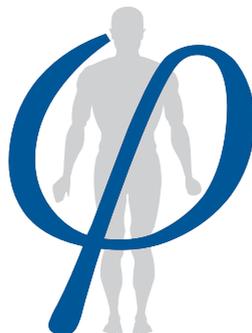


Annales
de la
Fondation Fyssen

N° 33



Annales
de la Fondation
Fyssen

2018

Directeur de la publication : Daniel LALLIER

Administration : 194, rue de Rivoli – Paris 1^{er}

Tél : 01 42 97 53 16

Secrétariat de rédaction : Louise WASTIN

e-mail : l.wastin@fondationfyssen.fr

Copyright : Les Annales de la Fondation Fyssen 2018
Cette publication ne peut être vendue / *Publication not for sale*

Tous droits réservés pour tous pays : toute reproduction, diffusion ou représentation, en tout ou partie, sous quelque forme que ce soit, est interdite sans accord préalable et écrit de la Fondation Fyssen.

All rights reserved for all countries: no part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means without the prior written permission of the Fyssen Foundation.

Activités de la FONDATION FYSSSEN

La FONDATION FYSSSEN a pour objectif de promouvoir la recherche et l'étude scientifique des mécanismes logiques du comportement chez les êtres vivants et leur développement ontogénétique et phylogénétique. Elle s'intéresse plus particulièrement aux processus cognitifs chez l'homme et chez les animaux, ainsi qu'aux fondements biologiques et culturels de ces processus.

Cette Fondation soutient toutes les recherches qui permettront de rendre rigoureux et précis ce domaine fondamental qui fait appel à des disciplines telles que l'éthologie, la paléontologie, l'archéologie, l'anthropologie, la psychologie, la logique et les sciences du système nerveux.

La Fondation Fyssen a été reconnue d'utilité publique par décret du 20 mars 1979 et porte le nom de son Fondateur, Monsieur Fyssen, intéressé depuis toujours par la compréhension scientifique de ces questions.

En 1982, Madame A.H. Fyssen lui a succédé à la Présidence de la Fondation. Elle est décédée en 2003.

La Fondation Fyssen a mis au point un dispositif original pour soutenir les sciences cognitives dans les domaines définis plus haut. Il comprend :

- des **ALLOCATIONS POST-DOCTORALES**, qui permettent la formation de jeunes chercheurs français ou étrangers, titulaires d'un doctorat étranger, qui souhaitent réaliser leur projet dans des laboratoires en France ou à des chercheurs, français ou étrangers et titulaires d'un doctorat français, qui souhaitent réaliser leur projet dans un laboratoire étranger ;

- des **SUBVENTIONS DE RECHERCHE**, destinées à des chercheurs français ou étrangers, pour réaliser un projet scientifique collectif au sein d'un laboratoire d'accueil en France dont l'activité entre dans les objectifs de la Fondation ;

Toutes les modalités de ces deux programmes sont disponibles sur le site internet de la Fondation.

- des **COLLOQUES**, des **SÉMINAIRES**, des **PUBLICATIONS** sur des thèmes jugés importants pour atteindre les buts de la Fondation ;

- la parution annuelle des « **ANNALES FYSSSEN** » qui comportent des articles originaux dans les domaines soutenus par la Fondation ;

- un **PRIX SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL** destiné à couronner une découverte, ou l'ensemble d'une oeuvre scientifique, ayant contribué d'une manière décisive aux progrès de la connaissance dans les domaines de recherche soutenus par la Fondation. Ce Prix est attribué chaque année à un chercheur de réputation internationale.

L'ensemble de ce dispositif doit permettre à la Fondation Fyssen de soutenir efficacement la recherche dans les sciences cognitives. Pour sa mise en oeuvre, la Fondation dispose d'un Conseil d'Administration composé de scientifiques, juristes, financiers et hauts fonctionnaires, et d'un Conseil Scientifique.

Le Conseil Scientifique est chargé de lancer les appels à projets, d'évaluer la qualité des dossiers qui lui sont soumis, de suivre le déroulement des travaux qui bénéficient du soutien de la Fondation et enfin de désigner le lauréat du Prix International de la Fondation Fyssen.

CONSEIL D'ADMINISTRATION AU 01/01/2020

Monsieur Daniel LALLIER, Président,

Inspecteur Général des Finances honoraire

Monsieur Bernard ZALC, Vice-Président,

Directeur de Recherche Emérite à l'Institut du Cerveau et de la Moelle épinière

Madame Jeanne-Marie PARLY, Trésorière,

Ancien Recteur et professeur d'Université Honoraire

Monsieur Jean-Claude HASSAN, Conseiller d'État,

Membre du Collège de l'Autorité des Marchés Financiers

Madame Catherine BRUN LORENZI,

Avocate au Barreau de Paris, ancien membre du Conseil de l'Ordre

COLLÈGE DE FRANCE,

Représenté par Monsieur Philippe DESCOLA,

Professeur, Chaire d'Anthropologie de la nature

MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE,

Représenté par Monsieur Bruno DAVID,

Président

UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE,

Représenté par Monsieur Bernard CAPELLE,

Professeur, chargé de mission auprès du Président de l'UPMC

Commissaire du gouvernement : Monsieur Ludovic GUINAMANT,

Adjoint au sous-directeur des libertés publiques et des affaires juridiques

Direction des libertés publiques et des affaires juridiques au Ministère de l'Intérieur

CONSEIL SCIENTIFIQUE AU 01/01/2020

Monsieur Daniel LALLIER, Président,

Madame Ghislaine DEHAENE-LAMBERTZ (Psychologie Cognitive), Vice-Présidente,

Directrice de Recherche CNRS, Laboratoire de Neuroimagerie,
Neurospin, Université Paris Saclay, France

Monsieur Andrew BEVAN (Technologie et Histoire des Techniques),

Professeur d'Archéologie comparative à l'Institut d'Archéologie,
University College de Londres, Grande-Bretagne

Madame Rosa COSSART (Neurobiologie),

Directrice de Recherche CNRS,
Institut de Neurobiologie de la Méditerranée, Marseille, France

Monsieur Joël FAGOT (Primatologie),

Directeur de Recherche, Laboratoire de Psychologie Cognitive, Marseille, France

Madame Sonia GAREL (Neurobiologie),

Directrice de Recherche à l'Institut de Biologie,
École Normale Supérieure, Paris, France

Madame Susanne KUECHLER (Anthropologie Sociale),

Professeur à l'University College de Londres, Grande-Bretagne

Monsieur Heonik KWON (Anthropologie Sociale),

Professeur au Trinity College, Cambridge, Grande-Bretagne

Madame Nathalie ROUACH (Neurobiologie),

Directrice de Recherche 2, Inserm, Collège de France, Paris, France

Monsieur Jean-Christophe SANDOZ (Ethologie),

Directeur de Recherche CNRS,
Directeur du Programme de Recherche EVOLBEE,
Laboratoire Évolution, Génomes, Comportement, Écologie, Gif-sur-Yvette, France

Madame Marie SORESSI (Archéologie-Hominim Diversity Archaeology),

Professeur à l'Université de Leiden, Pays-Bas

Monsieur Manos TSAKIRIS (Neurosciences Cognitives),

Professeur à Royal Holloway, University of London, Grande-Bretagne

COMITÉ DE LECTURE

Docteur Brice BATHELLIER,

Chargé de Recherche
Directeur de l'équipe « Dynamique corticale et perception multisensorielle »
Unité Neurosciences Information Complexité, CNRS FRE 3693, Gif-Sur-Yvette

Professeur Laurent COHEN,

Professeur de Neurologie, Hôpital de la Salpêtrière, ICM, Paris

Docteur Rémy CRASSARD,

Chargé de Recherche,
CEFAS Centre Français d'Archéologie et de Sciences Sociales,
CNRS USR 3141, Koweït

Professeur Martin GIURFA,

Directeur du Centre de Recherches sur la Cognition Animale
CNRS – Université Paul Sabatier Toulouse

Docteur Julie GREZES,

Directrice de Recherche INSERM,
Laboratoire de Neurosciences Cognitives INSERM U960,
Institut des Sciences Cognitives, École Normale Supérieure, Paris

Docteur Hélène ROCHE,

Directrice de Recherche Émérite,
UMR 7055, CNRS Université Paris Ouest Nanterre

Docteur Cédric SUEUR,

Maître de Conférences en Éthologie, Éthique et Primatologie
Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, CNRS-Université de Strasbourg

Valentina VAPNARSKY,

Directrice de Recherche CNRS
Sous-directrice du Laboratoire d'Ethnologie et de Sociologie Comparative, Nanterre

Valentin WYART,

Chercheur en Neurosciences Cognitives, INSERM, École Normale Supérieure, Paris

ANTHROPOLOGIE SOCIALE – SOCIAL ANTHROPOLOGY

DAUGEY Marie (Allocation post-doctorale 2017)	
La substitution à travers le prisme de l'enfance : étude du rite « charger la rivière » (pays kabyè, Togo)	11
Substitution through the prism of childhood: study of the “load the river” rite (Kabye country, Togo)	22
GERNEZ Nathaniel (Allocation post-doctorale 2017)	
Usage des langues dans la salle de classe en contexte plurilingue : politique linguistique, pratiques concrètes et idéologies langagières à Bungoma, Kenya	31
Language use in the classroom in a multilingual context: linguistic policy, actual practices and language ideologies in Bungoma, Kenya	42
KHACHATURYAN Maria (Subvention de Recherche 2016)	
Changement linguistique et social différentiel : le rôle de la traduction	52
Differential linguistic and social change: the role of translation	66
MENTA Cyril (Allocation post-doctorale 2017)	
Imbroglia de l'au-delà. Le vrai du faux dans les relations avec le monde invisible des Indiens pankararu du Nordeste du Brésil	77
An imbroglia from beyond. The true from the false in the relationships with the invisible world among the Pankararu Indians, Northeast region of Brazil	87

ÉTHOLOGIE / PSYCHOLOGIE – ETHOLOGY / PSYCHOLOGY

BABINEAU Mireille (Allocation post-doctorale 2016)	
Synergies dans l'acquisition des catégories syntaxiques	96
Synergies in the acquisition of syntactic categories	105
FOURTASSI Abdellah (Allocation post-doctorale 2016)	
Using Artificial Intelligence as a scientific tool to study early language acquisition	111
MEUNIER Joël (Subvention de Recherche 2017)	
Vers un nouveau paradigme dans notre compréhension de l'évolution de la vie de famille : Les leçons du forficule européen	118
Towards a new paradigm in our understanding of family life evolution: lessons from the European earwig	126

NEUROBIOLOGIE – NEUROBIOLOGY

AMALRIC Marie (Allocation post-doctorale 2017)	
Corrélat neuronal de l'apprentissage de concepts mathématiques avancés dans un contexte naturel	132
Neural correlates of naturalistic learning of advanced mathematical concepts	143

GOMEZ Tamara (Allocation post-doctorale 2016)	
Les bourdons augmentent leur consommation de protéines alimentaires pour combattre l'infection par un parasite	152
Bumblebees increase their consumption of dietary protein to combat parasite infection	158
LEVEVRE Arthur (Allocation post-doctorale 2017)	
Le neuropeptide anxiolytique ocytocine peut il faciliter le sentiment de peur ?	163
Can anxiolytic neuropeptide oxytocin facilitate fear ?	171
MATHIS Victor (Allocation post-doctorale 2017)	
Tout dépend du contexte ! L'habenula latérale et son réseau cortical encodent la valence aversive et stressante d'un contexte ; implication dans la rechute à la cocaïne induite par le stress	179
It is all about context ! The lateral habenula and its cortical network encode aversive and stressful contextual information ; implication in stress-induced reinstatement	186
PALÉONTOLOGIE / ARCHÉOLOGIE – PALEONTOLOGY / ARCHAEOLOGY	
CHOLEVA Maria (Allocation post-doctorale 2016)	
L'histoire d'un savoir-faire.	
La transmission du tour de potier et l'émergence de nouvelles traditions technologiques dans le monde égéen préhistorique	192
The story of a <i>savoir-faire</i> .	
The transmission of the potter's wheel and the emergence of new technological traditions in the prehistoric Aegean	215
RIVOLLAT Maïté (Allocation post-doctorale 2017)	
Conservation de l'ADN ancien en France néolithique	235
Ancient DNA conservation in Neolithic France	242
BIBLIOTHÈQUE	247

La substitution à travers le prisme de l'enfance : étude du rite « charger la rivière » (pays kabyè, Togo)

Marie DAUGEY

Chargée de recherches FNRS, Laboratoire d'Anthropologie Sociale et Culturelle (LASC), Université de Liège

Résumé

Dans une partie du pays kabyè, un rite d'affliction organisé pour une femme ou un homme adulte requiert la présence d'un enfant qui doit représenter le conjoint du bénéficiaire du rite. Une des clés d'interprétation de ce rite se situe dans la compréhension du rôle joué par l'enfant, apparemment passif. La prise en compte de certaines représentations liées à la conjugalité et à l'enfance permet de saisir les spécificités de l'agentivité symbolique attribuée à l'enfant-substitut.

Mots-clés

rituel, enfant, substitution, agentivité, Kabyè, Togo

Substitution through the prism of childhood: study of the 'load the river' rite (Kabye country, Togo)

Abstract

In part of Kabye country, a rite of affliction organised for an adult man or woman requires the presence of a child to represent the spouse of the beneficiary of the rite. One of the keys to interpreting this rite lies in understanding the apparently passive role played by the child. Taking into account certain representations linked to conjugality and childhood makes it possible to grasp the specificities of the symbolic agency attributed to the child substitute.

Keywords

ritual, child, substitution, agency, Kabye, Togo

Introduction

Dans une partie du pays kabyè correspondant au village de Farendè et à plusieurs localités voisines, certains rituels offrent à un enfant prépubère un rôle d'importance¹. Il ne participe pas alors en tant que bénéficiaire premier du rite mais en tant qu'un des opérateurs requis. Dans chacun de ces contextes rituels, la structure du rite place l'enfant dans une position de substitut. Les enfants-substituts incarnent un autre, humain ou non-humain, vivant ou imaginé, adulte ou enfant, pendant le temps d'un seul rite ou pendant plusieurs années à travers une fonction officielle. La nécessité de leur participation est toujours l'indice que les êtres qu'ils remplacent ont statutairement et/ou symboliquement un lien avec l'univers de l'enfance. Leur présence et leurs actes peuvent être discrets ou de premier plan et respectent le plus souvent les directives d'adultes. Les enfants-substituts apparaissent comme des figures rituelles médiatrices parce qu'ils véhiculent diverses qualités associées au monde de l'enfance qui se révèlent être des leviers symboliques efficaces dans des contextes rituels précis. Ils ne sont toutefois qu'une solution parmi d'autres pensées par les Kabyè pour interagir efficacement avec les entités concernées : dans des rites comparables organisés ailleurs en pays kabyè, la fonction médiatrice qu'ils occupent n'est pas toujours pensée explicitement en termes de substitution et peut être occupée par un adulte ou un objet.

A Farendè, un enfant doit remplacer un grand prêtre incarnant la plus haute autorité religieuse locale lors de certains rites agraires ou funéraires, représenter la fille ou le fils aîné non-né.e d'un novice pendant un rite de passage à l'âge adulte, ou encore figurer le conjoint d'une personne subissant un rite d'affliction. Dans des travaux précédents consacrés aux deux premiers

cas cités (Daugey 2017, 2019), j'ai pu montrer que de telles présences enfantines favorisent l'efficacité du rite parce qu'elles permettent de transmettre une requête aux entités concernées – au sujet du devenir d'une communauté ou d'une personne – à travers des mises en scène produisant une image indexant un contenu sémantique spécifique qui mobilise certaines représentations symboliques associées à l'enfance et aux enfants – différentes en fonction des circonstances. Le présent texte poursuit l'exploration des modalités d'intervention des enfants-substituts à travers l'étude de la troisième configuration rituelle repérée : lors d'une cérémonie visant à satisfaire un génie de rivière qui a été identifié comme étant à l'origine de déconvenues dans la vie d'une personne (déboires professionnels, problèmes de fécondité, mésentente conjugale), un garçon est présent à côté du bénéficiaire du rite pour représenter le conjoint de ce dernier. Il ne s'agit plus ici, comme dans les cas précédemment étudiés, de montrer aux dieux, grâce au corps de l'enfant, ce que l'on souhaite voir advenir. Nous verrons que l'enfant constitue alors un support pour penser les reconfigurations relationnelles à l'œuvre dans le rite et nous expliciterons la pertinence de sa présence.

Les recherches portant sur l'usage rituel de substituts analysent le plus fréquemment des pratiques où ce sont des objets qui servent de « remplaçant » ou de « représentant² ». Un tel objet, plus ou moins élaboré, peut prendre la place d'une entité non visible, absente physiquement, comme une divinité ou un défunt, donnant à voir une « absence-présence » à travers une image évocatrice, souvent anthropomorphe (Vernant 1965, Derlon 1997)³. Cet objet « présentifie » une divinité ; il la rend présente « dans [son] absence même » (Godelier 2015 : 162). Un objet substitut peut aussi représenter une personne bien présente et prendre sur lui les maux d'un patient

¹ Les Kabyè constituent sur le plan démographique le deuxième groupe ethnolinguistique du Togo. Ils forment une société à filiation patrilinéaire et à résidence virilocale. Les matériaux analysés dans cet article ont été collectés et produits en zone rurale, à Farendè, en 2010 et 2018. Ils sont mis en regard avec des éléments empiriques recueillis entre 2006 et 2008 plus au sud du pays kabyè, notamment à Lama, où les pratiques rituelles diffèrent mais témoignent de logiques communes.

² M.-D. Mouton (1997: 12) met en avant la proximité sémantique de ces termes avec celui de substitut.

³ Mentionnons l'usage, au sein de certaines sociétés de l'aire culturelle voltaïque, à laquelle appartient les Kabyè, du recours à un simulacre du mort dans le temps de l'ancestralisation du défunt et des rites de deuil. Plusieurs contributions aux trois opus intitulés « Le deuil et ses rites » (Systèmes de pensée en Afrique noire 1989, 1991, 1994) en rendent compte.

(Baptandier 1997), d'une manière comparable à celle de pratiques sacrificielles curatrices où le corps d'un animal se substitue à celui d'un patient (Dumas-Champion 1978)⁴. Un substitut est toujours *en apparence* un « ersatz » ou un « simulacre », c'est-à-dire une version réinterprétée de l'original. Cela n'empêche pas que sa présence dans le rite soit conçue, d'une manière ou d'une autre, comme nécessaire et efficace. Certaines propriétés du substitut peuvent lui conférer une puissance d'action équivalente ou supérieure à ce qu'il représente. Cette puissance tient au contexte et aux modalités de sa fabrication (Godelier 2015 : 163) – comme dans le cas emblématique des reliques (Derlon 1997, Albert 2013) – ou à son inscription dans un système de représentations du monde particulier – liant par exemple le microcosme au macrocosme – comme pour les miniatures rituelles en Mésoamérique et dans les Andes (Galinier 1997, Allen 2016). La pertinence et la capacité médiatrice d'un substitut résident ainsi dans la relation pensée entre l'objet et son référent (Albert 2013), qui peut être de nature métonymique, iconique, ou s'appuyer sur des opérations de transfert (Baptandier 1997). Souvent, les objets-substituts présents dans les rites font partie des artefacts sur lesquels s'exerce une « pensée subjectivante » (Fausto & Severi 2014 : 10) leur conférant une agentivité entendue comme une intentionnalité assortie d'une capacité d'action (Monod Becquelin & Vapnarsky 2010).u

Le substitut que nous proposons d'étudier ici n'est pas un objet mais un enfant. Toutefois, comme pour les objets, la question de son intentionnalité se pose. En effet, sa participation au rite se fait sur un mode structurellement passif et muet : il n'a pas à émettre la moindre parole, et les gestes qu'il doit accomplir, peu élaborés, n'impliquent aucune improvisation. Sa propre intentionnalité, tout comme celle de l'individu qu'il représente, doivent donc plutôt être mises en sourdine⁵. C'est avant tout sa présence phy-

sique d'enfant qui compte. Nous nous trouvons donc, sur le plan formel, dans une configuration inverse de celle d'objets figuratifs à qui on « prête parole » pour qu'ils deviennent présence de l'absent (Severi 2009)⁶. Pourtant, nous montrons que le rôle de l'enfant est bien ici d'incarner la volonté de celui qu'il représente et qu'il exerce donc une agentivité que nous appellerons symbolique. Pour rendre intelligible cette proposition il nous faut d'abord décrire précisément le déroulement du rite d'affliction concerné et comprendre quelles catégories de relations y sont en jeu. La prise en compte de certaines représentations locales liées à la conjugalité et à l'enfance nous permettra de saisir les spécificités de l'agentivité symbolique dont l'enfant est ici le support.u

Une relation problématique avec un génie de rivière

Chez les Kabyè, chaque personne est envisagée comme ayant eu une existence aquatique avant sa naissance en tant qu'être humain. Chacun vivait dans une mare ou une rivière, en compagnie d'un conjoint correspondant à un génie du sexe opposé, nommé *hmtaadu* (« celui de l'eau »). Ce génie est envisagé comme prenant une part importante à la transformation de son conjoint en bébé humain. Il décide ainsi de suivre une femme jusqu'à ce qu'elle ait un rapport sexuel avec un homme, et entre alors en elle pour devenir un des « constructeurs » (« *mayu* ») de l'enfant, qui donnent forme au fœtus en le pétrissant⁷. Dès lors, le génie devient le « *wardu*⁸ » de la personne qu'il a façonnée, « celui de derrière ». Il guide la personne en favorisant la chance, la santé, la réussite professionnelle, la fécondité et le bonheur conjugal. Son attitude

⁶ Situation bien différente, aussi, de celle des imitatrices des défunts, présentes dans certaines sociétés voltaïques, dont la tâche consiste en partie à porter la parole de l'absent (Lainé 2013).

⁷ Sont aussi désignés comme « constructeur » ou « créateur » d'une personne la rivière d'origine et l'ancêtre tutélaire qui a « sorti » l'enfant en lui transmettant son caractère et ses traits physiques. L'idée qu'un ancêtre et un génie aquatique sont conjointement impliqués dans la constitution d'un nouvel être humain se retrouve chez les Bassar et Tem voisins (Dugast 2009, Adjeoda 2000).

⁸ Le terme *wardu* est en vigueur à Farendé, mais dans la partie sud du pays kabyè, où les dialectes diffèrent, c'est le mot *waydu* qui est utilisé et que l'on retrouve majoritairement dans la littérature portant sur les Kabyè. Ces différences correspondent à des nuances de prononciation.

⁴ D'autres opérations sacrificielles donnent lieu à diverses logiques substitutives, qu'il s'agisse d'adapter des prescriptions lors du choix de la victime, ou que l'économie sacrificielle place la victime animale en position de substitut d'une divinité ou d'un sacrifiant (De Heusch 1986, Malamoud 1976).

⁵ Nous situons cette analyse à un niveau normatif. Il arrive que le déroulement du rite subisse des variations liées à des initiatives enfantines.

bienfaitrice est conditionnée par la réception régulière d'offrandes sacrificielles, qui assurent le bien-être du génie lui-même. Les libations et les offrandes carnées sont ce qui lui permet de boire, de manger et de se vêtir (la peau d'un caprin sacrifié constitue son pagne).

Le commencement de la relation sacrificielle avec le génie débutera plus ou moins rapidement en fonction de ses exigences. Certains ont le « cœur dur » et se manifestent pendant l'enfance en provoquant des malaises et des maladies. Dans un tel cas, on bâtit un autel provisoire au *wardv* et on lui fait une offrande mineure pour le faire patienter. Ce n'est qu'au moment de l'entrée d'une personne dans le processus initiatique marquant le passage à l'âge adulte – vers l'âge de dix-huit ans pour les filles comme pour les garçons – que l'autel définitif sera construit devant l'entrée de la chambre de la personne concernée, et qu'une offrande plus importante viendra le satisfaire. Ce rite d'installation de l'autel est normalement précédé d'une consultation divinatoire lors de laquelle on demande au génie s'il accepte que « sa personne » soit initiée. Engager quelqu'un dans l'initiation revient en effet à annoncer son prochain mariage avec un conjoint humain, et *wardv*, en tant que premier conjoint, est en mesure de le refuser. Dans un tel cas, on essaiera à nouveau de le convaincre l'année suivante. Passer outre ce refus risque de provoquer un évanouissement ou la mort pendant l'initiation, correspondant à un retour définitif dans la rivière d'origine.

Outre de telles configurations relevant de la « normalité », certains signes et événements dans la vie d'une personne peuvent indiquer que sa relation avec son *wardv* est particulièrement intense et problématique. Ces signes se manifestent dès la vie intra-utérine et pendant l'enfance. La mère, enceinte, peut perdre du sang. Une fois né, l'enfant pleure beaucoup et le cordon ombilical ne tombe pas après une semaine, cette persistance ombilicale signalant que la cause de son mal est son lien au monde prénatal⁹. Un nouveau-né qui change seul de position est aussi vu comme une alerte. Plus tard, un enfant qui ne dort pas dans sa chambre la nuit mais à l'extérieur de la maison, « dans les herbes », ou qui disparaît long-

temps sans explication témoigne là encore d'un trouble dans son intégration à la société humaine. Une personne peut se mettre à crier ou s'évanouir sans raison apparente, en particulier lors d'une danse funéraire, où un changement de rythme la fait danser à la manière d'un fou. Elle entre alors dans une forme de transe : elle est insensible à la douleur et ne se souvient pas de ce qu'elle a pu faire pendant cet épisode¹⁰. Rêver de se sentir attiré par la rivière ou de se noyer est caractéristique. La stérilité, des pertes d'argent inexplicables, des échecs professionnels sont aussi vus comme des événements pouvant être provoqués par *wardv*.

Lors d'une consultation divinatoire rendue nécessaire par les uns ou les autres de ces événements, le génie demandera que soit organisée pour lui la cérémonie appelée « charger la rivière » (*ɔɔɔvkv*) ou « taper la rivière » (*ɔɔ mabv*). D'autres devins seront consultés pour obtenir confirmation de ce verdict, car la cérémonie est coûteuse et dangereuse. Mais ne pas l'accomplir serait courir le risque de laisser la personne sombrer dans la folie. Si ces troubles surviennent chez une personne pas encore initiée, on attend que le moment de l'initiation approche pour pratiquer la cérémonie. C'est le génie qui décide de la date à laquelle elle doit avoir lieu et qui indique quels dons il souhaite recevoir à cette occasion et quels ornements devront parer le corps de « sa personne ». Cette entité aquatique est particulièrement « difficile ». Il faut donc respecter scrupuleusement ses indications pour s'assurer de la réussite du rite.

Les préparatifs

Le rituel « charger la rivière » débute dans la maison du père de l'intéressé. C'est un devin, aidé par un ou deux de ses assistants, qui dirige la procédure. Il va d'abord falloir réussir à faire venir le génie et à obtenir son accord pour participer à la cérémonie, ce qui peut être délicat en raison de l'inconstance de ses désirs¹¹. Le devin vérifie son bon-vouloir à l'aide de cauris ou en faisant parler le génie à travers sa propre bouche.

¹⁰ « Quand il y a les gens autour de toi tu ne les vois pas, tu te sens seul », expliqua un homme qui avait dû subir ces cérémonies.

¹¹ A Lama, on prend parfois soin, pour s'assurer de la participation du génie, d'accomplir plusieurs consultations divinatoires échelonnées sur plusieurs semaines avant la tenue du rituel.

⁹ Chez les Beng de Côte d'Ivoire, le nouveau-né est considéré comme appartenant toujours au monde prénatal jusqu'à ce que le cordon tombe (Gottlieb 2004: 83).

Son interlocuteur principal est le père du bénéficiaire du rite. Il expose au génie toutes les choses que l'on a réunies pour le satisfaire et s'excuse pour ce que l'on n'a pas réussi à trouver. Souvent, le génie se montre versatile, menace de repartir, demandant à répétition si son « cheval est là » pour qu'il puisse « monter dessus ». Il parle ainsi du bélier qui constitue l'offrande majeure qui lui sera faite. Après plusieurs confirmations que son cheval est là, bien gros et de la couleur demandée, il finira par accepter de rester.

Le début de la procédure implique que le bénéficiaire du rite, appelé « *pɔɔtv* » (celui de la rivière), soit assis sur un tabouret. On attendra que le génie vienne « s'amuser » (*leyuu*) avec sa personne en l'« agitant » (*ñam*) dans une forme de transe : il la fera se lever pour partir en direction de la rivière. L'« amusement » est ici réciproque car il désigne autant le mode de participation du génie au rituel que celui de la personne qui va entrer en transe : pour faire venir le génie, on lui explique ainsi que sa personne veut « s'amuser sur le tabouret » avec lui. Mais l'amusement ne se fait pas sur le même mode pour les deux parties : le génie joue avec le corps de la personne, cette dernière s'abandonnant au bon vouloir de son *wardv*. L'idée d'amusement renvoie donc ici conjointement à celle de maîtrise (par le génie) et de soumission (du bénéficiaire du rite).

Pour plaire au génie, l'espace de la maison et le corps de « sa personne » lui sont rendus attirants. Un assistant rituel appelé *kpeɱv* est chargé de cette tâche. Il doit avoir déjà subi lui-même cette cérémonie dans le passé et être de même sexe que le bénéficiaire du rite. Lorsque *pɔɔtv* s'assoit sur le tabouret, *kpeɱv* trace des points rouges et gris au niveau de ses articulations, des chevilles au front, à l'aide de poudres végétales délayées avec de l'eau issue de la rivière d'origine du génie. Puis il projette dans plusieurs directions à travers la cour de la maison un mélange de riz, d'igname et de gâteau de haricot enduit d'huile de palme rouge, particulièrement appréciée des génies. Il pare *pɔɔtv* avec les dons et les ornements demandés. Il lui fait tenir dans la main droite la corde attachant le bélier et une queue de bœuf. Il attache à sa main gauche ou fait pendre sur son épaule deux poules liées l'une à l'autre par les pattes. En fonction des exigences du génie, une pintade et/ou une hirondelle s'ajoute aux volailles. Un animal aquatique rappelant le milieu d'origine de *wardv* (crapaud, poisson) peut aussi être exigé, ainsi qu'un insecte (criquet, larve

de fourmilion). Un bandeau rouge – couleur appréciée des génies, associée au monde invisible – est attaché autour de la tête de *pɔɔtv*, et un collier lui est mis autour du cou. Il porte un pagne tissé, sur lequel sont parfois cousus des cauris (monnaie précoloniale). Ce « chargement » du corps avec des objets désignés comme « les choses de la rivière » (*pɔɔwɔndu*) est mis en rapport avec le nom donné au rite : « charger la rivière ». Les animaux sacrificiels, dont la couleur est toujours choisie par le génie, présentent souvent des caractéristiques physiques rares. Les ornements, les nourritures et les animaux non domestiques requis sont aussi des demandes très exigeantes par rapport à celles d'autres entités invisibles ou même d'un *wardv* dans un autre contexte. Cela témoigne du caractère difficile du génie¹².

Dès cette étape préparatoire du rite, un garçon prépubère doit être assis à côté du bénéficiaire de la cérémonie. Torse nu, il porte un bonnet rouge sur la tête et tient une lance en fer dans la main droite (**fig. 1**)¹³. Lorsque *pɔɔtv* est une femme, cet enfant représente son mari. Celui-ci ne doit absolument pas assister à la cérémonie. Le mari humain est en effet le « rival » du génie et sa présence empêcherait ce dernier de venir. Rappelons qu'avant de venir au monde, la relation que chacun entretient avec son génie est de type conjugal. Et la jalousie du génie vis-à-vis du conjoint humain est une des principales raisons pour lesquelles *wardv* provoque des problèmes dans la vie de la personne. Lorsque le bénéficiaire du rite est un homme, c'est également un garçon qui l'accompagne. Si certains interlocuteurs affirment que ce dernier est comme l'épouse de l'homme concerné, d'autres estiment qu'il est un simple accompagnant. Quoi qu'il en soit, un fort parallélisme existe entre les versions féminine et masculine du rite.

¹² Chez les Bassar, où l'on peut constater d'importantes ressemblances dans le déroulement des rites dédiés au génie de rivière, ce dernier apparaît aussi très capricieux : « méprisant la banalité, [il] exige toujours un traitement spécifique » (Dugast 2009 : 174). Les points de comparaison avec les Bassar sont multiples ; nous ne mentionnerons que les plus décisifs pour l'analyse.

¹³ Il arrive que l'enfant qui occupe cette position soit un « petit frère » du bénéficiaire du rite, mais dans l'idéal il s'agit d'un enfant habitant chez « l'ami » du père du bénéficiaire. Cet ami (*ceu*) occupe une position officielle de représentant du père dans différents contextes rituels. Il est un intermédiaire entre le père et d'autres participants.

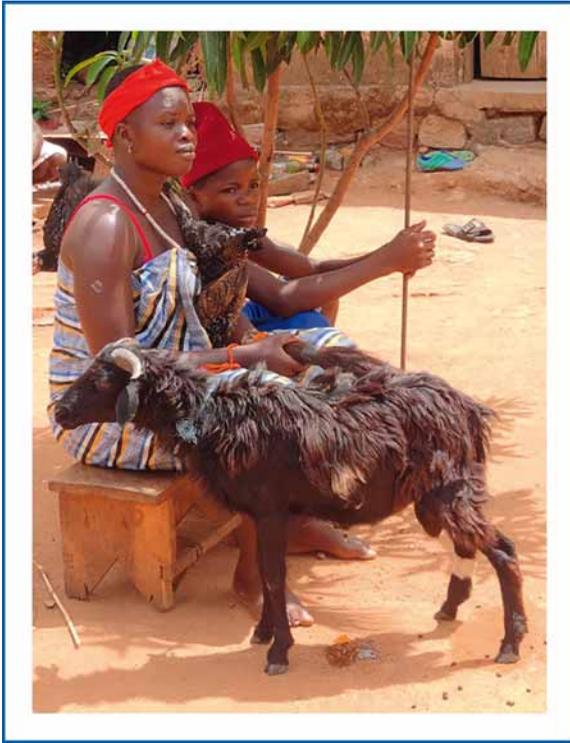


Figure 1 : *Pɔɔtv* et l'enfant-conjoint

La course vers la rivière

Une fois que le bénéficiaire du rite est ainsi paré et accompagné, son père et son oncle maternel viennent prononcer une prière devant lui¹⁴, émettant le souhait que le rite se déroule bien, que leur enfant « trouve du repos » et que sa tête soit déchargée du problème qui le tourmente. Puis le devin et ses assistants se mettent à jouer des tambours et font tinter un fer de hachette près des oreilles de *pɔɔtv*¹⁵. Les femmes présentes se mettent à chanter. Dans un chant enregistré lors d'un rite fait pour une femme, elles enjoignent *pɔɔtv* à partir à la recherche du génie-conjoint : « Je vais te suivre/Ma petite sœur vas-y/Oui vas-y, oui vas-y/C'est toi qui doit

suivre ton mari/Je veux suivre ton mari/Je veux sortir pour chercher ton mari/On dit que tu le cherches ? Ils disent qu'il bondit [et tu ne le rencontres pas]/vas-y ! vas-y ! vas-y ! (...) »

Le devin fait alors parfois inhaler au patient un produit qui, ajouté à l'environnement sonore, va favoriser l'entrée en transe. Celle-ci est interprétée comme étant due au *wardv* qui va venir « soulever » la personne. Cette dernière se met alors à trembler, parfois à gémir comme si elle pleurait. Les mouvements d'ailes des poules et la défécation du bélier annoncent que le lever est imminent. Lorsque le bélier part dans la direction de la rivière, la personne le suit, pieds nus, d'une démarche plus ou moins titubante et plutôt rapide, en trotinant ou en courant. Un groupe d'accompagnants la suit : l'enfant-conjoint, le devin et ses assistants, l'oncle maternel et le père (ou des représentants), *kɛmv* qui porte sur sa tête une grande bassine contenant les objets nécessaires à la poursuite du rite. Des jeunes hommes capables de courir vite accompagnent le groupe. Ils sont là pour empêcher *pɔɔtv* de plonger dans la rivière (souvent située à plusieurs kilomètres de la maison cérémonielle) et de s'y noyer, dans l'éventualité où sa transe le conduirait jusque là-bas. Des noyades se sont en effet produites plusieurs fois, comme en témoignent les tombes présentes près de certains tronçons de rivière.

Dans la plupart des cas, les déambulations du bénéficiaire du rite ne le conduisent pas jusqu'à sa rivière d'origine. Il va s'évanouir en chemin, au lieu décidé par le génie pour recevoir en sacrifice les poules et le bélier¹⁶. Cet évanouissement est moins dangereux qu'un plongeon dans la rivière mais il est toutefois décrit comme une forme de mort. La personne inconsciente se trouve alors spirituellement dans la rivière. Certains responsables rituels estiment qu'il ne faut pas qu'elle entre en contact directement avec la terre lors de sa chute car ce serait comme si elle tombait dans l'eau. « Elle risquerait de ne plus se réveiller ». Il faut la rattraper et la

¹⁴ L'oncle maternel doit toujours être témoin des cérémonies qui concernent son neveu ou sa nièce en y jouant un rôle plus ou moins important. La patrilinéarité est contrebalancée par un fort lien d'appartenance à la parenté utérine, réaffirmé dans les pratiques rituelles et dans la vie quotidienne, ce qui dénote une inflexion matrilineaire du système de filiation.

¹⁵ L'utilisation des percussions est à l'origine de l'expression « taper la rivière » qui désigne ce rite.

¹⁶ Le recours aux tambours et le passage par la transe et l'évanouissement n'est pas toujours nécessaire. C'est lorsque *wardv* est particulièrement « dur » que cela s'impose. Dans les cas plus simples, *pɔɔtv* se contente de suivre les pas du bélier qui l'amène à l'extérieur de la maison sous l'influence du génie et les sacrifices sont offerts à l'endroit où l'animal s'arrête.

coucher sur une natte, puis la ranimer. *Kpemv* s'approche alors de son oreille pour l'appeler par son « grand nom », le nom que la personne avait lorsqu'elle vivait dans son eau, qui a été révélé lors des consultations divinatoires préalables (fig. 2). On peut aussi lui dire : « Viens ! La maison de ton père brûle ! », de manière à alerter sa conscience. Si elle tarde à revenir à elle, le devin lui souffle un produit par les narines pour aider à la ranimer. A Lama, il arrive que l'on fasse des gestes de succion des doigts et des pieds de manière à ce que l'âme réinvestisse le corps (Cridel 1967 : 84), d'une manière comparable à ce qui est entrepris sur le corps d'un bébé tout juste né qui est sur le point de mourir car son « souffle » le quitte¹⁷. Selon certains, son réveil s'annonce lorsqu'« on entend un cri lointain dans sa poitrine ». Lorsqu'elle est réveillée mais encore chancelante, plusieurs personnes de son entourage viennent s'assurer qu'elle a retrouvé totalement ses esprits en lui demandant : « Tu me reconnais ? Comment je m'appelle ? ».

On peut alors procéder à la mise à mort d'une ou plusieurs poules et du bélier¹⁸ une fois que l'aire sacrificielle a été balisée. Deux pierres trouvées sur place, posées l'une sur l'autre, vont faire office d'autel. La lance de l'enfant-conjoint est plantée à la verticale juste à côté par le devin, la pointe vers le ciel. *Kpemv* projette un mélange de riz et de gâteau de haricot autour de *pɔɔtv*. Positionné devant l'autel, le père du bénéficiaire tient alors unealebasse emplies d'eau issue de la rivière d'origine. Il s'adresse à *wardv* : il se félicite du bon déroulement de la cérémonie et souhaite que le génie contribue à l'aisance de son enfant. Il verse un peu d'eau sur les pierres de



Figure 2 : *Kpemv* appelle la personne par son grand nom

l'autel et fait boire *pɔɔtv* dans laalebasse. Les volailles sont égorgées, puis on fait mine d'asseoir *pɔɔtv* trois fois sur le bélier, procédant ainsi à une identification entre la personne et l'animal, avant d'égorger ce dernier¹⁹.

¹⁷ Face à l'urgence de faire revenir l'enfant, on va chercher dans le voisinage des femmes et des clairvoyants qui se coordonnent pour « l'appeler ». Les femmes font tinter un fer de hache et tapent sur un morceau dealebasse, pendant qu'un homme âgé dit à l'enfant : « étranger, qu'est-ce qu'on a dit de toi et tu nous as quittés? », ou bien : « notre père [notre mère s'il s'agit d'une fille], tu es venu[e] auprès de nous, qu'est-ce qui s'est passé et tu fuis? ». Les clairvoyants approchent leur bouche d'un orteil, de la poitrine et de la fontanelle du bébé (parfois de la nuque ou des narines) et aspirent de manière à ce que le souffle « monte » dans l'enfant et l'âme réinvestisse le corps.

¹⁸ Il arrive que les volailles meurent pendant la course jusqu'à la rivière. C'est interprété comme une mise à mort des animaux par le génie impatient.

¹⁹ Dans le sud du pays kabyè, l'association entre les victimes animales et le bénéficiaire du rite se fait par une autre forme de mise en contact avec le corps de ce dernier. *Pɔɔtv* tient les pattes et appuyé dessus jusqu'à ce qu'elles meurent par étouffement, ce qui est commenté comme une mise à mort opérée par le génie lui-même. Puis la bête est tenue par les pattes et passée sur le corps de la personne avant d'être égorgée. Ces manipulations font partie du processus de « chargement » du corps de la personne avec les « choses de la rivière ». Elles consistent aussi à le « décharger » (*svkv* signifie à la fois charger et décharger), en le libérant de ses problèmes. Ajoutons que la mort des animaux « extraordinaires » demandés (oiseau, crapaud, etc.) survient souvent pendant le trajet vers la rivière, du fait des secousses imposées par la rapidité du déplacement. Leur mort est comprise comme étant perpétrée par le génie. Si l'animal est toujours vivant lors de l'arrivée sur le lieu des sacrifices, il est mis à mort, différemment en fonction de l'espèce et des habitudes du devin : par égorgement, en l'écrasant ou en l'étouffant ; rôti sur place, on fait mine de le donner à manger à la personne, puis on le jette ou l'empale sur une tige laissée à côté de l'autel.

La capture du génie

Lorsque le dépeçage de la bête est terminé, *kpemv* dépose une bassine non loin de l'autel, dans laquelle il verse de l'eau issue de la rivière d'origine. Le devin y ajoute parfois un produit qui rend l'eau grise et opaque. *Pootv* va se tenir debout dans cette bassine, la queue de bœuf en main. Lorsque l'évanouissement a lieu près de la rivière, c'est dans ce cours d'eau qu'il se met les pieds. La bassine remplace donc la rivière. Pour attirer le génie, *kpemv* dépose un peu des mêmes aliments que précédemment dans l'eau et sur l'aire sacrificielle en prononçant le nom du bénéficiaire. Le devin s'approche ensuite, muni de deux bouquets de feuilles de néré qu'il plonge et agite dans l'eau. Il frotte les jambes de la personne avec les feuilles (parfois il les passe aussi sur sa tête, sa poitrine, son dos), replonge les feuilles dans l'eau, peut fouetter légèrement le corps de *pootv* avec, replonge les feuilles près des pieds, puis commence à entortiller les deux bouquets l'un à l'autre dans l'eau. Il poursuit longuement ce geste hors de l'eau, jusqu'à ce qu'un assistant coupe l'ensemble de feuillages en deux. Les feuilles sont redéposées dans l'eau, d'où le devin va finir par extraire une fine tige de fer spiralée d'environ cinq centimètres de long. Il attache ensuite des plumes de poule le long de la tige avec de la ficelle, de manière à la recouvrir entièrement, et il coupe les extrémités des plumes. Cette tige est présentée comme étant un serpent que le devin a transformé en fer et auquel il coupe la tête et la queue. Le serpent est attrapé dans l'eau, serré dans les feuilles et pétri jusqu'à ce qu'il devienne une tige de fer. Ce serpent et l'objet en lequel il est transformé est décrit comme représentant le génie. Il est désigné par le mot *ekpare*, qui désigne aussi ordinairement une petite lance ornée de crochets.

Pootv et l'enfant-conjoint s'assoient ensuite côte à côte sur une natte, toujours non loin de l'autel. Ils vont consommer l'un après l'autre du mélange de riz et de gâteau de haricot en suivant une procédure spécifique consistant à manger successivement dans leurs paumes et sur les dos de leurs mains. On retourne alors en direction de la maison, où l'objet *ekpare* va subir un nouveau traitement. Le devin l'introduit dans une marmite fermée d'un couvercle, puis une poule et une pintade sont sacrifiées dessus. *Pootv* devra désormais accomplir régulièrement des sacrifices sur ce nouvel autel personnel afin de rester en bonne

santé, de conserver chance et richesse. « Ça devient la vie de la personne », expliqua un officiant. Cet objet devient en effet une sorte d'extension de la personne qui matérialise son lien intense à sa rivière d'origine²⁰. Ne pas respecter les exigences du génie concernant les sacrifices à lui offrir sur cet autel serait s'exposer à des problèmes comparables à ceux rencontrés précédemment : « Tu rêves qu'on t'étrangle, si tu es une femme tu ne tombes plus enceinte, si tu es un homme tu deviens impuissant. » Le génie a donc été maîtrisé mais il continue d'avoir une forte emprise sur sa personne.

Le rôle de l'enfant-conjoint dans une guerre rituelle

Le rôle de l'enfant pendant la phase rituelle qui vient d'être décrite semble réduit à peu de choses. Il est une présence discrète à côté du bénéficiaire ; il doit se contenter de suivre le mouvement et de consommer certaines nourritures en temps voulu. Toutefois, la lance qu'il tient tout au long du trajet parcouru et qui se trouve plantée à côté de l'autel situé « en chemin » offre le signe de ce qui se trame, au fond, dans ce rite. C'est en interrogeant un officiant sur la présence de cette lance qu'un aspect primordial du rite me fut indiqué : « *Wardv* vient avec violence, il y a des guerres entre lui et les gens qui sont là ». Si l'on considère ce rite à travers ses aspects violents, on se rend compte qu'en effet, il met en scène un affrontement entre le génie et l'entourage de *pootv*. Ce rite est vu comme risqué, car malgré les nombreuses négociations divinatoires qui précèdent sa mise en œuvre, le génie reste imprévisible et il peut profiter du rite pour reprendre la vie de son conjoint. « Ce jour est dangereux. Ça cause la mort ! » avertit ainsi un devin. L'inquiétude de l'entourage est d'ailleurs palpable tout au long de la procédure.

Or, le rite implique également que les humains trompent le génie et se montrent violents envers lui

²⁰ A Lama, l'autel est conçu différemment mais il est présenté comme le lieu où désormais, la personne « respire ». Une pierre est prélevée dans la rivière d'origine et déposée dans une assiette d'argile recouverte d'une autre assiette. Les deux ustensiles sont collés l'un à l'autre avec de l'argile, et quatre trous sont percés dans l'assiette du dessus, représentant les quatre points cardinaux. La destruction de cet objet, la prononciation d'un vœu de malheur devant lui, le versement d'une eau sale ou brûlante dessus provoque la maladie ou la folie de la personne.

en capturant le serpent *εκπαρε* dont on peut faire l'hypothèse qu'il représente la part agressive du génie. Son identité d'animal venimeux et le fait que la seconde acception d'*εκπαρε* désigne une arme à crochets va dans ce sens²¹. Ce sont le devin et l'entourage familial de *πρωτυ* qui mènent ce combat, mais la présence de l'enfant-conjoint porteur d'arme permet de mieux comprendre qui s'oppose en réalité au génie dans ce rite. La rivalité se situe en premier lieu entre le génie et le conjoint humain. L'examen de cérémonies qui sont encore conduites à la suite de la capture d'*εκπαρε* permet de saisir comment cette rivalité est traitée dans le rite²².

Lorsqu'arrive le jour du marché, *πρωτυ* et l'enfant s'y rendent et s'y exposent, tous deux assis sur une natte. La lance de l'enfant est plantée devant eux. Puis, dans le cas où le bénéficiaire du rite est une femme – on ne considérera que cette configuration, ils se rendent chez son mari humain afin qu'elle réintègre la maison de ce dernier²³. De la bière de sorgho leur est offerte ainsi qu'à leurs accompagnants en signe d'accueil. Lorsque tous ont bu, l'enfant dépose son bonnet rouge sur le sol, et les habitants de la maison du mari se mettent à le renvoyer sans ménagement : « qui est celui-là qui se fait passer pour son mari ? » Puis on amène le véritable mari à côté de la femme, et on lui dit : « Voici ta femme, nous lui avons fait les cérémonies, maintenant tout ira bien entre vous. » On emplit unealebasse de bière et tous deux boivent en même temps dans ce récipient, accomplissant ainsi le geste rituel typique de réconciliation en pays kabyè : « *Εκπαρε* divisait le mari et la femme, la cérémonie les réconcilie », expliqua un doyen de maison.

Si dans la première phase du rite l'enfant représente l'époux humain, on se rend compte que dans cette seconde phase où il se fait renvoyer, c'est le

génie qu'il représente. Par sa qualité de prépubère, l'enfant peut donc figurer alternativement les deux faces de la conjugalité entre lesquelles la bénéficiaire du rite se trouve écartelée²⁴. Plus précisément, dans les deux phases du rite, l'enfant représente une conjugalité illégitime, considérée d'abord du point de vue du génie puis du point de vue des humains. Dans la première phase, où on laisse le génie être le maître du jeu et prendre possession de la femme, c'est l'époux humain qui apparaît comme illégitime et qui ne doit surtout pas se montrer. Pendant la deuxième phase, c'est le génie qui est illégitime : il a reçu tous les dons qu'il avait demandés et sa part délétère a été capturée et maîtrisée par les hommes. Il ne doit plus chercher à s'immiscer dans la conjugalité humaine. L'enfant qui se fait renvoyer représente alors une velléité de revendication de conjugalité qui n'a plus lieu d'être. Au fil du rite, l'enfant matérialise ainsi le glissement de l'illégitimité conjugale du mari humain vers le génie de rivière²⁵. La présence de l'enfant-conjoint permet donc de mettre en scène une action sur une double relation de conjugalité tout en évitant une confrontation directe entre les rivaux, puisqu'une telle confrontation signerait l'échec du rite.

La pertinence du choix de l'enfant

Pourquoi un enfant doit-il occuper cette position ? Mes interlocuteurs ont évoqué l'idée d'une forme de neutralité de l'enfant par rapport au conjoint humain adulte : l'enfant n'a aucune

²¹ *Waridv* est décrit comme un silure par R. Verdier (1962) et B. W. Karma (1973). Ils évoquent également un serpent qui semble être une manifestation terrestre du poisson. L'association du poisson avec le génie rappelle les représentations dogons relatives à la fécondité humaine (Griaule 1955).

²² Je n'ai pas pu assister à ces séquences rituelles car elles n'ont pas été organisées dans les cas que j'ai pu observer en raison d'un relâchement des pratiques. J'en ai eu connaissance lors de discussions avec des responsables rituels.

²³ Rappelons que la femme habite chez son père pendant les cérémonies.

²⁴ Notons que lors de rites bassar dédiés aux génies de rivière, c'est uniquement le génie (et non le conjoint humain) qui est représenté par un tiers – en l'occurrence par un adulte (Dugast, communication personnelle).

²⁵ Un épisode du rite tel qu'il est organisé à Lama va dans le sens de cette interprétation en termes d'illégitimité conjugale. Là-bas, un adulte joue un rôle d'accompagnateur comparable à celui joué par l'enfant : coiffé d'un bonnet rouge et muni d'une hache, c'est lui qui tient la corde du bélier. Lorsque le rite est organisé pour une femme, cet homme est un « frère du fiancé », et donc un conjoint potentiel. Selon B. Cridel, pendant que l'on est en train de parer la bénéficiaire du rite, cet homme « s'avance pour boire ensemble avec bobo [*πρωτυ*] dans la mêmealebasse. C'est là un geste symbolique. Le garçon buvant dans la mêmealebasse que bobo essaie de s'approprier la fille (emele halo). Le tiu [devin] intervient en frappant le garçon et en signifiant à la fille d'être prudente » (Cridel 1967 : 83). Cette séquence condense plusieurs aspects du rôle joué par l'enfant ailleurs : le substitut du conjoint humain y apparaît comme un « voleur de femme » en accomplissant un geste qui marque à Farendè la réunion des conjoints légitimes et l'éviction de l'imposteur.

raison d'être vu comme un rival par le génie puisqu'il n'est pas mature (*piu*). Mais un détour chez les Bassar voisins peut fournir une hypothèse intéressante. On retrouve chez eux des représentations très proches de celles des Kabyè concernant le rattachement de chacun à un génie de rivière envisagé comme un conjoint prénatal. Ils partagent cette idée d'une conjugalité qui se mue progressivement d'une relation avec un génie en une relation avec un être humain (Dugast 2009). Chez ces voisins, aucun enfant n'intervient dans les rites destinés au génie, mais en revanche, les génies de rivière sont explicitement comparés à des enfants : « ces petits êtres, dit-on, sont comme des enfants jouant dans le sable » ; leur susceptibilité, leur gourmandise et leur jalousie sont celles dont font preuve « les plus difficiles des très jeunes enfants » (Dugast 2009 : 169). De plus, il est significatif que dans cette société, des jeux d'enfants mettent en scène un remplacement du conjoint prénatal par un enfant choisi comme « fiancé de jeu » (*ibid.*), plaçant l'enfant dans une position substitutive par rapport au génie, en attendant qu'un fiancé adulte le remplace à son tour.

Cette comparaison permet de faire l'hypothèse que si c'est un enfant qui doit représenter une conjugalité problématique dans les rites kabyè, c'est sans doute en raison d'une proximité entre les enfants et ces génies, qui n'est pas dite explicitement mais qui serait inscrite dans le rite à travers la présence de l'enfant-conjoint. L'identité systématiquement masculine de l'enfant, quel que soit le sexe du bénéficiaire, pourrait être liée quant à elle au caractère belliqueux du rite, la « guerre » étant réservée traditionnellement aux hommes.

Conclusion

Parce qu'il appartient au monde des humains mais qu'il reste lié symboliquement à l'univers du génie de rivière, l'enfant apparaît ainsi apte à représenter la conjugalité sous ses deux perspectives : aquatique et humaine. Il rend possible le traitement d'une double relation conjugale,

quand les pôles rivaux de cette relation ne doivent pas être mis en présence. Ainsi vient-il « actualiser pragmatiquement » le génie et le conjoint humain, de manière à « devenir une perspective interne au rituel »²⁶. Il rend tangible la double perspective en jeu dans le rite, par sa discrète présence figurative.

De tous les participants au rite, l'enfant-substitut est le plus passif dans le sens où la trame rituelle n'implique pas qu'il communique activement – en particulier par la parole – avec les autres participants, humains et non-humains. On pourrait penser que cette place mineure sur le plan des interactions irait de pair avec un rôle mineur quant à la signification de la présence

enfantine²⁷. Cependant, ce silence s'articule avec une agentivité symbolique porteuse d'une importante clé interprétative du rituel. La présence de l'enfant véhicule les intentions guerrières des deux pôles de

la conjugalité qu'il représente successivement, et l'effacement langagier semble traduire le statut d'illégitime éconduit qui glisse de l'un vers l'autre de ces pôles à travers la figure de l'enfant. Si la participation de l'enfant est requise, c'est parce que ce dernier est un représentant du monde de l'enfance, entendu ici comme lieu de commencement et comme lieu transitoire de l'expérience conjugale. Sa position transitionnelle fait de lui un opérateur symbolique pertinent pour figurer et contribuer à réaliser, dans le rite, les repositionnements statutaires des membres de la triade conjugale. C'est en cela qu'il est un substitut efficace.

L'étude du rôle joué par l'enfant-conjoint dans le rite d'affliction analysé ici montre donc que

²⁶ J'emprunte ces mots à C. Fausto et I. Penoni (2014: 32) qui ont étudié le rôle « pivot » d'une effigie mortuaire *kuikuro* (Brésil) dans une configuration relationnelle à plusieurs termes opposés.

²⁷ On peut aussi penser, sur un autre plan, que le silence de l'enfant est lié à l'idée en vigueur chez les Kabyè selon laquelle, d'une manière générale, « les enfants ne connaissent rien aux cérémonies ».

l'agentivité des enfants dans les pratiques rituelles et religieuses ne se manifeste pas seulement à travers les actes volontaires que les plus jeunes peuvent accomplir. Elle peut aussi relever du domaine du symbolique, et son exploration conduit alors à prendre la mesure du rôle – parfois capital – joué par les catégories « enfance » et « enfants » dans les modes de pensée qui façonnent les rites.

Remerciements

Je remercie la Fondation Fyssen pour son soutien ainsi que l'équipe du Laboratoire d'Anthropologie Sociale et Culturelle de l'Université de Liège pour son accueil. Cette recherche a également pu être menée grâce à un financement de l'Institut des Mondes Africains. Mes remerciements s'adressent en particulier à Elodie Razy pour son encadrement et sa généreuse collaboration intellectuelle et à Marie Campigotto pour nos stimulants échanges. Je remercie l'ensemble de mes interlocuteurs kabyè pour leur aide et leur partage, et en particulier Manzama-Esso Assimti pour sa collaboration sans faille. Ce texte a bénéficié des commentaires de Stéphan Dugast et d'Elodie Razy.

Bibliographie

- Adjeoda R. 2000, *Ordre politique et rituels thérapeutiques chez les Tem du Togo*, Paris, L'Harmattan.
- Albert J.-P. 2013 « La mule et l'archevêque, ou la fortune des substituts », *Archives des sciences sociales des religions*, 161 : 221-234.
- Allen C. J. 2016 « The Living Ones : Miniatures and Animation in the Andes », *Journal of Anthropological Research*, 72 (4) : 416-441.
- Baplandier B. 1997 « Penser par substituts. Les rituels du corps de remplacement », *Ateliers*, 18 : 29-47.
- Cridel B. 1967, « La jeune fille, l'épouse et la mère dans la société kabre », *Documents du CERK* : 78-93.
- Daugey M. 2017 « Emplir les corps des dieux pour rassasier les hommes : étude de manipulations rituelles de bière de sorgho (pays kabyè, Togo) », *Civilisations*, 66 (1-2) : 57-73.
- Daugey M. 2019 (à paraître) « Parrainage initiatique et confiage rituel. Une relation de pseudo-parenté du point de vue des enfants (pays kabyè, Togo) », *Anthropochildren*
- Derlon B. 1997, « La mort à bras-le-corps. Jeux de substitution et régénération en Nouvelle-Irlande », *Ateliers*, 18 : 49-73.
- Dugast S. 2009, « Le rite de *tigikiikal* pour les génies de marigot (Bassar du Togo) », in M. Cartry M., Durand J.-L. & Koch Piettre R. (éds), *Architecturer l'invisible : autels, ligatures, écritures*, Turnhout, Brepols : 153-220.
- Dumas-Champion F. 1979 « Le sacrifice comme procès rituel chez les Massa (Tchad) », *Systèmes de pensée en Afrique noire*, 4 : 95-115.
- Fausto C. & Penoni I. 2014 « L'effigie, le cousin et le mort. Un essai sur le rituel du Javari (Haut-Xingu, Brésil) », *Cahiers d'anthropologie sociale*, 10 : 14-37.
- Fausto C. & Severi C. 2014 « Introduction », *L'image rituelle. Cahiers d'anthropologie sociale*, 10 : 9-13.
- Galinier J. 1997 « Le quadrilatère des idoles : une vie psychique dans la nature », *Ateliers*, 18 : 21-28.
- Godelier M. 2015 *L'imaginé, l'imaginaire et le symbolique*, Paris, CNRS Editions.
- Gottlieb A. 2004 *The Afterlife Is Where We Come From. The Culture of Infancy in West Africa*, Chicago, University of Chicago Press.
- Griaule M. 1955 « Rôle du silure *Clarias senegalensis* dans la procréation au Soudan français », *Afrikanistische Studien*, 26 : 299-311.
- Heusch L. de 1986, *Le sacrifice dans les religions africaines*, Gallimard.
- Houseman M. & Severi C. 1994 *Naven ou le donner à voir. Essai d'interprétation de l'action rituelle*, Paris, CNRS Éditions.
- Karma B. W. 1977 *Croyances, philosophie et comportements des Kabyè*, Atakpamè.
- Lainé M. 2013 *Dans l'entre-deux du deuil. Vacillement des frontières et des identités autour d'un personnage singulier : l'imitatrice du défunt en pays nawda (Togo)*, Thèse de doctorat, Paris, EPHE.
- Malamoud C. 1976 « Terminer le sacrifice. Remarques sur les honoraires rituels dans le brahmanisme, in M. Biarreau & C. Malamoud (éd.), *Le sacrifice dans l'Inde ancienne*, Paris, PUF : 155-204.
- Mouton M.-D. 1997 « Le corps et ses substituts », *Ateliers*, 18 : 11-19.

- Severi C. 2009 « La parole prêtée. Comment parlent les images », *Cahiers d'anthropologie sociale*, 5 : 41.

- Verdier R. 1962 *Les structures socio-religieuses des Kabré du Nord-Togo*, Thèse doct., Paris.

- Vernant J.-P. 1965 « Figuration de l'invisible et catégorie psychologique du double : le colosso », in *Mythe et pensée chez les Grecs. Etudes de psychologie historique II*, Paris, Maspero.

Introduction

In part of Kabye country that includes the village of Farende and several neighbouring localities, certain rituals offer an important role to a prepubescent child.²⁸ The latter does not take part as the primary beneficiary of the rite but as one of the required operators. In each of these ritual contexts, the structure of the rite places the child in a surrogate position. Child substitutes embody another, human or non-human, living or imagined adult or child for the duration of a single rite or for several years through an official function. Their required participation is always an indication that the beings for which they are substitutes have a statutory and/or symbolic link with the childhood universe. Their presence and actions may be discreet or prominent and most often follow adult guidelines. Child substitutes appear as mediating ritual figures because they convey various qualities associated with the world of childhood that prove to be effective symbolic levers in specific ritual contexts. However, they are only one solution among others, which Kabye think interact effectively with the entities concerned: in similar rites organised elsewhere in Kabye country, the mediating function they occupy is not always considered explicitly in terms of substitution and can be occupied by an adult or an object.

In Farende, a child has to replace a high priest incarnating the highest local religious authority during certain agrarian or funerary rites, to represent the eldest unborn daughter or son of a novice during a rite of passage to adulthood, or to act as the spouse of a person undergoing a rite of affliction. In previous work devoted to the first two cases mentioned above (Daugey 2017, 2019), I was able to show that such childlike presences enhance the effectiveness of the rite because they enable a request to be conveyed to the entities concerned – regarding the future of a community or of a person – through performances that produce an image to illustrate a specific semantic content that mobilises certain symbolic representations associated with childhood and children, which are different according to the circumstances. This paper pursues the examination of the ways in which surrogate children intervene, through the study of the third identified ritual configuration: during a ceremony aimed at satisfying a river spirit that has been identified as being at the root of disappointments in a person's life (professional setbacks, fertility problems, marital misunderstandings), a boy is present next to the beneficiary of the rite to represent the latter's spouse. It is no longer a question here, as in the previously studied cases, of showing the gods, through the body of the child, what one would like to happen. We shall see that the child therefore acts as a medium for reflecting on the relational reconfigurations at work in the rite, and we will explain the relevance of its presence.

Research on the ritual use of substitutes most often analyse practices where objects serve as a 'replacement' or 'representative'.²⁹ A more or less elaborate object can take the place of a non-visible, physically absent entity such as a deity or a deceased person, showing an 'absence-presence' through an evocative, often anthropomorphic image (Vernant 1965, Derlon 1997).³⁰ This object 'presentifies' a deity; it makes it present 'in [its] very absence' (Godelier 2015: 162). A substitute

²⁸ Kabye are the second largest ethno-linguistic group in Togo. They form a society with patrilineal filiation and virilocal residence. The material analysed in this article was collected and produced in 2010 and 2018 in rural areas of Farende. It is compared with empirical elements collected between 2006 and 2008 further south in Kabye country, notably in Lama, where ritual practices differ but show common logic.

²⁹ M.-D. Mouton (1997: 12) emphasises the semantic proximity of these terms with that of substitute.

³⁰ Let us mention the use, within certain societies of the Voltaic cultural area to which the Kabye belong, of recourse to a simulacrum of the dead person during the process of ancestralising the deceased and during mourning rites. Several contributions to the three opuses entitled '*Le deuil et ses rites*' (Systèmes de pensée en Afrique noire 1989, 1991, 1994) report on this.

object can also represent a person who is well and truly present and take upon itself the evils of a patient (Baptandier 1997) in a manner similar to curative sacrificial practices where the body of an animal substitutes for the body of a patient (Dumas-Champion 1978).³¹ A substitute is always *in appearance* an 'ersatz' or a 'simulacrum', i.e. a reinterpreted version of the original. This does not prevent its presence in the rite from being conceived of, in one way or another, as necessary and effective. Certain properties of the substitute may confer on it power of action equivalent or superior to what it represents. This power stems from the context and from the way it is made (Godelier 2015: 163) – as in the emblematic case of relics (Derlon 1997, Albert 2013) – or from its inscription in a particular system of representations of the world – linking, for example, the microcosm to the macrocosm – as in the case of ritual miniatures in Mesoamerica and the Andes (Galinié 1997, Allen 2016). The relevance and the mediating capacity of a substitute therefore reside in the relationship that is thought to exist between the object and its referent (Albert 2013), which may be metonymic, iconic or based on transfer operations (Baptandier 1997). Substitute objects present during rites are often part of the artefacts on which a 'subjectivating thought' is exercised (Fausto & Severi 2014: 10), conferring on them an agency that is understood as an intentionality accompanied by a capacity for action (Monod Becquelin & Vapnarsky 2010).

The substitute we set out to study here is not an object but a child. However, as with objects, the question arises concerning its intentionality. Indeed, its participation in the rite is structurally passive and mute: it does not have to utter a single word and the gestures it has to perform, which are not very elaborate, do not call for any improvisation. Its own intentionality, as well as that of the individual it represents, therefore have to be toned down.³² Its physical presence as

a child counts above all else. We therefore position ourselves, formally speaking, in a configuration opposite to that of figurative objects to which one 'lends voice' so that they become the presence of the absent one (Severi 2009).³³ Nevertheless, we show that the role of the child here is indeed to incarnate the will of the person it represents and that it therefore exercises an agency we refer to as symbolic. In order to make this proposition intelligible, we first have to describe precisely the way the rite of affliction concerned unfolds and to understand which categories of relationship are at stake here. By taking into account certain local representations linked to conjugality and to childhood, it will be possible to grasp the specificities of the symbolic agency for which the child is the medium here.

A problematic relationship with a river spirit

Among Kabye, each person is thought to have had an aquatic existence before their birth as a human being. Every person lived in a pond or a river, in the company of a spouse who corresponds to a water spirit of the opposite sex, named *lmtaadv* ('the water one'). This spirit is thought to have played an important part in the transformation of its spouse into a human baby. It therefore decides to follow a woman until she has sexual intercourse with a man, and then enters her to become one of the 'builders' ('*mayv*') of the child by giving shape to the foetus by kneading it.³⁴ From then on, the spirit becomes the '*wardv*'³⁵ of the person he has shaped, 'the one behind'. It guides the person by promoting good luck, health, a successful career, fertility and

³¹ Other sacrificial operations give rise to various substitutive logics, whether it is a question of adapting prescriptions when choosing the victim, or whether the sacrificial economy places the animal victim in the position of substitute for a deity or a sacrificer (De Heusch 1986, Malamoud 1976).

³² We situate this analysis at a normative level. It may happen that the execution of the rite may be subject to variations linked to childish initiatives.

³³ A situation very different also from that of imitators of the deceased, present in some Voltaic societies, whose task partly consists in carrying the word of the absent person (Lainé 2013).

³⁴ The river of origin and the tutelary ancestor who has 'brought out' the child by passing on its character and physical traits are also referred to as a person's 'builder' or 'creator'. The idea that an ancestor and a water spirit are jointly involved in the constitution of a new human being can be found among the neighbouring Bassar and Tem (Dugast 2009, Adjeoda 2000).

³⁵ The term *wardv* is used in Farende, but in the southern part of Kabye country, where there are different dialects, the word *waydv* is used and is the one most often found in literature about the Kabye. These differences correspond to nuances in pronunciation.

marital happiness. His benevolent attitude is conditioned by regularly receiving sacrificial offerings, which ensure the well-being of the spirit itself. Libations and meat offerings are what enable him to drink, eat and clothe himself (the skin of a sacrificed goat is used as a pagne).

The start of the sacrificial relationship with the spirit begins more or less rapidly according to its demands. Some 'hard-hearted' spirits manifest themselves during childhood by causing faintness and illnesses. In this case, a temporary altar is set up for *wardv* and a minor offering is performed to make the spirit wait. It is only when a person enters the initiatory process marking the passage to adulthood – around the age of eighteen for both girls and boys – that a permanent altar is built in front of the entrance to the room of the person concerned, and that a larger offering will eventually satisfy the spirit. This rite of setting up the altar is normally preceded by a divinatory consultation during which the spirit is asked whether it agrees to 'its person' being initiated. Committing someone to initiation is in effect akin to announcing their future marriage to a human spouse, and *wardv*, as the first spouse, is in a position to refuse. In that case, new attempts will be made to convince it the following year. Ignoring this refusal may result in fainting or death during initiation, which corresponds to a definitive return to the river of origin.

In addition to these configurations that fall within 'normality', certain signs and events in a person's life may indicate that their relationship with their *wardv* is particularly intense and problematic. These signs become manifest as early as intrauterine life and during childhood. The mother, when pregnant, may lose blood. After birth, the baby cries a lot and the umbilical cord does not fall off after a week, which is a sign that the cause of pain is linked to the prenatal world.³⁶ A newborn baby that changes position on its own is also regarded as a warning. Later on, a child who does not sleep in its room at night but outside the house, 'in the grass', or who disappears for a long time with no explanation, is yet again a sign of its difficulty to integrate human society. A person may start screaming or fainting for no appa-

rent reason, especially at a funeral dance, where a change of rhythm makes them dance like a mad person. They then enter into a sort of trance: they are insensitive to pain and do not remember what they have done during this episode.³⁷ Dreaming about being drawn towards the river or drowning are typical. Sterility, inexplicable money losses and professional failure are also regarded as events that can be caused by *wardv*.

During a divinatory consultation made necessary due to any of these events, the spirit asks for a ceremony called 'load the river' (*pɔɔ sɔkɔ*) or 'strike the river' (*pɔɔ mabɔ*) to be organised for it. Other soothsayers are consulted for confirmation of this verdict because the ceremony is costly and dangerous. However, to not perform it would mean running the risk of letting the person go mad. If these disorders occur in a person who has not yet been initiated, the ceremony is performed when the time comes for them to be initiated. The spirit decides when the ceremony is to take place and indicates which gifts it wants to receive on that occasion and what ornaments should adorn the body of 'its person'. This water being is particularly 'difficult'. Its indications therefore have to be scrupulously respected to ensure the positive outcome of the rite.

Preparations

The 'load the river' ritual begins in the house of the person's father. A soothsayer, helped by one or two of his assistants, leads the proceedings. The first step is to get the water spirit to come and to agree to take part in the ceremony, which can be tricky because of its fickle nature.³⁸ The soothsayer ascertains its good will by using cowries or by making the spirit speak through his own mouth. His main interlocutor is the father of the beneficiary of the rite. He explains to the spirit all the things that have been gathered together to satisfy it and he apologises for what they have not managed to find. The spirit often proves to be fickle, threatening to leave, repeatedly asking if its 'horse is there' so that it can 'mount it'. It speaks of the ram as being the main

³⁶ Among Beng of the Ivory Coast, the newborn is considered to still belong to the prenatal world until the umbilical cord falls off (Gottlieb 2004: 83).

³⁷ 'When there are people around you, you don't see them, you feel alone', explained a man who had had to undergo these ceremonies.

³⁸ In Lama, to ensure the spirit's participation, care is sometimes taken to carry out a few divinatory consultations spread over several weeks before the ritual takes place.

offering to it. After having been told several times that its nice big horse of the requested colour is there, it finally agrees to stay.

The beginning of the procedure implies that the beneficiary of the rite, called 'pɔɔtɔv' (the one from the river), is seated on a stool. One has to wait for the spirit to 'have some fun' (*leyuu*) with its person by 'shaking' (*ñam*) them in a sort of trance: it makes them get up to go in direction of the river. This 'fun' is reciprocated here because it denotes just as much to the way the spirit takes part in the ritual as it does to the way the person who is going to enter into a trance takes part in it. To make the spirit come, the latter is told that its person wants to 'have fun on the stool' with it. However, the fun is not the same for the two parties: the spirit plays with the person's body, the latter surrendering themselves to its *wardɔv*'s good will. Here, the idea of fun therefore refers jointly to the mastery (of the spirit) and the submission (of the beneficiary of the rite).

To please the spirit, the inside of the house and the body of 'its person' are made attractive. A ritual assistant called *kpɛmɔ* is in charge of this task. They themselves must have undergone this ceremony in the past and be of the same sex as the recipient of the rite. Once *pɔɔtɔv* sits down on the stool, *kpɛmɔ* draws red and grey dots on their joints from their ankles to their forehead using vegetable-based powders diluted with water taken from the spirit's river of origin. Then they throw a mixture of rice, yam and bean cake coated in red palm oil, which spirits particularly appreciate, in several directions across the house's courtyard. They bestow on *pɔɔtɔv* the requested donations and ornaments. They make *pɔɔtɔv* hold in their right hand the rope to which the ram is tied and the tail of an ox. Two hens, tied together by the legs, are attached to *pɔɔtɔv*'s left hand or hung from their shoulder. Depending on the spirit's demands, a guinea fowl and/or a swallow may be added to the poultry. An aquatic animal (toad, fish) reminiscent of *wardɔv*'s original environment may also be required, as well as an insect (cricket, ant-lion larva). A red band – a colour much appreciated by spirits and associated with the invisible world – is tied around *pɔɔtɔv*'s head, and a collar is placed around their neck. They wear a woven pagne on which cowries (pre-colonial currency) have sometimes been sewn. This 'loading' of the body with objects

referred to as 'things of the river' (*pɔɔ wɔndu*) corresponds to the name given to the rite: 'load the river'. Sacrificial animals, whose colour is always chosen by the spirit, often present rare physical features. The required ornaments, foods and non-domestic animals are also very stringent demands compared to those of other invisible entities or even of a *wardɔv* in another context. This testifies to the spirit's difficult character.³⁹

At this preparatory stage of the rite, a prepubescent boy must be seated next to the beneficiary of the ceremony. Barechested, he wears a red hat on his head and holds an iron spear in his right hand (**fig. 1**).⁴⁰ When *pɔɔtɔv* is a woman, this child represents her husband. The latter must absolutely not attend the ceremony. Indeed, the human husband is the spirit's 'rival' and his presence would prevent the spirit from coming. Do not forget that prior to coming into the world, everyone has a relationship of a conjugal nature with their spirit. And the spirit's jealousy towards the human spouse is one of the main reasons why *wardɔv* causes problems in the person's life. When the beneficiary of the rite is a man, yet again it is a boy who accompanies him. While some interlocutors say that the boy is like the wife of the man concerned, others believe that he is merely a companion. In any case, there is a strong parallelism between the female and male versions of the rite.

The race to the river

Once the beneficiary of the rite has been dressed up and is accompanied, their father and maternal uncle come to say a prayer in front of them,⁴¹ expressing the wish that the rite goes

³⁹ Among Bassar, where great similarities can be seen in rituals dedicated to the river spirit, the latter also appears to be very capricious: 'scorning banality, [it] always requires special treatment' (Dugast 2009: 174). There are numerous points of comparison with Bassar; for this analysis, we mention only the most decisive ones.

⁴⁰ It happens that the child who occupies this position is a 'little brother' of the beneficiary of the rite, but ideally the child lives at the house of a 'friend' of the beneficiary's father. This friend (*cew*) occupies an official position as the father's representative in different ritual contexts. They act as an intermediary between the father and other participants.

⁴¹ The maternal uncle must always bear witness to the ceremonies that concern his nephew or niece by playing a more or less important role in them. Patrification is counterbalanced by a strong sense of belonging to uterine kin-

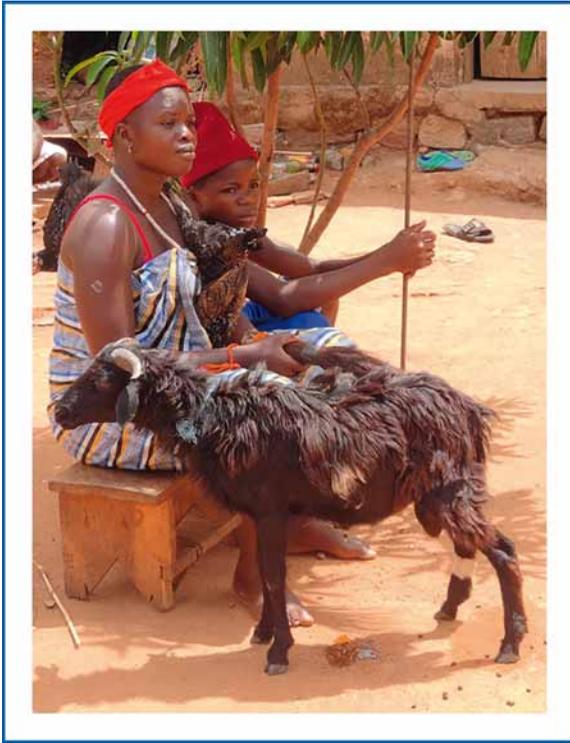


Figure 1 : *Pɔɔtɔ* and the child-spouse

well, that their child will 'find rest' and that their head will be freed of the problem tormenting them. Then the soothsayer and his assistants start playing drums and make the iron head of a hatchet ring out close to *pɔɔtɔ*'s ears.⁴² The women present start singing. In a song recorded during a rite carried out for a woman, they enjoin *pɔɔtɔ* to go in search of the spirit-spouse: 'I will follow you/My little sister go/Yes go, yes go/You must follow your husband/I want to follow your husband/I want to go out to look for your husband/They say you are looking for him? They say he jumps [and you don't meet him]/Go on! Go on! Go on! (...)'

The soothsayer then sometimes makes the patient inhale a product which, together with the surrounding noise, makes the patient go into a trance. This is interpreted as being due to the *wardɔ* that is going to come to 'lift' this person.

ship, which is reaffirmed in ritual practices and daily life, indicating a matrilineal inflection of the filiation system.

⁴² The expression 'strike the river', which refers to this rite, comes from the use of percussion.

The latter then begins to tremble, sometimes moaning as if crying. The movement of the wings of the hens and defecation by the ram announce that the person is about to stand up. When the ram sets off in direction of the river, the person follows it, barefooted, with a more or less staggering, relatively rapid gait, trotting or running along. A group of companions follow them: the child-spouse, the soothsayer and his assistants, the maternal uncle and the father (or representatives), and *kɛmɔ* who carries on their head a large basin containing the objects necessary to pursue the rite. Young men capable of running fast accompany the group. They are there to prevent *pɔɔtɔ* from plunging into the river (often several kilometres away from the ceremonial house) and from drowning should they be led there in their trance. Drownings have actually occurred several times, as evidenced by the graves found near certain sections of the river.

In most cases, the wanderings of the beneficiary of the rite do not lead them to their river of origin. They end up fainting on the way at the place chosen by the spirit to receive the sacrifice of the hens and the ram.⁴³ This fainting is less dangerous than plunging into the river but is described nevertheless as a form of death. The unconscious person now finds themselves spiritually in the river. Some ritual leaders believe that, on falling down, the unconscious person should not come into direct contact with the earth since this would be like falling into the water. 'They may not wake up again.' They must be caught, laid down on a mat and then revived. *Kɛmɔ* then approaches them at ear level to call them by their 'great name', the name the person had when they lived in the water, which was revealed during previous divination consultations (**fig. 2**). To help them regain consciousness, they may also be told: 'Come on! Your father's house is burning!' If they are slow to come to their senses, the soothsayer blows something into their nostrils to help revive them. In Lama, it happens that the person's fingers and feet are

⁴³ The use of drums, the trance stage and fainting are not always necessary. It is when *wardɔ* is particularly 'hard-hearted' that this is necessary. In simpler cases, *pɔɔtɔ* simply follows the ram as it takes them out of the house under the spirit's influence, and sacrifices are offered at the place where the animal stops.

sucked to get the soul to return to the body (Cridel 1967:84) in a similar way to what is done to the body of a newborn baby who is about to die because it is drawing its last 'breath'.⁴⁴ According to some people, 'a distant cry heard in their chest' is a sign that they are waking up. When the person has awoken but is still shaky, several people from their close circle come to ensure that they have fully recovered by asking them: 'Do you recognise me? What is my name?'

One or several hens can be killed, along with the ram⁴⁵ once the sacrificial area has been marked out. Two stones found on the spot, placed one on top of the other, serve as an altar. The soothsayer plants the child-spouse's spear vertically just beside it, the tip pointing skywards. *Kpɛmɔ* throws a mixture of rice and bean cake around *pɔɔtɔ*. Positioned in front of the altar, the beneficiary's father then holds a calabash full of water drawn from the river of origin. He addresses *wandɔ*: he is pleased that the ceremony is going smoothly and hopes that the spirit contributes to his child's well-being. He pours a little water on the stones of the altar and gets *pɔɔtɔ* to drink from the calabash. The birds' throats are slit and then *pɔɔtɔ* is made to seem to sit on the ram three times, thus identifying the person with the animal, before the ram's throat is slit.⁴⁶

⁴⁴ Faced with the urgency of bringing back the child, women and clairvoyants are brought back from the neighbourhood and work together to 'call' the child. The women sound the iron head of an axe and bang on a piece of calabash, while an elderly man says to the child: 'Stranger, what did we say about you for you to leave us?' Or: 'Our father [our mother if it is a girl], you came to us. What happened to you for you to run away?' The clairvoyants bring their mouths close to one of the baby's toes, to its chest and to its fontanel (sometimes to the nape of its neck or nostrils) and suck so that the breath 'rises' in the child and the soul re-enters its body.

⁴⁵ Sometimes the birds die on the way to the river. This is interpreted as the slaughtering of the animals by the impatient spirit.

⁴⁶ In the south of Kabye country, the association between the animal victims and the beneficiary of the rite is made via another form of contact with the latter's body. *Pɔɔtɔ* holds the hens on their head and presses on them until they die by suffocation, which is interpreted as the spirit itself slaughtering them. Then the animal is held by the legs and passed over the person's body before having its throat slit. This handling is part of the process of 'loading' the person's body with 'things from the river'. It also consists in 'unloading'



Figure 2 : *Kpɛmɔ* calls the person by their great name

Capturing the spirit

When the entire animal has been cut up, *kpɛmɔ* places a basin not far from the altar into which they pour water drawn from the river of origin. The soothsayer sometimes adds a product that makes the water turn grey and opaque. *Pɔɔtɔ* stands in this basin, the tail of the ox in their hand. When fainting takes place near the river, it is in this watercourse that *pɔɔtɔ* stands. The basin therefore replaces the river. To attract the spirit, *kpɛmɔ* places some of the same food as before in the water and on the sacrificial area while pronouncing the recipient's name. The soothsayer then

(*svkɔ* means both to load and to unload), by freeing it of its problems. It should be added that the death of the requested 'extraordinary' animals (bird, toad, etc.) often takes place during the trip to the river due to jolts produced by the rapid movements. Their death is understood as being perpetrated by the spirit. Should the animal still be alive on arrival at the place where sacrifices are offered, it is slaughtered in a different way depending on the species and the soothsayer's customs: by slitting its throat, by crushing it or by suffocating it; by roasting it on the spot; or by pretending to feed it to the person, then throwing it or impaling it on a stake left beside the altar.

approaches, carrying two bunches of locust bean tree leaves, which he plunges into the water and moves about. He rubs the person's legs with the leaves (he also sometimes rubs them over their head, chest and back), plunges the leaves again into the water – he may gently whip *pɔɔtv*'s body with them –, plunges the leaves in again near their feet, then begins to twist the two bunches together in the water. He continues this gesture for a long time out of the water until an assistant cuts the bunch of leaves in half. The leaves are put back into the water from which the soothsayer eventually extracts a thin five-centimetre-long helical iron rod. He then ties hen feathers along the rod with string so that they cover it completely and then cuts off the ends of the feathers. This rod is presented as being a snake which the soothsayer has turned into iron and whose head and tail have been cut off. The snake is caught in the water, squeezed between the leaves and kneaded until it becomes an iron rod. This snake and the object into which it is transformed is described as representing the spirit. It is called *ekpare*, which also commonly refers to a small spear with hooks on it.

Pɔɔtv and the child-spouse then sit side by side on a mat, still not far from the altar. One after the other, they eat the mixture of rice and bean cake according to a special procedure which consists in eating alternately with the palms of their hands and the backs of their hands. Everyone then returns to the house where the *ekpare* object undergoes a new treatment. The soothsayer puts it into a pot that closes with a lid, then a hen and a guinea fowl are sacrificed over it. From now on *pɔɔtv* has to make regular sacrifices on this new personal altar in order to stay healthy, to maintain good fortune and wealth. 'That becomes the life of the person', one officiant explained. Indeed, this object becomes a sort of extension of the person that materialises their intense bond with their river of origin.⁴⁷ Failure to respect the spirit's demands concerning the sacrifices to be offered up to him on this altar means exposing

oneself to problems similar to those encountered previously: 'You dream that you are being strangled: if you are a woman you no longer become pregnant; if you are a man you become impotent.' The spirit has therefore been mastered but still has a strong hold over its person.

The role of the child-spouse in ritual warfare

The role of the child during the ritual phase that has just been described is seemingly reduced to very little. It is a discreet presence next to the recipient; it has to be content with following the movement and eating certain foods in a timely manner. However, the spear it carries over the entire distance its travels and which is planted next to the altar situated 'on the way' is a sign of what this rite is all about. It was when I asked an officiant about the presence of this spear that an essential aspect of the rite was pointed out to me: '*Wardv* comes with violence: there are wars between it and people who are there'. If we consider this rite through its violent aspects, we realise that in fact it stages a confrontation between the spirit and *pɔɔtv*'s close circle. This rite is regarded as being risky because, despite the many divinatory negotiations that precede its execution, the spirit remains unpredictable and can take advantage of the rite to take the life of its spouse. 'This day is dangerous. It causes death!' warns a soothsayer. Moreover, the anxiety in the close circle is palpable throughout the procedure.

In fact, the rite also implies that humans deceive the spirit and behave violently towards it by capturing the snake, *ekpare*, whereby one can assume that the latter represents the spirit's aggressive part. Its identity as a venomous animal and the fact that the second meaning of *ekpare* refers to a weapon with hooks is in keeping with this.⁴⁸ The soothsayer and *pɔɔtv*'s close circle lead this fight, but the presence of the child-spouse carrying a weapon provides a better understanding of who actually opposes the spirit during this rite. Rivalry is primarily between the spirit and the human spouse. A study of ceremonies that are still conducted following the capture

⁴⁷ In Lama, the altar is conceived of differently but is presented as the place where, from now on, the person 'breathes'. A stone is taken from the river of origin and placed in a clay plate, which is covered by another plate. The two utensils are stuck together with clay and four holes are drilled in the top plate, representing the four cardinal points. The destruction of this object, the uttering of a vow of misfortune before it, the pouring of dirty or burning hot water on it causes illness or madness in the person.

⁴⁸ *Wardv* is described as a catfish by R. Verdier (1962) and B. W. Karma (1973). They also refer to a snake that appears to be a terrestrial manifestation of the fish. The association of the fish with the spirit recalls the Dogon representations of human fertility (Griaule 1955).

of *ekpare* provides insight into how this rivalry is dealt with in the rite.⁴⁹

When market day arrives, *pɔɔtu* and the child go there and show themselves, both seated on a mat. The child's spear is planted in front of them. Then, if the beneficiary of the rite is a woman – only this configuration will be considered, they go to her human husband's house so that she may return to his house.⁵⁰ As a sign of welcome, sorghum beer is offered to them and to their companions. When everyone has had a drink, the child puts its red hat on the floor, and the inhabitants of the husband's house set about dismissing it abruptly: 'How dare they pretend to be her husband?' Then the real husband is brought to the woman's side and he is told: 'This is your wife, we have carried out the ceremonies for her: now all will be well between you.' A calabash is filled with beer and they both drink at the same time from this container, thus performing the typical ritual gesture of reconciliation in Kabye country: '*Ekp̄ar̄e* divided husband and wife, the ceremony reconciles them, explained a house elder.

Though the child represents the human spouse in the first phase of the rite, it is obvious in this second phase, when the former is dismissed abruptly, that it represents the spirit. By virtue of its prepubescent status, the child can therefore alternately symbolise the two sides of conjugality between which the beneficiary of the rite is torn⁵¹. To be more precise, in both phases of the rite, the child represents an illegitimate conjugality, which is considered first from the point of view of the spirit and then from the point of view of humans. In the first phase where the spirit is allowed to be the master of the game and to take possession of the wife, the human spouse appears to be illegitimate and must in no case show themselves. During the second phase, it is the spirit who is illegitimate: it has received all the gifts it asked for and its deleterious part has been captu-

red and mastered by the people. It must no longer seek to interfere in human conjugality. The child who is sent away thus represents a wish to make a claim over conjugality which is no longer relevant. In the course of the rite, the child therefore materialises the shift from the human husband's conjugal illegitimacy to the spirit of the river.⁵² The presence of the child-spouse therefore makes it possible to stage an action about a dual relationship of conjugality while avoiding a direct confrontation between the rivals, since such a confrontation would signal the failure of the rite.

The relevance of the choice of the child

Why does a child have to occupy this position? My interlocutors mentioned the idea of a form of neutrality of the child in relation to the adult human spouse: the child has no reason to be seen as a rival by the spirit since it is not mature (*p̄iv*). However, a visit among the neighbouring Bassar can provide an interesting hypothesis. Here we find representations very similar to the Kabye's regarding everyone's attachment to a river spirit that is regarded as a prenatal spouse. They share this idea of a conjugality that gradually changes from a relationship with a spirit to a relationship with a human being (Dugast 2009). Among these neighbours, no child intervenes in rites intended for the spirit but, on the other hand, river spirits are explicitly compared to children: 'these little beings, it is said, are like children playing in the sand'; their susceptibility, their greed and their jealousy are those shown by 'the most difficult of very young children' (Dugast 2009: 169). Moreover, it is noteworthy that, in this society, children's games stage the replacement of the prenatal spouse by a child who is chosen as a 'play fiancé'

⁴⁹ I was not able to attend these ritual sequences since they were not organised in the cases I observed because practices have slackened. I became aware of this during discussions with ritual leaders.

⁵⁰ Bear in mind that the woman lives at her father's house during the ceremonies.

⁵¹ Let us note that during Bassar rites dedicated to river spirits, it is only the spirit (and not the human spouse) who is represented by a third person – in this case by an adult (Dugast, personal communication).

⁵² An episode of the rite, as organised in Lama, is consistent with this interpretation in terms of marital illegitimacy. There, an adult plays an accompanying role comparable to the one played by the child: wearing a red hat and equipped with an axe, he is the one who holds the ram's rope. When the rite is organised for a woman, this man is a 'brother of the fiancé', and therefore a potential spouse. According to B. Cridel, while the beneficiary of the rite is being prepared, this man 'goes forward to drink with bobo [*pɔɔtu*] from the same calabash. This is a symbolic gesture. The boy drinking from the same calabash as bobo tries to take the girl (emele halo). The tiu [soothswayer] intervenes by hitting the boy and by telling the girl to be careful' (Cridel 1967: 83). This sequence condenses several aspects of the role played elsewhere by the child: the human spouse substitute appears as a 'wife thief' by making a gesture, which in Farende marks the encounter of the legitimate spouses and the eviction of the impostor.

(*ibid.*), placing the child in a surrogate position in relation to the spirit, pending an adult fiancé to replace them in turn.

This comparison leads to the hypothesis that if a child has to represent a problematic conjugality in Kabye rites, it is no doubt because of a proximity between children and these spirits, which would not be explicitly stated but which would be embedded in the rite through the presence of the child-spouse. The systematically masculine identity of the child, regardless of the sex of the beneficiary, could be linked to the bellicose nature of the rite, since 'war' is traditionally reserved for men.

Conclusion

With it belonging to the world of humans but remaining symbolically linked to the world of the river spirit, the child appears to be capable of representing conjugality from both perspectives: aquatic and human. It provides the possibility of dealing with a dual conjugal relationship when the rival poles of this relationship must not be brought together. Thus, it 'pragmatically actualises' the spirit and the human spouse, to 'become an internal perspective of the ritual'.⁵³ Through its discreet figurative presence, it renders tangible the double perspective that is at stake in the rite.

Of all the participants in the rite, the child-substitute is the most passive in the sense that the ritual framework does not imply that it actively communicates – especially through speech – with the other human and non-human participants. One might think that this minor place in terms of interactions would go hand in hand with a minor role regarding the meaning of the child presence.⁵⁴ However, this silence is articulated with symbolic agency that lends an important

“The presence of the child conveys the warlike intentions of the two poles of conjugality that it successively represents, and the absence of speech seems to translate the rejected illegitimate status that shifts from one of these poles to the other via the figure of the child.”

interpretative key to the ritual. The presence of the child conveys the warlike intentions of the two poles of conjugality that it successively represents, and the absence of speech seems to translate the rejected illegitimate status that shifts from one of these poles to the other via the figure of the child. If the child's participation is required, it is because the

child represents the world of childhood, understood here as the place where everything begins and as the transitory place of the conjugal experience. Its transitional position makes it a relevant symbolic operator to represent and to contribute to achieving the statutory repositioning of the members of the conjugal triad, in the rite. It is in this respect that it is an effective substitute.

The study of the role played by the child-spouse in the rite of affliction analysed here therefore shows that children's agency in ritual and religious practices is not only manifested through voluntary acts that the youngest can perform. It can also derive from the realm of the symbolic, and its exploration therefore leads to an appreciation of the – sometimes crucial – role played by the categories 'childhood' and 'children' in the ways of thinking that shape rites.

The study of the role played by the child-spouse in the rite of affliction analysed here therefore shows that children's agency in ritual and religious practices is not only manifested through voluntary acts that the youngest can perform. It can also derive from the realm of the symbolic, and its exploration therefore leads to an appreciation of the – sometimes crucial – role played by the categories 'childhood' and 'children' in the ways of thinking that shape rites.

Acknowledgements

I would like to thank the Fyssen Foundation for its support and the team of the Laboratory of Social and Cultural Anthropology of the University of Liège for welcoming me. This research was also made possible thanks to funding from the Institut des Mondes Africains. Particular thanks go to Elodie Razy for her supervision and her lavish intellectual collaboration and to Marie Campigotto for our stimulating exchanges. I would like to thank all my Kabye interlocutors for their help and kindness, and in particular Manzama-Esso Assimti for his unfailing collaboration. This text benefited from the comments of Stéphan Dugast and Elodie Razy.

⁵³ I borrowed these words from C. Fausto and I. Penoni (2014: 32) who studied the 'key' role of a Kuikuro (Brazil) mortuary effigy in a relational configuration with several opposing terms.

⁵⁴ One may also think, on another level, that the child's silence is linked to the idea used among Kabye according to

which, generally speaking, 'children know nothing about ceremonies'.

Usage des langues dans la salle de classe en contexte plurilingue : politique linguistique, pratiques concrètes et idéologies langagières à Bungoma, Kenya

Nathaniel GERNEZ

Jeune chercheur, Laboratoire d'Ethnologie et de Sociologie Comparative UMR-7186

Résumé

L'école en contexte plurilingue est un espace de socialisation langagière, au centre de nombreux enjeux parfois contradictoires : que ce soit la mise en œuvre des politiques linguistiques, la nécessité de transmettre un savoir ou encore la volonté d'acquérir des compétences qui permettent une évolution sociale. Tous ces facteurs alimentent des pratiques langagières spécifiques, souvent bien distinctes de celles du quotidien, mais qui contribuent fortement à façonner les représentations des langues et de leur statut. Cet article propose une approche ethnographique des pratiques plurilingues dans une école primaire de l'ouest du Kenya. À partir de la description et de l'analyse des choix linguistiques lors d'une leçon de maternelle sur les formes, nous interrogerons la façon dont les pratiques des instituteurs et des élèves composent avec la politique linguistique et les idéologies langagières.

Mots-clés

Plurilinguisme, éducation, pratiques langagières, politique linguistique, Kenya

Language use in the classroom in a multilingual context: linguistic policy, actual practices and language ideologies in Bungoma, Kenya

Abstract

In multilingual settings, the school is a space for different and sometimes conflicting implications, be it the implementation of linguistic policies, the duty to transmit knowledge or the desire to acquire skills allowing for social mobility. Each of these variables fosters specific language practices which can differ greatly from the everyday uses, and which may highly influence language attitudes and status. This article presents an ethnographic approach to multilingual practices at a primary school in western Kenya. Starting from the description and analysis of language choices during a nursery lesson on shapes, I will investigate the ways teachers' and pupils' practices contend with language policy and language ideologies.

Keywords

Multilingualism, education, language practices, linguistic policy, Kenya

Introduction

En Afrique de l'Est, le contraste des politiques linguistiques mises en œuvre aux indépendances, témoigne de la diversité des situations de plurilinguisme. Alors que la Tanzanie a fondé son unité nationale sur le choix du swahili comme langue nationale, au Kenya, l'anglais fut choisi comme langue officielle parce qu'il représentait la langue internationale du commerce et de la réussite. Le swahili, pourtant désigné comme langue nationale, restait assimilé dans les esprits à la colonisation et aux rapports de domination. Progressivement, le statut du swahili a changé, de par son importance pour le commerce en Afrique de l'Est, son poids politique dans l'Union East Africaine et la diffusion de la musique et du cinéma tanzanien en swahili. Ainsi, en 2010, lorsque le Kenya s'est doté d'une nouvelle constitution, le swahili est devenu la deuxième langue officielle du pays. Du point de vue des politiques éducatives, le Kenya se démarque également des Etats voisins par la possibilité qu'il offre d'enseigner les trois premières années de l'école primaire dans la « langue de la circonscription ». Les langues locales peuvent donc être employées pour enseigner jusqu'en troisième année du primaire. Puis l'anglais devient la langue d'instruction de la quatrième année du primaire jusqu'à l'université. Le swahili est principalement utilisé dans le cadre de l'enseignement de la langue, de la grammaire et de la littérature swahilie.

Alors que le swahili et l'anglais sont cités explicitement, les langues locales sont désignées par l'expression « langue de la circonscription » qui maintient une certaine ambiguïté. En effet, la loi s'abstient de définir quelle serait la langue de chaque circonscription. D'ailleurs il y en a souvent plusieurs. Il revient donc au corps enseignant et aux parents d'élèves, parfois guidés par l'administration locale, de choisir s'il faut privilégier la langue parlée à la maison, celle parlée dans la rue, celle de l'intercompréhension maximale, le swahili ou l'anglais. Or chacun de ces acteurs peut avoir une compréhension différente de ce que l'expression langue de la circonscription signifie (Mose, 2017). Souvent, leur choix de langue d'instruction se trouve influencé par des stratégies éducatives privilégiant les langues officielles : le swahili, et surtout l'anglais qui

représente la langue de la réussite scolaire et sociale.

Le projet de cet article sera donc de questionner les enjeux et les représentations qui sous-tendent l'usage des langues dans la salle de classe, à partir d'une ethnographie des interactions langagières à l'école primaire dans la région de Bungoma,

Je présenterai dans un premier temps une description ethnographique d'un cours de maternelle qui sera l'occasion d'analyser les pratiques langagières de l'institutrice et des élèves. Je mettrai ensuite en relation ces usages avec la politique linguistique kenyane et ses changements officiels. Enfin je m'interrogerai sur les idéologies langagières que ces politiques et ces pratiques véhiculent.

Pratiques langagières à l'école primaire

Une leçon de maternelle sur les formes

Nous sommes au mois de juin 2018 dans une grande salle de classe où une cinquantaine d'enfants sont assis à même le sol. Au-dessus des têtes, les poutres en bois de la charpente accueillent des nids de guêpes, auditrices clandestines des leçons. Face aux élèves, sur toute la largeur du mur, se trouve un tableau noir où figure l'alphabet, les chiffres et les exercices du jour que l'institutrice efface au fur et à mesure. Cette classe en mauvaise condition est celle des maternelles. Comme souvent en Afrique de l'est, le confort dans la salle de classe s'acquiert avec l'âge et le niveau d'étude. Ce cours de maternelle a lieu dans une école primaire située à une dizaine de kilomètres de la ville de Bungoma, une région de l'Ouest du Kenya, frontalière avec l'Ouganda. Depuis la réforme du cursus scolaire mise en application au mois de janvier 2018, l'ECDE (*Early Child Development and Education*), c'est-à-dire l'enseignement de maternelle, est obligatoire et comprend deux années d'enseignement. Dans l'école où nous nous trouvons, les classes de maternelles nommées *Pre Primary 1* et *Pre Primary 2* sont en réalité regroupées en une seule classe où les deux institutrices, Mary et Emily¹, enseignent à tour de rôle et s'entraident pour la correction des exercices.

¹ Pour des raisons d'éthique j'ai décidé de ne pas révéler l'emplacement exact de l'école et j'ai anonymisé les enseignantes.

Mary et Emily possèdent un *Diploma* (2 ans d'enseignement supérieur) en *Early Childhood Education*. Mary a commencé une première année de licence dans cette discipline qu'elle souhaite poursuivre avec des horaires aménagés pendant les mois de vacances scolaires. Elles sont toutes les deux trentenaires et originaires des environs de Bungoma. Mary vit chez ses parents dont la maison et les terres se situent à cinq minutes de l'école. Alors que Emily habite en ville avec son mari et son fils d'un an et demi, qui assiste parfois aux leçons. Toutes deux parlent le *bukusu*, le swahili avec ses variations propres à l'Ouest du Kenya et un anglais courant.

En maternelle, les leçons sont souvent introduites par quelques chansons pour attirer l'attention et la concentration des élèves. Ces chansons sont majoritairement en anglais et parfois en swahili, jamais en *bukusu*. La leçon du jour porte sur les formes : carré, rectangle, triangle, rond, losange, ovale. Les élèves devront ensuite réaliser un exercice : différentes formes sont réparties sur deux colonnes, il faut relier d'un trait les formes semblables. L'institutrice Emily commence par introduire le thème de l'exercice, relier, puis elle enseigne les différentes formes en commençant par le carré. Ce premier moment de la leçon est reproduit ci-dessous. J'ai choisi de regrouper les principales étapes de l'extrait en trois points qui correspondent pour le premier à la présentation de la consigne, pour le deuxième à une explication de l'exercice avec des exemples et pour le troisième à la présentation de la première forme : le carré. Bien évidemment, ce découpage est uniquement analytique l'interaction se déroule dans la continuité et sans rupture. (Pour différencier les langues, l'anglais est en italique et le swahili sans typographie particulière.)

1. (1) Emily : Haya watoto !
Alors les enfants !

(2) Élèves : *Yes Teacher !*

(3) Emily : Tunataka kusoma *matching*.
Tunataka kusoma nini ?
Nous voulons apprendre *matching*.
Qu'est-ce que nous voulons apprendre ?

(4) Élèves : *matching*

(5) Emily : Yani *kumatch*.
C'est-à-dire *matcher*.

2. (6) Emily : Ukichukua *princess* na *kumatch* na *princess*. Ukichukua msichana kuna *kumatch* na mnani ?
Quand tu prends une *princess* et *matcher* avec une *princess*. Quand tu prends une fille il faut la *matcher* avec qui ?

(7) Quelques élèves + Mary : Na msichana.
Avec une fille

(8) Emily : Ukichukua *muwulana* kuna *kumatch* na... ?
Quand tu prends un garçon il faut le *matcher* avec... ?

(9) Quelques élèves : Na *mwulana*.
Avec un garçon.

(10) Emily : Sindiyo watoto ?
N'est-ce pas les enfants ?

(11) Tous les élèves : *Yes teacher !*

3. (12) Emily : Haya nataka kuchora *shapes*.
Sema *square* !
D'accord, je veux dessiner des *shapes*.
Dis *square* !

(13) Élèves : *Square !*

(14) Emily : *Square !*

(15) Élèves : *Square !*

(16) Emily : Hii ni *square*, hii ni nini ?
Ça c'est un *square*, ça c'est quoi ?

(17) Élèves : *Square !*

(18) Emily : Inaitwa *square*, sema *square* !
Ça s'appelle *square*, dis *square* !

(19) Élèves : *Square*

- (20) Emily : *Square* yetu inafanana na nini ?
Notre square il ressemble à quoi ?
- (21) Mary + quelques élèves : Dirisha !
Une fenêtre !
- (22) Emily : Inafanana na nini ?
Il ressemble à quoi ?
- (23) Élèves : Dirisha !
Une fenêtre !
- (24) Emily : Hii *square* yetu inafanana na dirisha, inafanana na nini ?
Ce square à nous il ressemble à une fenêtre, il ressemble à quoi ?
- (25) Élèves : Dirisha !
Une fenêtre !

On remarque tout d'abord que cette leçon est principalement énoncée en swahili et en anglais. Dès la première phrase, l'institutrice attire l'attention des enfants en swahili (1), ceux-ci répondent en anglais « yes teacher » (2). Il s'agit d'une formule énoncée régulièrement, apprise par cœur, que les élèves doivent employer à chaque fois que l'institutrice les interpelle ou leur pose une question fermée (nous y reviendrons). Ayant capté l'attention des élèves, l'institutrice poursuit et introduit l'exercice du jour : tunataka kusoma *matching* 'nous voulons apprendre *matching*' (3). On voit ici que l'emploi du swahili prédomine, à l'exception du mot qui désigne l'exercice et qui se trouve énoncé en anglais : *matching*. Cette première affirmation, est ensuite reformulée sous la forme d'une question dans le but d'amener les élèves à répéter le mot *matching* (3) et (4). Il s'agit d'une technique pédagogique et rhétorique très rependue et très utilisée qui permet de s'assurer que l'auditoire est attentif et impliqué, qu'il répète et qu'il intègre l'argument ou la notion mise en avant. Après deux répétitions du mot *matching*, l'enseignante semble vouloir introduire un élément de clarification. Elle utilise pour ce faire l'expression swahili *yani* 'en fait, c'est-à-dire' (5) puis la construction verbale *kumatch*. Il s'agit d'un mot formé par l'infinifatif en swahili *ku-* et le verbe anglais à l'infinifatif *match*. Cette forme composite, *kumatch* peut être traduite par 'matcher' que l'on entend

également en France. L'introduction de ce terme par l'expression *yani* implique un éclaircissement. Cette forme est-elle mieux comprise par les élèves que son équivalent swahili *kuunganisha* ? Sans aucun doute. Est-elle mieux comprise que le terme anglais *to match*, ou *matching* ? La différence semble assez minime. Pour comprendre *kumatch*, il faut déjà comprendre *match*.

Ce mélange de deux ou plusieurs langues différentes à l'intérieur d'une même phrase ou entre deux séquences discursives peut être identifié comme un *code-switching*². Je ne rentrerai pas ici dans les débats sur les différents essais de modélisations du *code-switching* (voir Myers-Scotton, 1993 ; Meeuwis & Blommaert, 1994 ; Auer, 1998 ; Wei, 2005). Je soulignerai simplement que depuis les travaux de Gumperz et Blom (1972), les changements de langues des locuteurs plurilingues au sein d'une même conversation ou au sein d'une même phrase ne sont plus perçus comme un manque de compétence linguistique, mais au contraire comme une ressource permettant des stratégies discursives. Ici, le raisonnement de l'institutrice semble être le suivant : le gérondif *matching* lui paraît difficile à comprendre pour les élèves, la forme infinitive *match* serait plus simple. Pour que l'énoncé soit grammatical il faut prononcer *to match*, or l'ajout de ce *to* pourrait également perturber l'identification et la compréhension du mot. D'où le recourt au *code-switching* et au préfixe infinitif swahili *ku-* plus familier des élèves, permettant de focaliser l'attention sur le mot à retenir *match*.

Le deuxième temps, celui de l'explication de l'exercice, présente des caractéristiques qui permettent de renforcer cette hypothèse. En effet, le terme *kumatch* se trouve réitéré plusieurs fois (6) (8) avec des constructions grammaticales différentes. La première occurrence « Quand tu prends une *princess* et matcher avec une *princess* » est aussi problématique grammaticalement dans

² Lorsqu'il s'agit comme ici d'un changement de langue intrasententiel à l'échelle du mot, certains sociolinguistes, comme Carol Myers-Scotton (1993), utilisent le terme *code-mixing*. Je suivrai sur ce point les partisans d'une seule appellation *code-switching* valable pour l'ensemble des changements de langue qu'ils soient intra- ou inter-sententiels, dans la mesure où ils dénotent des enjeux sociaux et indexicaux similaires.

cette traduction littérale que dans l'énoncé en swahili. Le premier verbe conjugué au consécutif, en début de phrase, appelle un deuxième verbe conjugué et non un infinitif. Dans la phrase qui suit directement ce premier exemple, elle rectifie sa tournure en utilisant l'auxiliaire avoir sous la forme de la locution verbale *kuna* 'il y a' associée à *kumatch* littéralement 'il y a à matcher', 'il faut matcher'. Les exemples suivants seront construits avec cette formulation. On perçoit dès lors que l'institutrice adapte la formulation de ses phrases afin de maintenir le terme *kumatch* sous cette forme infinitive. Ces efforts soulignent l'importance de préserver intacte cette construction qui peut être considérée comme un compromis pour que les élèves comprennent plus facilement, mais qu'ils intègrent tout de même le mot *match* en anglais. On notera d'ailleurs que l'institutrice ne demande pas aux élèves de répéter *kumatch*. En ce qui concerne l'usage des langues dans les exemples qu'elle donne, le swahili prédomine à l'exception du terme « *princess* » (6) qui fait partie de ces mots anglais bien plus connus au Kenya que leur traduction en swahili.

Le troisième temps constitue le moment de la leçon à proprement parler. Ici on remarque un emploi très ponctuel de l'anglais qui correspond chaque fois aux notions clés à enseigner : le sujet du jour *shapes* 'les formes' (12), et la première forme en question *square* 'le carré' (12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20). Hormis ces éléments clés de la leçon, l'énoncé est entièrement développé en swahili, y compris lorsque l'institutrice associe le carré à un objet concret présent dans la classe : la fenêtre (20, 21, 22, 23, 24, 25). Les nombreuses répétitions du mot *square* et *dirisha* soulignent l'importance de l'écoute, la prononciation et la répétition du mot à enseigner dans les techniques pédagogiques de l'enseignante. Ainsi, les notions qu'il faut impérativement intégrer sont répétées à plusieurs reprises : *matching*, *shapes*, *square*, *dirisha*. Ce dernier mot est le seul à être en swahili. Pourquoi ce changement ? On peut penser que le fait de lier une forme abstraite à un objet concret, le carré à une fenêtre, fait partie intégrante de la leçon, mais s'apparente à un exemple. D'ailleurs, à la différence des autres termes, le mot *dirisha* ne sera pas inscrit au tableau. Le tableau et le recours à l'écrit semblent donc jouer un rôle dans les choix linguistiques des enseignants.

L'influence de l'écrit, du tableau et des conceptions locales de la communication sur le choix des langues

Mes observations en maternelle ainsi que dans d'autres classes de différents niveaux du primaire montrent qu'il y a une corrélation entre l'écrit et l'usage de l'anglais. Ce qui est noté au tableau l'est toujours en anglais (cf **figure 1**). Cette habitude vient peut-être du parcours scolaire des enseignants, qui ont dû utiliser l'anglais dès qu'il s'agissait d'écrire, notamment lors des examens. Il est également possible que l'anglais et l'écriture au tableau soient fortement associés, dans la mesure où ce qui y figure sera recopié par les élèves dans leurs cahiers. Ces derniers pourront ainsi être consultés par les parents ou par les inspecteurs. Il y aurait donc une pression sociale pour que ce contenu soit exclusivement en anglais. Quoiqu'il en soit, cet usage de l'anglais au tableau influence en retour la pratique orale et le choix des langues au moment de la leçon. Le tableau semble ainsi départager ce qui doit absolument être noté et enseigné en anglais, de ce qui peut se dire et se transmettre en swahili.

Un parallèle peut être dressé entre l'usage de l'anglais au tableau et l'expression « *yes teacher* ». Pour rappel, les élèves doivent prononcer ces mots en réponse à une question ou à une interpellation de l'institutrice, que celle-ci s'adresse à eux en anglais ou en swahili. Cet usage répétitif, stéréotypé de l'anglais montre qu'il est attendu des élèves qu'ils s'adressent en anglais à l'institutrice, même sous la forme d'une phrase courte apprise par cœur. En s'appuyant sur les travaux dirigés par Sandra Bornand et Jean Derive (2018) sur les canons du discours, on peut considérer que les règles implicites qui régissent l'idéal de performance lorsqu'un élève répond à un instituteur dans la salle de classe sont les suivantes : 1) il doit répondre directement et exclusivement à la question posée par l'enseignant 2) il doit le faire en anglais. Pour les plus jeunes enfants on pourrait ajouter 3) la réponse doit être courte et affirmative. Ainsi la formule « *yes teacher* » se rapproche très fortement du modèle idéal. Bien entendu, toutes les occurrences ne concordent pas nécessairement aux exigences de ce modèle, bien souvent par manque d'assurance en anglais, les élèves du primaire répondent en swahili. Ces réponses sont acceptées par les enseignants mais ne déclenchent pas



Figure 1 : Salle de classe des maternelles lors d'un cours donné par Mary le 11 mai 2018. Au tableau de gauche à droite on distingue « numbers » et une suite de nombres, l'exercice du jour « pattern » (des lignes d'écriture), la distinction entre d et b, vowels and sounds suivi des lettres de l'alphabet.

la même approbation qu'une réponse en anglais. Parler juste lorsqu'un élève répond à un instituteur pendant la leçon, c'est avant tout parler en anglais.

Le troisième point que je viens de mentionner, à savoir que les jeunes enfants doivent faire des phrases courtes et affirmative, nécessite quelques explications. Les travaux dans le champs de la socialisation langagière (Ochs, 1988 ; Schieffelin, 1990) ont montré l'importance de prendre en considération les représentations locales concernant la communication des enfants pour comprendre les processus d'apprentissage et d'enseignement. En Afrique de l'Est, l'âge joue un grand rôle dans l'acquisition du statut social. Aussi, il n'est pas attendu que les enfants parlent longuement et interrogent les adultes. Ce sont principalement les adultes qui s'adressent à eux

pour leur poser des questions ou leur donner des tâches à exécuter. Aussi, l'interaction des enfants avec les adultes se compose la plupart du temps d'acquiescement et des réponses courtes. Cette conception locale de la communication n'est pas étrangère à l'école. Nous avons pu le voir, l'institutrice fait principalement répéter des mots courts. De plus lorsqu'elle interroge les élèves, elle le fait principalement dans le cadre d'un exercice à résoudre au tableau. Ils sont donc principalement incités à acquiescer en anglais, répéter des mots-clés le plus souvent en anglais, avant d'effectuer un exercice écrit.

Un incident imprévu

Après la leçon, lorsque les élèves s'adonnent justement à l'exécution de l'exercice, un incident survient dans la classe. En effet, une élève se sent mal et vomit par terre. Tous se retournent. Emily

s'adresse alors au frère de la petite fille, en bukusu cette fois : « Fred muyile engo, aulile ? ! Akhakona khungila ta » 'Fred accompagne la à la maison, tu entends ? ! Et qu'elle ne s'endorme pas en chemin.' Dans cette situation Fred ne répond pas « *yes teacher* », il se contente d'obéir en silence. L'irruption de la maladie et des vomissements pendant le cours, modifie le contexte. L'enseignement des formes cède le pas à la gestion d'une crise ou du moins d'une perturbation de la classe. Pour cela le choix de la langue se fonde principalement sur la capacité qu'aura l'énonciataire à comprendre et exécuter rapidement la consigne. Le choix du bukusu pour s'occuper de cette situation urgente témoigne donc de son efficacité et de la spontanéité de son usage. Il atteste également d'un important degré de compréhension par les élèves.

Cet événement imprévu éclaire sous un nouveau jour les usages des langues et leurs statuts. L'intrusion de cet accident inattendu crée une parenthèse dans la situation d'enseignement, il n'est plus question d'enseigner en swahili ou en anglais, l'institutrice prend directement en charge l'incident en bukusu. Nous l'avons vu, le swahili et l'anglais sont associés à l'interaction dans la salle de classe, cet incident révèle que leur usage est également fortement circonscrit par la situation d'enseignement. En dehors de ce contexte, le bukusu s'emploie volontiers et très spontanément, y compris dans la salle de classe.

Les pratiques langagières des enseignants et des élèves dans la salle de classe, se révèlent donc plus influencées par les enjeux sociaux liés aux représentations sur le statut des langues et sur la communication des enfants que par la politique linguistique officielle. Ces représentations correspondent à la notion d'idéologie langagière développée par l'anthropologie linguistique (Silverstein, 1979 ; Irvine, 1989 ; Schieffelin *et al.*, 1998 ; Irvine, Gal, 2000). Paul Kroskrity (2004, p. 497) en propose la définition suivante : « ensemble de croyances diverses, qu'elles soient

implicites ou explicites, utilisées par les locuteurs de tout types comme modèles pour construire des évaluations linguistiques et participer à des activités de communication »³. Il s'agit des représentations partagées sur le statut social des langues, leur hiérarchisation et leur légitimité en fonction des contextes. Les locuteurs utilisent les langues

à partir de ces représentations et leur pratiques langagières peuvent retranscrire une idéologie langagière implicite.

De ce point de vue, les idéologies langagières seraient donc plus influentes sur les pratiques des instituteurs que les injonctions politiques. Pour pouvoir pleinement prendre la mesure de cette hypothèse, il faut d'abord considérer les changements officiels de la politique linguistique.

Glissement silencieux de la politique linguistique et idéologies langagières

Vers une délégitimation de l'usage des langues locales comme langue d'instruction

Depuis 1976 des circulaires soulignent régulièrement l'importance d'acquérir les enseignements de base en langue maternelle afin de transférer par la suite ces compétences dans la deuxième langue, l'anglais. Toutefois, le discours des autorités locales semble s'inscrire dans un changement progressif de politique linguistique qui se dessine sur le terrain plus que par des décrets officiels. Les enseignants de l'école primaire à Bungoma, m'ont expliqué qu'il y a encore trois ans ils dispensaient quelques cours de bukusu pour les petites classes. L'administration locale leur a depuis fortement déconseillé d'enseigner et d'employer le bukusu à l'école. Selon eux il ne serait pas profitable pour les

³ "set of diverse beliefs, however implicit or explicit they may be, used by speakers of all types as models for constructing linguistic evaluations and engaging in communicative activity."

élèves de les mettre d'avantage au contact du bukusu, une langue déjà suffisamment parlée à la maison. Au contraire, placer entre leurs mains des manuels en swahili et en anglais, même s'ils ne comprennent pas forcément ces langues, permettrait de leur assurer une meilleure réussite scolaire.

Ce discours des autorités locales véhicule une idéologie langagière très répandue : l'acquisition de la langue cible, celle qui est valorisée socialement (l'anglais, le swahili), dépendrait de la mise en contact de l'élève avec cette langue. À l'inverse le contact prolongé avec la langue locale, socialement moins prestigieuse, serait néfaste et représenterait le principal obstacle à l'acquisition des compétences scolaires et des autres langues⁴. Il me semble que ces deux aspects découlent d'une collusion fortuite entre l'influence de l'apprentissage par immersion en matière de pédagogie et une représentation fortement répandue qui considère que les langues « ça s'attrape ». Cette expression est rapportée par Monica Heller (1990) dans un article sur l'apprentissage par immersion. Il s'agit de la façon dont les francophones canadiens considèrent l'apprentissage de l'anglais. À l'instar d'une maladie, la transmission d'une langue « s'attraperait » par une mise en contact prolongée. Plus l'élève serait mis en contact avec l'anglais plus il aurait de chances de l'attraper. Cette vision est problématique à plus d'un titre, mais surtout parce qu'elle passe sous silence la réalité des efforts cognitifs nécessaires pour acquérir une langue. Même dans le cadre de l'enseignement immersif, de nombreux procédés pédagogiques doivent être mis en places pour enseigner une langue, notamment l'usage de la multimodalité, des gestes, des expressions faciales, l'appropriation de l'espace, l'utilisation d'objets et d'instruments, la réalisation de tâches concrètes et l'insistance sur l'observation (Carol, 2008). De plus, comme le souligne M. Heller (1990, p. 74) ces programmes reposent sur le présupposé qu'« il est possible de recréer au sein

de l'école des situations authentiques d'apprentissage des langues à l'image de ce qui se produit en situation de contact linguistique. »⁵ [tda]. Or, les résultats que nous avons obtenus montrent que l'usage des langues dans la salle de classe à Bungoma, ne correspondent pas à un usage authentique de l'anglais et du swahili tels qu'ils se pratiquent dans la société, au contraire, il s'agit d'un usage particulier de ces langues lié et circonscrit au contexte et à l'activité d'enseignement.

Pratiques concrètes et idéologies langagières

La pratique des langues à l'école se trouve donc aussi influencée par les injonctions en matière de politique linguistique. Toutefois, il ne s'agit pas de la politique officielle, mais d'un changement officieux manifeste par les consignes des autorités locales. Ce changement s'aperçoit également par la très large diffusion d'un nouveau manuel scolaire *Tusome Program*, concernant pour l'instant les trois premières années du primaire, et qui offre aux instituteurs un guide pas à pas, jour après jour, pour enseigner les différentes matières. Ces manuels proposent un enseignement en anglais.

Pourtant, les pratiques concrètes des instituteurs ne se calquent pas uniquement sur ces nouvelles injonctions. Il est vrai que sous la pression de l'administration locale, le bukusu n'est plus enseigné, mais il reste utilisé en dehors du contexte pédagogique ou de la situation d'enseignement, que ce soit entre les instituteurs ainsi qu'entre les instituteurs et les élèves pour des questions qui ne sont pas relatives à l'enseignement. Le bukusu n'est donc pas totalement délégitimé. L'usage de la langue locale dans des situations non marquées, plus informelles que celle de la salle de classe ou pour la gestion d'affaires courantes indépendantes du cours, l'associe aux pratiques du quotidien, plus spontanées mais bien distinctes des enjeux pédagogiques. Cet usage libre, en dehors des cours, renforce par contraste l'association du swahili et de l'anglais à la situation d'enseignement. Malgré la réforme constitutionnelle et le nouveau

⁴ J'ai constaté ce même discours chez les instituteurs de la région d'Iringa en Tanzanie qui associent automatiquement les problèmes scolaires des élèves à la prédominance de la langue locale à la maison. Dans un tout autre contexte mais toujours en milieu scolaire, Leonie Cornips (2018), lors d'une communication à Leiden, remarque une attitude similaire envers le dialecte du Limburg et le néerlandais standard.

⁵ "it is possible to create within the school the kinds of authentic language learning situations people run into in language contact situations".

statut du swahili comme langue officielle, l'anglais demeure la langue la plus prestigieuse, associées aux notions clés du cours, à l'écrit, au tableau, aux énoncés des exercices et des examens. Toutefois, le swahili est beaucoup plus employé que l'anglais, pour tout ce qui a trait à l'oralité et à la situation d'enseignement : les apartés, les exemples, les explications, la correction des exercices, la gestion des cahiers, les questions de discipline. Et ce, au moins jusqu'à la cinquième année du primaire. Le swahili est donc mis en avant comme une langue plus usuelle, plus familière et plus adaptée à la transmission des connaissances.

En procédant de la sorte, les enseignants manifestent une approche de l'acquisition des langues conforme à la politique linguistique officielle. En effet, s'ils utilisent le swahili en lieu et place du bukusu, leur pratique prolongée du swahili en

parallèle à l'anglais indique une volonté de transmettre d'abord les enseignements de base dans la langue la plus familière pour permettre ensuite aux élèves de transférer leurs acquis vers la langue cible, l'anglais.

Enfin, il nous semble que l'idéologie langagière implicite aux pratiques plurilingues des enseignants correspond en partie aux usages et aux représentations des langues dans la région de Bungoma. En effet, Bungoma a bénéficié d'une plus large diffusion du swahili que d'autres régions du pays, où l'anglais prédomine en tant que deuxième langue. Cette diffusion du swahili s'explique par sa situation géographique frontalière de l'Ouganda et son positionnement sur la ligne de chemin de fer. En effet, la création à la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e de la ligne de chemin de fer qui devait relier la côte kenyane à l'Ouganda a fortement influencé la répartition



Figure 2 : Après les cours de la matinée, les élèves boivent une tasse de porridge devant leur salle de classe, en attendant de rentrer chez eux.

des terres l'établissement des colons (Jedwab et al. 2017). En tant que dernier arrêt avant la frontière, Bungoma devint un petit centre de commerce où le swahili fut employé pour communiquer avec les marchands et les employés. Lorsque le transport par voie ferrée a périclité après l'indé-

pendance, supplanté par les infrastructures routières, Bungoma a perduré comme une étape commerciale importante aux abords de la frontière.

La place importante du swahili dans les pratiques langagières du quotidien influence donc les représentations des instituteurs qui utilisent

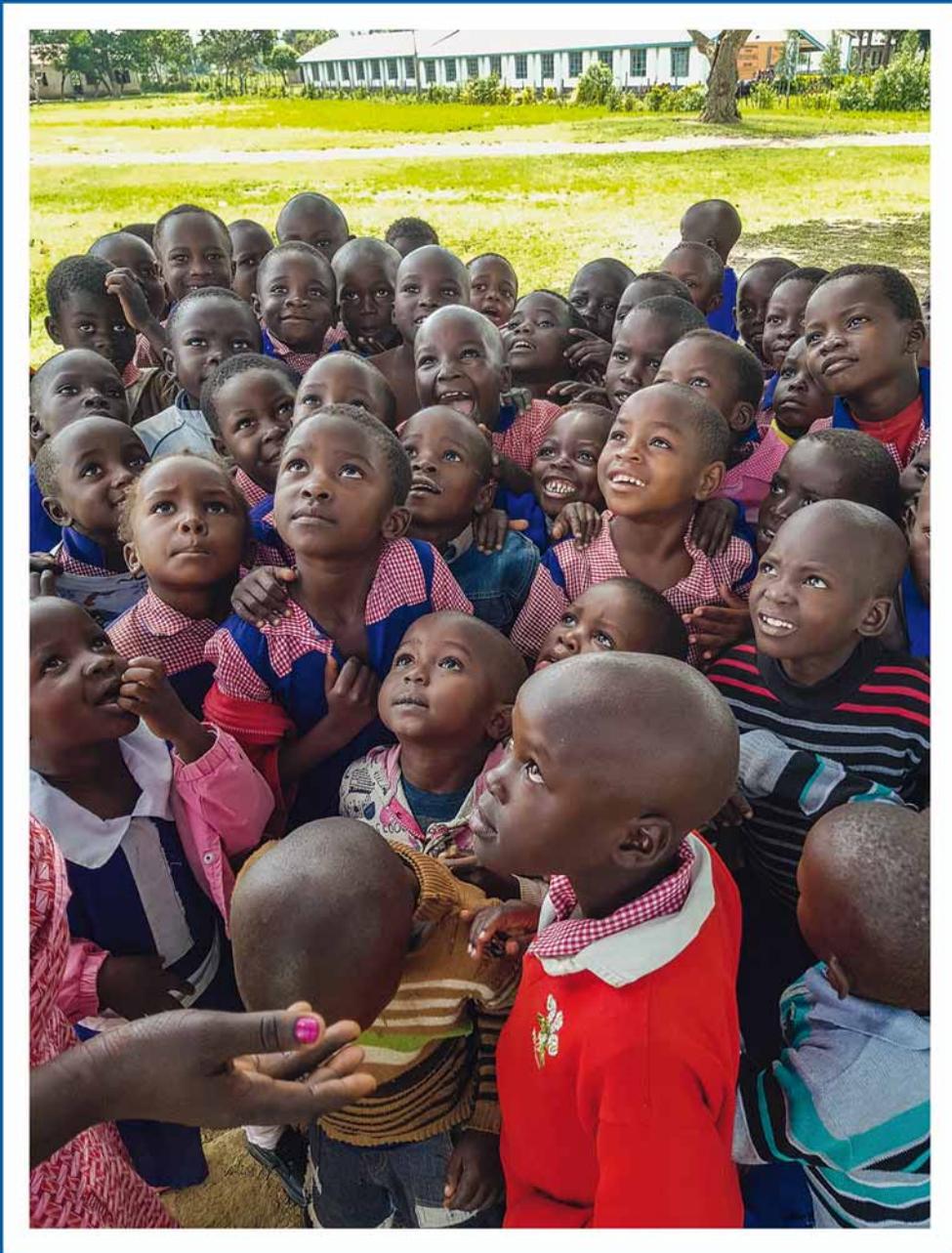


Figure 3 : Les élèves de maternelle réunis autour de l'institutrice qui leur montre les images que je viens de filmer. Ils cherchent à se reconnaître et commentent en utilisant le swahili et le bukusu.

le swahili comme langue de l'intercompréhension et comme un intermédiaire à privilégier avant d'aborder l'anglais, qui est perçue comme une langue prestigieuse difficile à acquérir.

Conclusion

L'observation des pratiques langagières dans la salle de classe révèle une dichotomie entre un usage de l'anglais strictement limité aux notions clefs répétées puis inscrites au tableau, et un usage prédominant du swahili à l'oral pour les explications et l'énonciation des consignes. Parallèlement à cela, nous avons vu que les règles implicites qui régissent la façon de s'exprimer la plus appropriée pour un élève dans la situation d'enseignement favorisent l'usage de l'anglais. Et ce, même s'il s'agit d'une courte phrase stéréotypée.

Le prestige de l'anglais et l'usage prédominant du swahili se trouvent toutefois limités à la situation d'enseignement. L'apparition d'un incident imprévu et sa gestion en *bukusu* par l'institutrice montre que dès la mise en parenthèse de la situation d'enseignement, le *bukusu* s'emploie spontanément. Ainsi, la ligne de démarcation entre un usage libre des langues et l'usage restrictif du swahili et de l'anglais, ne se situe pas entre l'intérieur et l'extérieur de l'école (comme le recommande les stages de formation des institutrices⁶), ni même entre la salle de classe et les autres espaces à l'intérieur de l'école (comme ça peut être le cas à Iringa en Tanzanie), mais entre la situation d'enseignement et les autres contextes d'interaction.

Ces pratiques langagières sont influencées, premièrement, par un changement officieux de politique linguistique qui délégitime et qui interdit l'usage du *bukusu* comme langue d'instruction. Ces injonctions s'appuient sur une conception de l'acquisition des langues par exposition qui passe sous silence la réalité des efforts cognitifs nécessaires à l'acquisition des langues. Et, deuxièmement, par les idéologies langagières, c'est-à-dire des représentations des langues et de leur valeur sociale liées aux situations dans lesquelles elles s'emploient, aussi bien à l'échelle nationale que locale. A Bungoma, en plus de la langue locale, le swahili se trouve très utilisé en ville, à l'église ou encore au marché, tandis que

l'anglais se fait plus rare, mais peut s'employer dans des *code-switching*, notamment lorsqu'il s'agit de faire référence à l'éducation et à la vie scolaire.

Les enseignants se plient donc à l'interdiction du *bukusu*, toutefois, leurs représentations des langues et de la didactique semblent correspondre davantage aux préconisations de la loi de 1976. Ainsi, ils considèrent le swahili comme une langue familière des élèves qui leur permettra d'acquérir des connaissances et des compétences transférables ultérieurement en anglais.

Remerciements

Je tiens à remercier vivement la Fondation Fyssen pour son soutien et pour m'avoir permis de réaliser ce terrain de recherche au Kenya et de travailler mes données à Leiden entouré de chercheurs africanistes et sociolinguistes. Aussi, je suis également extrêmement reconnaissant à l'African Studies Centre Leiden de m'avoir accueilli. Je souhaite faire part de ma plus profonde gratitude à Maarten Mous pour ses conseils avisés, ainsi qu'aux membres du Leiden University Centre for Linguistics et tout particulièrement Felix Ameka, Maarten Kossmann, Simanique Moody et Maria del Carmen Parafita Couto. Mes remerciements vont également aux chercheurs kenyans qui ont accepté de discuter de mes travaux et de partager avec moi leur vision des enjeux linguistiques à l'école : Kimani Njogu, Timmamy Rayya, Daniel Sifuna et Peter Wekesa Wafula. Enfin, je remercie tout particulièrement le directeur et les enseignants de l'école primaire, pour leur confiance et pour m'avoir ouvert leur porte.

Bibliographie

- Auer Peter (Dir.). 1998. *Code-switching in conversation: language, interaction and identity*. London: Routledge.
- Bornand, Sandra et Jean Derive (dir.). 2018. *Les canons du discours et la langue : Parler juste*. Paris : Karthala.
- Carol, Rita. 2008. « Langue et cognition : Apprendre les concepts de couleur et de taille en classe d'immersion à l'école maternelle. » *ELA. Etudes de linguistique appliquée*, 151 (3), p. 315-326.
- Gumperz John J. et Jan-Petter Blom. 1972. "Social Meaning in Linguistic Structures: Code Switching in Northern Norway", In Gumperz J.J., Hymes D.H. (Dir.), *Directions in sociolinguistics*:

⁶ Kimani Njogu communication personnelle

the ethnography of communication, New York: Blackwell, p. 407-434.

- Heller Monica. 1990. "French immersion in Canada: A model for Switzerland?". *Multilingua*, 9, p. 67-86.

- Irvine Judith T. 1989. "When Talk Isn't Cheap: Language and Political Economy". *American Ethnologist*, 16, p. 248-267.

- Irvine Judith T. et Susan Gal. 2000. "Language Ideology and Linguistic Differentiation". In Kroskity P.V. (Dir.), *Regimes of language: ideologies, politics, and identities*. Santa Fe: School of American Research Press, p. 35-83.

- Jedwab Remi, Edward Kerby et Alexander Moradi. 2017. "History, Path Dependence and Development: Evidence From Colonial Railways, Settlers and Cities in Kenya". *The Economic Journal*, 127 (603), p. 1467-1494.

- Kroskity Paul V. 2004: "Language Ideologies", in Duranti A. (Dir.), *A companion to linguistic anthropology*. Malden: Wiley-Blackwell, p. 496-517.

- Meeuwis Michael et Jan Blommaert. 1994. "The "Markedness Model" and the absence of society: Remarks on codeswitching". *Multilingua: Journal of Cross-Cultural and Interlanguage Communication*, 13 (4) p. 387-423.

- Mose Peter N. 2017. "Language-in-Education Policy in Kenya: Intention, Interpretation, Implementation". *Nordic Journal of African Studies*, 26 (3), p. 215-230.

- Myers-Scotton Carole. 1993. *Social motivations for codeswitching: evidence from Africa*. Oxford: Clarendon Press.

- Ochs Elinor. 1988. *Culture and language development*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Schieffelin Bambi B. 1990. *The give and take of everyday life*. New York: Cambridge University Press.

- Schieffelin Bambi B., Kathryn Woolard et Paul Kroskity (Dir.). 1998. *Language ideologies: practice and theory*. New York: Oxford University Press.

- Silverstein Michael. 1979. "Language structure and linguistic ideology". In Clyne P.R., Hanks W.F. et Hofbauer C.L. (Dir.), *The Elements, a Parasession on Linguistic Units and Levels: Including Papers from the Conference on Non-Slavic Languages of the USSR*, April 18,

1979, Chicago: Chicago Linguistic Society, p. 193-247.

- Wei Li. 2005. "How can you tell?". *Journal of Pragmatics*, 37 (3), p. 375-389.

Introduction

The differences of linguistic policies implemented in East Africa during independences, account for the diversity of multilingual contexts. While Tanzania built its national unity by choosing Swahili as a national language, Kenya chose English as an official language because it represented the language of international business and social success. While Swahili in Kenya was chosen as national language, it remained closely associated with British colonization. With time Swahili status started to change along with its rise as an important medium for business in East Africa, its political status in the East African Union along with the spread of Tanzanian music and cinema in Swahili. Hence in 2010, with the new constitution of Kenya, Swahili became the second official language of the country. Concerning education policies, Kenya differs from neighboring state by offering the possibility to teach the three first years of primary school in «the language of the catchment area». Local languages can then be used to teach up to the third year of primary education, then it is English for the rest of the curriculum. Swahili is mostly used while teaching Swahili language and literature.

While Swahili and English are explicitly named in the policy, local languages are alluded to under the category "language of the catchment area" which maintains an ambiguity. Indeed, the policy does not specify which is the language of each catchment area. In fact there may be several languages in one catchment area. The teachers and pupils' parents, sometime directed by the local authorities, are left to decide which language should be chosen: the language spoken at home, the language spoken in the street, the one of mutual understanding, Swahili or English. Except each of these group may have a different understanding of the meaning behind "language of the catchment area" (Mose, 2017). Their choices regarding language of instruction is often influenced by strategies that favors official languages: Swahili and above all

English which represent both social and academic achievements.

The aim of this paper will be to question the attitudes and implications behind language uses in the classroom, based on an ethnography of interaction and plurilingual practices in a primary school of Bungoma Region.

First I will present an ethnographic description of a nursery lesson that will allow me to analyze teachers 'and pupils' language choices. Then I will link these uses with Kenyan linguistic policy and its unofficial changes. At last I will question the language ideologies conveyed by both policies and practices.

Language uses in a primary school

A nursery lesson on shapes

We are in June 2018, in a large classroom where about fifty children are sitting on the floor. Above their head the woodwork is housing wasps, secretly listening to the teachings. In front of the pupils, a blackboard is covering all the wall's width. Written on the blackboard, the letters, numbers and exercises are progressively erased by the teacher to make space for new content. This classroom in harsh condition is used for nursery. It is not unusual in East Africa to see comfort in the classroom improve along with age and education level. This nursery lesson happens in a primary school located at 10 km from Bungoma town, in Kenya Western region, nearby the boarder with Uganda.

Since the implementation of the new curriculum in January 2018, the ECDE (Early Child Development and Education), meaning nursery, is now mandatory and include only two years named *Pre Primary 1* (PP1) and *Pre Primary 2* (PP2). In this particular school PP1 and PP2 are in fact regrouped in only one class where the two teachers, Mary and Emily⁷, help each other in teaching and correcting the exercises.

Mary and Emily both have a *Diploma* (a 2 years college cursus) on Early Childhood Education. Mary has already started a degree in the same field and she wishes to continue studying for it during school breaks. They are both in their thirties and coming from the surroundings of

Bungoma. Mary lives with her parents five minutes away from the school, while Emily lives in town with her husband and her one and a half year old son, who sometimes attends the lessons. They both speak Bukusu, Swahili – with typical Western Kenya variations – and common English.

In nursery, lessons often starts with a few songs to draw children's attention and focus. These songs are predominantly in English and sometime in Swahili, never in Bukusu. Today's lesson is about shapes: square, rectangle, triangle, circle, oval. After a short introduction to the lesson, pupils have to complete an exercise: different shapes are drawn in two different columns and they have to draw a line between the shapes that are identical. Emily start by introducing the theme of the exercise, then she teaches the different forms starting with square.

This first moment of the lesson is reproduced below. I chose to distinguish three steps during the interaction: the first one is a presentation of the instructions for the exercise, the second one is an explanation of the exercise through examples and the third one is a presentation of the first shape: square. Of course this division is only for analysis purpose, the interaction happens without any discontinuity. (In order to differentiate languages English is in Italic and Swahili without any particular typography)

4. (1) Emily: Haya watoto!
So children!
- (2) Élèves: *Yes Teacher!*
- (3) Emily: Tunataka kusoma *matching*.
Tunataka kusoma nini?
We want to learn matching. What do we want to learn?
- (4) Élèves: *matching*
- (5) Emily: Yani kumatch.
That is kumatch.
5. (6) Emily: Ukichukua *princess* na *kumatch* na *princess*. Ukichukua msichana kuna *kumatch* na mnani?
Once you take princess then kumatch

⁷ For ethical reasons I decided not to provide the exact location of the school and I anonymized the teachers.

- with princess. Once you take a girl there is kumatch with who?
- (7) Some pupils+ Mary: Na musichana.
With a girl
- (8) Emily: Ukichukua muvulana kuna *kumatch* na...?
Once you take a boy there is kumatch with...?
- (9) Quelques élèves: Na mvulana.
With a boy
- (10) Emily: Sindiyo watoto?
Isn't it children?
- (11) Tous les élèves: *Yes teacher!*
- (12) Emily: Haya nataka kuchora *shapes*.
Sema *square!*
Ok I want to draw shapes. Say square!
- (13) Élèves: *Square!*
- (14) Emily: *Square!*
- (15) Élèves: *Square!*
- (16) Emily: Hii ni *square*, hii ni nini?
This is a square, what is this?
- (17) Élèves: *Square!*
- (18) Emily: Inaitwa *square*, sema *square!*
It is called square, say square!
- (19) Élèves: *Square*
- (20) Emily: *Square* yetu inafanana na nini?
Our square looks like what?
- (21) Mary + quelques élèves: Dirisha!
A window!
- (22) Emily: Inafanana na nini?
It looks like what?
- (23) Élèves: Dirisha!
A window!
- (24) Emily: Hii *square* yetu inafanana na dirisha, inafanana na nini?
Our square looks like a window, it looks like what?
- (25) Élèves: Dirisha!
A window!

First we can notice that Swahili and English are predominant in this interaction. With the first sentence, the teacher wants to draw children's attention. She does so in Swahili (1), but they answer in English "yes teacher" (2). The sentence "yes teacher" is known by heart and frequently uttered each time the teacher call out to them or ask them a closed ended question (we will get back to this). Succeeding in drawing children's attention, the teacher continues and introduce today's exercise: 'tunataka kusome matching' 'we want to learn *matching*' (3). Here we can see that she uses mostly Swahili except for the world naming the type of exercise they have to do: *matching*. This first affirmative sentence is then reproduced as a question leading children to repeat the world *matching* (3 and 4). It is a rhetorical and educational strategy very widely spread and used in order to make sure an audience is focused and involved in the speech event. In this context it is also a way to make pupils repeat and thus learn the stressed notions or words. After repeating the word '*matching*' two times, the teacher wishes to introduce a new element of explanation. To do so, she uses the Swahili term *yani* 'as a matter of fact, it means' (5) then the verb *kumatch*. It is a term built with the swahili infinitive prefix 'ku-' and the English infinitive form '*match*'. In French we could translate this composed form by the term '*matcher*' which is also built with the English verb a French infinitive morpheme. Introducing this term by '*yani*' she implies an explanation. Is this form better understood by pupils than its Swahili counterpart *kuunganisha*? Without any doubt. Is it better understood than the English to *match* or *matching*? The difference seems minimal. To

understand *kumatch* one already has to understand 'match'.

This use of two or more languages inside a same sentence or between two speech sequences can be identified as code-switching. I won't enter here in the debates regarding the different models on code-switching (see Myers-Scotton, 1993; Meeuwis & Blommaert, 1994; Auer, 1998; Wei, 2005). I just wish to underline that since Gumperz and Blom (1972) influential work, language changes of multilingual speakers during an interaction or inside a sentence, are not perceived as a lack of proficiency anymore, but as a skill allowing different interactional moves.

Here the teacher seems to think that the form matching will be less easily understood by pupils than the infinitive to match. However adding 'to' could also alter the identification of the word and its understanding. Hence the use of a code-switching and the Swahili infinitive prefix *ku-* for its familiarity, allowing to focus children's attention on the word they have to catch and learn: match.

The second part, where she explains the exercise, also contains some clues leading toward this analysis. Here the term *kumatch* is uttered several times (6) (8) each time in a different way. The first utterance "Once you take a princess then to match [*kumatch*] with princess" is not grammatically correct in the original Swahili as well as in the English translation. At the beginning of the sentence, the first verb's tense is consecutive, it calls for a second verb conjugated with the future or the present tense, not an infinitive. In the sentence that follows directly she rectifies her syntax by using the locution *kuna* "there is", *kuna kumatch* "there is to match". She then use this construction throughout the other examples. What can be noticed here, is that she adapts her way of speaking in order to preserve the use of the form *kumatch*. All these efforts underline the need to maintain a lexical innovation that seems to be some kind of a compromise in order to facilitate children understanding and learning of the word 'match' in English. It should also be underlined that the teacher does not ask the pupils to repeat *kumatch* this time, probably because she feels it is not a totally appropriate term. Concerning language use in the examples we just talked about Swahili is predominant, only "princess" is in English. This word is understood by children because it belongs to the very com-

monly known English word in Kenya. These words are even more frequently used and therefore more frequently known than their swahili counterparts.

In the third part of this interaction Emily is teaching the first shape: square. Here English is only very punctually used, but each time it is used, it underlines a key notion of the lesson: the subject 'shapes' (12) and the first shape 'square' (12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20). Except for these keywords, the speech is entirely in Swahili, even when the teacher points to a concrete example of square: the classroom windows (20, 21, 22, 23, 24, 25). The several repetitions of the words square and *dirisha* underline the importance of listening, pronouncing and repeating words in the educational views of the teacher. Hence, the fundamental notions that has to be known are repeated several times: *matching*, *shapes*, *square*, *dirisha*. This last word is the only of the list to be uttered in Swahili. Why this change? It is possible that comparing an abstract shape to a concrete object, the square and a window, is part of the lesson but is more of an example. Unlike the other words, 'dirisha' is not written on the blackboard. This division between, on the one hand, English key words written on the blackboard and on the other hand, Swahili word as concrete example not written on the blackboard hints towards a connection between what is written or not on the blackboard and teachers' language choices.

Local views on communication and language choice

What I observed in nursery as well as in other classrooms of different levels in that primary school shows a correlation between what is written and what is said in English. What is on the blackboard is always written in English (cf **figure 1**). This habit may come from teachers' education and the fact that they had to use English each time they had to write, especially during exams. It is also possible that English and writing are strongly linked because what is written on the blackboard will be copied on pupils' notebooks and then read by the parents later. It would mean that there is a social pressure for this content to be exclusively in English. Anyway this use of English on the blackboard induce speech practices and language choices during the lesson. Writings on the blackboard seem to draw the line between what has to be said and written in



Figure 1: Nursery classroom during a lesson given by Mary on may 11th 2018. On the blackboard from left to right one can see the word “numbers” and a string of numbers. The exercise of the day “pattern”. a ‘d’ and a ‘b’ are drawn to distinguish them. “Vowels” and “sounds” followed by the alphabet.

English and what can be said and taught in Swahili.

A parallel can be drawn between the use of English on the blackboard and the utterance “yes teacher”. Children has to utter these words when answering a question from the teacher , whether the latter uses English or Swahili. This reiteration of a fix formula in English shows that it is expected from the children that they should use English while speaking with the teacher, even if it is through a short sentence known by heart. An approached based on the work directed by Sandra Bornand and Jean Derive (2018) on discourse canons, allow us to consider the implicit rules regarding the ideal of performance corresponding to a pupil adressng a teacher in the classroom: 1) He should answer directly and exclusively to question asked by the teacher 2) he

should do so in English. And for the youngest we may add that 3) the answer should be short and affirmative. Hence the formula “yes teacher” is very close from the ideal performance. Of course, many utterances from the pupils do not fit with this ideal model, very often pupils fail to speak exclusively in English and prefer the use of Swahili. These answers are understood and allowed by teachers but they do not produce the same level of approval than an answer in English. “Parler juste” when a pupil answers a teacher during the lesson, is above all speaking in English.

The third point I just mentioned, the fact that children must use short and affirmative sentences call for some explanation. Researches in the field of language socialization (Ochs, 1988: Schieffelin, 1990) showed the need to take into

consideration local conceptions of children's communication in order to understand the processes of learning and teaching. In East Africa, age plays a great part in climbing the ladder of social status. Hence it is not expected that children hold the floor, speak for a long time or ask questions to adults. It is mostly adults who address children to ask questions or to give them household chores to do. Thus interactions of children towards adults is often based on agreement and short answers. This local understanding of communication also impact speech at school. It was shown previously that the teacher only ask pupils to repeat short words. When she asks something it is mainly during lessons or exercises. Pupils are then impelled to agree in English, repeat a few keywords, most of the time in English, before doing the written exercise.

An unexpected incident

After the lessons, while children are actually doing the exercise, an incident happens in the classroom. A pupil feels sick and starts vomiting on the floor. Everybody turn around to see her. Emily, the teacher, calls the little girl's brother, using Bukusu this time: "Fred muyile engo, aulile?! Akhakona khungila ta" 'Fred take her home, do you hear? Make sure she doesn't sleep on the way' In such a situation, Fred does not answer "yes teacher", he only obey quietly. The sudden entrance of sickness and vomiting during the lesson modified the context. Teaching of shapes now takes second place behind managing a crisis or at least a disruption of the class. In order to do so language choice depends on the ability of the addressee to understand and execute quickly what has been asked. Choosing Bukusu to deal with this emergency reveals its efficiency and spontaneity. It also attests to its high degree of understanding among children.

This unexpected event shed a new light on language uses and status. The sudden happening of this unexpected accident puts the teaching situation on hold, this is not a question of teaching in Swahili or English, the teacher imme-

diately takes charge of the incident by using Bukusu. It has been showed that Swahili and English are strongly linked with the classroom interaction, this incident reveals that they are also strongly circumscribed to the teaching setting. Out of this setting, Bukusu can be used freely and spontaneously, even in the classroom.

The language practices of teachers and pupils in the classroom, turn out to be more influenced by social implications tied to representations on language status and on children communication than by official linguistic policies. These representations fit into the category of language ideology developed by linguistic anthropology (Silverstein, 1979; Irvine, 1989; Schieffelin *et al.*, 1998; Irvine, Gal, 2000). Paul Kroskrity (2004, p. 497) gives the following definition: "set of diverse beliefs, however implicit or explicit they may be, used by speakers of all types as models for constructing linguistic evaluations and enga-

ging in communicative activity". They are shared representations on the social status of languages, their hierarchical organization and their legitimacy depending on contexts. Speaker language

use is based on these representations and their concrete practices may also denote an implicit language ideology.

Following our argument, language ideologies would be more influent on teachers practices than political injunctions. In order to fully take the measure of this hypothesis, unofficial linguistic policies changes must be taken into consideration.

Language ideologies and the quiet shift of linguistic policies

Toward a delegitimization of local languages as language of instruction

Since 1976 circulars underline the need to learn basic education in the mother tongue allowing the child to later transfer his knowledge in a second language: English. However local

“ The language practices of teachers and pupils in the classroom, turn out to be more influenced by social implications tied to representations on language status and on children communication than by official linguistic policies. ”

authorities position seem to be in line with a progressive change in linguistic policies that appears at the grassroots level rather than through official decrees. Teachers at the primary school near Bungoma explained to me that three years ago they were still teaching some Bukusu classes for nursery and lower primary. Local administration has since strongly advised them to stop teaching in Bukusu and to not even speak it at school. According to them it would not benefit the children to be even more in contact with Bukusu, a language already spoken extensively at home. On the contrary putting between their hands textbooks in Swahili and in English, even if they do not really understand, would ensure their educational success.

Local administration's point of view is based on a very widely spread language ideology: learning of the target language, the one which is socially prestigious (English, Swahili), would be conditioned by the degree of contact the pupil has with this language. On the opposite, extended contact with the local language, socially less prestigious, would be the main obstacle in earning educational skills and learning other languages⁸. I would argue that these two aspects come from both the influence of the immersive approach in teaching languages and a very common conception which considers that one can catch languages "ça s'attrape". This phrase was quoted by Monica Heller (1990) in a paper on immersive pedagogical programs. These words illustrate the way Canadian French speakers consider learning of English. Like one catches a cold or a disease, a language can be "caught" through extended contact. The longer the pupil is in contact with English, the more chances he has to catch it. This view is problematic in different ways, but above all because it silences the reality of the cognitive efforts necessary to master a language. Even in the setting of immersive learning, a lot of pedagogical tools and skills are needed to teach a language, including multimo-

dality: gestures, facial expressions, full use of space, objects, concrete tasks, and observation (Carol, 2008). Moreover, as underlined by M. Heller (1990, p. 74) these program rely on the idea that "it is possible to create within the school the kinds of authentic language learning situations people run into in language contact situations." Except our findings show that language use in the classroom of Bungoma is not nearly similar to an authentic use of Swahili or English in the society. On the contrary, it is a very specific use of these languages tied to the context of the classroom and the activity of teaching.

Language ideologies and concrete uses

Language uses at school are therefore also influenced by linguistic policy, but a rather unofficial one. This unofficial move toward a new view of linguistic policy is manifest through local administration injunctions and the very wide diffusion of new textbooks for lower primary. These new textbooks called the *Tusome Program* give the teacher a day by day, step by step guide for all subjects of the three first years of primary. These textbooks are designed to teach all these subjects in English.

However, teachers concrete practices does not only follow these new injunctions. If it is true that following local administration pressures Bukusu is not taught anymore, it is still very much used out of the pedagogical context or the lesson setting. And this whether it is between teachers or between teachers and pupils for matters that are not related to teaching. Through this use we can see that Bukusu is not totally delegitimized. Use of Bukusu in unmarked situations, more informal than in the classroom, or to deal with day-to-day matters ties it with everyday practices, more spontaneous but clearly distinct from educational issues. This unregulated use of Bukusu outside the classroom and the lessons, increase by contrast the association between Swahili and English on the one hand and the pedagogical setting on the other hand. Despite the new constitution and the status of Swahili as a co-official language, English still remains the most prestigious language linked with the lesson keywords, writing, the blackboard, exercises and exams instructions. But, while English is more prestigious, Swahili is much more use than English in everything that is related to orality and the peda-

⁸ I heard similar ideas about language from teachers in Iringa (Tanzania). They would automatically connect pupil's difficulties at school with the predominant use of the local language at home. In another context, but still at school, Leonie Cornips (2018), explained during a communication at Leiden that she noticed similar attitudes toward Limburg dialect as opposed to Dutch standard.



Figure 2: After a half day of lessons, pupils drink a cup of porridge in front of their classroom waiting to go back home.

gological setting: asides, examples, explanations, corrections and discipline. It is the case at least up to the fifth year of primary. Swahili is hence presented as a more useful language, more familiar and more suitable for passing on knowledge.

Through their language use teachers manifest an approach of language learning in line with the official linguistic policy. While they use Swahili instead of Bukusu, their extended use of Swahili beside English, shows a will to teach basic education in a language more familiar to pupils in order to allow them to later transfer their skills toward the target language, English.

At last it seems that the implicit language ideology behind teachers plurilingual practices match with language uses and representations in Bungoma surroundings. It should be noted that Bungoma benefitted from a deeper spread of Swahili than some of the other regions, where

English is the only second language. This spread of Swahili can be explained by the geographical location of Bungoma near Uganda's border and its position on the railway. As a matter of fact, at the end of nineteenth century and at the beginning of twentieth century development of a railway line from the Kenyan coast to Uganda strongly influenced the division of land and the move of settlers (Jedwab et. al. 2017). Last stop before the Ugandan border, Bungoma grew as a little business center where Swahili was used to communicate with traders and workers. When transport by train declined after independence and was replaced by road infrastructures, Bungoma remained an important place to stop and do business before crossing the border.

The importance of Swahili in everyday language uses influence teacher's representations, in turn they use Swahili as the language of mutual

understanding and as an intermediary before getting to English, which is perceived as prestigious and difficult language to learn.

Conclusion

Observation of language use in the classroom reveals a dichotomy between on the one hand, a use of English strictly limited to keywords that are repeated and written on the blackboard, and on the other hand a predominant oral use of Swahili for explanations and instructions. At the same time, we saw that implicit rules that dictate the most suitable way of speaking for pupils in the teaching context favour English. Even if they only produce a short sentence known by heart.

English prestige and predominant use of Swahili are however limited to the teaching context. An unexpected event and its management in Bukusu by the teacher reveals that once the lesson is put on hold Bukusu can be used spontaneously. Hence the demarcation line between an unregulated use of languages and the restrictive use of Swahili and English is not drawn at the school's door (like training courses recommend⁹), neither at the classroom door (like it is the case at Iringa, Tanzania) but between teaching context and other interactional settings.

These language practices are influenced by an unofficial move of linguistic policy that delegitimized and forbid use of Bukusu as language of instruction. These injunctions are based on an immersive approach of language acquisition that silence the complexity of cognitive efforts needed to master a language. They are also shaped by

language ideologies meaning by representations about languages and their social value tied to their context of use at the national scale as well as the local scale. At Bungoma, along with the local language, Swahili is extensively used in town, at church, or at the market, while English is rare but still used in code-switching, especially when talking about education and school related subjects.

Teachers hence comply with the forbidding of Bukusu, however, their perceptions of languages and teaching seem to be in line with the spirit of 1976's law. They replace Bukusu with Swahili and consider it the more familiar language which may help children to learn basic education before transferring their acquired skills into English.

Acknowledgements

I deeply thank the Fyssen Foundation for its support and for allowing me to undertake research field in Kenya and to work on my data in Leiden surrounded by Africanist researchers and sociolinguists. I also wish to express my gratitude to the African Studies Centre Leiden for hosting me. I am very thankful towards Maarten Mous for his very useful guidance, as well as towards members of Leiden University Centre for Linguistics and more particularly towards Felix Ameka, Maarten Kossmann, Simanique Moody and Maria del Carmen Parafita Couto. Many thanks to the Kenyan researchers who agreed to discuss my researches and share their views on linguistic stakes at school: Kimani Njogu, Timmamy Rayya, Daniel Sifuna and Peter Wekesa Wafula. Last but not least I wish to express my gratitude to the director and the teachers of the primary school for their trust and for opening their doors.

⁹ Kimani Njogu private communication

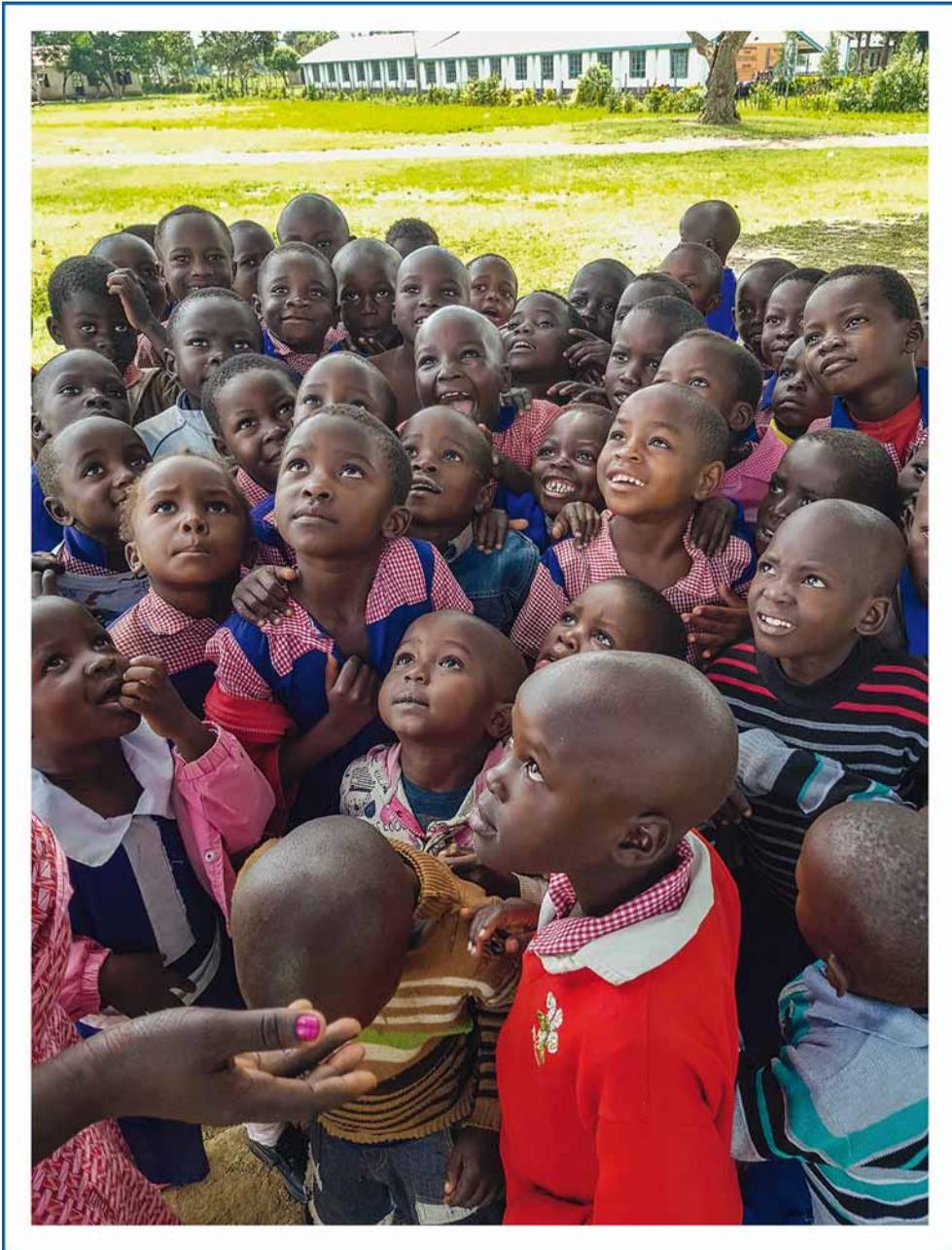


Figure 3. Nursery pupils gathered around the teacher who is showing them the video I just took. They try to recognize one another and comment using Swahili and Bukusu.

Changement linguistique et social différentiel : le rôle de la traduction

Maria KHACHATURYAN

Postdoctoral Researcher ; University of Helsinki

Résumé

Cet article ébauche un modèle de changement linguistique et social suite au contact interlinguistique et interculturel. Dans ce modèle, un rôle majeur est accordé aux domaines de la pratique sociale dans lesquels le contact est le plus intense. Le Christianisme constitue un contexte qui, typiquement suite à la conversion religieuse, implique souvent des contacts linguistiques et culturels dont le vecteur principal est la traduction ecclésiastique. Selon notre hypothèse, du fait que la traduction et le contact peuvent se déployer dans un domaine plus ou moins circonscrit de la pratique habituelle, il résulte que la transformation initiale peut, elle aussi, être circonscrite à des registres spécifiques émergeant suite au contact et aux processus de traduction associés. Dotés d'une valeur sociale indexant l'appartenance à une communauté chrétienne, des propriétés innovatrices de ces registres peuvent alors affecter une variété plus large de répertoires communicatifs, au sein d'une communauté linguistique donnée, mais aussi canaliser une transformation sociale.

Mots-clés

Traduction, contact, Christianisme, pratique, transmission, registre

Differential linguistic and social change: the role of translation

Abstract

This article sketches a model of differential social and linguistic change as a result of interlinguistic and intercultural contact. In this model, specific settings and areas of social practice in which contact is most intense play a major role. One such area is Christian religious practice, which, typically as a result of conversion, often involves linguistic and cultural contact. One of the principal conduits of this contact is translation of church texts. The hypothesis is that since translation and contact may occur in a particular domain of habitual practice, initial transformation may also be circumscribed to particular – in this case, religious – registers which emerge as a result of contact and translation. These innovative registers are endowed with social value, indexing membership in the Christian community. Some features of the registers may affect a broader variety of repertoires used by a given linguistic community, but also channel a social transformation.

Keywords

Translation, contact, Christianity, practice, transmission, register

Introduction

L'objectif de cet article est de réfléchir sur le mécanisme du changement social et linguistique induit par le contact avec un accent particulier sur les spécificités des zones de contact intense, l'innovation et le changement qui s'y produisent, en accordant une attention particulière à l'utilisation de la langue. Je suggère que ces zones de contact sont les principaux sites de changement induit par le contact. De plus, comme les acteurs sociaux habitent généralement plusieurs domaines sociaux avec des pratiques, des discours et des grammaires (au sens linguistique) potentiellement différents, ces zones de contact peuvent devenir des sources de changement supplémentaire, car leurs propriétés peuvent se répandre dans d'autres domaines de la vie sociale, en faisant répandre les effets du contact. Je me concentrerai sur les particularités des registres et des genres. Les registres sont des variétés linguistiques associées, « à l'intérieur d'une culture, à des pratiques sociales particulières et à des personnes qui se livrent à de telles pratiques »¹ (Agha 1999 : 216). Les genres sont des types de textes qui sont écrits dans un registre spécifique, mais qui ont également un contenu thématique et une structure de composition spécifiques (Bakhtin 1986). Le potentiel des registres et des genres de devenir à la fois *sites* et *sources* de changement induit par le contact est au cœur du modèle de *changement linguistique et social différentiel* que je propose dans cet article, en m'appuyant sur plusieurs études de cas en linguistique, anthropologie sociale et anthropologie linguistique. Ces exemples montrent que la langue est transformée par et transforme davantage la réalité sociale, linguistique et non linguistique.

La relation entre la langue, la cognition et la culture présentée dans les écrits fondamentaux de Boas, Sapir et Whorf suscite beaucoup de débats dans la littérature récente (Levinson 2003 ; Regier & Key 2009). En supposant que la langue fournit des classifications d'expérience, qu'il n'y a pas deux langues qui effectuent cette classification exactement de la même manière et

que des classifications différentes obligent les locuteurs à faire attention à des différents aspects du monde qu'ils décrivent, les habitudes expressives peuvent induire des perceptions et des habitudes cognitives spécifiques. Cette affirmation est connue sous le nom de relativité linguistique. Au cours des dernières décennies, la recherche testant l'allégation de la relativité a montré que « si la diversité linguistique est limitée par des facteurs universels, les différences disponibles sont suffisantes pour générer une diversité cognitive »² (Levinson 2012 : xvii).

Le contact linguistique et culturel et le fait que les individus peuvent être exposés à plusieurs systèmes linguistiques potentiellement incommensurables remettent en question le concept de relativité linguistique. En effet, un individu bilingue doit être « pris dans une sorte de parallaxe dans laquelle des contraintes concurrentes rivalisent pour un impact causal sur ses habitudes expressives et perceptives »³ (Hanks & Severi 2014 : 4).

En réalité, la parallaxe de contraintes concurrentes et l'incommensurabilité apparente des systèmes linguistiques et cognitifs sont annulées par des situations réelles de contact. Par exemple, une défense particulièrement vive de la célèbre affirmation de Benjamin Lee Whorf selon laquelle les Hopi n'ont pas la notion du temps *comme nous le connaissons* a été faite par David Dinwoodie (2006). En se concentrant sur l'expérience culturelle du temps et sa genèse chez les Hopi et dans le monde occidental, Dinwoodie analyse une autobiographie en anglais d'un homme Hopi, Don Taleyeva, qui a été publiée à la même époque que l'ouvrage original de Whorf sur Hopi (1942). Au cours de sa vie, Don Taleyeva a été exposé au « temps » hopi et occidental en participant activement à la scolarité missionnaire, au travail agricole salarié et aux activités Hopi « traditionnelles », telles que les rituels d'initiation ou la danse. Son passage d'une temporalité à une autre a été conçu comme des étapes de la vie : plus tard dans la vie, Taleyeva a

¹ Linguistic varieties are associated, "culture internally, with particular social practices and with persons who engage in such practices".

² "[i]f language diversity is constrained by universal factors, the available differences are sufficient to generate cognitive diversity".

³ "caught in a sort of parallax in which competing constraints vie for causal impact on her or his expressive and perceptual habits"

regretté « ses premières incursions enthousiastes dans l'espace et les temps du monde autour »⁴ (Dinwoodie 2006 : 344). Pourtant, cette transition a également été présentée comme transparente et naturelle pour lui, se produisant dans l'espace de quelques jours, alors qu'il passait du champ agricole à l'école résidentielle et aux terres tribales. Ainsi, selon Dinwoodie, un homme Hopi dans les années 1930 et 1940 n'habitait pas un seul cadre de temporalité, mais se déplaçait entre un éventail de cadres, chacun conditionné par des contextes sociaux spécifiques et des types de pratiques sociales – y compris des cadres hautement institutionnalisés, tels que l'école ou église – en réglant son horloge, pour ainsi dire, sans commentaire.

Est-ce à dire que Don Taleyeva maîtrisait parfaitement les cadres temporels occidental et Hopi dans leur forme « pure » ? Sans doute pas. Très probablement, ces temporalités se manifestaient comme des hybrides complexes. Les études néo-whorfiennes en relativité linguistique, après un intérêt initial pour la diversité cognitive chez les (quasi-) monolingues, se sont tournées vers les questions de contact et de changement de langue. Haviland (1998) et surtout Levinson (2003) ont montré que les locuteurs de langues australiennes, comme Guugu Yimithirr, n'expriment presque jamais l'orientation spatiale en termes égocentriques, tels que « gauche » ou « droite », mais plutôt en termes absolus, tels que « nord » ou « sud ». Les spécificités des habitudes expressives induisent des spécificités des habitudes cognitives, en particulier des schémas de mémorisation en termes absolus, qui peuvent être révélés dans des tâches non linguistiques, telles que le calcul de la position dans l'espace ou des expériences de rangement d'objets dans l'espace (l'expérience d'alignement des figurines d'animaux sur une table). Que se passe-t-il alors lorsque les locuteurs de langues où l'orientation dans l'espace est formulée dans des termes absolus sont exposés à des langues à des termes égocentriques ? Un changement de langue intergénérationnel de Gurindji à gurindji kriol (un mélange systématique de gurindji et créole australien, une langue créole à base lexicale anglaise) a été observé dans une communauté linguistique du

nord de l'Australie, montrant que les locuteurs de gurindji kriol expriment des relations spatiales sous forme d'un hybride entre le système absolu du Gurindji et un système relatif (Meakins, Jones & Algy 2015). Surtout, la différence la plus significative dans les modèles cognitifs d'orientation spatiale (la proportion de réponses relatives plutôt qu'absolues) a été révélée chez les locuteurs les plus exposés à l'éducation occidentale et dans un espace à petite échelle (l'expérience susmentionnée « animaux dans une rangée »). En revanche, dans un espace à grande échelle, tous les participants Gurindji ont réalisé des performances similaires, en s'appuyant sur le système Gurindji de points cardinaux. Les auteurs établissent un parallèle entre les expériences sur une table, d'un côté, et la salle de classe, un cadre spatial typique de l'éducation occidentale, d'un autre côté. Cette recherche suggère non seulement que les contacts mènent au changement (ici, par la scolarisation et l'apprentissage d'une langue seconde), mais que le changement est plus visible dans les zones où le contact est le plus intense (un espace à petite échelle typique du milieu scolaire).

Cet article se concentre sur un changement linguistique et social se produisant lors de la conversion au christianisme. Dans ce contexte, la traduction est l'un des principaux conduits du contact et, à ce titre, une pratique qui prévaut sur les postulats de l'incommensurabilité (Hanks & Severi 2014), mais transforme en même temps la langue cible (Hanks 2014). Pour illustrer le modèle différentiel de changement de langue et de culture où le changement se manifeste dans des zones de contact intense et se propage ensuite à d'autres domaines sociaux et linguistiques, j'introduis quatre études de cas de conversion au christianisme.

Avant d'analyser les études de cas, je voudrais m'attarder un peu plus sur le rôle de la traduction dans le processus de changement linguistique et social et sur le rôle du registre et du genre dans la diffusion des effets de ce changement.

Traduction, registre religieux et « trading zone »

Le contact linguistique induit un changement de langue sous la forme d'une *interférence* qui est classiquement définie comme « les cas de déviation des normes linguistiques qui se produisent dans le discours des bilingues en raison de leur

⁴ "his earlier enthusiastic forays in the space and times of the wider world"

familiarité avec plus d'une langue »⁵ (Weinreich 1968 : 1). Quant à la traduction, elle implique toujours des personnes bilingues, qui sont le locus de contact linguistique.

Dans le cas de la traduction accompagnant la conversion au christianisme, l'interférence, au moins au niveau du lexique, est inévitable, puisque la nouvelle religion apporte un tout nouveau système conceptuel. Par l'interférence, se crée un registre religieux spécifique qui, tout en étant suffisamment similaire à la langue cible, a subi des changements substantiels provoqués par une projection (partielle) du système conceptuel et des relations conceptuelles de la langue source à travers des emprunts, des processus néologiques ou d'une création de nouvelles associations sémantiques entre des éléments lexicaux existants. Ce registre religieux peut être comparé aux créoles du commerce qui permettent la communication entre les populations commerçantes « même lorsque la signification des objets échangés – et du commerce lui-même – peut être totalement différente pour les deux côtés »⁶ (Galison 1997 : 803). En effet, les participants d'une rencontre religieuse peuvent attacher des significations différentes aux actions et aux mots d'un rituel religieux⁷. Ce qui compte, c'est une (illusion de) compréhension commune négociée par la création d'un registre religieux (en partie) partagé par les différents participants à la rencontre.

Il est important de noter que la traduction religieuse peut également entraîner de nouvelles structures pragmatiques, telles que l'idéologie du langage (Schieffelin 2007) ou des cadres participatifs (Robbins 2001 ; 2008), ou bien contribuer à un profond changement grammatical (Drinka 2011 ; 2017).

Indexicalité du genre et du registre et propagation du changement linguistique

Dans un contexte ecclésiastique, la traduction se produit dans des textes spécifiques : comme la

Bible ou les prières. Grâce à l'interférence, ces textes et les genres qui y sont associés deviennent imprégnés d'éléments étrangers. Les genres, cependant, sont définis non seulement par leurs caractéristiques formelles, mais aussi par leurs caractéristiques extralinguistiques les liant à des actes de communication situés dans des contextes sociaux (Hanks 1987). Les caractéristiques linguistiques formelles des genres acquièrent alors des propriétés indexicales, devenant des indices du contexte social du christianisme⁸. Ces genres et le code dans lequel ils sont produits (registre religieux) s'ajoutent à la variation linguistique synchronique distribuée dans la communauté d'une manière socialement structurée (Weinreich, Labov & Herzog 1968 ; Michael 2014). La deuxième étape du changement linguistique se produit lorsque les caractéristiques linguistiques du registre ecclésiastique sont reprises dans un nombre croissant de genres (non seulement traduits, mais aussi des textes non traduits, tels que les sermons), par un nombre croissant de locuteurs (non seulement par le clergé chargé de la traduction, mais aussi par des laïcs) dans une variété croissante de contextes sociaux (en dehors de l'église ; dans d'autres genres écrits en plus des textes de l'église ; par des non-chrétiens, par exemple des chamans). Hanks (2010) présente l'émergence du registre colonial Maya (qu'il appelle *Maya Reducido*), et sa propagation en dehors des frontières poreuses de la mission, jusqu'aux genres « interdits », les Livres de Chilam Balam produit par les Mayas pour les Mayas.

Je présente maintenant les études de cas. Certains concernent la première étape de contact et de traduction, dans laquelle le changement social et linguistique se limite à la « trading zone » de la rencontre religieuse et aux spécificités du registre religieux. D'autres cas concernent la propagation de changements induits par le contact.

⁵ “[t]hose instances of deviation from the norms of either language which occur in the speech of bilinguals as a result of their familiarity with more than one language”

⁶ “even when the significance of the objects traded – and of the trade itself – may be utterly different for the two sides”

⁷ Voir l'analyse du baptême secret d'argent dans la vallée de Cauco en Colombie (Taussig 1980) ou une erreur de traduction de la dette en tagalog (Rafael 1993).

⁸ Sur le potentiel indexical des genres religieux, voir Hanks (2013 : 399) qui inclue ce qu'il appelle « indexical grounding » (un mis-à-terre indexical) parmi les propriétés de la traduction missionnaire dans le Yucatan colonial : “By [indexical] binding the neologistic lexicon to texts performed by Maya speakers, they tied it into the broader cycles of *reducción*, which reordered space, conduct and language concurrently.”

Exemple 1. Émergence d'un sujet sincère chez les Urapmin

Mes deux premiers cas concernent une transformation des idéologies linguistiques sous l'influence du christianisme en Papouasie-Nouvelle-Guinée. Je commence par un cas de l'émergence d'un acte de parole aux propriétés nouvelles, reflétant explicitement les intentions du locuteur, dans un nouveau cadre participatif impliquant des participants aux qualités nouvelles : des locuteurs sincères et un auditeur omniscient. Joel Robbins (2001 ; 2008) a étudié ce changement chez les chrétiens Urapmin. L'autre cas est l'apparition d'une nouvelle activité énonciative : des inférences, rendues publiques, sur les pensées d'autrui, étudiées par Bambi Schieffelin chez les Bosavi (Schieffelin 2007).

Ces développements sont particulièrement importants dans le contexte de la doctrine de « l'opacité de l'esprit des autres ». Cette doctrine est exprimée dans des déclarations métapragmatiques, selon lesquelles « on ne peut jamais vraiment savoir ce que les autres pensent [...] et les formes de pratique associées qui semblent montrer une adhésion à cette idée »⁹ (Rumsey 2013 : 326). Elle est particulièrement fréquente dans le Pacifique. La littérature sur cette doctrine est vaste et comprend une discussion sur ses différentes manifestations ou la mesure dans laquelle ces déclarations peuvent être prises au pied de la lettre. Ce qui m'intéresse le plus ici, c'est que certains types d'activités linguistiques introduites par la conversion au christianisme contredisent explicitement ces déclarations métapragmatiques.

Je commence par discuter de deux articles de Joel Robbins, "God Is Nothing but Talk: Modernity, Language, and Prayer in a Papua New Guinea Society" (2001) et "On Not Knowing Other Minds: Confession, Intention, and Linguistic Exchange in a Papua New Guinea Community" (2008). Robbins a étudié l'acquisition par le peuple Urapmin de l'idéologie moderne occidentale de la langue, qui se concentre sur un « couplage étroit d'intention et de sens qui repose sur la postulation d'un locuteur qui a à la fois la

capacité et l'envie de dire la vérité »¹⁰ (Robbins 2001 : 905). Cette idéologie contraste fortement avec l'idéologie traditionnelle Urapmin de la langue, partagée avec les Bosavi, selon laquelle « les pensées, les sentiments et les désirs sont cachés dans le cœur humain [...] et ne peuvent être communiqués de manière fiable par la parole »¹¹ (Robbins 2001 : 906). La parole en général, et la parole rituelle en particulier, surtout dans le contexte de l'initiation, est considérée comme non fiable. Pour un Urapmin, le locuteur n'est pas responsable de la construction fidèle du sens – l'auditeur est censé créer, même imparfaitement, le sens de ce qu'il entend.

Le christianisme a provoqué un changement important vers le concept d'un locuteur sincère qui est responsable de la véracité de ses paroles – dans la prière (Robbins 2001) et dans la confession (Robbins 2008). Comment ce changement s'est-il produit ?

Tout d'abord, d'après Robbins, les prières et les confessions sont considérées comme des actions rituelles. L'intentionnalité n'est pas liée à l'action de la même manière qu'à la parole. Alors que dans une situation d'énonciation typique, un locuteur Urapmin n'est pas attaché à la véracité de ce qu'il dit, un acteur, en particulier un participant à un événement rituel traditionnel – sacrifice, respect du tabou, initiation, etc. – s'engage à atteindre les objectifs d'un tel événement. En d'autres termes, « la participation rituelle implique un engagement et des intentions appropriées qui animent un tel rituel, que les participants eux-mêmes aient entrepris ou non le rituel avec ces intentions dans leur cœur »¹² (Robbins 2001 : 907). Tout comme dans les rituels traditionnels, les participants aux rituels chrétiens sont dotés de l'intentionnalité propre à ces actions. En particulier, dans le cas des confessions, l'intentionnalité en question est la reconnaissance du péché. Cependant, le

⁹ "one can never really know what other people are thinking [...] and associated forms of practice that seem to show an adherence to this idea"

¹⁰ "tight coupling of intention and meaning that is grounded in the postulation of a speaker who has both an ability and an inclination to tell the truth"

¹¹ "thoughts, feelings, and desires are hidden in the human heart [...] and cannot be reliably communicated through speech"

¹² "ritual participation entails commitment and appropriate intentions that animate them whether or not the participants themselves undertook the ritual with those intentions in their hearts"

contenu et la véracité de l'état intentionnel exprimé dans la confession, un rituel sous forme d'un acte de parole, sont liés à l'action aussi bien qu'au contenu et à la véracité des paroles énoncés.

Ici, le deuxième élément entre en jeu : l'apparition d'un nouvel auditeur aux propriétés exceptionnelles. Selon Robbins, il n'y a qu'une seule situation d'énonciation traditionnelle où un Urapmin prend une personne au mot et suppose qu'elle exprime son intention ou sa « volonté ». Chez les Urapmin, les femmes prennent l'initiative dans les fiançailles et le font en « appelant le nom » de l'homme qu'elles espèrent épouser. L'événement « d'appeler le nom » est hautement ritualisé. Surtout, il ne peut se produire qu'en présence de types d'auditeurs très spécifiques : « ce ne sont que des leaders, ou aspirants leaders, qui sont prêts à rencontrer la femme dans un endroit privé et à l'écouter prononcer directement, après quelques tours d'indirection supplémentaires, avec qui elle compte se marier »¹³ (Robbins 2008 : 427). De même, dans le contexte chrétien, un locuteur véridique s'adresse à un auditeur exceptionnel : Dieu. De plus, Dieu apparaît aux chrétiens Urapmin comme un type d'auditeur radicalement nouveau qui, « contrairement aux gens, peut voir à l'intérieur du cœur humain. Parce que Dieu sait ce que l'on pense et parce qu'Il condamne également le mensonge, les Urapmin pensent qu'une personne ne mentira jamais sciemment à Dieu »¹⁴ (Robbins 2001 : 906). Ainsi, Dieu peut établir un lien entre l'intention et la parole et inciter le locuteur à faire de même : en adressant sa prière à Dieu, on croit en la vérité de ce que l'on dit. « De cette façon, la création d'un nouveau type d'auditeur omniscient

suscite un nouveau type de locuteur véridique »¹⁵ (Robbins 2001 : 906). Même dans la confession, qui s'adresse formellement à un pasteur ou à un diacre, le confesseur joue simplement le rôle d'un entendeur (overhearer, selon les termes de Goffman, 1981) des paroles du pénitent, plutôt qu'un destinataire : « Beaucoup d'efforts sont destinés à rendre clair que c'est Dieu qui est le véritable destinataire du discours sincère du pénitent [...] Dans leurs prières, c'est comme s'ils [les confesseurs] insistent sur le fait qu'ils n'ont pas du tout entendu ce discours, une insistance qu'ils poursuivent en ne parlant jamais avec quiconque sur ce que les autres disent au cours de la confession »¹⁶ (Robbins 2008 : 428).

Ainsi, un nouvel locuteur véridique émerge à la suite d'une combinaison de cadres pragmatiques existants. Tout d'abord, le cadre de l'action rituelle est projeté sur la prière ou la confession : celui qui prie ou confesse s'engage à agir de la façon établie avec une intentionnalité propre, comme il le ferait dans un rituel traditionnel. Dans le même temps, comme dans le rituel

“Notez que l'idéologie du locuteur véridique est apparue dans la prière et la confession. Les deux sont des genres chrétiens fortement institutionnalisés qui se produisent dans des contextes sociaux très spécifiques”

d'« appeler le nom » d'un futur conjoint, le cadre participatif comprend un auditeur aux propriétés exceptionnelles : un leader ou aspirant leader qui sert de destinataire d'un discours

sincère. Dans les prières et les confessions, Dieu devient un tel auditeur. Enfin, l'auditeur est généralement responsable de la création de sens. Le Dieu omniscient assume cette responsabilité qui, à son tour, fait parler sincèrement le locuteur. Fait intéressant, un auditeur capable de lire dans les pensées des autres n'apparaît pas à côté d'un locuteur sincère : cette capacité est encore réservée à un groupe restreint d'auditeurs.

¹³ “it is only leaders, or aspiring leaders, who are willing to meet the woman somewhere private and listen to her pronounce directly, after a few turns of further indirection, whom it is she plans to marry”

¹⁴ “unlike people, can see inside the human heart. Because God knows what one thinks and because He also condemns untruthfulness, Urapmin believe that a person will never knowingly lie to God”

¹⁵ “In this way, the creation of a new kind of omniscient listener elicits a new kind of truthful speaker”

¹⁶ “There is a good deal of work done to make it very clear that God is the real addressee of the penitent's sincere speech [...] In their prayers, it is as if they [the confessors] insist they have not heard that speech at all, an insistence they follow through on by never talking with anyone about what others say in the course of confession”

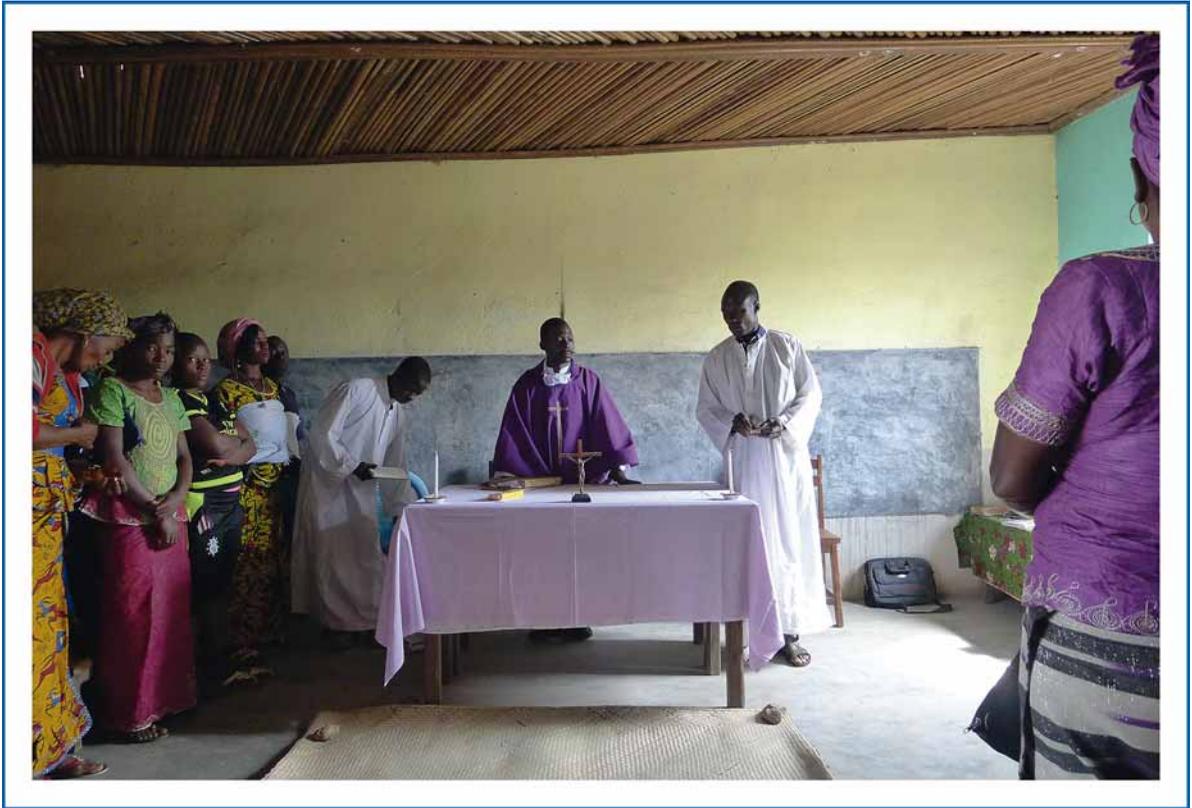


Figure 1 : Un prêtre Kpellé et ses interprètes, des chefs de prière Mano. 2016

Notez que l'idéologie du locuteur véridique est apparue dans la prière et la confession. Les deux sont des genres chrétiens fortement institutionnalisés qui se produisent dans des contextes sociaux très spécifiques. L'analogie traditionnelle d'une telle activité, le rituel d'« appeler le nom » d'un futur conjoint, est également très institutionnalisé. Il n'est pas clair si ces pratiques se sont propagées en dehors de ces genres spécifiques – (Robbins 2001 : 906) ne le suggère pas – mais c'est une question intéressante pour une étude plus approfondie.

Ainsi, la première étude de cas se concentre sur la transformation de la subjectivité chez les Urapmin et l'émergence d'un sujet sincère sous l'influence du christianisme et des genres de discours innovants qu'il a introduits, comme la confession. La deuxième étude de cas se concentre sur un processus similaire – l'émergence d'un langage réflexif et des rapports de la pensée d'autrui – où le rôle de la traduction religieuse se pose sur le premier plan.

Exemple 2. Émergence d'un langage réflexif en bosavi

Cette section résume « “Found in Translating: Reflexive Language across Time and Texts in Bosavi, Papua New Guinea » par Bambi Schieffelin (2007). Le véhicule linguistique du christianisme chez les Bosavi est le tok pisin, la langue officielle de la Papouasie-Nouvelle-Guinée. Dans la communauté Bosavi, la Bible est traduite oralement du tok pisin par les pasteurs lors de services religieux. Les enregistrements de ces traductions par Schieffelin datent de 1975 à 1995, ce qui donne une belle perspective sur le développement historique des pratiques de traduction. L'une de ses découvertes les plus importantes est le développement d'un vocabulaire pour les états affectifs et cognitifs calqués sur le tok pisin. Le verbe bosavi original « penser » est *asulo*. Une expression complexe *kufa: usa asulo*: < estomac centre penser > « penser dans le cœur » est progressivement entrée en usage, calquée sur Tok Pisin *tingting long bel* « penser dans le cœur ». Plus important encore, avant la

missionisation, les pensées privées ou les états internes d'autres personnes n'étaient que très rarement signalés, et seulement dans un ensemble restreint de contextes énonciatif ; à savoir, certains genres narratifs traditionnels. Cela explique pourquoi la lecture et la traduction de Marc 2 :6 (« Or, il y avait, assis là, quelques spécialistes de la Loi qui raisonnaient ainsi en eux-mêmes ») ont causé des difficultés particulières aux Bosavi, qui se sont manifestées par une quantité exceptionnelle d'hésitations et d'auto-réparations. Schieffelin (2007) a trouvé deux auto-réparations dans la version de traduction enregistrée en 1975, en plus du matériel supplémentaire, absent dans le texte source :

(1) a *ili asulakiyo: a:la: asulo:*

ils pensaient leurs pensées

b *ili kufami asulakiyo:*

ils pensaient dans leurs coeurs

c *iliyo: mada asulo: ko:li nowo: miyo: sa:la: bo:bo:ge*

quelques pensées différentes sont venues très rapidement

Ce n'était qu'en 1995 que Schieffelin a enregistré une traduction de ce verset incluant le calque susmentionné, *kufa: usa asulo:*

(2) o: *ya:suwa:lo: to siyo: a:no: da:da:sa:ga:yo: asulo:wo:*

– *lolo: asulo:wo: kaluwa: kufa:usamiyo: a:la: asulo:*

ayant entendu ce que Jésus a dit, ils ont pensé

– les hommes qui comprenaient la loi ont pensé dans leurs coeurs

Fait intéressant, les trois versions du Nouveau Testament dans tok pisin ont également vu une révision importante dans ces versets particuliers, ce qui suggère que parler des états internes des autres est problématique non seulement pour les Bosavi. Dans la traduction du Nouveau Testament en tok pisin publiée en 1969, l'expression *tingting long bel* « penser dans le cœur » a été suivie d'un verbe de parole *spik* (~ ils pensaient dans leur cœur, en disant), tandis que dans la traduction de 1978/1989, l'expression a été utilisée sans le verbe :

(3a) Nouveau Testament en tok pisin, 1969, Marc 2 :6

na long bel bilong ol ol i tingting, i spik

et dans leurs coeurs ils pensaient, en disant
(3b) Nouveau Testament en tok pisin, 1978/1989, Marc 2 :6

na long bel bilong ol ol i tingting olsem

et dans leurs coeurs ils pensaient

Dans cet exemple, le développement d'expressions nouvelles pour les états internes des autres est basé à la fois sur le matériel lexical déjà disponible dans la langue et sur un modèle emprunté à une langue voisine. Surtout, comme dans l'exemple précédent, cette activité énonciative est circonscrite par des situations énonciatives spécifiques et ne se produit que dans des genres spécifiques, à savoir les traductions de la Bible. Tout comme l'étude de cas actuelle, la suivante se concentre sur un lien entre une transformation linguistique et une transformation sociale induite par la traduction. Dans ce dernier cas, c'est la traduction des taxonomies de la faune dans les missions jésuites chez les Guaranis qui va de pair avec une tentative de transformation sociale : promotion de la domestication bergère associée au christianisme, et répression de la chasse, associée au chamanisme.

Exemple 3. Émergence du langage pastoral en guarani

Cette section rend compte de « L'animal en mission. Traduction religieuse et bestiaire chrétien dans les réductions jésuites des Guaranis », une étude doctorale en cours de Thomas Brignon. L'accent empirique est mis sur les narratifs exemplaires catéchétiques, ou *exempla / tekokué*, un genre didactique écrit en guarani dans le contexte des missions jésuites du Paraguay. Plaçant les *exempla* dans un contexte intertextuel plus large, y compris des textes non religieux et non traduits de la même période, l'étude vise à montrer comment un registre missionnaire s'est révélé influent dans des contextes écrits et oraux au-delà du domaine catéchistique.

La sémantique lexicale et la structure taxonomique du lexique animal ont évolué en guarani sous l'influence de la traduction missionnaire. Les jésuites ont tenté de transformer les Guaranis de chasseurs en agriculteurs sédentaires, d'introduire du bétail domestique et d'imposer la pratique de l'élevage, réprimant la pratique de la chasse traditionnelle. Dans leur travail linguistique, ils ont visé une resémantisation profonde

du lexique, des représentations et des pratiques locales liées aux animaux, en privilégiant les taxons indigènes liés aux animaux sauvages apprivoisés (les oiseaux en particulier) afin de véhiculer les concepts européens associés à l'élevage des animaux ou à l'idée même de l'animalité en tant que classe générique, inférieure et distincte de l'humanité. En même temps, ils ont censuré les catégories liées à la chasse. Cette reconfiguration linguistique des taxonomies indigènes guaranis allait de pair avec le processus social de promotion d'une domestication de type berger associée au christianisme, et de répression de la chasse, associée au chamanisme¹⁷. De plus, la présence étendue des mêmes taxonomies dans les textes non religieux et non traduits qui figurent dans le discours oral quotidien indique que les catégories resémantisées de genres didactiques (tels que *exempla / tekokue*) et du registre missionnaire plus large (catéchismes, sermons, chroniques et autres) ont eu une influence au-delà de leur domaine d'utilisation d'origine dans les écrits religieux jésuites et sont venus caractériser la langue écrite et parlée des missions, comme les manuels administratifs.

La dernière étude de cas est tirée de mes propres travaux sur le langage du catholicisme chez les Mano (Guinée). Contrairement à l'étude précédente, la dynamique du pouvoir dans le processus de traduction est différente : ce ne sont pas les missionnaires qui mettent en œuvre ou réglementent la traduction d'une langue coloniale vers une langue indigène, mais plutôt les acteurs indigènes eux-mêmes. Alors que la traduction joue un rôle central dans le développement du langage religieux, le contexte social – le fait que la langue source de la traduction est parlée par les prêtres, mais aussi par les conjoints, les beaux-parents et les enfants de Mano – contraint la transformation linguistique induite par la traduction.

Exemple 4. Quand vos prêtres parlent la langue de vos femmes : l'idéologie de la traduction dans les communautés catholiques Mano

Le catholicisme a été introduit parmi le groupe ethnolinguistique Mano en Guinée au début des années 1940, et la présence missionnaire a été de courte durée. Aujourd'hui, selon l'organisation évangélique Joshua Project, seulement 4 % des Mano sont catholiques.

Contrairement aux Mano, leurs voisins, les Kpelle, ont profité d'une présence missionnaire plus longue et embrassent la foi catholique avec beaucoup plus d'enthousiasme : 32 % des Kpelle sont catholiques. Mon corpus oral composé d'enregistrements d'événements religieux et ma collection de documents écrits en circulation dans les communautés catholiques de Mano suggèrent fortement que Kpelle a servi de modèle influent pour le registre catholique de Mano. Pour l'illustrer, je considère trois exemples : traductions orales spontanées du kpelle lors de la messe et la célébration dominicale ; des prières clés (Notre Père, Credo, Je vous salue Marie, Confession) qui sont apprises par cœur et récitées oralement par les membres de la communauté et qui, elles aussi, sont traduites du kpelle ; et enfin, des traductions écrites du kpelle en mano.

Tout d'abord, lors de la célébration dominicale, certains chefs de prière Mano traduisent oralement à partir du Missel du dimanche Kpelle. Voir par exemple une traduction d'Is 52 :8 enregistrée par moi lors de la messe de Noël en 2017 :

MANO	ō	pē	séj	yí-wè-gèè	wàlà	yē-p ē l ē
	ils	chose	tout	intérieur- parole- dire	Dieu	naître- lieu/INF
áà	nà	áà	nù	Sion	p ē l ē	yí
il	retourne	il	vient	Sion	lieu	dans

Lit. : Ils sont sur le lieu de naissance du dirigeant de toute chose, il retourne, il vient à Sion.

KPELLE	di	kaa	hèn	géléé	nyâ- woo- bho	yala	kaa-y
	ils	être	chose	tout	sur- face- parole- dire	Dieu	voir- lieu/ INF

¹⁷ La promotion sociale et linguistique du pastoralisme est également liée à la transformation sociocosmologique de l'animisme au naturalisme, déclenchée par la conversion au christianisme et, en particulier, par le processus de traduction. Aparecida Vilaça discute de ce problème en relation avec la conversion d'un peuple amazonien, le Wari', au christianisme évangélique dans la seconde moitié du XX^e siècle (Vilaça 2015 ; 2018).



Figure 2 : Un catéchiste avec le Missel du dimanche en kpelle dans un village mano. 2017

<i>ye</i>	<i>pene</i>	<i>ye</i>	<i>pa</i>	<i>Sion</i>	<i>daay.</i>
il	retourneil		vient	Sion	la.cité. lieu

Lit. : ils [voient]/[sont sur le lieu de naissance du] dirigeant de toutes choses, il retourne, il vient à Sion.

Dans le Missel français (source de la traduction de Kpelle) : « ils voient de leurs yeux le Seigneur qui revient à Sion ».

Le mot Seigneur « Seigneur » a été traduit en Kpelle par *nyâ-woo-bho yala* (surface-parole-dire Dieu) qui, à son tour, a été traduit en Mano par l'équivalent le plus proche possible : *yí-wè-gèè wàlà* (intérieur-parole-dire Dieu). Notez que lorsque les Mano traduisent le mot *Seigneur* directement du français, ils n'utilisent jamais le *yí-wè-gèè wàlà* mais d'autres équivalents, tels que « rédempteur » ou « père ». Plus intéressante encore est l'interprétation du mot *kaay* en kpelle.

Le suffixe d'infinitif *-y* est homonyme (et lié étymologiquement) au suffixe locatif *-y*. Le radical verbal *kaa* a deux lectures, « voir » et « donner naissance ». Ainsi, la forme *kaay*, avec la copule *kaa*, est très ambiguë : elle peut être lue soit au sens locatif (être au lieu de voir / donner naissance) soit au sens progressif (être en train de voir / d'accoucher). Le traducteur Mano a interprété *kaa* en kpelle comme « donner naissance », en préférant le verbe Mano *yē* « donner naissance » au verbe *gè* « voir ». Le suffixe mano *-pèlè* a la même ambiguïté que le suffixe kpelle *-y*. En conséquence, la phrase *ō pē séŋ yí-wè-gèè wàlà yèpèlè* a deux interprétations, soit « ils donnent naissance au Dieu souverain » soit « ils sont au lieu de naissance du Dieu souverain », et il est probable que c'est la deuxième lecture que le traducteur a prévu de transmettre. Ainsi, il s'agit d'une double erreur de traduction, le choix d'un mauvais sens du verbe et d'une mauvaise

construction grammaticale, mais cette erreur est due à l’ambiguïté de la source kpelle à laquelle le traducteur est resté fidèle jusqu’au moindre détail grammatical. Bien que le sens de la traduction soit loin de l’original, elle n’est pas absurde du point de vue de la signification de la prophétie et de l’histoire biblique.

Deuxièmement, toutes les prières récitées pendant la messe et la célébration dominicale sont presque des traductions mot à mot du kpelle. Voir la traduction de « Je crois au Saint-Esprit » de la prière du Symbole des apôtres :

Mano de Guinée

māā kīlī mēsīā ηωδ̣ yí dō ηwánà ká
j’ai **intél- pro-** pro- inté- savoir vérité avec
ligence pre blème rieur

‘Lit. : J’ai cru dans le problème de l’Intelligence Propre avec vérité’

Kpelle

ηᾶᾗ *kīlī māāhēγ̅ε* mēni *kīlī kólōη* à tēᾗ
j’ai **intél- pro-** pro- inté- savoir avec vérité
ligence pre blème rieur

‘Lit. : J’ai cru dans le problème de l’Intelligence Propre avec vérité’

Mano du Libéria

māā g̅èè p̅ulū ηωδ̣ g̅è ηwánà ká
j’ai **esprit blanc** pro- voir vérité avec
blème

‘Lit. : J’ai vu le problème de l’esprit blanc avec vérité’

En mano guinéen, le Saint-Esprit est traduit par *kīlī mēsīā*, où *kīlī* signifie « intelligence » et est un emprunt du kpelle qui l’a emprunté à *hákīlī* « intelligence » en mandingue, une autre langue indigène de la région, qui, à son tour, l’a empruntée à l’arabe *’aql* ‘intelligence’. (Pour plus d’exemples de mots arabes empruntés au mano par le biais du manding et du kpelle et le rôle de la traduction chrétienne, voir Khachaturyan à paraître.) *Mēsīā*, à son tour, est un adjectif dérivé d’un verbe signifiant ‘purifier’, c’est un équivalent direct du kpelle *māāhēγ̅ε* ‘propre’ et sa structure interne en mano et en kpelle est identique. Au Libéria, où le registre catholique mano est beaucoup moins influencé par le kpelle, l’équivalent du Saint-Esprit est *g̅èè p̅ulū*, où *g̅èè* signifie « un esprit d’une personne morte » et *p̅ulū* signifie « blanc ».

L’étendue de l’influence du kpelle devient plus claire si l’on compare plusieurs versions de la

même traduction du kpelle. Un de ces textes qui a été traduit plusieurs fois s’appelle « Célébration dominicale sans prêtre », un document contenant les principales prières et formules rituelles utilisées par les catéchistes et les chefs de prière à l’église lorsqu’il n’y a pas de prêtre disponible pour célébrer la messe. Curieusement, les trois chefs de prière Mano avec lesquels j’ai travaillé ont des versions différentes de la traduction, ce qui permet une étude des variations dans les choix de traduction. Or, seul un des textes avait le calque *mēsīā* ‘propre, purifié’ comme équivalent de *māāhēγ̅ε* ‘propre’ en kpelle. Deux autres textes ne reviennent pas à ce calque et utilisent un terme différent, *mékēgbínū* ‘made heavy’.

Ainsi, alors que les paires de textes traduits donnent l’impression que le modèle du kpelle est suivi de très près, l’existence de plusieurs équivalents de traduction avec le même texte source montre qu’en réalité, les Mano traduisent plutôt libéralement, parfois en s’alignant sur le kpelle, et parfois pas. Comme nous l’avons vu dans les exemples 3 et surtout 2, les expressions innovantes introduites par la traduction religieuse peuvent contribuer à un changement linguistique et culturel plus large. Un tel changement est particulièrement susceptible de se produire lorsque le texte source a du prestige sur le texte cible – l’effet souvent appelé « l’empreinte sacrée » (Drinka 2011). Et pourtant, dans le cas du mano, la langue des prêtres et des textes sources, le kpelle, est aussi la langue des voisins avec lesquels les Mano se marient souvent. En conséquence, c’est aussi la langue des épouses, des maris, des beaux-parents et des enfants de catholiques mano. Ainsi, au niveau de l’idéologie linguistique, l’influence du kpelle ne résulte pas d’une révérence à un modèle prestigieux. Elle résulte plutôt de la commodité : étant donné la similitude globale entre les deux langues en raison d’une longue histoire de contact (Khachaturyan 2018), de telles traductions mot à mot sont possibles et font partie des choix de traduction les plus évidents. En conséquence, si les emprunts et les calques sont liés au registre catholique émergent, ils appartiennent en même temps à la même famille de phénomènes d’interférence que d’autres exemples de l’influence Kpelle dans le discours des bilingues Mano – Kpelle dans les paroles ordinaires (Khachaturyan 2019 ; Khachaturyan & Konoshenko Ms.). Et pourtant, tout comme le calque en traduction n’atteint jamais



Figure 3 : Les spectateurs d'une mise en scène de la Nativité en mano. 2017

son extrême théoriquement possible, le processus de convergence ancré dans le bilinguisme quotidien est contraint par les identités ethnolinguistiques distinctes des deux groupes. La dynamique de cette convergence et divergence – dans le registre religieux et dans les paroles de tous les jours – devrait faire l'objet d'une enquête future¹⁸.

¹⁸ Un cas comparable mais différent de convergence contré par la divergence est observé dans la région du haut Rio Negro en Amazonie. Bien que les grammaires des langues en contact dans la région soient hautement convergentes, les vocabulaires sont maintenus distincts, à l'exception importante de la nomenclature biologique qui est empruntée et calquée de manière extensive. Un rôle clé dans la transmission de ce type de vocabulaire est joué par le discours rituel innovant des chamans et en particulier les incantations, qui s'appuient sur des listes taxonomiquement organisées de termes de flore et de faune que les spécialistes sont encour-

Conclusion

Cet article esquisse un modèle de changement social et linguistique différentiel résultant du contact. Dans ce modèle, des cadres et des domaines de pratique sociale spécifiques dans lesquels le contact est le plus intense jouent un rôle majeur. Un de ces domaines est la pratique religieuse chrétienne, qui, généralement à la suite d'une conversion, implique souvent des contacts linguistiques et culturels. L'un des principaux conduits de ce contact est la traduction des textes ecclésiastiques.

L'article rejoint l'argument avancé par Hanks et Severi (2014) selon lequel le contact linguistique et le bilinguisme l'emportent sur le paradoxe de l'incommensurabilité de différents systèmes lin-

ragés à développer. Ceci, à son tour, conduit à la circulation et à la propagation de termes innovants. Voir Epps (2014).

guistiques : la traduction, tout en étant une pratique de commensuration, possède en même temps la capacité de transformer la langue cible (Hanks 2014). Plus précisément, cependant, si nous supposons que la traduction et le contact peuvent se produire dans un domaine particulier de la pratique habituelle, la transformation initiale peut également être circonscrite à des registres particuliers – dans notre cas, religieux – qui émergent à la suite du contact et de la traduction. Le caractère distinctif de ces registres linguistiques innovants est le plus visible dans le vocabulaire (exemples 3 et 4), mais peut également être observé dans la grammaire (Drinka 2011). Lorsque la traduction intervient dans un contexte d'échanges culturels et matrimoniaux plus larges, comme dans le cas de la traduction du *kpelle* en *mano*, qui ne s'accompagne pas d'une révérence idéologique au modèle prestigieux des textes traduits (exemple 4), l'influence du processus de traduction se voit contraindre. Et pourtant, dans d'autres cas, lorsqu'ils sont dotés d'une appartenance à l'indexation de la valeur sociale dans la communauté chrétienne, les caractéristiques de ces registres innovants peuvent s'étendre au-delà des genres religieux dans lesquels ils apparaissent initialement et affecter une plus grande variété de répertoires utilisés par une communauté linguistique donnée. (Exemple 3, Drinka 2017).

De plus, les conséquences du contact et de la traduction peuvent aller au-delà d'un changement uniquement linguistique. L'émergence du langage réflexif en *bosavi* (exemple 1) ou du locuteur sincère en *urapmin* (exemple 2) dans les genres discursifs chrétiens posent un défi à la doctrine de « l'opacité de l'esprit des autres » et aux modèles natifs existants d'utilisation du langage et d'intentionnalité. La transformation missionnaire de la taxonomie animale en *guarani* était liée à une tentative plus large de promouvoir la domestication de type berger associée au christianisme et à la répression de la chasse associée au chamanisme (exemple 3). Ainsi, à un niveau plus général, étant donné que la structure et l'usage du langage sont liés à des modes d'expression et de classification habituels, le changement linguistique va de pair avec une transformation sociale.

Remerciements

Cet article est né de discussions lors de plusieurs ateliers et d'un colloque à Paris dans le cadre du projet « Conséquences cognitives et

linguistiques de la traduction. Approches comparatives », soutenu par une subvention de la Fondation Fyssen. Le premier exemple présenté ici est une réanalyse des travaux originaux de Joel Robbins, discuté avec l'auteur lors de l'atelier « (Dis)continuités, transmutation(s) » en octobre 2017. Le deuxième exemple, tiré de travaux de Bambi Schieffelin, a été discuté avec l'auteur et présenté dans une publication antérieure (Khachaturyan 2017). Le troisième exemple a été présenté par son auteur, Thomas Brignon, lors du colloque « Contact linguistique et traduction en contexte religieux. Approches comparatives » en mai 2018. Ma propre étude empirique a été soutenue par la subvention de la Fondation Fyssen, ainsi que par l'Université de Helsinki et par l'Académie de Finlande. Je suis extrêmement reconnaissant de l'opportunité de dialogue interdisciplinaire que la subvention de la Fondation nous a offerte et je remercie tous les participants pour avoir partagé leur travail et leurs idées. Toutes les erreurs d'interprétation du matériel sont les miennes.

Bibliographie

- Agha, Asif. 1999. Register. *Journal of Linguistic Anthropology* 9(1–2). 216–219. doi:10.1525/jlin.1999.9.1-2.216.
- Bakhtin, Mikhail. 1986. The problem of speech genres. *Speech genres and other late essays*, 62–102. Austin: University of Texas Press.
- Dinwoodie, David W. 2006. Time and the Individual in Native North America. In Sergei A. Kan & Pauline Turner Strong (eds.), *New Perspectives on Native North America: Cultures, Histories, and Representations*, 327–248. Lincoln & London: University of Nebraska Press.
- Drinka, Bridget. 2011. The Sacral Stamp of Greek: Periphrastic constructions in New Testament translations of Latin, Gothic, and Old Church Slavonic. (Ed.) Erik Welø. *Oslo Studies in Language (Indo-European Syntax and Pragmatics: Contrastive Approaches)* 3(3). 41–73.
- Drinka, Bridget. 2017. *Language contact in Europe: the periphrastic perfect through history* (Cambridge Approaches to Language Contact). Cambridge University Press.
- Epps, Patience L. 2014. Specialist discourse and language change. Observations from the northwest Amazon. Presented at the Fieldwork Forum, UC Berkeley.

- Galison, Peter. 1997. *Image and logic. A material culture of microphysics*. Chicago: University of Chicago Press.
- Goffman, Erving. 1981. Footing. *Forms of talk*, 124–159. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.
- Hanks, William F. 1987. Discourse Genres in a Theory of Practice. *American Ethnologist* 14(4). 668–692.
- Hanks, William F. 2010. *Converting words. Maya in the age of the Cross*. Berkeley: University of California Press.
- Hanks, William F. 2013. Language in Christian Conversion. In Janice Patricia Boddy & Michael Lambek (eds.), *A Companion to the Anthropology of Religion*, 387–406. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Hanks, William F. 2014. The space of translation. *Hau: Journal of Ethnographic Theory* 4(2). 17–39.
- Hanks, William F. & Carlo Severi. 2014. Translating worlds. The epistemological space of translation. *Hau: Journal of Ethnographic Theory* 4(2). 1–16.
- Haviland, J.B. 1998. Guugu Yimithirr cardinal directions. *Ethos* 26(1). 25–47. doi:10.1525/eth.1998.26.1.25.
- Khachaturyan, Maria. 2017. Christianity, language contact, language change. *Proceedings of the 25th Annual Symposium about Language and Society-Austin*.
- Khachaturyan, Maria. 2018. *A sketch of dialectal variation in Mano*. *Mandenkan* 59, 31-56.
- Khachaturyan, Maria. 2019. Inclusive pronouns in Mande: the emergence of a typological rarum. *Folia Linguistica* 53. 87–123.
- Khachaturyan, Maria. To appear. From the Qur'an to Christianity: ethnolinguistic contact and religious conversion in West Africa. *Cahiers d'Études Africaines*.
- Khachaturyan, Maria & Maria Konoshenko. Ms. Assessing (a)symmetry in multilingualism: the case of Mano and Kpelle in Guinea. *Submitted to International Journal of Bilingualism*.
- Levinson, Stephen C. 2003. *Space in Language and Cognition: Explorations in Cognitive Diversity*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Levinson, Stephen C. 2012. Foreword. Whorf's claims and their reception. In John B. Carroll, Stephen C. Levinson & Penny Lee (eds.), *Benjamin Lee Whorf. Language, thought, and reality*, vii–xxiii. Cambridge and London: The MIT Press.
- Meakins, Felicity, Caroline Jones & Cassandra Algy. 2015. Bilingualism, language shift and the corresponding expansion of spatial cognitive systems. *Language Sciences* 54. 1–13. doi:10.1016/j.langsci.2015.06.002.
- Michael, Lev. 2014. Social dimensions of language change. In Claire Bower & Bethwyn Evans (eds.), *The Routledge Handbook of Historical Linguistics*, 484–502. London: Routledge-Curzon.
- Rafael, Vicente L. 1993. *Contracting colonialism. Translation and Christian conversion in Tagalog society under Early Spanish rule*. London: Duke University Press.
- Regier, Terry & Paul Key. 2009. Language, thought, and color: Whorf was half right. *Trends in Cognitive Sciences* 13(10). 429–436.
- Robbins, Joel. 2001. God Is Nothing but Talk: Modernity, Language, and Prayer in a Papua New Guinea Society. *Current Anthropology* 48(1). 5–38.
- Robbins, Joel. 2008. On Not Knowing Other Minds: Confession, Intention, and Linguistic Exchange in a Papua New Guinea Community. *Anthropology Quarterly* 81(2). 421–429.
- Rumsey, Alan. 2013. Intersubjectivity, deception and the 'opacity of other minds': Perspectives from Highland New Guinea and beyond. *Language & Communication* 326–343.
- Schieffelin, Bambi B. 2007. Found in translating: reflexive language across time and texts. In Miki Makihara & Bambi B. Schieffelin (eds.), *Consequences of contact: language ideologies and sociocultural transformations in Pacific societies*, 140–165. New York: Oxford University Press.
- Taleyeva, D. 1942. *Sun chief*. Edited by Leo W. Simmons. New Haven: Yale University Press.
- Taussig, Michael T. 1980. *The Devil and Commodity Fetishism in South America*. Chapel Hill: University of North Carolina Press.
- Vilaça, Aparecida. 2015. Do Animists Become Naturalists when Converting to Christianity? Discussing an Ontological Turn. *The Cambridge Journal of Anthropology* 33(2). 3–19.

- Vilaça, Aparecida. 2018. The devil and the hidden life of numbers: Translations and transformations in Amazonia: The Inaugural Claude Lévi-Strauss lecture. *HAU: Journal of Ethnographic Theory* 8(1–2). 6–19. doi:10.1086/698303.

- Weinreich, Uriel. 1968. *Languages in Contact: Findings and Problems. With a preface of André Martinet*. The Hague: Mouton.

- Weinreich, Uriel, William Labov & Marvin Herzog. 1968. Empirical foundations for a theory of language change. In Winfred Lehmann & Yakov Malkiel (eds.), *Directions for Historical Linguistics*, 97–195. Austin: University of Texas Press.

Introduction

The aim of this paper is to reflect on the mechanism of contact-induced social and linguistic change with a particular focus on the specificities of the zones of intense contact, the innovation and change that happens there, paying special attention to language use. I suggest that these contact zones are the main *sites* of change induced by contact. Furthermore, since social actors typically inhabit several social realms with potentially different practices, discourses and grammars (in the linguistic sense), these contact zones may become *sources* of further change, as their properties may leak to other areas of social life, causing contact-induced change to spread. My focus will be on the particularities of registers and genres. Registers are linguistic varieties that are associated, “culture internally, with particular social practices and with persons who engage in such practices” (Agha 1999: 216). Genres are types of texts which are written in a specific register, but also have a specific thematic content and compositional structure (Bakhtin 1986). The potential of registers and genres to be both *sites* and *sources* of contact-induced change is at the core of the model of *differential linguistic and social change* that I propose in this paper on the basis of several case studies in social, linguistic anthropology and linguistics. These examples show that language is transformed by and further transforms social reality-linguistic and non-linguistic.

The interrelation between language, cognition, and culture presented in foundational writings by Boas, Sapir and Whorf is much discussed in the recent literature (Levinson 2003; Regier & Key 2009). Assuming that language provides clas-

sifications of experience, that no two languages do this classification in exactly the same way, and that different classifications oblige the speakers to attend to different aspects of the world they describe, the expressive habits of speakers may induce specific perceptive and cognitive habits. This claim is known as linguistic relativity. In the past few decades, research testing the relativity claim showed that “[i]f language diversity is constrained by universal factors, the available differences are sufficient to generate cognitive diversity” (Levinson 2012: xvii).

Language and culture contact and the fact that individuals may be exposed to several potentially incommensurate linguistic systems challenge the concept of linguistic relativity. Indeed, a bilingual individual must be “caught in a sort of parallax in which competing constraints vie for causal impact on her or his expressive and perceptual habits” (Hanks & Severi 2014: 4).

In reality, the parallax of competing constraints and the seeming incommensurability of linguistic and cognitive systems is overruled by actual situations of contact. For instance, one particularly lively defense of Benjamin Lee Whorf’s famous claim that Hopi do not have time *as we know it* was made by David Dinwoodie (2006). Focusing on the cultural experience of time and its genesis among Hopi and in the Western world, Dinwoodie analyzes an English-language autobiography of a Hopi man, Don Taleyseva, which was published around the same time as Whorf’s original work on Hopi (1942). During his lifetime, Don Taleyseva was exposed to both Hopi and Western “time” through active involvement in mission schooling, wage agricultural labor, and “traditional” Hopi activities, such as initiation rituals or dancing. His movement from one temporality to another was framed as life stages: later in life Taleyseva regretted “his earlier enthusiastic forays in the space and times of the wider world” (Dinwoodie 2006: 344). Yet this transition was also presented as seamless and natural for him, in a matter of days, as he moved from the agricultural field to the board school and to the tribal land. Thus, according to Dinwoodie, a Hopi man in the 1930s and 1940s did not inhabit one single temporality frame, but moved between a spectrum of frames, each conditioned by specific social settings and types of social practice-including highly institutionalized ones, such as school or church-setting his clock, so to say, without comment.

Does this mean that Don Taleyeva perfectly mastered both the Western and the Hopi temporality frames in their “pure” form? Probably not. Most likely, these temporalities appeared as complex hybrids. Neo-Whorfian studies in linguistic relativity, after an initial interest in cognitive diversity in (quasi-)monolinguals, turned to the issues of language contact and language shift. Haviland (1998) and especially Levinson (2003) have shown that speakers of Australian languages, such as Guugu Yimithirr, almost never express spatial orientation in egocentric terms, such as “left” or “right” but rather in absolute terms, such as “north” or “south”. The specificities of expressive habits induce specificities of cognitive habits, in particular, patterns of memorization in absolute terms, which can be revealed in non-linguistic tasks, such as dead-reckoning or experiments with ordering objects in space (the tabletop “animals in a row” experiment). What happens, then, when speakers of languages with an absolute frame of reference are exposed to “left-vs.-right” languages? Inter-generational language shift from Gurindji to Gurindji Kriol (a systematic mixture of Gurindji and Australian Kriol, an English-lexifier creole language) was observed in a linguistic community in Northern Australia, showing that Gurindji Kriol speakers express spatial relations in an interesting hybrid between the absolute system of Gurindji and a relative system (Meakins, Jones & Algy 2015). Crucially, the most significant difference in cognitive patterns of spatial orientation (the proportion of relative, rather than absolute, responses) was revealed in speakers with most exposure to Western education and in a small-scale space (“animals in a row” tabletop experiment). In contrast, in a large-scale space, all Gurindji participants performed similarly, relying on the Gurindji system of cardinal points. The authors draw a parallel between the tabletop experiments and the indoor classroom, a spatial setting typical of Western education. This research suggests not only that contacts lead to change (here, through schooling and second language learning), but that the change is most visible in the areas where the contact is the most intense (a small-scale space typical of a school setting).

This paper focuses on linguistic and social change occurring in conversion to Christianity. In this context, translation is one of the main conduits of contact and, as such, a practice that

overrules the postulates of incommensurability (Hanks & Severi 2014), but at the same time transforms the target language (Hanks 2014). To illustrate the model of differential language and culture change where the change manifests itself in areas of intense contact and then spreads to other social and linguistic domains, I introduce four case studies of conversion to Christianity.

Before I analyze the case studies, I would like to dwell a little more on the role of translation in the process of linguistic and social change and on the role of register and genre in driving the spread of the effects of change.

Translation, religious register and trading zone

Language contact induces language change in the form of *interference* which is classically defined as “[t]hose instances of deviation from the norms of either language which occur in the speech of bilinguals as a result of their familiarity with more than one language” (Weinreich 1968: 1). Translation always involves bilingual individuals, who are the locus of language contact.

In the case of translation accompanying conversion to Christianity, interference, at least at the level of the lexicon, is inevitable, since the new religion brings a whole new conceptual system. Through interference, a specific religious register is created which is sufficiently similar to the target language, but has undergone substantial change brought about by (partial) mapping of the conceptual system and conceptual relations of the source language through borrowing, neologistic processes, or creation of novel semantic associations of existing lexical items. This religious register can be compared to the trade creoles which enable communication in between trading populations “even when the significance of the objects traded-and of the trade itself-may be utterly different for the two sides” (Galison 1997: 803). Indeed, the parties in a religious encounter may attach different meanings to the actions and words in a religious ritual.¹⁹ What matters is an (illusion of) common understanding negotiated through the creation of a religious register par-

¹⁹ See the analysis of secret baptism of money in the Cauco valley in Colombia (Taussig 1980) or a mistranslation of *debt* into Tagalog (Rafael 1993).

tially shared by different participants in the encounter.

Importantly, religious translation may also bring about new pragmatic structures, such as language ideology (Schieffelin 2007) or participant frameworks (Robbins 2001; 2008), and contribute to a profound grammatical change (Drinka 2011; 2017).

Genre, register indexicality and spread of language change

In a church context, translation occurs in specific texts: such as the Bible or the prayers. Through interference, these texts and associated genres become infused with foreign elements. Genres, however, are defined not only by their formal features, but also by their extralinguistic features linking them to communicative acts situated in social contexts (Hanks 1987). The formal linguistic features of genres acquire indexical properties, becoming indexes of the social context of Christianity.²⁰ These genres and the code they are produced in (religious register) add to synchronic linguistic variation distributed in the community in a socially patterned way (Weinreich, Labov & Herzog 1968; Michael 2014). The second step in language change happens when the linguistic features of the ecclesiastical register are taken up in an increasing number of genres (not only translated, but also non-translated texts, such as sermons), by an increasing number of speakers (not only by translating clergy, but also by laypeople) in an increasing variety of social contexts (outside church; in other written genres besides church texts; by non-Christians, e.g., shamans). Hanks (2010) presents a case of this happening in the emergence of the Colonial Maya register (which he calls *Maya Reducido*), and its spread outside the porous boundaries of the mission, all the way to the “forbidden” genres, the Books of Chilam Balam produced by the Maya for the Maya.

²⁰ On the indexical potential of religious genres, see Hanks (2013 : 399) who lists indexical grounding as a property of missionary translation in colonial Yucatan: “By [indexical] binding the neologistic lexicon to texts performed by Maya speakers, they tied it into the broader cycles of *reducción*, which reordered space, conduct and language concurrently.”

I now present the case studies. Some concern the first step of contact and translation, in which social and linguistic change is restricted to the “trading zone” of the religious encounter and the specificities of religious register. Other cases concern the spread of contact-induced change.

Example 1. Emergence of a sincere subject among Urapmin

My first two cases concern a transformation of language ideologies under the influence of Christianity in Papua New Guinea. One case is the emergence of a speech act with new properties, explicitly reflecting the speaker’s intentions, in a novel framework involving participants with new qualities: speakers who are sincere and a listener who is omniscient. Joel Robbins (2001 ; 2008) studied this change among Urapmin Christians. The other case is the appearance of a novel speech activity: inferring what others are thinking and making these inferences public through acts of speaking, which was studied by Bambi Schieffelin among Bosavi (Schieffelin 2007).

These developments are especially significant in the context of the doctrine of “the opacity of other minds”. This doctrine is expressed in metapragmatic statements that “one can never really know what other people are thinking [...] and associated forms of practice that seem to show an adherence to this idea” (Rumsey 2013: 326). It is especially common in the Pacific. The literature on this doctrine is vast and includes discussion of its different manifestations or the extent to which such statements can be taken at face value. What interests me most here is that specific types of linguistic activity brought in by conversion to Christianity explicitly contradict these metapragmatic statements.

I begin by discussing two articles by Joel Robbins, “God Is Nothing but Talk: Modernity, Language, and Prayer in a Papua New Guinea Society” (2001) and “On Not Knowing Other Minds: Confession, Intention, and Linguistic Exchange in a Papua New Guinea Community” (2008). Robbins studied the Urapmin people’s acquisition of modern Western language ideology, which centers on a “tight coupling of intention and meaning that is grounded in the postulation of a speaker who has both an ability and an inclination to tell the truth” (Robbins 2001: 905). This ideology is in sharp contrast with the traditional Urapmin language ideology, shared with

the Bosavi, that “thoughts, feelings, and desires are hidden in the human heart [...] and cannot be reliably communicated through speech” (Robbins 2001: 906). Speech in general, and ritual speech in particular, especially in the initiation context, is seen as not trustworthy. For the Urapmin, the speaker is not responsible for faithfully constructing meaning – the listener is expected to create, however imperfectly, the meaning of what he or she hears.

Christianity provoked an important shift towards the concept of a sincere speaker who is responsible for the truthfulness of her or his words – in prayer (Robbins 2001) and in confession (Robbins 2008). How did this happen ?

One component, as Robbins argues, is that prayers and confession are seen as *ritual actions*. Intentionality is related to action differently than to talk. While in a typical speech situation a Urapmin speaker is not committed to the truthfulness of what he or she says, an actor, especially a participant in a traditional ritual event – sacrifice, taboo observance, initiation and so on – commits to the goals of that event. In other words, “ritual participation entails commitment and appropriate intentions that animate them whether or not the participants themselves undertook the ritual with those intentions in their hearts” (Robbins 2001: 907). Just as in traditional rituals, the participants in Christian rituals are endowed with the intentionality proper to these actions. In particular, in the case of confessions, the intentionality is the acknowledgment of sinful behavior. However, the content and truthfulness of the intentional state expressed in confession, a ritual in the form of a speech act, is connected to the action as well as to the content and truthfulness of the enunciated words.

Here the second component comes into play: the appearance of a new listener with exceptional properties. According to Robbins’ records, there is only one traditional speech situation where the Urapmin take a person at her word and assume that she speaks her intention or “will”. In Urapmin, women initiate marriages and they do so by “calling the name” of the man they hope to marry. The event of “calling the name” is highly ritualized. Crucially, it can only occur in the presence of very specific types of listeners: “it is only leaders, or aspiring leaders, who are

willing to meet the woman somewhere private and listen to her pronounce directly, after a few turns of further indirection, whom it is she plans to marry” (Robbins 2008: 427). Similarly, in the Christian context, a truthful speaker addresses an exceptional listener: God. Moreover, God appears to the Urapmin Christians as a radically new type of listener, who, “unlike people, can see inside the human heart. Because God knows what one thinks and because He also condemns untruthfulness, Urapmin believe that a person will never knowingly lie to God” (Robbins 2001: 906). Thus God can make a connection between intention and speech and makes the speaker do the same: when addressing one’s prayer to God, one believes in the truth of what one says. “In this way, the creation of a new kind of omniscient listener elicits a new kind of truthful speaker” (Robbins 2001: 906). Even in confession, which is formally addressed to a pastor or a deacon, the confessor simply plays role of an overhearer (in Goffman’s terms, 1981) of the penitent’s words, rather than an addressee: “There is a good deal of work done to make it very clear that God is the real addressee of the penitent’s sincere speech [...] In their prayers, it is as if they [the confessors] insist they have not heard that speech at all, an insistence they follow through on by never talking with anyone about what others say in the course of confession” (Robbins 2008: 428).

Thus, a new, truthful speaker emerges as a result of a combination of existing pragmatic frameworks. First, the framework of the ritual action is projected on the prayer or confession: the one who prays or confesses commits to their actions, just as they would in a traditional ritual. At the same time, as in the ritual of “calling the name” of a future spouse, the participant framework includes a listener with exceptional properties: a leader or aspiring leader who serves as the addressee of sincere speech. In prayers and confession, God becomes such a listener. Finally, the listener is generally responsible for creating meaning. The omniscient God takes on this responsibility, which, in turn, makes the speaker speak sincerely. Interestingly, a listener who can read other people’s minds does not appear alongside the sincere speaker: this capacity is still reserved to a restricted group of listeners.

Note that the shift in pragmatics, The ideology of the truthful speaker appeared in prayer and in confession. Both are heavily institutionalized Christian genres which occur in very specific social contexts.

“ Note that the shift in pragmatics, the ideology of the truthful speaker appeared in prayer and in confession. Both are heavily institutionalized Christian genres which occur in very specific social contexts”

The second case study focuses on a related process – the emergence of the reflexive language and third-party thought reports – where the role of religious translation arises on the first plan.

religious translation arises on the first plan.

The traditional analog of such activity, the ritual of “calling the name” of a future spouse, is also highly institutionalized. It is not clear whether these practices made their way outside these specific genres – (Robbins 2001: 906) suggests not – but it is an interesting question for a further study.

Thus, the first case study focuses on the subjectivity transformation among the Urapmin and the emergence of a sincere subject under the influence of Christianity and innovative speech genres that it introduced, such as confession.

Example 2. Emergence of reflexive language in Bosavi

This section summarizes “Found in Translating: Reflexive Language across Time and Texts in Bosavi, Papua New Guinea” by Bambi Schieffelin (2007). The linguistic vehicle of Christianity among Bosavi was Tok Pisin, the official language of Papua New Guinea. In the Bosavi community, the Bible is orally translated from Tok Pisin by the pastors during church services. Schieffelin’s recordings of these translations date from

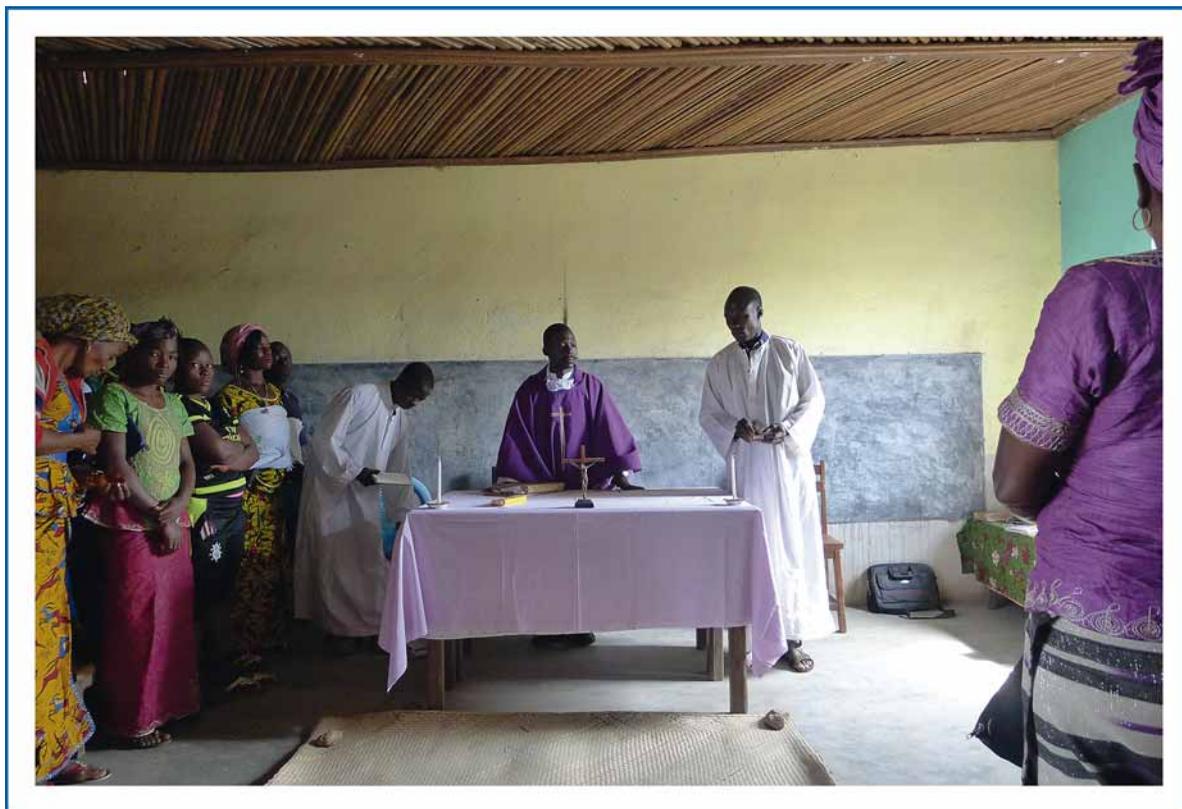


Figure 1: A Kpelle priest and his interpreters, Mano prayer leaders. 2016

1975 to 1995, which gives a nice perspective on the historical development of translation practices. One of her most consequential findings is the development of vocabulary for affective and cognitive states calqued from Tok Pisin. The original Bosavi verb “to think” is *asulo*. A complex expression *kufa: usa asulo*: < stomach center think > “think in heart” gradually entered into usage, calqued from Tok Pisin *tingting long bel* “think in heart”. Even more importantly, prior to missionization, private thoughts or the internal states of other people were very rarely reported, and only in a restricted set of speech contexts; namely, certain traditional story genres. That explains why the reading and translation of Mark 2:6 (“Now some teachers of the law were sitting there, thinking to themselves”²¹) caused special difficulty for the Bosavi, which manifested in an exceptional amount of hesitations and self-repair. Schieffelin (2007) found two self-repairs in the translation version recorded in 1975, plus additional material, not present in the text from which the translations were made:

(1) a *ili asulakiyo: a:la: asulo:*

they were thinking their thoughts

b *ili kufami asulakiyo:*

they were thinking in their hearts

c *iliyo: mada asulo:ko:li nowo: miyo: sa:la: bo:bo:ge*

some different thoughts came really quickly

It was only in 1995 that Schieffelin recorded a translation of this verse using the above-mentioned calque *kufa: usa asulo:*

(2) *o: ya:suwa:lo: to siyo: a:no: da:da:sa:ga:yo: asulo:wo:*

– *lolo: asulo:wo: kaluwa: kufa:usamiyo: a:la: asulo:*

having heard what Jesus said, they thought

– the men who understood law thought in their hearts

Interestingly, the three versions of the New Testament in Tok Pisin also saw an important revision in these particular verses, which suggests that speaking about the internal states of others is problematic not only for Bosavi. In the New Testament translation into Tok Pisin

published in 1969 the expression *tingting long bel* “think in heart” was followed by an explicit speech verb *spik* (~they were thinking in their hearts, saying), while in the 1978/1989 translation the expression was used without the speech verb:

(3a) New Testament in Tok Pisin, 1969, Mark 2:6

na long bel bilong ol ol i tingting, i spik

and they were thinking in their hearts, saying

(3b) New Testament in Tok Pisin, 1978/1989, Mark 2:6

na long bel bilong ol ol i tingting olsem

and in their hearts they were thinking

In this example, the development of novel expressions for the internal states of others is based on both the lexical material already available in the language and a pattern borrowed from a neighboring language. Crucially, as in the previous example, this speech activity is circumscribed by specific speech situations and occurs only in specific genres, namely, Bible translations.

Just like the current case study, the next one focuses on a nexus between a linguistic and a social transformation induced by translation. In the latter case, it is the translation of fauna taxonomies in Jesuit missions among the Guaraní which went hand-in-hand with an attempted social transformation: promotion of shepherd-like domestication associated with Christianity, and repression of hunting, associated with shamanism.

Example 3. Emergence of the pastoral language in Guaraní

This section reports on “Converting Birds. Collaborative Translation of Catechetical Animal *Exempla* and the Reshaping of Guaraní Native Taxonomies in Paraguay’s Jesuit Missions”, an ongoing doctoral study by Thomas Brignon. The empirical focus is on catechetical exemplary tales, or *exempla/tekokue*, a didactic genre written in Guaraní in the context of the Jesuit missions of Paraguay. Setting the *exempla* in a broader intertextual context, including non-religious and non-translated texts of the same period, the study aims to show how a missionary register proved influential both in written and oral contexts beyond the catechistic domain.

²¹ The Bible citation is taken from the New International Version translation.

Lexical semantics and the taxonomic structure of the animal lexicon evolved in Guaraní under the influence of missionary translation. The Jesuits attempted to turn the Guaraní from hunters into settled agriculturalists, introduce domesticated cattle and impose the practice of animal husbandry, repressing traditional hunting practice. In their linguistic work, they aimed at a deep resemantization of local animal-related lexicon, representations and practices, favoring native taxa related to tamed wild animals (birds in particular) in order to convey European concepts associated with cattle husbandry or with the very idea of animality as a generic class, inferior and distinct from humanity. At the same time, they censored hunting-related categories. This linguistic reconfiguration of Guaraní native taxonomies went hand in hand with the social process of promoting a shepherd-like domestication associated with Christianity, and repressing hunting, associated with shamanism.²² Moreover, the extensive presence of the very same taxonomies in non-religious and non-translated texts that feature in daily oral discourse indicates that resemantized categories of didactic genres (such as *exempla/tekokue*) and of the broader missionary register (catechisms, sermons, chronicles and the like) were influential beyond their original domain of use in Jesuit religious writings and came to characterize the written and spoken language of the missions, such as administrative manuals.

The final case study is drawn from my own work on the language of Catholicism among the Mano (Guinea). In contrast with the preceding study, the power dynamics in the translation process is different: it is not the missionaries that implement or regulate translation from a colonial to an indigenous language, but rather native actors themselves. While translation plays a central role in the development of the religious

language, the social context – the fact that the source language in translation is spoken by the priests, but also by spouses, in-laws and children of Mano – constrains the translation-induced linguistic transformation.

Example 4. When your priests speak the language of your wives : translation ideology in Mano Catholic communities

Catholicism was introduced among the Mano ethnolinguistic group in Guinea in the early 1940s, and the missionary presence was short-lived. Today, according to the Evangelical organization Joshua Project, only 4% of the Mano are Catholics.

In contrast to the Mano, their neighbors, the Kpelle, enjoyed a longer missionary presence and embraced the Catholic faith much more enthusiastically: 32% of the Kpelle are Catholics²³. My oral corpus consisting of recordings of religious events and my collection of written documents in circulation in the Mano Catholic communities strongly suggest that Kpelle has served as an influential model for the Mano Catholic register. Below I consider three examples: spontaneous oral translations from Kpelle during Mass and Sunday celebrations ; key prayers (Our Father, Creed, Hail Mary, Confession) which are learned by heart and recited orally by the members of the community and which, too, are translated from Kpelle ; and finally, written translations from Kpelle.

First, during Sunday celebration, some Mano prayer leaders translate orally from the Sunday Missal in Kpelle. See for example a translation of Is 52:8 recorded by me during the Christmas Mass in 2017:

MANO	ō	pē	séj	yí-wè-gèè	wàlà	yē-pèlɛ
	they	thing	every	interior- speech- say	God	give. birth- lieu/ INF

àà	nà	áà	nù	Sion	pèlɛ	yí
he	return	he	come	Sion	lieu	in

Lit.: they are all at the place of birth of the ruler of all things, he returns, he comes to Sion

²² The social and linguistic promotion of pastoralism is also related to the sociocosmological transformation from animism to naturalism, triggered by conversion to Christianity and, in particular, the process of translation. Aparecida Vilaça discusses this problem in relation to the conversion of an Amazonian people, the Wari', to Evangelical Christianity in the second half of the twentieth century (Vilaça 2015 ; 2018).

²³ https://joshuaproject.net/people_groups/16121;
<https://joshuaproject.net/languages/gkp>



Figure 2: A catechist with a Missal in Kpelle in a Mano village. 2017

KPELLE	di	kaa	hèn	gélée	nyâ-woo-bho	yala	kaa-y
	they	be	thing	all	sur-face-speech-say	God	see-lieu/INF
ye	pene	ye	pa	Sion	daay.		
he	return	he	come	Sion	the town.		lieu

Lit.: they [see]/[are at the place of birth of] the ruler of all things, he returns, he comes to Sion.

In the French Missal (which was the source for the Kpelle translation): “ls voient de leurs yeux le Seigneur qui revient à Sion” ‘hey see with their eyes the Lord who returns to Sion’

The word *Seigneur* ‘Lord’ was translated into Kpelle as *nyâ-woo-bho yala* (surface-speech-say

God) which was, in turn, translated into Mano by the closest equivalent possible: *yî-wè-gèè wâlâ* (interior-speech-say God). Note that when Mano translate directly from French *Seigneur*, they never use *yî-wè-gèè wâlâ* but other equivalents, such as ‘redeemer’ or ‘father’. More interesting still is the interpretation of the word *kaay* in Kpelle. The infinitive suffix *-y* is homonymous (and etymologically linked to) the locative suffix *-y*. The verb stem *kaa* has two readings, ‘to see’ and ‘to give birth’. Thus, the form *kaay*, together with the copula *kaa*, is highly ambiguous: it can be read either in the locative sense (be at the place of seeing/of giving birth) or in the progressive sense (be seeing/be giving birth). The Mano translator interpreted Kpelle *kaa* as ‘to give birth’, choosing the Mano verb *yê* ‘to give birth’ over the verb *gê* ‘to see’. The Mano suffix *-pèlè* has the same ambiguity as the Kpelle suffix *-y*. As a result, the phrase *ô pē séj yî-wè-gèè wâlâ yèpèlè*

has two interpretations, ‘they are giving birth to the ruler God’ and ‘they are at the place of birth of the ruler God’, and it is likely the second reading that the translator intended. Thus, he mistranslated twice, by choosing the wrong verb meaning and the wrong grammatical construction, but this double mistranslation is yielded by the ambiguity in the Kpelle source to which the translator remained loyal up to every single grammatical detail. Although the meaning of the translation is far from the original, it makes certain sense from the point of view of the meaning of the prophecy and the Biblical history.

Second, all the prayers recited during Mass and Sunday celebration are almost word-to-word translations from Kpelle. See the translation of “I believe in the Holy Spirit” from the Apostles’ Creed prayer:

Mano Guinea

māā **kilī** **mésîà** ηωδ̣ yí ḍō ηwánà ká
 I.have **intel-** **pro-** issue inte- know truth with
ligence **per** rior

‘Lit.: I have believed in the issue of the Proper Intelligence with truth’

Kpelle

ηàā **kilī** **māāhèγέε** mēni kilī ḳɔḷɔη à ṭēā
 I.have **intel-** **proper** issue spirit know with truth
ligence

‘Lit. : I have believed in the issue of the Proper Intelligence with truth’

Mano Liberia

māā **gèè** **púlú** ηωδ̣ g̣ē ηwánà ká
 I.have **spirit** **white** issue see truth with

‘Lit.: I have seen the issue of the White Spirit with truth’

In Guinean Mano, Holy Spirit is translated by *kilī mēsîà*, where *kilī* means ‘intelligence’ and is a borrowing from Kpelle which borrowed it from *hákilī* ‘intelligence’ in Manding, another indigenous language of the region, which, in turn, borrowed it from the Arabic ‘*aql* intelligence’. (For more examples of Arabic words borrowed into Mano through Manding and Kpelle and the role of the Christian translation, see Khachaturyan to appear.) *Mésîà*, in turn, is an adjective derived from a verb meaning ‘to purify’, it is a direct equivalent of Kpelle *māāhèγέε* ‘proper’ and its internal structure in Mano and in Kpelle is identical. In Liberia, where the Mano Catholic

register is much less influenced by Kpelle, the equivalent of the Holy Spirit is *gèè púlú*, where *gèè* means ‘a spirit of a dead person’ and *púlú* means ‘white’.

The extent of the Kpelle influence becomes clearer if one compares several versions of the same translation from Kpelle. One such text which was translated several times is called “Sunday celebration without priest” (*Célébration dominicale sans prêtre*), a document containing the main prayers and ritual formulas used by the catechists and prayer leaders in church whenever there is no priest available to celebrate Mass. Curiously, all three Mano prayer leaders which I have worked with have different versions of the translation, which enables a study of variation in translation choices. Only one of the texts had the calque *mésîà* ‘proper, purified’ as an equivalent of *māāhèγέε* ‘proper’ in Kpelle. Two other texts do not recur to that calque and use a different term, *mékègbinū* ‘made heavy’.

Thus, while the translated pairs of texts give an impression that the Kpelle model is followed very closely, the existence of several translation equivalents with the same source text shows that in reality, Mano translate rather liberally, at times aligning with Kpelle, and at times not. As we saw in examples 3 and especially 2, innovative expressions introduced through religious translation may contribute to linguistic and broader cultural change. Such change is especially likely when the source text has prestige over the target text – the effect often called the “Sacral Stamp” (Drinka 2011). And yet, in the Mano case, the language of the priests and the source texts, Kpelle, is also the language of the neighbors with whom Mano intermarry often. As a result, it is also the language of wives, husbands, in-laws and children of Mano Catholics. Thus, at the level of linguistic ideology, the influence of Kpelle does not result from a reverence to a prestigious model. It rather results from convenience: given the overall similarity between the two languages due to a long history of contact, such word-by-word translations are possible and are among the most obvious translation choices. As a result, while the borrowings and the calques are linked to the emerging Catholic register, at the same time they also belong to the same family of interference phenomena as other instances of the Kpelle influence in the speech of Mano – Kpelle bilinguals in the eve-



Figure 3: The spectators of a staged Nativity in Mano. 2017

ryday speech (Khachaturyan 2019 ; Khachaturyan & Konoshenko Ms.). And yet, just like calquing in translation never achieves its theoretically possible extreme, the convergence process grounded in the everyday bilingualism is constrained by the distinct ethnolinguistic identities of the two groups. The dynamics of that convergence and divergence – in the religious register and in the everyday speech – should be an object of a future investigation²⁴.

²⁴ A comparable but different case of convergence countered by divergence is observed in the Upper Rio Negro region in Amazonia. While the grammars of the contacting languages of the region are highly convergent, the vocabularies are kept distinct, with an important exception of the biological nomenclature which is borrowed and calqued extensively. A key role in the transmission of that type of vocabulary is played by the innovative ritual discourse of the shamans and in particular, incantations, which rely on taxonomically

Conclusion

This article sketches a model of differential social and linguistic change as a result of contact. In this model, specific settings and areas of social practice in which contact is most intense play a major role. One such area is Christian religious practice, which, typically as a result of conversion, often involves linguistic and cultural contact. One of the principal conduits of this contact is translation of church texts.

The article joins the argument advanced by Hanks and Severi (2014) that language contact and bilingualism overrule the paradox of incommensurability of different linguistic systems:

organized lists of flora and fauna terms which the specialists are encouraged to expand. This, in turn, leads to the circulation and propagation of innovative terms. See Epps (2014).

translation is precisely a practice of commensuration, but at the same time has the capacity to transform the target language (Hanks 2014). More specifically, however, if we assume that translation and contact may occur in a particular domain of habitual practice, initial transformation may also be circumscribed to particular – in our case, religious – registers which emerge as a result of contact and translation. The distinctiveness of these innovative linguistic registers is the most visible in vocabulary (Example 3 and 4), but can also be seen in grammar (Drinka 2011). When translation occurs in a context of broader cultural and matrimonial exchange, as in the case of translation from Kpelle into Mano which is not accompanied by an ideological reverence to the prestigious model of the translated texts (Example 4), the influence of the translation process is constrained. And yet, in other cases, when endowed with social value indexing membership in the Christian community, the features of these innovative registers may spread beyond the religious genres in which they initially appear and affect a broader variety of repertoires in use by a given linguistic community (Example 3, Drinka 2017).

Moreover, the consequences of contact and translation may go beyond a solely linguistic change. The emergence of reflexive language in Bosavi (Example 1) or the sincere speaker in Urapmin (Example 2) in Christian speech genres pose a challenge to the doctrine of “opacity of other minds” and existing native models of language use and intentionality. The missionary transformation of animal taxonomy in Guaraní

was related to a broader attempt to promote shepherd-like domestication associated with Christianity and repression of hunting associated with shamanism (Example 3). Thus, on a more general level, since language structure and use are connected to habitual patterns of expression and classification, linguistic change goes hand in hand with a social transformation.

Acknowledgments

This paper arose from discussions at several workshops and a conference in Paris as part of the “Cognitive and linguistic consequences of translation. Comparative approaches” project, supported by a grant from the Fondation Fyssen. The first example presented here is a reanalysis of original work by Joel Robbins, discussed with the author at the workshop “(Dis)continuities, transmutation(s)” in October 2017. The second example, drawn from the work of Bambi Schieffelin, was discussed with the author and presented in an earlier publication (Khachaturyan 2017). The third example was presented by its author, Thomas Brignon, at the conference “Language contact and translation in religious context. Comparative approaches” in May 2018. My own empirical study was supported by the grant from the Fyssen Foundation, as well as by the University of Helsinki and the Academy of Finland. I am enormously grateful for the opportunity for interdisciplinary dialog that the Foundation grant gave us and would like to thank all participants and discussants for sharing their work and ideas. All the errors in interpretation of the material are my own.

Imbroglia de l'au-delà Le vrai du faux dans les relations avec le monde invisible des Indiens pankararu du Nordeste du Brésil

Cyril MENTA

Département de la Recherche et de l'Enseignement du musée du quai Branly – Jacques Chirac, Paris

Résumé

Les Indiens pankararu (État du Pernambouc, dans le Nordeste du Brésil) ont initié dans les années 1930 un processus de formalisation de leur identité indigène. Afin de complaire au Service du Protection de l'Indien (SPI, organe tutélaire des Indiens au Brésil), ils ont entrepris d'importants changements sociaux, politiques, rituels et cosmiques. Une organisation spécifique de chacun de ces éléments – interdépendants – a été élaborée. Celle-ci n'a cependant pas perduré et règne aujourd'hui à l'intérieur du village pankararu une incessante remise en cause du pouvoir établi. C'est principalement au plan cosmique que s'intéresse cet article. Le panthéon « traditionnel » est considéré comme étant fixe. Pourtant, de nouvelles entités invisibles l'intègrent régulièrement. Ne pouvant empêcher ni même freiner cette augmentation, les autorités locales « traditionnelles » énoncent des discours visant à nier la véracité d'une entité invisible ou des capacités d'un spécialiste rituel. L'objectif de cet article est d'analyser cet ordre nouveau, cette incompréhension mutuelle, par la multiplicité des sources énonciatrices de « vérité ».

Mots-clés

Vérité, conflits, cosmologie, formalisation identitaire, Indiens pankararu

An imbroglia from beyond The true from the false in the relationships with the invisible world among the Pankararu Indians, Northeast region of Brazil

Abstract

Pankararu Indians (State of Pernambuco, Northeast region of Brazil) have initiated during the 1930s a process of formalization of their indigenous identity. To please the Indigenous Protection Service (SPI, the official tutelary body of indigenous peoples in Brazil), they undertook major social, political, ritual and cosmic changes. A particular organization of each one of these – interdependent – elements has been developed. Even so, it did not last long and reigns today, inside the pankararu village, an incessant reconsideration of the established power. This paper is mainly concerned with the cosmic plane. The “traditional” pantheon is considered fixed. However, new invisible entities regularly integrate it. Unable to prevent or even halt this increase, “traditional” local authorities produce speeches targeting denying the veracity of an invisible entity or the capacities of a ritual specialist. The goal here is to analyze this new order, this mutual misunderstanding caused by the multiplicity of sources enunciating “truth”.

Keywords

Truth, conflicts, cosmology, identity formalization, Pankararu Indians

La vérité est une chose terrible. On commence par y poser le bout du pied, sans rien éprouver. Quelques pas de plus, et on s'aperçoit qu'elle vous entraîne comme le ressac, vous aspire comme un remous. D'abord, la vérité vous attire à elle d'un mouvement si lent, si régulier, qu'on s'en rend à peine compte ; et puis le mouvement s'accélère, et puis c'est le tourbillon vertigineux, le plongeon dans la nuit. Car la vérité a ses ténèbres. On assure qu'il est terrible d'être saisi par la grâce divine.

Robert Penn Warren,
Tous les Hommes du Roi.

Introduction

Cet article explore les conséquences sociales de récents bouleversements cosmiques chez les Indiens pankararu de l'État du Pernambouc, dans le Nordeste du Brésil. Le monde invisible « traditionnel » est considéré comme fixe. Quelques familles possédaient le monopole des relations avec les êtres le peuplant : elles étaient seules détentrices de masques rituels *praiás*, des lieux de pratiques rituelles (*terreiros*) et de l'organisation de rituels. Ce n'est plus le cas aujourd'hui : de nombreux individus, appartenant à d'autres parentèles, viennent remettre en cause cette autorité. Dès lors, de nombreux discours visant à nier la « véracité » d'un masque ou d'un spécialiste rituel apparaissent. Mon hypothèse est que la difficulté, voire l'impossibilité, à faire accepter une vérité au collectif est le résultat de l'imbrication d'une multiplicité de sources énonciatrices de vérités. Je vais m'attacher à retracer l'origine de ces discours afin d'en saisir les dynamiques contemporaines.

Cet article s'appuie pour ce faire sur le thème des « régimes de vérités », mis en lumière par Michel Foucault (2012). Pour cet auteur, la relation entre subjectivité et vérité est centrale pour la constitution d'un sujet éthique. Un régime de vérité est un processus à travers lequel s'établit ce qui est tenu pour vrai. Il faut pour cela observer l'origine de son énonciation. La vérité apparaît ainsi comme une construction, une production. Elle émerge du contexte historique ainsi que des dispositifs de pouvoir présents. Il devient alors important de saisir l'effet que peut avoir sur l'existence des individus la présence des formes plurielles de vérité.

Intervention exogène et formalisation identitaire

Quelques données historiques relatives aux processus de formalisation des identités indigènes dans le Nordeste du Brésil sont nécessaires afin de saisir la manière dont une organisation sociale spécifique s'est établie chez les Pankararu. C'est au cours de ce processus que la « tradition » est définie, par l'intervention d'anthropologues et par d'importants réagencements internes.

Lors de la création du Service de Protection de l'Indien (SPI) en 1910, le Nordeste du Brésil est officiellement dépourvu de peuples indigènes. L'intervention de l'organe tutélaire y est alors inconcevable. La région n'est peuplée que de *caboclos*, métisses d'Indiens, de Blancs et de Noirs, paysans catholiques parlant portugais. À partir de 1920 pourtant, le père Alfredo Dâmaso et l'anthropologue brésilien Carlos Estevão de Oliveira défendent la cause des Fulni-ô de l'État de Pernambouc : après de nombreux conflits opposant ce groupe à des propriétaires terriens, Estevão de Oliveira entreprend des recherches anthropologiques et archéologiques afin de prouver l'appartenance ethnique de ce peuple, tandis que le père Dâmaso en devient le porte-parole, défendant leur cause (Arruti, 1999). Les Fulni-ô sont le seul peuple de la région à avoir conservé leur langue indigène (ils parlent le *yathê*, du tronc linguistique macro-gê [Boudin, 1949]). Ils possèdent également des rituels aisément identifiables comme indigènes (tels l'*ouricouri*¹ et le *toré*²), ainsi qu'une organisation sociale en deux clans exogamiques. Sur la base de ces critères précis, le SPI décide d'installer en ce village un Poste Indigène (PI), marquant par là leur reconnaissance officielle en tant qu'Indiens.

La formalisation identitaire des Fulni-ô a déclenché d'autres processus similaires. L'exemple des Potiguara de l'État du Paraíba est lui aussi révélateur : contrairement aux Fulni-ô, ils sont considérés comme trop « métisses », ils ne

¹ L'*ouricouri* est le nom du lieu dans lequel une réclusion de trois mois est observée. L'accès à ce lieu au cours de cette réclusion est strictement interdit aux non-Indiens.

² Si le *toré* est, déjà à cette époque, un rituel collectif largement répandu parmi les groupes indigènes du Nordeste du Brésil, celui pratiqué par les Fulni-ô se distingue par l'usage de deux aérophones (Antunes, 1973).

présentent « aucun des signes externes généralement admis par la science ethnographique » (cité par Arruti, 1999) et vivent en promiscuité avec les Blancs. Langue, rituels, organisation sociale semblent être les critères implicites adoptés par le SPI.

Les Fulni-ô évoquent avec Carlos Estevão de Oliveira la présence de familles parentes, dans un village du nom de Brejo dos Padres, au sein d'une population nommée Pankararu ou Pankaru (selon la graphie de l'époque). Il s'y rend pour la première fois en 1935 et initie des recherches anthropologiques et archéologiques.

Brejo dos Padres est une vallée fertile au cœur de la région semi-aride du *sertão*. Le ruisseau qui y naît et ses quelques sources d'eau sont à l'origine de la première partie du nom du village, Brejo, le marais. La seconde, dos Padres, provient du fait que l'initiative de l'installation en ce lieu revient à deux pères oratoriens. Ils ont, entre la fin du XVIII^e et le début du XIX^e siècle, regroupé des individus ou des familles indigènes des États de Bahia, Per-

nambouc, Sergipe et Alagoas, ainsi que des familles originaires de *quilombos*³. Dès sa formation, ou peu de temps après, la population connue aujourd'hui sous l'ethnonyme pankararu est ainsi constituée de divers groupes indiens et noirs, sous l'influence de missionnaires catholiques. Si le nom Pankaru était celui de l'un des groupes autochtones regroupés en ce lieu, il devient l'ethnonyme de cette population hétérogène.

Carlos Esevão de Oliveira établit une comparaison avec la situation des Fulni-ô, après avoir défini l'appartenance des pankararu à une même « aire culturelle » : chez les Pankararu, les lieux de pratiques rituelles sont éparpillés et nombreux, l'organisation sociale n'est pas claire, ce qu'il analyse en termes de « pertes ». Sur le

³ Lorsque les esclaves fuyaient des *senzalas* (nom des logements, chez les propriétaires terriens ou Seigneurs, qui étaient attribués aux esclaves), ils pouvaient se constituer en *quilombo*, terme traduit en français par « marronnage ».



Figure 1 : Le rituel *praiá* des Indiens pankararu, dans lequel dansent les masques rituels homonymes (Ph. C. Menta, 2015).

modèle fulni-ô, une organisation sociale est adoptée. Elle se compose d'un *cacique* en tant que chef politique, d'un *pajé* en tant que leader religieux et rituel et d'un capitaine (*capitão*). Les pratiques rituelles sont dorénavant centralisées sur quatre terrains rituels (Arruti, 2013). Enfin, certains rituels considérés indigènes constituent la quiddité de la population pankararu : *toré*, *praiá*, cures chamaniques ou autres rituels domestiques sont à présent les rituels exhibés par cette population. Si ces rituels sont valorisés, d'autres connaissent une fortune inverse. Aucune « contradiction » identitaire ne peut apparaître et la pratique du *samba de coco*, danse clairement identifiée comme d'origine africaine, cesse⁴. L'intention de Carlos Estevão de Oliveira est que le donné à voir pankararu réponde à ce qu'il estime être les attentes du SPI : un « vrai » peuple indigène, à l'image des Indiens fulni-ô déjà reconnus officiellement.

L'ensemble de cette réorganisation a de fait un effet performatif et les rituels endossent le rôle de signes diacritiques – en l'absence de langue – facilement identifiables. Les membres du SPI perçoivent ces rituels et cette organisation comme preuve indéniable de l'histoire et de l'identité indigène du groupe. Ce qui apparaît à leurs yeux comme une harmonieuse organisation est en fait le fruit de profonds changements récents, dont les conséquences à l'intérieur du village ont été importantes.

Définition du « traditionnel » et sa remise en cause

Cette réorganisation s'est faite par la valorisation de certaines connaissances et pratiques, possédées par de rares individus. Les familles auxquelles ils appartenaient, jusque-là vilipendées par les Blancs (propriétaires terriens ou paysans locaux) à cause de la menace que ces pratiques pouvaient représenter pour la possession des terres notamment, sont à présent valorisées. « À l'époque, on disait de ma grand-mère qu'elle était une sorcière. Mais après, tout le monde a voulu faire pareil qu'elle », me racontait par exemple José Auto, actuel *cacique* pankararu,

soulignant par-là la palinodie opérée lors de ce processus.

Ces familles autour desquelles la nouvelle organisation rituelle et sociale s'opère sont les *troncos velhos*, littéralement les « vieux troncs ». Elles sont les grandes familles fondatrices de ce peuple. Les statuts de *cacique*, *pajé* et capitaine sont attribués à des membres de ces familles ; les quatre terrains rituels leur appartiennent. Organisations sociales et rituelles sont ainsi intimement liées.

Quelques individus ou familles entretiennent des relations pérennes avec des entités invisibles. Cette capacité est à l'origine d'une posture de spécialiste rituel, puisque c'est à travers ces relations que les rituels sont constitués. Selon José Auto, « il y avait à cette époque beaucoup de flèches⁵ (*flechadas*), beaucoup de maladies, d'attaques des êtres enchantés (*encantados*) ». La solution trouvée par les spécialistes rituels a été de bannir les entités malveillantes, de les forcer à l'exil en détruisant leur masque et la paraphernalia leur appartenant. De fait, les individus en relation avec ces entités précises sont eux aussi destitués et ne sont plus considérés comme spécialistes rituels. Les entités conservées composent le panthéon « traditionnel », comportant vingt-cinq êtres enchantés, dont treize d'entre eux possèdent un masque *praiá*.

La relation tripartite à l'origine du peuple pankararu – entre Blancs, Noirs et Indiens – est importante sur le plan des représentations. Lorsque des cultures diverses se rencontrent et se co-altèrent, les mondes invisibles qui les accompagnent sont eux aussi affectés. C'est la morale de la religion catholique qui est ici centrale : ses préceptes sont inculqués aux humains, mais sont également valables pour les entités invisibles qui doivent constituer un idéal vers lequel tendre. Les entités invisibles obéissant à cette morale – les êtres enchantés bienveillants – composent le panthéon « traditionnel ». « Enchanté » peut être employé comme synonyme d'« invisible ». « Être enchanté » peut ainsi parfois désigner, comme c'est le cas dans l'énonciation de José Auto citée plus haut, toute entité

⁴ Le *samba de coco* sera d'ailleurs, à partir des années 1980, le rituel à exhiber pour les groupes prétendant au statut de *quilombolas*, au même titre que le *toré* pour les groupes indigènes (French, 2009).

⁵ « Être flécher » signifie tomber malade par l'action néfaste d'une entité invisible ou d'un sorcier.

invisible. Le terme « *encantado* » en vient cependant à désigner une catégorie spécifique d'entités invisibles : les êtres enchantés sont dorénavant les entités bienveillantes – conservées au cours de la réorganisation cosmique –, auxiliaires de cures chamaniques des spécialistes rituels des vieux troncs.

Les Pankararu obtiennent le statut d'Indien en 1943. Les vieux troncs sont à ce moment définitivement institués en connaisseurs du « traditionnel », en charge de l'organisation des rituels

ayant permis l'obtention de ce statut et en relation avec les entités bienveillantes. Les autres entités, pathogènes et dorénavant bannies, sont assimilées à des *exus*⁶, des entités d'origine africaine associées par les Indiens à la *macumba*, la sorcellerie. Elles sont repoussées en dehors des frontières du village indigène.

L'organisation envisagée par Estevão de Oliveira pour les Pankararu est perçue comme idéale. Aujourd'hui encore, l'usage du terme « traditionnel » renvoie à cette organisation sociale et rituelle ayant permis aux Pankararu de devenir Indiens et aux vieux troncs d'asseoir leur monopole politique et rituel dans le village. C'est autour de cette notion du « traditionnel » que se tissent les conflits récents, la « tradition » instaurée alors correspondant à la « vérité » aujourd'hui mobilisée.

De vingt-cinq entités et treize masques rituels « traditionnels », ces derniers sont au nombre de soixante-seize en 1996, de 283 en 2006⁷, et ils sont aujourd'hui estimés à plus de 350 sur le territoire pankararu. Il y eut dans un premier temps une

⁶ Les *exus* sont des entités d'origine africaines, que l'on retrouve notamment dans les rituels brésiliens de l'umbanda ou dans le cartésianisme cubain. Mon étude est, à ma connaissance, la première à faire état d'*exus* au sein de populations indigènes (Menta, 2017).

⁷ Ces différents recensements ont été effectués par des leaders locaux.

augmentation contrôlée, selon un protocole « traditionnel », c'est-à-dire sous l'égide des spécialistes rituels membres des vieux troncs, puis une véritable libéralisation. Avec ces masques, c'est le nombre de spécialistes rituels qui augmente,

ainsi que celui des terrains rituels. Le prestige des vieux troncs est remis en cause par de « nouvelles » parentèles accompagnées de « nouvelles » entités invisibles. Ces familles sont en mesure d'organiser des cures chamaniques, des rituels collectifs et gagnent progressivement en prestige social suite à la réussite des

guérisons dont elles se sont occupées.

Les membres des vieux troncs ne peuvent contenir cette augmentation du nombre de spécialistes rituels, d'entités invisibles ou de lieux de pratiques rituelles. Détenteurs de connaissances rituelles approfondies et approuvées, ils jettent le discrédit sur ces « nouvelles » entités et sur ces « nouveaux » spécialistes rituels qui leur sont liés : les entités seraient « fausses », tandis que les spécialistes seraient des menteurs ou des incompetents s'étant laissés bernés par des entités malignes et malveillantes. Ces discours concernant la fausseté visent tantôt l'existence même d'une entité, par le mensonge du spécialiste rituel, tantôt sa nature, par la faculté de certaines entités à tromper un spécialiste rituel ou à agir sans son consentement.

Défiances quant aux preuves

Parmi les nouvelles entités, certaines sont considérées par les membres des vieux troncs comme inexistantes : aucune preuve matérielle crédible ne vient démontrer leur existence. Le premier contact avec une entité invisible s'initie généralement par une trouvaille, insolite sous plusieurs aspects : celle d'une graine-maître (*semente mestre*), qui prend l'apparence d'un cailou, et que les circonstances d'apparition permettent d'envisager comme l'évocation métonymique d'une entité invisible. Il est ensuite nécessaire de faire examiner la prétendue graine-

maître par un groupe de spécialistes rituels afin qu'ils confirment ou infirment sa nature pressentie, au cours d'un rituel domestique. Cette étape permet de muer la présomption initiale, personnelle, en une confirmation collective⁸. Cette seconde étape n'est aujourd'hui plus que très rarement pratiquée. L'approbation collective n'ayant pas lieu, beaucoup doutent de la véracité de la nature de la graine. Dès lors, ni la graine-maître, ni un masque *praiá* ne peuvent plus être considérés comme des objets-preuves. Toute graine-maître non certifiée, de même que tout masque non approuvé, est objet de nombreuses critiques.

Les graines-mâtres appartenant aux vieux troncs sont soigneusement conservées à l'abri des regards, dans le « salon » familial des pra-

tiques rituelles domestiques, afin notamment de leur apporter le soin qu'elles requièrent. Il n'est aujourd'hui pas rare de voir des spécialistes rituels conserver leurs graines-mâtres avec eux, à l'intérieur d'une petite sacoche, les exhibant dès que possible. Cet usage prosaïque d'un objet extraordinaire engendre également des doutes. Les membres des vieux troncs les considèrent alors comme de « fausses » graines-mâtres, de vulgaires cailloux qu'un spécialiste rituel souhaite faire passer pour une graine-maître.

Après la trouvaille de la graine-maître, les relations avec une entité invisible s'établissent à travers le rêve ou par la transe de possession. Ces rencontres sont autant d'expériences personnelles et subjectives qu'il est impossible de prouver ou de certifier. Cette question des preuves est pourtant primordiale, dans un tel contexte de dénigrement. De manière générale, la mobilisation de preuves apparaît essentielle dans la région. Par exemple, lorsque j'abordais avec José Auto l'histoire du village ou les conflits

⁸ Il est intéressant de noter un processus similaire dans le *candomblé*, religion afro-brésilienne. Sur ce point, voir Sansi (2005) et Halloy (2013).

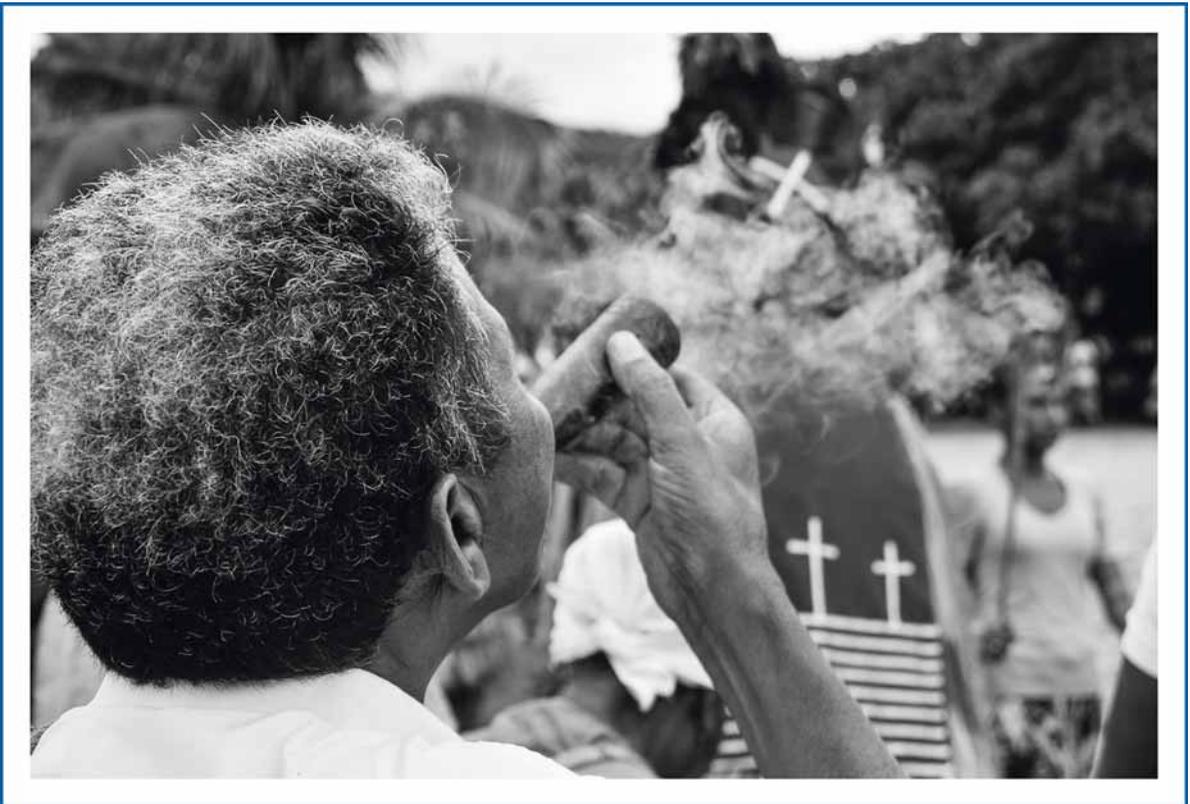


Figure 2 : Un calumet peut appartenir à une entité invisible. La fumée possède une grande importance dans le processus chamanique et rituel (Ph. C. Menta, 2015).

récents concernant le statut de *cacique*, il me montrait dès que possible des documents officiels signés par différentes autorités, soit du village, soit gouvernementales. Ces signatures, documents écrits officiels, sont autant de sources prouvant l'authenticité du document et la vérité attestée qu'il contient et transmet. Dans le cas des relations avec le monde invisible, les graines-mâtres ou masques rituels qui pouvaient jadis être considérés comme la signature ou le tampon officiel d'une instance invisible, sont aujourd'hui davantage envisagés comme de faux documents, des imitations.

La nature perfide des *exus* et le contrôle des êtres enchantés

Pour un grand nombre des nouvelles entités, c'est leur nature bienveillante et protectrice qui est discutée. Elles seraient « fourbes », « trompeuses », « dangereuses ». Le panthéon traditionnel est formé de vingt-cinq êtres enchantés. Les autres seraient des *exus*, êtres de la transformation, de la métamorphose, en tous points différents des êtres enchantés. Ces derniers sont des ancêtres qui ne sont pas passés par l'expérience de la mort, ils sont fidèles à un lieu, à une famille et sont exclusivement bienveillants. Les *exus*, quant à eux, sont trans-locaux, sont des esprits de morts étrangers et sont pathogènes. Certaines de ces nouvelles entités considérées comme des *exus* sont les anciennes entités locales qui avaient été forcées à l'exil, revenues avec l'intention à peine dissimulée de se venger.

Un chant chamanique évoque précisément la possibilité pour un spécialiste rituel d'être trompé par l'une de ces entités, qui prétendrait être ce qu'Elle⁹ n'est pas après son retour d'exil.

<i>O pássaro que voou (bis)</i>	L'oiseau s'est envolé (bis)
<i>O pássaro já voltou (bis)</i>	L'oiseau est déjà revenu (bis)
<i>O pássaro que voou (bis)</i>	L'oiseau s'est envolé (bis)
<i>O pássaro que voltou (bis)</i>	L'oiseau est déjà revenu (bis)
<i>Mas se esse pássaro for falso (bis)</i>	Mais si cet oiseau était trompeur (bis)

<i>Oh meu Deus o que será ? (bis)</i>	Oh mon Dieu qu'advientra-t-il ? (bis)
<i>Mas se essa cama cair (bis)</i>	Mais si ce lit s'effondrait (bis)
<i>Eu mesmo vou é pular daqui (bis)</i>	Moi, je m'enfuirai d'ici (bis)
<i>Mas se essa cama cair (bis)</i>	Mais si ce lit s'effondrait (bis)
<i>Eu mesmo vou é pular daqui (bis)</i>	Moi, je m'enfuirai d'ici (bis)

Les entités invisibles sont souvent assimilées à des oiseaux, avec lesquels elles partagent de nombreuses caractéristiques. Dans ce chant, l'oiseau part puis revient. Il s'agit d'une première caractéristique significative puisque les êtres enchantés ne font montre d'aucune appétence pour le voyage. C'est justement cet élément qui insinue le doute chez le spécialiste rituel membre d'un vieux tronc, qui le pousse à s'interroger quant à l'entité et à abandonner volontairement cette relation tout juste initiée entre eux. En ce sens, l'expression « *pular daqui* » marque la rupture, pas nécessairement dans l'espace (« *pular* » signifiant « sauter »), mais aussi avec une activité. Ce chant appartient à un spécialiste rituel de l'un des vieux troncs. Il est en ce sens un point de vue subjectif sur certaines entités et la réaction à adopter à leur rencontre.

Ces relations pérennes avec les *exus* et leur intégration à la vie rituelle du village ne sont cependant pas l'apanage des nouvelles parentèles. Les membres des vieux troncs possèdent également de nouvelles entités ou de nouveaux masques. Seulement, dans leur cas, la nouvelle entité est placée sous la surveillance d'un être enchanté, et en devient le subalterne. Ces nouvelles entités lui doivent obéissance. Au contraire, lorsque l'une de ces entités ne possède pas de chef, elle est libre d'agir à sa guise à l'intérieur du village et peut être désignée comme la cause de maladies.

Un commandement a ses soldats. [Par exemple], Caboclo de Minuit (Caboclo da Meia Noite) obéit à Maître Colibri (Mestre Beija Flor). Colibri, Il ne fait pas le travail, mais Il autorise l'*exu* à régner, pour qu'Il fasse ce qu'Il veut, mais jusqu'à certaines limites. Ça devrait être comme ça ici, les personnes qui ont des connaissances savent qu'un *exu* doit toujours être sous le contrôle d'un être enchanté (José Auto).

⁹ Les entités invisibles sont des agents sociaux. L'usage de la majuscule permet ici de les différencier des autres agents sociaux.

En plus de posséder le monopole des relations avec les êtres enchantés, les membres des vieux troncs devraient selon eux également avoir celui des relations avec les *exus*. Accepter et intégrer une entité invisible sans être certain de sa nature et sans lui imposer l'autorité d'un être enchanté est d'autant plus préoccupant que les rituels consistent précisément en une guerre symbolique. Le champ sémantique de la guerre est largement mobilisé : le monde invisible possède une hiérarchie militaire ; plusieurs masques *praiás* composent un « bataillon » ; un terrain rituel est assimilé à un « champ de bataille » ; le calumet et le *maracá* sont respectivement des évocations métonymiques d'une arme à feu et d'une épée ; un masque *praiá* est un « uniforme » ; le premier mouvement chorégraphique lors des rituels *praiás* est un mouvement de « ronde » etc. Cette guerre symbolique est entreprise pour la défense du village : les rituels collectifs sont des formes esthétiques de contrôle du monde invisible, par la surveillance opérée par les troupes

pankararu, tandis que les rituels chamaniques sont de véritables luttes visant tantôt à bannir l'entité à l'origine d'une maladie, tantôt à inverser la relation de prédation en une relation de protection. Selon les membres des vieux troncs, les *exus* ne sont pas fiables, ils ne sont pas dignes de confiance, ils peuvent se retourner contre leur propre maître ou encore être des espions ; les spécialistes rituels ne possédant que des *exus* sont des sorciers qui envoient leurs soldats semer la discorde et la maladie dans le village. Ainsi, si les vieux troncs incarnent la vérité vis-à-vis des autres parentèles, les êtres enchantés représentent la vérité relationnelle et morale vis-à-vis des *exus*.

Vérité personnelle

La multiplication récente des masques *praiás* est de deux ordres : ils peuvent appartenir à de nouvelles entités, ou être des duplications de masques préexistants. Une duplication se fait par imitation des indices sonore (chant rituel collec-



Figure 3 : Les capes sont les indices visuels d'une entité invisible. Elles peuvent être similaires lorsque le masque *praiá* est dupliqué (Ph. C. Menta, 2015).

tif) et visuel (cape personnalisée présente sur le masque)¹⁰ d'une entité. Ce cas de figure peut intervenir à la suite de conflits familiaux, ou de rencontres oniriques avec une entité appartenant parfois à une autre famille. Pour le maître originel du masque, une duplication est une « copie » ou une « photocopie » (*xerox*), une pale imitation vécue comme un vol. Pour le nouveau maître du masque, l'entité était délaissée, raison pour laquelle elle s'est rapprochée de lui. Les duplications sont nombreuses, et touchent également les êtres enchantés. Elles peuvent parfois dépasser les frontières du village pankararu.

C'est le cas de Maître Hirondelle (Mestre Andorinha), originaire du village pankararu, mais également présent chez les Pankararé¹¹, entre autres. Neide Chulê, fille cadette d'un spécialiste rituel pankararu renommé venu s'installer chez les Pankararé dans les années 1970, est aujourd'hui elle aussi spécialiste rituelle. Lorsque je l'ai rencontré, elle m'a invité à assister à un rituel domestique dans son salon de cure. Je pensais rester dans mon coin à observer, sans trop me montrer, dans une maison dans laquelle je ne connaissais que quelques personnes. Dès le premier chant énoncé cependant, Maître Hirondelle est arrivé à travers une transe de possession, et s'est adressé à moi. J'ai alors décidé d'obtenir son avis concernant son ubiquité :

HIRONDELLE : Alors mon ami, tu viens de si loin pour connaître les traditions et ton travail est de parcourir tous les villages de la région...

MENTA : Tous les villages, pas tout à fait. Je viens ici chez les Pankararé depuis cinq ans et je reviens de temps en temps. Entre temps, je suis allé chez les Pankararu, où j'ai pu entendre beaucoup d'histoires à propos de la famille Chulê. Et en ce qui te concerne, il y a beaucoup de disputes au Brejo dos Padres...

HIRONDELLE : Ah ! Ah ! Ah ! Ah ! qu'il est bon Hirondelle ! Là-bas, ceux qui te disent ça [qu'ils ont des contacts avec moi] sont tous des menteurs ! Il n'y a que deux personnes auprès desquelles j'arrive lorsqu'elles m'appellent [...]. Quand je ne suis pas

ici, je suis là-bas. [...] Si vous avez une question, nous sommes ici pour y répondre.

MENTA : Je voulais simplement savoir comment il se fait, sachant ce que tu viens de me dire, qu'il y ait toutes ces disputes pour ton uniforme (*folgado*) [synonyme de masque rituel *praiá*] au Brejo dos Padres.

HIRONDELLE : Il n'y a qu'un uniforme de Maître Hirondelle, pas quatre ou cinq. Ici, on va en avoir un aussi, mais pas pour danser sur les *terreiros*, on va le conserver à l'intérieur, comme une protection. [...] Le maître de cette table (*mesa*)¹², c'est moi. Ne viennent ici que ceux que j'autorise [...]. Ils n'arrivent qu'avec ma permission. [...].

Sur ce même modèle, de nombreuses entités peuvent nier – auprès d'un individu ou face à une petite audience – certaines des affiliations qui lui sont attribuées, remettant par là même en cause la parole de spécialistes rituels. De même que les membres des vieux troncs critiquent les nouvelles entités et les nouveaux spécialistes rituels, ces derniers peuvent également discréditer les premiers : ils n'auraient pas su s'occuper de leur entité, raison de leur départ.

Chaque relation avec le monde invisible est vécue comme idéale. Cela signifie que les connaissances et informations transmises par une entité invisible sont tenues pour véridiques, et sont fortement valorisées par qui les détient. En ce point réside les récents bouleversements de l'organisation rituelle pankararu : chaque individu entretenant des relations avec une entité tisse un masque lui appartenant, remettant par là-même en cause le contrôle détenu il y a encore quelques années par les membres des vieux troncs. Une vérité personnelle vient dorénavant concurrencer une vérité historiquement forgée.

Conclusion

En résumé, deux registres de vérité sont présents conjointement dans le village pankararu : l'un est une construction personnelle, que tout individu possédant des relations personnelles avec une entité invisible peut arborer ; l'autre est une construction historique, qui fait des vieux troncs et des êtres enchantés la définition du « traditionnel ». Le chaos qui règne actuellement est le résultat de l'imbrication de ces deux formes de vérité. Je me suis dans cet article principalement

¹⁰ Chaque entité possède une iconographie personnelle sur sa cape. La stratégie visuelle d'intégration d'un nouveau masque est celle de la variation iconographique à partir d'un symbole fort répandu et largement présent sur les capes de masques *praiás* anciens : la croix (Menta, 2018).

¹¹ Pankararu et Pankararé sont les deux populations auprès desquelles j'ai réalisé mon travail empirique.

¹² « Table » est le terme générique employé pour désigner les cures chamaniques.

intéressé au point de vue des vieux troncs, laissant à une prochain enquête les explications concernant ce contexte aux membres de familles délaissées historiquement. La question de l'acceptation collective d'une vérité personnelle est primordiale, de sa propagation en tant que vérité. L'intégration d'une nouvelle entité au panthéon collectif, de même que celle d'un individu au cercle restreint des spécialistes rituels, passe par le déploiement de réseaux d'alliances, mais aussi par l'apport de preuves concernant ses capacités chamaniques. En ce sens, l'efficacité des cures chamaniques pratiquées importe. Ainsi, une vérité personnelle peut – à défaut de devenir his-

torique – accéder à un statut collectif plus ou moins important et ainsi bousculer les frontières du « traditionnel ».

Remerciements

Je tiens à remercier les Indiens pankararu et pankararé pour leur amitié et leur confiance. Mes remerciements vont également à la Fondation Fyssen, pour le soutien apporté. William F. Hanks m'a chaleureusement accueilli à Berkeley, nos conversations ont été très enrichissantes. Lissett Bastidas et Kamala Russell m'ont encouragé et soutenu au cours de cette année en Californie. Un grand merci à Martin Lamotte pour sa lecture attentive de ce texte.



Figure 4 : Ce jeune garçon a été guéri dès sa naissance, par les entités invisibles. Il faut ensuite les remercier à travers l'organisation d'un rituel (Ph. C. Menta, 2014).

Bibliographie

- Antunes, C. *Wakona-Kariri-Xukuru*. Maceió, Université Fédérale d'Alagoas, Imprensa Universitária, 1973.
- Arruti, J.M. « A árvore Pankararu : fluxos e metáforas da emergência étnica no sertão do São Francisco », in Oliveira Filho, J.P. de (éd.). A

Viagem de volta : etnicidade, política e reelaboração cultural no Nordeste indígena, Rio de Janeiro, Contra Capa, 1999.

- Arruti, J.M. « La reproduction interdite » : dispositifs de nomination, réflexivité et médiations anthropologiques parmi les peuples indiens du Nordeste brésilien », *Brésil(s)*, vol. 4, p. 57-77, 2013.

- Boudin, M.H. « Aspectos da vida tribal dos índios Fulniô », *Cultura*, Rio de Janeiro : Ministério de educação e Saúde, vol. 1, n° 3, 1949.
- Foucault, Michel. *Du gouvernement des vivants* (Cours au Collège de France, 1979-1980). Paris, EHESS, Gallimard, Le Seuil, coll. « Hautes études », 2012.
- French, J.H. *Legalizing identities. Becoming Black or Indians in Brazil's Northeast*. Chapel Hill, the University of North Carolina Press, 2009.
- Halloy, A. “Objects, bodies and gods. A cognitive ethnography of an ontological dynamics in the Xangô cult (Recife-Brazil)”, in Espirito-Santo, D. et Tassi, N. (eds), *Making spirits materiality and transcendence in contemporary religions*, Londres, I.B. Tauris (Tauris Academic Studies), p. 133-158, 2013.
- Menta, C. « Peuplement. Transmissions de rituels des Indiens pankararu aux Indiens pankararé dans le Nordeste du Brésil », thèse de doctorat, École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris, 460 p, 2017.
- Menta, C. « Croix sens dessus-dessous. Circulation et transformations d’une forme symbolique chez les Indiens pankararu et pankararé du Nordeste du Brésil », *Images Re-vues*, n° 15 « Les Images vivent aussi : trajectoires biographiques » coordonné par Bérénice Gaillemain et Élise Lehoux, 2018.
- Nimuendaju, C. *Cartas do sertão de Curt Nimuendaju para Carlos Estevão de Oliveira*. Présentation et notes de Thekla Hartmann. Lisbonne, Museu Nacional de Etnologia/Assírio & Alvin, 2000.
- Sansi, R. « Fetiches e monumentos. Arte pública, iconoclastia e agência no caso dos Orixás do dique do Tororó », *Religião e Sociedade*, Rio de Janeiro, vol. 25, n° 2, p. 62-81, 2005.

For the truth is a terrible thing. You dabble your foot in it and it is nothing. But you walk a little farther and you feel it pull you like an undertow or a whirlpool. First there is the slow pull so steady and gradual you scarcely notice it, then the acceleration, then the dizzy whirl and plunge into darkness. For there is a blackness of truth, too. They say it is a terrible thing to fall into the Grace of God.

Robert Penn Warren
All the King's Men

Introduction

This paper explores the social consequences of recent cosmic upheavals among the Pankararu Indians in the state of Pernambuco, Northeast region of Brazil. The “traditional” invisible world is considered to be a fixed one. Some families had the monopoly upon the relationships with the beings populating it: they were the only holders of *praiás* ritual masks, of the places of ritual practices (*terreiros*) and the organization of the rituals. This is no longer a case today: many individuals, belonging to other families, question this authority. Henceforth, numerous speeches aiming to deny the “veracity” of a ritual mask or of a ritual specialist appear. I hypothesize that the difficulty, even the impossibility, of making a collective acceptance of truth comes as a result of the overlapping multiplicity of sources enunciating it. I will focus on tracing the origin of these discourses to capture their contemporary dynamics.

This article is based upon the “regimes of truth” theme, highlighted by Michel Foucault (2012). According to this author, the relation between subjectivity and truth is central to the constitution of an ethical subject. A regime of truth is a process through which what is held to be true is established. This requires observing the origin of its utterance. Truth thus appears as a construction and production. It emerges both from a historical context and a contemporary power system. It becomes important to understand the effect that the existence of plural forms of truth can experience on the existence of individuals.

Exogenous intervention and identity formalization

Some historical data relating to the process of formalization of indigenous identities in the Northeast region of Brazil are necessary to understand how a specific social organization has been established among the Pankararu. It is during this process that the “tradition” is defined, through the intervention of anthropologists and important internal rearrangements.

When the Indian Protection Service (SPI) is created in 1910, the Northeast region of Brazil is officially devoid of indigenous peoples. The intervention of the tutelary body is therefore inconceivable. The region inhabitants are merely

Catholics and Portuguese speakers, they are *caboclos*, counted as an Indian mestizo, with white and black. From 1920, however, Father Alfredo Dâmaso and the Brazilian anthropologist Carlos Estevão de Oliveira defend the cause of the Fulni-ô of the State of Pernambuco: after numerous conflicts between this group and landowners, Estevão de Oliveira undertook anthropological and archaeological research to prove the ethnicity of this people, while Father Dâmaso became their spokesperson, defending their cause (Arruti, 1999). The Fulni-ô are the only people in the region to have retained their native language (they speak *yathê*, from the *macro-gê* linguistic trunk [Boudin, 1949]). They also have rituals easily identifiable as indigenous (such as *ouricouri*¹³ and *toré*¹⁴), as well as a social organization in two exogamic clans. Based on these precise criteria, the SPI decided to install an Indigenous Post (PI) in this village, marking their official recognition as Indians.

The formalization of the Fulni-ô identity has sparked other similar processes. The example of the Potiguara of the Paraíba State is also revealing: unlike the Fulni-ô, they are considered too “mixed”, they present “none of the external signs generally accepted by ethnographic science” (quoted by Arruti, 1999) and live near to Whites. Language, rituals, social organization appears to be the implicit criteria adopted by the SPI.

The Fulni-ô explain to Carlos Estevão de Oliveira that they have kin families in a village called Brejo dos Padres, among a population called Pancararu or Pancaru. He has been there for the first time in 1935 and initiated anthropological and archaeological research.

Brejo dos Padres is a fertile valley in the heart of a semi-arid region called *sertão*. The stream that born there and the few sources of water are at the origin of the first part of its name, Brejo, the marsh. The second, dos Padres, stands from the fact that the initiative to settle in this place fell to two Oratorian fathers. Between the end of the

18th and the beginning of the 19th century, they brought together indigenous individuals and families from the states of Bahia, Pernambuco, Sergipe, and Alagoas, and families from *quilombos*¹⁵. From its formation, or shortly after, the population known nowadays under the ethnonym Pankararu is thus composed of various Indian and Black groups, under the influence of Catholic missionaries. If the name Pancaru was one of the indigenous groups gathered in this place, it became the ethnonym of its heterogeneous population.

Carlos Estevão de Oliveira established a comparison with the Fulni-ô situation, after having defined the pankararu membership in the same “cultural area”: among the Pankararu, the places of ritual practices are scattered and numerous, social organization is not clear, what he analyses as “losses”. On the Fulni-ô model, a social organization is adopted. It is made up of a *cacique* as a political leader, a *pajé* as a religious and ritual leader and a captain (*capitão*). Ritual practices are then centralized into four ritual areas (Arruti, 2013). At least, certain rituals considered indigenous constitute the quiddity of the Pankararu population: *toré*, *praiá*, shamanic cures, and other domestic rituals are now the exhibited rituals, for this population. If these rituals are valued, others experience falls into a reverse fortune. No identity “contradiction” can appear and the practice of *samba de coco*, a dance identified as having African roots, ceases¹⁶. Carlos Estevão de Oliveira intends that the pankararu meets what he considers to be the expectations of the SPI: a “real” indigenous people, like the Fulni-ô Indians already officially recognized.

Altogether this reorganization has a performative effect and the rituals presume the role of diacritical marks – in the absence of language – easily identifiable. SPI members perceive these rituals and this organization as undeniable proof of the group’s history and indigenous identity. What appears to them to be a harmonious orga-

¹³ *Ouricouri* is the name of a place where a three-month reclusion is observed. Access to this place during this reclusion is strictly prohibited to non-Indians.

¹⁴ If the *toré* was, already at that time, a collective ritual widely spread among the indigenous groups of the northeastern of Brazil, the one practiced by the Fulni-ô is distinguished by the use of two aerophones (Antunes, 1973).

¹⁵ When slaves fled from *senzalas* (names of dwellings, from landowners or lords, which were attributed to slaves), they could constitute themselves as *quilombo*, a term translated into French by “marronnage”.

¹⁶ In the 1980s, *samba de coco* became the exhibited ritual for the groups claiming on a *quilombola* status, just like *toré* for indigenous groups (French, 2009).



Figure 1: The *praiá* ritual of the Pankararu Indians, in which homonymous ritual masks dances (Ph. C. Menta, 2015).

nization is in fact the fruit of profound recent changes, whose effects inside the village have been significant.

Definition of “traditional” and its questioning

This reorganization was done by valuing certain knowledge and practices, possessed by rare individuals. The families which they belong, previously vilified by Whites (landowners or local peasants) because of the threat that these practices could represent for the possession of the land, in particular, are now valued. “At that time, my grandmother was considered to be a witch. Afterward, everyone wanted to do the same as her” said José Auto, the current pankararu *cacique*, emphasizing the palinode operated during this process.

These families around which the new ritual and social organization operates are the *troncos velhos*, literally the “old trunks”. They are the great founding families of this group. The sta-

tutes of *cacique*, *pajé*, and captain are attributed to members of these families; the four ritual grounds belong to them. Social and ritual organizations are thus intimately linked.

Some individuals or families have long-term relationships with invisible entities. This ability origins the posture of a ritual specialist since it is through these relationships that the rituals are formed. According to José Auto, “at that time there were many arrows¹⁷ (*flechadas*), many diseases, attacks by enchanted beings (*encantados*)”. The solution found by the ritual specialists was to banish the malicious entities, to force them into exile by destroying their mask and their paraphernalia. The individuals having relationships with these specific entities are also dismissed and are no longer considered as ritual specialists. The preserved entities make up the “traditional”

¹⁷ To be “arrowed” means to fall ill by the harmful action of an invisible entity or a sorcerer.

pantheon, comprising twenty-five enchanted beings, thirteen of whom have a *praiá* mask.

The tripartite relationship at the origin of the Pankararu people – between Whites, Blacks, and Indians – is important in terms of representation. When diverse cultures meet and co-alter, the invisible worlds that accompany them are also affected. The moral of the Catholic religion is central here: its precepts are instilled in humans but are also valid for invisible entities, which must constitute an ideal to strive for. The invisible entities obeying this morality – the

benevolent enchanted beings – make up the “traditional” pantheon. “Delighted” (*encantado*) can be used as a synonym for “invisible”. “Being enchanted” can thus sometimes designate, as is the case in the statement by José Auto cited above, any invisible entity. The term “*encantado*” however emerges to designate a particular category of invisible entities: enchanted beings are henceforth benevolent entities – preserved during the cosmic reorganization – shamanic cures auxiliaries of the ritual specialists of the old trunks.

The Pankararu obtained the status of Indian in 1943. The old trunks were at this time definitively instituted in connoisseurs of the “traditional”, heads on the organization of rituals which allowed obtain this status and establishing relationships with the benevolent entities. The other entities, pathogenic and henceforth banned, are assimilated to *exus*¹⁸, entities of African origin associated by the Indians with *macumba*, witchcraft. They are pushed back outside the borders of the indigenous village.

The organization envisaged by Estevão de Oliveira for the Pankararu is perceived as ideal.

¹⁸ The *exus* have African entities roots, which are found in particular in the Brazilian rituals of Umbanda or in Cuban Cartesianism. To my knowledge, my study is the first to report *exus*' presence among indigenous populations (Menta, 2017).

Even today, the use of the term “traditional” refers to this social and ritual organization that enabled the Pankararu to become Indians and the old trunks to establish their political and ritual monopoly in the village. It is around this notion of “traditional” that recent conflicts are woven, the “tradition” established then corresponding to the “truth” mobilized today.

Of twenty-five entities and thirteen “traditional” ritual masks, these were seventy-six in 1996, 283 in 2006¹⁹, and they are today estimated to be more than 350 in the Pankararu territory.

There was initially a controlled increase, according to a “traditional” protocol, that is to say under the aegis of the ritual specialist members of the old trunks, then a true liberalization. With these masks, the number of ritual specialists is also increasing, as well as the number of ritual grounds. The prestige of the old trunks is called into question by “new” families, accompanied by “new” invisible entities. These families can organize shamanic cures, collective rituals and gradually gain social prestige following the success of the healings they have taken care of.

Members of the old trunks cannot hold this increase in the number of ritual specialists, invisible entities or places of ritual practice. Holders of deep and approved ritual knowledge, they discredit these “new” entities and these “new” ritual specialists who are linked to them: the entities would be “false”, while the specialists would be liars or incompetent being fooled by malignant and malicious entities. These speeches about falsity are sometimes aimed at the very existence of an entity, by the lie of the ritual specialist, sometimes by its nature, by the ability of certain entities to deceive a ritual specialist or to act without his consent.

¹⁹ These different censuses were carried out by local leaders.

Mistrust of evidence

Among the new entities, some are considered by the members of the old trunks as non-existent: no credible material evidence comes to demonstrate their existence. The first contact with an invisible entity is generally initiated by a discovery, unusual in several aspects: that of a master seed (*semente mestre*), which takes on the appearance of a pebble, and which the circumstances of appearance allow to consider as the metonymic evocation of an invisible entity. It is then necessary to have the alleged master seed examined by a group of ritual specialists in order to confirm or deny its sensed nature, during a domestic ritual. This step transforms the initial, personal presumption, into a collective confirmation²⁰. This second stage is rarely practiced today. Since

collective approval does not take place, many doubt the veracity of the nature of the seed. Consequently, neither the master seed nor a *praiá* mask can no longer be considered as evidence objects. Any non-certified master seed, as well as any unapproved mask, is the subject of much criticism.

The master seeds possessed by old trunks are carefully stored out of sight, in the family “salon” (*salão*) – the room devoted to domestic rituals –, in special to give them the care which is required. It is not uncommon today to see ritual specialists keeping their master seed with them, inside a small bag, showing them off as soon as possible. This prosaic use of an extraordinary object also gives rise to doubts. The members of the old trunks may consider them as “false” master seeds, vulgar stones that a ritual specialist wishes to pass on.

After the discovery of the master seed, relationships with an invisible entity are established through dream or trance of possession. These

²⁰ It is interesting to note a similar process in candomblé, an Afro-Brazilian religion. On this point, see Sansi (2005) and Halloy (2013).



Figure 2: A pipe may belong to an invisible entity. Smoke takes a great importance in the shamanic and ritual process (Ph. C. Menta, 2015).

meetings are as many personal and subjective experiences that it is impossible to prove or certify. This question of evidence is nevertheless central, in such a context of bashing. In general, the mobilization of evidence appears essential in the region. For example, when I was discussing with José Auto the history of the village or the recent conflicts concerning the status of *cacique*, he was showing me right away official documents signed by different authorities, either of the village or government. These signatures and official written documents are all sources proving the authenticity of the document and the attested truth that it contains and transmits. In the case of relationships with the invisible world, the master seed or ritual masks which could once be considered as the signature or the official stamp of an invisible body, are today more widely considered as false documents, imitations.

The treacherous nature of the *exus* and the control of enchanted beings

For many of the new entities, it is their caring and protective nature that is discussed. They would be “deceitful”, “misleading”, “dangerous”. The traditional pantheon is made up of twenty-five enchanted beings. The others would be *exus*, beings of transformation, of metamorphosis, in all points different from enchanted beings. The latter are ancestors who have not gone through the experience of death, they are loyal to a place, to a family and are exclusively benevolent. The *exus*, on the other hand, are trans-local, spirits of dead foreign and pathogenic. Some of these new entities considered to be *exus* are the former local entities who had been forced into exile, and who returned with barely concealed intent to take revenge.

A shamanic song evokes precisely the possibility for a ritual specialist to be deceived by one of these entities, who would pretend to be what She²¹ is not, after an exile return.

O pássaro que voou (bis) The bird that once flew (bis)

O pássaro já voltou (bis) The bird is back (bis)

<i>O pássaro que voou (bis)</i>	The bird that once flew (bis)
<i>O pássaro que voltou (bis)</i>	The bird that came back (bis)
<i>Mas se esse pássaro for falso (bis)</i>	But if this bird is fake (bis)
<i>Oh meu Deus o que será? (bis)</i>	Oh my god what will it be? (bis)
<i>Mas se essa cama cair (bis)</i>	But if that bed falls (bis)
<i>Eu mesmo vou é pular daqui (bis)</i>	I'm going to jump from up here myself (bis)
<i>Mas se essa cama cair (bis)</i>	But if that bed falls (bis)
<i>Eu mesmo vou é pular daqui (bis)</i>	I'm going to jump from up here myself (bis)

Invisible entities are often likened to birds, which they share many characteristics with. In this song, the bird leaves and then returns. This is a first significant characteristic since enchanted beings show no appetite for travel. It is precisely this element that insinuates doubt in the ritual specialist who is a member of an old trunk, which pushes him to wonder about the entity and to voluntarily abandon this relationship just initiated between them. In this sense, the expression “*pular daqui*” marks the rupture, not necessarily in space (“*pular*” means “to jump”), but also with an activity. This song belongs to a ritual specialist from one of the old trunks. In this sense, it is a subjective point of view on certain entities and the reaction to adopt against them.

These lasting relationships with the *exus* and their integration into the ritual life of the village are not, however, the preserve of new families. Members of old trunks also have new entities or new masks. But, in their case, the new entity is placed under the supervision of an enchanted being and becomes its subordinate. These new entities owe him obedience. On the contrary, when one of these entities does not have a chief, She is free to act as it pleases within the village and can be designated as the cause of diseases.

A command has its soldiers. [For example], Midnight Caboclo (Caboclo da Meia Noite) obeys Master Hummingbird (Mestre Beija Flor). Hummingbird, He does not do the work, but He authorizes the *exu* to reign, so that He does what He wants, but within certain limits. It should be like that here, people with knowledge know that an *exu*

²¹ Invisible entities are social agents. The use of capital letters here makes it possible to differentiate them from other social agents.

must always be under the control of an enchanted being (José Auto).

To own the monopoly of relationships with enchanted beings, the members of the old trunks should also have, according to them, the one with *exus*. Accepting and integrating an invisible entity without being certain of its nature and without imposing on Her the authority of an enchanted being is all the more worrying since the rituals consist precisely of a symbolic war. The semantic field of war is widely mobilized: the invisible world has a military hierarchy; several *praiás* masks make up a “battalion”; a ritual ground is assimilated to a “battlefield”; the pipe and the *maracá* are respectively metonymic evocations of a firearm and a sword; a *praiá* mask is a “uniform”; the first choreographic movement during *praiá* rituals is a movement of “round” etc. This symbolic war is undertaken for the defense of the village; the collective rituals are aesthetic forms of control of the invisible world,

by the surveillance operated by the Pankararu troops, while the shamanic rituals are real struggles aiming sometimes to banish the entity at the origin of a disease, sometimes reversing the predation relationship into a protective relationship. According to the members of the old trunks, the *exus* are not reliable, they are not to be trusted, they can turn against their own master or even be spies; the ritual specialists with only *exus* are sorcerers who send their soldiers to sow discord and disease in the village. Thus, if the old trunks embody the truth vis-à-vis other relatives, the enchanted beings represent the relational and moral truth vis-à-vis the *exus*.

Personal truth

The recent multiplication of *praiá* masks came from two orders: they can belong to new entities, or be duplications of pre-existing masks. Duplication is done by imitation of the sound (collective ritual song) and visual (personalized cape



Figure 3: The capes work as visual indexes of the invisible entities. They can be similar when a *praiá* mask is duplicated (Ph. C. Menta, 2015).

present on the mask²²) indexes of an entity. This scenario can occur following family conflicts, or dreamlike encounters with an entity sometimes belonging to another family. For the original master of the mask, duplication is a “copy” or a “photocopy” (*xerox*), a pale imitation experienced as theft. For the new mask master, the entity was abandoned, which is why it came close to him. The duplications are numerous, and also concern enchanted beings. They can sometimes go beyond the borders of the Pankararu village.

This is the case of Master Swallow (Mestre Andorinha), originally from the Pankararu village, but also present among the Pankararé²³, among others. Neide Chulê, the youngest daughter of a renowned Pankararu ritual specialist who came to live with the Pankararé in the 1970s, is now also a ritual specialist. When I met her, she invited me to attend a domestic ritual in her cure salon. I thought I would stay in my corner watching, without showing myself too much, in a house in which I only knew a few people. From the first song, however, Master Swallow arrived through a trance of possession and addressed me. So I decided to get his opinion about His ubiquity:

SWALLOW: So my friend, you came from so far away to know the traditions and your job is to go through all the villages of the region...

MENTA: All the villages, not quite. I have been coming here to the Pankararé for five years and I come back from time to time. In the meanwhile, I went to the Pankararu, where I could hear a lot of stories about the Chulê family. And as far as you are concerned, there are a lot of disputes at Brejo dos Padres...

SWALLOW: Ah! Ah! Ah! Ah! how good! Over there, those who tell you that [that they have contact with me] are all liars! There are only two people I come in contact with when they call me [...]. When I'm not here, I'm there. [...] If you have a question, we are here to answer it.

MENTA: I just wanted to know how it is, knowing what you just have told me, that there are all these

disputes for your uniform (*folgado*) [synonymous with ritual mask *praiá*] at Brejo dos Padres.

SWALLOW: There is only one Master Swallow uniform, not four or five. Here we are going to have one too, but not to dance on the *terreiros*, we are going to keep it inside, as protection. [...] The master of this table (*mesa*²⁴) is me. Only come here those I authorize [...]. They only arrive with my permission. [...].

On the same model, many entities can deny – to an individual or in front of a small audience – some of the affiliations that were attributed to Him, thereby calling into question the word of ritual specialists. Like the members of the old trunks critic the new entities and the new ritual specialists, the latter can also discredit the former: they would not have been able to take care of their entity, the reason for their departure.

Each relationship with the invisible world is experienced as ideal. Which means that the knowledge and information transmitted by an invisible entity are held to be truthful, and is highly valued by who owns it. At this point resides the recent upheavals of the pankararu ritual organization: each individual maintaining relationships with an entity weaves a mask belonging to him, thereby calling into question the control held a few years ago by the members of the old trunks. A personal truth now comes to compete with a historically forged truth.

Conclusion

In summary, two registers of truth are present jointly in the Pankararu village: one is a personal construction, which any individual having personal relationships with an invisible entity can display; the other is a historic construction, which makes old trunks and enchanted beings the definition of “traditional”. The current chaos is the result of the overlapping of these two forms of truth. In this paper I mainly developed the point of view of the old trunks, leaving for a future investigation an analysis focused on the members of families neglected historically. The question of the collective acceptance of personal truth is essential, of its propagation as truth. The

²² Each entity has a personal iconography on its cape. The visual strategy for integrating a new mask is from an iconographic variation based on a very widespread symbol widely present on the capes of ancient *praiá* masks: the cross (Menta, 2018).

²³ Pankararu and Pankararé are the two peoples with which I have carried out my empirical work.

²⁴ “Table” is the generic term used to designate shamanic cures.

integration of a new entity into the collective pantheon, as well as an individual into the inner circle of ritual specialists, requires the deployment of alliances networks, but also the provision of evidence concerning his shamanic capacities. In this sense, the effectiveness of the shamanic cures practiced matters. Thus, a personal truth can – failing to become historical – reach a more or less important collective status and thus upset the boundaries of the “traditional”.

Acknowledgments

Many thanks to the Pankararu and Pankararé Indians for their friendship and confidence. Thanks to the Fyssen Fondation, for their support. William F. Hanks warmly welcomed me at Berkeley, and our discussions were very rich. Lissett Bastidas and Kamala Russell encouraged and supported me during this year in California. A special thanks to Martin Lamotte, who attentively read this text.



Figure 4: This young boy was healed from birth by invisible entities. One must thank Them through the organization of a ritual (Ph. C. Menta, 2014).

Synergies dans l'acquisition des catégories syntaxiques

Mireille BABINEAU

Chercheuse postdoctorante au Laboratoire de Sciences Cognitives et Psycholinguistique, CNRS, EHESS, PSL University, Ecole Normale Supérieure

Résumé

Lors de l'acquisition de leur langue maternelle, les enfants doivent en apprendre les composants : les sons (c.-à-d. la phonologie), les mots (c.-à-d. le lexique) et les règles (c.-à-d. la syntaxe). Les recherches effectuées au cours des dernières années ont montré que ces composants ne sont pas appris séparément, mais au contraire, les connaissances dans une aire du langage aident les enfants à affiner leurs représentations dans une autre. Mon projet se concentre sur l'impact d'un lexique en ébullition sur l'acquisition syntaxique, ainsi que sur les forces et les limites du mécanisme d'apprentissage sous-jacent. J'ai étudié la sensibilité précoce des nourrissons aux contextes syntaxiques des mots familiers et la façon dont ils peuvent en tirer parti lorsqu'ils sont confrontés à de nouveaux mots. J'ai aussi exploré leur habilité à prédire le sens des mots à partir de nouveaux mots de fonction, en repérant une distinction connue (action vs objet) ou une distinction nouvelle (c.-à-d. animé vs inanimé). La suite de ce projet a pour but de tester si certaines distinctions conceptuelles sont plus faciles à lier à la syntaxe.

Mots-clés

Acquisition du langage, initialisation syntaxique, traitement du langage, apprentissage de mots

Synergies in the acquisition of syntactic categories

Abstract

When acquiring their native language, children have to learn its components: the sounds (i.e. phonology), the words (i.e. lexicon) and the rules (i.e. syntax). Previous research has shown these levels are not learned separately, but instead, knowledge in one area of language help infants refine their representations in another. My project focuses on the impact of a small developing lexicon on infants' syntactic acquisition, as well as the strengths and the limits of the learning mechanism behind it. I investigated children's early sensitivity and the way they can take advantage of the syntactic contexts of familiar words and novel words. I also explored their ability to predict word meanings from new function words, cueing a known distinction (action vs object) or a new distinction (i.e. animate vs inanimate). Ongoing work aims at testing whether some conceptual distinctions are easier to link to syntax.

Keywords

Language acquisition, syntactic bootstrapping, language processing, word learning

Introduction

Lors de l'acquisition de leur langue maternelle, les enfants sont confrontés au grand défi d'associer les mots entendus à leur signification. Étant donné que la parole dirigée vers le nourrisson est composée en grande partie de phrases plutôt que de mots isolés (Aslin, 1993 ; Siskind et Brent,

2001 ; Van de Weijer, 1998), ces derniers peuvent tirer profit de cette situation en utilisant les autres mots de la phrase pour guider leurs inférences quant à la signification de nouveaux mots, i.e. un mécanisme dit d'*initialisation syntaxique* (par exemple, Arunachalam, 2016 ; Bernal, Lidz, Milotte et Christophe, 2007 ; Fisher, Gertner, Scott et Yuan, 2010 ; Gillette, Gleitman, Gleitman

& Lederer, 1999 ; Gleitman, 1990). En effet, le contexte syntaxique d'un mot est très informatif quant à sa catégorie (par exemple, adjectif, nom, verbe) et contraint donc sa signification possible. Par exemple, un nouveau mot tel que 'bamoule' apparaissant dans une position nominale ('C'est une bamoule') peut être interprété comme faisant référence à un nouvel objet, alors que s'il apparaît dans une position verbale ('elle bamoule') il peut plutôt être interprété comme une nouvelle action. Par conséquent, plusieurs études ont montré qu'à partir de 18 mois les bébés sont capables d'utiliser les autres mots d'une phrase pour déduire la signification probable d'un mot nouveau (par exemple, Arunachalam & Waxman, 2011 ; Bernal et al., 2007 ; de Carvalho, He, Lidz, & Christophe, sous presse ; He & Lidz, 2017 ; Oshima-Takane, Ariyama, Kobayashi, Katerelos, & Poulin-Dubois, 2011 ; Waxman, Lidz, Braun, & Lavin, 2009).

Les contextes syntaxiques sont principalement constitués de mots de fonction (par exemple, 'le', 'une', 'elle', 'ils'), qui sont si fréquents que les nourrissons réussissent à les traiter, les stocker et les reconnaître au cours de leur première année de vie (par exemple, Hallé, Durand et de Boysson-Bardies, 2008 ; Höhle et Weissenborn, 2003 ; Shi et Lepage, 2008 ; Shi, Werker et Cutler, 2006 ; pour une revue : Shi, 2014). Peu après leur premier anniversaire, les enfants affichent une compréhension rudimentaire des catégories grammaticales grâce à leurs connaissances et à l'utilisation de mots de fonction fréquents (Höhle, Weissenborn, Kiefer, Schulz et Schmitz, 2004 ; Shi et Melançon, 2010). Ces résultats soulèvent la question de savoir comment les jeunes enfants en sont arrivés à apprendre l'utilité des contextes syntaxiques, i.e. comment ils amorcent leur initialisation syntaxique.

La question de savoir comment les nourrissons apprennent initialement quels contextes correspondent à quelle classe syntaxique et sémantique n'est toujours pas résolue. Il est certain que la capacité des nourrissons à traiter les régularités statistiques (par exemple, Gómez et Lakusta, 2004) doit jouer un certain rôle. Après tout, les catégories syntaxiques sont essentiellement des catégories distributionnelles qui sont formées en fonction de l'occurrence d'un ensemble de mots dans le même contexte. Des tentatives antérieures de modélisation de l'apprentissage distributionnel des catégories

ont prouvé la faisabilité de cette approche (par exemple Cartwright et Brent, 1997 ; Chemla, Mintz, Bernal et Christophe, 2009 ; Mintz, 2003 ; Mintz, Newport et Bever, 2002). En plus de leur capacité d'apprentissage distributionnel, les enfants (au stade préverbal) possèdent déjà un autre outil puissant pour leur permettre d'initialiser les catégories syntaxiques : ils ont en poche une poignée de mots connus. La compréhension précoce de la signification des mots concrets et fréquents commence vers l'âge de 6 mois (par exemple, « maman », « main » ; Bergelson & Aslin, 2017 ; Bergelson & Swingley, 2012, 2013, Tincoff & Jusczyk, 1999, 2012), tandis que l'on pense que la formation des classes sémantiques se produit avant l'âge d'un an (par exemple, « balle » et « voiture » comme objets vs « manger » et « tomber » comme actions, voir Carey, 2009). Selon l'hypothèse de la graine sémantique (Christophe, Dautriche, Carvalho et Brusini, 2016 ; Gutman, Dautriche, Crabbé et Christophe, 2014 ; voir aussi Christodoulopoulos et al., 2016), les nourrissons pourraient exploiter cette poignée de mots connus comme des graines pour permettre la formation des catégories syntaxiques : ils suivraient les contextes syntaxiques dans lesquels les mots connus se produisent (par exemple, des objets tels que « balle » et « voiture » apparaissent dans 'C'est une balle', 'C'est une voiture'), puis pourraient inférer qu'un mot apparaissant dans le même contexte est susceptible de partager certaines propriétés sémantiques avec cette graine (par exemple, 'C'est une + 'bamoule' -> bamoule = objet).

Partie 1 : L'initialisation des catégories syntaxiques pendant la petite enfance

Dans Babineau & Christophe (en préparation), notre objectif était d'évaluer si les nourrissons, dès l'âge de 11 mois, ont réussi à capter les patrons de cooccurrence entre les mots de fonction et les mots de contenu (c'est-à-dire que les déterminants peuvent précéder les noms et les pronoms peuvent précéder les verbes) à partir de leur exposition quotidienne à leur langue maternelle. Pour ce faire, nous avons comparé l'attention des nourrissons pendant la présentation de listes grammaticales (où ils entendaient des pronoms qui précédaient des verbes et des déterminants qui précédaient des noms) versus de listes agrammaticales (où des pronoms précédaient des noms et des déterminants précédaient des

verbes). Par exemple, les bébés entendaient ‘des biberons’ et ‘tu manges’ dans les listes grammaticales, et ‘tu biberons’ et ‘des manges’ dans les listes agrammaticales. Comme prévu, nous avons observé des temps de regards plus longs pour les essais présentant des phrases correctes (grammaticales) par rapport à ceux présentant des phrases incorrectes (agrammaticales), ce qui indique que les nourrissons sont sensibles à la syntaxe rudimentaire des noms et des verbes (**voir figure 1**). Des études présentement en cours examinent les écarts potentiels entre la sensibilité des nourrissons aux contextes syntaxiques des noms et des verbes.

Dans Babineau, Shi et Christophe (sous presse), nous avons cherché à savoir si les nourrissons peuvent créer des attentes vis-à-vis des contextes syntaxiques qui conviennent à de nouveaux mots (c'est-à-dire à s'attendre qu'ils se produisent dans des contextes de nom ou de verbe). Ce projet a également testé si la présence d'une graine (c'est-à-dire quelques verbes fréquents et familiers) pendant la phase d'exposition pouvait faciliter la catégorisation des nouveaux verbes par les nourrissons. En utilisant un paradigme d'habituation contrôlé par le nourrisson, nous avons présenté à des enfants de 14 mois apprenant le français des énoncés contenant deux nouveaux

mots précédés de mots de fonction (deux déterminants ou bien deux pronoms). Nous avons d'abord testé les attentes liées à de nouveaux mots basées uniquement sur la connaissance des mots de fonction. Nous avons ensuite cherché à savoir si des indices supplémentaires, i.e. la présence de quelques verbes connus (survenant dans les mêmes contextes que les nouveaux mots), pouvait faciliter la catégorisation des nouveaux verbes. Au test, les nourrissons ont regardé plus longtemps pendant les essais dans lesquels les nouveaux mots se sont produits dans un contexte syntaxique inattendu (à la suite d'un pronom pour les nourrissons du groupe Nom et à la suite d'un déterminant pour les nourrissons des groupes Verbes). Ces résultats suggèrent que les enfants de 14 mois peuvent classer à la fois des nouveaux noms et des nouveaux verbes (**voir figure 2**). Par conséquent, nos résultats confirment les résultats antérieurs quant à la sensibilité des nourrissons aux contextes nominaux (Höhle et al., 2004 ; Shi et Melançon, 2010), et plus important encore, démontrent que leur sensibilité à la cooccurrence des verbes avec des pronoms commence beaucoup plus tôt qu'on avait postulé.

Dans Havron *, Babineau * et Christophe (accepté), nous avons étudié la capacité des jeunes enfants à ajuster leurs attentes liées aux contextes

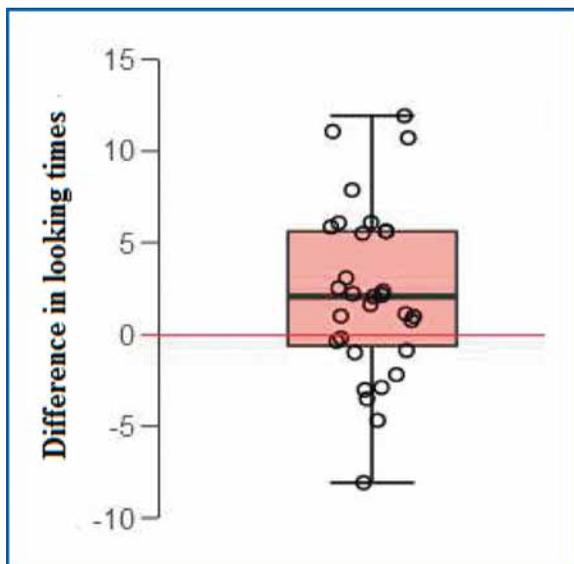


Figure 1 : Boxplot représentant la différence entre les temps de regards lors de la présentation des listes grammaticales et des listes agrammaticales. La ligne noire représente la médiane. Chaque point représente un participant.

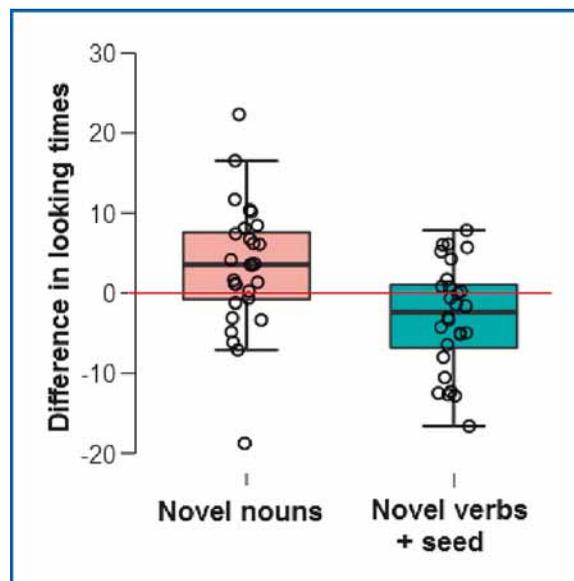


Figure 2 : Boxplot représentant la différence entre les temps de regards lors de la présentation des nouveaux mots dans un contexte de verbe et dans un contexte de nom. La ligne noire représente la médiane. Chaque point représente un participant.

syntaxiques. En français, bien que certains contextes syntaxiques soient exclusivement utilisés pour les noms ou pour les verbes (par exemple, les pronoms avant les verbes), d'autres contextes sont plus flexibles et peuvent précéder à la fois des noms et des verbes. Par exemple, 'la petite' peut précéder un verbe ou un nom (e.g. 'la petite conduit la petite voiture'). Lorsque les nourrissons en viennent à classer un nouveau mot comme étant un nom ou un verbe, en se basant sur les indices syntaxiques, leurs prédictions sont-elles stables ou changent-elles et se mettent-elles à jour de manière flexible pour correspondre aux contextes récents ? Si ce dernier postulat s'avère vrai, cette adaptation concorderait avec la théorie de l'apprentissage basé sur la prédiction, et avec les résultats obtenus avec des enfants de 3-4 ans (Havron, De Carvalho, Fiévet, & Christophe, 2019). En utilisant un paradigme d'habituation contrôlée par le nourrisson, les enfants de 18 mois qui apprennent le français ont entendus des énoncés contenant un nouveau mot (crale) précédé du contexte 'la petite', qui était aussi utilisé comme un contexte avec des noms familiers (par exemple, 'la petite voiture') ou comme un contexte avec des verbes familiers (par exemple, 'la petite dort'). Lors du test, le nouveau mot a été soit présenté dans un nouveau contexte pour un nom (par exemple, 'une crale') ou dans un nouveau contexte pour un verbe (par exemple, 'tu crales'). Étonnamment, les nourrissons des deux groupes n'ont pas montré de différence entre les contextes de noms et de verbes. Ainsi, aucune preuve d'apprentissage basé sur la prédiction n'a été trouvée, ni d'attentes spécifiques liées au contexte syntaxique 'la petite'. Nous avons conséquemment proposé qu'il soit nécessaire que les nourrissons aient de fortes prédictions vis-à-vis des contextes syntaxiques avant de pouvoir adapter ces attentes en fonction de leur expérience récente. De plus, les nourrissons peuvent avoir plus de difficulté à avoir des attentes précises pour certains contextes syntaxiques plus complexes.

Partie 2 : Prédire la signification de nouveaux mots via des mots de fonction

Mon deuxième axe de recherche vise à tester la validité de l'hypothèse de la graine sémantique, qui stipule que les jeunes enfants peuvent en apprendre davantage sur un contexte syntaxique en identifiant la catégorie sémantique des mots familiers qui y figure. L'approche choisie pour

investiguer cette question consiste à enseigner à deux groupes d'enfants un nouveau contexte syntaxique. Dans une vidéo de familiarisation de 5 minutes, un nouveau mot de fonction, 'ko', a été introduit, remplaçant soit les pronoms (c.-à-d. 'ko' précèdent des verbes, 'ko mange' pour le groupe Verbe) ou des articles (c.-à-d. 'ko' précèdent des noms, 'ko cochon' pour le groupe Nom). L'objectif était d'évaluer si les enfants peuvent identifier le patron de cooccurrence de ce nouveau mot de fonction avec un type spécifique de mots familiers (noms ou verbes, selon la condition des participants), et utiliser ces informations pour déduire certaines propriétés sémantiques de nouveaux mots (objets ou actions). Pour tester si les enfants ont acquis l'utilité du nouveau mot de fonction, nous nous sommes appuyés sur un design expérimental récemment développée par de Carvalho, Babineau, Trueswell, Waxman et Christophe (2019). Dans cette étude, des enfants âgés de 3 à 4 ans (mais pas ceux de 20 mois) ont su utiliser rapidement des mots de fonction connus, associant de nouveaux mots de contenu à des actions lorsqu'ils suivaient un pronom et à des objets lorsqu'ils suivaient un article (par exemple, 'elle dase' vs 'une dase').

Pour l'étude décrite dans Babineau, de Carvalho, Trueswell et Christophe (en révision), nous avons testé un total de 60 enfants (30 dans chaque condition). Les résultats des données oculaires sont présentés à la figure 4. Après avoir traité la première occurrence du mot de fonction nouvellement appris, les regards vers la vidéo présentant une action ont significativement plus augmenté pour les enfants du groupe Verbe que pour les enfants du groupe Nom. De plus, à la fois les données oculaires et la sélection explicite (via une tâche de pointage) ont été considérablement influencées par la condition assignée aux participants. Par exemple, lorsque les enfants du groupe Verbe ont entendu 'oh regarde, ko dase !', ils ont regardé davantage (que les enfants du groupe Nom) vers la vidéo présentant une nouvelle action produite par une jeune femme (versus la vidéo présentant un nouvel objet tenu par une autre jeune femme) et ils ont ensuite montré du doigt cette même vidéo lorsque l'expérimentatrice leur a demandé ce qu'on leur avait demandé de regarder. Cela montre que les enfants de 3 à 4 ans peuvent rapidement intégrer un nouveau contexte syntaxique et apprendre quel type de

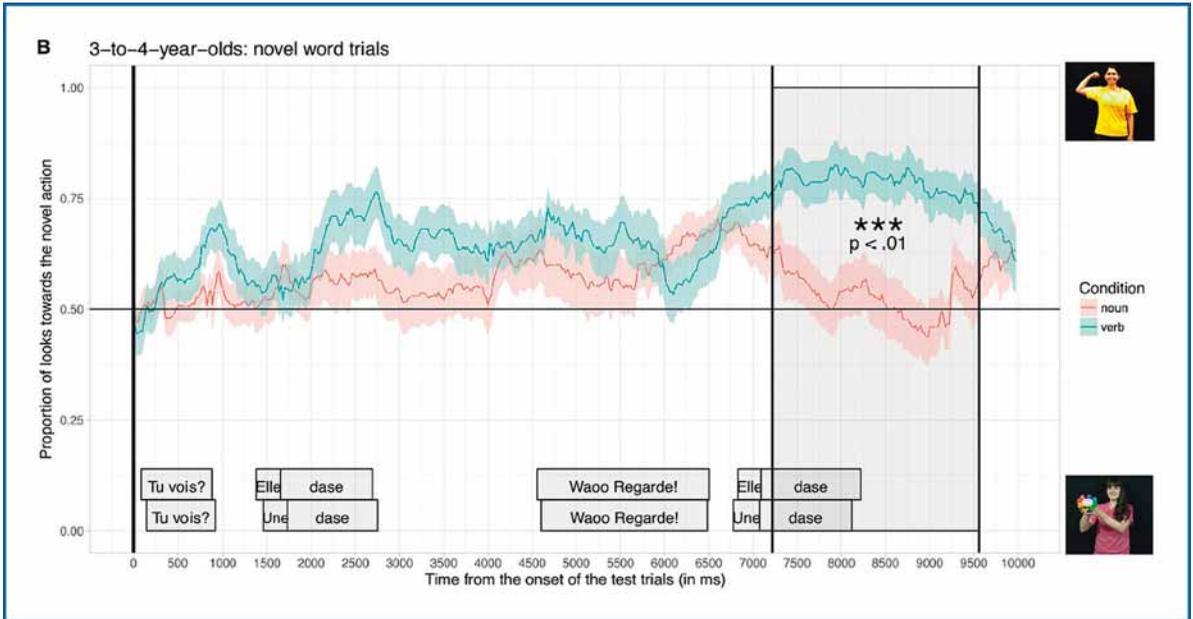


Figure 3 : Proportion de regards vers l'action nouvelle à chacun des points d'échantillonnage avec l'axe verticale représentant le temps qui s'écoule depuis le début de l'essai. La courbe rose représente le groupe ayant entendu les nouveaux mots précédés d'un déterminant, alors que la courbe bleue représente le groupe les ayant entendus précédés d'un pronom. La zone grise indique le moment où une différence significative entre les deux groupes a été trouvée.

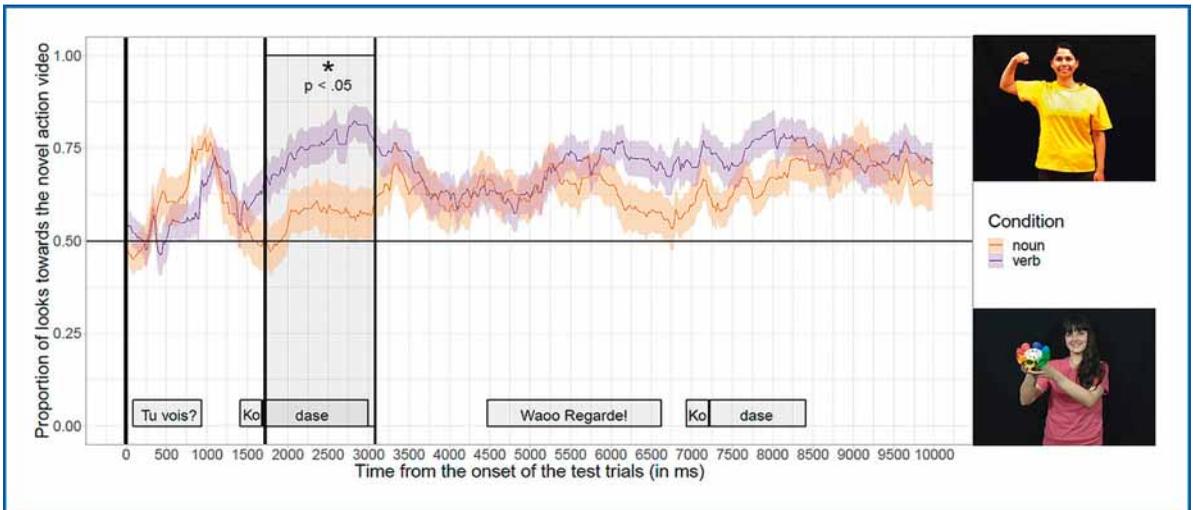


Figure 4 : Proportion de regards vers l'action nouvelle à chacun des points d'échantillonnage avec l'axe verticale représentant le temps qui s'écoule depuis le début de l'essai. La courbe orange représente le groupe ayant entendu les nouveaux mots précédés d'un déterminant, alors que la courbe violette représente le groupe les ayant entendus précédés d'un pronom. La zone grise indique le moment où une différence significative entre les deux groupes a été trouvée.

propriétés sémantiques celui-ci prédit (c'est-à-dire objet ou action).

Partie 3 : L'effet du 'core knowledge' sur la morphosyntaxe des langues

Mon troisième axe de recherche explore le lien entre le langage et le développement des concepts. Une première étude a examiné expérimentalement si, en s'appuyant sur quelques mots connus (c.-à-d. graine sémantique), les jeunes enfants pouvaient apprendre à utiliser de nouveaux indices syntaxiques pour distinguer des catégories de mots qui ne sont pas marqués dans leur langue maternelle, mais qui sont marqués morpho-syntaxiquement dans de nombreuses langues du monde. De nouveaux mots de fonction, 'ko' et 'ka', ont été présentés dans une courte vidéo dans laquelle une femme racontait des histoires. Elle a utilisé les nouveaux articles 'ko' et 'ka' au total 60 fois, le déterminant 'ko' devant le nom des animaux et 'ka' devant le nom

des objets inanimés (par exemple, 'ko chien', 'ka poussette'). Nous avons testé des nourrissons de 20 mois ($n = 24$) pour voir s'ils pouvaient utiliser ces contextes nouvellement appris pour classer de nouveaux mots comme référant soit à un nouvel animal ou à un nouvel objet inanimé. Avant de venir au laboratoire, les nourrissons ont regardé la vidéo trois fois à la maison, pendant trois jours consécutifs. Au laboratoire, ils ont revu la vidéo, puis pendant la phase de test, ils ont vu deux nouvelles images côte à côte (un nouvel animal vs un nouvel objet inanimé) et ont été entendu des nouveaux mots précédé des nouveaux mots de fonction (par exemple, 'Oh regarde ko bamoule ! Tu vois ko bamoule ?'). Les résultats ont confirmé que les jeunes enfants ont tourné plus leur regard vers l'image de l'animal lorsqu'ils ont entendu 'ko' précédé le nouveau mot que lorsqu'ils ont entendu 'ka'.

Les prochaines expériences liées à ce projet visent à mieux comprendre les patrons morpho-

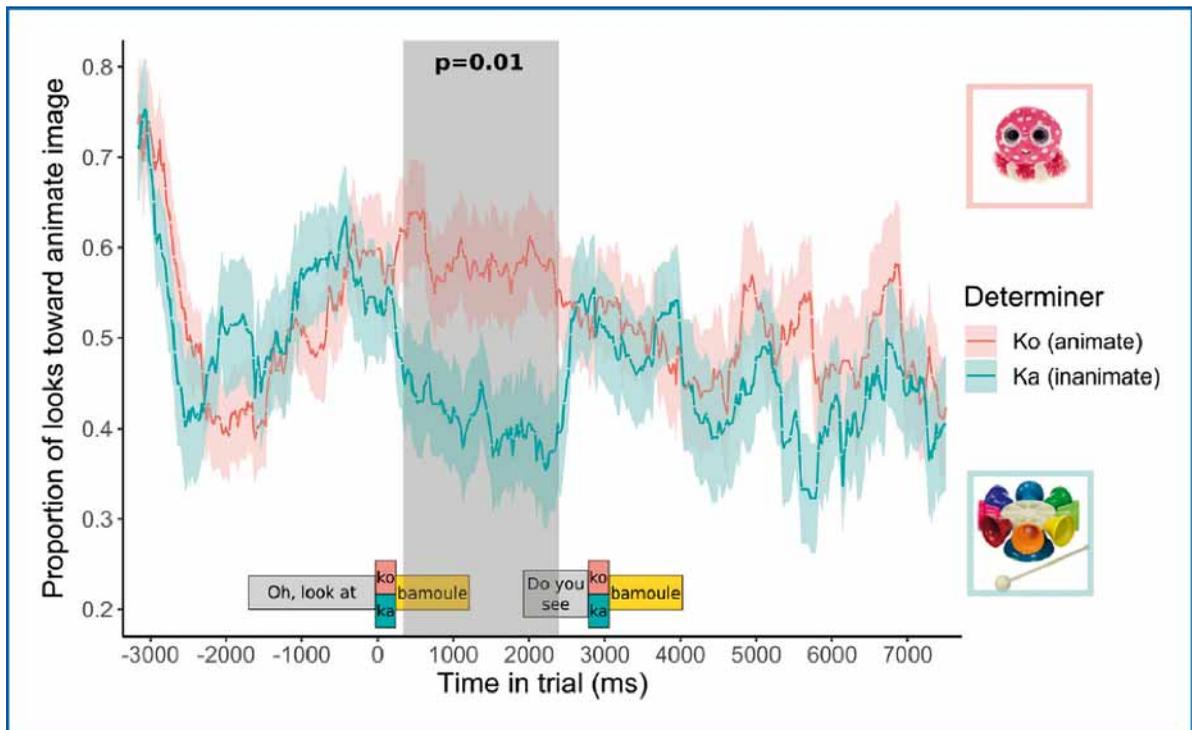


Figure 5 : Proportion de regards vers l'image présentant un objet animé à chacun des points d'échantillonnage avec l'axe vertical représentant le temps qui s'écoule depuis le début de l'essai. La courbe rose représente les regards des enfants lors de la présentation du déterminant animé 'ko' devant un nouveau nom (par exemple, 'ko bamoule'), alors que la courbe bleue représente ceux mesurés lors de la présentation du déterminant inanimé 'ka' (par exemple, 'ka pirdale'). La zone grise indique le moment où une différence significative entre les deux contextes a été trouvée.

syntaxiques présents dans les langues du monde. L'inspection des tendances présentes dans les langues du monde révèle que certaines catégories conceptuelles sont souvent marquées dans la morphosyntaxe (par exemple, objet/action, caractère animé/inanimé), tandis que d'autres ne le sont pas (par exemple, couleur, véhicules). Nous cherchons à mieux comprendre la cause de cette régularité translinguistique, qui pourrait être que, puisque la morphosyntaxe aide les nourrissons à apprendre la signification des mots, seules des distinctions conceptuelles qui sont saillantes pour les nourrissons (connaissances de base 'core knowledge') pourraient être marquées par des règles morphosyntaxiques (Strickland, 2017). Les 'connaissances de base' réfèrent à un groupe de distinctions intrinsèquement non verbales qui sont universellement représentées à travers les cultures et qui ont façonné l'évolution des langues du monde. Par exemple, le caractère animé est détecté tôt par les nourrissons (par exemple, Rostad, Yott et Poulin-Dubois, 2012). Bien que les langues aient des mots de contenu pour beaucoup de distinctions (c'est-à-dire des catégories pour les véhicules, les vêtements, la nourriture), il semble que ces distinctions, contrairement aux distinctions liées aux 'connaissances de base', ne soient jamais corrélées avec des contextes syntaxiques ou morphologiques spécifiques. Des recherches auprès d'adultes ont démontré qu'il leur ait plus difficile d'apprendre des marqueurs syntaxiques associés à des catégories qui ne font pas parties des 'connaissances de base' que pour celles qui en font partie, telles que la distinction animé/inanimé et le genre féminin/masculin (O'Madagain, Peperkamp et Strickland, en préparation). Jusqu'à présent, cet effet n'a jamais été étudié chez les enfants. Je développe présentement un projet à être testé auprès d'enfants de 20 mois (Babineau, O'Madagain, Strickland & Christophe, en préparation). Cette étude aura un impact sur notre compréhension des distinctions conceptuelles qui sont favorisées par notre système cognitif, et sur la manière dont ce mécanisme a façonné les règles présentes dans les langues du monde.

“Les jeunes enfants peuvent exploiter les informations sémantiques fournies par des mots de contenu familiers pour en apprendre davantage sur les propriétés d'un nouveau contexte syntaxique”

Conclusions

L'ensemble des résultats présentés dans ce compte-rendu ajoute un apport considérable à notre compréhension des synergies entre la sémantique et la syntaxe au cours des premières étapes du développement du langage. Déjà à l'âge de 11 mois, les nourrissons réussissent à repérer les patrons de cooccurrence entre les mots de fonction et les mots de contenu (par exemple, les déterminants peuvent précéder les noms et les pronoms peuvent précéder les verbes) à partir du discours entendu quotidiennement. Cette sensibilité précoce aux dépendances grammaticales permet aux nourrissons de développer plus tard des attentes concernant les mots nouveaux, tel que leur catégorie syntaxique et leur catégorie sémantique (par exemple, Babineau, Shi & Christophe, en révision ; Havron *, Babineau *, Christophe *, accepté).

Alors que de nombreuses études au cours des dernières décennies se sont concentrées sur la capacité des jeunes enfants à utiliser les contextes syntaxiques pour guider l'acquisition de la signification de nouveaux mots (c.-à-d. 'Il bamoule', 'bamoule' est un verbe et possiblement une action), les études présentées ci-dessus démontrent pour la première fois que les jeunes enfants peuvent également faire l'inverse. À savoir, les jeunes enfants peuvent exploiter les informations sémantiques fournies par des mots de contenu familiers pour en apprendre davantage sur les propriétés d'un nouveau contexte syntaxique (c'est-à-dire, 'ko mange', 'ko' précède un verbe/action). Nos études démontrent que les jeunes enfants entreprennent rapidement et efficacement une analyse distributionnelle de l'information linguistique pour construire des prédictions sur le type de concept qui peut survenir avec un mot de fonction nouvellement appris. Ces résultats apportent des preuves empiriques au schéma classique stipulant que les nourrissons s'attendent à ce que des mots de catégories conceptuelles similaires se produisent dans des contextes syntaxiques similaires (Gleitman, 1990 ; Pinker, 1984), tout en soutenant le mécanisme d'apprentissage basé sur la modélisation

de la graine sémantique (par exemple, Brusini, Amsili, Chemla et Christophe, 2014 ; Christophe et al., 2016 ; Gutman et al., 2014). Somme toute, la capacité des nourrissons à repérer les mots familiers et leurs distributions représente un mécanisme hautement puissant. Elle permet aux jeunes enfants d'acquérir un lexique sans enseignement explicite, ce qui représente l'une des caractéristiques clés de la faculté langagière humaine.

Remerciements

Je suis très reconnaissante envers la Fondation Fyssen d'avoir soutenu ce projet de recherche via une bourse d'études postdoctorales. Je remercie également tous les brillants « acteurs » qui ont participé aux vidéos, ainsi qu'Anne-Caroline Fiévet pour son aide au recrutement des enfants et à l'organisation des partenariats avec les écoles maternelles. Nous remercions également tous les parents et les enfants qui ont participé à cette étude ainsi que les directeurs et enseignants des écoles maternelles qui nous ont si chaleureusement accueillis et nous ont permis de mener nos recherches.

Bibliographie

- Arunachalam, S. (2016). Preschoolers' Acquisition of Novel Verbs in the Double Object Dative. *Cognitive Science*, 1–24.
- Arunachalam, S., & Waxman, S. R. (2011). Grammatical Form and Semantic Context in Verb Learning. *Language Learning and Development*, 7(3), 169–184.
- Aslin, R. N. (1993). Segmentation of fluent speech into words: learning models and the role of maternal input. In B. de Boysson-Bardies, S. de Schonen, P. Jusczyk, P. McNeilage, & J. Morton (Eds.), *Developmental Neurocognition: Speech and Face Processing in the First Year of Life* (pp. 305–315). NATO ASI Series (Series D: Behavioural and Social Sciences), vol 69. Springer, Dordrecht.
- Bergelson, E., & Aslin, R. N. (2017). Nature and origins of the lexicon in 6-mo-olds. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114, 12916–12921.
- Bergelson, E., & Swingley, D. (2012). At 6 – 9 months, human infants know the meanings of many common nouns. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 3253–3258.
- Bergelson, E., & Swingley, D. (2013). The Acquisition of Abstract Words by Young Infants. *Cognition*, 127(3), 391–397.
- Bernal, S., Lidz, J., Millotte, S., & Christophe, A. (2007). Syntax Constrains the Acquisition of Verb Meaning. *Language Learning and Development*, 3(33), 325–341.
- Cartwright, T. A., & Brent, M. R. (1997). Syntactic categorization in early language acquisition: formalizing the role of distributional analysis. *Cognition*, 63, 121–170.
- Chemla, E., Mintz, T. H., Bernal, S., & Christophe, A. (2009). Categorizing words using “frequent frames”: What cross-linguistic analyses reveal about distributional acquisition strategies. *Developmental Science*, 12(3), 396–406.
- Christodoulopoulos, C., Roth, D., & Fisher, C. (2016). An incremental model of syntactic bootstrapping. In *Proceedings of the 7th Workshop on Cognitive Aspects of Computational Language Learning* (pp. 38–43). Berlin, Germany.
- Christophe, A., Dautriche, I., de Carvalho, A., & Brusini, P. (2016). Bootstrapping the syntactic bootstrapper. In: J. A. Scott & D. Waughtal (Eds.), *Proceedings of the 40th Annual Boston University Conference on Language Development* (pp. 75–88). Boston, United States.
- de Carvalho, A., He, A. X., Lidz, J., & Christophe, A. (2019a). Prosody and Function Words Cue the Acquisition of Word Meanings in 18-Month-Old Infants. *Psychological Science*, 30(3), 319–332. <http://doi.org/10.1177/0956797618814131>
- de Carvalho, A., Babineau, M., Trueswell, J., Waxman, S., & Christophe, A. (2019b). Studying the real-time interpretation of novel noun and verb meanings in young children. *Frontiers in Psychology*, 10, 1–16.
- Fisher, C., Gertner, Y., Scott, R. M., & Yuan, S. (2010). Syntactic bootstrapping. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 1, 143–149.
- Gillette, J., Gleitman, H., Gleitman, L., & Lederer, a. (1999). Human simulation of vocabulary learning. *Cognition*, 73, 135–176.

- Gleitman, L. (1990). The structural sources of verbs' meaning. *Language Acquisition*, 1(1), 3–55.
- Gómez, R. L., & Lakusta, L. (2004). A first step in form-based category abstraction by 12-month-old infants. *Developmental Science*, 7(5), 567–580.
- Gutman, A., Dautriche, M. I., Crabbé, D. B., & Christophe, D. A. (2014). Bootstrapping the Syntactic Bootstrapper: Probabilistic Labeling of Prosodic Phrases. *Language Acquisition*, 22:3, 285–309.
- Hallé, P. A., Durand, C., & de Boysson-Bardies, B. (2008). Do 11-month-old French infants process articles? *Language and Speech*, 51, 23–44.
- Havron, N., de Carvalho, A., Fievet, A. C. & Christophe, A. (2019). Three- to Four-year-old children rapidly adapt their predictions and use them to learn novel word meanings. *Child Development*, 90 (1), 82-90.
- He, A. X., & Lidz, J. (2017). Verb Learning in 14- and 18-Month-Old English-Learning Infants. *Language Learning and Development*, 13(3), 335–356.
- Höhle, B., & Weissenborn, J. (2003). German-learning infants' ability to detect unstressed closed-class elements in continuous speech. *Developmental Science*, 6(2), 122–127.
- Höhle, B., Weissenborn, J., Kiefer, D., Schulz, A., & Schmitz, M. (2004). Functional elements in infants' speech processing: The role of determiners in the syntactic categorization of lexical elements. *Infancy*, 5(3), 341–353.
- Maris, E., & Oostenveld, R. (2007). Nonparametric statistical testing of EEG- and MEG-data. *Journal of Neuroscience Methods*, 164, 177–190.
- Mintz, T. H. (2003). Frequent frames as a cue for grammatical categories in child directed speech. *Cognition*, 90(1), 91–117.
- Mintz, T. H., Newport, E. L., & Bever, T. G. (2002). The distributional structure of grammatical categories in speech to young children. *Cognitive Science*, 26(4), 393–424.
- Oshima-Takane, Y., Ariyama, J., Kobayashi, T., Katerelos, M., & Poulin-Dubois, D. (2011). Early verb learning in 20-month-old Japanese-speaking children. *Journal of Child Language*, 38(3), 455–484.
- Rostad, K., Yott, J., & Poulin-Dubois, D. (2012). Development of categorization in infancy: Advancing forward to the animate/inanimate level. *Infant Behavior and Development*, 35(3), 584–595.
- Shi, R. (2014). Functional Morphemes and Early Language Acquisition. *Child Development Perspectives*, 8(1), 6–11.
- Shi, R., Cutler, A., Werker, J. F., & Cruickshank, M. (2006). Frequency and form as determinants of functor sensitivity in English-acquiring infants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 119(6), EL61-L67.
- Shi, R., & Lepage, M. (2008). The effect of functional morphemes on word segmentation in preverbal infants. *Developmental Science*, 11(3), 407–413.
- Shi, R., & Melançon, A. (2010). Syntactic Categorization in French-Learning Infants, *Infancy* 1–17.
- Shi, R., Werker, J. F., & Cutler, A. (2006). Recognition and Representation of Function Words in English-Learning Infants, 10(2), 187–198.
- Siskind, J. M., & Brent, M. R. (2001). The role of exposure to isolated words in early vocabulary development. *Cognition*, 81(2), B33–B44.
- Strickland, B. (2017). Language Reflects “Core” Cognition: A New Theory About the Origin of Cross-Linguistic Regularities. *Cognitive Science*, 41(1), 70–101.
- Swingle, D., & Aslin, R. N. (2000). Spoken word recognition and lexical representation in very young children. *Cognition*, 76(2), 147–166.
- Tincoff, R., & Jusczyk, P. W. (1999). Some beginnings of word comprehension in 6-month-olds. *Psychological Science*, 10(2), 172–175.
- Tincoff, R., & Jusczyk, P. W. (2012). Six-Month-Olds Comprehend Words That Refer to Parts of the Body. *Infancy*, 17(4), 432–444.
- Van de Weijer, J. (1998). *Language input for word discovery*. Nijmegen, The Netherlands.
- Waxman, S. R., Lidz, J. L., Braun, I. E., & Lavin, T. (2009). Twenty four-month-old infants' interpretations of novel verbs and nouns in dynamic scenes. *Cognitive Psychology*, 59(1), 67–95.

Introduction

When acquiring their native language, infants face the great challenge of mapping words to their meanings. Since infant-directed speech is for the most part made up of sentences rather than isolated words (Aslin, 1993; Siskind & Brent, 2001; Van de Weijer, 1998), infants can take advantage of this situation by using the other words in the sentence to guide their inference about the meaning of the new words, i.e. a well-known mechanism called *syntactic bootstrapping* (e.g., Arunachalam, 2016; Bernal, Lidz, Millotte, & Christophe, 2007; Fisher, Gertner, Scott, & Yuan, 2010; Gillette, Gleitman, Gleitman, & Lederer, 1999; Gleitman, 1990), since the syntactic context of a word is highly informative with regard to its category (e.g., adjective, noun, verb) and therefore constrains its possible meaning. For instance, a novel word such as “larp” appearing in a noun position (e.g., “This is a larp”) can be interpreted as referring to a novel object, whereas if it appears in a verb position (e.g., “He is larping that”) it will be interpreted as referring to a novel event. Accordingly, several studies have shown that infants from 18 months of age are able to use the other words of a sentence to infer the probable meaning of a novel word (e.g., Arunachalam & Waxman, 2011; Bernal et al., 2007; de Carvalho, He, Lidz, & Christophe, in press; He & Lidz, 2017; Oshima-Takane, Ariyama, Kobayashi, Katerelos, & Poulin-Dubois, 2011; Waxman, Lidz, Braun, & Lavin, 2009).

Syntactic contexts are mostly formed of function words (e.g., “the,” “a,” “she,” “they”), which are so frequent that infants come to process, store, and recognize them during their first year of life (e.g., Hallé, Durand, & de Boysson-Bardies, 2008; Höhle & Weissenborn, 2003; Shi & Lepage, 2008; Shi, Werker, & Cutler, 2006; for a review: Shi, 2014). Soon after their first birthday, infants display a rudimentary understanding of grammatical categories based on their knowledge and use of frequent function words (Höhle, Weissenborn, Kiefer, Schulz, & Schmitz, 2004; Shi & Melançon, 2010). These results beg the question of how young children managed to learn syntactic contexts, or how they ‘bootstrap their syntactic bootstrapper’.

The question of how infants initially learn which contexts correspond to which syntactic and semantic class is still unresolved. Surely, infants’ ability to track statistical regularities (e.g., Gómez & Lakusta, 2004) must play some role. After all, syntactic categories are essentially distributional categories that are formed based on the occurrence of a set of words in the same context. Previous attempts to model distributional learning of categories have proven this to be feasible (e.g. Cartwright & Brent, 1997; Chemla, Mintz, Bernal, & Christophe, 2009; Mintz, 2003; Mintz, Newport, & Bever, 2002). Beside their distributional learning abilities, preverbal infants possess another powerful tool for the initiation of syntactic categories: they have under their belt a handful of known words. Early understanding of the meaning of frequent concrete words starts around 6 months of age (e.g., “mommy”, “hand”; Bergelson & Aslin, 2017; Bergelson & Swingley, 2012, 2013, Tincoff & Jusczyk, 1999, 2012), while the formation of semantic classes is thought to happen before the age of one (e.g., “ball” and “car” as objects vs “eat” and “fall” as actions, see Carey, 2009). Based on the *semantic seed hypothesis* (Christophe, Dautriche, Carvalho, & Brusini, 2016; Gutman, Dautriche, Crabbé, & Christophe, 2014; see also Christodoulopoulos et al., 2016), infants could exploit this handful of known words as a *seed* for syntactic categories: they would track the syntactic contexts in which known words occur (e.g., objects such as ‘ball’ and ‘car’ appear in “This is a ball”, “This is a car”), then infer that a novel word appearing in the same context is likely to share some semantic properties with the *seed* (e.g., “This is a” + “dax” -> dax = object).

Part 1: The initialization of syntactic categories during infancy

In Babineau & Christophe (in preparation), our goal was to assess whether infants as young as 11 months have managed to track the co-occurrence patterns between function words and content words (i.e. determiners can precede nouns, and pronouns can precede verbs) from their daily language input. To do so, we compared infants’ attention to grammatical lists (in which pronouns precede verbs and determiners precede nouns) relative to ungrammatical lists (in which pronouns precede nouns and determiners precede verbs). For example, infants heard *des*

biberons ‘some bottles’ and *tu manges* ‘you eat’ in the grammatical lists, and *tu biberons* and *des manges* in the ungrammatical lists. As expected, we found longer looking times for the trials presenting correct (grammatical) over those presenting incorrect (ungrammatical) short phrases, which indicates that infants are sensitive to rudimentary syntax of nouns and verbs (see **Figure 1**). Follow-up studies looking at the potential discrepancies between infants’ sensitivity to the syntactic contexts of nouns vs verbs are presently ongoing.

Babineau, Shi & Christophe (in presse) explored whether infants can build expectations about the syntactic contexts that are suitable for novel words (i.e. expecting them to occur in noun or verb contexts). It also tested if the presence of a *seed* (i.e. a few familiar frequent verbs) during the exposure phase could facilitate infants’ categorization of novel verbs. Using an infant-controlled habituation paradigm, French-learning 14-month-olds were presented with utterances containing two novel words preceded by function words (either two determiners or two pronouns). We first tested 14-month-olds’ categorization of novel words based on function word knowledge only. We then investigated if supple-

mentary cues, i.e. the presence of a few known verbs (occurring in the same contexts as the novel words), could facilitate novel verb categorization. At test, infants looked longer during trials in which the novel words occurred in an unexpected syntactic context (following a pronoun for infants in the noun condition and following a determiner for infants in the verb conditions), showing that 14-month-olds can categorize both novel nouns and novel verbs (see **Figure 2**). Hence, our results confirm previous findings on infants’ sensitivity to noun contexts (Höhle et al., 2004; Shi & Melançon, 2010), and most importantly demonstrate that their sensitivity to the co-occurrence of verbs with pronouns begins much earlier than previously understood.

In Havron*, Babineau*, & Christophe (accepted pre-registered report), we investigated young infants’ ability to adjust their expectations about syntactic contexts. In French, although some syntactic contexts are exclusively used for nouns or for verbs (e.g., pronouns before verbs), others are more flexible and can precede both nouns and verbs. For instance, ‘la petite’ can precede a verb or a noun (e.g. *la petite conduit la petite voiture* ‘the little one is driving the little car’). When infants come to categorize a novel

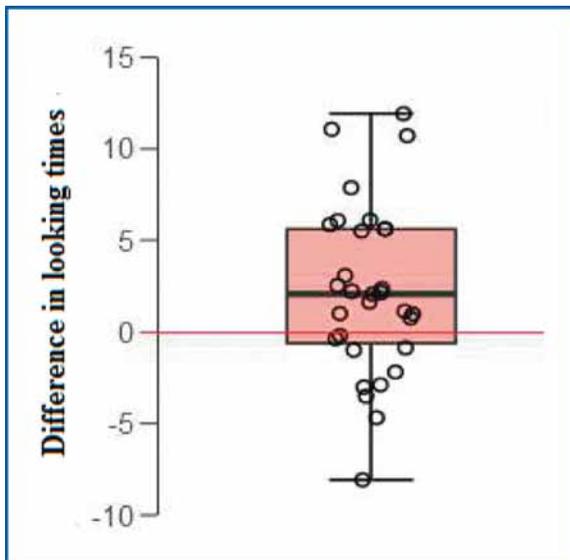


Figure 1: Boxplot of the difference between looking times during the presentation of the grammatical lists and ungrammatical lists. The black line represents the median. Each dot represents one participant.

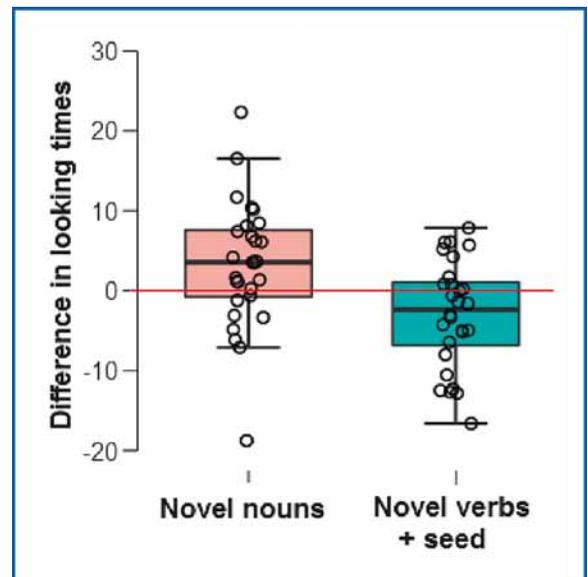


Figure 2: Mean looking times in seconds during the two trial types, i.e. noun contexts (in pink) and verb contexts (in blue), for the conditions (Novel nouns, Novel verbs + seed). Error bars represent the standard error of the mean.

word as being a noun or a verb based on the syntactic cues, are their predictions stable or are they flexibly changing and updating them to fit recent input? If the later turns out to be true, this adaptation would be in line with *prediction*-based learning, and with results obtained with 3-4 year-olds (Havron, De Carvalho, Fiévet, & Christophe, 2018). Using an infant-controlled habituation paradigm, French-learning 18-month-olds are presented with utterances containing a novel word (*crale*) preceded by the context *la petite*, which can be used as a noun context (e.g., *la petite voiture* “the little car”) or as a verb context (e.g., *la petite dort* “the little one is sleeping”). At test, the novel word is either presented in a novel noun context (e.g. *une crale* “a crale”) or in a novel verb context (e.g., *tu crale* “you crale”). Surprisingly, infants in both groups did not show a difference between noun and verb test trials. Thus, no evidence for prediction-based learning was found, nor specific expectations linked to the syntactic context “the little one”. Hence, it seems necessary for infants to have strong predictions regarding syntactic contexts before they can adapt these expectations according to their recent experience. In addition, infants may find it more

difficult to have specific expectations about more complex syntactic contexts.

Part 2: Predicting novel word meanings via co-occurring function words

The second line of work aims at testing the validity of the *semantic seed hypothesis*, which states that young children can learn about a syntactic context from tracking its use with a few familiar words from a specific semantic category. One approach to answer this question is to teach a novel syntactic context. In a 5-minute training video, a new function word, ‘ko’, was introduced, either replacing pronouns (i.e. co-occurring with verbs, *ko mange* “ko eat”) or articles (i.e. co-occurring with nouns, *ko cochon* “ko pig”). The goal was to assess whether children can track the co-occurrence of this new function word with a specific type of familiar words (either nouns or verbs, in a between-participants design), and use this information to infer some semantic properties of novel words that occur in the context of the newly-learned function word (objects or actions). To test children’s acquisition of the novel function word, we relied on an experimental design recently developed by de Carvalho, Babineau,

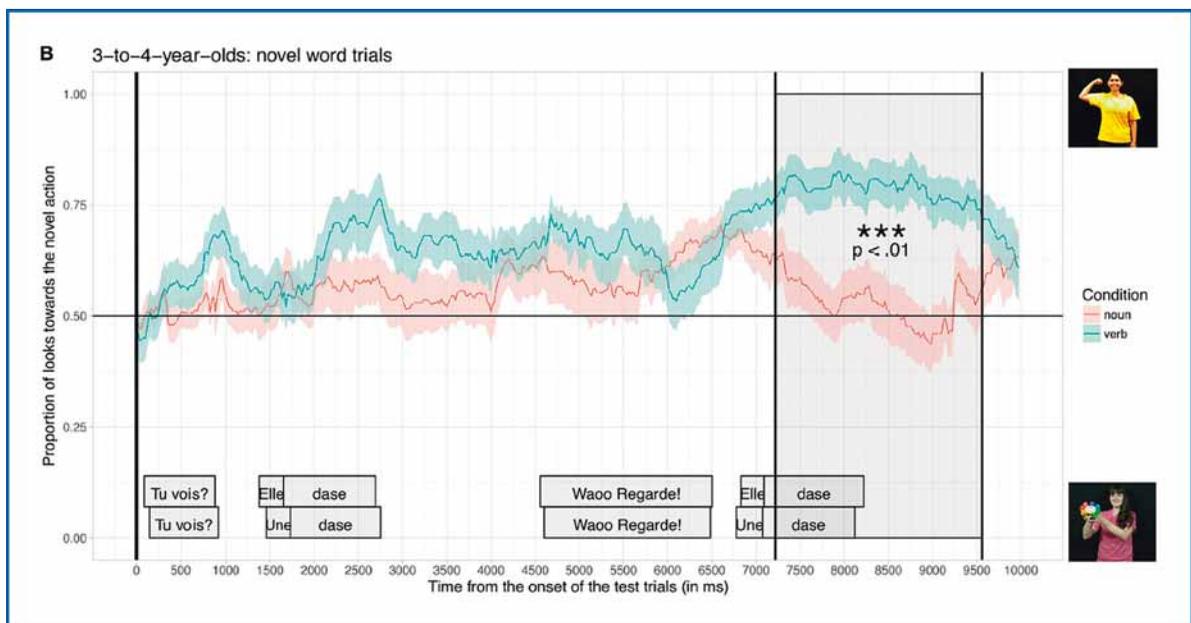


Figure 3: Proportion of looks toward the novel action, time-locked to the onset of the test trials (vertical black line) for 3-to-4-year-olds, for children who listened to sentences in the noun condition (red curve) and in the verb condition (blue curve). A significant difference between the noun and the verb conditions was found (in the grey window).

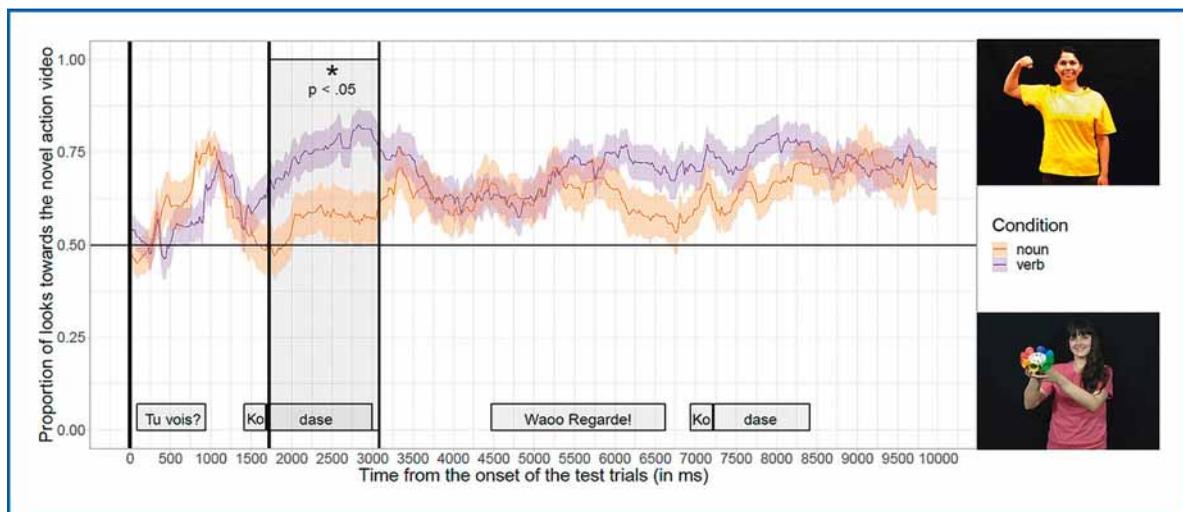


Figure 4: Proportion of looks toward the action video, time-locked to the onset of the trial for the Verb condition (purple curve) and the Noun condition (orange curve). Error bars represent the standard error of the mean. A significant difference between the two conditions was found, starting slightly after the onset of the novel function word “ko” (grey time-window).

Trueswell, Waxman & Christophe (2019). In this previous work, 3-to-4-year-olds (but not 20-month-olds) used known function words rapidly, mapping novel content words to actions when they followed a pronoun, and to objects when they followed an article (e.g. *elle dase* “she dases”, vs *une dase* “a dase”).

A total of 60 children participated in the study (30 in each condition). Results of the eye-tracking data are shown in Figure 4. After processing the first occurrence of “ko”, children in the Verb condition increased their looks toward the action video, while children in the Noun condition increased their looks toward the object video. In fact, both looking behavior and pointing responses were significantly influenced by participant’s assigned condition, with children in the Verb condition looking and pointing more towards the action video than children in the Noun condition. This shows that 3-to-4-year-old children can rapidly integrate a new syntactic context, and learn what type of semantic properties it predict (i.e. object or action).

Part 3: The effect of core knowledge on languages’ morphosyntax

My third major area of interest explores the link between language and concept development. The first study investigated experimentally whether, by relying on a few known words (i.e. *seman-*

tic seed), infants could learn to use novel syntactic cues to distinguish between categories of words that is not marked in their native language (i.e. French), but is marked morpho-syntactically in many of the world’s languages (i.e. animacy). Novel contexts were presented in a short video in which a woman acted out stories. She used new articles (“ko” and “ka”) a total of 60 times. We tested 20-month-old infants (n=24) to see whether they could use newly-learned contexts to categorize novel words –the determiner “ko” before animates and “ka” before inanimates –alongside words they already know, the semantic seed (*ko chien, ka poussette*, ‘ko dog, ka stroller’). Before coming to the lab, infants watched the video three times at home, over three consecutive days. In the lab, they saw the video once more (training phase). Then, during the test phase, they saw two novel images side by side (one of an animate and one of an inanimate) and were asked to look at one of the two images (e.g., *Regarde ko bamoule!*, ‘Look at ko bamoule!’). A cluster-based permutation analysis confirmed that infants looked longer toward the animate image when hearing “ko”, between 300 and 2440 ms after hearing “ko” ($p = 0.01$).

The follow-up studies linked to this project aim at understanding the morphosyntactic patterns present in the world’s languages. Inspection of cross-linguistic universals reveals that across the

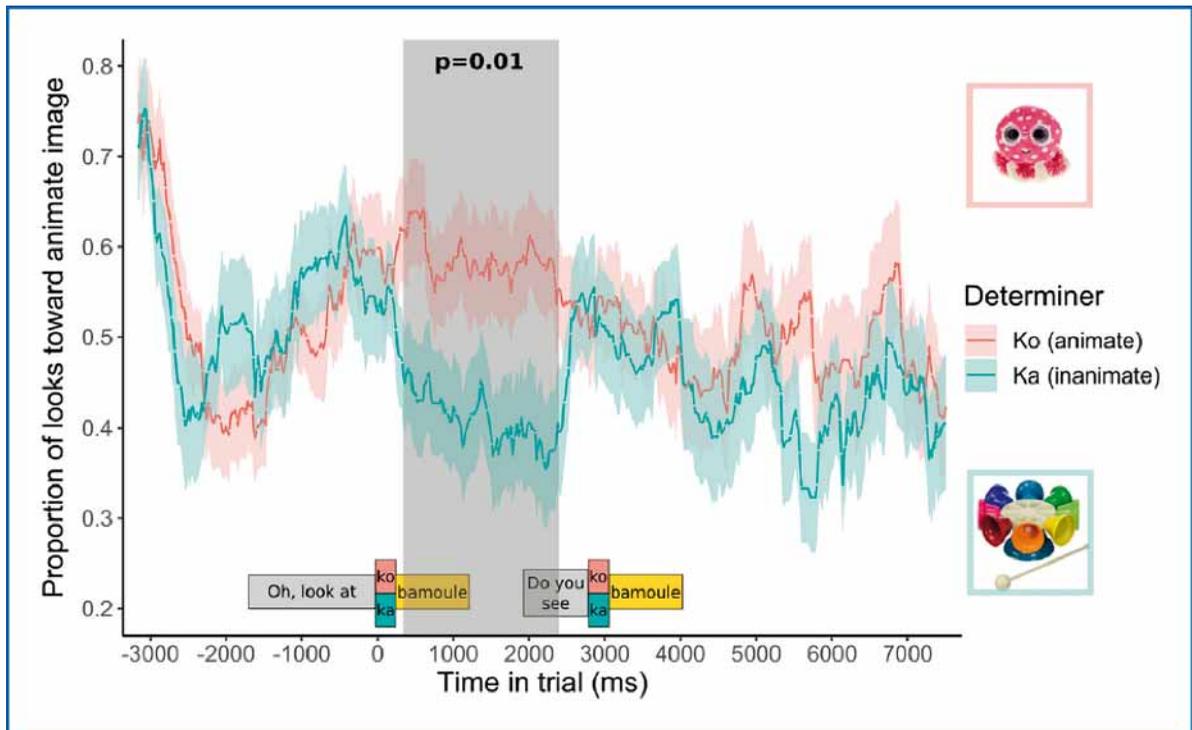


Figure 5: Proportion of looks toward the animate image at each point in time during the trial, when the infants heard the animate determiner ‘ko’ paired with a novel noun (e.g. ‘ko bamoule’) in pink and when they heard the inanimate determiner ‘ka’ (e.g., ‘ka pirdale’) in blue. Grey shading indicates the time-window during which the two conditions, animate determiner sentences versus inanimate determiner sentences, significantly diverge.

world’s languages, certain conceptual categories are often marked in morphosyntax (eg. object/action, animate/inanimate), while others are not (e.g. color, vehicles). We want to gain insight on the cause of the cross-linguistic regularity, which might be that since morphosyntax helps infants to learn word meanings, only those morphosyntactic regularities that mark conceptual distinctions that are noticeable by infants (*core knowledge*) would be selected for human languages (Strickland, 2017). *Core knowledge* refers to a group of inherently non-verbal distinctions which are universally represented across cultures, and which have shaped language evolution. For instance, animacy is a highly salient feature that is detected early in life by infants (e.g., Rostad, Yott, & Poulin-Dubois, 2012). Although languages have content words for non-core knowledge distinctions (i.e. categories for vehicles, clothes, food), it appears that such distinctions, unlike *core knowledge* distinctions, are never correlated with specific syntactic or mor-

phological contexts. Previous research with adults has demonstrated that learning morphological markings associated with non-core knowledge categories is significantly more difficult than those associated with core knowledge categories, such as animacy and gender (O’Madagain, Peperkamp, & Strickland, in prep). Up until now, this effect was never investigated with children. I am presently developing a follow-up project involving toddlers (Babineau, O’Madagain, Strickland, & Christophe, in prep). The studies that I plan to test will have an impact on our understanding of the conceptual distinctions that are favored by our cognitive system, and how those systems shaped the rules present in the world languages.

Conclusions

The present findings have important implications for our understanding of the synergies between semantics and syntax during the first steps of language development. Already at

11 months of age, infants have managed to track the co-occurrence patterns between function words and content words (i.e. determiners can precede nouns, and pronouns can precede verbs) in their daily language input. This early sensitivity to grammatical dependencies will enable infants to later build expectations about novel words, their syntactic category

and their semantic category (e.g., Babineau, Shi & Christophe, under review; Havron*, Babineau*, Christophe, accepted).

While numerous studies over the past decades have focused on the use of syntactic contexts to guide young children's acquisition of novel content word meanings (i.e., "they dax", *dax* might be a verb), the current set of studies provide the first evidence that young children can also do the reverse. Namely, young children can exploit the semantic information provided by familiar content words to learn about the properties of a novel syntactic context (i.e., "ko eats", ko might precede verbs). Our studies show that young children rapidly and efficiently undertake a distributional analysis to build predictions about the type of concept that can co-occur with a newly-learned function word. These results bring

empirical evidence to the hypothesis that infants expect words from similar conceptual categories to occur in similar syntactic contexts (Gleitman, 1990; Pinker, 1984), while also supporting the modeling-based learning mechanism of the

semantic seed (e.g., Brusini, Amsili, Chemla, & Christophe, 2014; Christophe et al., 2016; Gutman et al., 2014). Overall,

children's ability to pay attention to function words and their distribution, which starts before the end of their first year of life, represents a powerful aid to learn a large lexicon without explicit teaching, which is one of the hallmarks of human languages.

Acknowledgements

I am very grateful to the Fyssen Foundation for supporting this research with a postdoctoral study grant. I thank all the bright "actors" who participated in the videos, as well as Anne-Caroline Fiévet for her help in recruiting the children and organizing the partnerships with preschools. I also thank all the parents, and the children who participated in this study and the directors and teachers of the preschools that so warmly welcomed us and allowed us to conduct our research.

"Young children can exploit the semantic information provided by familiar content words to learn about the properties of a novel syntactic context."

Utiliser l'intelligence artificielle comme outil scientifique pour étudier l'acquisition du langage

Abdellah FOURTASSI

Maître de Conférences, Laboratoire Informatique et Systèmes, Université Aix-Marseille

Résumé

Ces dernières années, l'intelligence artificielle est devenue prépondérante dans plusieurs domaines comme la finance, la médecine et les transports. Dans mon travail de recherche, j'explore si et comment cette technologie peut être utilisée pour répondre à des questions scientifiques sur le développement cognitif des enfants. Je me focalise sur l'acquisition du langage, un domaine qui représente un enjeu majeur aussi bien dans la recherche fondamentale que dans la recherche appliquée. Dans cet article, je vais d'abord introduire la question qui a motivé ma recherche durant ces dernières années. Ensuite, je vais expliquer l'approche scientifique que j'ai adoptée pour répondre à cette question. Finalement, je vais présenter la recherche effectuée, dont une grande partie grâce au financement de la bourse Fyssen.

“Dans mon travail de recherche, j'explore si et comment cette technologie peut être utilisée pour répondre à des questions scientifiques sur le développement cognitif des enfants”

Mots-clés

Développement cognitif, acquisition du langage, développement cognitif, modèles informatiques, intelligence artificielle

Using Artificial Intelligence as a scientific tool to study early language acquisition

Abstract

Recent years have witnessed substantial improvement in AI technology which has been utilized to advance numerous fields and industries such as finance, healthcare, and transportation. In my research, I explore whether and how this technology can be put to use to address scientific questions about human learning and cognitive development. I focus on the question of early language acquisition, which is an exciting scientific frontier – as a window into the mind – with important clinical, educational and engineering applications. In what follows, I will first introduce the question that has motivated most of my research, then I will explain my research philosophy as well as the modeling methods. Next, I will present the research I have conducted and how the main findings bear on the scientific question.

“In my research, I explore whether and how this technology can be put to use to address scientific questions about human learning and cognitive development”

Keywords

Cognitive development, language acquisition, computational models, artificial intelligence

Using AI models to study language acquisition

Language acquisition requires the mastery of a grammar with multiple levels of structure such as phonetics, phonology, morphology, syntax, semantics, and pragmatics. The way children learn this complex, multi-layered organization without explicit teaching is one of the central challenges in cognitive science (Chomsky, 1965).

One could imagine that the multi-layered organization of language may lead to a stage-like learning scenario whereby linguistic levels (e.g., phonology and semantics) are learned sequentially, one at a time. However, these linguistic levels appear interdependent from a learning viewpoint. For instance, the set of contrastive sounds (i.e., phonemes) can be characterized through pairs of words that differ minimally (e.g., “glass” vs “grass”). Thus, to learn phonemes, children may need to first learn the words. However, to determine when two minimally different word-forms are same (e.g., due to allophony or mispronunciation) or different words, one needs to know the contrastive sound system first. A similar interdependence has been noted with other linguistic levels such as syntax and semantics (Pinker, 1984; Gleitman, 1990; Fisher et al., 2010).

It appears as though to learn any one layer of the linguistic structure, other layers need to be acquired first, creating a chicken-and-egg dilemma. The study of how children break this apparent circularity requires adequate tools that go beyond the top-down intuitions/theories that researchers might have about the learning process. One promising research strategy is to use new advances in AI methods to explore how linguistic knowledge emerges from a rich input simulating the children’s early linguistic environment. This Research strategy has the potential for elucidating non-obvious interactive patterns between linguistic levels, especially when these patterns are difficult for researchers to anticipate a priori. As I will describe in the next section, these data-driven insights can then be formalized as precise learning mechanisms in a cognitive framework.

Overview of the Research Philosophy and Methods

A mature theory of language acquisition should ideally be instantiated as a machine

that, when exposed to a realistic input data, learns language using cognitive processes similar to the ones used by children (Dupoux, 2018). To arrive at such a theory, we need to work on two research fronts: 1) Explore the information contained in the input (I call this strategy the *input-centered* approach) and 2) understand the cognitive mechanisms that are used by children to learn from this information (I call this second strategy the *learner-centered* approach).

In the input-centered approach, I have used Natural Language Processing (NLP) methods to learn from an input that simulates the early linguistic environment. This strategy has allowed me both to formalize data-driven theories about language acquisition and to quantify the degree to which these theories scale up to a realistic learning environment.

In the learner-centered approach, I implemented precise cognitive models which have allowed me to interface the data-driven theories with human performance. I have used probabilistic modeling and dynamic networks and I have tested these models using data collected in both controlled settings and naturalistic observations.

The combination of these two research strategies allows the investigation of how language develops from the interaction of the children’s cognitive mechanisms and the structure of their learning environments.

	Research approach	
	Input-centered	Learner-centered
Inspiring data-driven theories of learning	✓	
Instantiating theories in a cognitive framework		✓
Testing how theories scale up to the natural learning context	✓	
Allowing for comparison with the human performance		✓

Table 1: My research takes both an input-centered and a learner-centered approach, the combination of which allows us to study how language develops from the interaction of the children’s cognitive processes and the structure of their learning environments

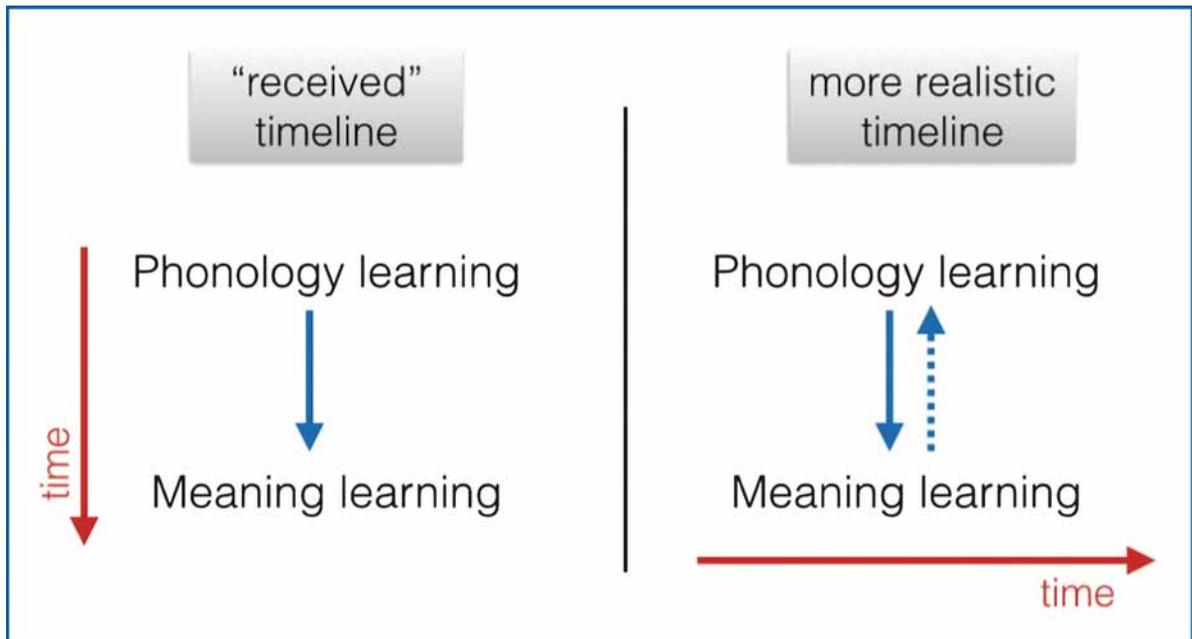


Figure 1: In the “received timeline” of language learning, sounds are learned first and meaning next. Sounds can possibly influence word meaning learning, but not the other way around. In a more realistic timeline, sounds and meanings are learned in parallel and can influence each other throughout the learning process.

Input-centered research

In my research, I have used sound and meaning learning as a case study. These two aspects of language have been assumed to be learned sequentially, and thus have been typically studied separately. However, this received view has been challenged on the ground that sound learning and meaning learning are interdependent (as I explained earlier). In addition, the experimental data show that acquisition takes place at both levels in a simultaneous and gradual fashion.

In a series of corpus-based studies (Fourtassi and Dupoux, 2014; Fourtassi et al. 2014a, Fourtassi et al. 2014b), I have described how sounds and meanings can be acquired simultaneously despite the issue of interdependence. I made the assumption that instead of learning mature representations in a sequential fashion (i.e., phonemes then word-forms then word meanings), children learn approximate, provisional linguistic representations in parallel.

I implemented this scenario using real-size spontaneous speech corpora in two typologically different languages (English and Japanese). I

used Speech Recognition technology to generate detailed fine-grained phonetic categories. I showed that this “proto-phonemic” inventory enabled approximate word segmentation from continuous transcribed speech (using unsupervised segmentation algorithms). The resulting lexicon was then used to derive a rudimentary semantic representation through word co-occurrence in the corpora.

I showed that information from the derived semantics, albeit very rudimentary, can be used through a feedback loop to help refine the phoneme inventory with a high degree of accuracy.

This work provides a quantitative demonstration of how learning can proceed despite the problem of interdependence. In fact, it shows that it may actually *help* to learn interdependent components simultaneously rather than sequentially. Such a synergy turns the interdependence puzzle from a hindrance into an advantage.

Learner-centered research

The Input-centered research, which I did mostly in my PhD, left open the empirical question as to whether human learners leverage the synergy between interdependent linguistic levels. During

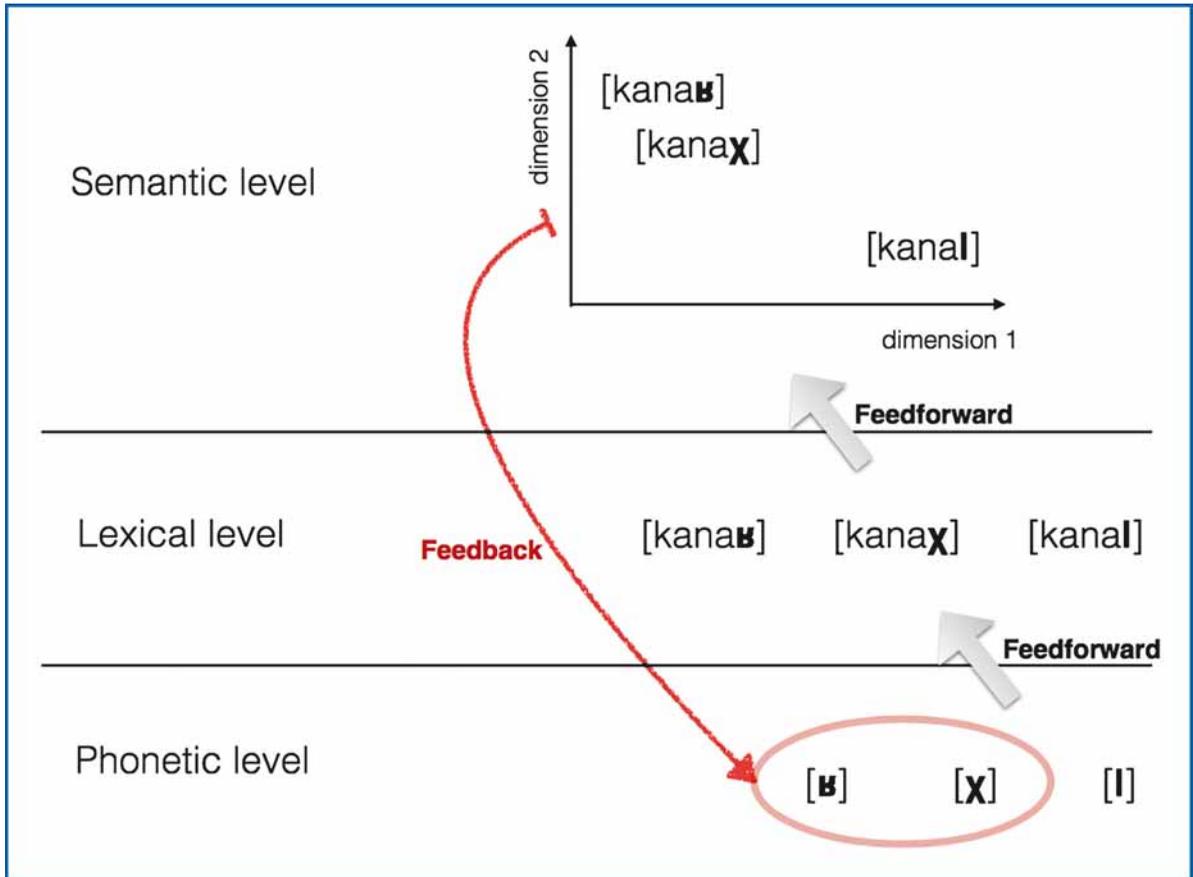


Figure 2: A schematic illustration of the proposed learning mechanism. Learning is understood to be the outcome of an interaction between different levels of linguistic representation. The phonetic level is composed of fine-grained categories. This level provides feedforward information into the lexical level where word-forms are segmented and stored according to the granularity of the phonetic level. The semantic level represents the distribution of these word-forms according to their co-occurrence in conversations. Through a feedback loop, the semantic level readjusts the phonetic level along the relevant (i.e., phonemic) dimensions.

my Postdoc at Stanford University which was funded by the Fyssen Foundation, I explored this question by constructing cognitive instantiations of the synergistic hypothesis in two computational frameworks. First, I used probabilistic models to quantify human learning in controlled tasks. Second, I used methods from Network Science to investigate data collected in more naturalistic settings.

Cognitive models in controlled tasks

One precise way to characterize learning in a controlled task is through comparing human behavior to an Ideal Observer model. The latter provides a characterization of the task and shows how the input can be used optimally to perform this task (Marr, 1982; Anderson, 1990). In particular, when there is uncertainty in the input, the

model performs an optimal probabilistic (Bayesian) inference. The ways in which humans conform or deviate from the ideal teach us about the nature of the cognitive processes and constraints that characterize learning.

I used the ideal observer approach in two series of studies. In the first (Fourtassi & Frank, 2017), I explored the extent to which the sound-meaning synergy is leveraged by adult learners during a word recognition task. More precisely, I examined how adults identify words under joint uncertainty in the sound and the meaning. I found that participants integrated information from both sources in an optimal fashion. In other words, though neither the sound nor the meaning provided a definitive cue, participants still used them

simultaneously to optimize the accuracy of word recognition.

In the second study (Fourtassi, Regan, & Frank, 2019), I tested both pre-school children and adults to see if noisy information from the sound and the meaning is used interactively, not only in word recognition (as in the first study) but also in novel word learning. The task was based on an extension of the experimental paradigm of Stager and Werker (1997). Our analysis showed that 1) the quality of the sound and meaning representations improve continuously over development, 2) children and adults use imperfect cues from the sound and meaning *interactively* in a near optimal fashion to learn novel words.

Cognitive models in naturalistic settings

Above I explained how I studied learning in a controlled setting. While this is an excellent method to quantify the learning of some specific input in isolation (allowing us, for instance, to test causal claims), it does not say much about how cognitive processes unfold in a naturalistic context where a multitude of factors are involved. Here I explain how I moved beyond the controlled

setting to study the children's learning in real life using data from parent report.

In this line of research (Fourtassi, Bian, & Frank, 2018; Fourtassi, Bian, & Frank (in press)), I have used computational methods from Network Science to explore if information from the sound and the meaning combine to predict the emergence of the early vocabulary. I represented the early lexicon as a network where the nodes represent words and the links represent their phonological or semantic relationships.

Using this framework, we can model word learning as dynamic network growth, examining when new nodes enter the network over time.

We found that, in ten languages, the combined semantic and phonological connectivity (i.e., the number of links a word shares with other words in the network) explains lexical growth above and beyond previously documented factors (e.g., word frequency and length). This result suggests that children combine phonological and semantic information to learn words, not only in controlled laboratory settings but also in real life.

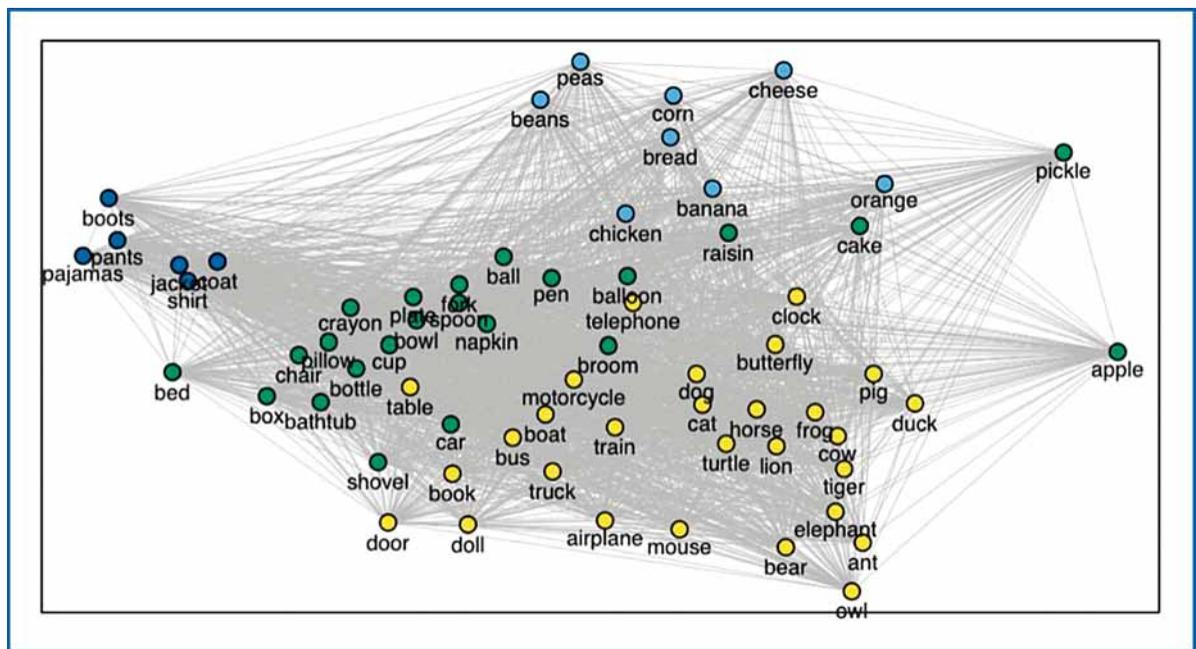


Figure 3: A lexical network obtained using a sample of nouns from children's vocabulary by 2 years old (nodes), and co-occurrence similarity from a corpus of child-directed speech (edges). Colors indicate highly interconnected clusters derived using an unsupervised network clustering algorithm.

Current and Future Research Directions

I will work towards an integrative data-driven theory of language development which directly relates the linguistic input that children hear around them to their cognitive processes. In addition, I will start using my research to create useful societal applications in education and health.

Towards an Integrative Theory of Language Learning

In my previous work, I used independent computational tools to study the input and the cognitive processes separately – using what I called input-centered and learner-centered approaches, respectively. I am currently working on integrating both in the same computational framework. This will allow for the study of how linguistic representations are directly shaped by the naturalistic input. For example, my most recent work (Fourtassi, Scheinfeld, & Frank, 2019) combines methods from NLP and Network Science to study how the patterns of conceptual development can be explained as a result of the way children learn words over time and the relationships between these words in the child-directed speech.

Societal Applications in Health and Education

Though theoretical work on language acquisition aims at explaining learning that occurs in children's everyday lives, much of this work has been based on qualitative evidence from highly simplified learning contexts (e.g., laboratory experiments). This fact limits the implication of these theories for real-world applications. In contrast, research such as mine uses AI methods to approximate the real, everyday learning input. Such data-driven theories translate much more clearly into possible applications, especially in the clinical and educational domains.

As an illustration of a clinical application, I am engaged in a project with my collaborators at Stanford where we study large data provided to us by the National Institute of Health (NIH) about the developing vocabularies of more than 3,000 children with autism. We plan to leverage the computational framework I used in previous research (Fourtassi, Bian, & Frank, 2018) to study the mechanism of word learning of children with autism in relation to those of typically-developing children. In particular, we are interested in exploring the extent to which word learning

depends on internal learning biases compared to the extent to which it depends on external factors such as parental input. This work will provide a basis for interventions aiming at improving language uptake in children with autism.

As an example of an application in education, I am currently working on a model of academic vocabulary network growth in elementary school. We plan to quantify how the linguistic input in school (e.g., textbooks) predicts the difficulty with which certain words are learned (based on word learning scores such as the PPVT). Ultimately, we aim at investigating how textbooks and instructions in class can be optimized based on insights from this model.

Conclusion

My research leverages new developments in the field of AI to help build data-driven theories of language acquisition. The goal of this research is to help us connect the children's environmental input to their linguistic uptake. Such an effort can expand our understanding of the children's developmental processes at scale, thus leading to real-world applications.

Acknowledgement

This work was supported by a postdoctoral grant from the Fyssen Foundation.

References

- Anderson, J. R. (1990). *The adaptive character of thought*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Chomsky, N. (1965). *Aspects of the Theory of Syntax*. MIT Press.
- Dupoux, E. (2018). Cognitive Science in the era of Artificial Intelligence: A roadmap for reverse-engineering the infant language-learner. *Cognition*, 173.
- Fisher, C, Gertner, Y, Scott, R, & Yuan, S (2010). Syntactic bootstrapping. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 1.
- Fourtassi, A. & Dupoux, E. (2013). A Corpus-based Evaluation Method for Distributional Semantic Models. *51st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics Proceedings of the Student Research Workshop*.
- Fourtassi, A., Dunbar, E. & Dupoux, E. (2014). Self Consistency as an Inductive Bias in Early Language Acquisition. *In Proceedings of the 36th Annual Meeting of the Cognitive Science Society*.

- Fourtassi, A., Schatz, T., Varadarajan, B. & Dupoux, E. (2014). Exploring the Relative Role of Bottom-Up and Top-Down information in Phoneme Learning. *In Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Association of Computational Linguistics*.
- Fourtassi, A. & Dupoux, E. (2014). A Rudimentary Lexicon and Semantics Help Bootstrap Phoneme Acquisition. *In Proceedings of the 18th Conference on Natural Language Learning (CoNLL)*.
- Fourtassi, A. & Frank, M., C. (2017). Word Identification Under Multimodal Uncertainty. *In Proceedings of the 39th Annual Meeting of the Cognitive Science Society*.
- Fourtassi, A., Bian, Y. & Frank, M., C. (2018). Word Learning as Network Growth: A Cross-Linguistic Analysis. *In Proceedings of the 40th Annual Meeting of the Cognitive Science Society*.
- Fourtassi, A. *, Scheinfeld, I. *, & Frank, M., C. (2019). The Development of Abstract Concepts in Children's Early Lexical Networks. *In Proceedings of the 10th Workshop on Cognitive Modeling and Computational Linguistics*.
- Fourtassi, A., Regan, S. & Frank, M., C. (2019). Continuous Developmental Change can Explain Discontinuities in Word Learning. *In Proceedings of the 41st Annual Meeting of the Cognitive Science Society*.
- Gleitman, L. (1990). The structural sources of verb meanings. *Language Acquisition*, 1.
- Marr, D. (1982). *Vision*. WH Freeman and Company.
- Pinker, S. (1984). *Language learnability and language development*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- Stager, C. L., & Werker, J. F. (1997). Infants listen for more phonetic detail in speech perception than in word-learning tasks. *Nature*, 388.

Vers un nouveau paradigme dans notre compréhension de l'évolution de la vie de famille : Les leçons du forficule européen.

Joël MEUNIER

Chargé de Recherche CNRS à l'Institut de Recherche sur la Biologie de l'Insecte (IRBI), UMR CNRS 7261, Université de Tours, Tours, France.

Résumé

Alors que les soins parentaux sont souvent considérés comme la pierre angulaire des interactions familiales, de nouvelles études suggèrent que ce paradigme pourrait être incomplet. Dans ce projet, je propose de tester une nouvelle hypothèse selon laquelle des soins pourraient être prodigués par les juvéniles envers leurs parents pendant la vie de famille, et les bénéfices associés pourraient expliquer l'évolution de la vie de famille chez les animaux. En utilisant le forficule européen comme modèle biologique (un insecte à la vie de famille unique), mes résultats révèlent que les mères reçoivent bien des soins de leurs juvéniles. En particulier, elles reçoivent un comportement s'apparentant à du nettoyage et de la nourriture qu'elles consomment sous la forme de fèces. De nouvelles études devront confirmer que ce nettoyage offre bien une protection contre les pathogènes, et que la consommation de fèces apporte bien un bénéfice pour les mères.

Mots clés

Vie de famille, insectes, nettoyage, coprophagie, forficule

Towards a new paradigm in our understanding of family life evolution : lessons from the European earwig

Abstract

Parental care has long been considered a keystone of family life and one of its major evolutionary drivers. However, recent studies suggest that parental care is but one component of family interactions and that other interactions could have an important yet neglected role in the evolution of family life. In this project, I propose to explore a new hypothesis positing that juveniles could provide care towards their parents during family life and that the associated benefits could explain the evolutionary transition from solitary to family life in animals. Using the European earwig as a biological model (an insect with a family life), my results suggest that mothers can indeed receive some forms of care from their juveniles. In particular, we show that offspring express a cleaning behaviour toward their mothers and that offspring can transfer a part of their ingurgitated food to their mother during family life. New studies will have to confirm that this cleaning behaviour and food transfer indeed offer direct benefits to mothers, for instance by improving their protection against pathogens and/or enhancing their investment into future reproduction.

Keywords

Family life, insects, cleaning, coprophagy, earwig

Introduction

Une grande question en biologie évolutive est de comprendre pourquoi certains animaux ont une vie de famille, alors que d'autres préfèrent la vie solitaire. Dans la nature, la vie de famille est très répandue et se retrouve aussi bien chez les vertébrés (mammifères, oiseaux et reptiles) que les invertébrés (arthropodes, mollusques, vers annélides). Chez toutes ces espèces, les groupes familiaux englobent une grande diversité de formes¹ et peuvent être, par exemple, composés d'un ou plusieurs juvéniles et d'un ou plusieurs parents, ils peuvent durer de quelques minutes à plusieurs années et ils peuvent prendre la forme de petits groupes temporaires, jusqu'à celle de grandes sociétés permanentes dans lesquelles chaque membre passera toute sa vie².

Quelle que soit sa forme, la vie de famille est souvent associée à l'expression de soins parentaux envers les descendants³. Ces soins incluent, par exemple, la préparation d'un nid, la défense des œufs et des juvéniles contre les prédateurs, ou encore l'approvisionnement des jeunes en nourriture¹. Les soins parentaux sont

souvent considérés comme essentiels pour les juvéniles, parce qu'ils neutralisent la grande majorité des risques liés à leur environnement direct. Mais l'investissement dans les soins parentaux présente de nombreux désavantages pour les parents et les juvéniles. D'abord, parce que cet investissement est énergétiquement coûteux pour les parents, qui le font donc souvent au détriment d'une reproduction future. Ensuite, parce que les juvéniles, les pères et les mères peuvent avoir des intérêts divergents sur le niveau de cet investissement, ce qui donne lieu à trois conflits sociaux⁴. Le premier conflit se passe entre juvéniles, et vient du fait que chaque jeune a un intérêt direct à monopoliser la ressource parentale au détriment de ses frères et sœurs (Conflit fraternel⁵). Le second conflit oppose les parents aux juvéniles et repose sur le fait que les juvéniles ont un intérêt direct à demander plus de soin que ce que les parents ont intérêt à donner

(Conflit parent-enfants⁶). Enfin, le troisième conflit oppose le père à la mère, car chacun à un intérêt direct à limiter son propre investissement dans ces soins au détriment de l'investissement que l'autre parent y mettra (Conflit sexuel⁷).

Ce rapport complexe entre coûts et bénéfices des soins parentaux a longtemps été considéré comme la pierre angulaire de l'évolution de la vie de famille dans la nature. Mais de récentes études suggèrent que cette vision est incomplète : plusieurs comportements sociaux pourraient être responsables de cette évolution et le soin parental n'en serait qu'un parmi d'autres². Une série d'étude conduites chez le forficule européen *Forficula auricularia* (Figure 1) illustrent ce changement de paradigme. Elles montrent en effet que les bénéfices de la vie de groupe ne proviennent pas uniquement des soins parentaux pour les juvéniles, mais qu'ils peuvent être le résultat de comportements coopératifs entre frères et sœurs^{8,9}. De la même manière, ces études montrent que la présence d'un parent n'est pas forcément bénéfique pour les jeunes

“La décision de rester en famille pour les juvéniles pourrait reposer sur les bénéfices de la coopération entre juvéniles plutôt que sur ceux des soins parentaux”

forficules, car elle peut engendrer une compétition pour les ressources se traduisant par un plus fort taux de mortalité des

jeunes^{10,11}. Contrairement au paradigme classique de l'évolution de la vie de famille, ces résultats suggèrent donc que la décision de rester en famille pour les juvéniles pourrait reposer sur les bénéfices de la coopération entre juvéniles plutôt que sur ceux des soins parentaux, alors que la décision de quitter le groupe pourrait être favorisée par le coût d'avoir un parent dans les environs plutôt que par les coûts de la rivalité entre enfants².

Cette nouvelle vision sur les facteurs responsables de l'évolution de la vie de famille chez les animaux pourrait être incomplet lui aussi. En effet, mieux comprendre l'évolution de la vie de famille ne demande pas uniquement de se questionner sur les motivations des juvéniles à rester avec leurs parents, mais aussi sur les motivations des parents à rester avec leurs juvéniles (au-delà des bénéfices indirects liés à l'amélioration de la qualité des descendants)². Grâce au subside de recherche offert par la fondation Fyssen, je me



Figure 1 : Le forficule européen *Forficula auricularia* a une vie de famille unique, à la fois complexe et facultative, qui illustre un stade ancestral dans l'évolution de la vie de famille. **a)** Les femelles s'occupent de leurs juvéniles pendant plusieurs semaines, les protégeant des prédateurs et leur régurgitant de la nourriture. **b)** En cas de danger, les mères déplacent leurs juvéniles. **c)** Les juvéniles sont mobiles et capable de chercher de la nourriture par eux-mêmes. Ils interagissent aussi beaucoup entre eux et échangent régulièrement de la nourriture par coprophagie.

suis intéressé à cette question en étudiant une nouvelle hypothèse selon laquelle les parents resteraient avec leurs enfants parce que ces derniers pourraient leur apporter des soins pendant la vie de famille. En utilisant le Forficule européen comme espèce modèle, j'ai cherché à tester cette hypothèse en répondant à deux questions principales. La première était de savoir si les juvéniles pouvaient aider leur mère en la protégeant contre les pathogènes. Si cette hypothèse est juste, les juvéniles devraient être capable de nettoyer leur mère (par léchage), ces nettoyages devraient être plus important lorsque les mères sont recouvertes de pathogènes et enfin, ces nettoyages devraient permettre aux mères de mieux survivre à une exposition à des pathogènes. La deuxième question était de savoir si les juvéniles pouvaient aider leur mère en leur apportant de la nourriture. Si cette hypothèse est juste, mes prédictions étaient que les mères devraient consommer de la nourriture en provenance des juvéniles (par exemple par la consommation de leur déjections, un phénomène de coprophagie déjà décrits entre les juvéniles de cette espèce⁸), que cette consommation devrait augmenter lorsque les mères sont affamées et enfin, qu'elle devrait améliorer la survie des mères en cas d'absence d'autre source de nourriture.

Question 1 : Les juvéniles protègent-ils leur mère contre les pathogènes ?

Pour tester si les juvéniles pouvaient aider leur mère en la protégeant contre les pathogènes, nous avons mis en place 45 familles expérimentales de forficule composées d'une mère et de

10 de ses juvéniles. Sur les 45 mères utilisées, 22 ont été exposé à une solution de spores de *Metarhizium brunneum* – un champignon entomopathogène qui colle à la surface des insectes, pénètre leur cuticule en quelques jours, puis se multiplie à l'intérieur des individus infectés pour les tuer¹² – alors que les 23 mères restantes ont été exposé à une solution témoin ne contenant pas de spores. Une fois exposés, les deux types de mère et leurs juvéniles ont été déposé dans des arènes en plastiques, puis filmées pendant 30 minutes afin d'analyser le nombre et la durée des comportements de nettoyage (léchage) exprimées par les juvéniles envers leur mère. Cette espèce étant nocturne, toutes les arènes étaient maintenues dans le noir et filmées avec des caméras infrarouge haute résolutions (**Figure 2**). Une fois les 30 minutes d'enregistrement terminées, chaque famille expérimentale a été maintenue en laboratoire afin de faire un suivi quotidien de la mortalité des mères.

Dans l'ensemble, les juvéniles ont exprimé entre 0 et 102 sessions de nettoyage (léchage) de leur mère. Ces sessions avaient une durée totale allant de 0 à 510 secondes, soit un maximum de 28% du temps d'observation. Contrairement à nos prédictions, la présence de pathogène sur la mère n'a influencé ni le nombre de session de nettoyage (**Figure 4a** ; *Welch t test*, $t_{(51.97)} = -0.22$, $p = 0.828$), ni le temps total de nettoyage que les juvéniles ont exercé sur leur mère (**Figure 4b** ; *Welch t test*, $t_{(51.97)} = -0.80$, $p = 0.426$). De la même manière, la survie des mères après l'exposition aux deux types de solution ne dépendait ni du nombre de session de nettoyage

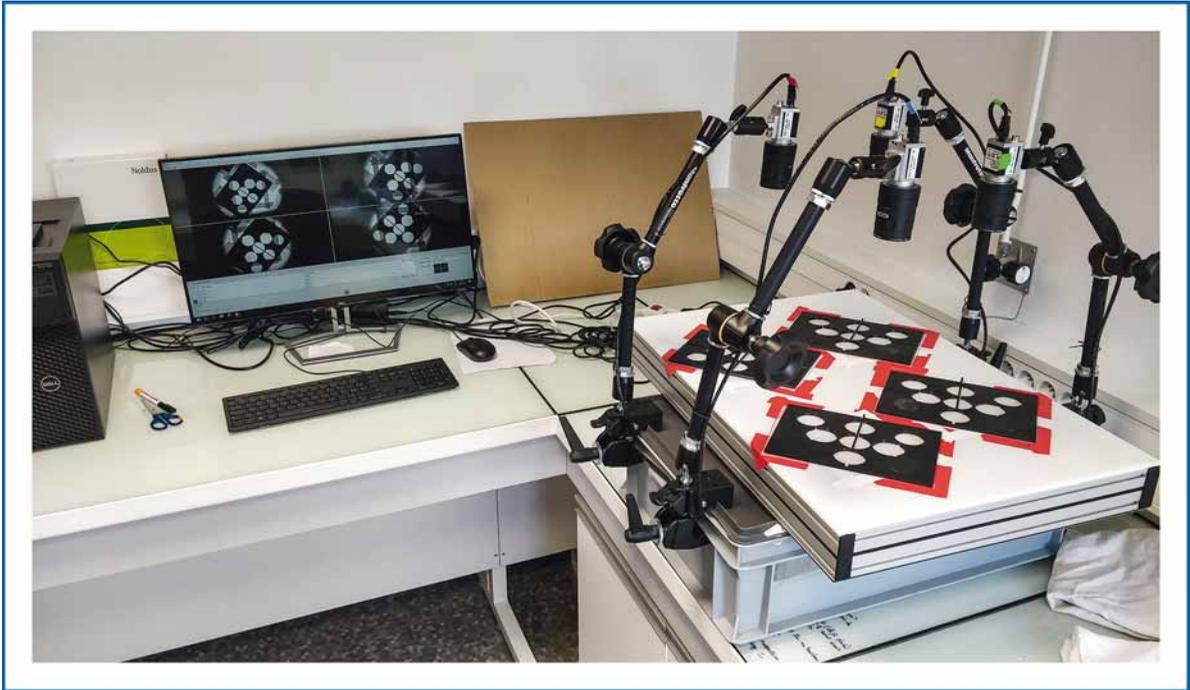


Figure 2 : Exemple du dispositif expérimental permettant de filmer les interactions entre mères et juvéniles en condition nocturne. Jusqu'à 4 plaques d'arènes peuvent être disposées sur un planché infrarouge et filmée simultanément par 4 caméras infrarouge à haute résolution. Ces caméras sont équipées de zoom permettant d'obtenir des gros plans de ces insectes de seulement 3 mm (juvéniles) de long. Les films sont réalisés dans le noir afin de limiter le stress des individus à la vie nocturne.

(Cox proportional hazards regression model ; LR $\chi^2_{(1)} = 2.84, p = 0.092$), ni du temps total de nettoyage reçu (**Figure 4c** ; Cox model, LR $\chi^2_{(1)} = 3.06, p = 0.080$), et ce, indépendamment du type d'exposition (interactions, all $p > 0.50$). Enfin, et de façon surprenante, les mères exposées au pathogènes ont survécu 28.77 ± 1.97 jours (moyenne \pm erreur standard), un chiffre qui n'est pas différent des 29.11 ± 1.60 jours de survie des mères exposées à la solution contrôle (Modèles de Cox sur le nombre de session et la durée totale de nettoyage ; LR $\chi^2_{(1)} = 0.07, p = 0.797$ et LR $\chi^2_{(1)} = 0.14, p = 0.707$; respectivement).

Question 2 : Les juvéniles protègent-ils leur mère contre la privation de nourriture ?

Pour tester si les juvéniles protégeaient leurs mères contre la privation de nourriture, nous avons d'abord essayé de déterminer si les mères consomment les fèces de leurs juvéniles et de tester si cette consommation est modifiée en fonction de leur état nutritionnel. Nous avons donc d'abord besoin d'obtenir des fèces produites

par les juvéniles et de les proposer (ou non) à leur mère. Pour cela, nous avons mis en place 47 familles expérimentales composées d'une mère et de 20 de ses juvéniles, que nous avons nourris de façon à obtenir l'une des 2 combinaisons suivantes : les mères et les juvéniles avaient un accès direct à de la nourriture, ou seuls les juvéniles avaient un accès direct à la nourriture. Ces accès se faisaient en transférant les individus concernés (la mère et/ou le groupe de juvéniles) pendant 2 h dans une nouvelle arène contenant de la nourriture standard (principalement composée de pollen, de carotte, de croquette pour chat, de graine pour oiseau et d'agar - plus d'informations dans la référence¹⁴), puis en les remettant dans leur boîte d'origine. Cet accès direct et temporaire à la nourriture était proposé tous les deux jours jusqu'au 8^e jour suivant l'éclosion des œufs. À cette date, les juvéniles fraîchement nourris étaient immédiatement isolés dans une nouvelle arène pendant 14 h afin de collecter les fèces produites. Cette arène était recouverte de papier filtre humide afin d'éviter la dessiccation des fèces et leur potentielle dégradation, et

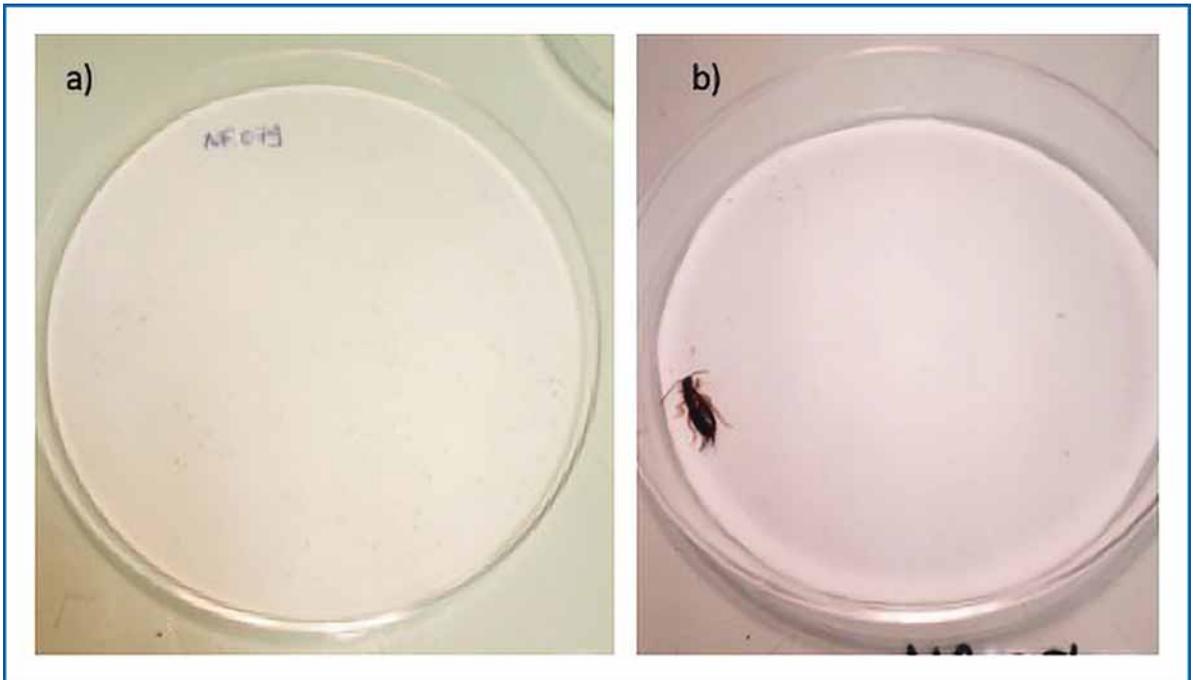


Figure 3 : Mesure de la consommation de fèces par les mères. **a)** Les fèces produits par les juvéniles sont comptés sur le papier filtre (points gris). **b)** La mère est déposée sur le papier filtre pour pouvoir consommer les fèces.

afin de faciliter le transfert de ces fèces dans une nouvelle arène. Au bout de ces 14 h, le nombre de fèces produites par chaque groupe de juvéniles a été compté, le papier filtre recouvert de ces fèces a ensuite été transféré dans une nouvelle arène, dans laquelle nous avons finalement déposé la mère (**Figure 3**). Chaque mère y a été laissée 2 h, à la suite de quoi le nombre de fèces restant a été compté. La différence du nombre de fèces présent dans l'arène après ces 2 h et celui présent à l'arrivée de la mère a été utilisée pour déterminer le nombre de fèces consommé par chacune des mères.

Afin de tester si la consommation de fèces pouvait être une source de nourriture en cas d'absence d'autre type de nourriture, nous avons ensuite réalisé une expérience comparable à la première, à la différence que nous avons aussi fait varier l'accès à la nourriture des juvéniles. Nous avons ainsi formé les 4 combinaisons suivantes : mères et juvéniles avaient un accès direct à la nourriture, seuls les juvéniles avaient un accès direct à la nourriture, seules les mères avaient un accès direct à la nourriture ou personne n'avait un accès direct à la nourriture. Par cette approche, nous avons donc des mères qui n'avaient jamais

eu d'accès direct ou indirect (par les fèces de leurs juvéniles) à de la nourriture, des mères qui n'avaient eu qu'un accès indirect à de la nourriture, des mères qui n'avaient eu qu'un accès direct à de la nourriture, et des mères qui avaient eu à la fois un accès direct et indirect. Au 8^e jour après l'éclosion des œufs, chacune des femelles a été isolée et sa survie enregistrée quotidiennement.

Nos résultats montrent que les mères ont consommé entre 0 et 69 fèces produites par leurs juvéniles. Les deux types de mères ont exprimé un comportement de coprophagie, c'est-à-dire ont consommé des fèces produits par leurs juvéniles (**Figure 5a** ; *One sample t test* ; Mère avec accès à de la nourriture : $t_{(23)} = 3.84, p = 0.0008$; Mère sans accès à de la nourriture : $t_{(22)} = 7.08, p < 0.0001$). De plus, le nombre de fèces consommée par chaque mère était le même chez les mères affamées que chez celles ayant eu accès à de la nourriture (**Figure 5a** ; *Welch t test*, $t_{(33,12)} = 1.25, p = 0.220$). Les mères ont survécu plus longtemps lorsqu'elles ont eu un accès direct à de la nourriture que lorsqu'elles n'ont eu accès qu'au fèces des juvéniles (Modèle de Cox, LR $\chi^2_{(1)} = 10.82, p = 0.001$). Par contre, la durée de vie des

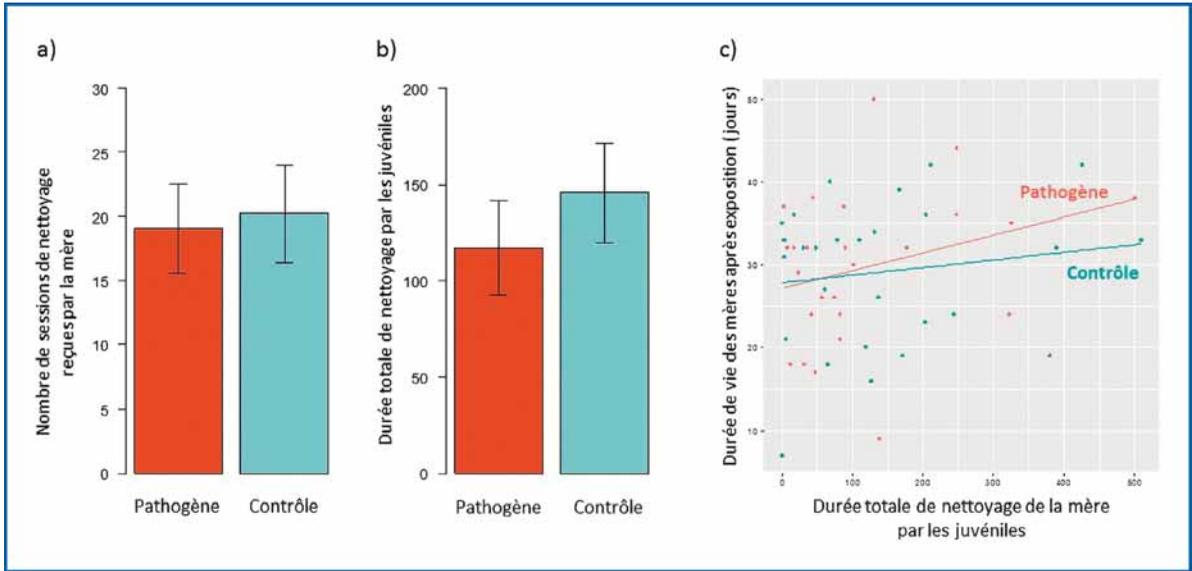


Figure 4 : Les juvéniles nettoient leur mère pendant la vie de famille, mais ce nettoyage n'augmente pas lorsque les mères sont exposées à un pathogène et il n'améliore pas la survie de ces mères.

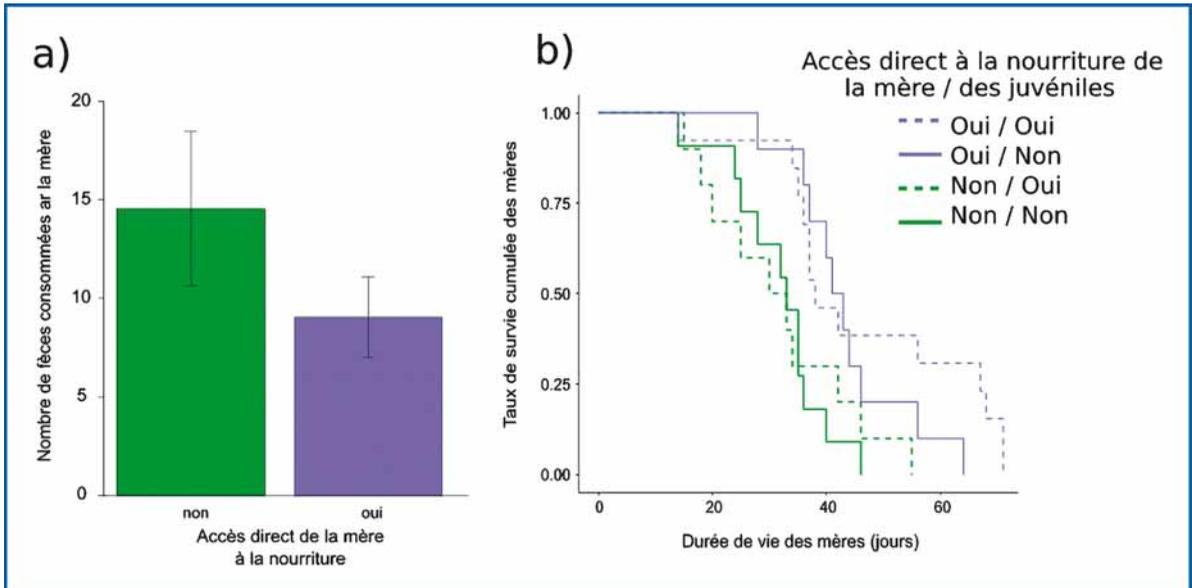


Figure 5 : Les mères consomment les fèces de leur juvéniles, mais elles ne les consomment pas plus lorsqu'elles ont des besoins nutritifs plus grands. Cette consommation n'est pas suffisante pour améliorer leur survie s'il n'y a pas d'autre source de nourriture. ** $p < 0.001$; *** $p < 0.0001$.

mères n'a pas été influencée par la possibilité d'avoir eu un accès aux fèces de leurs juvéniles (Modèle de Cox, LR $\chi^2(1) = 1.17$, $p = 0.280$) et par la possibilité d'avoir eu un accès (ou non) aux deux sources potentielles de nourriture (interaction dans le modèle de Cox, LR $\chi^2(1) = 0.13$, $p = 0.720$).

Discussion générale

Les parents peuvent-ils avoir un bénéfice direct à rester avec leurs juvéniles ? Répondre à cette question dans les espèces ou la vie de famille est facultative est essentiel pour mieux comprendre le rôle de chacun de ses membres dans l'émergence et le maintien de la vie de famille au cours

des générations². Les résultats obtenus dans ce projet confirment partiellement cette hypothèse chez le forficule européen. Ils révèlent que les mères reçoivent un comportement s'apparentant à du nettoyage de la part de leurs juvéniles et qu'elles consomment les fèces de leur juvéniles pendant la vie de famille. Nos résultats, par contre, ne permettent pas de démontrer que ce nettoyage offre une protection spécifique contre les pathogènes, ni que la consommation de fèces améliore la survie des mères lorsqu'elles n'ont pas accès à une autre source de nourriture.

Le nettoyage réciproque entre des membres d'une même famille est un phénomène commun chez certains vertébrés (comme chez de nombreux primates¹⁵), mais il était jusqu'à maintenant peu connu chez les insectes avec une vie de famille¹⁶. Ce nettoyage aide généralement les receveurs en permettant aux donneurs d'enlever les pathogènes et autres substances présentes sur leur surface. C'est le cas, par exemple, chez de nombreuses fourmis^{17,18}. Mais ce nettoyage peut aussi aider les donneurs en les exposant à une très faible dose du pathogène, ce qui induira chez eux un phénomène proche de la vaccination¹⁹. Chez le forficule, nos résultats ne permettent pas de confirmer le rôle du nettoyage comme protection contre les pathogènes, car la souche du champignon pathogène utilisée pour exposer les mères s'est avérée non-virulente. Nos résultats démontrent néanmoins que les juvéniles lèchent fréquemment leur mère et qu'ils y passent jusqu'à 28 % de leur temps. S'il n'a pas la fonction de nettoyer la mère, ce comportement pourrait servir à stimuler la mère afin qu'elle régurgite ensuite de la nourriture à ses petits, ou encore servir à nourrir les juvéniles en leur donnant accès à des substances nutritives sécrétées à la surface des mères. Ce dernier phénomène a été décrit chez plusieurs espèces de blattes (comme *Trichoblatta sericea* et *Gromphadorhina Oxymyza*), chez qui les mères nourrissent leur juvéniles en produisant des sécrétions nutritives sur différentes parties de leur corps²⁰.

Indépendamment de ces comportements de nettoyage, nos résultats révèlent que les femelles consomment les fèces de leurs juvéniles. Ce transfert de nourriture par coprophagie se retrouve chez un grand nombre d'espèces animales²¹ et avait déjà été décrit chez les juvéniles de cette espèce²². Les bénéfices de la coprophagie

peuvent être multiples et permettre, par exemple, un apport nutritionnel au consommateur, ou le transfert de microbes bénéfiques (des composants du microbiote intestinal) entre les membres du groupe. Étant donné que les juvéniles sont rapidement mobile et donc capable de chercher de la nourriture par eux-mêmes²³, nos résultats suggèrent que chaque mère pourrait bénéficier de cet apport nutritif supplémentaire en restant avec ses juvéniles. Le fait que ces dernières ne survivent pas mieux lorsqu'elles ont eu accès à ces fèces indique quant à lui que ce bénéfice est limité et ne permet pas de remplacer complètement un accès direct à de la nourriture. Le niveau basal de coprophagie exprimé par les mères suggère enfin que ce comportement pourrait avoir un rôle non-nutritif tel que celui de transférer de microbiote entre les membres de la famille et ainsi aider les mères à mieux digérer leurs aliments et/ou mieux lutter contre des infections. Dans l'ensemble, ces résultats appellent à de futures études démontrant le rôle précis de la coprophagie chez les mères.

Conclusion

Pour conclure, ces premiers résultats révèlent que les juvéniles du Forficule européen ont les moyens d'apporter des soins à leur mère pendant la vie de famille, que ce soit en les nettoyant ou en leur permettant de consommer des fèces. Ces résultats ouvrent la voie vers de nouvelles recherches sur les bénéfices directs que peuvent retirer les mères de la présence de juvéniles, et plus généralement sur l'implication de ces bénéfices dans l'évolution et le maintien de toutes les formes de vie de famille présentes dans la nature. Dans ce cadre, l'accumulation récente de données sur les nombreuses formes d'interactions sociales présentes pendant la vie de famille du forficule européen^{8,9,24,25} font de cet insecte un modèle de choix pour mieux comprendre la balance entre leurs coûts et bénéfices sur la vie de famille, et mettre en lumière le rôle de différents facteurs environnementaux sur le résultat de ces balances.

Remerciements

Je remercie la Fondation Fyssen pour son soutien pendant mes premières années à l'Institut de Recherche sur la Biologie de l'Insecte (IRBI). Je remercie également Sophie Van Meyel

(Doctorante), Max Aubry (Master 2) et Séverine Devers (Assistante Ingénieure) pour leur aide dans la préparation des protocoles expérimentaux, dans la collecte des données et la gestion des élevages.

Bibliographie

1. Royle, N. J., Smiseth, P. T. & Kölliker, M. *The evolution of parental care*. (Oxford University Press, 2012).
2. Kramer, J. & Meunier, J. The other facets of family life and their role in the evolution of animal sociality. *Biol. Rev.***94**, 199–215 (2019).
3. Clutton-Brock, T. H. *The evolution of parental care*. (Princeton University Press, 1991).
4. Parker, G. A., Royle, N. J. & Hartley, I. R. Intrafamilial conflict and parental investment: a synthesis. *Philos. Trans. R. Soc. London B Biol. Sci.***357**, 295–307 (2002).
5. Mock, D. W. & Parker, G. A. *The evolution of sibling rivalry*. (Oxford University Press, 1997).
6. Kilner, R. M. & Hinde, C. A. Parent-offspring conflict. in *The evolution of parental care* (eds. Royle, N. J., Smiseth, P. T. & Kölliker, M.) 119–132 (Oxford University Press, 2012).
7. Lessells, C. M. Sexual conflict. in *The Evolution of Parental Care* (eds. Royle, N. J., Smiseth, P. T. & Kölliker, M.) 150–170 (Oxford University Press, 2012).
8. Falk, J., Wong, J. W. Y., Kölliker, M. & Meunier, J. Sibling cooperation in earwig families provides insights into the early evolution of social life. *Am. Nat.***183**, 547–557 (2014).
9. Kramer, J., Thesing, J. & Meunier, J. Negative association between parental care and sibling cooperation in earwigs: a new perspective on the early evolution of family life? *J. Evol. Biol.***28**, 1299–1308 (2015).
10. Meunier, J. & Kölliker, M. When it is costly to have a caring mother: food limitation erases the benefits of parental care in earwigs. *Biol. Lett.***8**, 547–550 (2012).
11. Kramer, J. *et al.* When earwig mothers do not care to share: Parent-offspring competition and the evolution of family life. *Funct. Ecol.***31**, 2098–2107 (2017).
12. Vogelweith, F., Körner, M., Foitzik, S. & Meunier, J. Age, pathogen exposure, but not maternal care shape offspring immunity in an insect with facultative family life. *BMC Evol. Biol.***17**, 69 (2017).
13. Lamb, R. J. Dispersal by nesting earwigs, *Forficula auricularia* (dermaptera: Forficulidae). *Can. Entomol.***108**, 213–216 (1976).
14. Meunier, J. *et al.* One clutch or two clutches? Fitness correlates of coexisting alternative female life-histories in the European earwig. *Evol. Ecol.***26**, 669–682 (2012).
15. Rimbach, R. *et al.* Brown spider monkeys (*Ateles hybridus*): a model for differentiating the role of social networks and physical contact on parasite transmission dynamics. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.***370**, 20140110–20140110 (2015).
16. Costa, J. T. *The other insect societies*. (Harvard University Press, 2006).
17. Stroeymeyt, N. *et al.* Social network plasticity decreases disease transmission in a eusocial insect. *Science (80-)***362**, 941–945 (2018).
18. Reber, A., Purcell, J., Buechel, S. D., Buri, P. & Chapuisat, M. The expression and impact of antifungal grooming in ants. *J. Evol. Biol.***24**, 954–964 (2011).
19. Konrad, M. *et al.* Social transfer of pathogenic fungus promotes active immunisation in ant colonies. *PLoS Biol.***10**, e1001300 (2012).
20. Nalepa, C. A. & Bell, W. J. Postovulation parental investment and parental care in cockroaches. in *The evolution of social behavior in insects and arachnids* (eds. Choe, J. C. & Crespi, B. J.) 26–51 (Cambridge University Press, 1997).
21. Hirakawa, H. Coprophagy in leporids and other mammalian herbivores. *Mamm. Rev.***31**, 61–80 (2001).
22. Körner, M., Diehl, J. M. & Meunier, J. Growing up with feces: benefits of allo-coprophagy in families of the European earwig. *Behav. Ecol.***27**, 1775–1781 (2016).
23. Wong, J. W. Y. & Kölliker, M. The effect of female condition on maternal care in the European earwig. *Ethology***118**, 450–459 (2012).
24. Kölliker, M. Benefits and costs of earwig (*Forficula auricularia*) family life. *Behav. Ecol. Sociobiol.***61**, 1489–1497 (2007).
25. Thesing, J., Kramer, J., Koch, L. K. & Meunier, J. Short-term benefits, but transgenerational costs of maternal loss in an insect with facultative maternal care. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.***282**, 20151617 (2015).

Introduction

A major question in evolutionary biology is to understand why some animals live in a family, whereas others prefer a solitary life. In nature, family life in a frequent phenomenon in both vertebrates (e.g. mammals, birds and reptiles) and invertebrates (e.g. arthropods, molluscs and annelids). In these species, family groups encompass a broad diversity of forms¹ and can be, for example, composed of one or several juveniles and one or several parents, last from a few minutes to several years and take the form of small temporary groups, up to that of large permanent societies in which each member spend his whole life².

Notwithstanding its form, family life is often associated with the expression of parental care towards juveniles³. This care includes, for instance, the preparation of a nest, the defence of eggs and juveniles against predators, or the provision of food to the young¹. Parental care is often seen as essential for juveniles because it can neutralize the vast majority of the risks associated with their direct environment. However, investing in parental care also comes with multiple costs for parents and juveniles. First, this investment is energetically costly for parents, so that these later often do so at the expense of their own future reproduction. Second, juveniles, fathers and mothers may have divergent interests in the level of this investment during family interaction and these divergences give rise to three major social conflicts⁴. The first conflict occurs between juveniles and comes from the fact that each offspring has a direct interest in monopolizing parental resources to the detriment of their brothers and sisters (Sibling conflict⁵). The second conflict opposes parents and juveniles and is based on the fact that juveniles have a direct interest in begging for more care than what parents have the interest to provide (Parent-child conflict⁶). Finally, the third conflict opposes the father against the mother, as each of them has a direct interest in limiting its own investment in this care at the expense of the invest-

ment that the other parent will put in it (Sexual conflict⁷).

This complex link between costs and benefits of parental care has long been seen as the cornerstone of the evolution of family life in nature. However, recent studies suggest that this vision is incomplete: several social behaviours could be responsible for this evolution and parental care is only one of them². A series of studies conducted on the European earwig *Forficula auricularia* (Figure 1) illustrates this paradigm shift. They show that the benefits of group living do not only come from parental care toward juveniles but that they can be the result of cooperative behaviours between siblings^{8,9}. Similarly, these studies show that the presence of a parent is not necessarily beneficial for the young earwigs since it can lead to a competition for resources and result in a higher mortality rate among juveniles^{10,11}. Contrary to the classical paradigm of the evolution of family life, these results, therefore, suggest that the decision to stay in a family

“The decision to stay in a family for juveniles could be based on the benefits of sibling cooperation rather than on those of parental care”

for juveniles could be based on the benefits of sibling cooperation rather than on those of parental care, whereas the decision of leaving the group

could be driven by the cost of having a parent nearby rather than by the costs of sibling rivalry².

This novel understanding of the factors responsible for the evolution of family could also be incomplete. Indeed, better understanding the evolution of family life does not only require to explore why juveniles stay with their parents but also why parents stay with their juveniles (beyond the indirect benefits of an improved descendants quality)². Thanks to the research grant offered by the Fyssen Foundation, I addressed this second question by exploring a new hypothesis positing that parents stay with their offspring because the latter could provide them with a form of assistance during family life. Using the European earwig as a model species, I first tested whether juveniles could help their mothers by protecting them from pathogens. If this hypothesis is correct, juveniles should be able to clean their mother (by licking), these cleanings should be more important when mothers are covered with pathogens and finally,

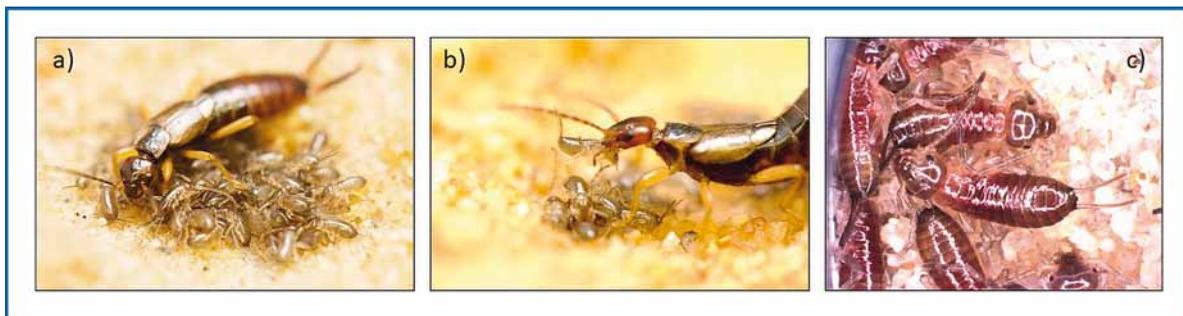


Figure 1: The European earwig *Forficula auricularia* has a unique family life, as it is complex, facultative and reflects an ancestral stage in the evolution of family life. **a)** Females take care of their juveniles for several weeks, protecting them from predators and feeding them through food regurgitation. **b)** In case of danger, the mothers move their juveniles to a new location. **c)** Juveniles are mobile and capable to search for food on their own. They also interact a lot with each other and regularly exchange food via coprophagy.

these cleanings should allow mothers to improve their survival after pathogens exposure. I then tested whether juveniles could help their mothers by providing them with food. If this hypothesis is correct, my predictions were that mothers should consume food from juveniles (for example by the consumption of their feces, a phenomenon called coprophagy and already described between juveniles of this species⁸), that this consumption should increase when mothers are starved and finally, that it should improve the survival of mothers when there is no other food source in the vicinity.

Question 1: Do juveniles protect their mother against pathogens?

To test whether juveniles can protect their mothers against pathogens, we set up 45 experimental families of *F. auricularia* composed of 1 mother and 10 of her juveniles. Of these 45 mothers, 22 were sprayed with a solution containing *Metarhizium brunneum* spores – an entomopathogenic fungus which sticks to the surface of insects, penetrates their cuticle in a few days, then multiplies inside infected individuals and ultimately kill them¹² – while the remaining 23 mothers were sprayed with a control solution containing no spores. Once exposed, the two types of mother and their juveniles were placed in plastic arenas and then filmed for 30 minutes to analyze the number and duration of cleaning behaviours (licking) expressed by juveniles towards their mother. Because this species is nocturnal, all the arenas were kept in the dark and filmed with high-resolution infrared cameras (**Figure 2**). After the 30 minutes of recording was completed, each experimental family was main-

tained under laboratory conditions to record the mortality of mothers on a daily basis.

Overall, juveniles expressed between 0 and 102 cleanings (licking) sessions toward their mothers. These sessions had a total duration ranging from 0 to 510 seconds, with a maximum of 28% of the observation time. Contrary to our predictions, the presence of pathogens on the mother did influence neither the number of cleaning sessions (**Figure 4a**; Welch t-test, $t_{(51,97)} = -0.22$, $p = 0.828$), nor the total cleaning time that the juveniles exerted on their mother (**Figure 4b**; Welch t-test, $t_{(51,97)} = -0.80$, $p = 0.426$). Similarly, the survival of the mothers after exposure to the two types of solutions did not depend on the number of cleaning sessions (Cox proportional hazards regression model; LR $\chi^2_{(1)} = 2.84$, $p = 0.092$), nor on the total time cleaning received (**Figure 4c**; Cox model, LR $\chi^2_{(1)} = 3.06$, $p = 0.080$), regardless of the type of exposure (interactions, all $p > 0.50$). Finally, and surprisingly, the mothers exposed to the pathogens survived 28.77 ± 1.97 days (average \pm standard error), a duration that was not different from the 29.11 ± 1.60 days of survival of the mothers exposed to the control solution (LR $\chi^2_{(1)}(1) = 0.07$, $p = 0.797$ and LR $\chi^2_{(1)} = 0.14$, $p = 0.707$; respectively).

Question 2: Do juveniles protect their mother against starvation?

To test whether juveniles can protect their mothers against starvation, we first tried to determine whether mothers can consume the feces of their juveniles and to test whether this consumption is modified according to their nutritional status. So we first needed to obtain feces

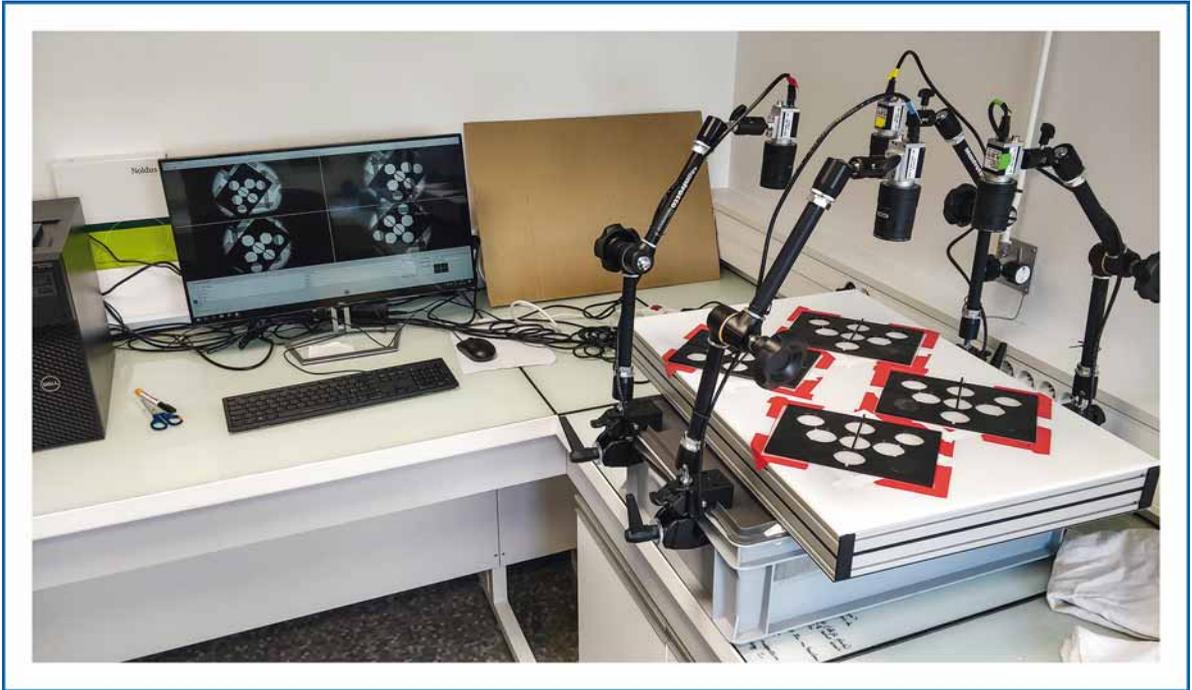


Figure 2: Example of the experimental setup allowing to film mother-offspring interactions under nocturnal conditions. Up to 4 arenas can be placed on an infrared floor and filmed simultaneously by 4 high resolution infrared cameras. These cameras are equipped with a zoom allowing close-ups of these small insects (juveniles are less than 3 mm long). The films are made in the dark in order to limit the stress of individuals on the nightlife.

produced by the juveniles and to offer them (or not) to their mothers. For this, we set up 47 experimental families composed of 1 mother and 20 of her juveniles, which we fed to obtain one of the 2 following combinations: the mothers and the juveniles had direct access to food, or only juveniles had direct access to food. These accesses were setup by transferring the individuals concerned (the mother and/or the group of juveniles) for 2 hours in a new arena containing standard food (mainly composed of pollen, carrots, cat food, seeds for birds and agar - more information in reference¹⁴) and then putting them back in their original box. This direct and temporary access to food was offered every two other days until the 8th day after the eggs hatched. On this date, freshly fed juveniles were immediately isolated in a new arena for 14 hours to count and collect the feces pellets produced. This arena was covered with wet filter paper to prevent desiccation of the feces and their potential degradation, and to facilitate the transfer of these feces pellets to a new arena. At the end of these 14 hours, the number of feces produced by

each group of juveniles was counted, the filter paper covered with these feces was then transferred to a new arena, in which we finally deposited the mother (**Figure 3**). Each mother was left there for 2 hours, after which the number of remaining feces was counted. The difference in the number of feces present in the arena after these 2 hours and that present when the mother arrived was used to determine the number of feces consumed by each of the mothers.

In order to test whether the consumption of feces could be a source of nutrient in the absence of other types of food, we then carried out an experiment comparable to the first one, except that we also varied juveniles' access to food. We thus formed the following 4 combinations: mothers and juveniles had direct access to food, only juveniles had direct access to food, only mothers had direct access to food or no one had direct access to the food. By this approach, we had mothers who never had direct or indirect access (through the feces pellets of their juveniles) to food, mothers who only had indirect access to food, mothers who had only direct

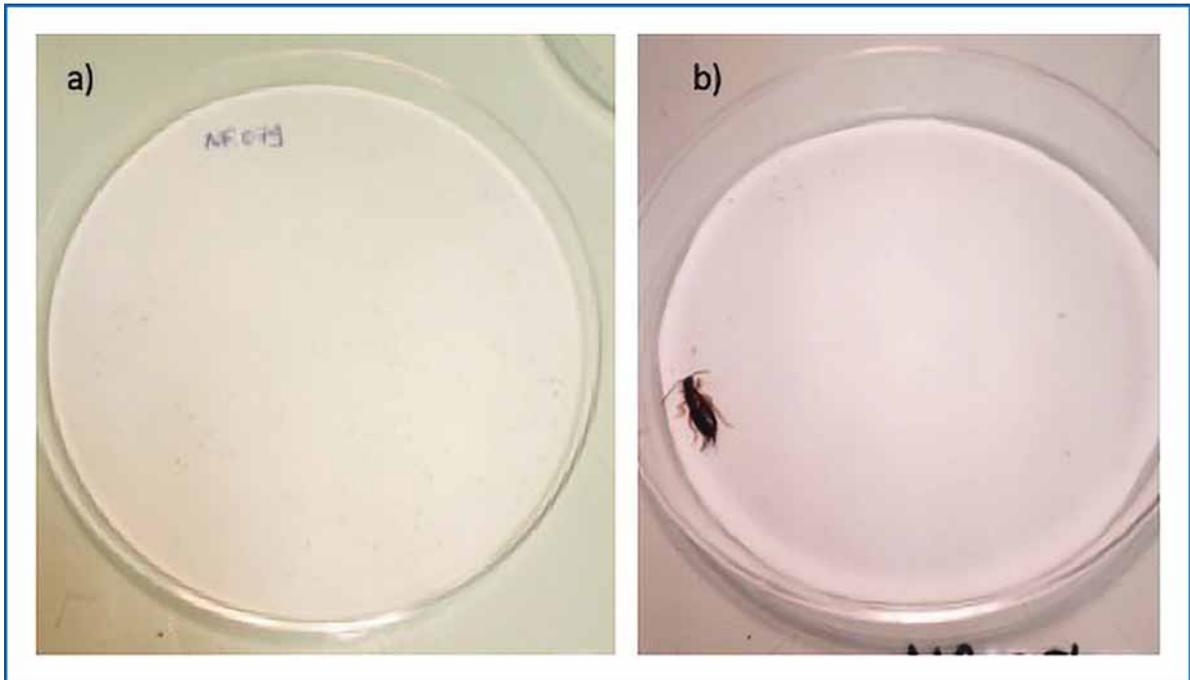


Figure 3: Measurement of feces consumption by mothers. **a)** The number of feces pellets produced by the group of juveniles are counted on the filter paper. **b)** The mother is then placed on this filter paper and subsequently allowed to consume the feces present.

access to food, and mothers who had both a direct and indirect access. On the 8th day after the eggs hatched, each female was isolated and their survival recorded on a daily basis.

Our results show that the mothers consumed between 0 and 69 feces pellets produced by their juveniles. Both types of mothers expressed coprophagy, i.e. consumed the feces pellets produced

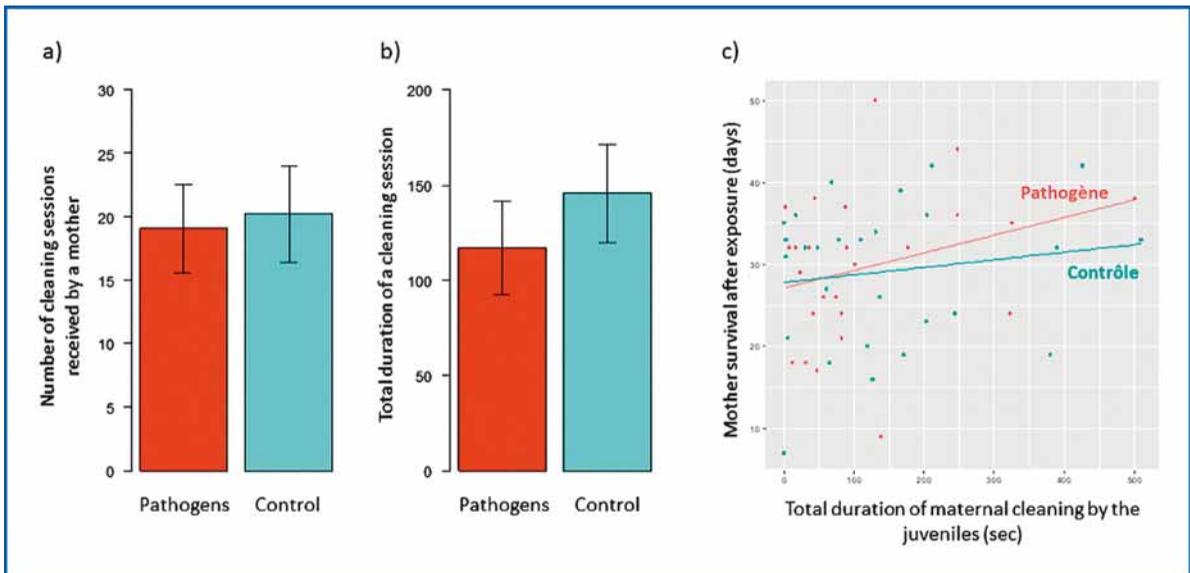


Figure 4: Juveniles clean their mothers during family life, but this cleaning does not increase when mothers are exposed to a pathogen and it does not improve the survival of the exposed mothers.

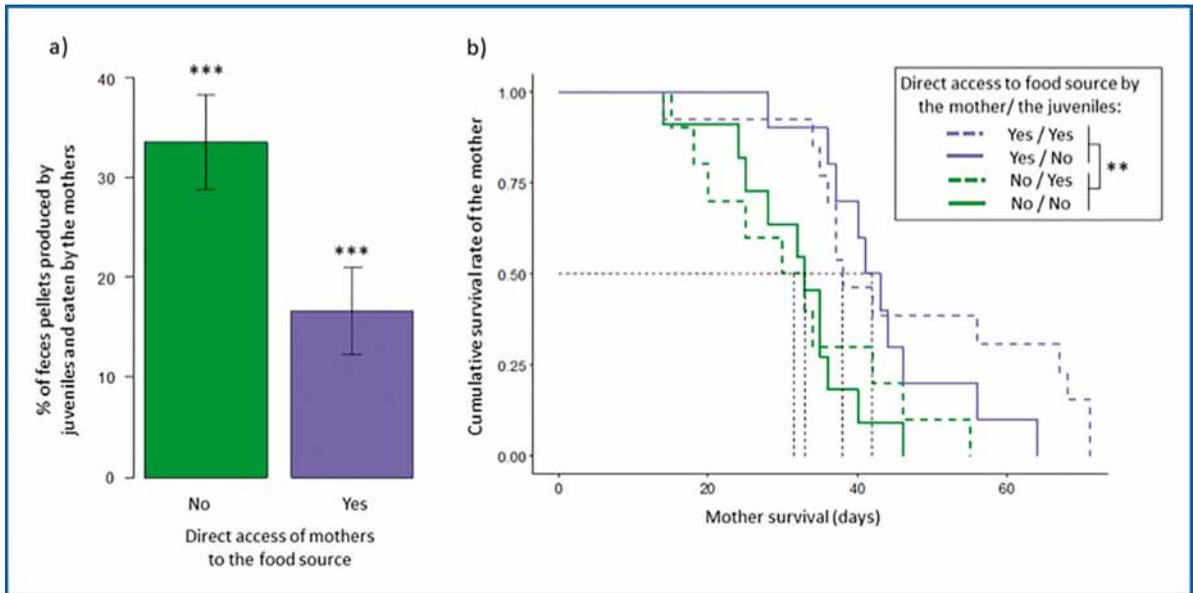


Figure 5: Mothers consume the feces pellets of their juveniles, but they do not consume them more when they have greater nutritional needs. This consumption is not enough to improve the survival of starved females. ** $p < 0.001$; *** $p < 0.0001$.

by their juveniles (**Figure 5a**; One sample t -test; Mother with access to food: $t_{(23)} = 3.84$, $p = 0.0008$; Mother without access to food: $t_{(22)} = 7.08$, $p < 0.0001$). In addition, the number of feces pellets consumed by each mother was the same among hungry mothers as among those who had access to food (**Figure 5a**; Welch t -test, $t_{(33.12)} = 1.25$, $p = 0.220$). Mothers survived longer when they had direct access to food than when they only had access to juvenile feces (Cox model, LR $\chi^2_{(1)} = 10.82$, $p = 0.001$). On the other hand, the lifespan of the mothers was not influenced by the possibility of having access to the feces of their juveniles (Cox model, LR $\chi^2_{(1)} = 1.17$, $p = 0.280$) and by the possibility to have access (or not) to the two potential sources of food (interaction in the Cox model, LR $\chi^2_{(1)} = 0.13$, $p = 0.720$).

General discussion

Can parents have a direct benefit from staying with their juveniles? Addressing this question in species with facultative family life is an essential step to better understand the role of each of its members in the emergence and maintenance of family life in nature². The results obtained in this project partially confirm this hypothesis in the European earwig. They reveal that offspring express a cleaning behaviour toward their mothers and pro-

duce feces pellets that are consumed by their mothers during family life. Our results, on the other hand, do not allow demonstrating that this cleaning behaviour offers specific protection against pathogens, or that the consumption of feces improves the survival of mothers when they do not have access to another food source.

Reciprocal cleaning between family members is a common phenomenon in some vertebrates (as in many primates¹⁵), but it remains poorly known in family living insects¹⁶. This cleaning behaviour generally helps recipients by allowing donors to remove pathogens and other substances from their body surface. This is the case, for instance, in many ants^{17,18}. This cleaning can also help donors by exposing them to a very low dose of pathogens, which will, in turn, induce a phenomenon close to vaccination¹⁹. In the European earwig, our results do not confirm the role of cleaning as protection against pathogens, because the strain of the pathogenic fungus used to expose the mothers was found to be non-virulent. However, our results show that juveniles frequently lick their mothers and spend up to 28% of their time doing this behavior. If it does not have the function of cleaning the mother, this behavior could serve to stimulate the mother regurgitating food to her young, or could serve to feed juveniles by giving them access to nutritive

substances secreted on the surface of their mothers. The latter phenomenon has been described in several species of cockroaches (such as *Trichoblatta sericea* and *Gromphadorhina Oxyhaloinae*), in which mothers feed their juveniles by producing nutritive secretions on different parts of their bodies²⁰.

Regardless of these cleaning behaviours, our results reveal that earwig females consume the feces produced by their juveniles during family life. This transfer of food through coprophagy is found in a large number of animal species²¹ and had already been described among earwig juveniles²². The benefits of coprophagy can be multiple and allow, for example, a nutritional contribution to the consumer, or the transfer of beneficial microbes (i.e. members of the gut microbiota) between group members. Because earwig juveniles are quickly mobile and capable to search for food by themselves²³, our results suggest that each mother could benefit from this additional nutritive contribution by staying with her juveniles. The fact that these mothers do not survive better when they have had access to these feces pellets indicates that this benefit is limited and does not completely replace direct access to food. The basal level of coprophagy expressed by earwig mothers finally suggests that this behaviour could have a non-nutritive role such as that of transferring microbiota between family members and thus help mothers to digest their food better and/or to better fight against infections.

Overall, these results call for future studies demonstrating the specific role of coprophagy in earwig mothers.

Conclusion

To conclude, these first results reveal that the juveniles of the European earwig have the means to provide care to their mothers during family life, either by cleaning them or by allowing them to consume feces pellets. These results open scope for new researches on the direct benefits that mothers can get from remaining with their juveniles, and more generally on the implication of these benefits in the evolution and maintenance of all forms of family life in nature. In this context, the recent accumulation of data on the multiple forms of family interactions present in the European earwig^{8,9,24,25} makes this insect species an ideal model to improve our general understanding of the balance between costs and benefits of family life and to highlight the role of different environmental factors on the outcome of these balances.

Acknowledgements

I thank the Fyssen Foundation for its support during my first year at the Institute for Research on Insect Biology (IRBI). I also thank Sophie Van Meyel (PhD student), Max Aubry (Master 2) and Séverine Devers (Assistant Engineer) for their help in the preparation of experimental protocols, in data collection and breeding management.

CorrélatS neuronaux de l'apprentissage de concepts mathématiques avancés dans un contexte naturel

Marie AMALRIC

Postdoctorat, Université Carnegie Mellon, Département de psychologie, CAOs Lab

Résumé

Comment l'homme apprend-il de nouveaux concepts mathématiques à l'école ? Dans le projet exposé ici, au cours d'un examen d'IRMf, j'ai présenté à de jeunes adultes ainsi qu'à des enfants de CE2, des films pédagogiques expliquant certaines notions mathématiques. Grâce à la technique originale de corrélations interindividuelles, j'ai pu suivre l'évolution de leur activation cérébrale en cours d'apprentissage. Les pré- et post-tests évaluant l'apprentissage des participants ont révélé un apprentissage approprié de la commutativité chez les enfants, mais n'ont pas montré de preuves d'apprentissage des concepts mathématiques de haut niveau proposés aux jeunes adultes. Toutefois aux deux âges, que les concepts aient été appris ou non, nos expériences ont d'ores et déjà permis de montrer que l'activation du cerveau dans un réseau classiquement associé aux mathématiques était plus synchronisé lorsque les participants regardaient une leçon de mathématiques par rapport à une leçon non mathématique.

Mots clés

Cognition mathématique avancée, apprentissage conceptuel, films pédagogiques, IRM fonctionnelle, corrélations interindividuelles.

Neural correlates of naturalistic learning of advanced mathematical concepts

Abstract

How do humans learn mathematical concepts in school? In the present project, I exposed young adults and 3rd-grade children undergoing an fMRI exam to pedagogical movies explaining math notions. Using the original inter-subject correlations technique, I could track the evolution of their brain activation during learning. Pre- and post-tests assessing participants' learning revealed appropriate learning of commutativity in children but did not show learning evidence of the proposed high-level math concepts in young adults. At both ages, our experiments reveal that whether the concepts were learnt or not, brain activation in the math-responsive network was more synchronized when participants were watching a math lesson compared to a non-math lesson.

Keywords

Advanced math cognition, conceptual learning, pedagogical movies, functional MRI, Inter-subject correlations

Introduction

En sa capacité à utiliser le langage parlé et à maîtriser des connaissances mathématiques abstraites, le cerveau humain semble être unique au sein du règne animal. Pour les sciences cognitives, la relation entre ces deux capacités reste un débat majeur. Pendant de nombreuses années, les chercheurs ont pensé qu'elles reposaient sur des processus similaires d'abstraction de règles et devaient par conséquent recruter des structures cérébrales similaires. Pourtant, au cours des dix dernières années, des études de neuroimagerie de l'arithmétique élémentaire ont commencé à montrer que les substrats neuronaux mathématiques diffèrent de ceux des processus langagiers. Ces études ont notamment révélé que deux ensembles de zones cérébrales sont systématiquement associés au traitement des nombres. Premièrement, des zones intrapariétales et préfrontales bilatérales semblent systématiquement activées lors de la perception des nombres et du calcul chez les adultes (Dehaene, 1999), chez les jeunes enfants (Cantlon et Li, 2013) et même chez les singes non entraînés (Nieder et Dehaene, 2009). De plus, une région temporale inférieure bilatérale est activée par la reconnaissance de symboles numériques tels que les chiffres arabes (Daitch et al., 2016 ; Shum et al., 2013).

De récentes études ont confirmé que ces zones cérébrales sont impliquées dans le traitement mathématique en général (Amalric et Dehaene, 2016 ; Monti et al., 2012). Durant mon doctorat, j'ai mené trois études d'IRMf chez des mathématiciens professionnels (y compris le cas exceptionnel de trois mathématiciens aveugles), dans lesquelles les sujets devaient évaluer la valeur de vérité de phrases déclaratives mathématiques ou non-mathématiques énoncées à l'oral. Même formulés sous forme de phrases, tous les énoncés mathématiques, quels que soient leur difficulté ou leur domaine (Amalric et Dehaene, 2019, 2016) activaient systématiquement un ensemble reproductible de régions bilatérales temporales ventrolatérales et intrapariétales, et ce même indépendamment de l'expérience visuelle des participants (Abboud et al., 2015 ; Amalric et al., 2017a ; Kanjlia et al., 2016). Ce réseau répondant aux mathématiques semble complètement dissocié des réseaux cérébraux liés au langage et à la

sémantique générale, mais coïncide plutôt avec des sites activés par l'arithmétique élémentaire.

En d'autres termes, la réflexion sur des concepts mathématiques déjà appris ne semble pas reposer sur des processus langagiers – mais est-ce également le cas lors de l'apprentissage ? Les mécanismes d'apprentissage des concepts mathématiques avancés restent inconnus. Une opinion dominante suggère que les intuitions mathématiques élémentaires que tout humain possède à propos des nombres, de l'espace et du temps (Dehaene et al., 2006 ; Pica et al., 2004) sont prédictives des compétences mathématiques ultérieures (Gilmore et al., 2010 ; Halberda et al., 2008 ; Starr et al., 2013). De telles intuitions pourraient donc servir de fondement à la construction de concepts mathématiques plus avancés grâce à l'établissement d'analogies ou de généralisations inductives (Lakoff et Núñez, 2000). Au contraire, on peut penser que les symboles linguistiques jouent un rôle dans le processus d'intégration des intuitions de base (Carey, 2000).

Une première étude suggère que l'acquisition de règles géométriques chez l'homme repose sur un « langage mathématique », fait de primitives et de règles combinatoires, indépendant du langage parlé naturel (Amalric et al., 2017b). Dans cette étude comportementale, des adultes et des enfants de 5 ans en France, ainsi que des adultes et adolescents en Amazonie – les Mundurucus, qui n'ont pas ou peu reçu d'éducation formelle et ont un lexique pauvre en termes numériques et géométriques – ont été invités à détecter et à généraliser les régularités sous-jacentes au mouvement d'un point sur un octogone. Le taux d'erreur des participants s'est avéré fortement corrélé à la complexité des séquences définie dans le « langage géométrique » dont nous avons fait l'hypothèse. Grâce à une étude IRMf adaptant mon protocole comportemental, nous avons ensuite montré que l'utilisation de ce « langage géométrique » est totalement indépendante du langage parlé naturel (Wang et al., 2019).

L'apprentissage implicite non verbal des lois mathématiques semble donc se passer du langage – mais est-ce aussi le cas dans les salles de classe, où les concepts sont enseignés explicitement par le truchement des mots ? Le projet que j'ai entamé pendant mon postdoctorat avec l'aide de la Fondation Fyssen, a pour but d'étudier les

changements d'activité cérébrale induits par l'apprentissage des mathématiques à l'école. À cette fin, je me suis inspirée des récentes études de neuroimagerie dites « naturalistes » qui ont mesuré les réponses neuronales provoquées spontanément par des stimuli du monde réel (Cantlon et Li, 2013 ; Huth et al., 2016). Par exemple, Cantlon et Li ont montré qu'en regardant des vidéos éducatives, extraites du programme « Sesame Street », se concentrant sur les chiffres et les lettres, l'activité neuronale des enfants prédisait leur performance dans des tests mathématiques et verbaux. De plus, Huth et collaborateurs ont présenté une cartographie cérébrale de la sémantique de près de 1000 mots issus de narrations que les sujets avaient écoutées pendant quelques heures. J'ai donc utilisé des stimuli et des tâches les plus proches possibles de l'activité naturelle des élèves en classe.

Notons également que répondre à cette question nécessite la combinaison de plusieurs techniques telles que le test comportemental, pour évaluer le niveau d'apprentissage des participants, les techniques de neuro-imagerie, qui permettent d'évaluer les changements d'activation du cerveau, et enfin une approche développementale, afin de tester si des substrats neuronaux similaires sous-tendent l'acquisition mathématique tout au long de la vie. Dans ce projet, j'ai donc étudié l'apprentissage de concepts mathématiques avancés chez des écoliers et des étudiants à l'université, en utilisant diverses mesures comportementales recueillies pendant que les participants subissaient un examen d'IRM fonctionnelle.

Méthode

Aux deux âges étudiés, les participants ont appris quelques concepts mathématiques avancés par le biais de courts films pédagogiques, et leur apprentissage a été évalué par la réalisation de pré- et post-tests au cours de l'examen IRMf.

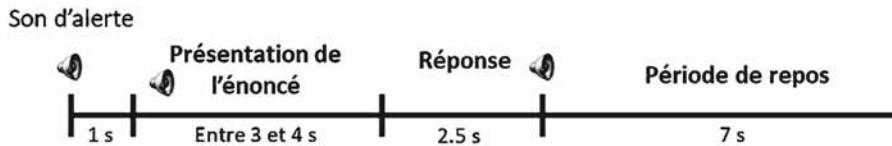
Expérience menée chez les jeunes adultes

Nous avons scanné 16 étudiants de première année en mathématiques venant de diverses universités parisiennes. Au cours de l'examen IRMf, ils ont appris 10 concepts mathématiques, liés à la théorie de la mesure et aux processus stochastiques, généralement introduits en troisième année. Pour identifier les potentielles particularités cérébrales de l'apprentissage des concepts

mathématiques dans le cerveau, nous les avons comparés à 10 concepts non mathématiques issus de domaines complètement indépendants mais qui utilisent aussi généralement un vocabulaire très spécifique : le droit de propriétés et la biologie végétale. Avant l'expérience, grâce à un simple questionnaire, nous nous sommes assurés que les participants ne possédaient pas de connaissances particulières à propos de ce qui allait être enseigné, mais maîtrisaient les notions obligatoires à leur compréhension. L'examen IRMf a été divisé en deux sessions, l'ordre des sessions étant assigné aléatoirement aux participants. Chaque session commençait par un test de connaissances dans lequel les participants devaient juger aussi rapidement que possible la véracité de 40 énoncés mathématiques et non mathématiques (**Figure 1**). Parmi les énoncés, 5 mathématiques et 5 non-mathématiques étaient liés à des notions familières enseignées au cours des études secondaires. Tous les autres énoncés étaient inconnus à ce stade. Les participants ont ensuite visionné deux courts films pédagogiques (1 mathématique, 1 non mathématique). Chaque film était composé de 5 séquences vidéo de 55 secondes, chacune enseignant un concept donné (**Figure 1**). Les séquences vidéo se succédaient en commençant par le concept le plus élémentaire et en terminant par le plus complexe. Après chaque séquence vidéo, les participants devaient indiquer leur niveau de compréhension. L'apprentissage des participants a finalement été évalué dans un post-test composé des 40 énoncés mathématiques et non mathématiques d'ores et déjà présentés lors du pré-test (**Figure 1**). Parmi les 30 énoncés jusqu'alors inconnus, 10 mathématiques et 10 non-mathématiques étaient liés aux concepts enseignés dans les films. Après l'examen IRMf, les participants ont été invités, sans limite de temps, à donner leurs définitions des concepts enseignés par les 4 films visionnés.

Expérience menée chez les enfants. Le concept enseigné aux enfants de CE2 était le principe de commutativité de la multiplication. Dans un premier temps, les enfants ont été confrontés à une tâche « identique/différent » permettant d'évaluer leur compréhension de ce principe. En particulier, on leur a demandé de décider si deux opérations symboliques ou deux ensembles de points étaient numériquement égaux ou non (**Figure 2**).

Pré et post tests – énoncés



Exemples	Math	Non-math
Connus	Toute suite réelle croissante majorée est divergente.	Un pamphlet est un texte écrit en alexandrins.
Enseignés	Le Modèle de Markov caché est un processus gaussien.	La racine principale d'une plante dicotylédone est ramifiée.
Inconnus	L'ensemble triadique de Cantor est dénombrable.	La parélie est un phénomène d'optique atmosphérique.

Runs vidéo – 2 x 5 séquences vidéos

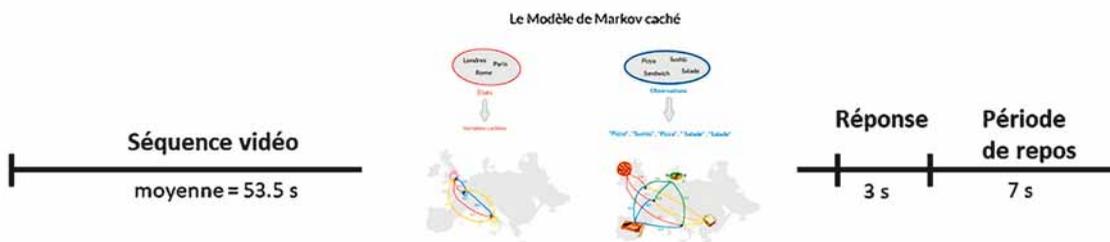


Figure 1 : Dessin expérimental. **Haut** : structure des tests de connaissance. **Bas** : structure de la présentation des vidéos.

Des paires commutatives (par exemple « 2×3 » versus « 3×2 », ci-après appelées « commutativité ») ont été comparées à des paires non commutatives mais numériquement égales (par exemple « $4+2$ » versus « 3×2 », appelées « énumération »), et à des paires non égales (par exemple « 4×2 » versus « 3×2 », appelées « estimation »). Ensuite, les enfants ont été aléatoirement assignés au groupe apprenant ou au groupe contrôle. Les 9 enfants du groupe apprenant ont regardé un film pédagogique de 4 minutes sur le principe de commutativité de la multiplication, tandis que les 9 autres enfants ont regardé un film pédagogique de 4 minutes sur les pronoms relatifs (**Figure 2**). Après avoir regardé le film, tou-

jours dans l'IRMf, tous les enfants ont été retestés sur la tâche initiale « identique/différent ». À la fin de l'examen IRMf, ils ont regardé le film qu'ils n'avaient pas encore vu, c'est-à-dire celui sur les pronoms relatifs pour le groupe apprenant et celui sur la commutativité pour le groupe contrôle. Afin d'évaluer la maturité fonctionnelle cérébrale des enfants, nous avons également proposé à un groupe de 14 adultes de réaliser cette expérience. Après l'examen IRMf, tous les enfants ont réalisé les tests « TEA » standardisés, permettant d'évaluer leurs compétences générales en mathématiques (additions, soustractions et multiplications) ainsi qu'en lecture et compréhension de l'anglais.

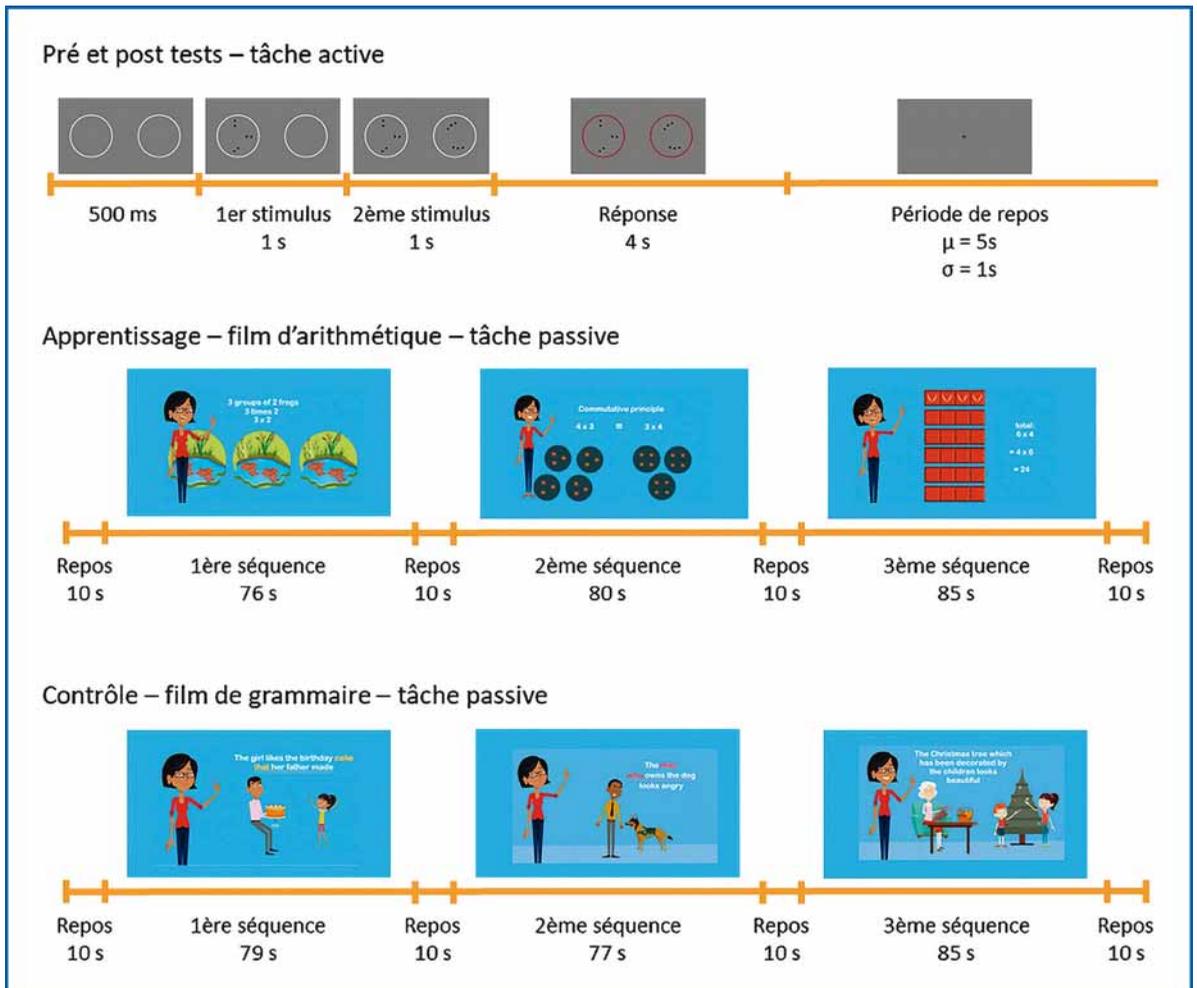


Figure 2 : Dessin expérimental. **Haut** : structure des essais de la tâche active de jugement « identique/différent ». **Bas** : structure de la tâche passive de présentation des vidéos.

Résultats

Adultes

Le côté gauche de la figure 3 montre qu'il était particulièrement difficile de juger de la valeur de vérité des énoncés pour les adultes. Ceux-ci n'ont atteint qu'un taux de bonnes réponses global de $59.1 \pm 13.6\%$, en 1.22 ± 0.15 s. Au cours du pré-test, les adultes ont répondu mieux que le hasard seulement pour les énoncés mathématiques et non mathématiques connus (math : $75.0 \pm 12.1\%$, $t(13) = 5.05$, $p < 0.001$; non-math : $76.7 \pm 11.8\%$, $t(13) = 6.14$, $p < 0.001$). Au cours du post-test, ils ont répondu au-dessus du niveau de la chance pour presque toutes les catégories d'énoncés, sauf pour les énoncés relatifs

aux concepts mathématiques enseignés et non mathématiques inconnus (math connus : $83.1 \pm 10.4\%$, math enseignés : $51.0 \pm 13.9\%$, math inconnus : $58.9 \pm 13.7\%$, non-math connus : $82.7 \pm 10.5\%$, non-math enseignés : $61.6 \pm 13.5\%$, non-math inconnus : $53.1 \pm 13.9\%$). Un effet principal de la catégorie d'énoncés a été observé dans les pré-et post-tests (pré : $F(5,78) = 13.3$, $p < 0.001$; post : $F(5,78) = 15.9$, $p < 0.001$). Aucun effet de la catégorie d'énoncés sur le temps de réaction n'a été constaté lors du pré-test. Celui-ci atteignait en moyenne 1.23 ± 0.14 s ($F(5,78) = 0.75$, $p = 0.59$). Cependant, un effet significatif de la catégorie sur le temps de réaction a été observé lors du post-test ($F(5,78) = 11.4$, $p < 0.001$). En détail, les participants ont

répondu aux énoncés mathématiques et non mathématiques connus beaucoup plus rapidement qu'aux autres catégories dans le post-test (math connus : 0.90 ± 0.14 s, math enseignés : 1.33 ± 0.15 s, math inconnus : 1.33 ± 0.15 s, non-math connus : 0.82 ± 0.11 s, non-math enseignés : 1.39 ± 0.17 s, non-math inconnus : 1.14 ± 0.13 s). Nous avons ensuite analysé l'amélioration des performances pour chaque catégorie d'énoncés en calculant la différence de taux de bonnes réponses et le rapport des temps de réaction entre les post- et pré-tests (**Figure 3, côté droit**). Nous n'avons pas observé d'effet global de la catégorie d'énoncés sur l'amélioration du taux de bonnes réponses ($F(5,78) = 0.79$, $p = 0.56$). Cependant, la figure 3 révèle une amélioration significative du taux de bonnes réponses pour les énoncés liés aux concepts non mathématiques enseignés ($t(13) = 2.60$, $p < 0.05$). Aucun effet similaire n'a été observé pour les concepts mathématiques enseignés. Il est à noter que les participants ont répondu beaucoup plus rapidement aux énoncés mathématiques et non mathématiques connus dans le post-test que dans le pré-test, et beaucoup plus lentement aux énoncés mathématiques et non mathématiques liés aux concepts enseignés dans les films (ANOVA : $F(5,78) = 8.52$, $p < 0.001$).

Enfants. Les résultats des enfants dans la tâche « identique/différent » sont proches de la perfection, avec un taux de réussite de $90.0 \pm$

2.0 % et un temps de réaction de 1.90 ± 0.07 s. Dans le pré-test, les deux groupes apprenant et contrôle ont obtenu des résultats similaires, atteignant globalement un taux de réussite de 90.0 ± 1.9 % (apprenant : 91.1 %, contrôle : 89.8 %, $t(16) = 0.07$, ns) en 1.9 ± 0.07 s (apprenant : 1.91 s, contrôle : 1.96 s, $t(16) = 0.38$, ns). Plus précisément, ils ont obtenu des résultats significativement meilleurs que le hasard pour chaque condition (tous les $ps < 0.001$), même si l'« énumération » a induit plus d'erreurs que la « commutativité » ($t(17) = 4.11$, $p < 0.001$) ou que l'« estimation » ($t(17) = 3.08$, $p < 0.01$). Les essais liés à la « commutativité » et à l'« estimation » ont également engendré des réponses plus rapides que ceux liés à l'« énumération » ($t(17) = 8.21$ et $t(17) = 3.26$ respectivement, $ps < 0.005$). En outre, les enfants ont répondu systématiquement plus rapidement dans le cas des essais symboliques que dans celui des essais non symboliques (symbolique : 1.67 s, non symbolique : 2.21 s, $t(17) = 8.52$, $p < 0.001$). Dans le post-test, le groupe apprenant est devenu légèrement meilleur et plus rapide que le groupe contrôle (précision globale : 89.9 ± 2.3 %, apprenant : 93.3 %, contrôle : 86.6 %, $t(16) = 1.54$, $p = 0.14$; temps de réaction global : 1.8 ± 0.09 s ; apprenant : 1.76 s, contrôle : 1.94 s, $t(16) = 1.03$, $p = 0.32$). Nous avons ensuite analysé l'évolution des performances entre les pré- et post-tests pour chaque catégorie de stimuli (symbolique/non symbolique \times com-

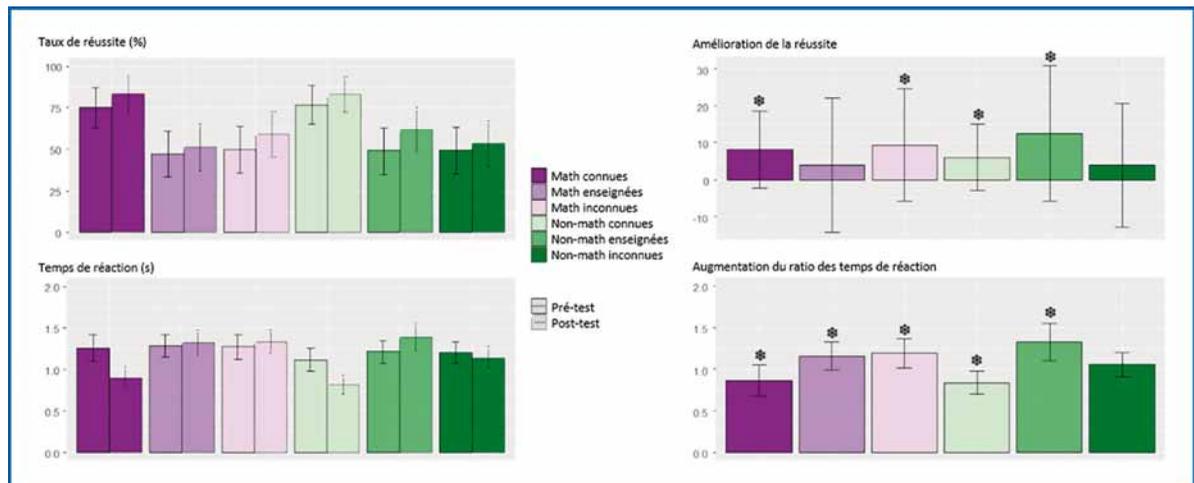


Figure 3 : Résultats comportementaux. **Gauche** : taux de réussite et temps de réaction moyens dans les jugements de valeur de vérité des énoncés de chaque catégorie. Les contours pleins représentent les pré-tests et les contours en pointillés représentent les post-tests. **Droite** : Amélioration des taux de réussite et temps de réaction moyens entre les pré- et post-tests pour chaque catégorie d'énoncés.

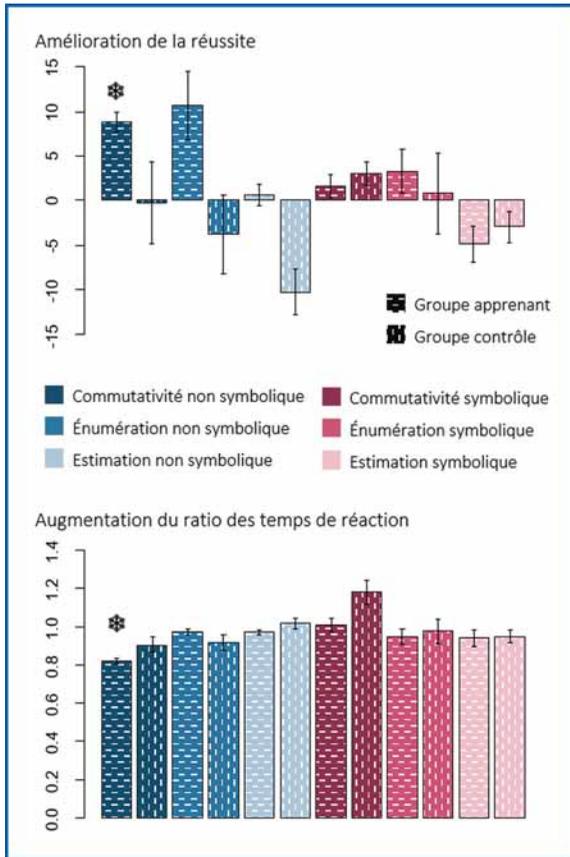


Figure 4 : Résultats comportementaux. Amélioration des taux de réussite et temps de réaction moyens entre les pré- et post-tests pour chaque catégorie d'énoncés.

mutativité/énumération /estimation). Pour ce faire, nous avons calculé les différences de taux de réussite et les ratios des temps de réaction pour chaque catégorie de stimuli et chaque sujet (Figure 4). Les différences et les ratios moyens pour les deux groupes sont représentés sur la figure 4. Une ANOVA globale n'a pas révélé d'effet principal du symbolisme, des conditions ou du groupe sur l'évolution des performances. Cependant, une augmentation significative du taux de réussite et une diminution du temps de réaction ont été observées uniquement dans le groupe apprenant pour la condition de « commutativité » non symbolique (précision : $t(8) = 4.12$, $p < 0.005$; temps de réaction : $t(8) = 6.39$, $p < 0.001$).

Corrélation interindividuelle des signaux IRMf. Chez les enfants et les adultes, nous avons analysé l'activation cérébrale induite par chaque

film grâce à la technique de corrélation interindividuelle. Tandis que la méthode traditionnelle de modélisation linéaire générale (GLM) s'avère redoutablement efficace lorsqu'il s'agit de comparer des conditions qui se distinguent par des différences aiguës dans l'amplitude de l'activation, de subtiles différences dans les fluctuations d'activité neuronale au cours du temps pourraient ne pas être capturées par cette approche. La statistique de corrélation interindividuelle (Figure 5), qui consiste à calculer dans chaque voxel du cerveau, la corrélation de l'activité neuronale au cours du temps entre chaque paire de sujets, peut être utilisée pour révéler les régions qui présentent une activité neuronale commune aux sujets à travers le temps (Cantlon and Li, 2013 ; Glerean et al., 2012 ; Nguyen et al., 2019).

La figure 6 montre les régions du cerveau les plus corrélées au cours du temps chez les participants qui ont regardé des films à contenu mathématique. Les étudiants à l'université qui ont regardé des films portant sur des concepts mathématiques avancés présentaient une activation synchronisée dans des régions occipito-pariétales et inférieures temporales droites, le gyrus angulaire gauche et le cuneus. Pour le film arithmétique, nous avons pu étudier les corrélations entre enfants d'une part, entre adultes d'autre part, ainsi qu'entre enfants et adultes.

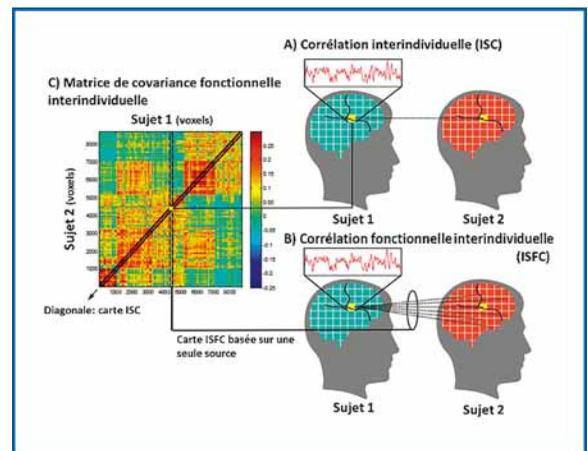


Figure 5 : Méthode de corrélation interindividuelle : à chaque voxel du cerveau, calcul de la matrice de covariance entre les décours temporels d'activation chez deux sujets quelconques. Reproduit et adapté avec autorisation depuis <https://www.hassonlab.com/inter-subject-correlation>.

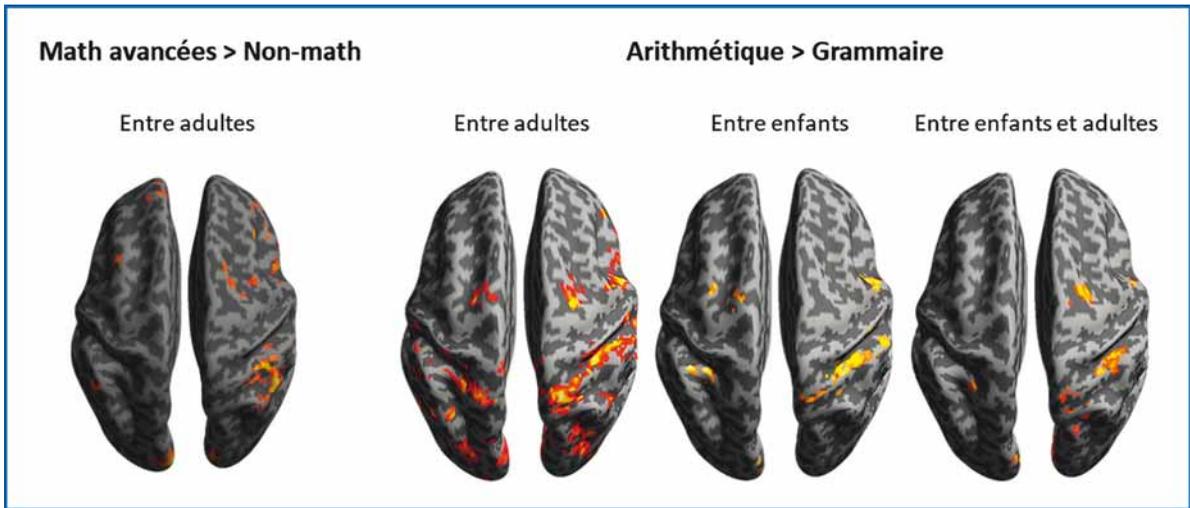


Figure 6 : Corrélations interindividuelle pendant les vidéos de math. **Gauche** (jeunes adultes) : contraste des cartes de corrélation math versus non math entre adultes. **Droite** (enfants) : contraste des cartes de corrélation arithmétique versus grammaire entre adultes, entre enfants, ainsi qu'entre adultes et enfants.

Dans tous les cas, nous avons observé une activation synchronisée principalement dans des régions pariétales droites, dans une moindre mesure dans des régions pariétales gauches, ainsi que dans le gyrus frontal inférieur droit. Chez les adultes, nous avons de plus observé des sites frontaux et occipitaux. La corrélation enfants-adultes peut être vue comme une mesure du niveau de similarité entre l'activation chez les enfants et l'activation chez adultes, et est généralement désignée comme une mesure de la « maturité neuronale ». Les sites présentant la plus grande maturité neurale se trouvaient dans l'hémisphère droit, dans des régions pariétales et frontales supérieure et inférieure.

Discussion

Dans deux expériences impliquant respectivement des enfants de CE2 et des étudiants de première année à l'université, nous avons pu suivre l'activation cérébrale lors de l'apprentissage de concepts mathématiques dans un contexte proche du contexte scolaire. Nous avons observé qu'aux deux âges, l'exposition au cours d'une leçon de mathématiques à des concepts

mathématiques même inconnus, active déjà le réseau cérébral répondant typiquement aux mathématiques.

Pour tester la compréhension que les enfants ont de la commutativité dans un contexte non symbolique, nous avons utilisé des ensembles de points divisés en sous-groupes. Ce choix se justifie par les travaux de Starkey et McCandliss (2014) qui ont décrit un phénomène appelé

« groupitisation ». Ce phénomène fait référence à la facilitation du dénombrement des éléments d'un ensemble lorsque ceux-ci forment des sous-groupes identifiables. Les

auteurs ont montré que ce phénomène apparaît généralement en classe de CP et se renforce au fil des années de scolarité. Dans notre expérience, l'utilisation de la « groupitisation » s'est avérée un moyen efficace pour évaluer rapidement le calcul exact non symbolique chez des enfants de CE2. Ceux-ci ont en effet réalisé la tâche « identique/différent » rapidement et presque parfaitement. Il est également à noter que les enfants ont répondu plus rapidement dans les conditions de « commutativité » et d'« estimation » que dans les conditions d'« énumération » ; c'est-à-dire que les conditions utilisant des sous-groupes identiques

ont entraîné des réponses plus rapides que les conditions utilisant des sous-groupes différents. Nos données chez l'enfant sont ainsi en accord avec les résultats obtenus par Ciccione et Dehaene (n.d.) chez l'adulte. Ces résultats semblent indiquer que les enfants, comme les adultes, utilisent de manière appropriée la multiplication pour énumérer un ensemble divisé en sous-groupes identiques, alors qu'ils utilisent l'addition dans le cas de sous-groupes non identiques.

Chez les enfants, nous avons pu observer un effet d'apprentissage : seul le groupe apprenant a amélioré ses performances (i.e. un meilleur taux de réussite et un temps de réaction plus rapide) sur les essais commutatifs non symboliques dans le post-test. Aucun effet d'apprentissage de ce type n'a été observé pour les essais commutatifs symboliques. Ces résultats pourraient indiquer que les enfants de CE2 ont une compréhension assez superficielle de la commutativité (cas symbolique) et que notre leçon de mathématiques a permis une compréhension plus profonde (non symbolique) de la commutativité.

Chez l'adulte, nous n'avons observé aucune trace objective d'apprentissage. Cette absence de preuves d'apprentissage peut être attribuée au fait que chaque concept était sans doute trop compliqué pour être enseigné en seulement une minute. Dans nos futures expériences, il sera donc essentiel de rendre le matériel proposé davantage apprenable. Il serait par exemple envisageable de répéter les sessions d'enseignement en dehors du scanner avant de réaliser le post-test, afin d'offrir aux participants une seconde chance de visionner nos films pédagogiques. Au lieu de répéter les sessions d'enseignement, la distribution des concepts à enseigner sur plusieurs sessions pourrait encore améliorer la rétention de nouvelles informations (Rohrer et Taylor, 2006). Nous pourrions de plus présenter les séquences vidéos de manière entrelacée et non en blocs, puisque l'entrelacement semble favoriser la mémorisation (Birnbaum et al., 2013 ; Rohrer et al., 2014). Des études récentes ont également démontré le rôle crucial du sommeil non seulement sur la mémorisation (Huber et al., 2004), mais aussi dans les processus de découverte (Wagner et al., 2004). Dans le cas de notre expérience, permettre aux participants de dormir après avoir regardé les films et avant de

réaliser le post-test augmenterait probablement leur apprentissage.

Même si la validation de la méthode d'analyse de corrélation interindividuelle (Hasson et al., 2004) n'est plus nécessaire (Pajula et al., 2012), celle-ci s'est avérée une fois de plus particulièrement pertinente pour l'analyse de l'activation cérébrale induite par des films. La similitude entre les corrélations entre enfants et les corrélations entre adultes dans les régions pariétales droites pendant le film arithmétique est particulièrement frappante. Ce résultat complète les résultats antérieurs selon lesquels des enfants de 4 ans présentent une activation synchronisée dans les sillons intrapariétaux lorsqu'ils regardent des films à contenu numérique (Cantlon et Li, 2013). Ce résultat est aussi très cohérent avec les études antérieures associant le sillon intrapariétal droit à des tâches mathématiques réalisées sans entraînement particulier (Delazer et al., 2005 ; Hyde et al., 2010 ; Soltanlou et al., 2018), et plus généralement avec toute la littérature suggérant un rôle fondamental des régions intrapariétales dans l'activité mathématique (Amalric et Dehaene, 2019 ; Dastjerdi et al., 2013 ; Kersey et Cantlon, 2016).

Le cas des étudiants à l'université qui regardent des vidéos mathématiques plus avancées n'est pas aussi clair. Nous avons toutefois observé des grappes d'activation synchronisée dans des régions pariétales et inférieures temporales droites, c'est-à-dire au sein du réseau cérébral répondant classiquement aux mathématiques (Amalric et Dehaene, 2019). Le contraste inverse des cartes de corrélation interindividuelle pour les vidéos non mathématiques par rapport aux vidéos mathématiques a, lui, révélé une vaste activation occipitale. Celle-ci peut être le signe d'une différence significative dans les caractéristiques bas niveau (tels que le contraste ou la quantité de mouvement) des vidéos mathématiques par rapport aux vidéos non mathématiques. Dans de futures analyses, nous prévoyons donc de régresser ces paramètres préalablement à l'utilisation de la technique de corrélation interindividuelle.

À ce stade, l'analyse GLM classique et les comparaisons directes de conditions n'ont pas révélé de différences d'activation entre pré- et post-tests au sein du réseau cérébral répondant

typiquement aux mathématiques. Chez les adultes, nous avons observé des différences significatives entre pré- et post-tests uniquement dans le précuneus, une région qui a été associée à la récupération de faits mémorisés (Trimble et Cavanna, 2008). En l'absence de preuves d'apprentissage dans cette expérience, et comme suggéré par mes précédentes expériences (Amarlic et Dehaene, 2019, 2016), ce résultat pourrait indiquer que les concepts mathématiques ne sont stockés dans le réseau répondant aux mathématiques que lorsqu'ils sont totalement maîtrisés. Comme première confirmation, la dissociation entre réflexion mathématique et non mathématique qui avait été observée chez les mathématiciens experts tient toujours dans le cas présent des étudiants en mathématiques lorsque leur réflexion porte sur des concepts connus.

Chez les enfants, nous n'avons identifié aucune différence significative entre pré- et post-tests au niveau du cerveau entier. Il est possible que la différence soit simplement trop petite puisque, même s'ils n'ont jamais appris le principe de commutativité à proprement parler, beaucoup d'élèves de CE2 connaissent déjà les tables de multiplication. Avec seulement 9 enfants par groupe, il est également probable que nous ne manquions de puissance pour réaliser des analyses statistiques classiques.

Dans une telle situation, lorsque la puissance statistique est insuffisante, nous pensons que les corrélations interindividuelles peuvent s'avérer utiles. Une étude plus approfondie des changements d'activité cérébrale induits par l'apprentissage sera ainsi menée : d'abord en évaluant directement l'évolution de la maturité neuronale entre pré- et post-tests ; puis en évaluant, pour chaque catégorie de stimuli (commutativité/énumération/estimation \times symbolique/non symbolique), l'évolution de la corrélation interindividuelle au sein du groupe d'enfants. Nous espérons que ces analyses fourniront une approche originale et alternative à l'analyse GLM classique pour des tâches contrôlées.

Remerciements

Je souhaite exprimer toute ma gratitude envers la Fondation Fyssen pour son soutien dans la réalisation de mon projet post-doctoral. Je tiens également à remercier très chaleureusement le Pr. Stanislas Dehaene pour sa confiance et son indéfectible soutien. Je remercie le Pr.

Jessica Cantlon et le CAOs Lab pour avoir accueilli mon projet de recherche et m'avoir fourni de précieux conseils et ressources. J'aimerais enfin remercier Pauline Roveyaz pour son aide dans la création du matériel expérimental.

Bibliographie

- Abboud, S., Maidenbaum, S., Dehaene, S., Amedi, A., 2015. A number-form area in the blind. *Nat. Commun.* 6, 6026. <https://doi.org/10.1038/ncomms7026>
- Amalric, M., Dehaene, S., 2019. A distinct cortical network for mathematical knowledge in the human brain. *NeuroImage* 189, 19–31. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.01.001>
- Amalric, M., Dehaene, S., 2016. Origins of the brain networks for advanced mathematics in expert mathematicians. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 201603205. <https://doi.org/10.1073/pnas.1603205113>
- Amalric, M., D Nghien, I., Dehaene, S., 2017a. On the role of visual experience in mathematical development: Evidence from blind mathematicians. *Dev. Cogn. Neurosci.* <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.09.007>
- Amalric, M., Wang, L., Pica, P., Figueira, S., Sigman, M., Dehaene, S., 2017b. The language of geometry: Fast comprehension of geometrical primitives and rules in human adults and preschoolers. *PLOS Comput. Biol.* 13, e1005273. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005273>
- Birnbaum, M.S., Kornell, N., Bjork, E.L., Bjork, R.A., 2013. Why interleaving enhances inductive learning: The roles of discrimination and retrieval. *Mem. Cognit.* 41, 392–402. <https://doi.org/10.3758/s13421-012-0272-7>
- Cantlon, J.F., Li, R., 2013. Neural Activity during Natural Viewing of Sesame Street Statistically Predicts Test Scores in Early Childhood. *PLoS Biol.* 11, e1001462. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001462>
- Carey, S., 2000. The origin of concepts. *J. Cogn. Dev.* 37–41.
- Ciccione, L., Dehaene, S., n.d. Grouping mechanisms in numerosity perception. *Cognition Submitted.*
- Daitch, A.L., Foster, B.L., Schrouff, J., Rangarajan, V., Kaşikçi, I., Gattas, S., Parvizi, J., 2016. Mapping human temporal and parietal

- neuronal population activity and functional coupling during mathematical cognition. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 113, E7277–E7286. <https://doi.org/10.1073/pnas.1608434113>
- Dastjerdi, M., Ozker, M., Foster, B.L., Rangarajan, V., Parvizi, J., 2013. Numerical processing in the human parietal cortex during experimental and natural conditions. *Nat. Commun.* 4, ncomms3528. <https://doi.org/10.1038/ncomms3528>
 - Dehaene, S., 1999. Sources of Mathematical Thinking: Behavioral and Brain-Imaging Evidence. *Science* 284, 970–974. <https://doi.org/10.1126/science.284.5416.970>
 - Dehaene, S., Izard, V., Pica, P., Spelke, E., 2006. Core Knowledge of Geometry in an Amazonian Indigene Group. *Science* 311, 381–384. <https://doi.org/10.1126/science.1121739>
 - Delazer, M., Ischebeck, A., Domahs, F., Zamarian, L., Koppelstaetter, F., Siedentopf, C.M., Kaufmann, L., Benke, T., Felber, S., 2005. Learning by strategies and learning by drill—evidence from an fMRI study. *NeuroImage* 25, 838–849. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.12.009>
 - Gilmore, C.K., McCarthy, S.E., Spelke, E.S., 2010. Non-symbolic arithmetic abilities and mathematics achievement in the first year of formal schooling. *Cognition* 115, 394–406. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.02.002>
 - Glerean, E., Salmi, J., Lahnakoski, J.M., Jääskeläinen, I.P., Sams, M., 2012. Functional Magnetic Resonance Imaging Phase Synchronization as a Measure of Dynamic Functional Connectivity. *Brain Connect.* 2, 91–101. <https://doi.org/10.1089/brain.2011.0068>
 - Halberda, J., Mazocco, M.M.M., Feigenson, L., 2008. Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature* 455, 665–668. <https://doi.org/10.1038/nature07246>
 - Hasson, U., Nir, Y., Levy, I., Fuhrmann, G., Malach, R., 2004. Intersubject Synchronization of Cortical Activity During Natural Vision. *Science* 303, 1634–1640. <https://doi.org/10.1126/science.1089506>
 - Hauser, M.D., Chomsky, N., Fitch, W.T., 2002. The Faculty of Language: What Is It, Who Has It, and How Did It Evolve? *Science* 298, 1569–1579. <https://doi.org/10.1126/science.298.5598.1569>
 - Huber, R., Ghilardi, M.F., Massimini, M., Tononi, G., 2004. Local sleep and learning. *Nature* 430, 78–81. <https://doi.org/10.1038/nature02663>
 - Huth, A.G., de Heer, W.A., Griffiths, T.L., Theunissen, F.E., Gallant, J.L., 2016. Natural speech reveals the semantic maps that tile human cerebral cortex. *Nature* 532, 453–458. <https://doi.org/10.1038/nature17637>
 - Hyde, D.C., Boas, D.A., Blair, C., Carey, S., 2010. Near-infrared spectroscopy shows right parietal specialization for number in pre-verbal infants. *NeuroImage* 53, 647–652. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.06.030>
 - Kanjlia, S., Lane, C., Feigenson, L., Bedny, M., 2016. Absence of visual experience modifies the neural basis of numerical thinking. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 201524982. <https://doi.org/10.1073/pnas.1524982113>
 - Kersey, A.J., Cantlon, J.F., 2016. Neural tuning to numerosity relates to perceptual tuning in 3- to 6-year-old children. *J. Neurosci.* 0065–16. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0065-16.2016>
 - Lakoff, G., Núñez, R.E., 2000. Where mathematics comes from: how the embodied mind brings mathematics into being. Basic Books, New York.
 - Monti, M.M., Parsons, L.M., Osherson, D.N., 2012. Thought Beyond Language: Neural Dissociation of Algebra and Natural Language. *Psychol. Sci.* 23, 914–922. <https://doi.org/10.1177/0956797612437427>
 - Nguyen, M., Vanderwal, T., Hasson, U., 2019. Shared understanding of narratives is correlated with shared neural responses. *NeuroImage* 184, 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.09.010>
 - Nieder, A., Dehaene, S., 2009. Representation of Number in the Brain. *Annu. Rev. Neurosci.* 32, 185–208. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.051508.135550>
 - Pajula, J., Kauppi, J.-P., Tohka, J., 2012. Inter-Subject Correlation in fMRI: Method Validation against Stimulus-Model Based Analysis. *PLOS ONE* 7, e41196. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041196>

- Pallier, C., Devauchelle, A.-D., Dehaene, S., 2011. Cortical representation of the constituent structure of sentences. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 108, 2522–2527. <https://doi.org/10.1073/pnas.1018711108>
- Pica, P., Lemer, C., Izard, V., Dehaene, S., 2004. Exact and Approximate Arithmetic in an Amazonian Indigene Group. *Science* 306, 499–503. <https://doi.org/10.1126/science.1102085>
- Rohrer, D., Dedrick, R.F., Burgess, K., 2014. The benefit of interleaved mathematics practice is not limited to superficially similar kinds of problems. *Psychon. Bull. Rev.* 21, 1323–1330. <https://doi.org/10.3758/s13423-014-0588-3>
- Rohrer, D., Taylor, K., 2006. The effects of overlearning and distributed practise on the retention of mathematics knowledge. *Appl. Cogn. Psychol.* 20, 1209–1224. <https://doi.org/10.1002/acp.1266>
- Shum, J., Hermes, D., Foster, B.L., Dastjerdi, M., Rangarajan, V., Winawer, J., Miller, K.J., J. Parvizi, 2013. A Brain Area for Visual Numerals. *J. Neurosci.* 33, 6709–6715. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4558-12.2013>
- Soltanlou, M., Artemenko, C., Ehli, A.-C., Huber, S., Fallgatter, A.J., Dresler, T., Nuerk, H.-C., 2018. Reduction but no shift in brain activation after arithmetic learning in children: A simultaneous fNIRS-EEG study. *Sci. Rep.* 8, 1707. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20007-x>
- Starkey, G.S., McCandliss, B.D., 2014. The emergence of “groupitizing” in children’s numerical cognition. *J. Exp. Child Psychol.* 126, 120–137. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2014.03.006>
- Starr, A., Libertus, M.E., Brannon, E.M., 2013. Number sense in infancy predicts mathematical abilities in childhood. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110, 18116–18120. <https://doi.org/10.1073/pnas.1302751110>
- Trimble, M.R., Cavanna, A.E., 2008. Chapter 3.7 The role of the precuneus in episodic memory, in: Dere, E., Easton, A., Nadel, L., Huston, J.P. (Eds.), *Handbook of Behavioral Neuroscience, Handbook of Episodic Memory*. Elsevier, pp. 363–377. [https://doi.org/10.1016/S1569-7339\(08\)00220-8](https://doi.org/10.1016/S1569-7339(08)00220-8)
- Wagner, U., Gais, S., Haider, H., Verleger, R., Born, J., 2004. Sleep inspires insight. *Nature* 427, 352–355. <https://doi.org/10.1038/nature02223>
- Wang, L., Amalric, M., Fang, W., Jiang, X., Pallier, C., Figueira, S., Sigman, M., Dehaene, S., 2019. Representation of spatial sequences using nested rules in human prefrontal cortex. *NeuroImage* 186, 245–255. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.10.061>

Introduction

The human brain seems to be unique in the animal kingdom in its ability to use spoken language and to master abstract mathematical knowledge. How these abilities relate is still a major debate in cognitive sciences. For many years, both skills have been thought to rely on similar rule abstraction processes and were then hypothesized to recruit similar brain structures. Yet during the past decade, neuroimaging studies of basic arithmetic have started to show that mathematical neural substrates differ from those of language processes. They have revealed that two sets of brain areas are systematically associated with number processing. First, bilateral intraparietal and prefrontal areas are systematically activated during number perception and calculation in adults (Dehaene et al., 1999), young children (Cantlon and Li, 2013) and even untrained monkeys (Nieder and Dehaene, 2009). Additionally, a bilateral inferior temporal region is activated by the recognition of number symbols such as Arabic numerals (Daitch et al., 2016; Shum et al., 2013).

Recent studies have confirmed that these sets of brain areas are involved in general mathematical processing (Amalric and Dehaene, 2016; Monti et al., 2012). During my PhD, I have conducted three fMRI studies involving professional mathematicians (including the exceptional case of three blind mathematicians), in which subjects had to evaluate the truth-value of advanced mathematical and nonmathematical spoken statements. Even formulated as sentences, all mathematical statements, regardless of their difficulty, or domain (Amalric and Dehaene, 2019, 2016) activated a reproducible set of bilateral intraparietal and ventrolateral temporal regions. Note that such activation has been consistently found independently of participants’ visual experience (Abboud et al., 2015; Amalric et al., 2017a; Kanjlia et al., 2016). This “math-responsive” network completely dissocia-

ted from areas related to language and general-knowledge semantics, but rather coincided with sites activated by simple arithmetic.

Hence, mathematics does not seem to emerge as an offshoot of human linguistic abilities (Hauser et al., 2002), as these math-related activations totally spare classical language-related regions that instead include left superior temporal sulcus and left inferior frontal gyrus (Broca's area) (Pallier et al., 2011).

In other words, reflection on already learnt mathematical concepts does not seem to rely on language processes – but is it also the case during learning? The mechanisms by which advanced mathematical concepts are learnt remain unknown. A dominant view suggests that the basic mathematical intuitions of number, space and time that all human possess (Dehaene et al., 2006; Pica et al., 2004) is predictive of later mathematical skills (Gilmore et al., 2010; Halberda et al., 2008; Starr et al., 2013). Such intuitions may therefore serve as foundations for the construction of more advanced mathematical concepts thanks to the drawing of analogies or inductive generalizations (Núñez and Lakoff, 2000). On the contrary, linguistic symbols may play a role in the process by which basic intuitions are integrated with each other (Carey, 2009).

First bits of evidence suggests that the human acquisition of geometrical rules relies on a “mathematical language”, made of primitives and combinatorial rules, independent of natural spoken language (Amalric et al., 2017b). In this behavioral study, French adults and 5-years-old children as well as adults and teenagers from the Amazon – the Mundurucus, who lack formal education and have impoverished numerical and geometrical lexicon – were asked to detect and generalize the regularities underlying the movement of a dot on an octagon. Participants' error rate proved to be highly correlated with sequences complexity defined in the putative “geometrical language” we exhibited. Thanks to a fMRI study adapting my behavioral protocol, we have then showed that the use of this “geometrical language” is completely independent of natural language (Wang et al., 2019).

Non-verbal implicit learning of mathematical laws thus seems to dispense with language – but is it also the case in classrooms, where concepts

are taught explicitly thanks to words and sentences? The project I have performed during my postdoc with the help of the Fyssen Foundation aims at investigating what changed in brain activation are induced by math learning in classroom settings. To this end, I took inspiration from recent naturalistic neuroimaging studies that measured neural responses spontaneously elicited by real-world stimuli (Cantlon and Li, 2013; Huth et al., 2016). For example, Cantlon and Li showed that while watching “Sesame Street” educational videos focusing on numbers and letters, children's neural activity predicted their performance on mathematics and verbal tests. Moreover, Huth and collaborators have exhibited a systematic semantic brain mapping of almost 1000 words present in narrative stories that subjects listened to during a few hours. In the present project, I thus used stimuli and tasks that parallel classroom exposure as closely as possible.

Answering this question also requires a combination of techniques such as behavioral testing to assess participants' learning, neuroimaging techniques to assess brain activation changes, and a developmental approach to test whether similar neural substrates underlie mathematical acquisition throughout life. In this project, I thus studied advanced mathematical learning in school children and university students, using various behavioral measures collected while participants underwent a functional MRI exam.

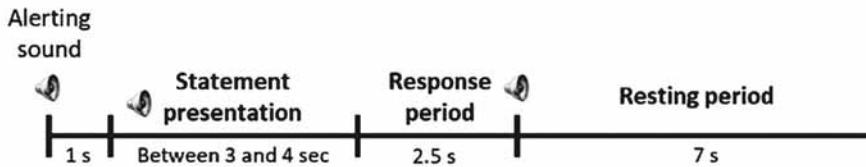
Methods

At both ages, advanced math concepts were taught thanks to short pedagogical movies, and participants' learning was assessed by pre- and post-tests conducted during the fMRI exam.

Young adults' experiment

We scanned 16 freshman math major students from various Parisian universities. During the fMRI exam, they were taught 10 math concepts typically introduced during senior year, that were related to measure theory and stochastic processes. To identify potential particularities of math concepts learning in the brain, we compared them to 10 non-math concepts coming from completely unrelated fields but that also typically use very specific vocabulary: property law and plant biology. Before the experiment, thanks to a simple questionnaire, we made sure that partici-

Pre and post tests – spoken statements



Examples	Math	Nonmath
Known	Toute suite réelle croissante majorée est divergente.	Un pamphlet est un texte écrit en alexandrins.
Unknown but taught	Le Modèle de Markov caché est un processus gaussien.	La racine principale d'une plante dicotylédone est ramifiée.
Unknown untaught	L'ensemble triadique de Cantor est dénombrable.	La parélie est un phénomène d'optique atmosphérique.

Video runs – 2 x 5 video sequences

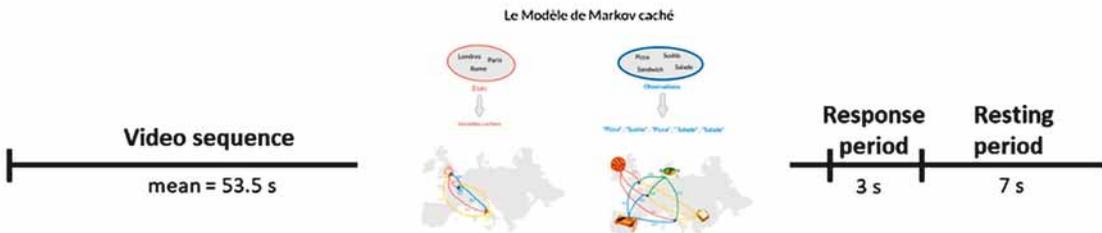


Figure 1: Experimental design. Top: structure of knowledge test trials. Bottom: structure of video presentation.

participants did not already know what was about to be taught but mastered the background mandatory to understand the lessons. The fMRI exam was divided into two sessions. Each session started with a knowledge pre-test in which participants were asked to judge as fast as they could whether 40 spoken math and nonmath statements were true or false (**Figure 1**). 5 math and 5 nonmath statements were related to familiar notions taught during high school. All the other statements were unknown at this stage. Then, participants were presented with 2 pedagogical movies (1 math, 1 nonmath). Each movie consisted of 5 55-second video sequences, each teaching one given concept (**Figure 1**). Video

sequences were following one another starting with the most basic concept and ending with the most complex one. After each video sequence, participants were asked to report their level of understanding. Participants' learning was finally assessed in a post-test consisting of the same 40 spoken math and nonmath statements presented during pre-test (**Figure 1**). Among the 30 previously unknown statements, 10 math and 10 nonmath were related to the concepts taught in the movies. The session order was randomly assigned to participants. After the fMRI exam, participants were asked, without time limit, to give their definitions of the concepts taught by the 4 movies they watched.

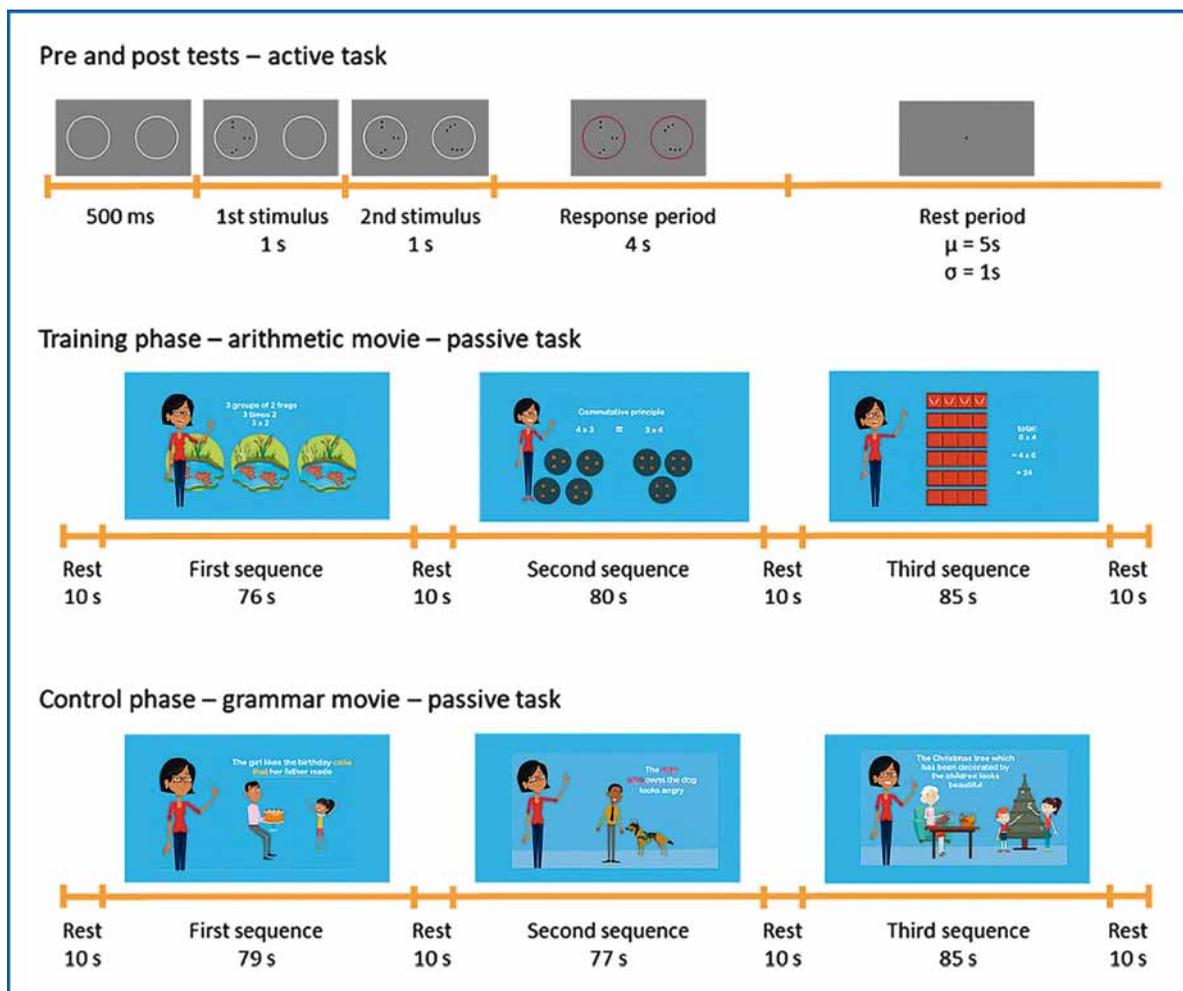


Figure 2: Experimental design. **Top:** structure of trials in the active calculation task. **Bottom:** structure of video presentation.

Children experiment

The concept taught to 3rd grade children was the commutative principle of multiplication. First, participants' understanding of this principle was assessed thanks to a same/different task (**Figure 2**). They were asked to decide whether two symbolic operations or two dot arrays were numerically equal or not. Commutative pairs (e.g. " 2×3 " versus " 3×2 "; hereafter called «commute») were compared to non-commutative but numerically equal pairs (e.g. " $4+2$ " versus " 3×2 ", called «enumerate»), and to non-commutative non equal pairs (e.g. " 4×2 " versus " 3×2 ", called «estimate»). Then, participants were randomly assigned to the learner group or the control group. In the learner group, 9 children watched a 4-minutes pedagogical

movie about the commutative principle of multiplication, while in the control group, 9 other children watched an unrelated 4-minutes pedagogical movie about relative pronouns (**Figure 2**). After watching the movie, still in the fMRI, all participants were tested again on the same/different task. At the end of the fMRI exam, they watched the movie they had not seen yet, i.e. relative pronouns for the learner group and commutativity for the control group. To evaluate children functional maturity, we also proposed to a group of 14 adults to perform this experiment. After the fMRI exam, in order to evaluate children's general math and English skills, they all performed the standardized TEA reading and math tests that consist in reading and comprehension questions as well as additions, subtractions and multiplications.

Results

Adults' behavior

The left side of Figure 3 shows that judging the truth value of spoken statements was particularly challenging for adults who reached an overall accuracy of only $59.1 \pm 13.6\%$, in 1.22 ± 0.15 s. In pre-tests, participants answered better than chance only for the known math and nonmath statements (math: $75.0 \pm 12.1\%$, $t(13) = 5.05$, $p < 0.001$; nonmath: $76.7 \pm 11.8\%$, $t(13) = 6.14$, $p < 0.001$). In post-tests, they answered above chance for each category of statements except the statements related to taught math concepts and unknown nonmath concepts (known math: $83.1 \pm 10.4\%$, taught math: $51.0 \pm 13.9\%$, unknown math: $58.9 \pm 13.7\%$, known nonmath: $82.7 \pm 10.5\%$, taught nonmath: $61.6 \pm 13.5\%$, unknown nonmath: $53.1 \pm 13.9\%$). Overall, a main effect of the statements category was observed in both pre- and post-tests (pre: $F(5,78) = 13.3$, $p < 0.001$; post: $F(5,78) = 15.9$, $p < 0.001$). No effect of the category was found during pre-tests on the reaction time that reached an average of 1.23 ± 0.14 s ($F(5,78) = 0.75$, $p = 0.59$). On the contrary, a significant effect of statements category on the reaction time was found during post-tests ($F(5,78) = 11.4$, $p < 0.001$). In more details, participants answered to the known math and nonmath statements much faster than to the other categories in post-tests (known math: 0.90 ± 0.14 s, taught math: 1.33 ± 0.15 s, unknown

math: 1.33 ± 0.15 s, known nonmath: 0.82 ± 0.11 s, taught nonmath: 1.39 ± 0.17 s, unknown nonmath: 1.14 ± 0.13 s). We then analyzed performance improvement for each category of statements by calculating the difference of accuracies and ratio of reaction times in post- versus pre-tests (see Figure 3, right). Overall, we did not find any effect of statements category on accuracy improvement ($F(5,78) = 0.79$, $p = 0.56$). However, Figure 3 reveals a significant improvement of accuracy for statements related to taught nonmath concepts ($t(13) = 2.60$, $p < 0.05$). No such effect was found for taught math concepts. Interestingly, participants exhibited much faster reaction times for known math and nonmath statements in post-tests compared to pre-tests, and much slower reaction times for math and nonmath statements related to concepts taught in the movies (global ANOVA: $F(5,78) = 8.52$, $p < 0.001$).

Children's behavior

Children performed almost perfectly in the same/different task with an accuracy of $90.0 \pm 2.0\%$ and a reaction time of 1.90 ± 0.07 s. In pre-tests, both the learner and control group performed similarly, globally reaching an accuracy of $90.0 \pm 1.9\%$ (learners: 91.1% , controls: 89.8% , $t(16) = 0.07$, n.s.) in 1.9 ± 0.07 s (learner: 1.91 s, controls: 1.96 s, $t(16) = 0.38$, n.s.). In more details, they performed significantly better than chance for each condition (all p s < 0.001), even

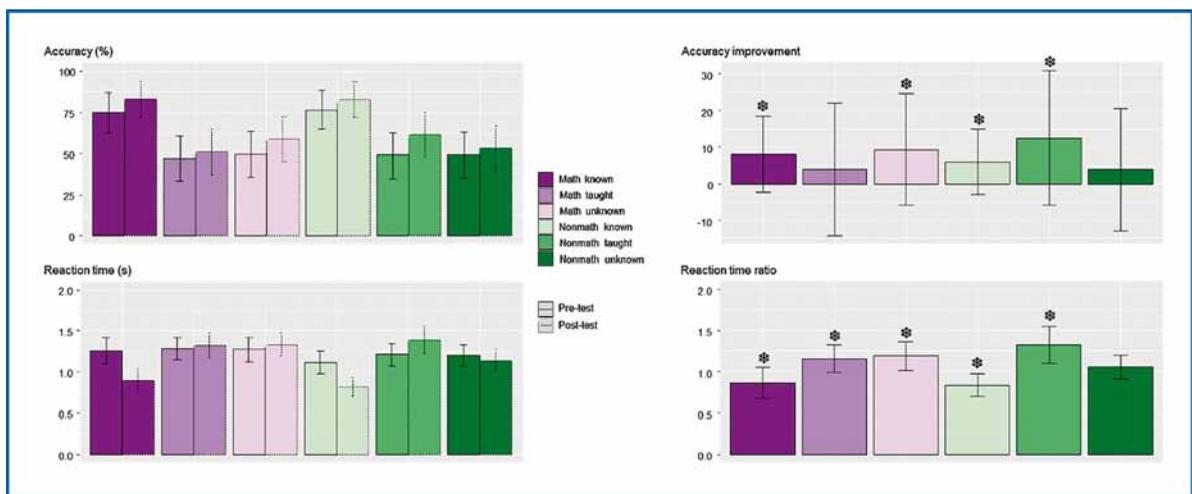


Figure 3: Behavioral results. **Left:** mean accuracy and reaction time of truth value judgements of statements from each category. Full lines represent pre-tests and dashed lines represent post-tests. **Right:** mean accuracy and reaction time improvement between pre and post-tests for each category of statements.

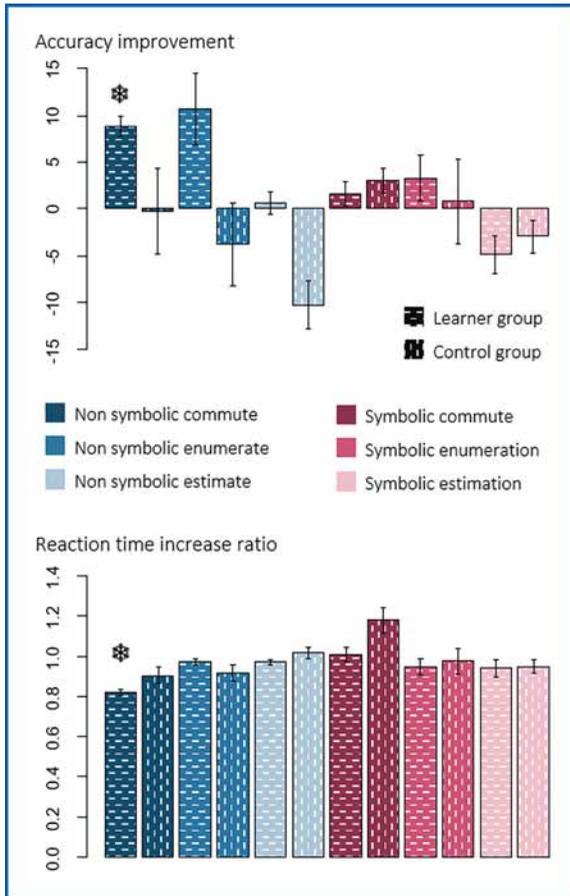


Figure 4: Behavioral results. Mean accuracy and reaction time improvement between pre and post-tests for each category of statements.

though “numerate” induced more errors than “commute” ($t(17) = 4.11$, $p < 0.001$) or “estimate” ($t(17) = 3.08$, $p < 0.01$). “Commute” and “estimate” trials also elicited faster responses than “enumerate” ($t(17) = 8.21$, and $t(17) = 3.26$ respectively, both $ps < 0.005$). In addition, children consistently answered to symbolic trials quicker than to non-symbolic trials (symbolic: 1.67s, non-symbolic: 2.21s, $t(17) = 8.52$, $p < 0.001$). In post-tests, the learner group became slightly better and faster than the control group (global accuracy: $89.9 \pm 2.3\%$, learners: 93.3% , controls: 86.6% , $t(16) = 1.54$, $p = 0.14$; global reaction time: 1.8 ± 0.09 s; learners: 1.76s, controls: 1.94s, $t(16) = 1.03$, $p = 0.32$). We then analyzed the evolution of performance between pre- and post-tests for each category of stimuli (symbolic/non symbolic \times commute/enumerate/estimate). To do so, we calculated the differences

of accuracies and ratios of reaction times for each category and each subject. The mean differences and ratios for both groups are represented on **Figure 4**. A global ANOVA did not reveal any main effect of symbolism, conditions or group on the evolution of performance. However, a significant accuracy increase and a reaction time decrease were found only in the learner group for the condition “non-symbolic commute” (accuracy: $t(8) = 4.12$, $p < 0.005$, reaction time: $t(8) = 6.39$, $p < 0.001$).

fMRI inter-subject correlations

In both adults and children experiments, we analyzed the brain activation elicited by each movie thanks to the technique of inter-subject correlation. While traditional general linear modeling (GLM) of neural time courses are good for comparing conditions that are likely distinguished by acute differences in the amplitude of activation, subtle differences in the fluctuation of neural activity over time might not be captured by that GLM approach. On the contrary, inter-subject correlation statistics, that consists in computing, at each voxel of the brain, the correlation of neural time courses between each pair of subjects (**Figure 5**), can be used to reveal regions that show common patterns of neural activity over time across subjects (Cantlon and Li, 2013; Glerean et al., 2012; Nguyen et al., 2019).

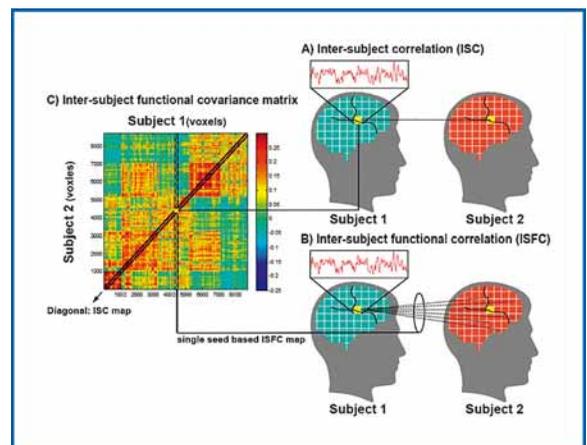


Figure 5: Inter-subject correlation method: at each voxel of the brain, computation of the covariance matrix between any two subjects neural time courses. Reproduced with authorization from <https://www.hassonlab.com/inter-subject-correlation>.

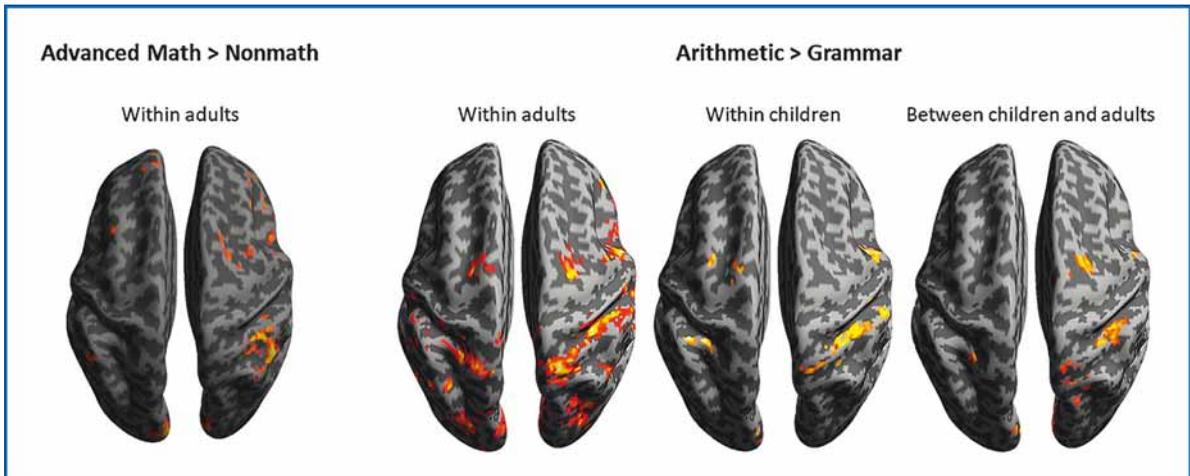


Figure 6: Inter-subject correlations during movies. **Left** (young adults' experiment): contrast of math versus non-math correlation maps within adults. **Right** (children's experiment): contrast of arithmetic versus grammar correlation maps within adults, within children, and between children and adults.

Figure 6 shows the brain regions exhibiting the highest correlation between participants watching math movies. University students watching advanced math pedagogical movies exhibited synchronized activation in right occipitoparietal and infero-temporal regions, the left angular gyrus, and the cuneus. For the arithmetic movie, we were able to study children-to-children, adults-to-adults and children-to-adults correlations. In all cases, we observed synchronized activation mostly in right parietal regions and to a less extent in left parietal regions, as well as in the right inferior frontal gyrus. Within adults, we observed additional frontal and occipital sites. The children-to-adults correlation can be seen as a measure of how “adult-like” children’s patterns of activation are and is typically referred to as a measure of “neural maturity”. The sites exhibiting the highest neural maturity were in right parietal as well as frontal superior and inferior regions.

Discussion

In two experiments respectively involving 3rd-grade children and university students, we tracked the evolution of brain activation during naturalistic learning of math concepts. At both ages, the exposition to math concepts, even unknown,

during a math lesson, already activates the math-responsive network more than nonmath concepts.

To test children’s understanding of commutativity in non-symbolic context, we used dot arrays divided into subgroups. The rationale behind this choice comes from the work of Starkey and McCandliss (2014). They described a phenomenon they called “groupitizing”, that refers to

the facilitation of enumeration when the items of a dot array form recognizable subgroups. They showed that this phenomenon typically emerges in

1st-grade and strengthens over the years of schooling. In our experiment, using “groupitizing” proved to be a valid way to assess fast non-symbolic exact calculation in 3rd-grade children, as they were able to perform the same/different task rapidly and almost perfectly. Interestingly, we observed that children replied faster in “commutative” and “estimate” conditions, i.e. conditions using identical subgroups, than in “enumerate” conditions, i.e. conditions using different subgroups. Our data in children are in total agreement with the results obtained by Ciccione and Dehaene (n.d.) in adults. These results seem to indicate that children, like adults, appropriately use multiplication to enumerate an array divided into identical subgroups, while

“The exposition to math concepts, even unknown, during a math lesson, already activates the math-responsive network more than nonmath concepts.”

they use addition in the case of unidentical subgroups.

In children, we successfully found a learning effect: only the learner group exhibited improved performance (better accuracy and faster reaction time) on non-symbolic “commute” trials in post-tests. No such learning effect was found for symbolic “commute” trials. These results could indicate that 3rd-grade children typically understand commutativity in a shallow (symbolic) context, and that our math video lesson induced a transfer to a deeper (non-symbolic) understanding of commutativity.

In adults, we did not find any objective trace of learning. This absence of learning evidence is likely due the fact that the concepts were too complicated to be taught in only 1 minute each. In further experiments, it will thus be critical to increase the learnability of the proposed materials. Minimally, we could repeat the teaching sessions outside the scanner before post-testing the participants, so that they get another chance to view the material presented in our pedagogical movies. In addition, we could use an interleaved design instead of a block design during video runs, as interleaving appears to foster memorization (Birnbauer et al., 2013; Rohrer et al., 2014). Alternatively, instead of repeating the teaching session, distributing the concepts to be taught across multiple sessions could enhance the retention of new information (Rohrer and Taylor, 2006). Recent studies have also extensively demonstrated the crucial role of sleep, not only on memorization (Huber et al., 2004), but also on insight (Wagner et al., 2004). In the case of our experiment, allowing participants to sleep after watching the movies and before post-testing them would probably increase their learning.

Even if a validation of the inter-subject correlation analysis method (Hasson et al., 2004) is no longer necessary (Pajula et al., 2012), it once more proved to be particularly relevant to the fMRI analysis of activation elicited by movies. The similarity between children-to-children and adults-to-adults correlations in right parietal regions during the arithmetic movie is particularly striking. This result complements previous findings that 4-year-old children exhibit synchronized activation in the intraparietal sulci when watching number-related movies (Cantlon and

Li, 2013). It is highly consistent with previous studies associating the right intra-parietal sulcus to untrained math processing (Delazer et al., 2005; Hyde et al., 2010; Soltanlou et al., 2018), and more generally with all the literature suggesting a fundamental role of intraparietal regions in math activity (Amalric and Dehaene, 2019; Dastjerdi et al., 2013; Kersey and Cantlon, 2016).

Such result is not as clear in the case of university students watching more advanced math videos, even if we observed clusters of synchronized activation in right parietal and infero-temporal regions that are supposedly part of the math-responsive network (Amalric and Dehaene, 2019). The reverse contrast of advanced non-math versus math inter-subject correlation maps revealed extensive occipital activation that can be the sign of a significant difference between the low-level features (such as contrast or quantity of movement) of math and nonmath movies. In further analyses, we thus plan to regress movies low-level features before using the inter-subject correlation technique.

At this point, classical GLM and direct comparisons of conditions have not revealed differences in activation between pre- and post-tests that would point to the math-responsive network. In adults, we observed significant differences between pre- and post-tests only in the precuneus, a region that has been associated to memory retrieval (Trimble and Cavanna, 2008). Given the absence of evidence of learning in this experiment, and as suggested by my previous experiments (Amalric and Dehaene, 2019, 2016), this result could indicate that math concepts are stored in the math-responsive network only when they are fully mastered. As confirmation, the dissociation between math and nonmath processing that was observed in expert mathematicians still holds in the present case of math students when they think about known concepts.

In children, we did not identify any significant difference between pre- and post-tests at the whole-brain level. It is likely that the difference is too small because many 3rd graders already know multiplication tables, even though they have never been told about the commutative principle before. With only 9 children per group, it is also probable that we lack statistical power for classical statistical analyses.

In such a situation with insufficient statistical power, inter-subject correlations may prove to be useful. Further investigation of the changes in activation induced by learning will thus be conducted: first by evaluating directly the evolution of neural maturity between pre- and post-tests; second by evaluating the evolution of within children correlation for each category of stimuli (commute/enumerate/estimate \times symbolic/non-symbolic). These analyses will hopefully constitute an original alternative approach to classical GLM analysis even in the context of controlled tasks.

Acknowledgments

I would like to express my profound gratitude to the Fyssen Foundation for its support in carrying out my post-doctoral project. I also want to address the warmest thanks to Pr. Stanislas Dehaene for his confidence and unwavering support. I want to thank Pr. Jessica Cantlon and the CAOs Lab for hosting my research project and providing valued resources and guidance. Last but not least, I would like to thank Pauline Roveyaz for her help in creating the experimental material.

Les bourdons augmentent leur consommation de protéines alimentaires pour combattre l'infection par un parasite

Tamara GÓMEZ-MORACHO

Post doctorante, Centre de Recherches sur la Cognition Animale (CRCA), Centre de Biologie Intégrative de Toulouse (CBI) ; Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Université Paul Sabatier-Toulouse III, Toulouse

Résumé

Certains animaux modifient leurs décisions alimentaires afin de lutter contre les infections par des parasites et des pathogènes. Dans cette étude, j'ai testé si un insecte social, le bourdon *Bombus terrestris*, pouvait s'auto-médicamer en ajustant sa consommation de nourriture contenant différents ratios de protéine et de sucre après une infection par le parasite intestinal *Nosema ceranae*. De manière générale, les bourdons exposés à *N. ceranae* ont consommé plus de protéines et ont été moins infectés que les bourdons témoins non exposés au parasite. Ces bourdons ont cependant survécu moins longtemps que les témoins. Mes résultats suggèrent que les bourdons augmentent leur consommation de protéines pour réduire l'infection parasitaire. Cela remet en question l'importance de l'automédication alimentaire comme réponse potentiellement efficace pour limiter la propagation de parasites dans les colonies d'insectes sociaux.

“les bourdons augmentent leur consommation de protéines pour réduire l'infection parasitaire”

Mot-clés

Bombus terrestris, *Nosema*, géométrie nutritionnelle, automédication

Bumblebees increase their consumption of dietary protein to combat parasite infection

Abstract

Some animals modify their feeding decisions in order to combat infections by parasites and pathogens. Here, I tested whether a social insect, the bumblebee *Bombus terrestris*, can self-medicate by adjusting nutrient intake from diets differing in protein to carbohydrate ratios after an infection with the gut parasite *Nosema ceranae*. Overall, bumblebees exposed to *N. ceranae* consumed more proteins and were less infected than control bumblebees not exposed to the parasite. These bees however survived less than the controls. My results suggest that bumblebees increase their protein consumption to prevent parasite infection and questions about the importance of dietary self-medication as a potentially efficient response to limit parasite propagation in a social insect colony.

“bumblebees increase their protein consumption to prevent parasite infection”

Keywords

Bombus terrestris, *Nosema*, nutritional geometry, self-medication

Introduction

L'automédication est un phénomène répandu dans le monde animal, qui renvoie à des décisions comportementales conduisant les individus à collecter ou à consommer des substances pour prévenir (« automédication prophylactique ») ou pour combattre (« automédication thérapeutique ») une infection (Hart, 1990). Les critères qui définissent l'automédication sont les suivants : (1) la substance doit être recueillie intentionnellement ; (2) la substance a des effets néfastes pour le parasite (3) et par conséquent est bénéfique pour l'hôte ; (4) la substance est nocive pour les hôtes non parasités si elle est ingérée à des niveaux identiques à ceux des individus infectés (Abbott, 2014).

Plusieurs études chez les insectes solitaires montrent que les individus sont capables de s'auto-médicamentent en ajustant leur consommation de nutriments dans la nourriture. Par exemple, les chenilles *Spodoptera littoralis* infectées par des virus ou des bactéries pathogènes augmentent leur apport en protéines (Lee et al., 2006 ; Povey et al., 2014) pour stimuler leur système immunitaire. Récemment il a été proposé que cette automédication nutritionnelle pourrait également être un moyen de limiter la propagation des pathogènes dans un groupe social (Poissonnier et al., 2018). Dans ce cas, on s'attend à ce que les individus qui collectent des aliments pour le reste du groupe ajustent leur prise de nutriments à la fois en fonction de leur propre statut d'infection ainsi que de celui de tous les autres membres de la colonie.

Les abeilles sociales sont un excellent modèle pour étudier ces réponses comportementales complexes. Chez ces espèces, les butineuses collectent du nectar et du pollen afin d'atteindre des quantités et des ratios spécifiques en protéines, sucres et lipides qui répondent aux besoins nutritifs de tous les autres membres de la colonie (Wright et al., 2018). Des expériences récentes indiquent que les abeilles domestiques parasitées par les microsporidies intestinales *Nosema ceranae* augmentent leur consommation de pollen de haute qualité (Ferguson et al., 2018) et que les individus nourris avec un supplément de pollen présentent une mortalité réduite (Jack et al., 2016 ; Tritschler et al., 2017), ce qui suggère l'existence de médication nutritionnelle collective.

N. ceranae est un parasite émergent des pollinisateurs, qui se transmet par la consommation de spores infectieuses contenues dans de la nourriture ou de l'eau contaminée, et qui peut entraîner des pertes de colonies (Martín-Hernández et al., 2018). Ses effets sont surtout décrits chez les abeilles domestiques (ex. modifications du métabolisme, de la réponse immunitaire ou du comportement (Martín-Hernández et al., 2018), mais on sait peu de choses sur la façon dont ce parasite affecte les espèces sauvages, probablement en raison de la difficulté à reproduire cette infection dans des conditions de laboratoire (Fürst et al., 2014 ; Piironen and Goulson, 2016).

Dans cette étude, j'ai exploré l'automédication nutritionnelle chez des bourdons exposés à *N. ceranae*. J'ai d'abord élaboré un protocole expérimental pour infecter les bourdons avec *N. ceranae*, en exposant les individus à des quantités contrôlées de spores parasitaires et en les maintenant dans des régimes artificiels variant dans leur rapport protéines : sucres. J'ai ensuite analysé comment les bourdons régulent individuellement leur apport en protéines et en sucres lorsqu'ils sont infectés par *N. ceranae*.

Méthodes

Bourdons

J'ai utilisé 500 bourdons (*Bombus terrestris*) issus de 4 colonies commerciales (Biobest, Belgique) exemptes de parasites (vérification au préalable par une réaction en chaîne par polymérase (PCR) pour *N. ceranae* (Martin-Hernandez et al., 2007), *N. bombi* (Klee et al., 2006), *C. bombi* (Schmid-Hempel and Tognazzo, 2010). Pendant toutes les expériences, les bourdons ont été maintenus individuellement dans une boîte de Pétri à 26°C, avec un cycle jour : 12 h, nuit : 12 h.

Parasites

J'ai obtenu des spores de *N. ceranae* (confirmés par une PCR (Martin-Hernandez et al., 2007)) à partir d'extraits d'abdomens d'abeilles domestiques (*Apis mellifera*) naturellement infectées dans notre rucher (CRCA, Université de Toulouse) en suivant les protocoles de purification standards (Fries et al., 2013). J'ai estimé la concentration de spores dans la solution à l'aide d'un hémocytomètre (Cantwell, 1970) sous microscope optique ($\times 400$) et j'ai ajusté l'inoculum à 15 000 spores/uL dans 20 % (p/v) d'eau sucrée.

Diètes artificielles

J'ai développé deux diètes liquides qui variaient dans leur rapport en protéines et en sucres (P :C) : une diète faible en protéines et riche en sucre (P :C 1 :207), une diète riche en protéines et faible en sucres (P :C 1 :6). Les sucres étaient fournis sous forme de saccharose (Euro-medex, France) et les protéines consistaient en un mélange de caséine et de lactosérum (4 :1) (Nutrimuscle, Belgique). Les deux diètes avaient une teneur totale en nutriments fixe (P + C de 170 g/L) et 0,5 % de mélange de vitamines pour les insectes (Sigma, Allemagne). Les diètes étaient disponibles pour les bourdons dans un tube Eppendorf percé à la base dans la boîte de Pétri.

Infection expérimentale

J'ai développé un protocole pour infecter les bourdons avec *N. ceranae* à des doses sub-léthales. J'ai isolé 200 bourdons dans des boîtes de Pétri et je les ai affamés pendant 5 h. J'ai par la suite introduit à la pipette une goutte d'eau sucrée (20 % ; p/v) exempte de parasite ou avec 300 000 spores de *N. ceranae*. Pour réduire les variations dans le dosage des spores, je n'ai gardé que les bourdons qui avaient bu la goutte d'eau sucrée dans son intégralité après 2 heures. Ensuite, j'ai fourni à ces bourdons soit la diète à faible teneur en protéines (n=47 témoins et 48 exposés), soit la diète à haute teneur en protéines (n=46 témoins et 49 exposés) pendant 20 jours. Chaque jour, je renouvelais les diètes et je retirais les bourdons morts qui servaient à estimer leur taux de survie. À la fin de l'expérience, j'ai noté la présence de *N. ceranae* dans l'intestin de chaque bourdon à l'aide d'une analyse PCR (Martin-Hernandez et al., 2007). J'ai analysé la survie des bourdons en considérant trois statuts d'infection : contrôle (non nourri avec *Nosema*), exposé (nourri avec *Nosema* + PCR négative) ou infecté (nourri *Nosema* + PCR positive).

Tests d'alimentation

Pour vérifier si les bourdons régulent différemment leur apport en nutriments lorsqu'ils sont exposés à *N. ceranae*, j'ai mesuré la consommation de protéines et de sucres par les individus soumis aux différentes diètes. J'ai utilisé 300 bourdons. En suivant le protocole d'infection (voir ci-dessus), j'ai créé un groupe témoin et un groupe exposé à *Nosema*. Les bourdons exposés

et les bourdons témoins ont ensuite été répartis en trois conditions différentes : non-choix de P :C 1 :6 (N=50 pour chaque traitement), non-choix de P :C 1 :207 (N=50 pour chaque traitement), choix entre P :C 1 :6 et P :C 1 :207 (N=50 pour chaque traitement). J'ai maintenu les bourdons dans ces conditions pendant 16 jours. Chaque jour, je remplaçais la diète par une diète fraîche, je mesurais la consommation de nourriture en pesant les tubes avec une balance de précision (Mettler Toledo, Barcelone) et j'enlevais les bourdons morts de la boîte de Pétri. À la fin de l'expérience, j'ai analysé la présence de *N. ceranae* dans l'intestin de tous les bourdons par PCR (Martin-Hernandez et al., 2007).

Résultats

Infection expérimentale

Les résultats de la PCR des échantillons d'intestin de bourdons ont permis de connaître l'efficacité de l'infection. Au total, 52,17 % (48 sur 92) des bourdons exposés aux spores de *N. ceranae* ont été infectés. Il est à noter que 5,5 % (5 sur 90) des bourdons étaient infectés dans le groupe témoin, ce qui suggère que les colonies n'étaient pas entièrement exemptes de parasites. Ces bourdons n'ont pas été pris en compte dans les analyses ultérieures. La proportion de bourdons infectés variait considérablement d'une diète à l'autre (Figure 1). *N. ceranae* était plus répandu chez les bourdons nourris avec P :C 1 :207 (69,56 % ; 32 sur 46) que chez ceux nourris avec P :C 1 :6 (34,78 % ; 16 sur 46) (GLMbinomial : $z = 3,26$, $p = 0,001$). Par conséquent, la diète à faible teneur en protéines a induit les taux d'infection les plus élevés.

La diète a affecté la durée de vie des bourdons en causant une mortalité plus rapide chez les bourdons nourris avec la diète à haute teneur en protéines que chez les bourdons nourris avec la diète à faible teneur en protéines (Figure 1B ; Cox : $z = -5,25$, $p < 0,001$). Concernant la diète à faible teneur en protéines, l'exposition à *N. ceranae* a réduit davantage la survie des bourdons (figure 1B). Il est intéressant de noter que les bourdons infectés ont survécu plus longtemps que les bourdons exposées (ou non infectés ; figure 1B). Par conséquent, l'exposition au parasite et l'infection ont des effets négatifs sur la survie des bourdons nourris avec des diètes à haute teneur en protéines.

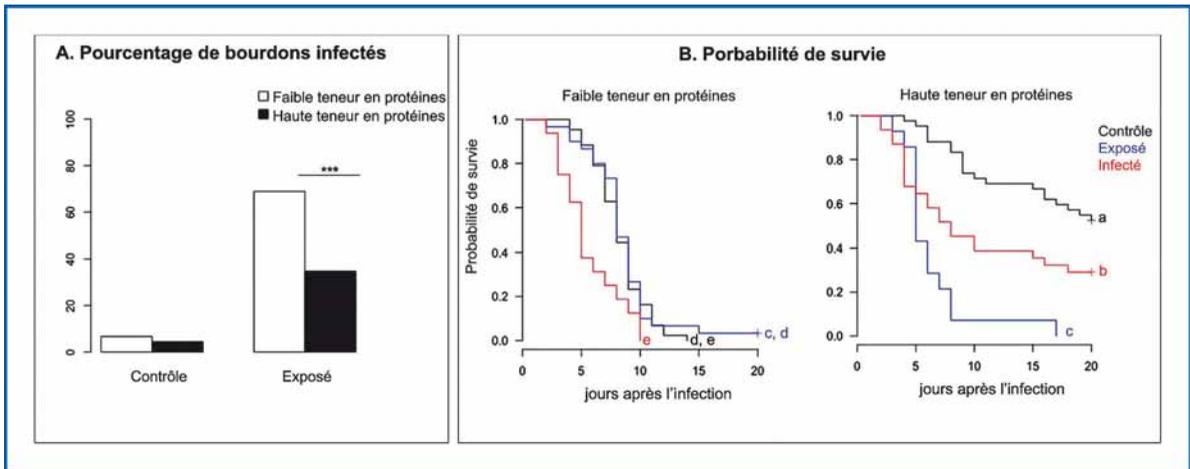


Figure 1 : A. Pourcentage de bourdons infectés en fonction de la diète. (GLM_{binomial} ; $p < 0,001$). B. Probabilité de survie des bourdons avec la diète à haute teneur en protéines et la diète à basse teneur en protéines. Les lettres montrent des différences statistiques entre les groupes (test de Tuckey post hoc après modèle de régression de Cox, $p < 0,05$).

Tests comportementaux

Les résultats de la PCR des échantillons d'intestin de bourdons ont permis de connaître la prévalence du parasite dans les trois régimes alimentaires. La prévalence de *N. ceranae* variait significativement selon les diètes ($X^2=12,778$; $p = 0,0016$), avec 66,6 % (30 sur 45) des bourdons infectés pour la diète faible en protéines, 41,6 % (20 sur 28) pour la diète élevée en protéines et 30,6 % (15 sur 49) en conditions de choix.

N. ceranae a eu un effet négatif sur la survie des bourdons dans toutes les conditions (**Figure 2A**). Les bourdons sont morts plus rapidement en condition de non choix avec la diète à haute teneur en protéines, ce qui est en accord avec notre première expérience (**Figure 1B**).

Les mesures de la consommation alimentaire montrent comment les bourdons régulent leur apport en sucres et en protéines (**Figure 2B**). La consommation de nutriments des bourdons ne suit pas un choix aléatoire. Les bourdons régulent donc leurs apports nutritionnels de manière active. Cette régulation est différente d'un groupe à l'autre, avec un apport en protéines significativement plus élevé chez les bourdons exposés que chez les bourdons témoins.

Discussion

De nombreux animaux modifient leurs décisions nutritionnelles pour lutter contre les parasites et les pathogènes. J'ai montré ici que les

bourdons exposés au parasite intestinal *N. ceranae* augmentent leur apport en protéines, ce qui réduit la probabilité que le parasite s'établisse chez l'hôte. Ces résultats suggèrent l'existence d'une automédication nutritionnelle chez un insecte social.

Mon étude a permis d'établir et de valider un protocole expérimental pour infecter avec succès des bourdons avec des doses contrôlées de parasites. Mon nouveau protocole a atteint des niveaux de succès d'infection beaucoup plus élevés que dans toutes les tentatives précédentes publiées chez cette espèce (34 % (Fürst et al., 2014), 0-3 % (Piiroinen et al., 2016 ; Piiroinen and Goulson, 2016)). En plus du dosage des spores, le temps de jeun ou le contrôle de l'âge qui peuvent expliquer certaines des différences entre mon étude et les études précédentes (Fürst et al., 2014 ; Graystock et al., 2013 ; Piiroinen et al., 2016), la composition du régime alimentaire est clairement un facteur clé déterminant le succès de l'infection. Dans mon étude, 52 % des bourdons étaient infectés en moyenne, et jusqu'à 70 % d'entre eux étaient maintenus avec une diète à faible teneur en protéines. Cette diète a entraîné une prévalence parasitaire plus élevée, ce qui suggère que les niveaux de nutriments influencent la germination du parasite et son établissement chez l'hôte. Alors que les protéines peuvent aider à stimuler une réponse immunitaire plus forte (Lee et al., 2006), les sucres peuvent être bénéfiques à l'établissement du

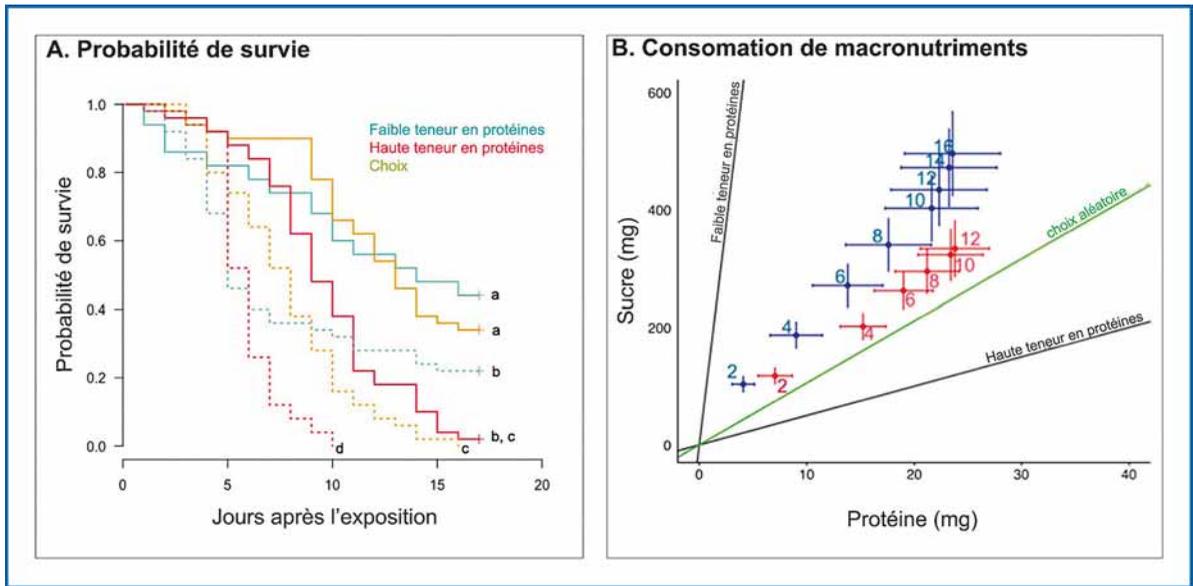


Figure 2 : **A.** Survie des bourdons pendant les 16 jours suivant l'exposition au parasite. Lignes pleines : bourdons témoins ; lignes pointillées : bourdons exposés. Les lettres montrent les différences significatives entre les groupes (test Tuckey post hoc après modèle de régression Cox. $p < 0,05$). **B.** Consommation moyenne cumulée de sucres et de protéines par les bourdons témoins (bleues) et les bourdons exposés (rouges) tout au long de l'expérience. Les lignes grises représentent les rapports P :C des diètes artificielles. La ligne verte représente le choix aléatoire. Les chiffres indiquent le nombre de jours depuis l'exposition de l'hôte au parasite. Les barres d'erreur indiquent l'IC à 95 %.

parasite qui exploite le métabolisme des glucides de son hôte pour l'énergie (Mayack and Naug, 2009). Les bourdons ont survécu plus longtemps avec un régime alimentaire faible en protéines et riche en glucides. Cependant, ici, *N. ceranae* a diminué la survie des bourdons, en particulier les bourdons exposés (i.e. nourris avec le parasite mais non infectés), ce qui suggère que le mécanisme pour éliminer le parasite peut avoir des coûts plus élevés que la tolérance à l'infection.

En utilisant cette nouvelle approche, j'ai pu démontrer que les bourdons adaptent leurs choix nutritionnels après une exposition à *N. ceranae*, une réponse comportementale qui suggère l'existence d'une automédication nutritionnelle. Les bourdons exposés choisissent activement les protéines (premier critère de l'automédication (Abbott, 2014) conduisant à un niveau de prévalence plus faible (c'est-à-dire la plus faible proportion de bourdons infectés dans la condition de choix), et donc à une réduction de la capacité parasitaire (deuxième critère de l'automédication (Abbott, 2014)). Chez les chenilles, une consommation accrue de protéines renforce le

système immunitaire des individus et les aide à combattre l'infection par un virus (Lee et al., 2006). Il faudrait examiner plus en détails si une modification similaire de la réponse immunitaire se produit également chez les bourdons. L'effet du changement alimentaire sur la fitness de l'hôte (troisième critère pour l'automédication (Abbott, 2014)), explorée par la survie, n'est pas bénéfique, car les bourdons exposées sont mortes plus rapidement que les bourdons témoins dans la même condition. Comme les bourdons sont des insectes sociaux, où tous les ouvrières sont stériles et travaillent à la reproduction de la reine, la survie n'est pas une mesure directe de fitness. Dans ces sociétés, cependant, la plus faible prévalence de parasites observée dans la condition de choix peut réduire de manière significative la transmission du parasite parmi les congénères et profiter à l'ensemble de la colonie (Poissonnier et al., 2018). La question de savoir si la quantité de macronutriments ingérée par les bourdons exposés dans la condition de choix a des effets néfastes chez les individus non infectés n'a pas été testée ici (quatrième critère de l'automédication (Abbott, 2014)). Cependant, la mortalité plus élevée observée dans la condition à haute teneur en protéines

suggère qu'une surconsommation de protéines est toxique pour les bourdons.

Des expériences visant à tester cette hypothèse plus en détails ainsi que l'effet de cette régulation alimentaire au niveau de la colonie sont en cours pour caractériser pleinement un comportement d'automédication nutritionnelle chez les bourdons. Dans le contexte préoccupant du déclin des populations de pollinisateurs (Klein et al., 2017), la compréhension de la façon dont les abeilles ajustent leur alimentation par rapport aux traitements externes tels que les parasites et les pathogènes pourrait être utilisée pour développer des actions thérapeutiques, par exemple en fournissant aux colonies des mélanges appropriés de nutriments permettant de réduire les taux d'infection et la propagation.

Remerciements

Je suis très reconnaissante d'avoir soutenu cette recherche grâce à la subvention postdoctorale de la Fondation Fyssen. Je remercie aussi le Centre de Recherches sur la Cognition Animale de m'avoir accueilli. Je remercie également Cindy Streiff (M2 Reims), Tristan Durand (M2 Toulouse) pour leur aide dans les expériences, et Mathieu Lihoreau, Cristian Pasquaretta et Philipp Heeb pour les discussions fructueuses.

Bibliographie

- Abbott, J., 2014. Self-medication in insects: current evidence and future perspectives: Self-medication in insects. *Ecol. Entomol.* 39, 273–280. <https://doi.org/10.1111/een.12110>
- Cantwell, G., 1970. Standard methods for counting *Nosema* spores. *Am. Bee J.* 110, 222–223.
- Ferguson, J.A., Northfield, T.D., Lach, L., 2018. Honey Bee (*Apis mellifera*) pollen foraging reflects benefits dependent on individual infection status. *Microb. Ecol.* 76, 482–491. <https://doi.org/10.1007/s00248-018-1147-7>
- Fries, I., Chauzat, M.-P., Chen, Y.-P., Doublet, V., Genersch, E., Gisder, S., Higes, M., McMahon, D.P., Martín-Hernández, R., Natso-poulou, M., Paxton, R.J., Tanner, G., Webster, T.C., Williams, G.R., 2013. Standard methods for *Nosema* research. *J. Apic. Res.* 52, 1–28. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.1.14>
- Fürst, M.A., McMahon, D.P., Osborne, J.L., Paxton, R.J., Brown, M.J.F., 2014. Disease associations between honeybees and bumblebees as a threat to wild pollinators. *Nature* 506, 364–366. <https://doi.org/10.1038/nature12977>
- Graystock, P., Yates, K., Darvill, B., Goulson, D., Hughes, W.O.H., 2013. Emerging dangers : Deadly effects of an emergent parasite in a new pollinator host. *J. Invertebr. Pathol.* 114, 114–119. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2013.06.005>
- Hart, B.L., 1990. Behavioral adaptations to pathogens and parasites: five strategies. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 14, 273–294. [https://doi.org/10.1016/s0149-7634\(05\)80038-7](https://doi.org/10.1016/s0149-7634(05)80038-7)
- Jack, C.J., Uppala, S.S., Lucas, H.M., Sagili, R.R., 2016. Effects of pollen dilution on infection of *Nosema ceranae* in honey bees. *J. Insect Physiol.* 87, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2016.01.004>
- Klee, J., Tek Tay, W., Paxton, R.J., 2006. Specific and sensitive detection of *Nosema bombi* (Microsporidia: Nosematidae) in bumble bees (*Bombus* spp.; Hymenoptera: Apidae) by PCR of partial rRNA gene sequences. *J. Invertebr. Pathol.* 91, 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2005.10.012>
- Klein, S., Cabirol, A., Devaud, J.-M., Barron, A.B., Lihoreau, M., 2017. Why bees are so vulnerable to environmental stressors. *Trends Ecol. Evol.* 32, 268–278. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.12.009>
- Lee, K.P., Cory, J.S., Wilson, K., Raubenheimer, D., Simpson, S.J., 2006. Flexible diet choice offsets protein costs of pathogen resistance in a caterpillar. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 273, 823–829. <https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3385>
- Martín-Hernández, R., Bartolomé, C., Chejanovsky, N., Le Conte, Y., Dalmon, A., Dussaubat, C., García-Palencia, P., Meana, A., Pinto, M.A., Soroker, V., Higes, M., 2018. *Nosema ceranae* in *Apis mellifera*: a 12 years postdetection perspective. *Environ. Microbiol.* 20, 1302–1329. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14103>
- Martín-Hernández, R., Meana, A., Prieto, L., Salvador, A.M., Garrido-Bailon, E., Higes, M., 2007. Outcome of colonization of *Apis mellifera* by *Nosema ceranae*. *Appl. Environ. Microbiol.* 73,

6331–6338. <https://doi.org/10.1128/AEM.00270-07>

- Mayack, C., Naug, D., 2009. Energetic stress in the honeybee *Apis mellifera* from *Nosema ceranae* infection. *J. Invertebr. Pathol.* 100, 185–188. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2008.12.001>

- Piironen, S., Botías, C., Nicholls, E., Goulson, D., 2016. No effect of low-level chronic neonicotinoid exposure on bumblebee learning and fecundity. *PeerJ* 4, e1808. <https://doi.org/10.7717/peerj.1808>

- Piironen, S., Goulson, D., 2016. Chronic neonicotinoid pesticide exposure and parasite stress differentially affects learning in honeybees and bumblebees. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 283, 20160246. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.0246>

- Poissonnier, L.A., Lihoreau, M., Gomez-Moracho, T., Dussutour, A., Buhl, J., 2018. A theoretical exploration of dietary collective medication in social insects. *J. Insect Physiol.* 106, 78–87. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2017.08.005>

- Povey, S., Cotter, S.C., Simpson, S.J., Wilson, K., 2014. Dynamics of macronutrient self-medication and illness-induced anorexia in virally infected insects. *J. Anim. Ecol.* 83, 245–255. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12127>

- Schmid-Hempel, R., Tognazzo, M., 2010. Molecular divergence defines two distinct lineages of *Crithidia bombi* (Trypanosomatidae), parasites of bumblebees. *J. Eukaryot. Microbiol.* 57, 337–345. <https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.2010.00480.x>

- Povey, S., Cotter, S.C., Simpson, S.J., Wilson, K., 2014. Dynamics of macronutrient self-medication and illness-induced anorexia in virally infected insects. *J. Anim. Ecol.* 83, 245–255. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12127>

- Schmid-Hempel, R., Tognazzo, M., 2010. Molecular divergence defines two distinct lineages of *Crithidia bombi* (Trypanosomatidae), parasites of bumblebees. *J. Eukaryot. Microbiol.* 57, 337–345. <https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.2010.00480.x>

- Tritschler, M., Vollmann, J.J., Yañez, O., Chejanovsky, N., Crailsheim, K., Neumann, P., 2017. Protein nutrition governs within-host race of honey bee pathogens. *Sci. Rep.* 7, 14988. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15358-w>

- Wright, G.A., Nicolson, S.W., Shafir, S., 2018. Nutritional physiology and ecology of honey bees. *Annu. Rev. Entomol.* 63, 327–344. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043423>

Introduction

Self-medication is a taxonomically widespread phenomenon referring to behavioural decisions leading individuals to collect or consume substances either to prevent (“prophylactic self-medication”) or to combat infection (“therapeutic self-medication”) (Hart, 1990). The criteria that define self-medication are: (1) the substance must be collected intentionally; (2) the substance has detrimental effects for the parasite; and consequently (3) benefits the fitness of the host; (4) the substance is harmful for parasite-free hosts if ingested at same levels as infected individuals (Abbott, 2014).

Several studies in solitary insects show that individuals are capable of self-medication by adjusting their consumption of nutrients in food. For instance, caterpillars *Spodoptera littoralis* infected by pathogenic viruses or bacteria increase their intake of protein (Lee et al., 2006; Povey et al., 2014) to stimulate their immune system. Recently, however, it was proposed that dietary self-medication could also be an efficient mean to limit pathogen spread in a social group (Poissonnier et al., 2018). In this case, it is expected that the individuals in charge of food collection adjust their collection of nutrients in response to their own infection status as well as that of all other individuals in the colony.

Social bees are an excellent model to study these complex behavioural responses. In these species, the foragers collect nectar and pollen in order to reach target ratios of protein, carbohydrates and lipids that address the divergent nutrient needs of all other colony members (Wright et al., 2018). Previous experiments indicate that bees parasitized by the gut microsporidia *Nosema ceranae* increase their consumption of high quality pollen (Ferguson et al., 2018) and that bees fed pollen supplement show reduced mortality (Jack et al., 2016; Tritschler et al., 2017), suggesting that collective dietary medication may occur.

N. ceranae is an emergent parasite of bees, transmitted with the consumption of the infective spores in contaminated food or water, that can lead to colony losses (Martín-Hernández et al., 2018). Its effects are mostly described in honey bees (e.g. changes on metabolism, immune response or behaviour (Martín-Hernández et al.,

2018) but there is little knowledge about how this parasite affects wild bee species, primarily because of the difficulty to control infection under lab conditions (Fürst et al., 2014; Piironen and Goulson, 2016).

Here, I explored dietary self-medication in bumblebees exposed to *N. ceranae*. First, I developed an experimental protocol to infect bumblebees with *N. ceranae*, by exposing individuals to controlled amounts of parasite spores and maintaining them on artificial diets varying in their protein to carbohydrate ratios. Second, I analysed how individual bumblebees regulate their intake of protein and carbohydrates when challenged by *N. ceranae*.

Methods

Bumblebees

I used 500 bumblebees (*Bombus terrestris*) obtained from 4 commercial colonies (Biobest, Belgium) free of parasites (e.g. tested in a polymerase chain reaction (PCR) for *N. ceranae* (Martin-Hernandez et al., 2007), *N. bombi* (Klee et al., 2006), *C. bombi* (Schmid-Hempel and Tognazzo, 2010)). During all the experiments bumblebees were kept individually in a Petri dish at 26°C, with a 12 h light: 12 h dark cycle

Parasites

I obtained *N. ceranae* spores (confirmed in a PCR PCR (Martin-Hernandez et al., 2007)) from the abdomen of naturally infected honey bees (*Apis mellifera*) in our apiary (CRCA, University of Toulouse) by following standard purification protocols (Fries et al., 2013). I estimated the spore concentration of the solution using a haemocytometer (Cantwell, 1970) in a light microscope ($\times 400$) and adjusted the inoculum to 15000 spores/ μ L in 20% (w/v) sucrose solution.

Artificial diets

I designed two liquid diets that varied in their ratio of protein to carbohydrates (P:C). A low-protein high-carbohydrate diet (P:C 1:207) or a high-protein low-carbohydrate diet (P:C 1:6). Carbohydrates were supplied as sucrose (Euromedex, France) and proteins consisted in a mixture of casein and whey (4:1) (Nutrimuscle, Belgium). Both diets had a fixed total P + C content of 170 g/L and 0.5% of vitamin mixture for insects (Sigma, Germany). Diets were delivered to bees in an Eppendorf tube (with a drinking hole at its basis) in the Petri dish.

Experimental infection

I developed a protocol to infect bees with *N. ceranae* at sublethal doses. I isolated 200 bees in a Petri dish each and starved them for 5 h. I then delivered with a pipette a drop of sucrose solution (20%; w/v) free of parasite or with 300,000 *N. ceranae* spores. To reduce variations in spore dosage, I only kept those bumblebees that drank the entire drop of sucrose within 2 hours. I then provided these bumblebees either the low-protein diet (n=47 control and 48 exposed) or the high-protein diet (n= 46 control and 49 exposed) for 20 days. Everyday, I refilled the diets and removed the dead bumblebees that were used to estimate their survival rate. At the end of the experiment, I analysed the presence of *N. ceranae* in the gut of every bumblebee using a PCR (Martin-Hernandez et al., 2007). I analysed the survival of bumblebees considering three infection statuses: control (non-fed with *Nosema*), exposed (fed with *Nosema* + negative in PCR) or infected (fed with *Nosema* + positive in PCR).

Feeding assays

To test whether bumblebees differently regulate their nutrient intake when challenged by *N. ceranae*, I measured protein and carbohydrate consumption by bumblebees fed artificial diets. I used 300 bumblebees. Following the infection protocol (see above) I created a control group and a *Nosema*-exposed group. Exposed and control bumblebees were then assigned to three different conditions: non-choice of P:C 1:6 (N=50 each), non-choice of P:C 1:207 (N =50 each), choice between P:C 1:6 and P:C 1:207 (N=50 each). I maintained the bumblebees in these conditions for 16 days. Everyday, I replaced the diet, measured the food consumption by weighting the tubes with a precision balance (Mettler Toledo, Barcelona) and removed dead bumblebees. At the end of the experiment I analysed the presence of *N. ceranae* in a PCR in the gut of all the bumblebees (Martin-Hernandez et al., 2007).

Results

Experimental infection

PCR results of the bumblebee gut samples informed about the efficiency of the infection. In total, 52.17% (48 out of 92) of the bumblebees exposed to *N. ceranae* spores became infected. Note that 5.5% (5 out of 90) of bumblebees were infected in the control group suggesting that

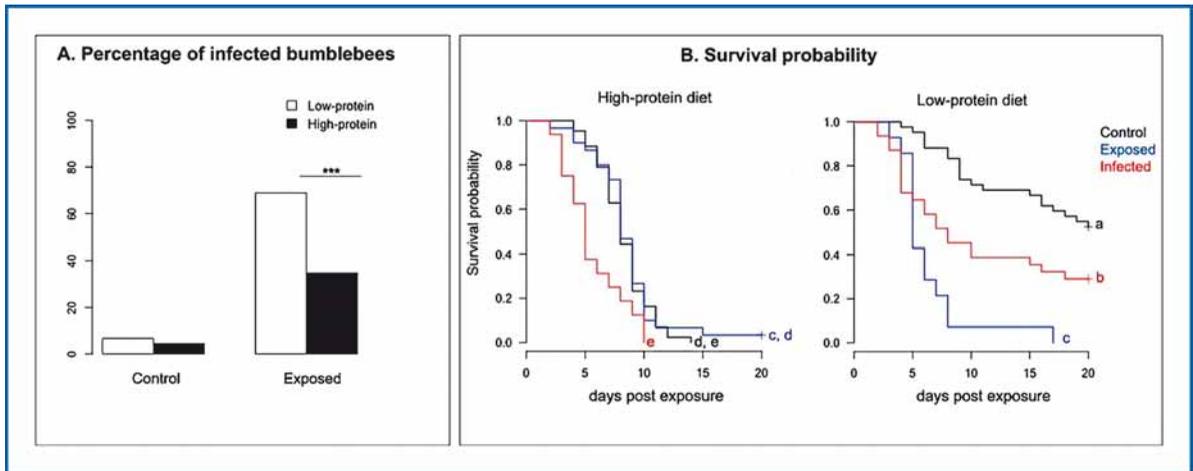


Figure 1: A. Percentage of infected bumblebees per diet. (GLM_{binomial}; $p < 0.001$). B. Survival probability of bumblebees in the high-protein and low-protein diet. Different letters show statistical differences between groups (Post hoc Tuckey test after Cox-regression model, $p < 0.05$).

colonies were not entirely free of parasites. These samples were discarded from further analyses. The proportion of bumblebees infected varied substantially between diets (Figure 1). *N. ceranae* was more prevalent in bumblebees fed P:C 1:207 (69.56%; 32 out of 46) than P:C 1:6 (34.78%; 16 out of 46) (GLM_{binomial}: $z = 3.26$, $p = 0.001$). Therefore, feeding on a low-protein diet induced highest infection rates.

Diet affected the lifespan of bumblebees by causing a faster mortality in individuals fed the high-protein diet than those fed the low-protein diet (Figure 1B; Cox: $z = -5.25$, $p < 0.001$). In the low-protein condition, exposure to *N. ceranae* further reduced the survival of bumblebees (Figure 1B). Interestingly, infected bumblebees survived longer than exposed bumblebees (i.e. non-infected; Figure 1B). Therefore, both parasite exposure and infection had negative effects on the survival of bumblebees maintained on the high-protein diet.

Behavioural assays

PCR results of the bumblebee gut samples informed about the parasite prevalence in the three diet conditions. The prevalence of *N. ceranae* significantly varied among diet conditions ($X^2=12.778$; $p = 0.0016$), with 66.6% (30 out of 45) of infected bumblebees in the low-protein condition, 41.6% (20 out of 28) in the high condition, and 30.6% (15 out of 49) in the choice condition.

N. ceranae negatively affected the survival of the bumblebees in all the diet conditions

(Figure 2A). Bumblebees died faster in the high-protein condition, which is in agreement with our first experiment (Figure 1B).

Measures of diet consumption showed how bumblebees regulate their intake of carbohydrates and proteins (Figure 2B). The nutrient consumption of bumblebees deviates from a random choice indicating that they actively regulate their macronutrient intake. This regulation was different between groups, with a significantly higher intake of proteins by exposed bumblebees than by control bumblebees.

Discussion

Many animals change their feeding decisions to combat parasites and pathogens. Here I showed that individual bumblebees exposed to the gut parasite *N. ceranae* increase their intake of protein, which reduces the probability of the parasite to establish in the host, suggesting the occurrence of dietary self-medication in a social insect.

My study established and validated an experimental protocol for successfully infecting bumblebees with controlled doses of parasites. My novel protocol reached average levels of infection success that were much higher than in all previous published attempts in this species (34%, (Fürst et al., 2014) 0-3% (Piiroinen et al., 2016; Piiroinen and Goulson, 2016)). While spore dosage, time of starvation or age control may explain some of the differences between my pro-

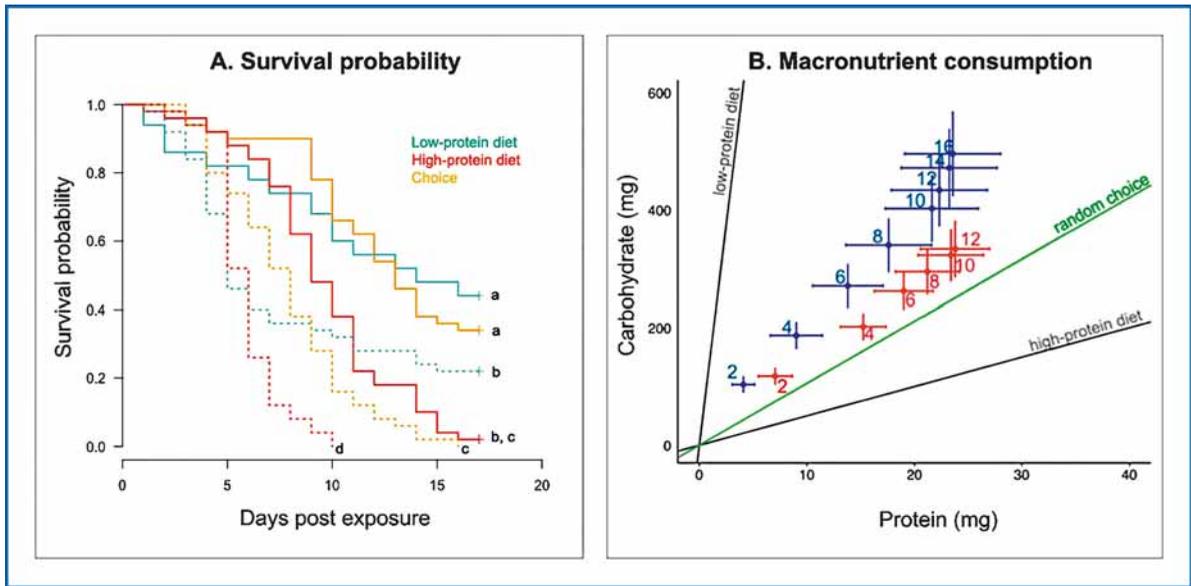


Figure 2: **A.** Survival of bumblebees during the 16 days after parasite exposure. Solid lines: control bumblebees; dashed lines: exposed bumblebees. Letters show the differences between groups (Post hoc Tuckey test after Cox-regression model. $p < 0.05$). **B.** Average cumulated consumption of carbohydrates and protein by control (blue) and exposed (red) bees along the experiment. Grey lines represent the diet ratios. The green line represents the random choice. Numbers show the days after parasite exposure. Error bars show the 95% CI.

to col and previous ones (Fürst et al., 2014; Graystock et al., 2013; Piironen et al., 2016), diet composition is clearly a key factor determining the infection success. Using my approach, 52% of the bumblebees were infected on average, and up to 70% of them in the low-protein condition. The low-protein high-carbohydrate diet led to higher parasite prevalence suggesting that nutrient levels influence the parasite germination and its establishment in the host. While protein may help stimulate a stronger immune response (Lee et al., 2006), carbohydrates may benefit the establishment of the parasite that exploits the carbohydrate metabolism of its host for energy (Mayack and Naug, 2009). Bumblebees survived longer in the low-protein high-carbohydrate diet. However, *N. ceranae* decreased the survival of the bumblebees, especially those fed with the parasite but non-infected (i.e. exposed), suggesting that the mechanism to clear the parasite may have higher costs than the tolerance to the infection.

Using this novel approach, I demonstrated that individual bumblebees adapt their nutritional choices after an exposure to *N. ceranae*, a behavioural response resembling dietary self-medication. Exposed bumblebees actively chose

proteins (first criteria of self-medication (Abbott, 2014) leading to a lower prevalence level (i.e. least proportion of bumblebees infected in the choice condition), and therefore a reduction of parasite fitness (second criteria for self-medication (Abbott, 2014)). In caterpillars, increased protein consumption boosts the immune system and help them to combat the infection by a virus (Lee et al., 2006). Whether a similar impact on the immune response occurs in bumblebees needs further exploration. Host fitness (third criteria for self-medication (Abbott, 2014)), explored as survival, is not increased as exposed bees died faster than control bees for the same condition. Since bumblebees are social insects, where all workers are sterile and work for the reproduction of the queen, survival is not a direct measure of fitness. In these societies, however, the lowest parasite prevalence observed in the choice condition may significantly reduce the transmission of parasite among conspecifics and benefit the entire colony (Poissonnier et al., 2018). Whether the amount of macronutrients ingested by exposed bumblebees in the choice has detrimental effects in non-infected individuals was not tested here (fourth criteria to self-medi-

cation (Abbott, 2014)). However, the higher mortality observed in the high-protein condition suggests that an over consumption of proteins is toxic for bees.

Experiments to further test this hypothesis as well as the effect of this food regulation at the colony level are the next steps to fully characterize a self-medication behaviour in bumblebees. In the worrying context of pollinator population declines (Klein et al., 2017), understanding how bees adjust their diets in relation to external treats such as parasites and pathogens could be used for developing therapeutic actions, for ins-

tance by providing colonies appropriate mixes of nutrients allowing to reduce infection rates and spread.

Acknowledgements

I thank the Fyssen Foundation to support this research with a Post doctoral grant. I thank the Research Center on Animal Cognition for hosting me. I am also grateful to Cindy Streiff (M2 Reims), Tristan Durand (M2 Toulouse) for their help with the experiments, and Mathieu Lihoreau, Cristian Pasquaretta and Philipp Heeb for the productive discussions.

Le neuropeptide anxiolytique oxytocine peut-il faciliter le sentiment de peur ?

Arthur LEFEVRE

Post doctoral researcher – Central Institute of Mental Health – University of Heidelberg, Mannheim, Germany.

Résumé

L'oxytocine (OT) est une neurohormone produite par le cerveau qui agit dans l'amygdale pour réduire l'expression de la peur et de l'anxiété. Pourtant, certaines études ont montré que l'OT pouvait parfois augmenter l'expression de la peur. Afin d'étudier les bases neurales de cet effet contre intuitif, nous nous sommes focalisés sur le noyau paraventriculaire du thalamus (PVT), une région afférente à l'amygdale nécessaire au sentiment de peur et fortement innervée par des fibres oxytocinergiques. Nous avons mis en évidence chez le rat une large population de neurones exprimant le récepteur à l'oxytocine dans le PVT et projetant vers l'amygdale. De plus, la stimulation optogénétique des fibres oxytocinergiques dans le PVT augmente l'expression de la peur contextuelle. Cela suggère que l'OT peut réduire ou augmenter l'expression de la peur selon la région cérébrale dans laquelle elle agit. Cette découverte pourrait expliquer les résultats contradictoires trouvés dans les études sur l'homme, et ainsi améliorer le développement de thérapies ciblant le système oxytocinergique.

Mots clés

Oxytocine, thalamus, peur, rats, optogénétique

Can anxiolytic neuropeptide oxytocin facilitate fear

Abstract

Oxytocin (OT) is a neurohormone produced by the brain that acts in the amygdala to reduce fear expression and anxiety. However, results have been found in which OT seems to increase fear expression. To investigate the neural basis of this counter intuitive effect, we focus on the paraventricular nucleus of the thalamus (PVT), a region strongly innervated by OT fibers and a necessary input to the amygdala to produce fear expression. We found that in rats there is a strong expression of OT receptor in the PVT, and that these neurons project to the amygdala. Furthermore, optogenetic activation of OT fibers in the PVT increased context dependent fear expression. This suggests that OT can both reduce and/or increase fear expression, in a region dependent manner. This finding might explain the contrasted results found in human studies, and thus be important for the development of OT-based medication.

Keywords

Oxytocin, fear, thalamus, optogenetic, rats

Introduction

L'oxytocine (OT) est un neuropeptide synthétisé par l'hypothalamus des mammifères (Ginevich et al., 2014). D'abord connu pour son rôle dans l'accouchement et la lactation, il a été découvert plus récemment que l'OT agissait

directement dans le cerveau pour modifier le comportement social, la peur et l'anxiété, la douleur, l'appétit ainsi que d'autres fonctions (Gimpl and Fahrenholz, 2001 ; McCall and Singer, 2012). Ces propriétés de l'OT ont attiré beaucoup d'attention de la part des chercheurs et des cliniciens qui espèrent l'utiliser pour traiter diverses

pathologies. Ainsi, pendant la dernière décennie, de nombreux essais cliniques ont été conduits, dans lesquels l'OT a été administrée par voie intra nasale à des patients souffrants de stress post traumatique, d'anxiété sociale, d'autisme, de schizophrénie, d'obésité, et d'autres conditions. Malheureusement, en comparaison avec les effets positifs assez clairs obtenus chez l'animal, les résultats des essais chez l'homme sont plus contrastés (Lefevre and Sirigu, 2016).

Trouver l'origine de cette contradiction pourrait accélérer le progrès bio médical et avoir des conséquences positives pour toutes les pathologies mentionnées précédemment, en plus d'améliorer notre compréhension de l'impact des neurohormones sur la régulation de l'activité cérébrale.

Afin de comprendre ce paradoxe, nous nous sommes focalisés sur un effet bien compris de l'OT, la réduction de l'expression de la peur (Hasan et al., 2019). L'expression de la peur chez le rongeur est caractérisée par un immobilisme complet (« freezing ») lors de l'exposition à un stimulus effrayant. Ce comportement est principalement régulé par l'amygdale, une région du cerveau limbique. Plus précisément, les neurones efférents de l'amygdale projettent vers des structures du tronc cérébral, dont l'activation provoque le freezing (**Fig. 1**).

Chez le rat, il a été démontré que les neurones à OT de l'hypothalamus projettent des axones vers l'amygdale centrale, où des récepteurs à OT sont exprimés par des interneurons. Ces interneurons inhibent les neurones efférents de l'amygdale (**Fig. 1**). La libération d'OT dans cette aire réduit la durée de freezing chez un rat exposé à un stimulus effrayant (Knobloch et al., 2012).

L'amygdale est innervée par un grand nombre de régions qui régulent son activité, parmi lesquelles le noyau paraventriculaire du thalamus (PVT) (Penzo et al., 2015). Cette aire est connue pour être nécessaire à l'expression de la peur et des expériences ont montré que l'activation des neurones du PVT projetant vers l'amygdale augmentait le freezing, mais que l'inhibition de ces mêmes neurones réduisait la durée de freezing (Do-Monte et al., 2015). Ainsi, le PVT est une structure cérébrale nécessaire à l'expression de la peur en agissant en amont de l'amygdale.

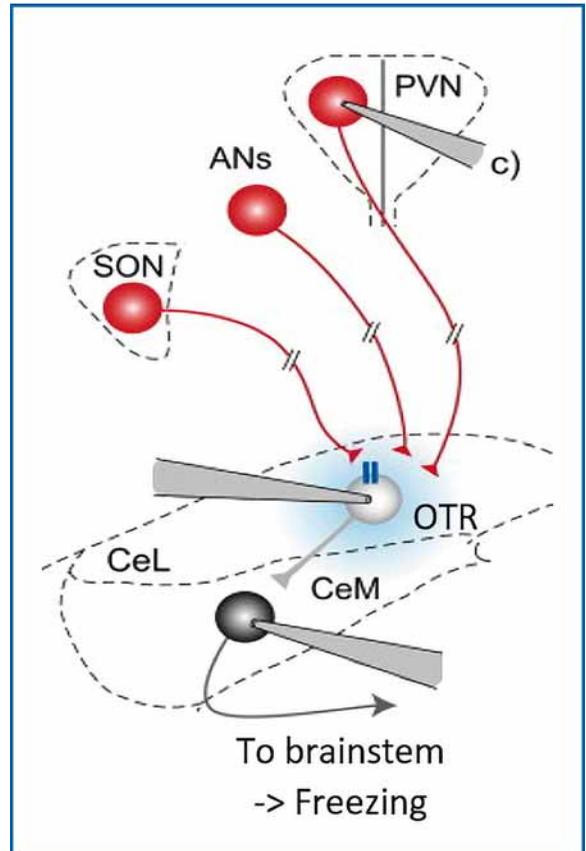


Figure 1 : Les neurones à OT dans l'hypothalamus (en rouge) projettent vers l'amygdale centrale où ils activent les interneurons de la partie latérale, qui à leur tour inhibent les neurones de l'amygdale centro-médiale.

Bien que le PVT soit une des régions du cerveau recevant le plus de fibres ocytocinergiques (Knobloch et al., 2012), le rôle de l'OT dans cette structure n'a jamais été étudié. Étant donné que les neurones du PVT provoquent le freezing en modulant l'activité de l'amygdale, cela en fait un candidat idéal comme région dans laquelle l'OT pourrait inverser ses effets comportementaux classiques. Par conséquent, nous avons fait l'hypothèse que la libération d'OT dans le PVT peut augmenter le freezing chez le rat. Cela implique que le récepteur à l'OT devrait être présent dans le PVT et que les neurones s'y trouvant et exprimant ce récepteur envoient des axones vers l'amygdale.

Afin de tester ces hypothèses, nous avons utilisé des techniques virales et optogénétiques combinées à un paradigme de conditionnement à la

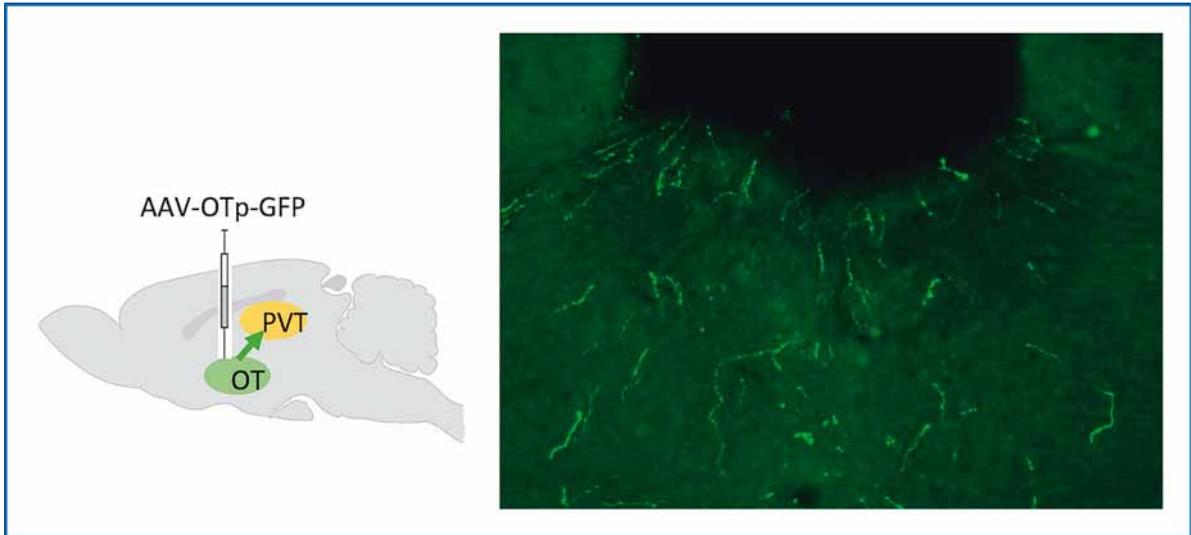


Figure 2 : Gauche. Schéma de l'injection du virus. Droite. Fibres exprimant la GFP dans le PVT.

peur. Nous travaillons avec des rats femelles (Wistar) car les effets anxiolytiques de l'OT dans l'amygdale ont été très bien décrits chez la femelle, et nous pourrions ainsi comparer nos résultats obtenus dans le PVT avec ces découvertes antérieures.

Méthodes et Résultats

Virus

La technique principale de ce projet est basée sur les virus adeno associés (AAV), qui peuvent cibler sélectivement une population de neurones spécifiques (e.g., les neurones à OT) et leur faire exprimer une ou des protéines (e.g., protéine fluorescente verte (GFP)). Ainsi, j'ai injecté stéréotaxiquement des virus dans le cerveau de rats (sous anesthésie générale). L'expression du virus dépend du promoteur qu'il comporte (e.g., le promoteur à l'OT) que nous choisissons et incluons à nos virus. Par exemple, le virus AAV-OTp-GFP fera exprimer uniquement aux neurones à OT la GFP.

Optogénétique

L'optogénétique est une technique qui permet d'activer spécifiquement une population de neurones définie. On injecte d'abord un virus exprimant la protéine ChannelRhodopsin2 (ChR2), qui est un canal ionique sensible à la lumière, dans les neurones à OT (AAV-OTp-ChR2). Puis, les rats sont implantés avec une fibre optique au dessus de la région dans laquelle nous souhaitons activer les fibres ocytocinergiques (le PVT).

Enfin, durant les expériences de comportements, nous connectons la fibre optique implantée avec un laser, ce qui permet de délivrer de la lumière dans le PVT et d'activer les axones exprimant la ChR2 (et donc de libérer de l'OT dans le PVT).

Expérience 1a

J'ai en premier lieu confirmé la présence de fibres ocytocinergiques dans le PVT. Pour ce faire, j'ai injecté le virus AAV-Otp-GFP dans les noyaux paraventriculaires (PVN) de 3 rats (**Fig. 2, gauche**). Après avoir collecté et tranché les cerveaux, j'ai pu observer au microscope à fluorescence que de nombreux axones dans le PVT exprimaient la GFP, indiquant leur nature ocytocinergique (**Fig. 2, droite**). Ainsi, j'ai pu conclure que les neurones à OT du PVN projetaient des axones vers le PVT. Ce résultat a été confirmé par une approche immunohistochemique (résultats non montrés ici).

Expérience 1b

Une expérience complémentaire a été menée pour savoir si les neurones à OT projetant vers le PVT étaient les mêmes que ceux projetant vers l'amygdale, puisque ce type de neurone est capable de projeter des axones vers plusieurs régions à la fois. Pour étudier cette possibilité, j'ai employé le virus modifié de la rage, qui permet de retracer les connexions de manière rétrograde. Ce virus entre dans les neurones puis « remonte » une synapse. Ainsi, j'ai pu identifier les cellules projetant vers l'amygdale et vers le PVT. J'ai

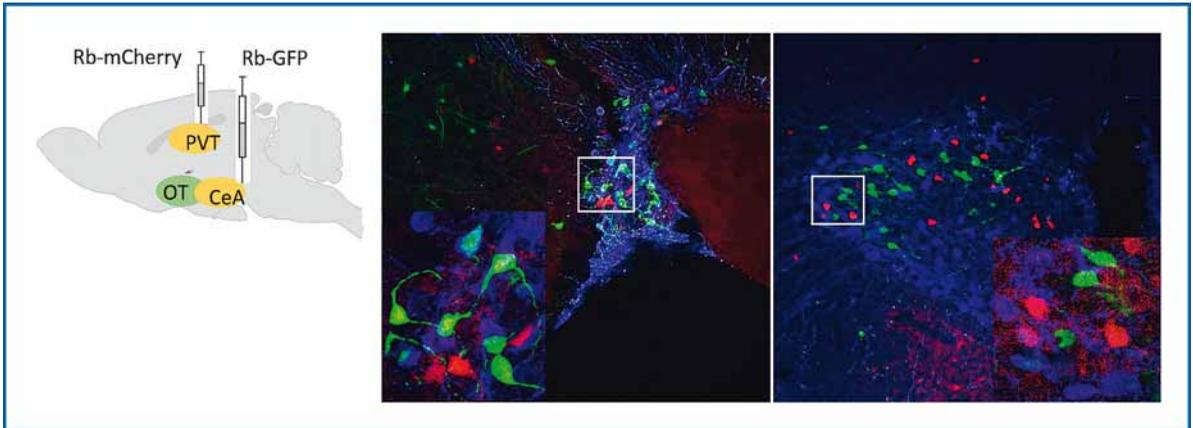


Figure 3. Gauche. Schéma des injections de virus. Milieu et droite. Neurones de l'hypothalamus projetant vers l'amygdale (en vert) ou le PVT (en rouge). Les neurones à OT sont marqués en bleu.

injecté un virus de la rage exprimant la GFP dans l'amygdale, et un virus exprimant la protéine fluorescente rouge (RFP) dans le PVT (**Fig. 3**).

En regardant dans le PVN, je n'ai trouvé aucun neurone exprimant la GFP et la RFP simultanément, ce qui indique que les neurones à OT projettent soit vers l'amygdale, soit vers le PVT. Cela suggère que l'OT est libérée de manière indépendante dans ces deux régions.

Expérience 1c

La présence de fibre ocytocinergique n'est pas toujours corrélée à la présence du récepteur à l'OT. Pour montrer l'existence de ce récepteur dans le PVT, j'ai utilisé des rats transgéniques exprimant la protéine Cre dans les cellules exprimant le récepteur à l'OT. Ainsi, en injectant dans le PVT un virus dont l'expression est régulée par Cre, j'ai pu exprimer la GFP uniquement dans les neurones exprimant le récepteur à l'OT.

En analysant les cerveaux, j'ai trouvé une forte expression de la GFP dans le PVT, indiquant la présence de nombreuses cellules exprimant le récepteur à l'OT (**Fig. 4**).

De plus, en étudiant les projections axonales de ces neurones du PVT exprimant le récepteur à l'OT, j'ai trouvé qu'ils envoyaient de nombreuses fibres dans l'amygdale et dans le noyau accumbens (**Fig. 5**).

Expérience 2

Ayant obtenu ces résultats positifs au niveau anatomique, j'ai décidé d'étudier le rôle de l'OT dans le PVT au niveau comportemental. Pour ce

faire, j'ai utilisé la méthode de l'optogénétique décrite auparavant pour provoquer la libération de l'OT dans le PVT. 10 rats ont été injectés bilatéralement dans le PVN avec la Chr2 (AAV-OTp-ChR2-RFP, groupe test), et 10 rats avec la GFP (AAV-OTp-RFP, groupe contrôle dans lequel la lumière n'activera pas les fibres ocytocinergiques). De plus, une fibre optique a été implantée juste au dessus du PVT (**Fig. 6**). Grâce à cela, j'ai pu manipuler les fibres ocytocinergiques du PVT d'une manière spécifique (les autres fibres ne sont pas activées) et très précise temporellement et spatialement (la Chr2 s'active et se désactive grâce à la lumière en 1 ou 2 ms).

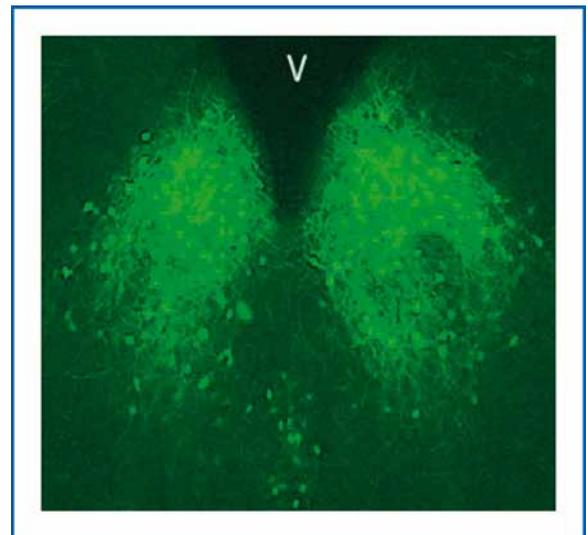


Figure 4 : En vert, des neurones exprimant le récepteur à l'OT dans le PVT

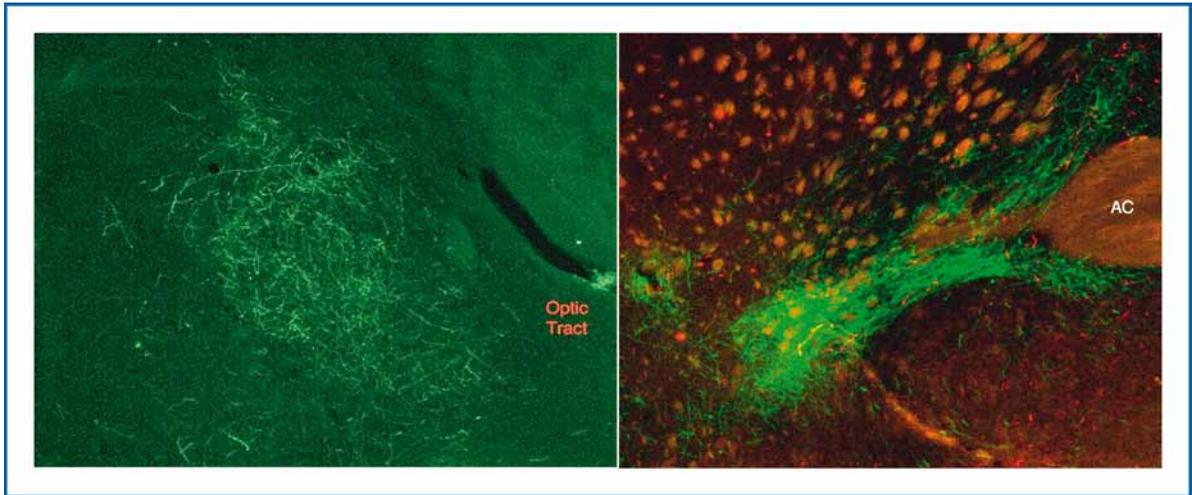


Figure 5 : Fibres (en vert) provenant des neurones du PVT exprimant le récepteur à l'OT, dans l'Amygdale (gauche) et le noyau accumbens (droite)

Un mois après avoir récupéré de la chirurgie, les rats ont pris part à deux expériences de comportements, visant à étudier leurs comportements d'anxiété et de peur :

Le test du champ ouvert : le sujet est placé dans une arène vide (60×60 cm) pour étudier leur anxiété. Après 3 minutes d'habituation, le PVT a été illuminé grâce au laser et à la fibre optique

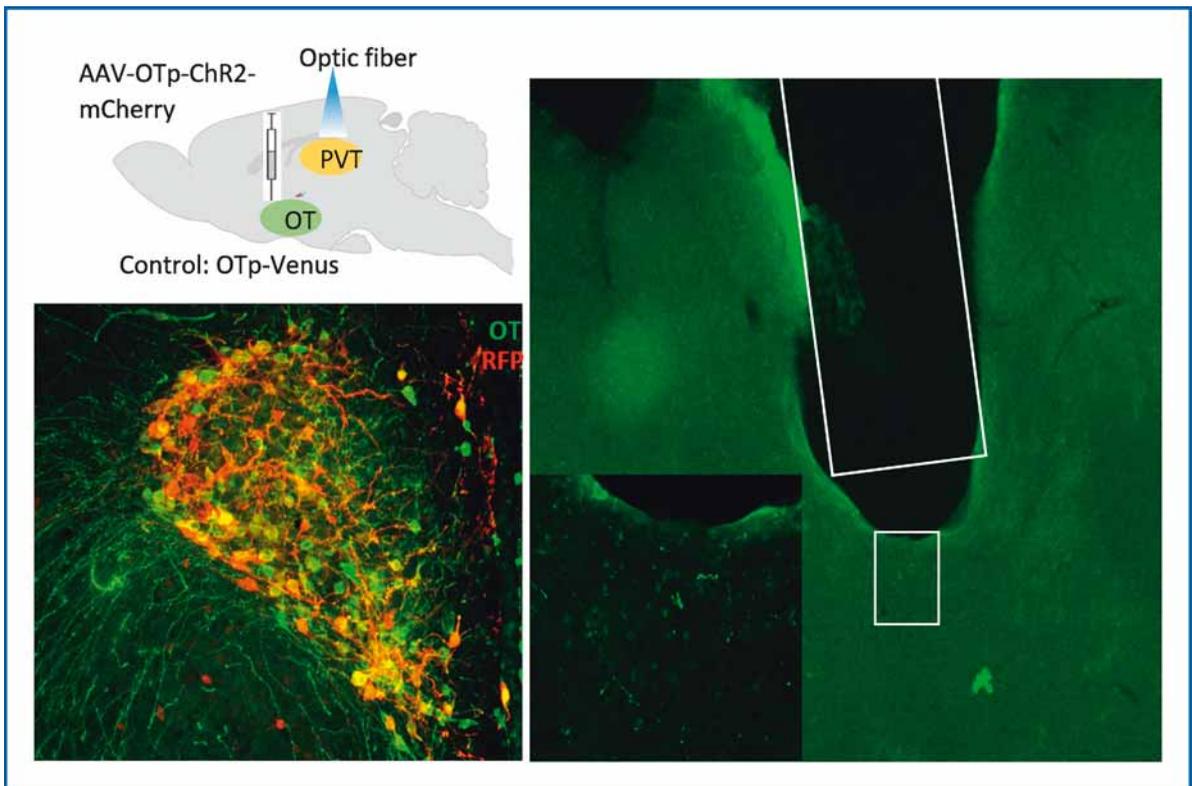


Figure 6 : Haut. Schéma d'injection et d'implantation. Bas. Colocalisation entre la ChR2 et l'OT. Droite. Vérification du site d'implantation.

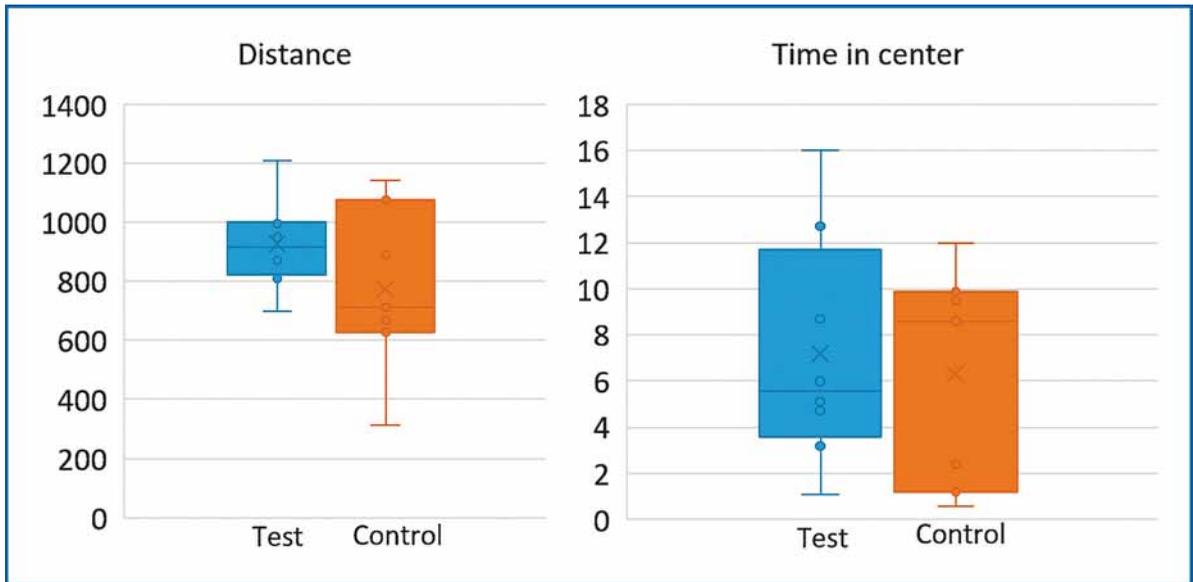


Figure 7 : Gauche. Distance parcourue en cm. Droite. Temps en seconds passé au milieu de l'arène. Le groupe test est en bleu et le groupe contrôle en orange.

pendant 2 minutes, puis l'activité du rat a été enregistrée pendant 5 minutes supplémentaires.

En analysant la distance parcourue, et le temps passé au centre de l'arène par les rats (deux indicateurs du niveau d'anxiété), j'ai pu constater que la stimulation par optogénétique n'avait pas d'effets significatifs sur ces comportements, que ce soit avant, pendant ou après l'activation des fibres OT ($p > 0.05$, **Fig. 7**).

Conditionnement à la peur : une semaine après le test du champ ouvert, les rats ont subi 2 sessions de conditionnement à la peur (deux jours consécutifs). Ils ont ainsi été placé dans une boîte pendant 20 minutes, dans laquelle ils ont reçu 7 chocs électriques de faible intensité (0,4mA) distribués aléatoirement dans le temps. Le troisième jour, les rats ont été remis dans cette même boîte (désormais provoquant la peur chez eux) pour une nouvelle session de 20 minutes, cette fois ci sans chocs électriques. Au bout de 5 minutes, le PVT a été illuminé grâce au laser pendant 2 minutes pour voir si la libération d'OT dans le PVT augmentait le freezing associé à ce contexte.

En regardant la durée de freezing, j'ai trouvé qu'il n'y avait pas de différence significative entre le groupe test et le groupe contrôle avant et après la stimulation par optogénétique, mais qu'en revanche, durant l'illumination du PVT, les rats

tests (exprimant la Chr2) ont montré plus de freezing que le groupe contrôle ($P < 0.05$, **Fig. 8**). Bien que les rats tests aient également montré plus de freezing dans les 3 minutes suivant la stimulation, cette différence n'est pas significative.

Discussion

Pris ensemble, ces résultats amènent de nouvelles informations originales à propos du système ocytocinergique. Premièrement, j'ai démontré que les neurones à OT de l'hypothalamus, et principalement du PVN, projettent des axones vers le PVT. Deuxièmement, j'ai montré l'existence de neurones dans le PVT exprimant le récepteur à l'OT et projetant des axones vers l'amygdale. Enfin, les résultats comportementaux suggèrent que ce réseau est important pour la régulation du sentiment de peur contextuelle.

Au niveau anatomique, ces découvertes dévoilent une nouvelle voie modulant l'activité de l'amygdale. En effet, si les connexions entre neurones à OT du PVN et l'amygdale d'une part et entre le PVT et l'amygdale d'autre part sont bien connues, on pensait ces réseaux indépendants. Le fait qu'une sous population de neurones à OT, distincts de ceux projetant vers l'amygdale, envoient des fibres dans le PVT est donc très intéressant car cela permet de relier deux réseaux en un et de suggérer que l'OT régule

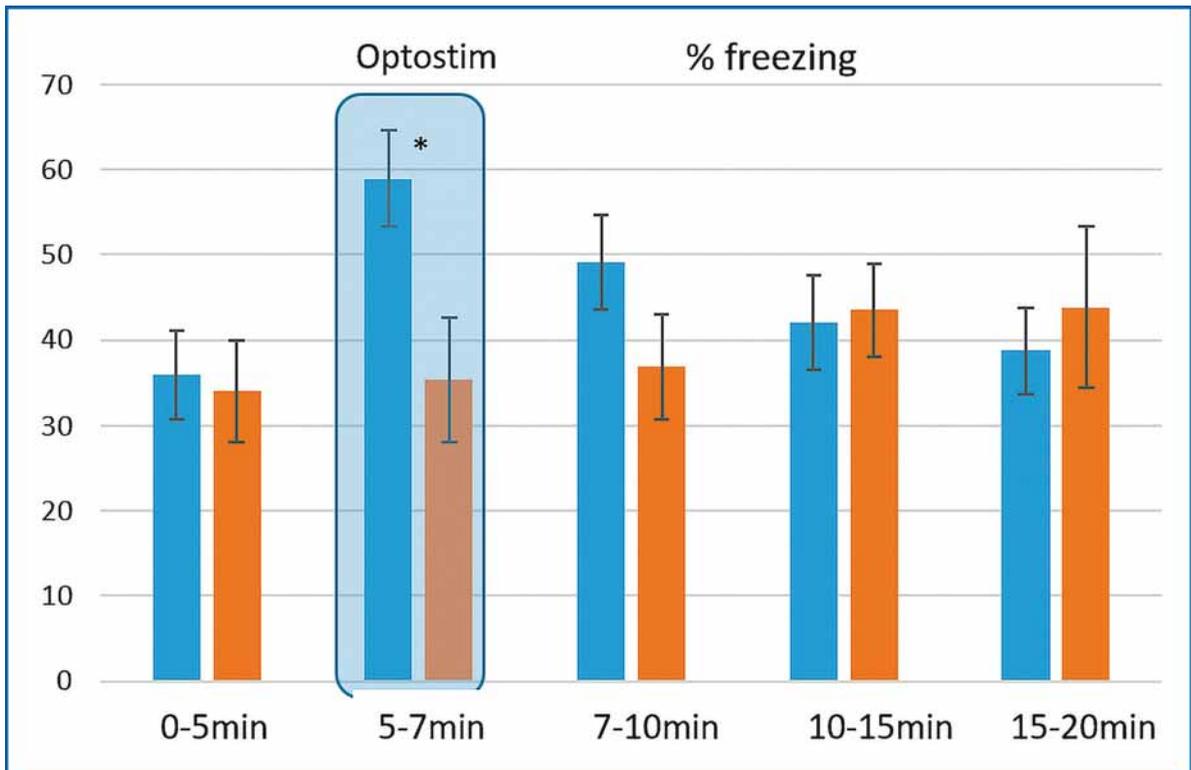


Figure 8 : Pourcentage du temps passé par les rats en comportement de freezing. Le groupe test est en bleu et le groupe contrôle en orange. L'astérisque indique une différence significative.

l'activité de l'amygdale de manière directe et indirecte. Cela est résumé dans le schéma ci dessous (**Fig. 9**).

Au niveau comportemental, j'ai trouvé que la stimulation optogénétique des fibres OT dans le PVT ne semble pas influencer le niveau d'anxiété général, comme les divers paramètres mesurés dans le champ ouvert ne différaient pas entre le groupe test et le groupe contrôle.

Cependant, lors du test de conditionnement à la peur, j'ai trouvé que l'activation des fibres ocytocinergiques dans le PVT provoquait l'augmentation de la durée de freezing. Cela signifie que la connexion entre les neurones à OT du PVN et le PVT influence l'expression de la peur associée à un contexte sans agir sur le niveau d'anxiété en général. Un potentiel biais impliquant le comportement moteur est également à proscrire étant donné que les rats des groupes test et contrôle ont

“L'ocytocine peut augmenter ou diminuer l'expression de la peur selon la région du cerveau dans laquelle elle agit”

parcouru la même distance lors du test du champ ouvert. Combiné aux résultats anatomiques obtenus dans ce projet, nous pouvons inférer que certains neurones à OT projettent directement vers l'amygdale où ils activent les interneurons exprimant le récepteur à l'OT, ce qui inhibe les neurones de l'amygdale centro-médiale (qui projettent vers d'autres régions et sont responsables du freezing). De plus, une autre sous population

de neurones à OT contactent des neurones du PVT qui projettent vers l'amygdale où ils agissent probablement sur des interneurons n'exprimant pas le récepteur à l'OT (voir **Fig 9**). Pour résumer, cela signifie que l'ocytocine peut augmenter ou diminuer l'expression de la peur selon la région du cerveau dans laquelle elle agit.

Le présent travail a des limitations. Premièrement, je n'ai utilisé que des rats femelles, ce qui signifie que, au vu du dimorphisme sexuel du

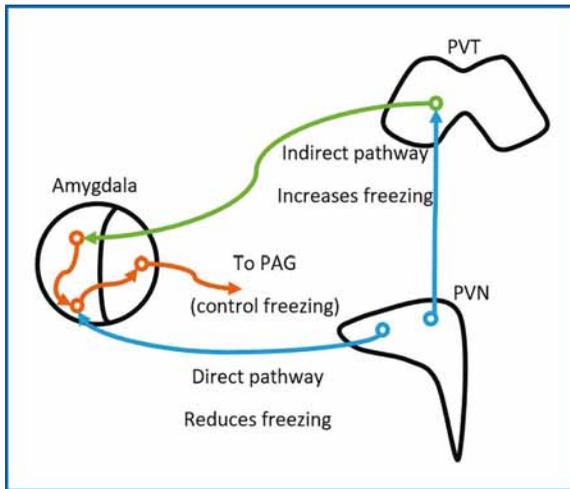


Figure 9 : Représentation schématique du réseau mis en évidence. Les neurones à OT (en bleu) influencent l'amygdale directement via des projections vers les interneurons (en orange) ce qui réduit l'information qu'envoie l'amygdale aux autres structures, et donc réduit le freezing ; ou bien indirectement via le PVT qui est constitué de neurones excitateurs (en vert) qui auraient l'effet inverse de l'OT sur l'amygdale et donc augmenterait le freezing.

système ocytocinergique, ces découvertes ne sont pas nécessairement transférables chez le mâle. Deuxièmement, plus d'expériences, notamment au niveau électrophysiologique, sont requises pour confirmer les aspects mécanistiques inférés dans cette étude. Cela permettrait d'aller plus en détail sur l'interaction entre la voie directe et indirecte proposée dans la Figure 9 par exemple.

Enfin, l'aspect le plus intéressant de ce projet est la quantité de nouvelles questions qu'il soulève. En effet, le PVT est connu pour être impliqué dans la régulation de plusieurs fonctions comportementales, qui sont aussi affectées par le système ocytocinergique. Par exemple, la stimulation du PVT augmente l'appétit, augmente la prise de produit addictifs, augmente la sensibilité à la douleur, etc, (Beas et al., 2018 ; Betley et al., 2013 ; Kirouac, 2015). Or, tous ces effets sont opposés aux effets « classiques » de l'OT, qui provoque la satiété, l'analgésie, la réduction de la prise de drogue, etc. Ainsi le PVT pourrait être une région que l'OT module pour contre balancer ses propres effets, potentiellement afin d'auto réguler son action sur le comportement. Cette perspective augmenterait drastiquement notre compréhension des neuropeptides en général,

puisque nous savons que d'autres neuropeptides que l'OT sont présents dans le PVT.

Conclusion

Pour conclure, j'ai mis en évidence une nouvelle voie connectant le système ocytocinergique de l'hypothalamus au PVT, qui est impliquée dans la régulation de l'expression de la peur, d'une manière opposée à ce que fait classiquement l'OT dans l'amygdale. Cela pourrait en partie expliquer pourquoi les études chez l'homme, qui administrent l'OT par voie intranasale, trouvent parfois des résultats contradictoires à ceux attendus (Eckstein et al., 2015). De futures études de ce réseau permettront de mieux comprendre l'action complexe de l'OT sur la régulation du cerveau dans son ensemble et ainsi favoriser la création de nouveaux médicaments.

Remerciements

Je tiens à remercier Pr Valery Grinevich pour la qualité de son encadrement ainsi que les membres du département « Neuropeptide research for Psychiatry » qui m'ont aidé tout au long de la réalisation de ce projet.

Ce travail n'aurait pu se faire sans le support de la fondation Fyssen, envers laquelle je suis très reconnaissant de m'avoir financé.

Bibliographie

- Beas, B.S., Wright, B.J., Skirzewski, M., Leng, Y., Hyun, J.H., Koita, O., Ringelberg, N., Kwon, H.-B., Buonanno, A., Penzo, M.A., 2018. The locus coeruleus drives disinhibition in the midline thalamus via a dopaminergic mechanism. *Nat. Neurosci.* 21, 963–973. <https://doi.org/10.1038/s41593-018-0167-4>
- Betley, J.N., Cao, Z.F.H., Ritola, K.D., Sternson, S.M., 2013. Parallel, redundant circuit organization for homeostatic control of feeding behavior. *Cell* 155, 1337–1350. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.11.002>
- Do-Monte, F.H., Quiñones-Laracuate, K., Quirk, G.J., 2015. A temporal shift in the circuits mediating retrieval of fear memory. *Nature* 519, 460–463. <https://doi.org/10.1038/nature14030>
- Eckstein, M., Scheele, D., Patin, A., Preckel, K., Becker, B., Walther, A., Domschke, K., Grinevich, V., Maier, W., Hurlmann, R., 2015. Oxytocin Facilitates Pavlovian Fear Learning in Males. *Neuropsychopharmacol. Off. Publ. Am.*

Coll. Neuropsychopharmacol. <https://doi.org/10.1038/npp.2015.245>

- Gimpl, G., Fahrenholz, F., 2001. The Oxytocin Receptor System: Structure, Function, and Regulation. *Physiol. Rev.* 81, 629–683.

- Grinevich, V., Desarménien, M.G., Chini, B., Tauber, M., Muscatelli, F., 2014. Ontogenesis of oxytocin pathways in the mammalian brain: late maturation and psychosocial disorders. *Front. Neuroanat.* 8, 164. <https://doi.org/10.3389/fnana.2014.00164>

- Hasan, M.T., Althammer, F., Silva da Gouveia, M., Goyon, S., Eliava, M., Lefevre, A., Kerspern, D., Schimmer, J., Raftogianni, A., Wahis, J., Knobloch-Bollmann, H.S., Tang, Y., Liu, X., Jain, A., Chavant, V., Goumon, Y., Weislogel, J.-M., Hurlemann, R., Herpertz, S.C., Pitzer, C., Darbon, P., Dogbevia, G.K., Bertocchi, I., Larkum, M.E., Sprengel, R., Bading, H., Charlet, A., Grinevich, V., 2019. A Fear Memory Engram and Its Plasticity in the Hypothalamic Oxytocin System. *Neuron*. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.04.029>

- Kirouac, G.J., 2015. Placing the paraventricular nucleus of the thalamus within the brain circuits that control behavior. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 56, 315–329. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.08.005>

- Knobloch, H.S., Charlet, A., Hoffmann, L.C., Eliava, M., Khrulev, S., Cetin, A.H., Osten, P., Schwarz, M.K., Seeburg, P.H., Stoop, R., Grinevich, V., 2012. Evoked Axonal Oxytocin Release in the Central Amygdala Attenuates Fear Response. *Neuron* 73, 553–566. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.11.030>

- Lefevre, A., Sirigu, A., 2016. The two fold role of oxytocin in social developmental disorders: A cause and a remedy? *Neurosci. Biobehav. Rev.* <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.01.011>

- McCall, C., Singer, T., 2012. The animal and human neuroendocrinology of social cognition, motivation and behavior. *Nat. Neurosci.* 15, 681–688. <https://doi.org/10.1038/nn.3084>

- Penzo, M.A., Robert, V., Tucciarone, J., De Bundel, D., Wang, M., Van Aelst, L., Darvas, M., Parada, L.F., Palmiter, R.D., He, M., Huang, Z.J., Li, B., 2015. The paraventricular thalamus controls a central amygdala fear circuit. *Nature* 519, 455–459. <https://doi.org/10.1038/nature13978>

Introduction

Oxytocin (OT) is a neuropeptide synthesized by the hypothalamus of mammals (Grinevich et al., 2014). First known for its role in parturition and lactation, it was more recently found to act directly in the brain where it regulates social behavior, fear and anxiety, pain, feeding and others functions (Gimpl and Fahrenholz, 2001; McCall and Singer, 2012). These properties of OT have attracted a lot of attention from researchers and clinicians who hope to use OT as a drug to treat various pathologies. Thus, during the last decade, a large number of clinical studies have been conducted, in which OT was intranasally administered to patients suffering of PTSD, social anxiety, autism, schizophrenia, obesity, and other conditions. Unfortunately, in comparison to the relatively clear effects obtained in animal models, results from human experiments were rather contradictory (Lefevre and Sirigu, 2016). Finding the origins of this discrepancy could accelerate biomedical research progress and have positive consequences for all the aforementioned pathologies, in addition to extend our knowledge about how neurohormones regulate brain activity and behavior.

To understand this paradox, we decided to focus on a relatively well understood effect of OT in rodents, namely, the downregulation of fear expression (Knobloch et al., 2012; Hasan et al., 2019). Fear expression in rodents is characterized by freezing behavior, which is characterized by immobility of the animal, in response to exposure to a stimulus (sound, odor, environmental context, etc.) associated with fear. This behavior is mainly regulated by the amygdala. More precisely, the output neurons of the central amygdala are projecting to brainstem regions, and their activation is responsible for freezing behavior (**Fig. 1**; from Knobloch et al., 2012).

In rats, it has been demonstrated that OT neurons from the hypothalamus project axons to the central amygdala where the OT receptor is expressed on interneurons. These interneurons are inhibiting the output of amygdala (**Fig. 1**) (LeDoux, 1992; Tovote et al., 2015). Release of OT in this area reduces the time a rat freeze in a context previously associated with fearful stimulation (e.g., painful electric shock) (Knobloch et al., 2012).

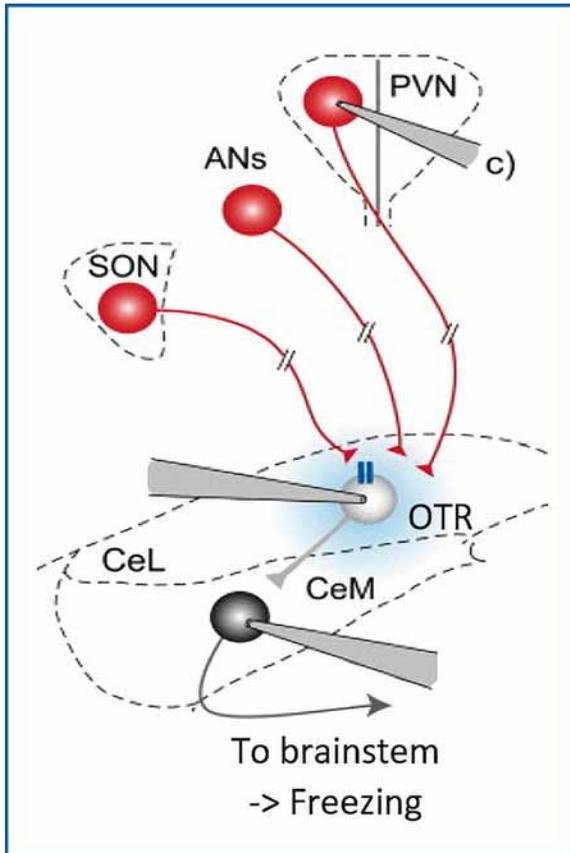


Figure 1: OT Neurons in hypothalamus project towards central amygdala where they activate lateral interneurons, which in turn inhibit centro-median interneurons.

Amygdala is innervated by a large number of areas that regulate its activity, among which the paraventricular nucleus of the thalamus (PVT) (Penzo et al., 2015). This region is known to be necessary for the expression of fear, as experiments have shown that activation of PVT neurons projecting to the amygdala increases freezing time but that inhibition of this PVT to amygdala pathway reduces the time spent freezing (Do-Monte et al., 2015). Thus, the PVT has been considered as a brain structure, which is necessary for fear expression via the amygdala.

Intriguingly, while the PVT is one of the areas receiving the most inputs from OT neurons (Knobloch et al., 2012), the role of OT in this region has never been studied. Given that PVT neurons are eliciting freezing by modulating amygdala activity, it thus makes a promising

candidate region in which OT could increase freezing, as opposed to its known anxiolytic effects when this neuropeptide is released within the amygdala. Therefore, I hypothesized that OT release in the PVT can increase the expression of fear. This implies at least two hypotheses at the anatomical level: 1) It means that in the PVT, neurons are expressing the OT receptor (indeed, the presence of OT fibers does not imply the presence of the OT receptor), and 2) PVT neurons expressing OT receptor are sending axonal projections to the amygdala.

To test these hypotheses, I used viruses and optogenetic tools combined with the behavioral paradigm of contextual fear conditioning. I worked with female rats, because the anxiolytic effects of OT in the amygdala have been very well described in this species (Hasan et al., 2019; Huber et al., 2005; Knobloch et al., 2012; Viviani et al., 2011). Thus, I will be able to compare our results obtained in the PVT with these previous findings.

Methods and Results

Viruses

The main tool I used was the recombinant adeno-associated viruses (AAV), which can selectively target a specific population of neurons (e.g., OT neurons) and make them express a protein of interest (e.g. green fluorescent protein, GFP). Thus, I performed stereotactic injections of the virus in the brain of anesthetized rats. The virus expression is dependent on a promoter (e.g., OT promoter, OTp) that I choose and incorporate into the vector. For instance, the virus AAV-OTp-GFP will express GFP only in OT neurons.

Optogenetics

Optogenetics is a technique that allows to selectively activate a specific population of neurons and their distant processes (in our case, OT neurons). First, I injected a virus expressing Channelrhodopsin2, a protein which is light sensitive ion channel, under the OT promoter (AAV-OTp-ChR2). Additionally, I implanted the rats with optic fibers located above the region in which I wanted to activate OT fibers (i.e., the PVT). Second, during behavioral experiments, I connected the implanted optic fiber to a laser, in order to selectively activate the axons

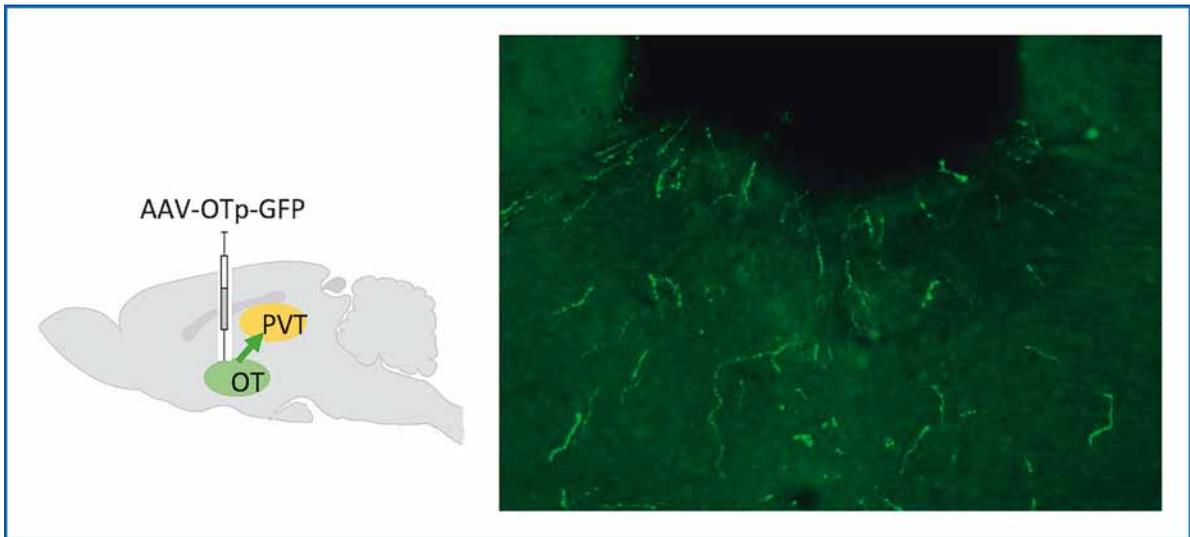


Figure 2: Left. The virus was injected in hypothalamic areas containing OT neurons. Right. Fibers expressing GFP were found in the PVT.

expressing Channelrhodopsin2 in the PVT, in a timely precise manner to release OT from them.

Experiment 1a

I first tried to reproduce the initial finding that the PVT is heavily innervated by fibers containing OT. To do so, I injected rats with AAV-OTp-GFP in the hypothalamic nuclei containing OT neurons (paraventricular nucleus, PVN; supraoptic nucleus, SON, and accessory nuclei, AN) (**Fig. 2, left**). After collecting the brains and slicing it, I could observe under evaluation at microscope that a large number of axons expressing GFP and OT were present in the PVT (**Fig. 2, right**). This means that these axons are coming from OT neurons located in the injected areas.

Next, subsequent experiments showed that these OT fibers mostly originated from one hypothalamic nucleus - the PVN. Thus, I concluded that OT neurons in the PVN send axonal projections to the PVT, confirming previous observations of our group (Knobloch et al., 2012).

Experiment 1b

A follow up and important question was then to know if OT neurons projecting to the PVT are the same than the ones projecting to the amygdala, as we know that individual OT neurons can project several collaterals (unpublished). To investigate this possibility, I used a retrograde virus system: the modified rabies virus. This virus is entering the cells in the injected regions, and then “jump”

back one synapse. Thus, I could look at the axonal inputs to the PVT and the ones to the amygdala. I injected a modified rabies virus expressing GFP (Rb-GFP) in the amygdala and a rabies virus expressing Red Fluorescent Protein (Rb-RFP) in the PVT (**Fig. 3**).

By looking at the PVN and SON, I found that OT neurons projecting to the PVT and to the amygdala represent two distinct populations (**Fig. 3**). This suggests that OT can be independently released in these two regions from distinct OT neurons.

Experiment 1c

The presence of OT fibers in the PVT did not necessarily imply that PVT neurons are sensitive to OT. Therefore, to show the presence of OT receptor (OTR) in the PVT, I used recently generated and characterized by us transgenic rats expressing Cre recombinase under the control of OTR promoter. In these animals, I injected in the PVT with a Cre dependent virus (AAV-Ef1a-DIO-GFP) so that GFP will be only expressed in OTR-expressing neurons. At microscopic level, I found a strong expression of GFP in the PVT, notably in the posterior part of this region (**Fig. 4**), indicating that the majority of PVT neurons are expressing the OTRs.

Next, I analyzed projections trajectories of OTR neurons of the PVT in various brain regions and found that they predominantly target the amygdala (specifically, central amygdala) as well

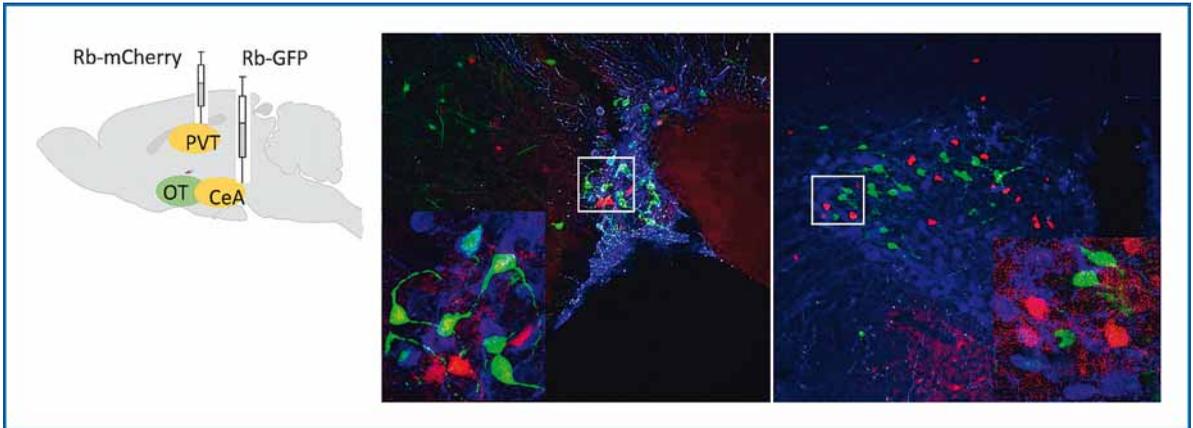


Figure 3: Left. Injection sites of the rabies virus. Neurons in the SON (middle) and PVN (right) projecting to the amygdala (in green) and to the PVT (in red). Oxytocin cells are in blue. zoom in are inserted on the corners, showing no overlap between Green and Red cells. Otx: Optic tract; V: 3rd Ventricle

as the nucleus accumbens, which is a core region of reward circuits (**Fig. 5**).

Experiment 2

The second set of experiment was dedicated to the behavioral role of OT fibers in the PVT. To study this aspect, I used the optogenetic technique. In this experiment, the rats were divided in a test (10 animals) and a control (10 animals) groups. The test group was injected bilaterally with AAV-OTp-ChR2-RFP in the PVN, while the control group received AAV-OTp-RFP, which did not carry ChR2, bilaterally in the PVN (this group was used to control that expressing a protein and shining light in the brain did not influenced the

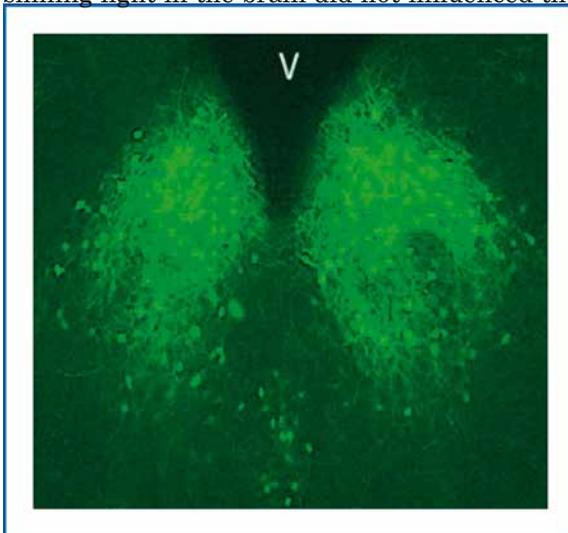


Figure 4: In green, neurons expressing the OT receptor in the PVT. V: Ventricle

results). Optic fiber was implanted above the PVT (**Fig. 6**), permitting selective activation of OT fibers within the PVT in a precise temporal manner.

After recovery from the surgery and sufficient expression of virally-delivered proteins of interest (1 month), rats underwent two behavioral paradigms, aiming to test if OT in the PVT had an influence on anxiety and/or fear expression:

Open field test: rats were placed in an empty arena (60 × 60 cm) to study their anxiety level. After 3 minutes of habituation, the PVT was illuminated with laser blue light for 2 minutes, and another 5 minutes post stimulation were recorded.

I analyzed the distance travelled by the rats and the time spent in the central area (2 parameters that are indicative of anxiety levels), but I did not find any significant difference between the groups before, during or after stimulation with blue light, nor when I looked at the distance travelled across time (all statistical tests $p > 0.05$) (**Fig. 7**).

Contextual fear conditioning: One week after the open field test, rats underwent two sessions of fear conditioning on two consecutive days. They were placed inside a box for 20 minutes each time, with the first 10 minutes being habituation followed by 10 other minutes during which 7 low intensity electric shocks (0.4mA) were randomly administered. On the third day, animals were subjected to a fear retrieval session during which they were placed in the same box (i.e., same

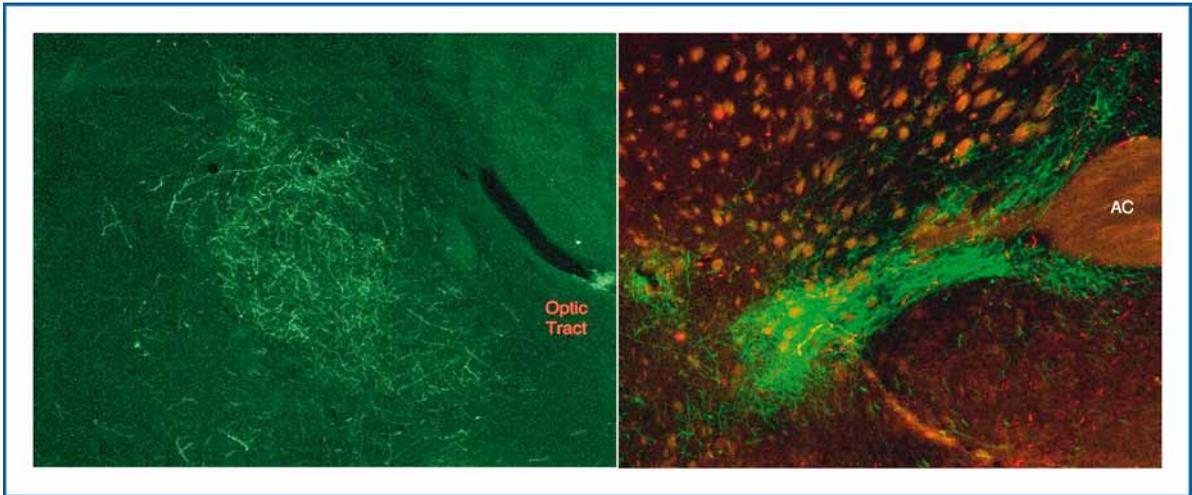


Figure 5. PVT neurons expressing the OT receptor send axonal projections (in green) mainly to the amygdala (left) and the nucleus accumbens (right). AC: Anterior Commissure

environmental context) for 20 minutes. After 5 minutes, the PVT was illuminated for 2 minutes to test whether OT in the PVT would affect the expression of fear associated to this context.

When looking at the time rats spent freezing during this retrieval session, I found that there were no significant differences between the 2 groups before and after stimulation with light,

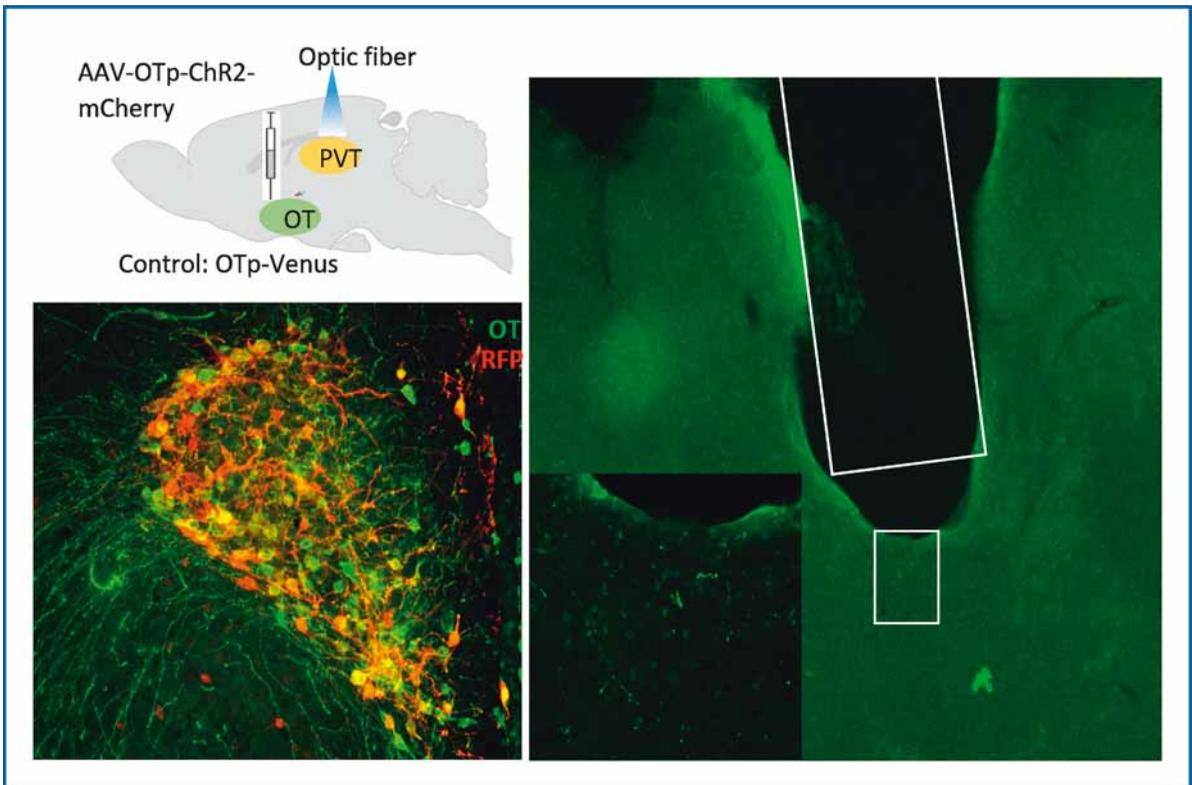


Figure 6: Top left. Virus injection site and optic fiber implantation site. Bottom left. Colocalization between RFP (red) and OT (green). Right. Verification of optic fiber (big white rectangle) implantation site. V: Ventricle

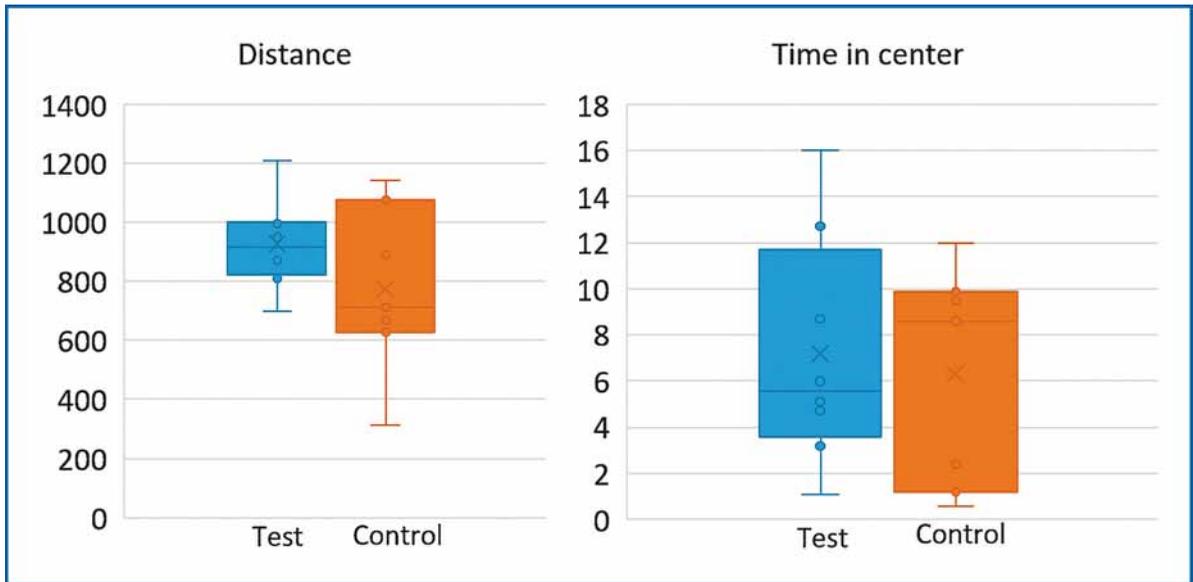


Figure 7: Distance travelled in cm (left) and time spent in seconds in the center of the arena by the test rats (blue) and the control rats (orange).

but that during the 2 minutes in which the PVT was illuminated, the test group (expressing Chr2) spent significantly more time freezing than the control group (Student T test $p < 0.05$) (Fig. 8). Although during the 3 minutes after stimulation the test group was still freezing more than the control group, this difference was not significant.

Discussion

The present results bring novel and original information regarding the anatomy and physiology of the OT system. First, I demonstrated that OT neurons in the hypothalamus, and mainly in the PVN, are projecting axons to the PVT. Second, I have shown that PVT neurons are expressing the OT receptor and that these neurons heavily project in turn to the amygdala. Third, the behavioral results suggest that this network is important for the regulation of fear expression in a context dependent manner.

At the anatomical level, these findings suggest the existence of a novel pathway involved in the regulation of amygdala activity. Indeed, while the OT to amygdala and PVT to amygdala pathways were already known (Knobloch et al., 2012; Penzo et al., 2015), these systems were thought to be independent from each other. The fact that subpopulations of OT neurons, distinctly project

to the CeA and PVT indicates the possibility that OT can regulate amygdala activity via both direct and indirect ways (Fig. 9).

At the behavioral level, I found that optogenetic stimulation of OT fibers in the PVT did not influence anxiety levels, as the various behavioral parameters measured in the open field test were not different between the rats expressing Chr2 (test group) and the rats expressing GFP (controls). However, in the contextual fear conditioning paradigm, I found that the activation of OT fibers in the PVT led to increased freezing time. This means that the OT neurons à PVT pathway modulates contextual fear expression without influencing general anxiety levels, which is a novel finding in respect to known OT actions. An effect on locomotor activity can also be ruled out, because test and control rats travelled the same distance in the open field. Linked to the anatomical evidence, I can hypothesize that a subset of OT neurons project directly to the amygdala where they activate OTR-expressing interneurons, which inhibit amygdala output neurons controlling fear expression, but additionally, a distinct subset of OT neurons innervates PVT neurons which, in turn, send axons to the amygdala where they might activate interneurons inhibiting the interneurons expressing OT receptor (see Fig. 9). This OT-mediated dual control of

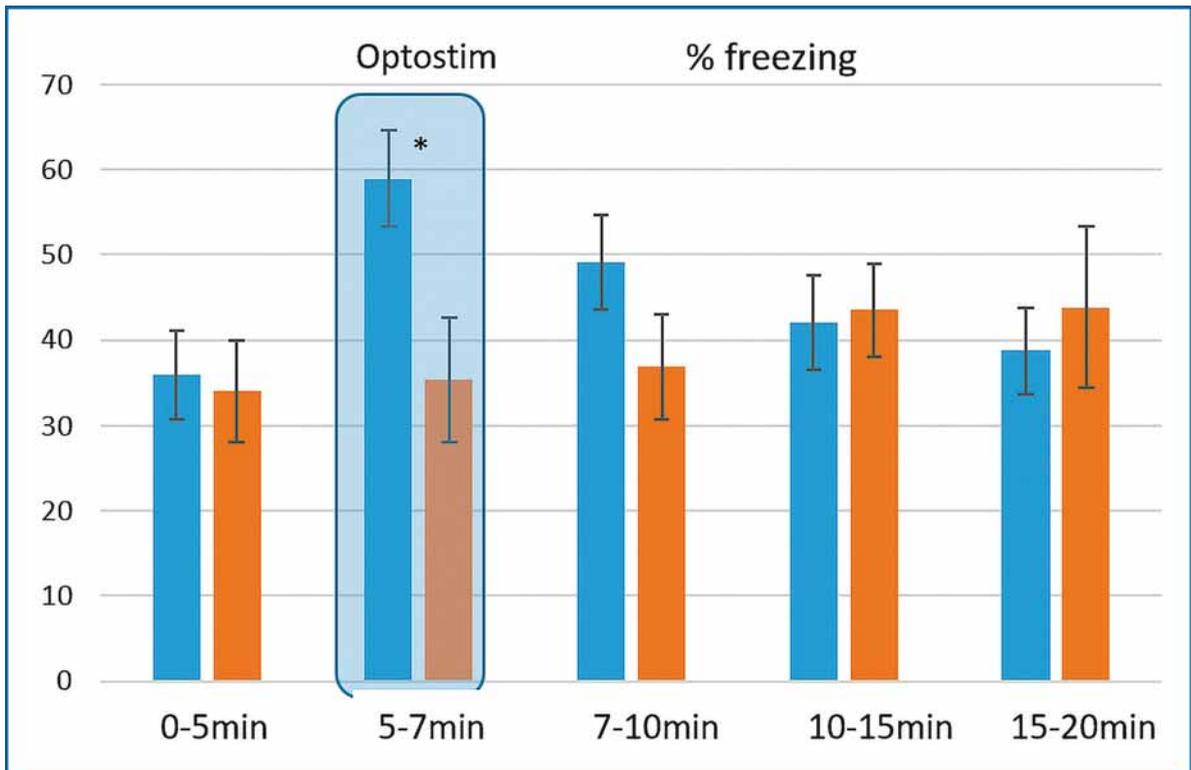


Figure 8: Percentage of time spent freezing by the rats of the test group (blue) and control group (orange). The star indicates that a statistically significant difference was observed during the stimulation with light (between 5 and 7 minutes, blue box).

central amygdala function is under my current investigation. To summarize, this indicates that oxytocin can both increase and decrease fear expression depending on where it acts in the brain.

I should indicate that my present work has some limitations. The first one is that we employed female rats, and given the sexual dimorphism of the OT system, one may expect different effects in males. Second, while these findings look very promising, I still need to confirm its mechanistic aspects at the electrophysiological level, in order to really disentangle the local OT-sensitive circuits within the amygdala.

Finally, the most interesting aspect of this project is the amount of new questions it opens. Indeed, the activation of the PVT increases appetite, drug consumption and pain

sensitivity (Beas et al., 2018; Betley et al., 2013; Kirouac, 2015). All these effects are opposite to the actions classically attributed to OT, including promotion of satiety, analgesia, decreased drug consumption/withdrawal (Gimpl and Fahrenholz, 2001; McCall and Singer, 2012), and thus, the PVT might be seen as an OT-sensitive hub counterbalancing the effects of the same actor - OT - in other

brain circuits. This perspective would enhance our comprehension of neuropeptides in general, as we know

that OT is not the only one present in the PVT.

In conclusion, I have found a novel pathway connecting the OT system and PVT, which is promoting contextual fear expression, contrarily to fear attenuation produced by the same neuropeptide in the amygdala. This might be linked

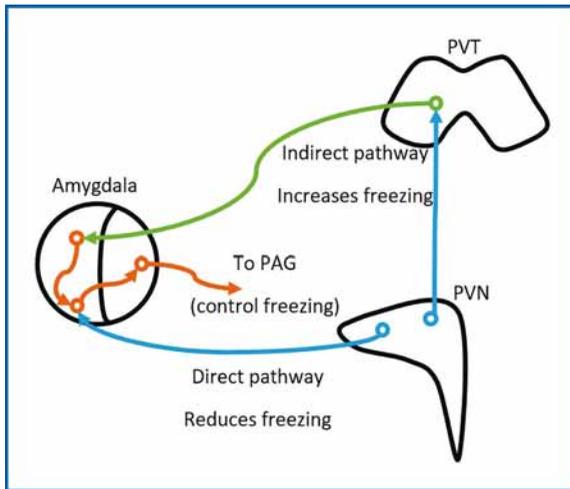


Figure 9: Schematic representation of the proposed network. OT neurons (in blue) influence amygdala activity directly, through projections to inhibitory interneurons (in orange) reducing the amygdala output, which is responsible for freezing behavior via its connection to PAG; or indirectly, through activation of PVT excitatory neurons (in green), which project to amygdala interneurons that in turn inhibit the “direct pathway”.

to, or even explain, why the effects found after intranasal OT application in humans (Eckstein et al., 2015) are sometime opposite to those reported in animal models. Thus, further exploration of this network might lead to better understanding of OT action and ultimately to more refined, mechanism-based drug development of human psychiatric disorders.

Acknowledgements

I am very thankful to Pr Valery Grinevich for the quality of his mentoring as well as to the members of the department Neuropeptide Research for Psychiatry who helped me carrying on this project all along.

This work would not have been possible without the financial support of the Fyssen Foundation, towards which I am very grateful to select me.

Tout dépend du contexte !

L'habenula latérale et son réseau cortical encodent la valence aversive et stressante d'un contexte ; implication dans la rechute à la cocaïne induite par le stress

Victor P. MATHIS

Postdoctorant à Icahn School of Medicine, Mount Sinai, Department of Neuroscience, Icahn School of Medicine at Mount Sinai, New York 10029-6574, USA

Résumé

Le stress est un des facteurs de rechute les plus importants en cas d'addiction aux drogues d'abus. Cependant, le stress peut directement dépendre de notre environnement, du contexte dans lequel nous évoluons. Dans cette étude, nous avons mis en évidence le rôle de l'habenula latérale (HbL) dans l'intégration de la valence aversive d'un contexte, ainsi que l'importance de ses afférences corticales dans la rechute à la cocaïne induite par le stress chez la souris. Grâce à différents outils viraux, nous avons décrit un réseau complexe incluant le cortex préfrontal médian (CPFm), l'HbL et l'aire tegmentale ventrale (VTA). Nous avons également manipulé chez la souris, à l'aide d'outils pharmacogénétiques, l'HbL seule ainsi que la voie CPFm→HbL au cours de différents paradigmes comportementaux dans des contextes émotionnellement chargés. Concernant l'addiction, cette voie semble jouer un rôle important dans la rechute induite par le stress. Ces travaux ouvrent ainsi de nouvelles perspectives dans le traitement des comportements d'addiction.

Mots-clés

Cortex préfrontal médian, habenula latérale, aire tegmentale ventrale, aversion, addiction, rechute induite par le stress

It is all about context !

The lateral habenula and its cortical network encode aversive and stressful contextual information; implication in stress-induced reinstatement

Abstract

Stress is one of the most important factors of relapse in the context of drug use. Nevertheless, feeling stressed might directly depend on our environment, on the context we are facing. Indeed, context itself can drive approach/avoidance behaviours. In this study, we highlighted in mice the role of the lateral habenula (LHb) in processing the aversive valence of a context. Using multiple viral tools, we described a complex network including the medial prefrontal cortex (mPFC), the LHb and the ventral tegmental area (VTA). We further assessed the role of the mPFC→LHb pathway in drug-related behaviours. Thus, we observed that this pathway seems to play a crucial role in stress-induced reinstatement. These findings bring new perspectives in addiction treatments.

Keywords

Medial prefrontal cortex, lateral habenula, ventral tegmental area, aversion, addiction, stress-induced reinstatement

Introduction

La capacité d'adapter notre comportement à la situation à laquelle nous sommes confrontés est primordiale à notre survie et à notre intégration dans la société. Pour cela, notre système nerveux doit prendre en compte notre motivation, nos souvenirs de situations familières, nos émotions et tout particulièrement le stress engendré par la situation. En effet, grâce à cette intégration, nous nous adaptons continuellement à notre environnement. Ainsi, l'intégration d'informations contextuelles et émotionnelles apparaît comme la pierre angulaire de notre capacité d'adaptation et participe à nos prises de décisions. Concernant les comportements d'addiction, le stress se révèle être un facteur de rechute très important^{1,2}. Cependant, tout notre environnement peut être source de stress. Ainsi, mieux comprendre les mécanismes cérébraux sous-jacents à l'intégration d'informations contextuelles et émotionnelles est une étape nécessaire dans l'amélioration des traitements contre les phénomènes de rechute induits par le stress.

À l'heure actuelle, nous connaissons les régions cérébrales individuellement impliquées dans la mémoire³, les émotions⁴, l'intégration du stress^{2,5} ainsi que l'influence des émotions sur nos comportements⁶. Cependant, le réseau fonctionnel regroupant l'ensemble de ces structures mis en jeu lorsqu'un individu appréhende son environnement et met en place la meilleure stratégie comportementale en accord avec ses émotions reste encore méconnu. Récemment, différentes études ont démontré que l'habenula latérale (HbL) joue un rôle majeur dans la détection d'événements positifs (récompenses) mais également aversifs^{7,8}. Il est intéressant de noter que l'inactivation de l'HbL chez des rongeurs peut également induire des déficits mnésiques sévères. En effet, son inactivation pharmacologique induit une incapacité à encoder ou rappeler un souvenir spatial^{9,10}, suggérant un rôle encore méconnu dans l'intégration d'informations contextuelles. De plus, cette structure est un point de convergence anatomique d'informations de provenance du CFPm, des ganglions de la base et du lobe temporal¹¹ et projette directement vers les centres monoaminergiques mésencéphaliques¹² impliqués dans les proces-

sus mnésiques¹³ et motivationnels¹⁴ ainsi que dans la gestion du stress⁵. Cependant, très peu de travaux ont jusqu'alors étudié la voie préfronto-habénulaire. En effet, bien que cette connexion neuro-anatomique ait été décrite chez le rat^{16,17}, seules deux études ont démontré son rôle potentiel dans les comportements sociaux¹⁸ et dans la mémoire de travail¹⁷. Cette dernière étude suggère que les afférences corticales de l'HbL permettraient de manipuler une information dans le but d'adapter son comportement.

Ainsi, dans cette étude, nous avons cherché à mieux décrire le rôle de l'HbL et de ses projections corticales (CPFm, LHb) dans l'intégration d'informations contextuelles aversives lors de tests à forte charge émotionnelle. Par ailleurs, dans le cadre des comportements d'addiction, nous avons cherché à évaluer le rôle de ces projections dans la rechute à la cocaïne induite par le stress.

L'ensemble de nos résultats suggère que 1) l'HbL participe à l'intégration d'informations contextuelles ; 2) ses projections corticales sont nécessaires à l'adaptation comportementale lorsqu'un individu fait face à une situation stressante dans un contexte familier ; 3) l'HbL s'inscrit dans un réseau complexe incluant le CFPm et la VTA, très probablement impliqué dans l'adaptation comportementale.

Résultats

L'habenula latérale participe à l'intégration d'informations contextuelles associées à une émotion négative

À l'aide de la technique d'inactivation pharmacogénétique appelée DREADD, nous avons spécifiquement inactivé l'HbL lors de paradigmes comportementaux associant des émotions positives ou négatives à un contexte. Le DREADD permet, à l'aide de vecteurs viraux injectés au sein de l'HbL, d'exprimer un récepteur (hM4) qui, une fois activé par son ligand (la clozapine-N-Oxyde, CNO) induit l'inhibition des neurones.

Nous avons testé l'effet de cette inactivation lors de deux paradigmes différents. Le premier, appelé conditionnement de peur, consistait à placer les animaux dans un contexte où ils entendaient trois fois un son associé à une décharge électrique au niveau des pattes. Le lendemain, les

animaux ont à nouveau été placés dans le contexte associé aux chocs. Les animaux témoins, n'exprimant pas hM4, ont alors présenté une réponse de peur typique chez les rongeurs, l'immobilité (freezing), alors que l'inhibition de l'HbL chez les animaux hM4 a aboli cette réponse (**Fig. 1a et b**). Il est intéressant de noter que tous les animaux, témoins et inactivés, ont présenté cette réponse de freezing au son dans un contexte différent, démontrant ainsi que l'HbL semble uniquement participer à la réaction de peur à un contexte et non pas à un indice associé à l'événement aversif (son).

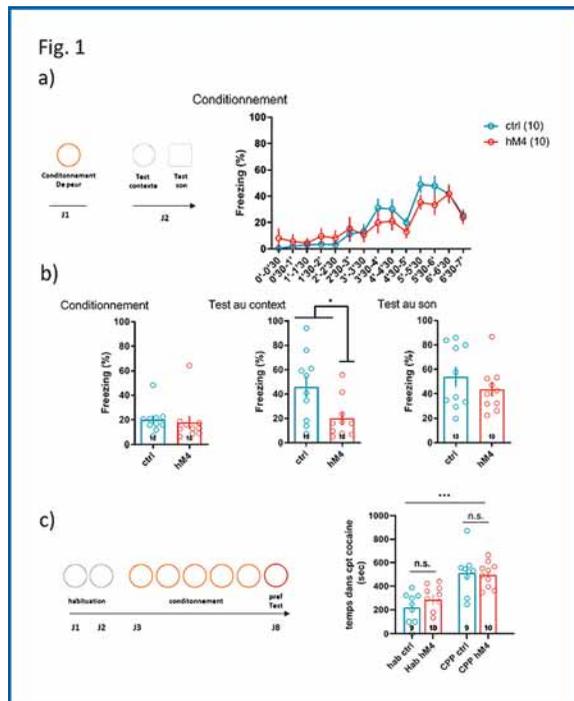


Figure 1 : l'habenula latérale participe à l'intégration d'informations contextuelles aversives

a) Schéma du test de conditionnement de peur. Lors du premier jour (J1) les animaux ont été placés dans un contexte et ont reçu 3 chocs associés à un son. Ce protocole induit une réponse de peur (freezing) chez les souris (a et b graphique de gauche). Un jour après (J2), l'inactivation de l'HbL (en rouge) a induit une absence de freezing au contexte, sans toutefois influencer la réponse au son.

c) Schéma du test de CPP. Après 2 jours de familiarisation (habituation, hab), suite au conditionnement, toutes les souris ont présenté une augmentation du temps passé dans le compartiment associé à la cocaïne, démontrant leur préférence pour ce compartiment du dispositif. Stat : b) * : $p < 0.05$ vs ctrl ; c) *** : $p < 0.001$ vs hab.

Afin de tester un contexte positif, nous avons ensuite utilisé un paradigme de préférence de place (CPP). Les animaux ont été placés dans un dispositif à deux compartiments reliés par un passage, dans le but d'évaluer leur préférence de base pour les compartiments du dispositif. Après cette première expérience, ils ont reçu une injection de saline le matin avant d'être confinés dans un des deux compartiments, puis ont reçu une injection de cocaïne l'après-midi, suivie par le confinement dans l'autre compartiment. Après 5 jours de conditionnement, les souris ont eu accès à l'ensemble du dispositif et nous avons testé leur préférence pour l'un des deux compartiments. Contrairement au conditionnement de peur, toutes les souris ont présenté cette fois une augmentation du temps passé dans le compartiment associé à la cocaïne (**Fig. 1c**), reflet de la préférence pour ce compartiment, suggérant ainsi que l'HbL joue un rôle dans la capacité à associer un contexte à une émotion négative uniquement.

L'habenula latérale se situe au sein d'un réseau complexe incluant le cortex pré-frontal médian

À ce jour, la connexion entre le CPFm et l'HbL a uniquement été décrite chez le rat¹⁶. À l'aide d'un traceur viral rétrograde porteur d'une protéine fluorescente rouge (retro-AAV-TdTomato) injecté au sein de l'HbL de souris, nous avons pu observer des neurones de projection corticaux sur l'ensemble de l'axe antéro-postérieur du CPFm, confirmant ainsi l'existence de cette voie chez la souris (**Fig. 2a et b**). Afin de décrire plus précisément le réseau anatomique incluant l'HbL et le CPFm, nous avons également injecté un retro-AAV couplé à une protéine fluorescente verte (retro-AAV-GFP, **Fig. 2a et b**) au sein de la VTA. Cette dernière est la cible majeure des projections de l'HbL mais est également directement connectée au CPFm. La VTA est notamment connue pour son rôle dans les réponses comportementales aux événements stressants¹⁹. Grâce à cette approche virale, nous avons pu identifier 3 populations distinctes de neurones de projection corticaux : 1) des cellules corticales projetant directement et uniquement à l'HbL (CPFm \rightarrow LHb), 2) des cellules corticales projetant directement et uniquement à la VTA (CPFm \rightarrow VTA) et 3) des cellules corticales projetant directement à la fois à l'HbL et la VTA

(CPFm \rightarrow LHb/VTA) (**Fig. 2a et b**). De façon surprenante, plus de la moitié des cellules du CPFm projetant à l'HbL projettent également à la VTA (CPFm \rightarrow LHb/VTA) (**Fig. 2f**). Nous avons ensuite cherché à savoir si les cellules CPFm \rightarrow LHb projetaient consécutivement à la VTA, créant ainsi une voie parallèle di-synaptique. Pour ce faire, nous avons utilisé la technique de traçage rétrograde monosynaptique grâce au virus pseudorabique (RVAG, **Fig. 1c**). Nous avons fait exprimer aux neurones de l'HbL projetant à la VTA (HbL \rightarrow VTA) la protéine CRE-recombinase (cre) à l'aide d'un retro-AAV-cre. Cette protéine permet à son tour l'expression de virus eux-mêmes nécessaires à l'expression du RVAG au sein de l'HbL. Le RVAG ainsi délivré au sein de l'HbL peut alors marquer tous les neurones en provenance d'autres régions cérébrales projetant sur les neurones HbL \rightarrow VTA. Nous avons alors observé des neurones du CPFm projetant sur les neurones HbL \rightarrow VTA, décrivant pour la première fois une voie CPFm \rightarrow HbL \rightarrow VTA. Ces résultats ont ainsi mis en évidence un réseau complexe regroupant les projections corticales vers l'HbL et la VTA (**Fig. 2e**). Un tel réseau, au sein duquel tous les acteurs semblent intégrer la valence stressante d'une situation, joue très probablement un rôle d'intégration très fine des informations nécessaires à l'adaptation à des situations stressantes.

Contrairement à l'HbL, la voie CPFm \rightarrow HbL n'est pas impliquée dans l'intégration d'un contexte mais permet l'adaptation comportementale face à un stress.

Nous avons alors cherché à décrire le rôle de la voie CPFm \rightarrow HbL dans l'intégration d'un contexte stressant (aversif). Pour cela, nous avons à nouveau utilisé la technique du DREADD. Afin de cibler spécifiquement la voie CPFm \rightarrow HbL, nous avons infecté l'HbL avec le virus retro-AAV-cre, permettant l'expression d'un virus cre-dépendant (FLEX) au sein du CPFm. Les virus dépendants de la cre, FLEX-hM4 ou FLEX-ctrl, ont ensuite été injectés au sein du CPFm. Nous avons alors testé l'inactivation de cette voie lors des tests de conditionnement de peur et de CPP. Contrairement aux expériences précédentes ciblant uniquement l'HbL, l'inactivation de la voie CPFm \rightarrow HbL n'a perturbé ni l'expression de la peur au contexte ni la préférence pour le contexte associé à la cocaïne (**Fig. 3a et b**).

Cependant, le CPFm est particulièrement impliqué dans la flexibilité comportementale et la réponse au stress^{2,20,21}. Nous avons alors cherché à étudier le rôle de la voie CPFm \rightarrow HbL dans le cadre du comportement de rechute de prise de drogue induit par le stress. Pour cela, après le protocole de CPP, les souris ont été exposées aux deux compartiments pendant plusieurs jours sans injection de cocaïne (extinction) (**Fig. 3c**). Après la disparition de la préférence de place, nous avons soumis les animaux au test après les avoir stressés à l'aide d'un agent pharmacologique, la yohimbine ; une augmentation du temps passé dans le compartiment précédemment associé à la drogue étant alors considérée comme une rechute. Cette fois-ci, contrairement aux animaux témoins stressés, les animaux inactivés n'ont pas ré-exprimé de préférence pour le côté associé à la cocaïne (**Fig. 3c**). Ainsi, les projections du CPFm vers l'HbL semblent jouer un rôle majeur lorsque les animaux doivent adapter leur comportement lors d'une situation stressante dans un environnement familier.

Afin de confirmer ces résultats et de vérifier l'aspect spécifique du stress, nous avons eu recours à un autre paradigme comportemental, l'auto-administration (AA) de cocaïne. Ce test est basé sur un apprentissage opérant : les animaux apprennent à appuyer sur un levier pour obtenir une injection intraveineuse de cocaïne. Pour ce protocole, ils devaient effectuer 5 appuis sur le levier dit « actif » pour obtenir une injection (ratio fixe 5, FR5), le levier dit « inactif » n'ayant aucune conséquence programmée. Ce test nécessite un apprentissage intensif qui réduit considérablement l'importance du contexte dans la réponse comportementale des animaux, mais met en exergue les indices associés à la prise de drogue (i.e. allumage d'une lumière au-dessus du levier actif à chaque injection). Dès que les animaux ont présenté des performances stables en FR5, nous avons à nouveau testé l'effet de l'inactivation de la voie CPFm \rightarrow HbL, lors d'une journée d'administration de drogue puis lors de la phase d'extinction (leviers présents mais les appuis ne conduisaient à aucune injection). A nouveau, aucune différence n'a pu être observée entre les animaux témoins et inactivés, ce qui suggère que cette voie n'intervient pas dans la recherche de prise de drogue *per se* (données non présentées). Cependant, après la phase d'extinction, lorsque nous avons stressé les animaux à l'aide de yohim-

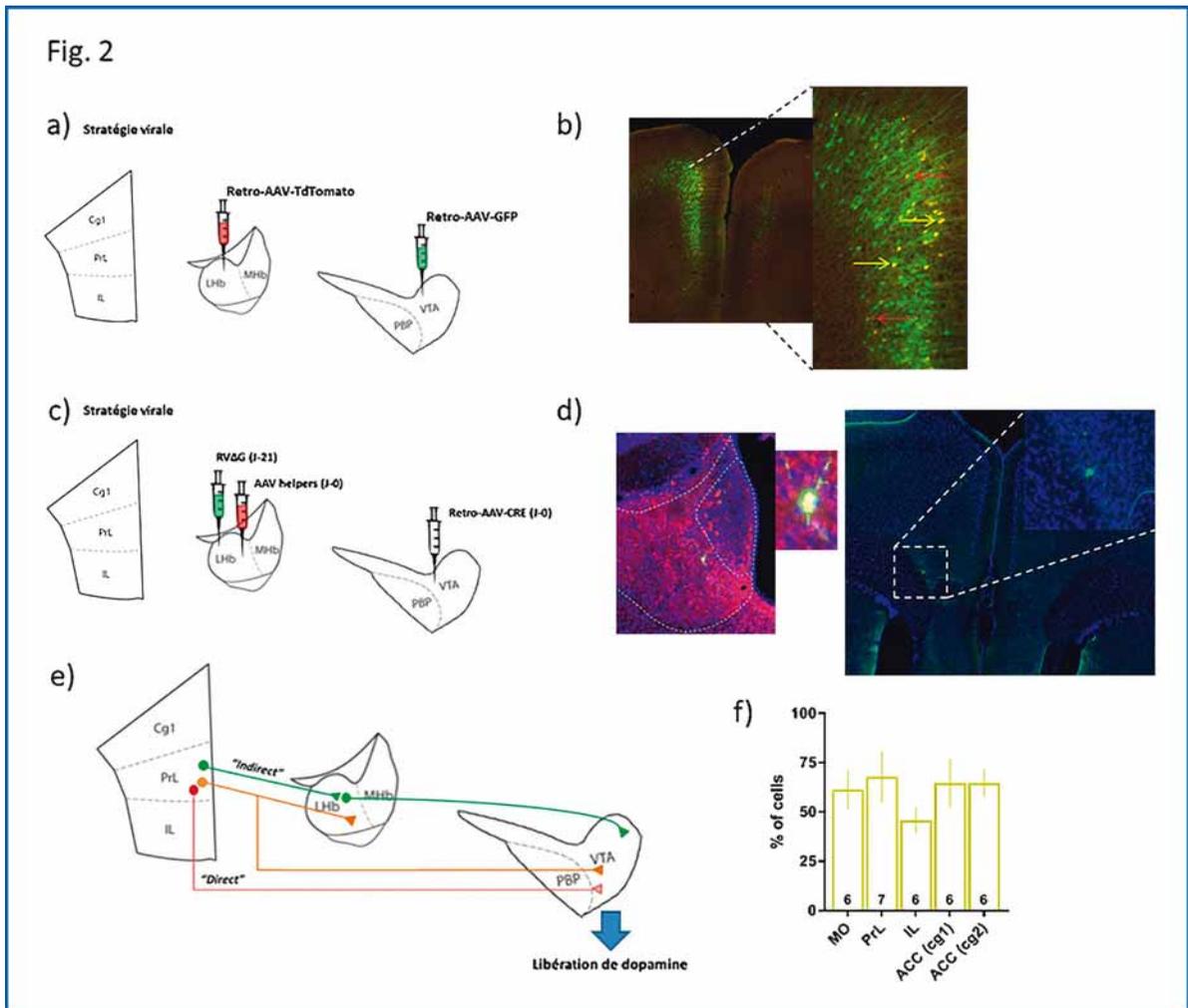


Figure 2 : L'habenula latérale et son réseau complexe impliquant le cortex préfrontal médian.

a) Schéma de la stratégie virale utilisée afin de mettre en évidence les projections corticales vers l'HbL et la VTA. b) Cette stratégie a permis de mettre en évidence des neurones $CPFm \rightarrow LHb$ (rouge), $CPFm \rightarrow VTA$ (vert) et $CPFm \rightarrow LHb/VTA$ (jaune). f) Ainsi nous avons pu observer qu'environ 67 % des neurones $CPFm \rightarrow LHb$ co-projettent à la VTA. c) Schéma de la stratégie virale utilisée afin de mettre en évidence les neurones de l'HbL recevant des afférences corticales et projetant à la VTA. d) photo d'un neurone de l'HbL exprimant tous les virus instillés lors des différentes chirurgies (gauche) et photo d'un neurone du CPFm exprimant le virus rabique, démontrant la connexion CPFm-HbL-VTA (droite). e) Ainsi, le CPFm possède un réseau complexe direct et indirect impliquant des connexions vers l'HbL, la VTA mais également des neurones qui co-projettent directement aux deux régions cérébrales et, enfin, des neurones projetant à l'HbL qui à leur tour projettent à la VTA.

bine, seuls les animaux témoins ont exprimé un comportement de recherche de drogue en appuyant à nouveau sur le levier actif. Ainsi, comme pour le test de CPP, l'inactivation de la voie $CPFm \rightarrow HbL$ a empêché la rechute induite par le stress.

Nous avons également testé l'inactivation de l'HbL lors d'un test de rechute induite par

l'apparition de l'indice associé à l'appui sur les leviers (la lumière). Cette fois-ci, les deux groupes d'animaux, témoins et inactivés, ont exprimé un comportement de rechute suggérant que la voie $CPFm \rightarrow HbL$ est spécifiquement impliquée dans la réponse comportementale en cas de stress et non pas à un autre type de facteur de rechute.

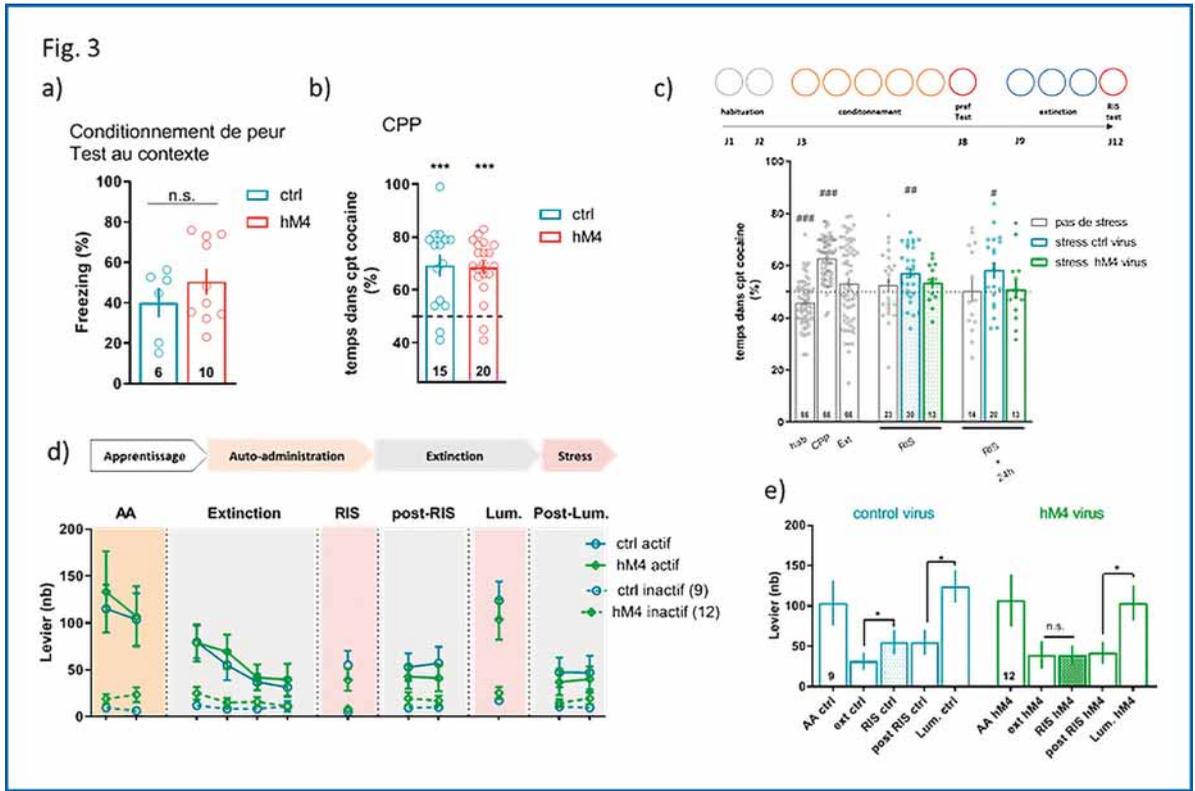


Figure 3 : Les afférences corticales de l'HbL permettent l'adaptation comportementale face à un stressa).

a) L'inactivation de la voie $CPFm_{\rightarrow HbL}$ (hM4 en rouge) n'induit aucun déficit après un conditionnement de peur ou b) de préférence de place (CPP), en comparaison à des animaux témoins (ctrl en bleu). c) Schéma du protocole de rechute induite par le stress. Après avoir éteint une préférence de place (CPP) pour le compartiment associé à la cocaïne (ext), seuls les animaux témoins (ctrl en bleu) ont ré-exprimé une préférence de place, contrairement aux animaux non stressés (en gris) et aux animaux inactivés (hM4 en vert). Ce comportement a perduré 24 h après le test pour les animaux témoins. Ce résultat a été également observé lors du test d'auto-administration (AA). d) Schéma et nombre d'appuis sur les leviers actif et inactif des animaux tout au long du protocole d'AA ; e) nombre moyen d'appuis sur le levier actif. Après des phases d'apprentissage puis d'extinction durant lesquelles les animaux ont appris à appuyer sur un levier pour obtenir une injection de cocaïne puis à éteindre ce comportement, seuls les animaux témoins ont ré-exprimé un cortement de recherche de drogue après un stress. Cependant, le test de rechute induite par un indice associé à la prise de drogue (lumière ; lum.) a provoqué la rechute pour les deux groupes testés. Stats : b) *** : $p < 0.001$ vs 50 % ; c) # : $p < 0.05$, ## : $p < .01$; ### : $p < 0.001$ vs 50 % ; e) * : $p < 0.5$

Discussion

Cette étude a permis de mettre en évidence un rôle encore méconnu de l'HbL dans l'intégration d'informations contextuelles et de leur valence émotionnelle aversive. En effet, l'inactivation de cette structure a suffi à empêcher la réponse de peur au contexte lors du conditionnement de peur. Le fait que tous les animaux soient capables d'exprimer une réponse de peur au son associé au choc électrique lors de ce test suggère que seule l'information en lien avec le contexte est altérée par l'inactivation de l'HbL et non pas l'ensemble du souvenir aversif.

Nous avons également, pour la première fois, mis en évidence un réseau complexe reliant des régions impliquées dans la réponse comportementale au stress telles que le CPFm, l'HbL et la VTA. Il s'avère qu'en plus des projections directes vers l'HbL et la VTA, un important pourcentage de neurones du CPFm co-projette directement vers ces deux régions. Cette observation suggère un contrôle très fin de l'HbL et de la VTA par le CPFm, sans doute afin de guider au mieux l'adaptation comportementale à la situation en cours.

Enfin, nous avons observé que l'inactivation des afférences corticales de l'HbL en provenance

du CPFm ne provoquait aucun déficit lors des tests de conditionnement de peur et de préférence de place. Cependant, ces afférences semblent être nécessaires pour guider le choix des animaux dans un contexte familier lorsque ceux-ci font face à un stress. En effet, l'inactivation de

ces afférences a empêché l'expression du comportement de rechute à la cocaïne induite par le stress. L'ensemble des expériences contrôles visant à évaluer l'effet de l'inactivation des afférences corticales de l'HbL sur la prise de drogue *per se* n'a montré aucune différence entre animaux témoins et inactivés. De plus, le test de rechute induite par un indice associé à la prise de drogue lors de l'expérience d'AA a conduit à une rechute de l'ensemble des groupes testés, confirmant un rôle spécifique de la voie CPFm→HbL dans la réponse comportementale uniquement lorsque les animaux font face à un stress.

Conclusion

Cette étude a permis de mettre en évidence 1) une région cérébrale particulièrement importante dans l'intégration d'informations contextuelles aversives, l'habenula latérale ; 2) un nouveau réseau cortical (CPFm→HbL) potentiellement impliqué dans l'adaptation au stress dans un contexte familier ; et enfin 3) dans le cadre de l'addiction aux drogues d'abus, un nouveau réseau responsable de la rechute induite par le stress. Une étude plus poussée de ce réseau complexe incluant le CPFm, l'HbL et la VTA pourra apporter de plus amples connaissances sur les capacités d'adaptation comportementale, notamment lorsqu'un individu appréhende son environnement et fait face à un stress. Une meilleure compréhension d'un tel circuit permettrait de développer de nouvelles cibles et de nouveaux traitements pour l'ensemble des « pathologies du comportement », telles que l'addiction mais également l'autisme, la dépression ou encore le syndrome de stress post-traumatique.

Remerciements

Je tiens à remercier la Fondation FYSSEN pour son soutien financier qui m'a permis de

passer ces deux années au sein du laboratoire du professeur Paul Kenny. Je souhaite également remercier Paul Kenny pour sa confiance et son soutien sans faille dans ce projet de recherche.

Bibliographie

- Goeders, N. E. Stress and Cocaine Addiction. *J. Pharmacol. Exp. Ther.* **301**, 785–789 (2002).
- Capriles, N., Rodaros, D., Sorge, R. E. & Stewart, J. A role for the prefrontal cortex in stress- and cocaine-induced reinstatement of cocaine seeking in rats. *Psychopharmacology (Berl.)* **168**, 66–74 (2003).
- S Zola-Morgan & Squire, and L. R. Neuroanatomy of Memory. *Annu. Rev. Neurosci.* **16**, 547–563 (1993).
- LeDoux, J. Emotion circuits in the brain. (2003).
- Cabib, S. & Puglisi-Allegra, S. Stress, depression and the mesolimbic dopamine system. *Psychopharmacology (Berl.)* **128**, 331–342 (1996).
- Vogel, S., Fernández, G., Joëls, M. & Schwabe, L. Cognitive Adaptation under Stress: A Case for the Mineralocorticoid Receptor. *Trends Cogn. Sci.* **20**, 192–203 (2016).
- Matsumoto, M. & Hikosaka, O. Lateral habenula as a source of negative reward signals in dopamine neurons. *Nature* **447**, 1111–1115 (2007).
- Matsumoto, M. & Hikosaka, O. Representation of negative motivational value in the primate lateral habenula. *Nat. Neurosci.* **12**, 77–84 (2009).
- Mathis, V. & Lecourtier, L. Role of the lateral habenula in memory through online processing of information. *Pharmacol. Biochem. Behav.* (2017). doi:10.1016/j.pbb.2017.07.004
- Mathis, V., Cosquer, B., Avallone, M., Casse, J.-C. & Lecourtier, L. Excitatory Transmission to the Lateral Habenula Is Critical for Encoding and Retrieval of Spatial Memory. *Neuropsychopharmacol. Off. Publ. Am. Coll. Neuropsychopharmacol.* **40**, 2843–2851 (2015).

- Geisler, S. & Trimble, M. The lateral habenula: no longer neglected. *CNS Spectr.* **13**, 484–489 (2008).
- Herkenham, M. & Nauta, W. J. Efferent connections of the habenular nuclei in the rat. *J. Comp. Neurol.* **187**, 19–47 (1979).
- Lisman, J. E. & Grace, A. A. The hippocampal-VTA loop: controlling the entry of information into long-term memory. *Neuron* **46**, 703–713 (2005).
- Ikemoto, S. Brain reward circuitry beyond the mesolimbic dopamine system: A neurobiological theory. *Neurosci. Biobehav. Rev.* **35**, 129–150 (2010).
- Stephenson-Jones, M. *et al.* A basal ganglia circuit for evaluating action outcomes. *Nature* **539**, 289–293 (2016).
- Kim, U. & Lee, T. Topography of descending projections from anterior insular and medial prefrontal regions to the lateral habenula of the epithalamus in the rat: Prefrontohabenular projections. *Eur. J. Neurosci.* **35**, 1253–1269 (2012).
- Mathis, V. *et al.* The Lateral Habenula as a Relay of Cortical Information to Process Working Memory. *Cereb. Cortex N. Y. N* **199127**, 5485–5495 (2017).
- Benekareddy, M. *et al.* Identification of a Corticohabenular Circuit Regulating Socially Directed Behavior. *Biol. Psychiatry* **83**, 607–617 (2018).
- Holly, E. N. & Miczek, K. A. Ventral tegmental area dopamine revisited : effects of acute and repeated stress. *Psychopharmacology (Berl.)* **233**, 163–186 (2016).
- Floresco, S. B., Block, A. E. & Tse, M. T. L. Inactivation of the medial prefrontal cortex of the rat impairs strategy set-shifting, but not reversal learning, using a novel, automated procedure. *Behav. Brain Res.* **190**, 85–96 (2008).
- Maier, S. F. & Watkins, L. R. Role of the medial prefrontal cortex in coping and resilience. *Brain Res.* **1355**, 52–60 (2010).

Introduction

The ability to adapt our behaviour to the situation we are facing is crucial for our survival and integration into society. In this purpose, our nervous system not only recalls our memories of previous familiar experiences but also integrates our emotions and motivation as well as the stress generated by the current situation. Thus, contextual and emotional processing appear to be two critical functions in order to continuously adapt our behaviours and help us guide subsequent behaviours. Stress is one major factor of relapse into drug abuse^{1,2}, leading to the so-called stress-induced reinstatement (SIR). Nevertheless, our entire environment is a possible source of stress. Thus, a better understanding of the cerebral mechanisms involved in contextual, emotional and stress processing appears to be a crucial step in order to improve treatment of SIR and patient care

Although the brain areas involved in memory³, emotions⁴ and stress integration^{2,5} have already been described, the brain functional network involved in apprehending a specific stressful context and triggering the most adapted behaviour remains unclear. Recently, different studies have described the lateral habenula (LHb) in detection of positive and negative events^{7,8}. Interestingly, in rodents, LHb inactivation also induces memory deficits. Indeed, its pharmacological inactivation prevents both encoding and recall of spatial memory, suggesting an online contextual processing^{9,10}. Moreover, this brain structure acts as an anatomical hub, receiving information from the medial prefrontal cortex (mPFC), basal ganglia and temporal lobe¹¹. The LHb in turn sends projections to the monoaminergic centers¹² involved in memory¹³, motivation¹⁴ and stress integration¹⁵. Besides the direct connection between the mPFC and the LHb^{16,17}, very few is known about the role of this pathway. Two studies described a role in social interactions¹⁸ and working memory¹⁷, suggesting that LHb cortical information might participate in processing information in order to adapt subsequent behaviours.

Here, we assessed the role of the LHb and its cortical inputs (mPFC_→LHb) in integration of aversive and contextual information. We further described the mPFC_→LHb network and even-

tually sought to determine if the Lhb cortical inputs participate in cocaine stress-induced reinstatement. Our results suggest that 1) The Lhb integrates contextual information; 2) the Lhb cortical inputs are recruited when animals are facing a stressful situation in a familiar environment; 3) the Lhb belongs to a complex network including the mPFC and the ventral tegmental area (VTA), likely implicated in behavioral adaptation.

Results

The Lateral habenula integrates contextual information associated with aversive events

Using viral vectors, we specifically expressed the mutated muscarinic receptor hM4 in Lhb neurons. This chemogenetic technique (DREADD) allowed us to inhibit hM4 expressing neurons via an injection of the selective agonist clozapine (CNO).

We first used a classical fear conditioning protocol (FC). Mice received 3 electric foot-shocks, associated with a sound, in a context A. Twenty-four hours later, mice were exposed to the same context A in order to assess their fear response, characterized by a specific behavior called «freezing» (total immobility). Whereas control animals (ctrl; mice not expressing the hM4 receptors), exhibited freezing, hM4 expressing animals did not, suggesting memory deficits of the context associated with the aversive experience (**Fig. 1a and b**). Surprisingly, all mice, ctrl and hM4, expressed a fear response to the sound associated with the shocks in a new context (context B). These findings reveal that the Lhb only plays a role in fear response based on context, not on cues associated with aversive events. We further tested a positive environment, using a conditioned place preference for cocaine (CPP). Mice were exposed to an apparatus composed of two separate compartments and their basal preference for both compartments was assessed. Then, in the morning session, mice received a saline injection and were placed in one of the compartments. In the afternoon session, they received a cocaine injection and were placed in the other compartment. After 5 days of treatment, we assessed their conditioned place preference. Both ctrl and hM4 mice spent more time in the cocaine-paired side, expressing an equal preference for this compartment (**Fig. 1c**). Along

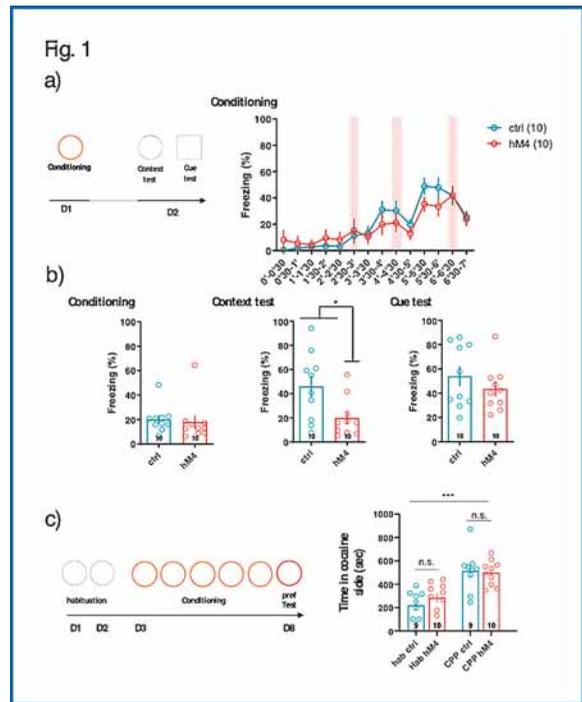


Figure 1: The Lateral habenula integrates contextual information associated with an aversive event.

a) Scheme of the fear conditioning protocol. On day 1 (D1), mice received 3 foot-shocks in a context A. This protocol induces an important fear response (freezing) (a and left panel b). On day 2 (D2), Lhb inactivation (in red) reduces freezing response to the context, without affecting the fear response to the cue (sound).

c) Scheme of the CPP protocol. After 2 days of habituation (hab and 5 days of cocaine conditioning, all mice spent significantly more time in the cocaine paired side (preference). Stats: b) *: $p < 0.05$ vs ctrl; c) ***: $p < 0.001$ vs hab.

with our FC results, this experiment suggests that the Lhb plays a role in contextual processing, but only in aversive contexts.

The Lateral habenula belongs to a complex network including the medial prefrontal cortex

The direct connection between the Lhb and the mPFC has already been described in rats¹⁶. We confirmed it in mice: using a retrograde viral tracer carrying a red fluorescent protein (retroAAV-TdTomato) injected within the Lhb, we mapped the cortical neurons projecting onto Lhb cells along the entire mPFC antero-posterior axis (**Fig. 2a and b**). Since the VTA, well known

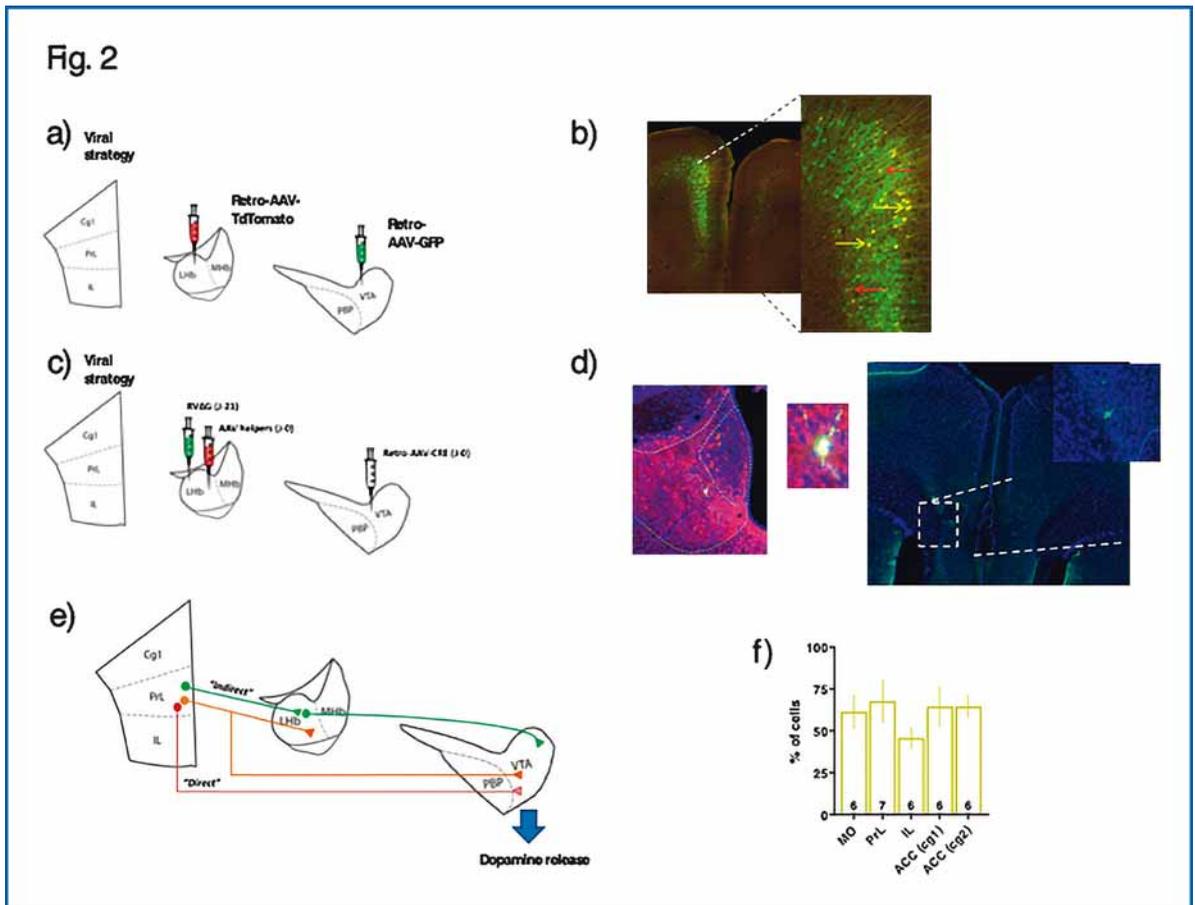


Figure 2: Lateral habenula belongs to a complex network including the medial prefrontal cortex
 a) Scheme of the viral strategy used to map cortical projections to the VTA and the LHB. b) We observed mPFC→LHB (red), mPFC→VTA (green) and mPFC→LHB/VTA (yellow). f) Thus, we observed that 67% of the mPFC→LHB neurons also project to the VTA. c) Scheme of the viral strategy used to map the cortical projection onto LHB→VTA neurons. d) Picture of an LHB neuron expressing all the viruses used for this tracing approach (left) and of an mPFC neuron expressing the rabies virus, showing the direct connection of the mPFC to LHB→VTA neurons. (right). e) Thus, mPFC neurons create a complex network composed of direct and indirect pathways towards the LHB and the VTA but also directly to both regions.

to play a role in stress integration¹⁹, is the LHB main target and also receives inputs from the mPFC, we also mapped both LHB and VTA inputs in the same animals. Besides the retroAAV-TdTomato infused within the LHB, we injected a retroAAV carrying a green fluorescent protein (GFP) in the VTA. Thus, we described 3 different populations of mPFC neurons: 1) cortical neurons projecting directly and uniquely to the LHB (mPFC→LHB), 2) cortical neurons projecting directly and uniquely to the VTA (mPFC→VTA), 3) cortical neurons projecting directly to both LHB and the VTA (mPFC→LHB/VTA) (**Fig. 2f**). We then checked if the mPFC→LHB neurons pro-

ject in turn to the VTA. In this purpose, we used a monosynaptic pseudorabies-based tracing approach (RVΔG, **Fig. 1c**). We infused a cre-recombinase (cre) retrograde virus within the VTA first, then 2 cre-dependent different viruses within the LHB. Thus, LHB neurons that project to the VTA (LHB→VTA) expressed the cre and the cre dependent viruses, which further allowed the expression of the retrograde RVΔG. We then examined all the inputs reaching LHB→VTA neurons (**Fig. 2e**) and highlighted a complex mPFC-LHB-VTA network composed of direct and indirect pathways. Such a network of different brain areas involved in stress integration is likely

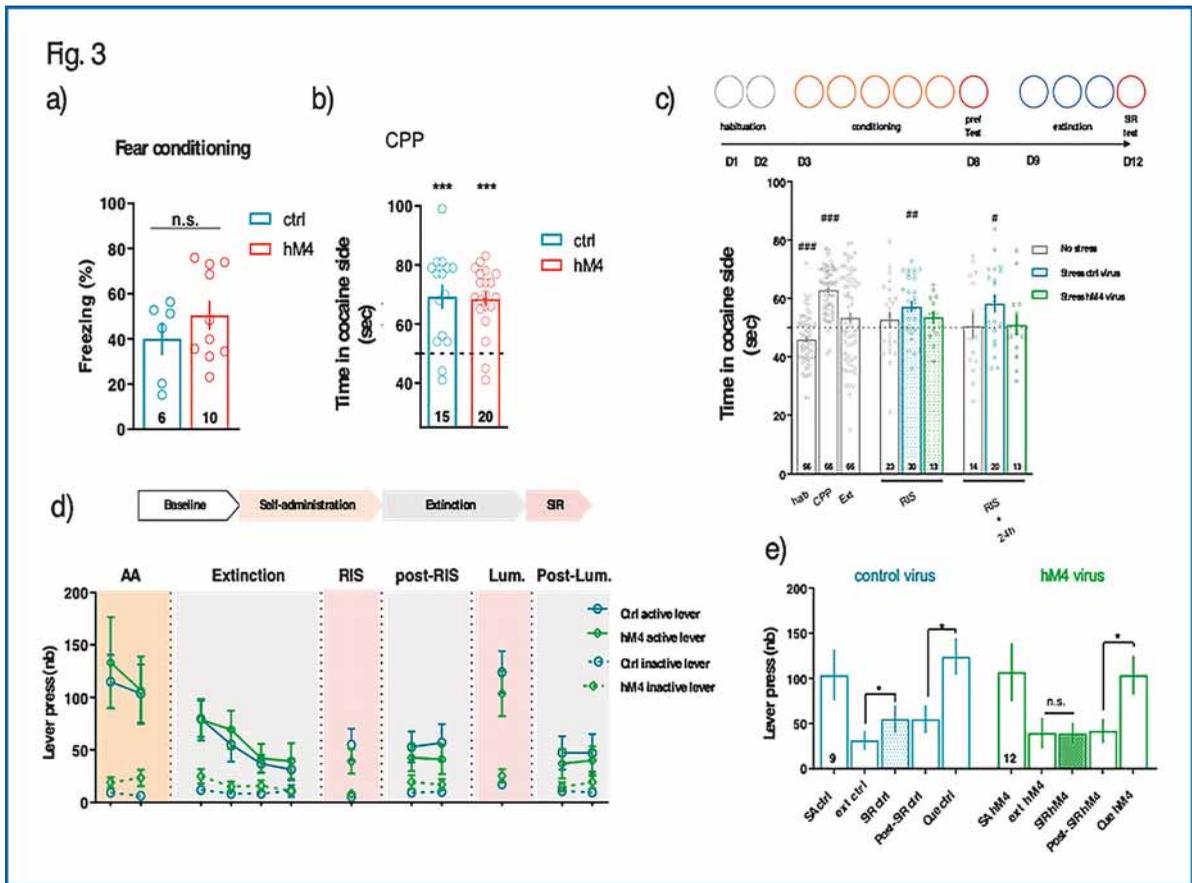


Figure 3: LHb cortical inputs participate in behavioural adaptation in stressful situations.

a) mPFC \rightarrow LHb inactivation (hM4 in red) does not induce any deficit in fear conditioning or b) in conditioned place preference (CPP), compared to control animals (ctrl in blue). c) Scheme of stress-induced protocol. After an extinction phase (ext) in the CPP protocol, only control mice (ctrl in blue) re-expressed a place preference for the cocaine-paired side compared to non-stressed mice (grey) and mPFC \rightarrow LHb inactivated mice (hM4 in green). This effect lasted 24 hours.

We observed the same effect in a self-administration protocol; (d) Scheme and number of active and inactive lever presses during SA protocol. e) Average number of active lever presses for one session. After SA and extinction, while mPFC \rightarrow LHb inactivation did not induce any effect, only control mice expressed a stress induced reinstatement behaviour. Nevertheless, both hM4 and ctrl mice showed a cue induced reinstatement of drug seeking. Stats: b) ***: $p < 0.001$ vs 50%; c) #: $p < 0.05$, ##: $p < .01$; ###: $p < 0.001$ vs 50%; e) *: $p < 0.5$

to play a role in behavioral adaptation in stressful situations.

Contrary to the LHb, the mPFC \rightarrow LHb pathway is not involved in contextual processing but plays a role in behavioral adaptation in stressful situations

We assessed the role of the mPFC \rightarrow LHb pathway in contextual processing. In this purpose, we used a pathway specific DREADD approach. We infused a retroAAV-cre within the LHb and a cre-dependent hM4 within the mPFC

and assessed the effect of the mPFC \rightarrow LHb inhibition in FC and CPP paradigms. Contrary to previous experiments on the LHb alone, inhibition of the mPFC \rightarrow LHb did not alter fear response to the context or preference for the cocaine-paired side (Fig. 3a and b). Nevertheless, since the mPFC has a key role in behavioral flexibility and stress response, we further tested the role of this pathway in the context of addiction, using a stress-induced reinstatement (SIR) protocol. Using the above CPP protocol, mice underwent an extinction process (no cocaine injection): after

the conditioning phase they were allowed unrestricted access to both compartments for 3 days, after a single saline injection (**Fig. 3c**). In this case, mice no longer expressed a preference for any side. We then assessed the re-expression of the place preference (stress-induced reinstatement), after an injection of the alpha-2 adrenergic receptor antagonist, yohimbine.

Whereas ctrl mice re-expressed a preference for the cocaine paired side, mPFC→LHb inhibition prevented SIR (**Fig. 3c**). These findings suggest that LHb cortical inputs do not provide information about the context *per se* but seem to play a crucial role when animals are facing a stressful situation involving behavioral adaptation.

In order to confirm these findings and assess the specificity of stress, we tested the effect of mPFC→LHb inhibition in a self-administration (SA) paradigm. In this operant behaviour test, mice had to press a lever (active lever) in order to receive one intravenous injection of cocaine. In our protocol, mice had to press the lever 5 times (fixed ratio 5; FR5) to get an injection, while pressing the inactive lever had no programmed consequences. This test requires an extensive learning that considerably reduces the importance of context but makes the cue associated with cocaine consumption more salient (i.e. a light turns ON at each cocaine injection). Once the performance of mice was stable, according to an FR5 protocol, we tested the mPFC→LHb inhibition 1) while cocaine was available, 2) while it no longer was (extinction protocol). Both tests showed no differences between ctrl and hM4 mice, confirming that this pathway doesn't play a direct role in drug-seeking or drug-taking (data not shown). Nevertheless, after the extinction phase when we injected mice with yohimbine, ctrl animals showed again an SIR behavior whereas hM4 mice did not show this reinstatement, confirming the key role of mPFC→LHb neurons in SIR. We further tested the role of this pathway in a cue-induced reinstatement paradigm. We inhibited the mPFC→LHb neurons

while mice were in the cocaine-paired compartment, with no cocaine available but with the light ON (cue associated with cocaine). This cue-induced reinstatement (CIR) induced an increase in the number of active lever presses in both ctrl and hM4 groups, suggesting that the mPFC→LHb pathway may be specifically implicated in SIR but not in CIR.

Discussion

In this study, we described a key role of the LHb in contextual processing of aversive information. Indeed, LHb inactivation is sufficient to abolish a fear response based on contextual information but not on cues associated with the aversive memory. These findings suggest that LHb inactivation does not alter aversive memory *per se* but the ability to use a context in order to drive subsequent behaviours.

We also described for the first time a complex network including brain areas involved in stress-coping such as the mPFC and the VTA. We observed that besides direct projections from the mPFC to LHb and VTA neurons, an important percentage of cells directly project to both structures, suggesting a very fine cortical control of LHb and VTA, likely to help guiding subsequent behaviours. Finally, we showed that contrary to LHb inactivation alone, mPFC→HbL inactivation doesn't participate in contextual processing. Nevertheless, this procedure prevented stress-induced reinstatement, showing for the first time a major role of this pathway in behavioural adaptation in stressful situations in a familiar environment. Moreover, such an inactivation altered neither drug seeking when cocaine was available nor cue-induced reinstatement, confirming the role of LHb cortical inputs in behavioural adaptation in stressful situations.

Conclusion

This study described for the first time 1) the critical role of the LHb in processing aversive contextual information; 2) a new cortical network (mPFC→LHb) likely involved in stress

“We observed that besides direct projections from the mPFC to LHb and VTA neurons, an important percentage of cells directly project to both structures, suggesting a very fine cortical control of LHb and VTA, likely to help guiding subsequent behaviours.”

adaptation in a familiar context; eventually 3) in the context of addiction, a new network implicated in stress-induced reinstatement. Altogether, this study highlighted new potential brain targets for treatments of addictive behaviours. Further studies on this this complex network including the LHB, the mPFC and the VTA would help bring a better understanding of behavioural adaptation when individuals are facing a stressful environment. Such studies may lead to new treatments

not only in addiction but also in behavioral pathologies and disorders such as autism, depression or post-traumatic stress disorder.

Acknowledgments

I wish to thank the FYSSSEN Foundation for their financial support allowing this 2-year postdoctoral fellowship in Paul Kenny's laboratory. I am also very grateful to Pr. Paul Kenny for his support in this project.

L'histoire d'un savoir-faire La transmission du tour de potier et l'émergence de nouvelles traditions technologiques dans le monde égéen préhistorique

Maria CHOLEVA

Post-doctorante INSTAP au laboratoire Fitch, École Britannique d'Athènes

Résumé

L'objectif de cet article est d'élucider les mécanismes sous-jacents à la transmission du tour de potier dans le monde égéen et d'explorer les contextes d'apprentissage et de pratique, qui émergent dans le continent grec pendant les derniers siècles du 3^e millénaire. Les poteries de quatre sites de la Grèce centrale et du nord-est du Péloponnèse ont été examinées à travers une approche interdisciplinaire qui a combiné différents procédés d'analyse afin d'aborder les pots sous l'angle des savoirs et des traditions technologiques. Les résultats obtenus ont fait ressorti plusieurs phénomènes de transfert technique dans le temps et l'espace. Toutefois, l'appropriation du tour de potier, qui introduit un nouveau type de gestualité spécialisée dans le façonnage, s'avère être un phénomène technologique d'ordre culturel. Le tour, rejeté par la majorité des producteurs, se performait comme une pratique technique minoritaire, spécifique à des petites communautés qui partagent des traditions communes en construisant, à travers une conception du façonnage unique, une identité socio-culturelle distincte.

Mots-clés

Bronze Ancien, monde égéen, tour de potier, pétrographie, rayons X, apprentissage, gestes, transferts techniques, identités

The story of a *savoir-faire*. The transmission of the potter's wheel and the emergence of new technological traditions in the prehistoric Aegean

Abstract

This paper aims to shed light on the mechanisms behind the transmission of the potter's wheel in the Aegean and to explore the contexts of apprenticeship and practice that emerged in mainland Greece during the late 3rd millennium BC. Four ceramic assemblages from central Greece and the north-eastern Peloponnese have been examined through an inter-disciplinary approach combining different analytical methods to explore the underlying craft knowledge and technological traditions. The results of this study revealed multiple phenomena of technical transfers over time and space. The appropriation of the potter's wheel, which introduced a new specialised gestuality into the forming process, reflects a culturally determined technological phenomenon. The wheel, rejected by the majority of producers, was actually performed as a marginal craft practice specific to small communities that shared common traditions and constructed a distinct socio-cultural identity through a unique conception of pottery manufacture.

Keywords

Early Bronze Age, Aegean, potter's wheel, X-Ray, petrography, apprenticeship, gestures, technical transfers, identities

Introduction

Les derniers siècles du 3^e millénaire constituent une époque de profondes transformations socioculturelles pour tout le monde égéen. Le passage du Bronze Ancien (BA) 2b (c.2500-2200 av. J.-C.) au BA3 (c.2200-2000 av. J.-C.) est marqué par un phénomène généralisé de turbulences, qui réorganise radicalement les modes de vie des communautés helladiques, particulièrement celles qui vivent en Grèce centrale et dans le nord-est du Péloponnèse. Le BA2b a certes été une phase d'émergence des structures économiques centralisées et des premiers signes d'urbanisation ainsi qu'une période d'expansion des réseaux interrégionaux de communication et d'échange dans toute la Méditerranée orientale (Wiencke 1989 ; Broodbank 2000 ; Kouka 2002 ; Şahoğlu 2005 ; Shaw 2007). C'était alors l'apogée des interactions et des contacts entre le monde égéen et anatolien, ce qui a favorisé la circulation des objets et des hommes et la diffusion des savoir-faire et des pratiques culturelles (Şahoğlu 2005 ; Rahmstorf 2006). Le passage au BA3 rompt néanmoins avec ces phénomènes dynamiques de connectivité interrégionale en entraînant, parfois de façon violente, la transformation des structures socio-économiques préexistantes dans le continent grec (Forsén 1992). Il inaugure une période de régionalisme, lors de laquelle de nouvelles formes d'organisation sociale, fondées plutôt sur l'économie domestique et sur les réseaux régionaux d'échanges intercommunautaires, apparaissent dans les sociétés helladiques (Rutter 1993 ; Maran 1998). Bien que les raisons qui sous-tendent la « rupture » entre la culture matérielle du BA2 et le BA3 soient encore débattues et que les interprétations narratives incluent une multitude de scénarios (déplacements et migration des populations, changements climatiques, effondrement des réseaux commerciaux, épuisement des matières premières, conflits et déstabilisation des pouvoirs politiques), la recherche actuelle suggère un monde en pleine mutation. Les communautés helladiques font, en effet, l'expérience d'une crise socio-économique et politique profonde qui stimule de nouvelles stratégies de subsistance et de communication, tout en interrogeant des pratiques sociales et culturelles bien enracinées (Weiberg & Finné 2013 ; Wiener 2013).

Dans ce contexte de changements, les systèmes de production céramique font l'objet d'une réorganisation radicale. Cette dernière se manifeste par le déclin des répertoires céramiques du BA2b et par l'avènement d'une série de nouvelles poteries qui impliquent la transformation des comportements des producteurs et des consommateurs de la céramique (Rutter 1979 ; Maran 1998). Parmi les changements les plus saillants est la dissémination du tour de potier, à savoir une innovation technologique majeure dans l'histoire des techniques de fabrication, qui perturbe le continuum des habitudes traditionnelles de façonnage manuel. Les plus anciens signes de l'emploi de cet outil remontent au BA2b, quand les premiers pots tournés apparaissent sporadiquement dans un nombre limité de sites en Grèce centrale (Fig. 1).

Toutefois, ce nouveau savoir-faire, dans la plupart des cas, ne fait pas l'objet d'une adoption locale, les producteurs utilisant toujours des techniques manuelles. Selon les données archéologiques actuelles, il est néanmoins localement pratiqué par de petites communautés de potiers qui opèrent sporadiquement en Grèce centrale, comme au village de Lefkandi, où le nouveau savoir-faire est censé avoir été introduit en conséquence d'un phénomène limité de mobilité de potiers, originaires d'une tradition de l'Anatolie

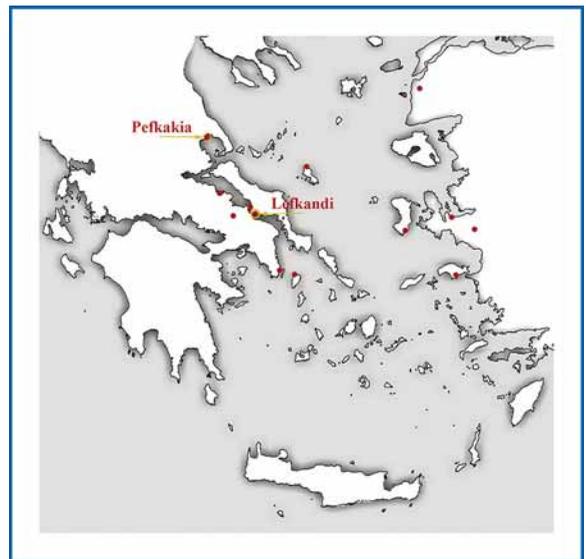


Figure 1 : La distribution géographique de la céramique tournée dans le monde égéen pendant le BA2b.

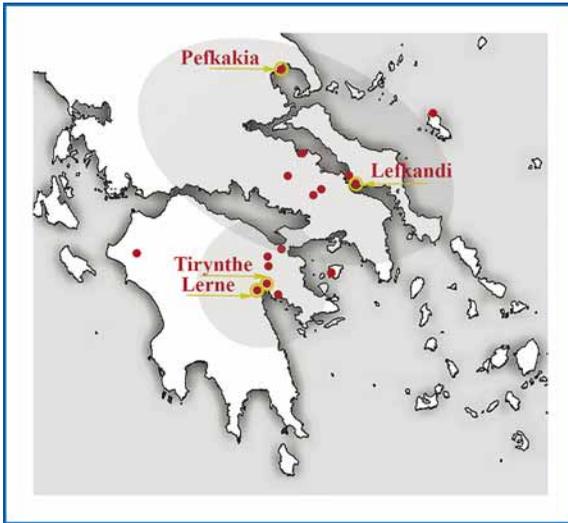


Figure 2 : La distribution géographique de la céramique tournée dans le continent grec pendant le BA3.

occidentale (Choleva 2015). Cela inaugure la longue et sinueuse trajectoire de l'appropriation du tour par les communautés helladiques : c'est à partir du BA3 que le tour se répand en Grèce centrale et qu'il se diffuse parallèlement dans le nord-est du Péloponnèse en tant qu'élément constitutif des nouvelles traditions technologiques qui conditionnerait les poteries tout au long du BA3 et au début Bronze Moyen (BM1) (Fig. 2).

L'objectif de cet article est d'examiner les mécanismes sous-jacents à cette transmission horizontale et verticale du nouveau savoir-faire du BA2b au BA3, tout en mettant l'accent sur les contextes de son apprentissage et de sa pratique. Comme nous le verrons ci-dessous, la restitution et la comparaison des traditions technologiques locales fondées sur le tour de potier élucideront plusieurs phénomènes dynamiques de transferts techniques dans le temps et l'espace et révéleront la signification des manières de faire dans la constitution des identités sociales et le maintien des valeurs culturelles.

Lecture anthropologique des assemblages céramiques

Des études récentes ont montré que le tour de potier apparaît dans le monde égéen à travers une technique hybride, à savoir le colombinage au tour (Choleva 2012 ; 2015 ; 2018a). Cette technique combine de façon variée l'exploitation de

l'Énergie Cinétique Rotative (ECR) et le montage aux colombins. Elle s'effectue selon différentes méthodes de façonnage en fonction du moment à partir duquel l'ECR entre dans la séquence opérationnelle de l'ébauchage, à savoir la pose et la jointure des colombins, l'amincissement et la mise en forme de l'ébauche (Roux 2017 : 114-118). La nouvelle technique introduit, en effet, un nouveau concept cognitif dans le façonnage : l'outil (Roux 2003 ; 2010b). Contrairement aux techniques manuelles, un instrument rotatif doté de ses propres modalités de fonctionnement médiatise désormais la gestualité, ce qui change radicalement la conception du façonnage. Sa maîtrise présuppose l'incorporation d'un nouvel ensemble d'habiletés motrices et cognitives, fondées sur des gestes 'outillés'¹, complexes et longs à acquérir (Roux & Corbetta 1990). Cette spécialisation des gestes requis varie selon la méthode exploitée : plus l'ECR est intégrée dans la séquence d'opérations, plus la gestualité est spécifique et complexe (Roux & Courty 1998). L'acquisition de chaque gestualité nécessite alors un apprentissage systématique qui se fonde sur des contacts constants entre apprenants et experts. L'apparition de méthodes de façonnage au tour devrait alors induire une modification majeure dans l'organisation des modèles d'éducation et de transmission des savoirs.

Cadre théorique

Pour retracer les dynamiques de ce changement, une approche anthropologique de la technologie a été adoptée (Latour & Lemonnier 1994 ; Dobres & Hoffmann 1994). Considérant l'action technique comme l'expression d'une pratique sociale (Mauss 2009 : 52), cette approche souligne le rôle primordial de l'apprentissage dans la formation et le maintien des identités sociales (Sigaut 1991 ; Wallaert 2008). L'apprentissage ne représente pas seulement une procédure bio-comportementale individuelle à travers laquelle l'artisan acquiert des habiletés motrices et cognitives qui consolident son comportement technique (Bril 2002 ; Gandon 2014). Il est le lieu où il/elle construit son identité en tant que membre d'une communauté au sein de laquelle la pratique s'est performée (Lave & Wenger 1991). L'apprentissage est, en effet, un processus socialisé à

¹ Terme emprunté par Sigaut 2011.

travers lequel les groupes sociaux se constituent et se reproduisent à travers la pratique (Sigaut 2011 : 203). Un système entier de conceptualisations, de valeurs sociales, de représentations culturelles et de réflexions lié aux choix techniques se transmet sur un fond collectif qui module des principes d'agir et de concevoir communs, c'est-à-dire des *habitus* partagés (cf. Mauss 1927 : 198 ; Bourdieu 2013 : 80-81). En apprenant et en pratiquant, les artisans incarnent des manières de faire en modulant et en reproduisant des traditions spécifiques à leur communauté de pratique (Gosselain 2011). Pour les chercheurs, les techniques de façonnage présentent un haut degré de stabilité et de résistance au changement car elles ne peuvent être acquises et transférées qu'à travers des contacts physiques entre individus (Gelbert 1997 ; Gosselain 2000). Elles renvoient exactement aux gestes et aux savoirs culturellement acquis et transmis dans un contexte social d'apprentissage et de pratique. Suivant cette perspective, restituer des techniques et suivre le tracé de leur performance dans le temps et l'espace permet de déceler les frontières du monde social des activités artisanales.

Matériel archéologique et méthodologie

Pour explorer les lieux d'apprentissage et de pratique du tour à la micro-échelle et pour tracer le phénomène de sa transmission à la macro-échelle, nous avons investigué les poteries des deux régions de Grèce continentale à travers l'étude de quatre sites archéologiques. Deux des sites examinés sont localisés en Grèce centrale et présentent des affinités en matière de culture matérielle dès le BA2b : Lefkandi, un habitat situé sur le golfe d'Eubée, et Pefkakia sur les côtes orientales de Magnésie (Popham & Sackett 1968 ; Maran 1992 ; Christmann 1996). Les deux villages voient le tour de potier émerger pendant le BA2b, puis se transmettre au BA3 comme un élément constitutif des nouveaux répertoires céramiques. Les deux autres sites étudiés sont situés sur le Nord-est du Péloponnèse : Lerne et Tirynte en Argolide (Weisshaar 1983 ; Rutter 1995). Il s'agit de deux villages voisins qui développent des pratiques céramiques communes pendant le BA2b sans jamais connaître l'innovation du tour ; ils le connaissent néanmoins soudainement au début du BA3 à la suite de profonds changements dans leurs poteries.

Notre corpus d'étude comprend un total de 700 tessons et vases datés du BA2b-BA3-BM1 représentatifs des formes et des styles céramiques au sein desquelles l'emploi du tour est documenté dans chaque site. Il inclue à la fois des pièces portant de traces de l'ECR et des pièces faites à la main, qui ont été sélectionnées à la condition qu'elles appartiennent aux mêmes typologies que celles des pots tournés. L'étude comparative des récipients qui partagent les mêmes traits morphologiques et stylistiques mais qui se différencient sur la base du mode de façonnage, nous a permis de classer les assemblages selon le type de gestualité technique impliqué et donc de cerner différentes entités artisanales ayant la même finalité de production. Dans ce cadre, les pots ont été étudiés à la fois en termes de technique et de méthode de façonnage, éléments suggérant les gestes mis en œuvre, et en terme de choix impliqué dans les actions de collecte et de préparation des argiles destinées au façonnage ainsi que d'actions liées aux techniques de finition et de cuisson des pots. Pour relier et comprendre la synergie de toutes ces actions différentes, nous avons alors invoqué une lecture anthropologique des assemblages céramiques en se focalisant sur la restitution des chaînes opératoires, à savoir la séquence d'opérations et de techniques transformant une matière première en un produit (Roux 2010a ; Pigeot 2011), tout en mettant l'accent sur l'échelle de la gestualité 'individuelle' et alors les habiletés caractérisant les producteurs qui mobilisent la chaîne opératoire. Pour ce faire, nous avons appliqué une étude interdisciplinaire combinant les données archéologiques et les observations macroscopiques des traces techniques avec des analyses archéométriques, à savoir la radiographie industrielle et la pétrographie.

Une première analyse a été effectuée à l'œil nu, visant à obtenir des informations sur les traits morpho-stylistiques et techniques des pots à partir des macrotraces issues de différentes opérations de fabrication (e.g. Rye 1981 ; Livingstone-Smith 2007 ; Roux 2017). Nous avons ensuite analysé aux rayons X² un échantillonnage de

² Les analyses ont été effectuées au Laboratoire de Technologie Nucléaire de l'École Polytechnique d'Athènes sous la surveillance de prof. N. Petropoulos.

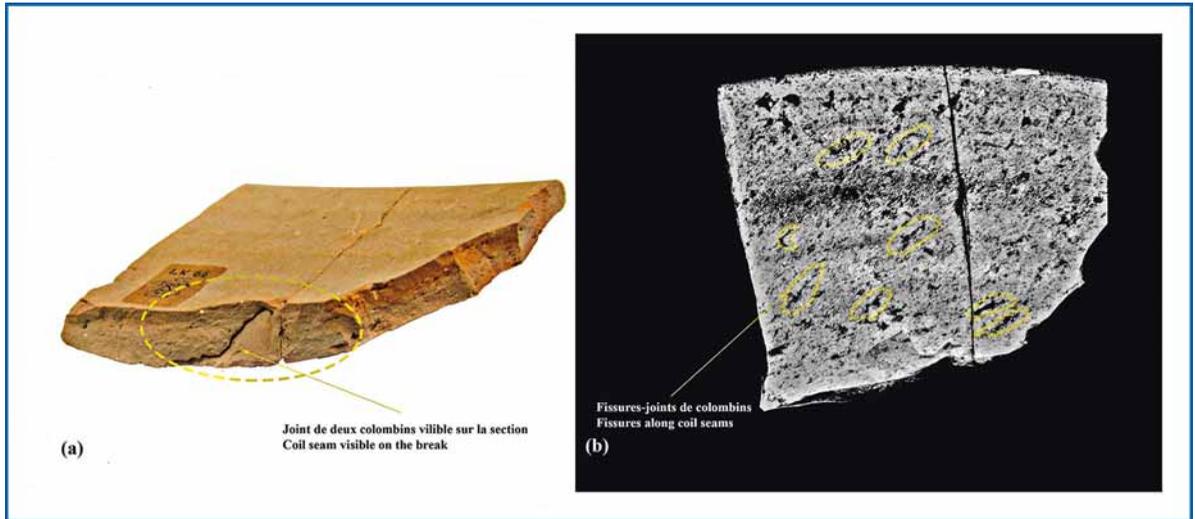


Figure 3 : Traces diagnostiques de la technique du colombine au tour : (a) macrotraces visibles à l'œil nu ; (b) microtraces observées sur l'image radiographique.

336 pièces, pour obtenir des figurations des objets en 2D, ce qui a permis (a) de visualiser la microstructure des ébauches et (b) d'identifier les modalités de leurs configurations à partir de microtraces telles que l'orientation de porosités de l'argile et la distribution des fissures et des inclusions dans la masse argileuse (e.g. Pierret 1995 ; Berg 2009 ; Thèr 2014 ; Kozatsas et al. 2018). Cela nous a permis ensuite de repérer des actions spécifiques aux techniques primaires du façonnage, difficilement restituables à l'échelle macroscopique, et d'aborder la gestualité 'individuelle' impliquée et le degré de sa complexité technique. En second lieu, nous avons étudié 197 lames minces de tessons/vases sous un microscope polarisant³ afin (a) de caractériser la composition minéralogique des pâtes, (b) de repérer les opérations de collecte et de préparation des argiles et d'identifier des recettes argileuses, et (c) de relier, dans la mesure du possible, des chaînes opératoires à un environnement technologique et donc de cerner les lieux de provenance des pots (e.g. Roux & Courty 2005 ; Reedy 2008). Cette approche holistique des assemblages a permis : (a) de restituer les milieux technologiques et les réseaux d'apprentissage derrière la fabrication des céramiques tournées ; (b) d'aborder le

contexte de production dans lequel les potiers spécialisés au tour opèrent ; (c) de reconnaître les probables échanges techniques partagés avec autres communautés de potiers ; et (d) de suivre l'évolution chrono-spatiale des traditions technologiques du tour et donc de tracer les mécanismes de leur transmission.

Identification des techniques et des méthodes de façonnage au tour

Confirmant l'image macroscopique, les analyses radiographiques ont démontré que les pièces portant des traces de l'ECR sont le résultat de la mise en place de la technique du colombine au tour. Par exemple, les fissures allongées ou obliques distribuées dans la masse argileuse, marqueurs des joints entre colombins, en témoignent (Fig. 3).

Toutefois, tant les microtraces que les macrotraces identifiées ont révélé une série de manières différentes d'utiliser le tour dans la séquence opérationnelle du colombine et donc l'existence de différentes méthodes de façonnage au tour. Ces dernières sont identifiées à travers les différents degrés de modification des microstructures. Il apparaît qu'il existe une complexité croissante des gestes inhérentes à chaque méthode. Suivant le système de classification des modes d'exploitation de l'ECR de Valentine Roux (Roux 2017 : 114-118, 218-230), nous avons reconnu trois méthodes, chacune reflétant un niveau différent d'expertise au tour (Roux &

³ L'analyse des lames minces a été effectuée au Laboratoire Fitch de l'École Britannique d'Athènes sous la direction de Dr. Ev. Kiriatzi.

	Pose des colombins Placement of the coils	Jointure des colombins Junction of the coils	Amincissement de l'ébauche Thinning of the roughout	Mise en forme de l'ébauche Shaping of the roughout
M1	Gestes non médiatisés par ECR Gestures non-mediated by RKE	Gestes non médiatisés par ECR Gestures non-mediated by RKE	Gestes non médiatisés par ECR Gestures non-mediated by RKE	Gestes médiatisés par ECR RKE-mediated gestures
M2	Gestes non médiatisés par ECR Gestures non-mediated by RKE	Gestes non médiatisés par ECR Gestures non-mediated by RKE	Gestes médiatisés par ECR RKE-mediated gestures	Gestes médiatisés par ECR RKE-mediated gestures
M3	Gestes non médiatisés par ECR Gestures non-mediated by RKE	Gestes médiatisés par ECR RKE-mediated gestures	Gestes médiatisés par ECR RKE-mediated gestures	Gestes médiatisés par ECR RKE-mediated gestures

Figure 4 : La séquence opérationnelle des méthodes de façonnage au tour.

Corbetta 1990 ; Gelbert 1997 ; Courty & Roux 1998) (**Fig. 4**).

Selon la première méthode (M1), le tour de potier n'intervient qu'à la fin de l'ébauchage, à savoir la mise en forme des parois. Ce mode d'exploitation de l'ECR ne déforme pas la microstructure des colombins qui maintiennent une orientation subhorizontale, parfois aléatoire, des particules d'argile et des fissures-joints, typique de la technique du façonnage au colombin. Ces microtraces indiquent la mise œuvre de pressions discontinues au cours des opérations de l'ébauchage. L'ECR n'affecte que la couche superficielle des pots, identifiée uniquement macroscopiquement par la présence de stries horizontales sur les surfaces. Pour cette méthode, les potiers devaient mobiliser des savoirs plutôt fondés sur des gestes non médiatisés par l'ECR (**Fig. 5a**). La gestualité inhérente au tour est peu complexe et implique un degré de maîtrise de l'outil élémentaire (stabilité des bras, contrôle des pressions continues exercées sur les parois).

La deuxième méthode (M2) implique le tour à partir de l'opération d'amincissement des parois et de leur mise en forme, lorsque les colombins sont déjà soudés par des pressions discontinues. L'intervention du tour dans les phases secondaires de l'ébauchage déforme légèrement la couche superficielle qui se caractérise macroscopiquement par un relief peu ondulé, tandis qu'il affecte rarement la microstructure des colombins. Des particules d'argiles et des fissures

légèrement inclinées, qui se dispersent sporadiquement dans une masse argileuse caractérisée par un alignement plutôt subhorizontal et subparallèle des pores, traduisent des pressions continues plus fortes et, le cas échéant, une vitesse plus rapide du tour lors de l'amincissement (**Fig. 5b**). Pour cette méthode, le potier devait avoir développé une coordination bi-manuelle des mouvements symétriques et asymétriques suivant la vitesse du tour. La méthode 2 implique ainsi une plus grande complexité technique par rapport la méthode 1, mais étant donné qu'elle se fonde sur une alternance entre les gestes non outillés et les gestes médiatisés par ECR, elle correspond à un degré d'expertise de l'outil peu élevé.

La troisième méthode (M3) est la plus difficile car le tour médiatise ici presque toute la séquence d'opérations : il s'insère dans la phase primaire de la jointure des colombins, une tâche cruciale pour l'efficacité du façonnage. Cette action technique entraîne une déformation forte à la fois de la couche superficielle et de la microstructure des pots. D'une part, les surfaces présentent une grande diversité d'ondulations concentriques en forme de bandeaux horizontaux. D'autre part, la microstructure se caractérise par des particules fortement inclinées par rapport à l'axe horizontal, ce qui suggère des colombins profondément modifiés par des pressions continues selon une vitesse rapide du tour. Le degré de déformation est si fort que même les joints de colombins, qui

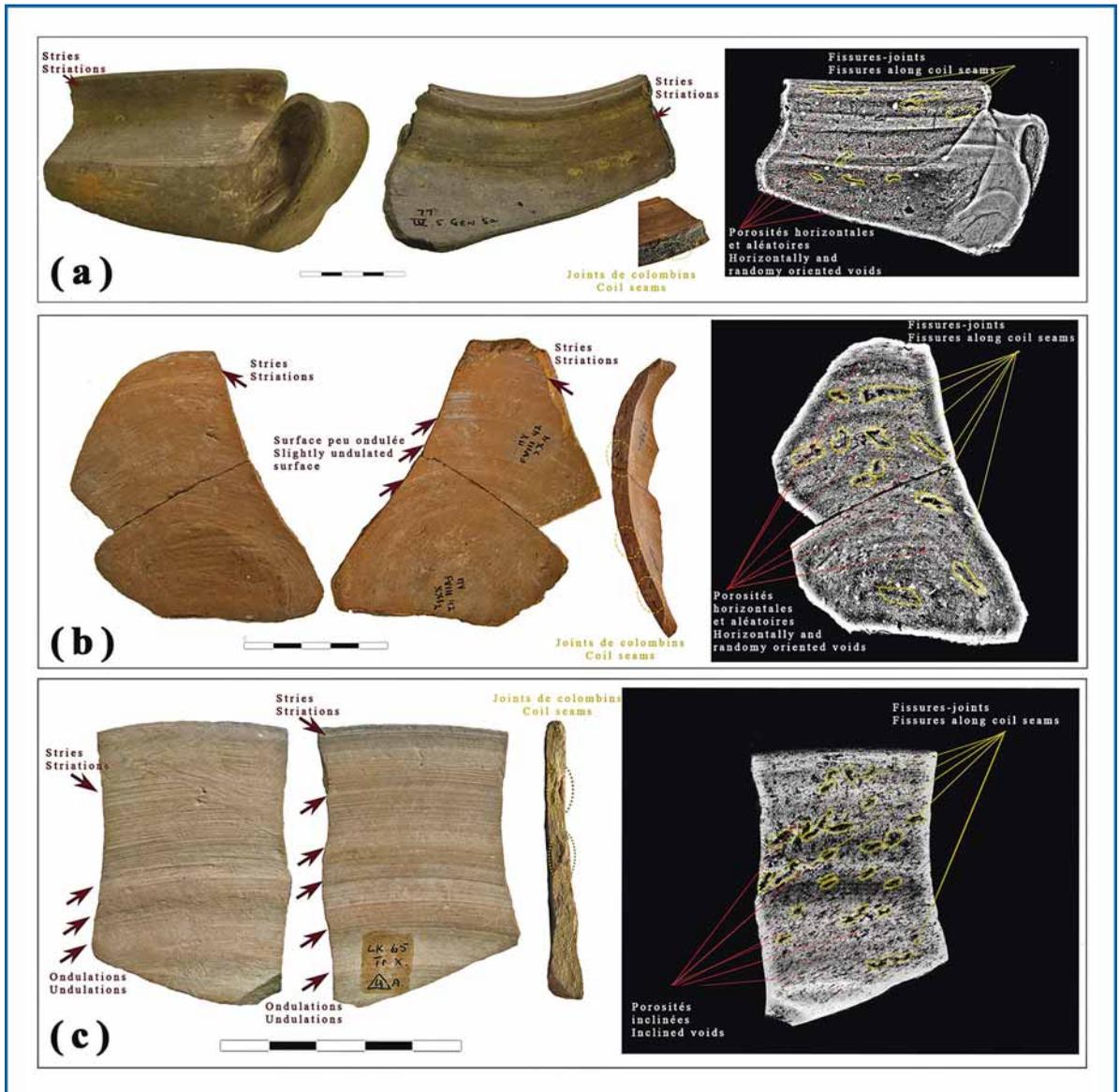


Figure 5 : Macrotraces et microtraces diagnostiques des méthodes identifiées : (a) Méthode 1 ; (b) Méthode 2 ; (c) Méthode 3.

apparaissent en forme de fissures allongées, ont un alignement fortement oblique et un sens transversal (**Fig. 5c**). La méthode 3 remanie radicalement la gestualité inhérente au façonnage manuel en éliminant au minimum les gestes non outillés et en introduisant de nouveaux mouvements outillés d'une haute technicité, susceptibles de modeler les colombins et de déformer leur structure sur un instrument rotatif. Englobant la gestualité des autres méthodes, les habiletés motrices et cognitives impliquées se

fondent sur une haute complexité indiquant un degré d'expertise élevé.

Restitution des savoir-faire dans leur contexte d'apprentissage et de pratique

Les modalités d'apparition de la technique du colombinage au tour suivant ces différentes méthodes varient selon les régions en Grèce continentale, tout en se traduisant par des appropriations locales du nouvel outil dans chaque village. La répartition de ces méthodes dans

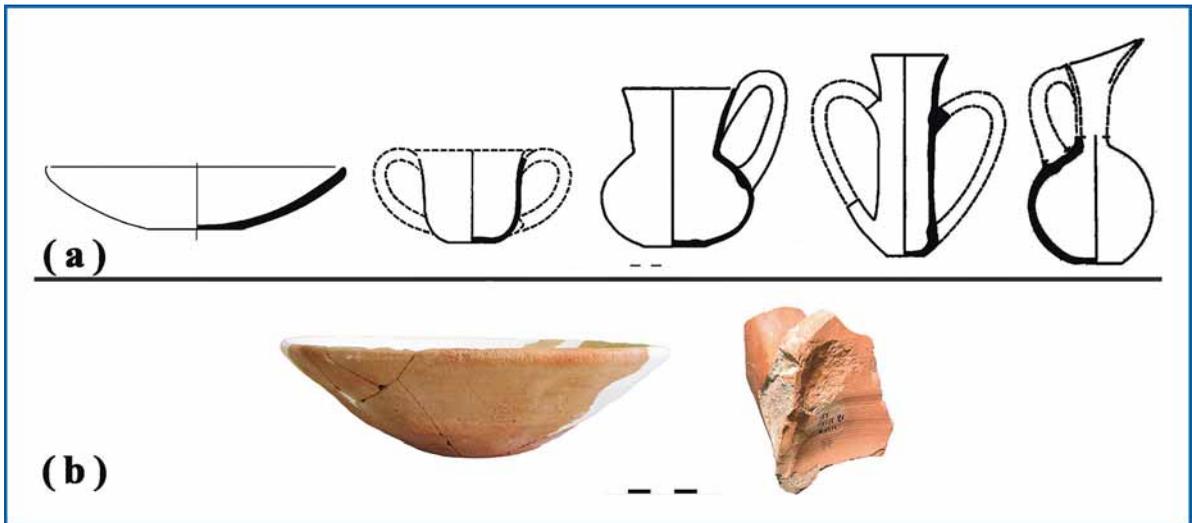


Figure 6 : Le nouveau répertoire céramique du BA2b : (a) les formes de l'assemblage 'anatolien' ; (b) récipients liés à la technique du tour. Dessins fondés sur Rutter 2012 ; photos © M. Choleva.

l'espace et leur évolution dans le temps révèlent des réseaux particuliers d'apprentissage et des lieux de pratique ainsi que des modes de transmission de nouvelles traditions technologiques à l'échelle locale et intercommunautaire.

La formation d'une nouvelle tradition technologique pendant le BA2b

Les plus anciens signes de l'emploi du tour de potier qui remontent au BA2b apparaissent en Grèce centrale au sein d'un petit assemblage de récipients d'inspiration anatolienne que remplacent les poteries traditionnelles liées à la vaisselle de table (Day et al. 2009) (Fig. 6).

Pour les chercheurs, l'apparition des nouvelles formes céramiques⁴ serait liée à l'appropriation de nouvelles habitudes de consommation des liquides dans le contexte des festins de petite échelle, ce qui impliquerait la diffusion, dans de nombreux milieux égéens, des pratiques dites 'anatoliennes' (Nakou 2007 ; Rutter 2008 ; Kouka 2013). La majorité des potiers en Grèce centrale, comme à Pefkakia, produisent les nouvelles formes en utilisant des techniques manuelles, les versions tournées apparaissant sporadiquement et rarement dans les villages (± 1 % des poteries). C'est uniquement à Lefkandi que le tour de potier, en tant qu'innovation ori-

ginaire d'Anatolie Occidentale, est pratiqué localement, et les récipients 'anatoliens' atteignent 16 % de la poterie du village et 40 % du nouvel assemblage céramique (Spencer 2007 ; Choleva 2015 ; 2018a).

Les pots tournés de Lefkandi et de Pefkakia sont façonnés selon deux méthodes : la méthode 2 et la méthode 3. La première méthode, liée à un usage plus 'simple' du tour, apparaît de manière minoritaire uniquement à Lefkandi. En revanche, la méthode 3, liée à un emploi plus complexe du tour, prédomine et elle est mobilisée dans le façonnage de la majorité des pots tournés à Lefkandi et de leur totalité à Pefkakia. La coexistence des deux méthodes à Lefkandi suggère une spécialisation différentielle au sein du façonnage et renvoie à deux comportements techniques différents, indicatifs d'entités artisanales ayant un niveau différent d'expertise au tour. Toutefois, la prédominance de la méthode 3 à Lefkandi et son usage exclusif à Pefkakia impliquent la diffusion, à un niveau intercommunautaire, des activités communes des potiers possédant une haute technicité et partageant le même savoir du tour. On pourrait alors supposer que l'acquisition de la technique du tour se réalise en Grèce centrale principalement sur la base d'une nouvelle tradition technologique liée à la méthode 3 tandis que la méthode 2 représente une alternative secondaire développée au sein du contexte de l'apprentissage et de la pratique du tour.

⁴ Leurs pourcentages dans les productions locales oscillent autour 10-12% (Day et al. 2009).

Malgré cette variabilité en matière d'expertise de l'outil, la vaisselle issue de la technique du tour présente une homogénéité marquante en termes de produits finis tant à Lefkandi qu'à Pefkakia. Elle est, en effet, le résultat de chaînes opératoires similaires qui : (a) partagent le même ensemble de techniques liées à la finition des pots, à savoir le lissage au tour et le tournassage des surfaces suivi parfois de leur engobage en rouge, et relatives à leur cuisson, à savoir le contrôle des conditions oxydantes conférant aux pots des couleurs d'une tonalité claire (rouge-rougeâtre, jaune, orange) ; et (b) débouchent sur une céramique monochrome rouge-orange (CRO) comprenant un répertoire des formes restreint incluant des assiettes et des gobelets. De plus, nos

analyses pétrographiques ont montré qu'un groupe bien défini et cohérent de recettes argileuses incluant des pâtes fines à très fines bien purifiées est mis en place, ce qui indique l'existence de techniques de préparation partagées pour les pots tournés de Lefkandi et de Pefkakia (Fig. 7).

Il est intéressant de constater également que la composition minéralogique de la plupart des pièces tournées est plus ou moins identique et qu'on peut l'attribuer à l'environnement géologique localisé dans la région de Lefkandi, comme l'image macroscopique l'avait déjà indiqué. Cette convergence suggère des choix communs en termes de sources argileuses et d'approvisionnement en matière première et renvoie donc à un

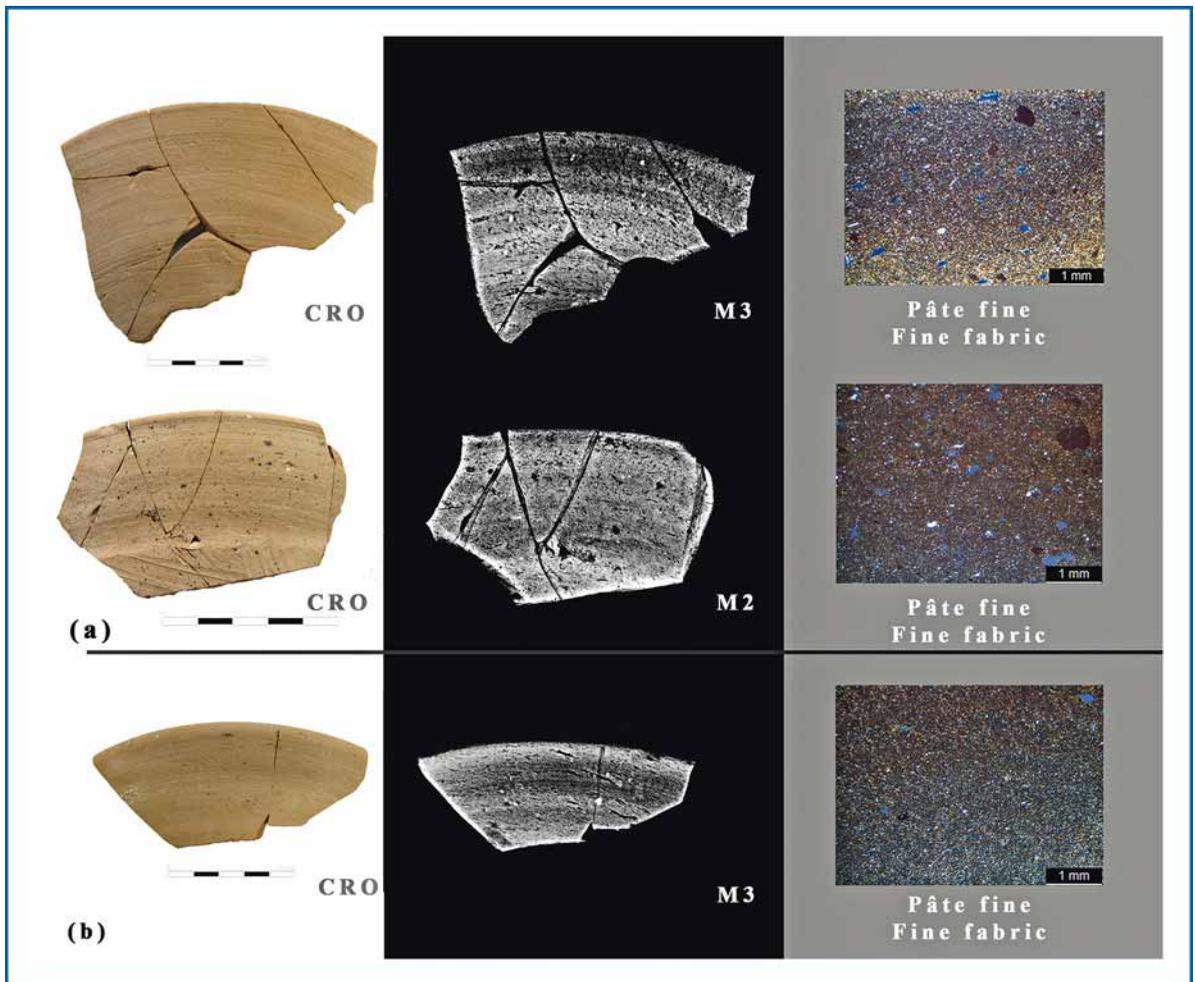


Figure 7 : Traits typiques des chaînes opératoires liées au tour en Grèce centrale, BA2b : (a) Lefkandi ; (b) Pefkakia.

lieu de production partagé. Selon cette perspective, Lefkandi s'avère pour le moment être l'unique site en Grèce centrale où l'on peut identifier un centre de fabrication local des versions tournées des formes 'anatoliennes' et où les peu nombreux pots façonnés au tour de Pefkakia sont fabriqués (Spencer 2007 ; Choleva 2015 ; 2018a).

Toutes les similarités observées au sein des chaînes opératoires démontrent des savoirs partagés entre les producteurs qui fabriquent la céramique tournée, qu'il s'agisse des potiers pratiquant la méthode 3 ou 2, ce qui suggère l'adoption d'un comportement technique commun pour tous potiers possédant la connaissance du tour en Grèce centrale. Il apparaît alors qu'un package technologique cohérent, voire standardisé, est construit sur la base d'une tradition technologique fondée sur la pratique du tour. C'est à travers cette tradition que l'on voit naître une petite communauté de potiers qui opèrent à Lefkandi en établissant un contexte d'apprentissage assuré par la transmission d'un savoir-faire d'origine 'anatolienne' en vue de la création d'une céramique également 'anatolienne'. Les plus experts entre eux, ceux qui maîtrisent le tour selon la méthode 3, se distinguent dans la communauté de pratique, tout en faisant circuler leurs produits à Pefkakia à travers un réseau de communication favorisant les activités artisanales et les échanges à l'échelle régionale.

Toutefois, le rôle restreint de cette communauté dans l'organisation de la poterie n'a pas un impact significatif sur les systèmes de production de la Grèce centrale. D'une part, le tour de potier se limite à la production d'une partie des formes 'anatoliennes', sans jamais basculer vers les céramiques traditionnelles dites 'Helladiques'. D'autre part, notre étude a montré qu'un éventail de méthodes de façonnage fondées sur la technique manuelle des colombins est mis en place tant à Pefkakia qu'à Lefkandi et est employé pour la fabrication des formes 'anatoliennes' de la céramique CRO. À Pefkakia, la majorité des récipients 'anatoliens' faits à la main partagent les mêmes pâtes locales dont la texture est semi-fine à semi-grossière, ce qui contraste avec les pâtes fines des pots tournés et signifie l'existence des potiers de techniques manuelles qui monopolise la fabrication de l'assemblage 'anatolien' à Pefkakia. Par contre, à Lefkandi, il existe une variabilité technologique marquante au sein de cet

assemblage : bien qu'une large partie des variantes faites à la main soit associée à des pâtes semi-grossières locales, une autre portion comprend exactement les mêmes pâtes fines que celles utilisées pour les céramiques tournées (voir aussi Spencer 2007) (Fig. 8).

Cette convergence entre céramique tournée et céramique faite à la main révèle que des potiers utilisant différentes techniques de façonnage et qui sont alors originaires de différents processus d'apprentissage participent au même milieu technologique et partagent les mêmes intentions de production. Dans ce contexte, le tour de potier ne représente qu'une pratique ne concernant que des actions d'une communauté minoritaire qui opère dans un système de production dominé par une multitude de traditions technologiques manuelles.

L'émergence de nouvelles traditions technologiques de tour de potier du BA3

À l'aube du BA3 les communautés de la Grèce centrale voient se marginaliser l'assemblage 'anatolien' (Spencer 2007 ; 2010) tandis que les villages du nord-est du Péloponnèse, qui n'ont jamais adopté les pratiques 'anatoliennes', voient disparaître les répertoires céramiques traditionnels qui, contrairement à la Grèce centrale, ont été maintenus intacts tout au long du BA2 (Rutter 1979 ; Weiberg & Lindblom 2014). De nouvelles formes à boire et de nouvelles catégories stylistiques émergent maintenant, en accentuant l'apparence visuelle et esthétique des pots et reflétant une tendance vers le régionalisme des traditions céramiques (Rutter 1995 : 627-635 ; Maran 1998 : 277-282). Les nouveaux types morpho-stylistiques composent de petits assemblages qui se diffusent de façon différentielle dans le continent grec et remplacent les vaisselles de table qui jusqu'alors servaient aux habitudes commensales particulières à chaque région (Pullen 2013). L'interprétation prédominante voit dans ces nouveaux assemblages se véhiculer des pratiques 'anatoliennes' du BA2b et manifester la transformation créative de leur impact sur des poteries indigènes (Nakou 2007 ; Rutter 2008). Ils représentent, en effet, des agrégats de formes hybrides, de styles et de savoirs qui sont nés à l'issue d'un processus long et dynamique d'entrecroisements et de fusion entre les traditions 'anatoliennes' et 'helladiques' et les nouveautés apparues à la transition au BA3,

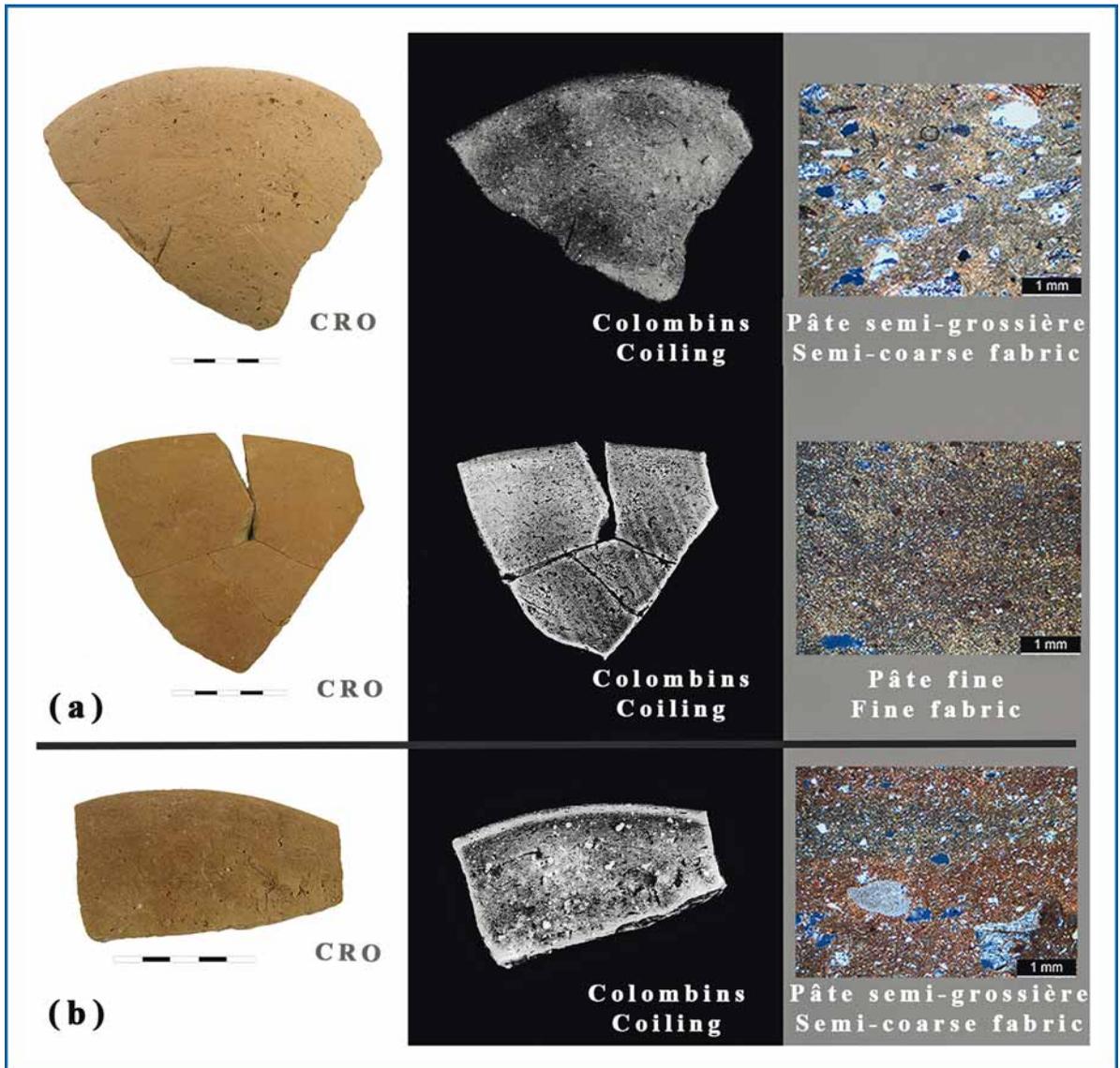


Figure 8 : Versions de pots tournés faits à la main en Grèce centrale, BA2b : (a) Lefkandi ; (b) Pefkakia.

processus qui est censé avoir eu lieu en Grèce centrale (Rutter 1979 ; 1983 ; 2012). C'est dans le cadre de cette nouvelle céramique que le tour de potier, en tant qu'élément d'origine anatolienne, glisse au BA3 et se transmet à plusieurs villages inaugurant une ère de nouvelles traditions technologiques (Fig. 9).

La transmission du tour de potier en Grèce centrale

Au début du BA3, les villages de la Grèce centrale voient le tour de potier s'enraciner dans les systèmes de production locaux. D'une part,

son emploi s'augmente à Lefkandi (24 %) (Spencer 2010). D'autre part, il se répand dans d'autres villages, comme à Pefkakia, qui fait l'expérience d'un changement radical : les céramiques tournées représentent maintenant 20 % de sa production reflétant la pratique locale du tour (Choleva 2018a). La transmission de cette technologie n'implique pas, néanmoins, son adoption arbitraire : son emploi se rencontre exclusivement au sein de deux nouveaux assemblages céramiques qui apparaissent simultanément à la fois à Lefkandi et à Pefkakia au début du BA3. Ces assem-

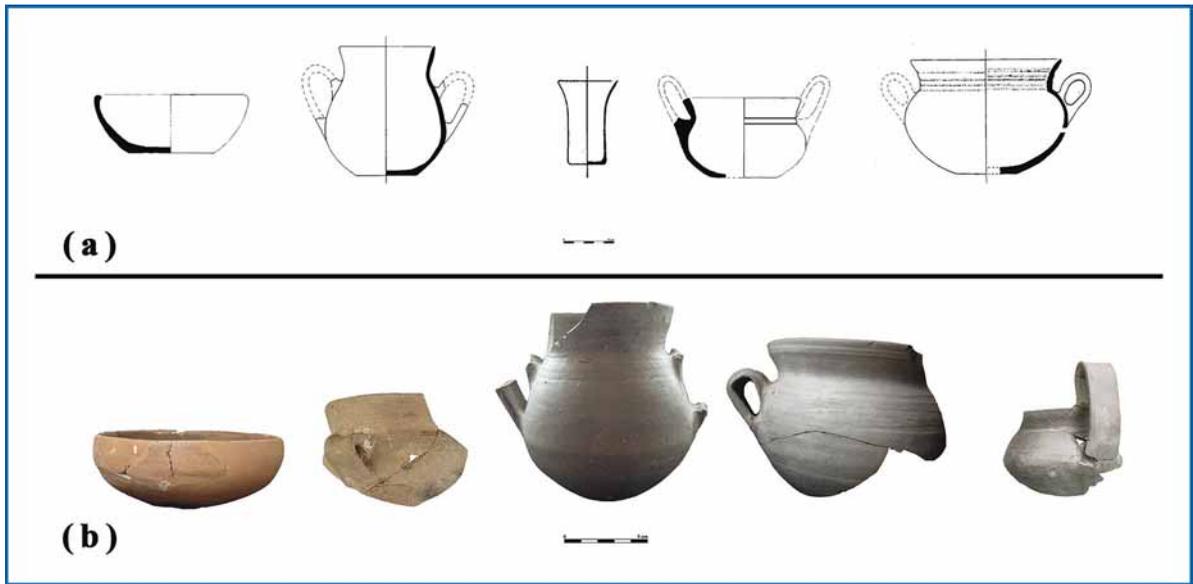


Figure 9 : Le nouveau répertoire céramique du BA3 : (a) les formes 'hybrides' ; (b) récipients liés à la technique du tour. Dessins fondés sur Maran 1992 ; photos © M. Choleva.

blages ont une présence distincte dans la production céramique des deux villages⁵ et partagent plus ou moins les mêmes formes 'hybrides' à boire (bols, gobelets et tasses). Ces dernières représentent, dans leur majorité, des évolutions des formes 'anatoliennes' et elles se différencient sur la base de leurs attributs stylistiques. Il s'agit (a) d'une céramique rouge-orange (CRO), évoquant l'apparence visuelle de l'ancienne céramique anatolienne, et (b) d'une céramique grise polie (CGP), englobant deux innovations de l'époque impliquant des connaissances techniques spécialisées : un contrôle maîtrisé de la cuisson réductrice conférant aux pots une couleur grise uniforme et un brunissage particulier des surfaces. Les chercheurs entrevoient à travers la nouvelle céramique CRO la continuation de pratiques techniques 'anatoliennes' du BA2b (Maran 1998 : 280-282, 319-320). Concernant la céramique CGP, ils lui reconnaissent aussi une signature 'anatolienne' et ils lui prêtent une fonction spécifique, les pots gris étant interprétés comme des reproductions imitant l'apparence visuelle des objets métalliques dans le cadre de festins (Maran 1992 ; Nakou 1997 ; Rutter 2012).

⁵ Elles atteignent plus ou moins le 20% des poteries de chaque village (Choleva 2015)

Une large partie de ces nouveaux assemblages est produite par la technique du colombinage au tour qui est employée selon les méthodes de façonnage identifiées déjà au BA2b : la méthode 2 et la méthode 3. À Lefkandi, la méthode 3 demeure la manière de faire dominante tant au sein des pots rouges-oranges que gris, tandis que la méthode 2 diminue radicalement et n'apparaît que rarement. La perpétuation et la dominance de la méthode 3 à Lefkandi traduit la cristallisation d'une ancienne technologie de façonnage d'une haute complexité technique. Par contre, à Pefkakia, la méthode 3 est absente ; on voit apparaître et dominer presque exclusivement la méthode 2, ce qui signifie que le tour est pratiqué en suivant une manière de faire unique, suggérant l'existence d'une entité artisanale partageant d'emblée un comportement technique commun d'un degré d'expertise moindre. Les deux méthodes identifiées ont dû refléter des actions spécifiques à des potiers qui perpétuent à Lefkandi et introduisent à Pefkakia des savoirs hérités d'une longue tradition technologique née et performée en Grèce centrale depuis le BA2b. En dépit de changements majeurs dans la production, le maintien et la diffusion du tour devraient alors suggérer sa transmission verticale du BA2b au BA3 et l'émergence de nouvelles traditions technologiques fondées sur des manières locales d'approprier et de pratiquer l'outil.

Toutefois, contrairement au BA2b, le tour devient à cette époque partie prenante des chaînes opératoires hétérogènes, chacune comprenant un ensemble distinct de connaissances techniques en fonction des types morpho-stylistiques à produire. D'une part, pour les pots rouges-oranges, les potiers emploient des techniques de finition et de cuisson qui sont déjà connues depuis le BA2b, à savoir le lissage au tour et le tournassage parfois suivi de l'engobage des surfaces, et la cuisson sous des conditions oxydantes. D'autre part, pour produire la céramique grise, différentes techniques, totalement neuves, sont mises en œuvre : le brunissage des surfaces et la cuisson réductrice à hautes températures. Dans le premier cas (CRO), on voit circuler de choix technologiques inhérents à la précédente céramique tournée qui glissent, avec le tour, vers la fabrication de nouvelles formes. Dans le deuxième cas (CGP), par contre, des nouveautés techniques de l'époque sont liées à l'ancienne technique du tour pour réaliser la fabrication des pots gris (**Fig. 10**).

Dans cette perspective, on discerne deux systèmes techniques différents qui sont mobilisés par des potiers partageant la connaissance du tour de potier dans chaque village. Ces potiers devaient être membres de communautés de pratique qui développent différents comportements techniques en fonction des produits à fabriquer. Toutefois, il s'agit de communautés qui partagent un savoir-faire commun et distinctif et qui opèrent à chaque village pour produire uniquement des pots CRO et CGP.

L'analyse pétrographique des pots tournés CRO et CGP de Lefkandi a aussi montré qu'ils sont en majorité composés de la même variété de pâte, fine à très fine, que celle qui a été employée pour la céramique tournée du BA2b (voir aussi Spencer 2007). Les potiers spécialisés au tour préservent, en effet, les mêmes techniques de collecte et de préparation des pâtes que leurs prédécesseurs du BA2b et ils partagent les mêmes gisements locaux pour l'approvisionnement de leurs matières premières. On reconnaît alors le fil évolutif des actions d'une communauté stable et résistante de potiers qui reproduit et transmet dans le temps un savoir-faire issu d'une longue tradition technologique tout en s'adaptant aux nouvelles intentions de la production et consommation.

Contrairement, l'apparition du tour à Pefkakia implique une 'discontinuité' dans le système de production local. Bien que les pâtes des pots tournés, d'une texture semi-fine, soient compatibles avec la géologie de la région et indiquent un emploi local du tour, leurs compositions minéralogiques sont associées à des sources argileuses variées et inconnues pour la poterie indigène du BA2b. Elles reflètent, en effet, une mutation profonde des pratiques d'approvisionnement en matières premières. Il est intéressant de noter que les pâtes examinées présentent une diversité interne significative en termes de recettes argileuses, suggérant une pluralité de choix pétrographiques parmi les potiers pratiquant le tour. Cette absence de standardisation des matières premières, couplée avec l'apparition soudaine du tour selon une méthode unique de façonnage (M2) pourrait indiquer un phénomène de mobilité artisanale et l'émergence d'une communauté de pratique totalement neuve à Pefkakia dont ses membres partagent la même tradition et approprient de façon différenciée l'environnement technologique du village. Les origines de cette tradition, fondée sur la méthode 2, devraient être, néanmoins, communes et pourraient être retracées au sein des entités artisanales opérant à Lefkandi depuis le BA2. Les réseaux de communication entre les villages de Grèce centrale décelables dès le BA2b à travers la circulation des pots originaires de Lefkandi à Pefkakia, semblent se maintenir lors de la transition au BA3 et favoriser le transfert du tour de potier. L'apparition d'un groupe de potiers qui apporte la nouvelle technologie semblent garder leur propre tradition en créant des réseaux distincts d'apprentissage et de pratique du tour qui se relie intimement à la production d'une céramique bien définie (CRO and CGP).

La perpétuation des communautés de potiers spécialisés au tour à Lefkandi et leur apparition à Pefkakia, ainsi que leur rôle commun dans les productions locales, ne traduit pas un monopole de la fabrication de leurs produits au tour. Notre étude a révélé qu'à côté des céramiques rouges-oranges et grises tournées, on rencontre, particulièrement au sein de la céramique CGP, des versions façonnées au colombin sans l'aide de l'ECR (**Fig. 11**).

Leur présence implique alors d'autres communautés de potiers possédant un savoir-faire diffé-

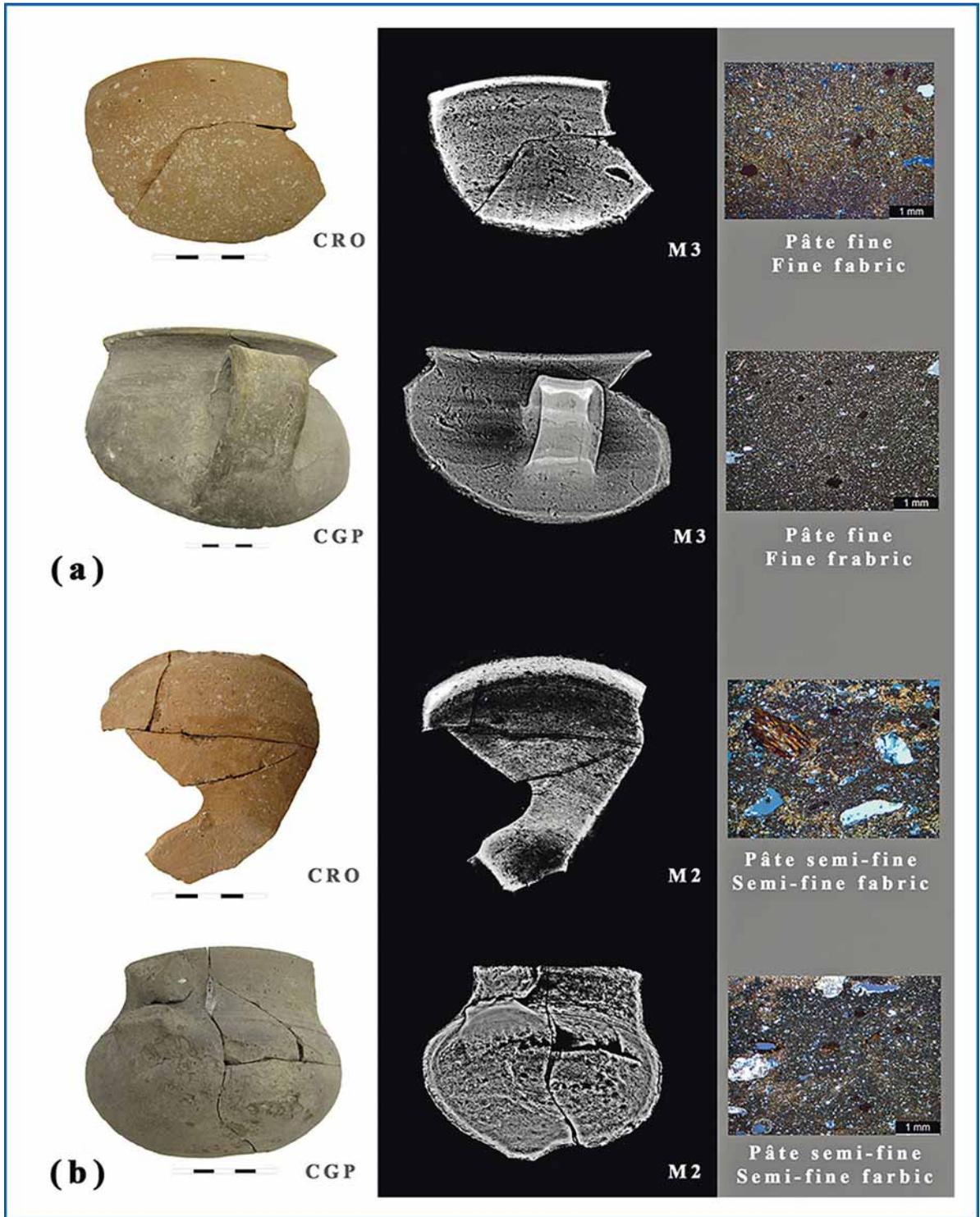


Figure 10 : Traits typiques des chaînes opératoires liées au tour en Grèce centrale, BA3 : **(a)** Lefkandi ; **(b)** Pefkakia

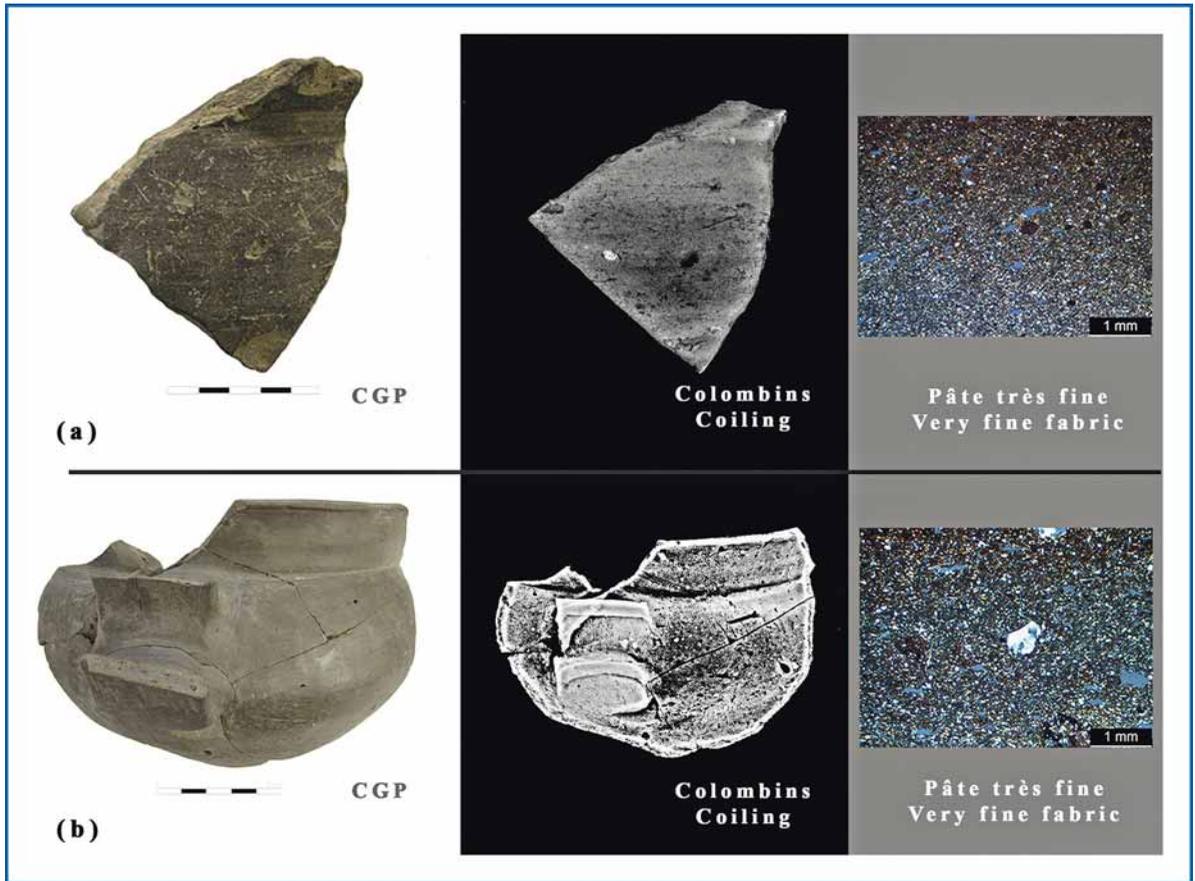


Figure 11 : Versions de pots tournés faits à la main en Grèce centrale, BA2b : **(a)** Lefkandi ; **(b)** Pefkakia.

rent (techniques manuelles) mais utilisant les mêmes techniques de finition (lissage) et de cuisson (oxydante ou réductrice) pour atteindre la même finalité dans le processus de production. Toutefois, tant à Lefkandi qu'à Pefkakia, la composition minéralogique des pots faits à la main les différencie souvent, à un certain degré, des versions tournées, ce qui signifie différents comportements de collecte et de préparation d'argiles. Bien que ce sujet mérite une étude plus approfondie à travers des analyses chimiques, il semble déjà s'esquisser une séparation des systèmes techniques dans lesquels chaque communauté de pratique opère pour produire le même type de céramique.

Le transfert du tour de potier dans le nord-est du Péloponnèse

Les communautés du nord-est du Péloponnèse voient apparaître les premières céramiques tournées à la suite des violentes destructions qui

frappent les habitats monumentaux de la région à la fin du BA2b (e.g. Forsèn 1992 ; Rutter 1995). Leur présence coïncide avec l'avènement des nouvelles formes céramiques 'hybrides', ce qui a permis à Jeremy Rutter de parler d'une 'orientalisation' des habitudes de consommation péloponnésiennes (Rutter 1979 ; 1983 ; 2008). C'est dans ce cadre qu'un petit assemblage céramique déjà connu en Grèce centrale se diffuse dans plusieurs sites péloponnésiens, comme Lerne et Tirynthe en Argolide. Il s'agit de la céramique CGP dont la présence est limitée mais systématique dans les poteries locales (5 %) et qui inclut à la fois des versions tournées et faites à la main d'une série de gobelets et tasses. Il est intéressant de constater que, par opposition à la Grèce centrale, l'emploi du tour demeure presque exclusivement associé à la production des pots gris et reste une pratique marginale dans les systèmes de production locaux (3 %) (Weisshaar 1983 ; Rutter 1983 ; 1995). À l'encontre de l'image

répandue dans la recherche, d'une céramique tournée 'importée' et d'une version faite à la main 'locale', les résultats de notre étude plaident plutôt en faveur d'activités artisanales développées à l'échelle régionale à l'issue des phénomènes de transferts techniques depuis la Grèce centrale.

Malgré les quantités minimales de pots façonnés au tour, nos analyses à Lerne et Tirynthe ont fait ressortir une variabilité inattendue par rapport aux procédés selon lesquels le colombinage au tour est mis en place. Trois méthodes différentes, les méthodes 1 à 3, ont été identifiées. La méthode 3 est assez majoritaire et sous-tend presque l'entièreté des céramiques portant des traces de l'ECR, tant à Lerne qu'à Tirynthe et s'avère donc être le savoir-faire le plus standardisé au sein leur céramique tournée. En revanche, la méthode 1 et la méthode 2 apparaissent de façon plus occasionnelle pour certaines formes : méthode 1 est documentée uniquement à Lerne, tandis que la méthode 2 est omniprésente. L'emploi sporadique de ces dernières méthodes d'une complexité gestuelle moindre nous permet de parler de procédés non systématiques dans le cadre de l'apprentissage et de la pratique du tour. Les modalités d'apparition des trois méthodes en Argolide suggèrent, en effet, que différentes entités artisanales, se caractérisant par des comportements variés et non standardisés, s'opèrent juste à côté des potiers qui possèdent un haut niveau d'expertise du tour. La prééminence de la méthode 3 – un mode d'emploi du tour typique de la Grèce centrale depuis le BA2b – suggère certes qu'un savoir-faire saillant est diffusé entre les potiers produisant les pots tournés à Lerne et Tirynthe, tout en indiquant une tradition technologique partagée.

L'existence d'une tradition commune liée au tour apparaît aussi quand on constate que presque tous les pots tournés de cette région appartiennent à la céramique CGP⁶ et sont le résultat de chaînes opératoires similaires.

⁶ À Lerne, il apparaît aussi un unique gobelet-miniature d'une forme orientalisante façonné selon la méthode 3, le seul qui appartient à la céramique CRO, qui ne se rencontre jamais dans le Péloponnèse (Choleva 2012: fig. 10b). L'analyse pétrographique a dévoilé une composition minéralogique étrangère à la géologie de la région, ce qui implique probablement le caractère importé du pot.

Comme dans le cas de la Grèce centrale, les producteurs de la céramique tournée péloponnésienne s'approprient un package technologique innovant : le tour de potier, le brunissage des surfaces, le contrôle d'une cuisson réductrice des pots et un répertoire composé d'une série restreinte de formes à boire. De plus, il est notable que, indépendamment de la méthode utilisée, la plupart des pots tournés présentent de traits techniques comparables quant aux pâtes utilisées. Il s'agit de pâtes très bien purifiées, d'une composition très fine, ce qui renvoie à des techniques spécialisées communes de préparation d'argiles (**Fig. 12**).

Dans ce cadre, on voit le tour être une composante constitutive d'un comportement technique uniforme qui active un système technique partagé entre Lerne et Tirynthe, lui-même spécifique à des entités artisanales maîtrisant le tour avec différentes habiletés mais possédant sa connaissance dans le nord-est du Péloponnèse.

Malgré que notre étude pétrographique n'ait pas permis de caractériser avec certitude les lieux de provenance des pots tournés à cause de la texture très fine des pâtes et de l'altération des minéraux, causée par les hautes températures de cuisson, les résultats obtenus soulignent déjà des processus variés d'intégration du tour dans le milieu technologique de chaque village et, le cas échéant, une pratique locale ou régionale du nouveau savoir-faire. Les pâtes utilisées à Lerne, quant à elles, pourraient largement être attribuées à un environnement géologique commun. Toutefois, elles se caractérisent par une telle micro-variation qu'elles nous permettent de cerner des activités diversifiées d'approvisionnement en argiles. Cette diversité suggère des pratiques non standardisées qui sont mobilisées par plusieurs entités artisanales utilisant la technique du tour. En revanche, à Tirynthe, les pâtes utilisées présentent, dans leur majorité, un degré plus haut d'homogénéité qui pourrait être attribué à des comportements de collecte et de préparation des argiles plus uniformes. Il est intéressant de constater également que ces pâtes ressemblent à certain degré à un groupe d'argiles qui est discerné à Lerne, ce qui pourrait suggérer un lieu commun de production pour quelques pots tournés de l'Argolide. Bien que des analyses chimiques des pâtes permettront de mieux élucider cette variabilité pétrographique, l'exploita-

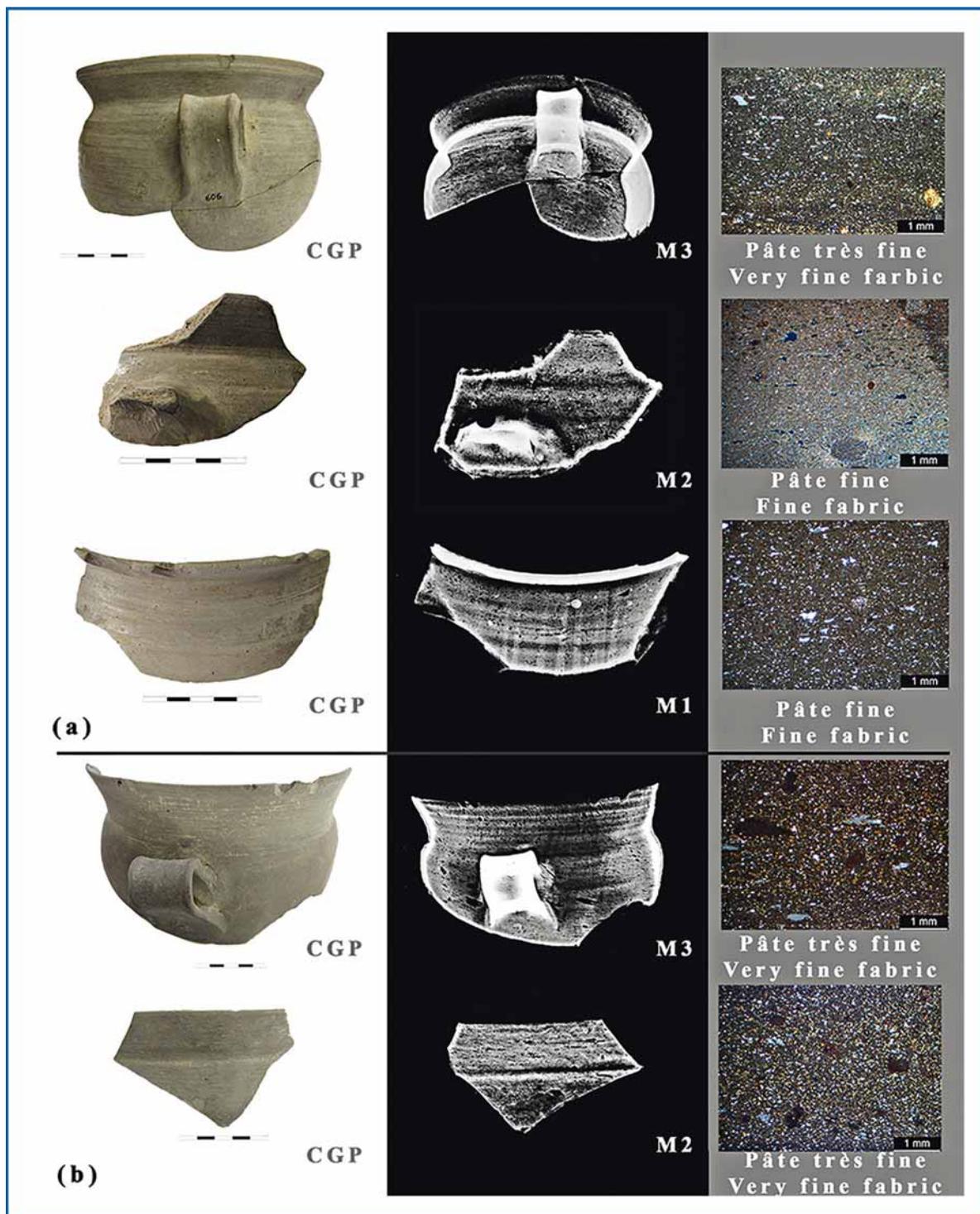


Figure 12 : Traits typiques des chaînes opératoires liées au tour dans le nord-est du Péloponnèse, BA3 : **(a)** Lerne ; **(b)** Tirynthe.

tion de plusieurs gisements de la même région pour la fabrication des pots tournés reflète déjà différentes stratégies d'approvisionnement en matière première et probablement une absence de standardisation des comportements de collecte de l'argile.

Si l'on envisage alors le scénario d'un emploi local ou régional du tour (voir ci-dessous), la présence des petits assemblages de récipients gris tournés à Lerne et à Tirynthe devra refléter la dispersion des potiers, peu nombreux en Argolide, qui s'approprient de façon différentielle l'environnement technologique disponible. La prééminence de la méthode 3, c'est à dire la méthode la plus spécialisée au sein des céramiques tournées, devrait cependant refléter les activités des potiers-experts au tour qui partagent et transmettent la même tradition technologique. Dans ce cadre, l'existence d'autres méthodes d'une moindre technicité indiquent probablement des entités artisanales entraînées dans la même tradition. Cette dernière a dû se diffuser au sein d'une communauté de pratique reliée par des réseaux communs d'apprentissage et de pratique du tour.

Par ailleurs, il est intéressant de constater que les potiers utilisant le tour en Argolide (a) sont attachés à la production d'une céramique bien définie, (b) ils partagent un comportement technique commun tout au long de la fabrication, un comportement qui rappelle les habitudes techniques rencontrées en Grèce centrale dans le cadre de la céramique CGP, et (c) ils possèdent, dans leur majorité, un savoir du tour d'une haute spécialisation technique (M3) dont l'origine peut être retracée au sein des systèmes de production développés en Grèce centrale depuis le BA2b. Lorsqu'une technique de façonnage ne peut pas être adoptée et reproduite sans apprentissage et contacts physiques entre individus, l'apparition de la nouvelle technologie, ayant déjà une longue histoire en Grèce centrale, nous amène ainsi à envisager un phénomène de mobilité artisanale favorisant le transfert du tour depuis la Grèce centrale vers le nord-est du Péloponnèse (cf. Rutter 1995). Selon cette perspective, les potiers utilisant le nouvel outil devaient avoir des liens intimes avec les pratiques de la Grèce centrale en les transférant dans les milieux péloponnésiens et en créant une communauté de pratique distincte.

Il est cependant intéressant de constater que cette communauté n'est pas la seule qui produit la céramique CGP en Argolide. Notre étude a dévoilé le façonnage parallèle des pots gris par une variété de techniques manuelles, telles que le façonnage aux colombins ou le modelage, ce qui signifie que des potiers qui ne maîtrisent pas le tour participent aussi à leur production (**Fig. 13**).

La comparaison des pâtes entre versions tournées et non tournées a fait ressortir, cependant, une convergence inattendue tant de la technologie impliquée que de leur composition minéralogique, particulièrement dans le cas de Lerne. L'emploi des mêmes pâtes et des mêmes techniques nous amène, non seulement à éliminer la distinction entre céramique tournée importée et version faite à la main locale et à envisager la possibilité d'une pratique locale du tour ; il implique de plus que les différentes entités artisanales sont attachées à la production de la céramique CGP, et ils partagent alors tous les moyens spécialisés pour la fabriquer (brunissage, cuisson réductrice etc.). Dans ce contexte, on pourrait envisager la coexistence de différentes communautés de pratique dans le même contexte de production où des potiers d'un savoir-faire radicalement différent, dérivant de réseaux d'apprentissage variés, se trouvent en pleine interaction. C'est la gestualité impliquée dans le façonnage qui différencie ces communautés, le tour de potier étant le marqueur des peu nombreux potiers qui maintiennent une tradition technologique marginale mais saillante.

Conclusions

À la lumière d'une vision stéréotypée des technologies en tant que moyens techniques neutres et a-culturels (cf. Pfaffenberger 1992 ; Gosselain 1998), l'innovation du tour a dû être adoptée en raison des avantages techno-fonctionnels que l'interprétation traditionnelle lui accorde : efficacité, intensification et standardisation de la production (cf. Baldi & Roux 2016). Toutefois, l'histoire ancienne d'apparition et de transmission de cette technologie dans le continent grec pendant le Bronze Ancien ne renvoie à aucune motivation d'ordre fonctionnel ou économique (cf. Knappett 2016). En revanche, le long et complexe processus de son appropriation démontre qu'il s'agit d'un phénomène d'ordre culturel.

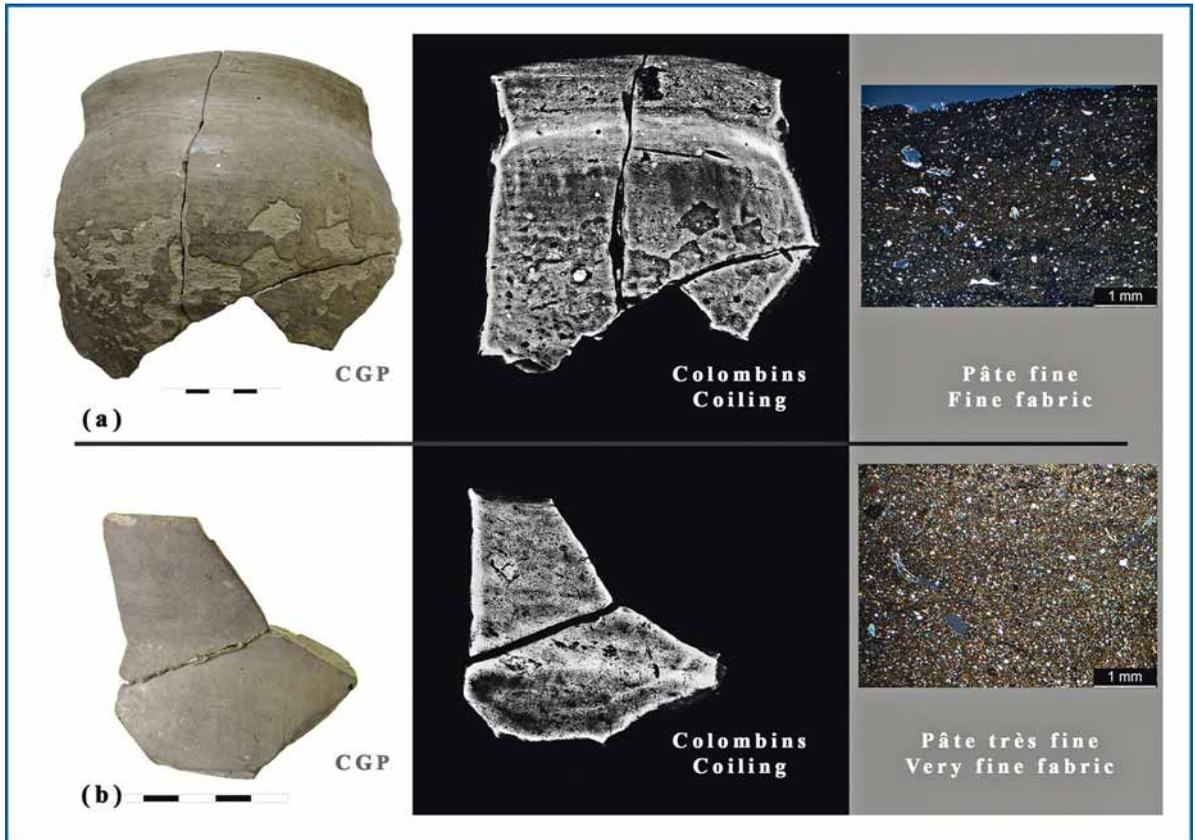


Figure 13 : Versions de pots tournés faits à la main dans le nord-est du Péloponnèse, BA3 : (a) Lerne ; (b) Tirynthe.

Au lieu de devenir un moyen de production généralisé et fonctionnel, le tour de potier apparaît comme une pratique technique minoritaire, parfois marginale, et demeure attaché à des activités artisanales précises de petite échelle. À travers la restitution des traditions technologiques qui ont émergé sur la base du nouvel outil, nous avons constaté partout la répétition d'un même phénomène dans les villages helladiques : le savoir du tour reste 'captif' de choix morpho-stylistiques particuliers et bien définis sans jamais basculer arbitrairement dans les poteries locales, tandis que les producteurs, dans leur majorité, rejettent cette innovation et préservent leur 'habitus' traditionnel. Quelles sont alors les motivations et les mécanismes sous-tendant l'adoption, la transmission et la perpétuation du nouveau savoir-faire, à une période de profondes transformations des systèmes de production céramique ? Dans la mesure où les choix techniques sont modulés dans le cadre socioculturel

de l'apprentissage selon les définitions locales que chaque communauté de pratique attribue à ses actions (Gosselain & Livingstone Smith 2005 : 42), on peut discerner une 'identité' socio-culturelle enracinée dans le choix du tour qui semble le 'cantonner' à un rôle social particulier.

Des études récentes qui se focalisent sur la comparaison des céramiques tournées du monde égéen et du monde anatolien pendant le BA2b permettent d'entrevoir la probable installation des petits groupes de potiers en Grèce centrale, entraînés dans une tradition d'origine 'anatolienne', qui apportent leur propre savoir-faire. Au sein de cette tradition, la technique du tour semble être associée, originairement, à une céramique liée à des comportements de consommation particuliers, et donc avoir une valeur culturelle distincte (Choleva 2015 ; 2018b). Comme nous l'avons montré, ces potiers, s'intégrant dans un milieu socio-culturel ouvert aux influences 'anatoliennes', maintiennent intacte

leur tradition au sein d'une communauté de pratique fermée. Cette dernière établit à Lefkandi son propre lieu d'apprentissage et sur la base de la production de formes qui sont toujours d'inspiration 'anatolienne'. Cette petite communauté introduit un savoir-faire exigeant d'une haute technicité – inconnu jusqu'alors au sein des milieux techniques locaux – qui n'a une valeur culturelle que pour ses possesseurs, tandis que le tour reste une pratique à la fois inaccessible pour la majorité des producteurs des répertoires 'anatoliens' et traditionnels, et peut-être 'indifférent' pour les consommateurs de leurs produits.

À l'aube du BA3, le savoir-faire du tour s'étend maintenant aux nouvelles traditions technologiques qui sont fondées sur l'entrecroisement de la technologie du tour et de la fabrication d'un nouveau répertoire de récipients à boire qui véhiculent les habitudes de consommation de la phase précédente. Ces traditions caractérisent des activités de potiers qui maintiennent et perpétuent des savoirs hérités de la tradition anatolienne du tour du BA2b. Dans ce contexte, on voit les potiers possédant la connaissance du tour opérer dans de nombreux sites du continent grec et inaugurer de nouveaux réseaux d'apprentissage et de pratique assurant la transmission de leur propre manière de faire. L'étude technologique a fait ressortir à la fois des savoirs partagés entre ces potiers mais aussi la diversité de leurs niveaux d'expertise, tous les deux reflétant des modèles d'apprentissage à l'échelle locale et révélant des processus bio-comportementaux 'individuels' sous-tendant l'acquisition des habiletés requises (cf. Bril & Roux 2002). Les potiers spécialisés au tour deviennent, en effet, des membres de petites ou de plus larges communautés qui (a) apprennent la technique du tour selon leur propres 'programmes' d'éducation, (b) mobilisent des chaînes opératoires similaires et (c) exploitent l'environnement technologique disponible pour atteindre une même finalité : produire une série de récipients ayant une signature 'anatolienne'.

Dans ce cadre, il apparaît que, pendant le BA3, le rapport entre la technique du tour et une céramique spécifique se maintient et donc que se perpétue une valeur culturelle que détermine les actions des potiers spécialisés au tour. Si les techniques sont « des actes traditionnels efficaces » (Mauss 2009 : 82), elles sont tradition-

nelles car elles se transmettent d'une génération à l'autre dans un contexte collectif qui consolident des principes communs d'action et de conception (Schlanger 1991 : 114-116 ; 2009 : 18-20), on pourra entrevoir à travers la transmission du tour de potier du BA2b au BA3 la perpétuation d'une pratique sociale traditionnelle. Selon cette perspective, on pourrait interpréter les différents phénomènes de transferts techniques identifiés tant en Grèce centrale que dans le nord-est du Péloponnèse comme l'expression des actes significatifs de potiers qui reproduisent un long 'habitus' culturel enraciné dans un monde social d'activités artisanales.

Des potiers originaires de traditions communes sont apparemment dispersés à différents endroits du continent grec pendant la période de déstabilisations socio-économiques généralisées et au moment où des comportements de consommation changent, assimilent certains aspects de l'élément 'anatolien' de la phase précédente et sont adoptés par certains groupes de consommateurs dans les sociétés helladiques. Dans ce cadre, les producteurs maîtrisant le tour et étant captifs des pratiques 'anatoliennes' participent à l'organisation de la nouvelle production de chaque village de façon variée en fonction du milieu socio-culturel dans lequel ils s'intègrent. D'une part, le tour demeure entre les mains de potiers qui composent une communauté de pratique résistante en Grèce centrale. C'est une communauté qui est bien visible à la région et destinent sa production à des consommateurs qui sont familiarisés avec les habitudes anatoliennes depuis le BA2b. D'autre part, l'emploi du tour demeure une pratique rare dans le Péloponnèse, une région qui a développé différentes stratégies d'organisation sociale pendant le BA2b tout en restant éloignée des traditions céramiques anatoliennes. Il détermine maintenant les actions d'une communauté très marginale, invisible, entraînée probablement dans les traditions du tour de la Grèce centrale. Il s'agit de potiers qui sont destinés à la production de certains nouveaux récipients à boire et qui introduit, en effet, des pratiques exogènes pour les milieux socio-culturels locaux, leurs produits ne concernant que de petits groupes de consommateurs.

Les nouvelles communautés de pratique du continent grec se différencient des autres producteurs des villages sur la base de leur neufs com-

portements techniques, ce qui suggère des frontières 'sociales' entre potiers spécialisés au tour et potiers persistant dans des techniques manuelles. Toutefois, on constate toujours un phénomène impliquant des échanges et des interactions entre producteurs : les potiers apprenant une technique spécialisée longue et difficile à acquérir, coexistent et partagent toujours le même contexte de production avec des petits groupes de potiers dotés de différents savoir-faire, liés au façonnage manuel, et originaires d'un contexte d'apprentissage différent. Tous les deux partagent la même finalité et activent des chaînes opératoires comparables, et parfois le même environnement technologique, pour produire une céramique similaire (pots CGP) ayant une valeur particulière dans l'arène des activités commensales. Cela devait impliquer que le rôle social du tour de potier n'était pas valorisé en raison de son lien avec ce type de céramique. Ce partage de pratiques par différentes communautés manifeste, en effet, une division sociale dans le même contexte

de production, une division qui ne concerne pas, néanmoins, la répartition des tâches en fonction des 'goûts' des consommateurs. Il s'agit d'une division qui s'exprime dans l'arène sociale 'invisible' des ac-

tions techniques et de l'apprentissage des savoirs, là où les transformations cognitives consolident les savoir-faire et les manières de concevoir, où les traditions sont configurées et là où les identités sociales se forment et s'approprient (Chevalier 1991 ; Dietler & Herbich 1994 ; Minar & Crown 2001 : 370-373).

Dans cette perspective, c'est le tour de potier, en tant qu'une pratique culturelle, qui agit comme agent fixateur des communautés de ceux qui apprennent et possèdent la connaissance de l'outil. Ces individus produisent des valeurs culturelles à travers une conception du façonnage unique ; en pratiquant, ils construisent et redéfinissent une identité sociale distincte en créant des 'frontières' dans le monde résistant des producteurs qui persistent dans des tradi-

tions manuelles. C'est dans ce cadre que la technologie du tour s'avère alors résiliente et que sa diffusion arbitraire se heurte à des contraintes d'ordre conceptuel et culturel (Van der Leeuw 1993 ; Gelbert 1997). Elle concrétise, en effet, les valeurs de ceux qui maîtrisent l'outil en l'empêchant de dégager ses potentiels techniques et de se généraliser dans des sociétés qui gardent et valorisent leurs manières de faire traditionnelles.

Remerciements

Je voudrais remercier la Fondation Fyssen de m'avoir donné l'opportunité d'effectuer cette recherche ainsi que Jan Driessen qui m'a accueillie au sein de l'équipe Aegis de l'Université Catholique de Louvain. J'exprime ma gratitude à Evangelia Kiriati qui a généreusement surveillé l'étude pétrographique au laboratoire Fitch l'École Britannique d'Athènes. Je remercie vivement Nikos Petropoulos qui m'a beaucoup aidée pour la conduite de l'étude radiographique à

l'École Polytechnique d'Athènes. J'exprime également ma gratitude à Oliver Dickinson, David French, Joseph Maran, Jeremy Rutter et l'École Britannique d'Athènes de m'avoir autorisée d'étudier et publier le matériel archéologique.

Je voudrais également remercier les directeurs et le personnel des services et des musées archéologiques de m'avoir autorisée et aidée à réaliser ce projet. Un grand merci à Louise Quillien pour la correction linguistique de la version française de cet article et à Duncan Howitt-Marshall pour la correction de sa version anglaise.

Bibliographie

- Baldi J. & Roux V. 2016. The innovation of the potter's wheel: a comparative perspective between Mesopotamia and the southern Levant, *Levant* 48(3) : 236-253.
- Berg I. 2009. X-radiography of Knossian Bronze Age vessels: assessing our knowledge of primary forming techniques, *BSA* 104: 137-173.

- Bourdieu P. 2013. *Outline of a theory of practice*, Cambridge.
- Bril B. 2002. L'apprentissage de gestes techniques : ordre de contraintes et variations culturelles, dans B. Bril & V. Roux (éds.), *Le geste technique. Réflexions méthodologiques et anthropologiques*, Ramonville Saint-Agne : 113-150.
- Broodbank C. 2000. *An island archaeology of the Early Cyclades*, Cambridge.
- Chevallier D. 1991. Des savoirs efficaces, dans D. Chevallier (éd.), *Savoir faire et pouvoir transmettre*, Paris-Lille : Éditions de la Maison des sciences de l'homme : 5-11.
- Choleva M. 2012. The first wheel-made pottery at Lerna: wheel-thrown or wheel-fashioned?, *Hesperia* 81 (3) : 343-381.
- Choleva M. 2015. *L'apparition et la diffusion du tour de potier dans le monde égéen*, Thèse de doctorat, Université de Paris 1 Panthéon Sorbonne.
- Choleva M. 2018a. Craft behaviours during a period of transformations. The introduction and adoption of the potter's wheel in Central Greece during Early Bronze Age, dans I. Caloi & C. Langohr (éds), *Technology in Crisis. Technological changes in ceramic production during periods of trouble*, Louvain : 45-74.
- Choleva M. 2018b. Παράγοντας έναν τεχνίτη για τον τροχό στο προϊστορικό Αιγαίο της 3ης χιλιετίας π.Χ.: προς μια κοινωνική θεώρηση της τεχνικής πράξης, *Krisi* 3 : 55-96.
- Christmann E. 1996. *Die deutschen Ausgrabungen auf der Pevkakia-Magula in Thessalien II, Die frühe Bronzezeit*, Bonn.
- Crown P.L. 2007. Life histories of pots and potters: situating the individual in archaeology, *American Antiquity* 72 (4) : 677-690.
- Dietler M. & Herbich I. 1994. Habitus et reproduction sociale des techniques : l'intelligence du style en archéologie et en ethnoarchéologie, dans B. Latour & P. Lemonnier (éds.), *De la préhistoire aux missiles balistiques : L'intelligence sociale des techniques*, Paris : 202-227.
- Dobres M.A. & Hoffman C.R. 1994. Social agency and the dynamics of prehistoric technology, *Journal of Archaeological Method and Theory* 1 (3) : 211-258.
- Forsèn J. 1992. *The twilight of the Early Helladics, a study of the disturbances in east-central and southern Greece towards the end of the Early Bronze Age*, Jonsered.
- Gandon E. 2014. Dans quelle mesure les habiletés motrices traditionnelles reflètent-elles un modèle culturel ? Expérimentations de terrain auprès de potiers experts français et indiens, *Annales de la Fondation Fyssen* 26 : 47-68.
- Gelbert A. 1997. De l'élaboration au tour au tournage sur motte : difficultés motrices et conceptuelles, *Techniques et Culture* 30 : 1-23.
- Gosselain O.P. & Livingstone Smith A. 2005. The source. Clay selection and processing practices in Sub-Saharan Africa, dans D. Bosquet, A. Livingstone Smith & R. Martineau (éds.), *Pottery manufacturing processes: Reconstruction and interpretation*, Oxford : 33-47.
- Gosselain O.P. 1998. Social and technical identity in a clay crystal ball, dans M. Stark (éd.), *The archaeology of social boundaries*, Washington D.C., London: 78-106.
- Gosselain O.P. 2000. Materializing Identities: An African Perspective, *Journal of Archaeological Method and Theory* 7 (3) : 187-217.
- Gosselain O.P. 2011. Fine if I do, fine if I don't. Dynamics of Technical Knowledge in Sub-Saharan Africa, dans B.W. Roberts & M. Vander Linden (éds.), *Investigating archaeological cultures: Material culture, variability, and transmission*, Berlin : 211-227.
- Knappett C. 2016. Resisting Innovation? Learning, Cultural Evolution and the Potter's Wheel in the Mediterranean Bronze Age, dans L. Mendoza Straffon (éds), *Cultural Phylogenetics: Concepts and Applications in Archaeology*, Berlin : 97-111.
- Kouka O. 2013. "Minding the gap". Against the gaps: The Early Bronze Age and the transition to the Middle Bronze Age in the northern and eastern Aegean/Western Anatolia, *AJA* 117 : 569-580.
- Kozatsas J., Kotsakis K., Sagris D. & David K. 2018. Inside out: Assessing pottery forming techniques with micro-CT scanning. An Example from MN Thessaly, *Journal of Archaeological Science*, 102-109.
- Latour B. & Lemonnier P. 1994 (éds.). *De la préhistoire aux missiles balistiques. L'intelligence sociale des techniques*, Paris.
- Lave J. & Wenger E. 1991. *Situated learning: legitimate peripheral participation*, Cambridge.

- Lemonnier P. 1993. Introduction, dans P. Lemonnier (éd.), *Technological choices: Transformations in material culture since the Neolithic*, London & New York : 1-36.
- Livingstone-Smith A. 2007. Chaîne opératoire de la poterie : références ethnographiques, analyses et reconstitution, Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles.
- Maran J. 1992. *Die deutschen Ausgrabungen auf der Pevkakia-Magula in Thessalien. III: Die mittlere Bronzezeit*, Bonn.
- Maran J. 1998. *Kulturwandel auf dem griechischen Festland und den Kykladen im späten 3. Jt. v. Chr.: Studien zu den kulturellen Verhältnissen in Südosteuropa und dem zentralen sowie östlichen Mittelmeerraum in der späten Kupfer- und frühen Bronzezeit, Teil I-III*, Bonn.
- Mauss M. 1927. Divisions et proportions des divisions de la sociologie, *Année sociologique* 2 : 178-245.
- Mauss M. 2009. Techniques of the body, dans N. Schlanger (éds.), *Marcel Mauss. Techniques, technology and civilization*, New York/Oxford : 77-95.
- Minar C.J. & Crown P.L. 2001. Learning and craft production: an introduction, *Journal of Anthropological Research* 57 (4) : 369-380.
- Pfaffenberger B. 1992. Social anthropology of technology, *Annual Review of Anthropology* 21 : 491-516.
- Pierret A. 1995. *Analyse technologique des céramiques archéologiques : développements méthodologiques pour l'identification des techniques de façonnage. Un exemple d'application : le matériel du village des Arènes à Levroux (Inde)*, Thèse de Doctorat, Université Paris 1-Panthéon-Sorbonne.
- Pigeot N. 2011. Chaînes opératoires : contexte théorique et potentiel cognitive, dans R. Treuil (éd.), *L'archéologie cognitive*, Paris : 149-171.
- Popham M.R. & Sackett L.H. 1968. *Excavations at Lefkandi, Euboea, 1964-66: a preliminary report*, London.
- Pullen D.J. 2013. "Minding the gap". Bridging the gaps in cultural change within the Early Bronze Age Aegean, *AJA* 117 (4) : 545-553.
- Rahmstorf L. 2006. Zur Ausbreitung vorde-rasiatischer Innovationen in der frühbronzezeitlichen Ägäis, *Prähistorische Zeitschrift* 81 : 49-96.
- Reedy C. 2008. *Thin-section petrography of stone and ceramic cultural materials*, London.
- Roux V. & Bril B. 2002. Des programmes d'apprentissage comparables pour des actions techniques différentes, dans B. Bril & V. Roux (éds.), *Le geste technique. Réflexions méthodologiques et anthropologiques*, Ramonville Saint-Agne : 231-242.
- Roux V. & Corbetta D. 1990. *Le tour du potier : spécialisation artisanale et compétences techniques*, Paris.
- Roux V. & Courty M.A. 1998. Identification of wheel-fashioning: technological analysis of 4th-3rd millennium B.C. Oriental ceramics, *JAS* 25 : 747-763.
- Roux V. & Courty M.A. 2005. Identifying social entities at a macro-regional level: Chalcolithic ceramics of South Levant as a case study, dans D. Bosquet, A. Livingstone Smith & R. Martineau (éds.), *Pottery manufacturing processes: reconstruction and interpretation*, Oxford : 67-78.
- Roux V. 2010a. Lecture anthropologique des assemblages céramiques : Fondements et mise en œuvre de l'analyse technologique, dans F. Gligny & S. Méry (éds.), *Les Nouvelles de l'archéologie. Approche de la chaîne opératoire de la céramique. Le façonnage*, 119, Paris : 4-9.
- Roux V. 2010b. Technological innovations and developmental trajectories: social factors as evolutionary forces, dans M.J. O'Brien & S.J. Shennan (éds.), *Innovation in Cultural Systems. Contributions from Evolutionary Anthropology*, Cambridge : 217-234.
- Roux V. 2017. *Des céramiques et des hommes. Décoder les assemblages archéologiques*, Paris.
- Rutter J.B. 1979. *Ceramic change in the Aegean Early Bronze Age, the Kastri group, Lefkandi I, and Lerna IV: a theory concerning the origin of the Early Helladic III ceramics*, Los Angeles.
- Rutter J.B. 1983. Fine Gray-burnished pottery of the Early Helladic III period: the ancestry of Gray Minyan, *Hesperia* 52 : 327- 355.
- Rutter J.B. 1993. Early Helladic pottery: inferences about exchange and production from style and clay composition, dans C. Zerner, P. Zerner & J. Winder (éds.), *Wace and Blegen: pottery as evidence for trade in the Aegean Bronze Age 1939-1989*, Amsterdam : 19-37.

- Rutter J.B. 1995. *Lerna. A preclassical site in the Argolid III: The pottery of Lerna IV*, Princeton, New Jersey.
- Rutter J.B. 2008. The Anatolian roots of Early Helladic III drinking behavior, dans H. Erkanal, H. Hauptmann, V. Şahoğlu & R. Tuncel (éds.), *The Aegean in the Neolithic, Chalcolithic and the Early Bronze Age*, Ankara : 461-481.
- Rutter J.Β. 2012. Migrant drinking assemblages in Aegean Bronze Age settings, dans J. Maran & P.W. Stockhammer (éds.), *Materiality and social practice: transformative capacities of intercultural encounters*, Oxford : 73-88
- Rye O.S. 1981. *Pottery technology. Principles and reconstruction*, Washington D.C.
- Şahoğlu V. 2005. The Anatolian Trade Network and the Izmir region during the Early Bronze Age, *OJA* 24 (4) : 339-361.
- Schlanger N. 1991. Le fait technique total. La raison pratique et les raisons de la pratique dans l'oeuvre de Marcel Mauss, *Terrain* 16 : 114-130.
- Schlanger N. 2009. Introduction. Technological commitments: Marcel Mauss and the study of techniques in the French social sciences, dans N. Schlanger (éd.), *Marcel Mauss. Techniques, technology and civilization*, New York/Oxford : 1-30.
- Shaw J.W. Sequencing the EH II 'Corridor Houses', *BSA* 102 (2007) : 137-151.
- Sigaut F. 1991. L'apprentissage vu par les ethnologues. Un stéréotype ? dans D. Chevalier (éd.), *Savoir-faire et pouvoir transmettre*, Paris-Lille : 33-42.
- Sigaut F. 2011. Gestes et apprentissage, dans R. Treuil (éd.), *L'archéologie cognitive*, Paris : 189-210.
- Spencer L. C. 2007. *Pottery Technology and Socio-Economic Diversity on the Early Helladic III to Middle Helladic II Greek Mainland*, Thèse de doctorat, University College of London.
- Spencer L. C. 2010. The regional specialisation of ceramic production in the EH III through MH II period, dans A. Philippa-Touchais, G. Touchais, S. Voutsaki & J. Wright (éds.), *MESOHEL-LADIKA*, Paris/Athènes : 669-681.
- Thér R. 2016. Identification of pottery-forming techniques using quantitative analysis of the orientation of inclusions and voids in thin sections, *Archaeometry* 58 : 222-238.
- Van der Leeuw S.E. 2008. Agency, networks, past and future, dans C. Knappett & L. Malafouris (éds.), *Material agency. Towards a non-anthropocentric approach*, New York : 217-247.
- Wallaert H. 2008. The way of the potter's mother. Apprenticeship strategies among the potters from Cameroon, West Africa, dans M. Stark, B. Bower & L. Horne (éds.), *Cultural transmission and material culture. Breaking down the boundaries*, Tucson : 178-198.
- Weiberg E. & Finné M. 2013. Mind or matter? People-environment interactions and the demise of Early Helladic II society in the northeastern Peloponnese, *AJA* 117 (1) : 1-31.
- Weiberg E. & Lindblom M. 2014. The Early Helladic II-III transition at Lerna and Tiryns revisited. Chronological difference or synchronous variability ? *Hesperia* 83 (3) : 383-407.
- Weisshaar H.-J. 1983. Ausgrabungen in Tiryns 1981. Bericht zur frühhelladischen Keramik, *Archäologischer Anzeiger* 1983 : 329-358.
- Wiencke M.H. 1989. Change in Early Helladic II, *AJA* 93 : 495-509.
- Wiener M.H. 2013. "Minding the gap". Gaps, destructions, and migrations in the Early Bronze Age Aegean. Causes and consequences, *AJA* 117 (4) : 581-592.

Introduction

The last centuries of the 3rd millennium BC witnessed profound socio-cultural transformations in the Aegean. The transition from Early Bronze Age (EB) 2b (ca. 2500-2200 BC) to EB3 (ca. 2200-2000 BC) was marked by a series of turbulences that substantially reorganised the everyday lives of local communities, particularly those in central Greece and the north-eastern Peloponnese. EB2b saw the emergence of centralised socio-economic structures and early urbanisation, as well as expanded interregional networks of communication and exchange in the eastern Mediterranean (Wiencke 1989; Broodbank, 2000; Kouka 2002; Şahoğlu 2005; Shaw 2007). As such, this phase represents the apogee of interactions and contacts between the Aegean and Anatolian worlds, which enabled the circulation of objects and people and the transfer of *savoir-faire* and cultural practices (Şahoğlu 2005;

Rahmstorf 2006). The transition to EB3, however, disrupted the dynamic phenomena of inter-regional connectivity and brought about, sometimes in a violent way, the transformation of the preexisting socio-economic structures of mainland Greece (Forsèn 1992). EB3 was an era of regionalism wherein new forms of social organisation appeared that were founded on the domestic economy and on regional networks of exchange among communities (Rutter 1993; Maran 1998). Although the reasons for the ‘rupture’ between EB2 and EB3 are still being debated through the lenses of various interpretative narratives (including the displacement and migration of populations, climatic change, the collapse of trade networks and the exhaustion of raw materials, conflicts and the destabilisation of political powers), current research designates a world that was going through a lasting transformation. The Helladic communities seem actually to experience a profound socio-economic and political crisis that triggered new strategies of subsistence and communication that questioned deeply-rooted social and cultural practices (Weiberg & Finné 2013; Wiener 2013).

In this changing world, the systems of pottery production underwent radical reorganisation, which is materialised by the marginalisation of the characteristic shape repertoires of EB2b and by the appearance of a series of new shapes and wares that imply, in turn, the transformation of the behaviours of both the producers and the consumers (Rutter 1979; Maran 1998). A significant change was the dissemination of the potter’s wheel, a major technological innovation in the history of forming techniques that disrupted the continuum of traditional hand-based potting habits. The earliest signs of this tool date to EB2b when the first wheel-made pots appeared sporadically at a limited number of central Greek sites (Fig. 1).

In most cases, however, this new *savoir-faire* was not widely adopted by potters, who persisted with manual forming techniques. According to the available archaeological data, the new tool was locally practiced by small communities of potters that operated sporadically in the Aegean, including the settlement of Lefkandi where the new technology is assumed to have been transferred due to the restricted phenomena of mobile potters trained in western Anatolian traditions

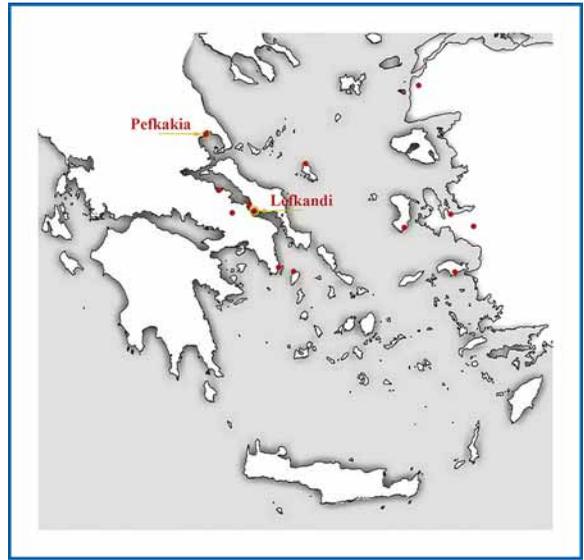


Figure 1 : Aegean sites preserving wheel-made pottery during EB2b.

(Choleva 2015). This seems to have triggered a long and sinuous trajectory of appropriation of the potter’s wheel by Helladic communities. By the end of EB2b, the potter’s wheel had begun to spread across central Greece and, simultaneously, the north-eastern Peloponnese as a constitutive feature of the new technological traditions that would condition pottery production throughout EB3 and the beginning of the Middle Bronze Age (MB1) (Fig. 2).

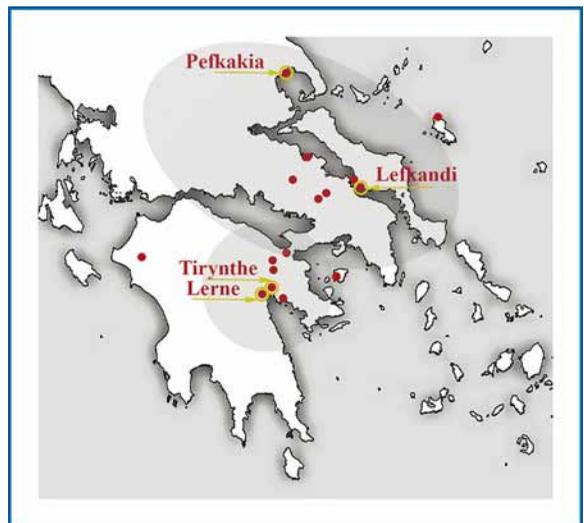


Figure 2 : Greek mainland sites preserving wheel-made pottery during EB3.

The aim of this paper is to examine the mechanisms behind this horizontal and vertical transmission of the new *savoir-faire* from EB2b to EB3 by focusing on the contexts of its apprenticeship and practice. The reconstruction and the comparison of various local wheel-based technological traditions will illuminate multiple and dynamic phenomena of technical transfers in space and time and will unveil the role of the ways of doing things in the constitution of social identities and the maintenance of cultural values.

Anthropological approaches to ceramic assemblages

As recent studies have already shown, the potter's wheel appeared in the Aegean along with the hybridised forming technique of wheel-coiling (Choleva 2012; 2015; 2018a). It is a technique that merges, in variable ways, the exploitation of Rotational Kinetic Energy (RKE) and building by coils. It can be applied according to different fashioning methods depending on the moment in which RKE enters the operational sequence of the roughout stage, i.e. the placement and the junction of the coils, and the thinning and the shaping of the roughout (Roux 2017: 114-118). The new technique introduces a new cognitive concept into the manufacture process – the tool (Roux 2003; 2010b). Contrary to hand-forming techniques, the new rotary device with its own principles of functioning henceforth mediates the gestuality, thus changes the conception of manufacture in a radical way. Its mastery presupposes the incorporation of a new set of motor and cognitive skills, a new type of *gestes outillés*⁷, which are complex and require a long time to acquire (Roux & Corbetta 1990). This gestural specialisation varies depending on the wheel-fashioning method applied – the more RKE is integrated into the operational sequence, the more the gestures are specific and complex (Roux & Courty 1998). The acquisition of each RKE-mediated gestuality requires a systematic apprenticeship that is founded on constant and stable contacts between apprentices and experts. From this perspective, the appearance of the wheel-coiling technique implies a major change in the ways of organising the models of learning and the transmission of craft knowledge.

Theoretical framework

To trace the dynamics of this change, an anthropological view of technology has been adopted (Dobres & Hoffmann 1994; Latour & Lemonnier 1994). The consideration of technical actions as an expression of social practice (Mauss 2009: 52) emphasises the primordial role of apprenticeship in the formation and maintenance of social and cultural identities (Sigaut 1991; Wallaert 2008). The process of apprenticeship does not only represent an individual bio-behavioural procedure through which the artisan acquires the motor and cognitive skills that consolidates his/her craft behaviour (Bril 2002; Gandon 2014). It is the locus where (s)he constitutes an identity as a member of a community where the practice is performed (Lave & Wenger 1991). Apprenticeship is, in fact, a socialised process where social groups are shaped and reproduced through practice (Sigaut 2011: 203). An entire system of conceptualisations, social values, cultural representations and reflections on technological choices that modulate common principles of action and conception – a shared 'habitus' – are transmitted collectively (cf. Mauss 1927: 198; Bourdieu 2013: 80–81). By learning and performing technical actions, artisans embody ways of doing things, thus shaping and reproducing the traditions that are specific to their communities of practice (Gosselain 2011). For many scholars, the forming techniques represent a high degree of stability and resistance to change, for they can be acquired and transferred only by means of physical contact among individuals (Gelbert 1997; Gosselain 2000). They further imply the precise gestures and bodily knowledge that are culturally acquired and transmitted within a social context of apprenticeship and practice. From this perspective, identifying forming techniques and tracking their paths of performance over time and space enables the recognition of boundaries within the social world of craft activities.

Archaeological material and methodology

To explore the loci of apprenticeship and practice of the potter's wheel at the micro-scale and to trace the phenomenon of its transmission at the macro-scale, the ceramic assemblages of two different regions in mainland Greece have been investigated and compared through the study of four archaeological sites. Lefkandi, a settlement

⁷ Term borrowed by Sigaut 2011.

in the Euboean gulf, and Pefkakia on west coast of Magnesia are both located in central Greece and present similarities in terms of material culture in EB2b (Popham and Sackett 1968; Maran 1992; Christmann 1996). Both settlements first encountered the potter's wheel during EB2b, which continued through EB3 as a constitutive feature of new pottery repertoires. Lerna and Tiryns in the Argolid, in turn, are neighbouring settlements in the north-eastern Peloponnese (Weisshaar 1983; Rutter 1995). They shared common potting practices during EB2b without the innovation of the potter's wheel; they only came into contact with it at the beginning of EB3, which is inferred by a series of profound changes in their pottery manufacture.

The studied material includes 700 sherds and vessels dating to EB2b, EB3, and BM1, representative of shapes and wares that are associated with the use of the potter's wheel at each site. The material comprises pieces bearing RKE-derived traces and those made without RKE, the latter having been selected on the condition that they belong to the same typologies of the wheel-made pots. The comparative study of vessels sharing the same morphological and stylistic features but differentiating on the basis of the mode of manufacture allowed for the classification of the assemblages according to the technical gestuality involved and, hence, tracking the actions of different craft entities that had the same intention in production. The selected pots were examined in terms of both the forming technology – indicative of the gestures applied – and the fabric, finishing, and firing techniques. To unify and understand the synergy of those different technical actions, an anthropological approach to ceramic assemblages has been advocated that puts special emphasis on the reconstruction of the *chaînes opératoires*, that is the entire sequence of operations and techniques that transforms a raw material into a product (Roux 2010a; Pigeot 2011). The focus of this approach was the scale of the 'individual' gestuality and thus the skills that characterised the producers who put into action the chaîne opératoire. To that end, an interdisciplinary study was applied that combined the archaeological data and the macroscopic observation of technical features with archaeometric analyses, including industrial radiography and petrography.

Based on the visual inspection of ceramic assemblages, which aimed to inventory the morpho-stylistic and technical features of the pots on the basis of macro-features that are diagnostic of different manufacturing operations (e.g. Rye 1981; Livingstone-Smith 2007; Roux 2017), a sample of 336 pieces was selected and submitted for X-Ray analyses⁸ in order to get 2D images of the objects. This allowed for (a) visualising the micro-structure of the pot roughouts and (b) identifying the modalities of their configuration according to micro-features, such as the orientation of clay voids and the distribution of fissures and inclusions over the clay mass (e.g. Pierret 1995; Berg 2008; Thèr 2014; Kozatsas et al. 2018). This approach enabled a significant degree of insight into the actions that would have been specific to primary forming techniques, invisible macroscopically, and consequently into the 'individual' gestuality involved and the degrees of its technical complexity. The study was accomplished by the examination of 197 thin sections of sherds/vessels under a polarised microscope.⁹ This petrographic analysis aimed to (a) characterise the mineralogical composition of ceramics, (b) study the operations involved in the clay collection and preparation, and identify the fabric recipes, and (c) associate the chaînes opératoires, when possible, with a technological environment and to detect their places of provenance (e.g. Roux & Courty 2005; Reedy 2008). This holistic approach to the four ceramic assemblages enabled (a) the exploration of the technological milieus and networks of apprenticeship behind the manufacture of wheel-made pottery; (b) a reconstruction of the context of production in which the potter's wheel was practiced; (c) the identification of the probable technical exchanges that took place between communities of practice using different forming techniques; and (d) a better understanding of the temporal and spatial distribution of wheel-based technological traditions, and hence an insight into the mechanisms behind their transmission.

⁸ The radiographic analyses were carried out by Prof. N. Petropoulos at the Laboratory of Nuclear Technology, National Technical University of Athens (NTUA).

⁹ The preparation and the examination of the thin sections were carried out under the direction of Dr. Ev. Kiriati at the Fitch Laboratory, British School at Athens.

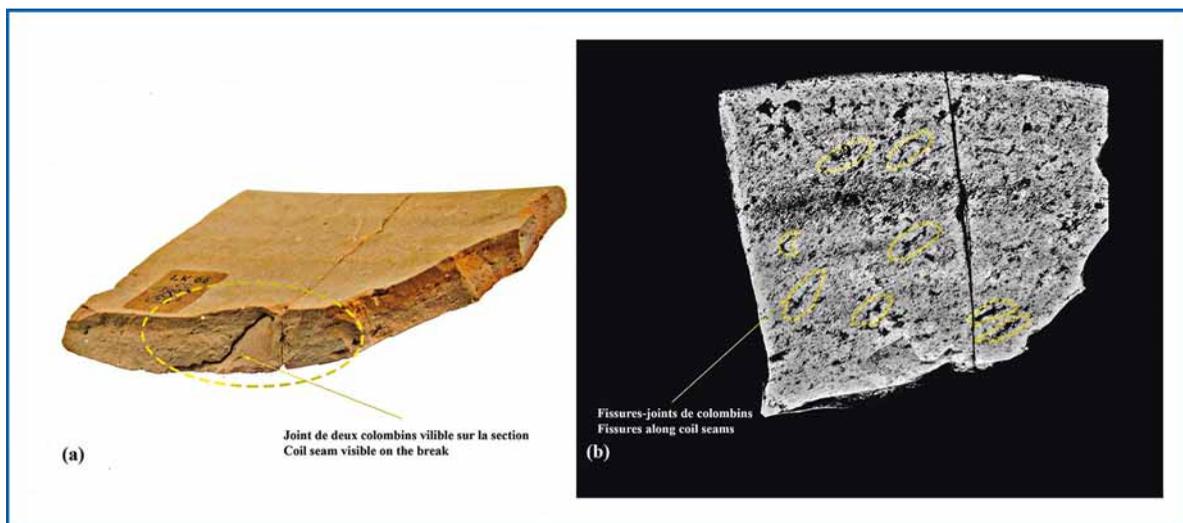


Figure 3 : Technical features diagnostic of the wheel-coiling technique: **(a)** macro-features; **(b)** micro-features observed in the radiographic image.

Identification of wheel-fashioning techniques and methods

The radiographic analyses confirmed the results of the macroscopic examination (Choleva 2015) and demonstrated that the pieces bearing RKE-derived traces were made by the wheel-coiling technique. The latter was inferred by the presence of elongated or oblique fissures that were distributed over the clay masses and are diagnostic of coil seams (**Fig. 3**).

However, the identified macro- and micro-features revealed a variety of different ways of using

the potter’s wheel in the operational sequence of coiling and, therefore, the existence of different wheel-fashioning methods. The latter were identified through different degrees of clay micro-structure modification that seemingly corresponded to an increasing complexity in gestures inherent to each method. Following the four-type classification system of modes of RKE exploitation proposed by Valentine Roux (Roux 2017: 114–118, 218–230), three methods were identified, each one implying a different level of expertise in the use of the wheel (Roux & Corbetta 1990; Gelbert 1997; Courty & Roux 1998) (**Fig. 4**).

	Pose des colombins Placement of the coils	Jointure des colombins Junction of the coils	Amincissement de l'ébauche Thinning of the roughout	Mise en forme de l'ébauche Shaping of the roughout
M1	Gestes non médiatisés par ECR Gestures non-mediated by RKE	Gestes non médiatisés par ECR Gestures non-mediated by RKE	Gestes non médiatisés par ECR Gestures non-mediated by RKE	Gestes médiatisés par ECR RKE-mediated gestures
M2	Gestes non médiatisés par ECR Gestures non-mediated by RKE	Gestes non médiatisés par ECR Gestures non-mediated by RKE	Gestes médiatisés par ECR RKE-mediated gestures	Gestes médiatisés par ECR RKE-mediated gestures
M3	Gestes non médiatisés par ECR Gestures non-mediated by RKE	Gestes médiatisés par ECR RKE-mediated gestures	Gestes médiatisés par ECR RKE-mediated gestures	Gestes médiatisés par ECR RKE-mediated gestures

Figure 4: The operational sequences of the wheel-fashioning methods.

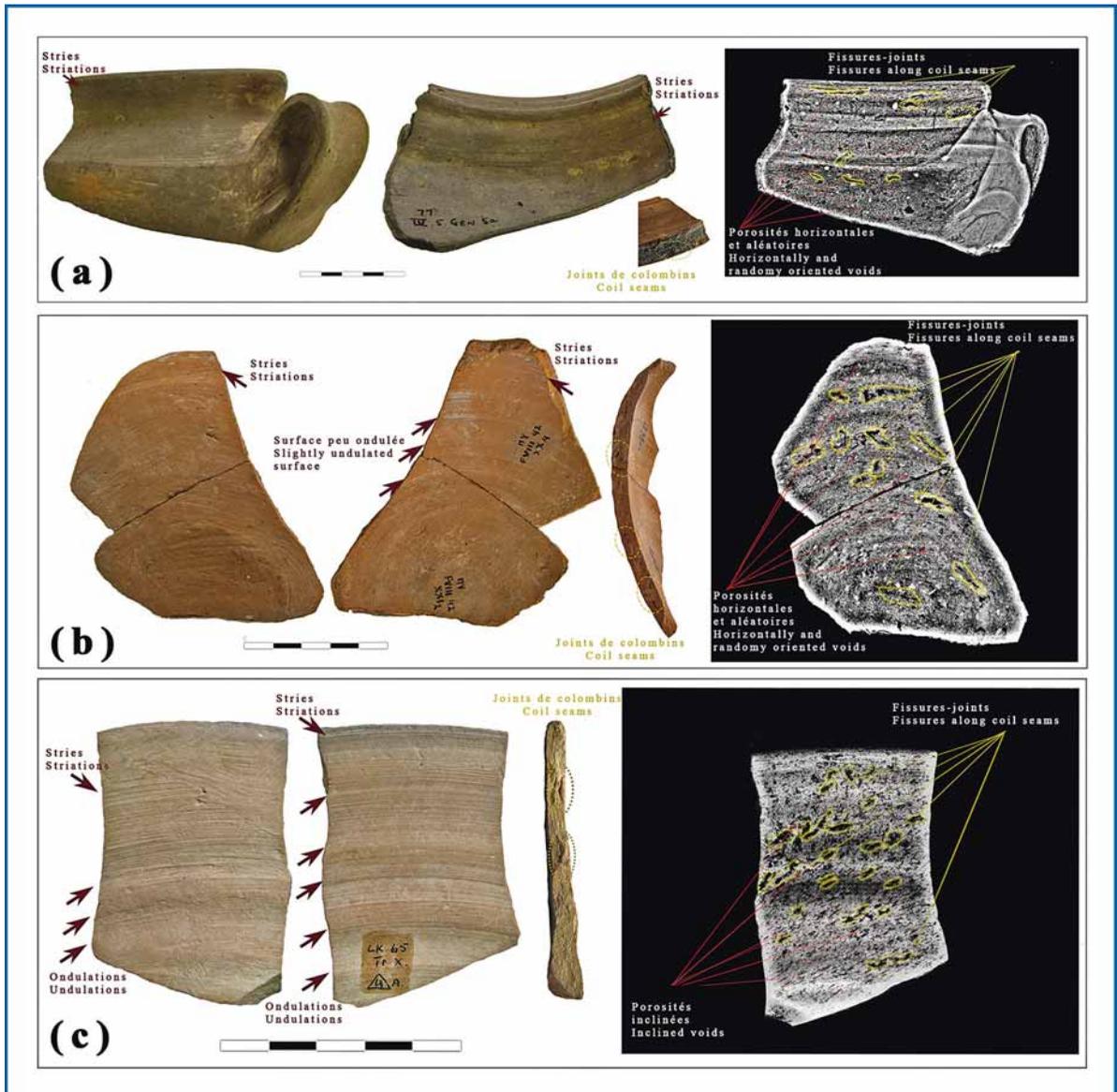


Figure 5: Macro- and micro-features indicative of the identified methods: **(a)** Method 1; **(b)** Method 2; **(c)** Method 3.

According to the first method (M1), the potter's wheel entered the operational sequence of coiling only in the final operation of the roughout stage, the shaping of the clay walls. This way of exploiting RKE did not modify the micro-structure of the coils, which maintain a sub-horizontal, sometimes random orientation of both structural voids and fissures along coil seams that is typical of the coiling technique. These micro-structures are associated with the application of discontinuous pressures on the clay walls during the

roughout stage. RKE only 'affected' the superficial layer of the pots and is recognised macroscopically through the presence of horizontal striations on the surfaces. For M1, the potters needed to employ a set of knowledge that was mainly based on gestures non-mediated by RKE (**Fig. 5a**). The gestuality inherent to the wheel was of low complexity and implies an elementary degree of tool mastery (e.g. stability of the arms and control of the continuous pressures exerted on the clay walls).

The second method (M2) involved the wheel from the operation of thinning the walls and their subsequent shaping once the coils had already been joined by discontinuous pressures. The introduction of the potter's wheel into these secondary phases of the roughout stage resulted in a moderate modification of the superficial layer of the pots that is macroscopically characterised by a slightly undulated relief. This kind of RKE exploitation occasionally affected the micro-structure of the coils, which mainly preserve a sub-horizontal and sub-parallel alignment of clay porosities as previously described. However, the occasional presence of slightly inclined voids and fissures imply that stronger continuous pressures were applied to the walls and probably at a higher speed of the wheel during the thinning operations (**Fig. 5b**). For this method, the potters likely developed a bi-manual coordination of both symmetrical and asymmetrical movements following the speed of the wheel. M2, therefore, exhibits a higher degree of gestural complexity than M1 but, given the involved alternation of gestures non-mediated and mediated by RKE, it should be associated with a lower level of expertise in terms of the mastery of the wheel.

The third method (M3) would have been the most difficult because the potter's wheel was in use throughout most of the operational sequence, including the primary phase of joining the coils, a crucial operation for the overall effectiveness of manufacture. This method resulted in the strong deformation of both the superficial layer and the micro-structure of the pots. On one hand, the surfaces present a great variety of concentric undulations in the form of horizontal bands. On the other, the microstructure is characterised by voids that are strongly inclined (to the horizontal axis), indicative of coils profoundly modified by continuous pressures following the rapid speed of the wheel. The degree of deformation is so profound to the extent that the coil seams, in the form of elongated fissures, often exhibit a strongly oblique alignment and a transversal direction (**Fig. 5c**). M3 radically rearranged the gestuality involved in manual techniques by abolishing the gestures that were non mediated by the tool. As a result, it introduced a new set of highly technical gestures, including the ability to build the coils and deform clay structures on a rotary device. By embracing the gestuality inherent to the previous methods, the required motor and

cognitive skills were based on a high level of gestural complexity, and suggest a significant degree of expertise.

Restitution of *savoir-faire* in the context of apprenticeship and practice

The modalities behind the appearance of the wheel-coiling technique and the identified methods vary depending on the settlement, thus reflecting local appropriations of the new tool. The distribution of each method reveals specific networks of apprenticeship and loci of practice, as well as ways of transmission at the local and inter-community level.

The formation of a new technological tradition during EB2b

The earliest wheel-coiled pots dating to EB2b appeared in central Greece only within a small pottery assemblage of western Anatolian inspiration, and replaced the traditional tableware sets (Day *et al.* 2009) (**Fig. 6**).

The appearance of these new shapes¹⁰ has been interpreted as evidence for the appropriation of new habits in the consumption of liquids, most notably in the context of small-scale feasts, and implies the dissemination of practices known as 'Anatolian' across various Aegean milieus (Nakou 2007; Rutter 2008; Kouka 2013). The majority of potters at various central Greek settlements, including Pefkakia, produced the new shapes through hand-forming techniques, with the wheel-made versions being sporadic and rare ($\pm 1\%$ of the total production). The only exception is at Lefkandi, where the potter's wheel, an innovation that originated in western Anatolia, was practiced locally, and wheel-made versions of the new shapes reached 16% of the total pottery production and as much as 40% of the new assemblage at the settlement (Spencer 2007; Choleva 2015; 2018a).

The wheel-made pottery at Lefkandi and Pefkakia was made according to two different fashioning methods: M2 and M3. The former, implying a somewhat rudimentary use of the potter's wheel, had a minor impact and occurred only at Lefkandi. In contrast, the latter, which involved a more complex exploitation of RKE, prevailed,

¹⁰ These percentages reach 10–12% in local pottery productions (Day *et al.* 2009).

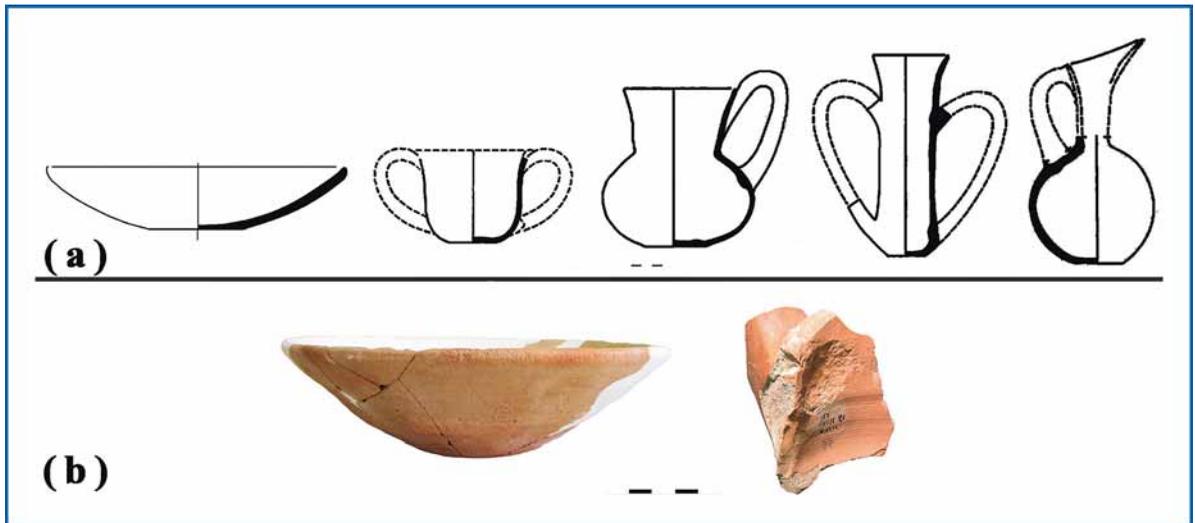


Figure 6: The new EB2b pottery repertoire: **(a)** the shapes of the ‘Anatolian’ assemblage; **(b)** examples of wheel-made pots. Dessins fondés sur Rutter 2012; photos © M. Choleva.

and was used for the manufacture of most of the wheel-made pots at Lefkandi and for the entire wheel-made pottery at Pefkakia. The coexistence of both methods at Lefkandi suggests a diversified gestural specialisation and reflects two distinct craft behaviours, indicative of entities that achieved different levels of expertise in the use of the wheel. However, the pre-eminence of M3 at Lefkandi and its exclusive use at Pefkakia suggests, at the inter-community scale, the dissemination of similar activities specific to potters who possessed a forming technique of high gestural complexity and shared a common wheel knowledge. From this perspective, one could assume that the acquisition of the wheel-coiling technique in central Greece was grounded on a technological tradition closely linked to M3, whereas M2 represented a secondary alternative that may have evolved out of the context of learning the potter’s wheel.

Despite this variability in the mastery of the wheel, the pottery made by the wheel-coiling technique at both Lefkandi and Pefkakia can be characterised by a striking homogeneity in terms of finished products. It is the outcome of similar chaînes opératoires that: (a) used the same set of finishing techniques, specifically RKE-wiping and turning of surfaces, sometimes followed by red-slipping; (b) involved comparable regimes of firing, i.e. control of oxidising conditions that conferred light colours (red-reddish, yellow, orange) to the pots; and (c) produced a mono-

chrome red-orange (buff) pottery (CRO) that consisted of a limited spectrum of shapes, such as shallow bowls and goblets. In addition, the petrographic analyses showed that a coherent and well-defined set of fabric recipes was constantly used, including very fine to fine, well-purified clays. This indicates the existence of a common clay technology underlying the wheel-made pottery both at Lefkandi and Pefkakia (**Fig. 7**).

Interestingly, as the macroscopic observations have already suggested, the mineralogical composition of most of the examined wheel-made pots from both Lefkandi and Pefkakia, to a great extent, appear identical, and can be connected with the geological environment of the area around Lefkandi. This convergence suggests common choices in terms of clay sources, thus revealing a shared place of production. From this perspective, Lefkandi appears, according to the current archaeological data, as a unique settlement in central Greece where the local production of wheel-made variants of the ‘Anatolian’ shapes can be identified and from where the few wheel-made pots at Pefkakia were produced (Spencer 2007; Choleva 2015; 2018a).

On account of these similarities, one could discern a set of potting practices that were shared by the potters who produced wheel-made pots according either M2 or M3. This discloses a common craft behaviour adopted by the producers who possessed knowledge of the potter’s

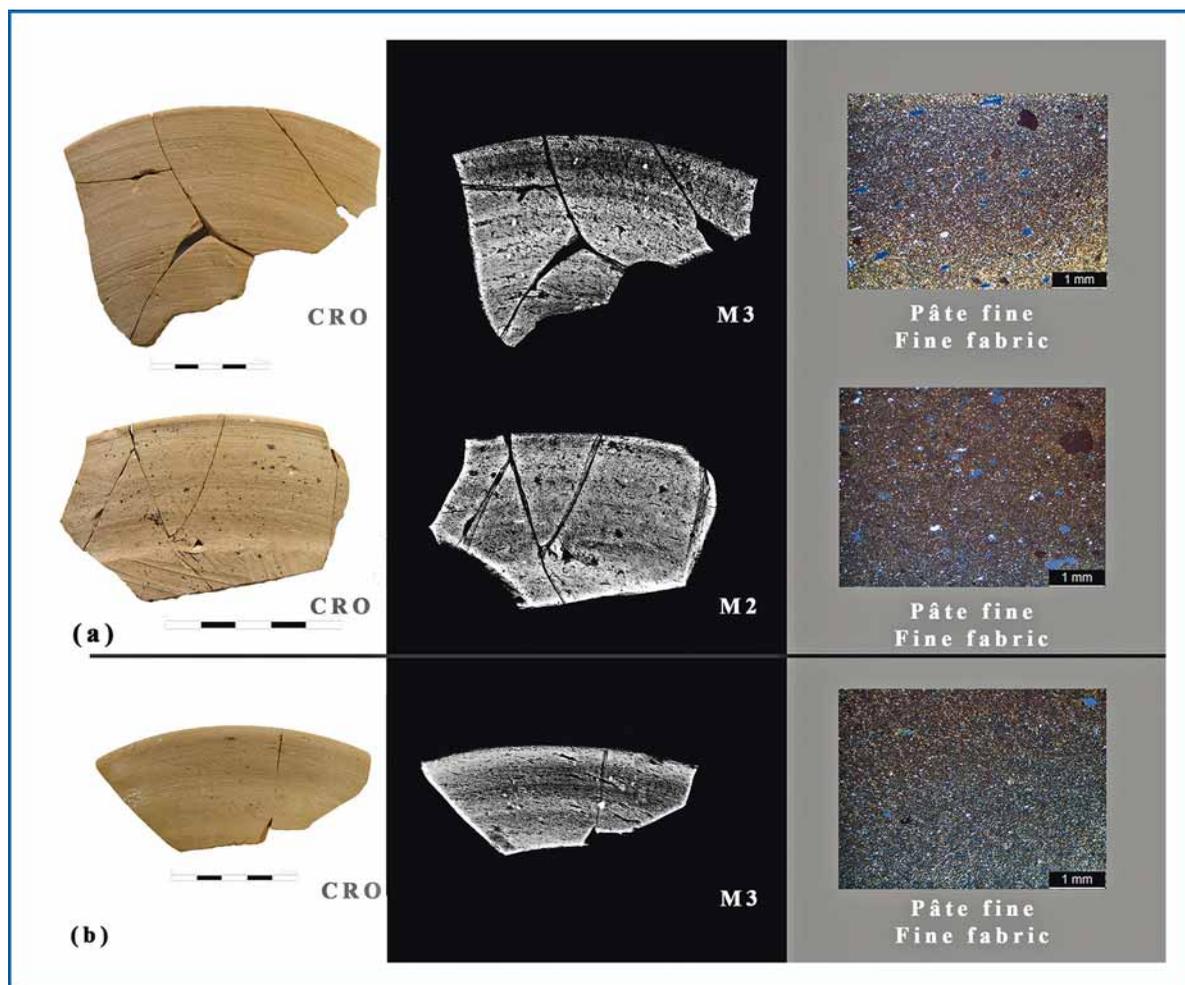


Figure 7: Characteristics of the wheel-based chaînes opératoires from central Greece during EB2b: (a) Lefkandi; (b) Pefkakia.

wheel in central Greece. It seems therefore that a coherent and standardised technological package was shaped on the basis of a wheel-based technological tradition. The existence of this tradition uncovers the actions of a small community of potters who operated at Lefkandi through the establishment of a context of apprenticeship that ensured the transmission of a *savoir-faire* of ‘Anatolian’ origin and the production of a pottery that was inspired by ‘Anatolian’ forms. The expert potters who used the wheel according to M3 stood out in the community of practice, and circulated their products to settlements like Pefkakia through a regional network of communication and exchanges.

Nevertheless, the restricted role of this community in the organisation of pottery manufac-

ture did not have a significant impact on the systems of production in central Greece. On one level, the potter’s wheel was only used for the production of some ‘Anatolian’ vessels, without ever being associated with traditional shapes known as ‘Helladic’. On another level, the technological study has demonstrated that a great variety of hand-fashioning methods founded on the coiling technique were also involved in the production of the same shapes at both Pefkakia and Lefkandi. At Pefkakia, the majority of hand-made ‘Anatolian’ vessels shared the same medium fine to medium coarse local clays, which contrasted with the fine clays used for the imported wheel-made pots. This reveals the existence of potters trained in hand-forming techniques who monopolised the manufacture of the

'Anatolian' assemblage at the settlement. On the contrary, at Lefkandi, there is a surprising technological variability within the equivalent assemblage. While a large number of the hand-made 'Anatolian' vessels were associated with medium-coarse local clays, fewer were made by fine clays, surprisingly similar to those used for the wheel-made versions (see also Spencer 2007) (Fig. 8).

This convergence between local wheel-made and hand-made pots reveals that potters using different forming techniques, and thus originated from different learning processes, participa-

ted in the same technological milieu and shared the same intentions in production. In this framework, the potter's wheel represents the actions of a minor community of practice who operated within a context of production dominated by hand-based technological traditions.

The emergence of new wheel-based technological traditions

At the beginning of EB3, the communities of central Greece experienced the marginalisation of the 'Anatolian' assemblage (Spencer 2007;

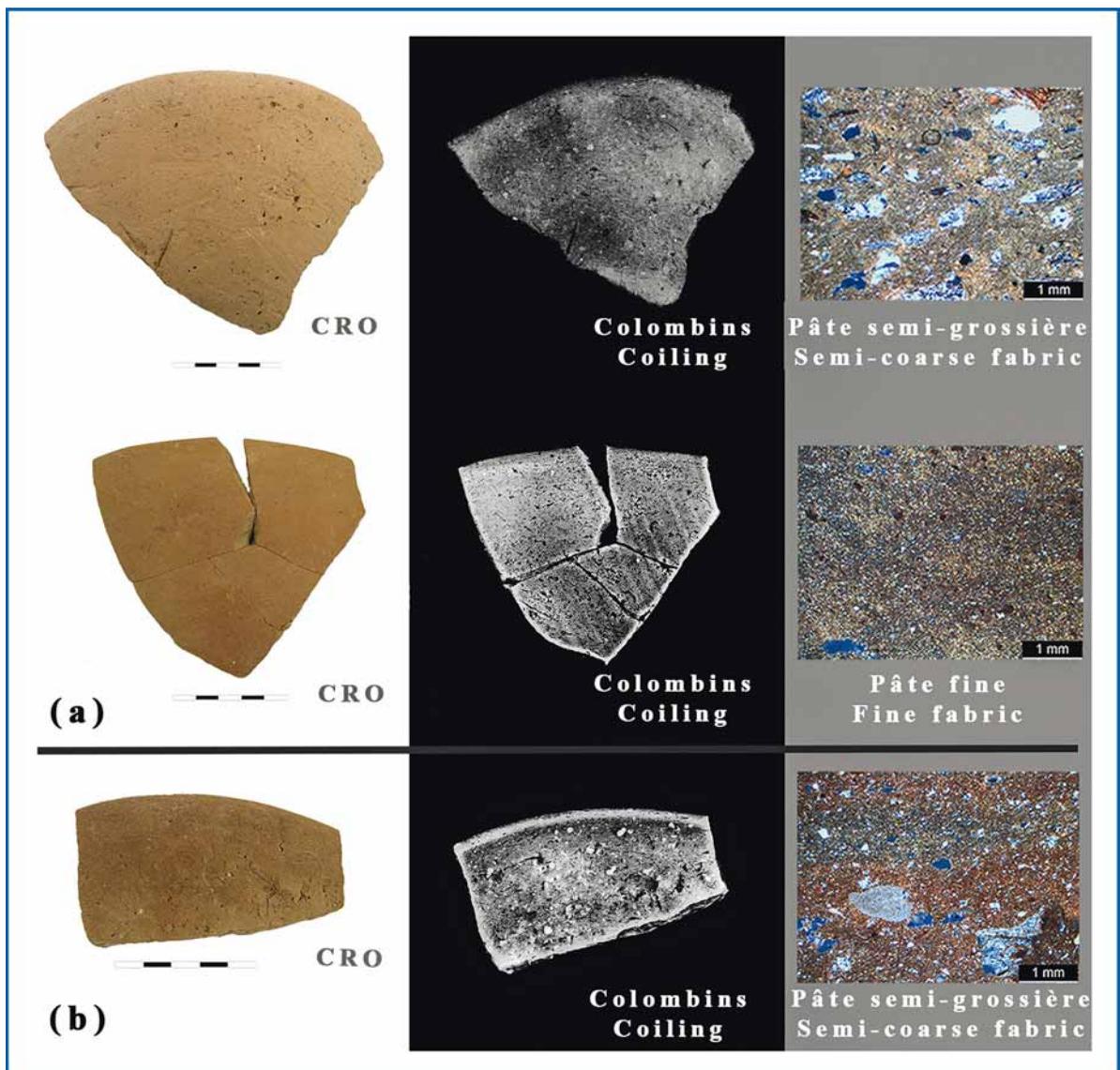


Figure 8: EB2b wheel-made variants from central Greece: (a) Lefkandi; (b) Pefkacia.



Figure 9: The new EB3 pottery repertoire: **(a)** the ‘hybridised’ shapes; **(b)** examples of wheel-made pots. Dessins fondés sur Maran 1992; photos © M. Choleva.

2010), while communities in the north-eastern Peloponnese – who had never adopted ‘Anatolian’ practices – witnessed the disappearance of long-standing pottery repertoires that, contrary to central Greece, had been maintained throughout EB2 (Rutter 1979; Weiberg & Lindblom 2014). A series of new drinking shapes along with new stylistic wares now emerged that accentuated the visual and aesthetic appearance of the pots and announced a tendency towards regionalism in potting traditions (Rutter 1995: 627–635; Maran 1998: 277–282). The new morpho-stylistic types comprised small assemblages that spread, in diversified ways, across mainland Greece, replacing the older tableware sets that, until then, had served specific consumption habits in each region (Pullen 2013). The dominant interpretative scenario acknowledges, in these new assemblages, the survival of EB2b ‘Anatolian’ practices and the creative transformation of their impact on local potting habits (Nakou 2007; Rutter 2008). These assemblages represent aggregates of hybridised shapes, styles, and techniques that were formed through a long and dynamic process of crossing and fusion between ‘Anatolian’ and ‘Helladic’ traditions, and the novelties that emerged during the transition to EB3. This process is assumed to have taken place in central Greece (Rutter 1979; 1983; 2012). It is in the context of this new pottery that the potter’s

wheel seems to have passed on to EB3 and disseminated over various settlements, inaugurating an era of new technological traditions (Fig. 9).

The transmission of the potter’s wheel in central Greece

During EB3, the potter’s wheel was already consolidated in the production systems of various central Greek settlements. Its use increased at Lefkandi (24%) (Spencer 2010), and it is documented at other settlements, including Pefkakia, where the local community of potters experienced a radical change whereby wheel-made production suddenly reached approximately 20% of the total production, reflecting the local practice of the wheel (Choleva 2018a). Nevertheless, the transmission of this technology does not necessarily implicate its arbitrary adoption. Its use occurred exclusively within the borders of two new ceramic assemblages that appeared simultaneously at Lefkandi and Pefkakia at the beginning of EB3. These assemblages maintain a distinct presence within the pottery production of both settlements¹¹ and comprise more or less the same ‘hybridised’ drinking shapes (bowls,

¹¹ They represent more or less 20% over local EB3 production at each settlement (Choleva 2015; 2018a).

goblets and cups). The latter represent, in their majority, vessels that evolved out of the previous 'Anatolian' shapes, and can be differentiated on the basis of their stylistic features. They are divided into (a) the red-orange pottery (CRO), visually reminiscent of the older 'Anatolian' pottery, and (b) the grey burnished pottery (CGP), which incorporated two innovations of the period that imply specialised craft knowledge, specifically the control of reducing firing conditions that conferred to the pots a uniform grey colour, and a particular type of burnishing of the surfaces. It has been argued that CRO pottery reflects the direct 'successor' of the previous 'Anatolian' potting practices, while CGP conveys an 'Anatolian' signature that is interpreted as a clay reproduction and imitation of the visual appearance of metal objects in the context of feasts (Maran 1992; Nakou 1997; Rutter 2012).

The larger part of the two assemblages was produced through the wheel-coiling technique, which was applied according to the fashioning methods already identified in EB2b: M2 and M3. At Lefkandi, M3 remained the dominant way of using the potter's wheel, occurring both in red-orange and grey pots. M2, in turn, decreased dramatically and was rarely used. The perpetuation and the dominance of M3 at Lefkandi resulted in the crystallisation of an old forming technology of high technical complexity. On the contrary, at Pefkakia, M3 was absent, with M2 appearing suddenly and dominating the production of wheel-pottery. The exclusive use of M2 suggests the use of the wheel was practiced according to a unique way, thus revealing the existence of an entity sharing a common wheel knowledge that involves a lower degree of expertise. The identification of both methods in central Greece during EB3 may reflect the actions of potters who maintained craft knowledge derived from an old wheel-based technological tradition at Lefkandi and introduced it to Pefkakia, which has been shaped and performed since EB2b. Despite the major changes in pottery production, the maintenance and spread of the potter's wheel suggests its vertical transmission from EB2b through EB3 and the emergence of new technological traditions that were founded on local ways of appropriating and practicing the tool.

Contrary to EB2b, the wheel became the foundation upon which various chaînes opératoires

were built during EB3, each one including a set of distinct technological choices depending on the morpho-stylistic types that were produced. For the manufacture of red-orange pots, the potters used the finishing and firing techniques that were known since EB2b, i.e. RKE-wiping and turning followed sometimes by slipping, and oxidising firing. For the production of grey pots, different techniques were involved that were totally new, including the burnishing of surfaces and reducing firing at high temperatures. In the former case (CRO), one can recognise the maintenance of potting practices that were inherent to the previous wheel-coiled pottery and are now incorporated, along with the potter's wheel, into the manufacture of the new shapes. On the contrary, in the latter case (CGP), the novelties of the period are associated with the old wheel-coiling technique in the production of the new grey pottery (Fig. 10).

From this perspective, two different technological systems can be distinguished that were activated by potters sharing knowledge of the wheel in each settlement. These potters were members of communities of practice that developed different craft behaviours depending on the desired pottery. They nevertheless shared a distinctive and common *savoir-faire* and operated in each settlement to produce only CPO and CGR.

Moreover, the petrographic analyses of the Lefkandi assemblage showed that the major part of both CRO and CGP wheel-made pots were made by the same variety of clays, fine to very fine, which were also used for the EB2b wheel-made pottery (see also Spencer 2007). The potters who used the wheel at the settlement therefore retained the same techniques of clay collection and preparation as their predecessors, apparently visiting the same sites for the raw materials. One can thus follow the course of choices and actions made by a stable and resistant community of practice that reproduced and transmitted a wheel-based technological tradition over a long period of time and thereby responded to the new intentions of production and consumption.

Nevertheless, contrary to this continuity, the appearance of the potter's wheel at Pefkakia uncovers a type of 'discontinuity' in the local system of production. While the fabrics used for the wheel-made pottery are semi-fine and compatible with the geology of the region, thus confir-

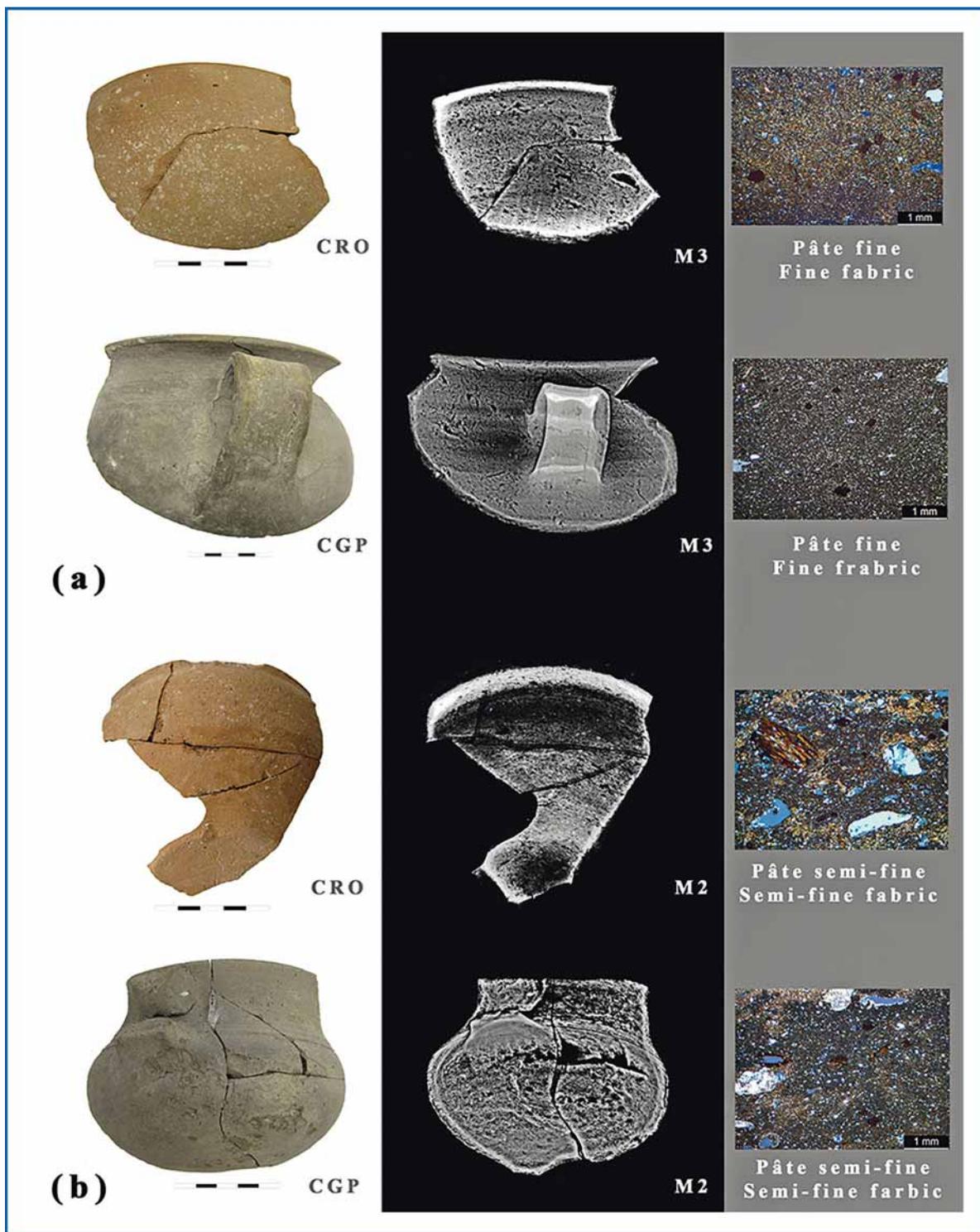


Figure 10: Characteristics of the wheel-based chaînes opératoires from central Greece during EB3: **(a)** Lefkandi; **(b)** Pefkakia.

ming the local use of the potter's wheel, their mineralogical composition are associated with varied clay sources, unknown to EB2b pottery production. As such, they reflect a profound mutation in the practices associated with the procurement and collection of raw materials. Interestingly, the examined fabrics are characterised by a significant internal diversity in terms of recipes, suggesting a pluralism in petrographic choices made by the potters using the potter's wheel for the production of either grey or red-orange vessels. This absence of standardisation of raw materials along with the sudden appearance of the potter's wheel through the exclusive use of M2 may, therefore, be indicative of the phenomenon of craft mobility. This attests to the formation of a new community of practice whose members shared a common tradition and seemingly appropriated the local technological environment in a diversified way. The origins of this tradition, founded on M2, was common and can

be traced within the contexts of apprenticeship and practice developed at Lefkandi since EB2b. The networks of communication between the two settlements, detectable since EB2b through the circulation of Lefkandiot objects, were sustained during the transition to EB3, favouring the transfer of the potter's wheel. The appearance of potters who brought the technology of the wheel seem to maintain their own tradition and to have created a distinct locus of apprenticeship and practice on the basis of the exclusive manufacture of CRO and CGP pots.

The perpetuation of communities trained in the potter's wheel at Lefkandi and their appearance at Pefkakia, as well as their common role in local production, does not necessarily mean the monopolisation of the manufacture of the red-orange and grey pottery on the wheel. The technological study demonstrated that a cluster of hand-made versions coexisted alongside wheel-made CRO pottery and especially CGP (Fig. 11).

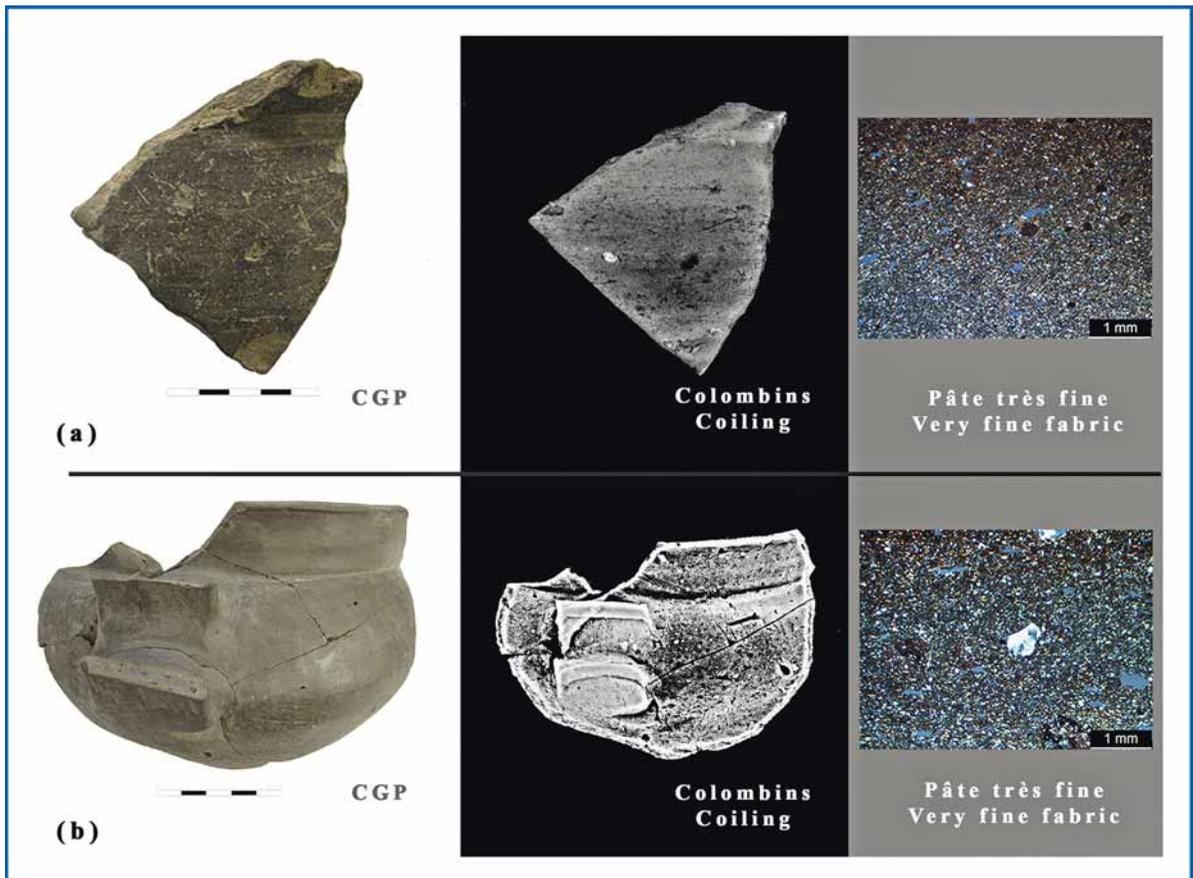


Figure 11: Hand-made versions from central Greece during EB2b: (a) Lefkandi; (b) Pefkakia.

Their presence implies the actions of other potters who possessed a different *savoir-faire* (i.e. hand-forming techniques) but who employed the same finishing (wiping) and firing techniques (oxidising/reducing) for producing the same objects. However, both at Lefkandi and Pefkakia, the mineralogical composition of the hand-made pots seems to diverge, to an extent, from that identified in the wheel-made versions, thus showing different choices in the collection and preparation of clays. Further chemical analyses are needed to explore this preliminary result. However, it is already possible to recognise a separation of the technological systems within which each community of practice operated to produce the same type of pottery.

The transfer of the potter's wheel to north-eastern Peloponnese

The communities of the north-eastern Peloponnese came into contact with the first wheel-made pots after the violent destructions of the monumental buildings in the region towards the end of EB2 (e.g. Forsén 1992; Rutter 1995). Their presence coincides with the emergence of the new EB3 'hybridised' shapes, interpreted by Jeremy Rutter as evidence for the 'Anatolisation' of regional consumption habits (Rutter 1979; 1983; 2008). It is in this context that a new but small assemblage of drinking vessels – already known from central Greece – spread over various Peloponnesian sites, such as Lerna and Tiryns in the Argolid. This assemblage contained mainly grey burnished pottery (CGP) whose presence was limited but systematic throughout EB3 (5%). It consisted of both hand-made and wheel-made versions of a series of goblets and cups. Interestingly, contrary to what happened in central Greece at the same time, the use of the potter's wheel in the Argolid remained almost exclusively associated with the production of grey pots and appeared as a marginal craft practice within the local production systems (3%) (Weisshaar 1983; Rutter 1983; 1995). Many scholars have proposed the local provenance of the hand-made grey pots and the imported character of the wheel-made variants. However, the results of the current study outline a different picture, namely that wheel-based potting activities developed at the regional level as the result of technical transfers from central Greece.

Despite the very low percentages of wheel-made pottery, the analyses applied to the material from

both Lerna and Tiryns showed an unexpected variability in the ways of using the potter's wheel. Three different wheel-coiling methods, M1 to M3, were identified. M3 dominates and underpins almost the entirety of the vessels bearing traces of RKE, both at Lerna and Tiryns. It appears therefore as the standardised and systematic *savoir-faire* behind wheel-made production. M1 and M2, in turn, are documented occasionally and occur only in certain shapes. M1 is identified only at Lerna, whereas M2 is present at both sites. The sporadic use of these latter methods of low degrees of gestural complexity reflects the non-systematic use of RKE that was enrolled into the context of learning and practicing the wheel. The modalities behind the appearance of these two methods in the Argolid shed light on different entities with varied and non-standardised craft behaviours that operated next to the potters who achieved a high level of expertise in the knowledge of the wheel. The dominance of M3 – typical to central Greece since EB2b – demonstrates that a salient *savoir-faire* was disseminated among potters producing wheel-made pots at both Lerna and Tiryns, thus unveiling a shared regional technological tradition.

The existence of a common wheel-based tradition at both settlements is also confirmed by the fact that almost all the wheel-coiled pots of the region belong to the CGP category¹² and were produced by a similar chaînes opératoires. As in the case of central Greece, the producers of the grey wheel-made pottery in the Peloponnese appropriated a coherent and innovative technological package, including the potter's wheel, the burnishing of the surfaces, the control of reducing firing, and a repertoire comprised of a restricted series of drinking shapes. Moreover, independent from the wheel-coiling method, the larger portion of wheel-made pots present comparable technical features in regard to the fabrics. The latter are well-purified and very fine, reflecting shared specialised techniques of preparing the clays (Fig. 12).

¹² There is unique miniaturised goblet of 'Anatolian' inspiration made by the wheel-fashioning M3 that appears at Lerna and belongs to CRO pottery, a pottery that never occurred in the Argolid (Choleva 2012: fig. 10b). The petrographic analysis revealed a mineralogical composition foreign to the local environment, thus implying the imported character of the pot.

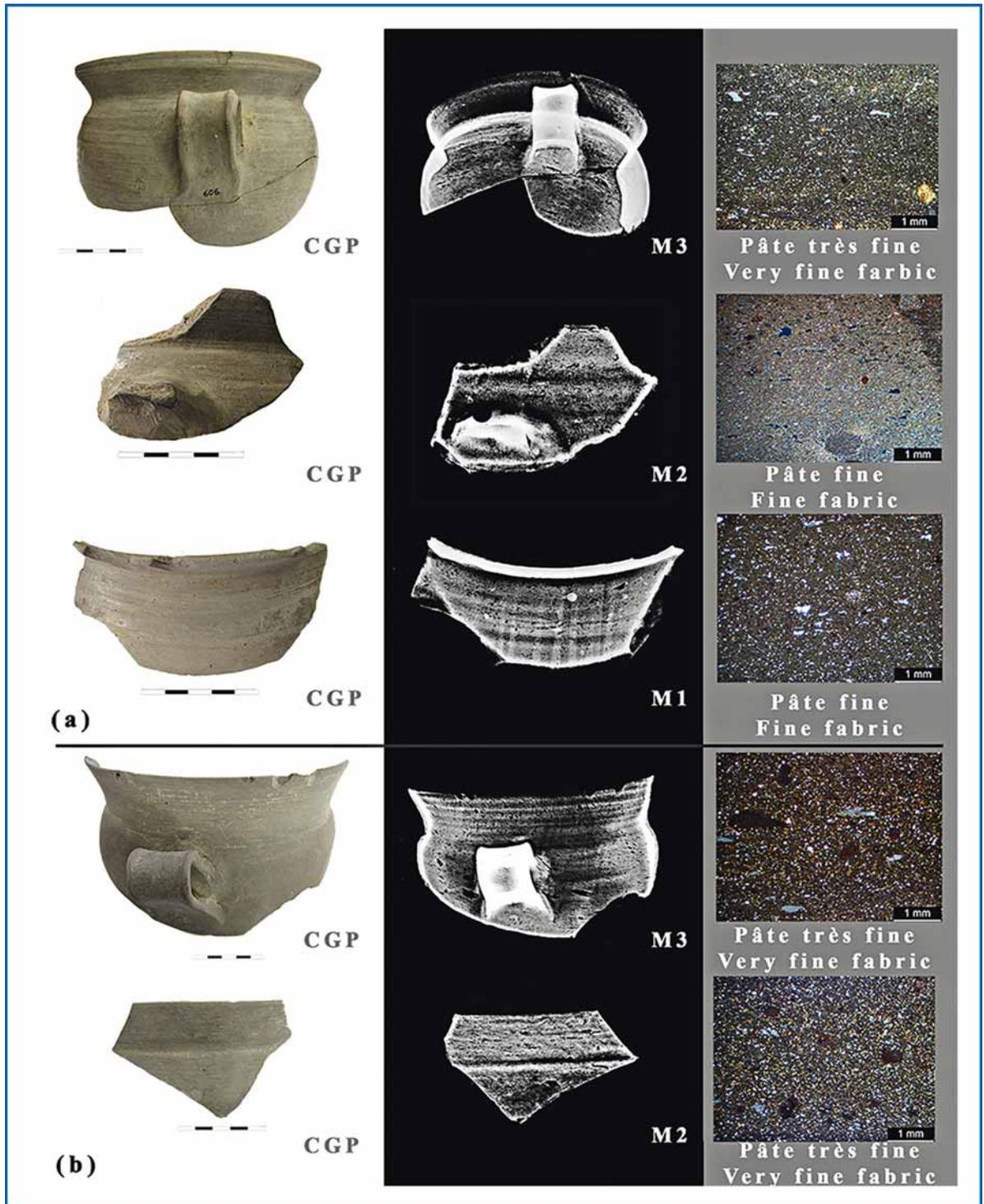


Figure 12: Characteristics of the wheel-based chaînes opératoires from the north-eastern Peloponnese during EB3: (a) Lerna; (b) Tiryns.

From this perspective, the potter's wheel emerges as a constitutive component of a uniform craft behaviour that activated a shared technological system between Lerna and Tiryns, and adopted by potters who developed different skills but were the unique possessors of the knowledge of the tool in the north-eastern Peloponnese.

Although the petrographic study did not precisely determine the provenance of the wheel-made pots, because of the very fine clay texture and the altered minerals due to the high firing temperatures, the preliminary results can already outline the varied processes of integrating the potter's wheel into the technological environment of each settlement, and suggest a local or regional practice of the tool. The fabrics used at Lerna could be largely attributed to a common geological environment. However, they are characterised by a micro-variation that are associated with diversified activities of clay procurement. This diversity underlines a series of non-standardised practices that were mobilised by several craft entities using the wheel-coiling technique in different ways. At Tiryns, the majority of fabrics used present a higher degree of homogeneity indicating more uniform practices involved in clay procurement and processing. Interestingly, these fabrics resemble, to a certain degree, a fabric group that has been identified at Lerna. This coincidence could reflect a shared place of production for certain wheel-made pots found in the Argolid. Further chemical analyses will shed more light on this petrographic variability. However, the exploitation of various clays from the same region for the production of wheel-made pots in Lerna and Tiryns already suggests different strategies of supplying raw materials and an absence of standardisation in the behaviours involved in the collection of clays.

Considering the scenario of a local or regional practice of the potter's wheel (see below), it can be assumed that the presence of small assemblages of wheel-made pots at Lerna and Tiryns reflects the dispersion, at the regional level, of a few potters who appropriated the available technological environment in different ways. At the same time, the preeminence of a shared, highly specialised way of mastering the wheel (M3) may indicate the actions of expert-potters who belonged to and transmitted the same technological tradition. From this perspective, the existence of methods of lower gestural complexity (M1 and M2) suggests

craft entities trained in the same tradition. The latter seems to have been shaped and maintained within a community of practice that was linked through common networks of learning that ensured the transmission of the wheel.

Besides, the potters who produced wheel-made pots in the Argolid (a) were attached to the production of a well-defined pottery repertoire; (b) shared a common craft behaviour that embraced the potting habits which occurred, at the same time, in central Greece, in the context of the CGP pottery; (c) possessed, in their majority, a common knowledge of the potter's wheel that already had a long history that stretched back to the EB2b contexts of production in central Greece. From this perspective, the appearance of the wheel technology in the Argolid could manifest a phenomenon of craft mobility that underlined the transfer of the potter's wheel to the north-eastern Peloponnese from central Greece (cf. Rutter 1995). In light of this, the potters who used the new tool should be linked, in one way or another, to the central Greek wheel-made tradition, transferred it to the Peloponnesian milieu and created a distinct community of practice.

However, this community is not the only one that produced grey burnished pots. The technological study demonstrated the parallel manufacture of CGP pottery through a variety of hand-forming techniques such as coiling or drawing, which evoke potters who were not trained in the potter's wheel (**Fig. 13**).

The comparison of the fabrics used for the hand-made and wheel-made versions revealed, particularly in the case of Lerna, a surprising convergence of technological choices behind fabric technology and provenance. The use of the same clays and the same techniques not only results in the elimination of the division between imported wheel-made pottery and locally produced hand-made version. Instead, it suggests the probable local use of the potter's wheel, and it implies that different craft entities were attached to the production of the CGP pottery. These entities share the same potting practices for producing this kind of pottery (burnishing, reducing firing etc.) apart from the forming technique. In this framework, one can recognise the coexistence of different communities of practice within the same context of production, where potters with different *savoir-faire*, originated from different networks of

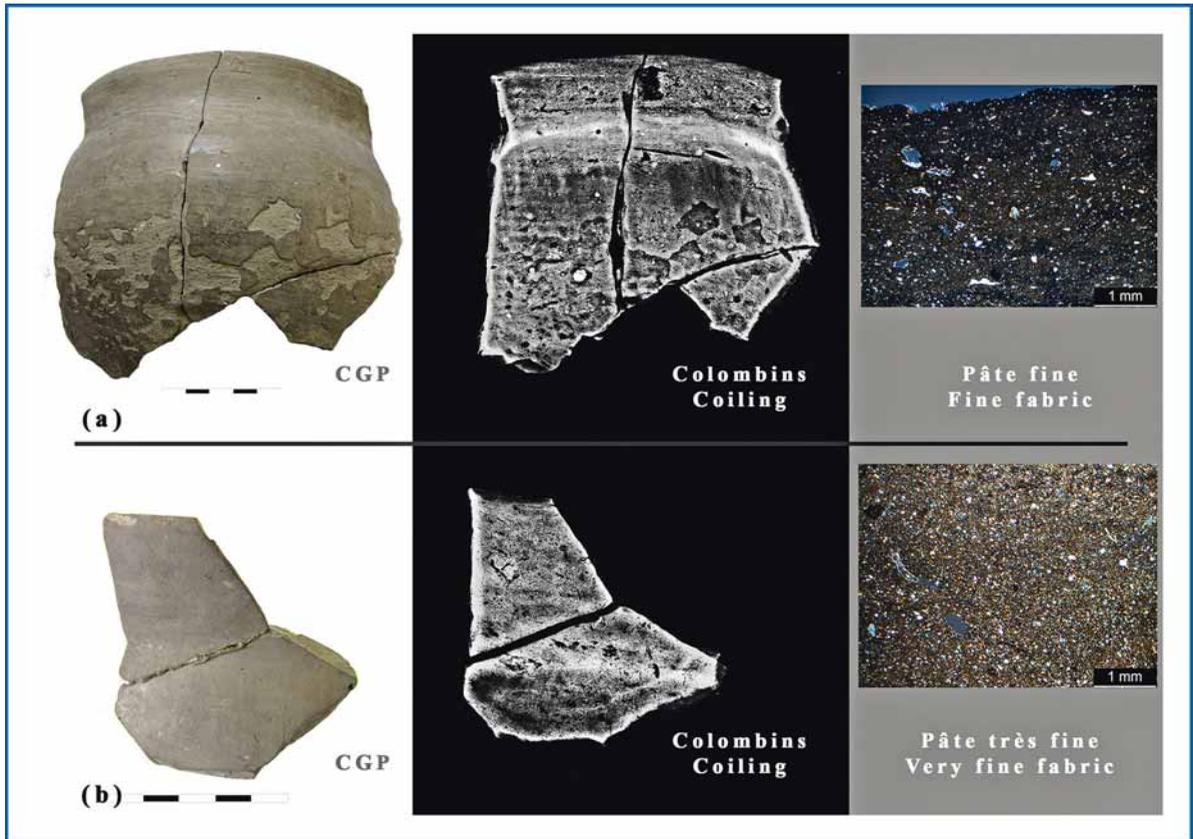


Figure 13: Hand-made versions from central Greece during EB3: (a) Lerna; (b) Tiryns.

apprenticeship, are in close interaction. It is only the bodily knowledge that differentiated these communities, the potter's wheel being the marker of a few potters who maintained a marginal but salient technological tradition.

Conclusions

In light of the stereotypical view of technology as a neutral and *a*-cultural means of production (cf. Pfaffenberger 1992; Gosselain 1998), the innovation of the potter's wheel should have been adopted thanks to its techno-functional advantages, the ones that the traditional interpretation confers to it, including efficiency, intensification, and the standardisation of production (cf. Baldi & Roux 2016). However, the early history of the appearance and adoption of this technology in mainland Greece during the Early Bronze Age does not reflect any functional or economic motivation (cf. Knappett 2016). On the contrary, the long and complex process of its appropriation reveals a phenomenon of a cultural order.

Instead of being generalised, the wheel remained a minor, sometimes marginal potting practice, exclusively attached to well-defined and small-scale craft activities. The reconstruction of the emerging technological traditions founded on the new tool reveals the repetition of the same phenomenon across settlements. Knowledge of the wheel was 'captive' of specific and determined morpho-stylistic and technological choices without ever being arbitrarily spread over local productions. The potters, in their major part, rejected it by maintaining the traditional 'habitus'. What were then the motivations and the mechanisms behind the adoption and transmission of the new *savoir-faire*? To the extent that technological choices are shaped within the social world of apprenticeship, and according to the local definitions that each community attributes to its actions (Gosselain and Livingstone Smith, 2005: 42), one can discern a socio-cultural identity that is rooted in the choice of the potter's wheel and imbues with it a specific social role.

Recent studies focusing on the comparison of the Aegean and Anatolian wheel-made pottery during EB2 have shown the probable installation in central Greece of small groups of potters who were likely trained in a western Anatolian technological tradition. On the basis of this tradition, the wheel-coiling technique was originally associated with the production of 'Anatolian' pottery and linked to specific consumption behaviours (Choleva 2015; 2018b). As it has been demonstrated above, these potters, who were integrated into certain socio-cultural milieus that were open to western Anatolian cultural practices, maintained their tradition intact within the borders of an introverted community of practice. The latter established at Lefkandi its own locus of apprenticeship, on the basis of the exclusive production of shapes of 'Anatolian' inspiration. This small community introduced a demanding and complex *savoir-faire* that was unknown to the local production systems and which had an apparently particular cultural value only for its practitioners. It remained an inaccessible practice to the producers of both the 'Anatolian' and traditional repertoires, and probably 'indifferent' for the consumers of their products.

At the dawn of EB3, knowledge of the potter's wheel had expanded over the new traditions that is assumed to be founded on the creative fusion between wheel technology and the manufacture of a new repertoire of drinking vessels that incorporated and reproduced older consumption habits. These shared traditions were specific to potters who maintained and perpetuated a set of knowledge inherited from the EB2b 'Anatolian' tradition. In this framework, one can recognise potters operating in various settlements of mainland Greece and inaugurating new networks of apprenticeship and loci of practice that ensured the transmission of their own way of making pottery. This technological study has uncovered a series of practices shared by these potters as well as the diversity in the levels of their expertise in the mastery of the wheel. This evidence reflects models of apprenticeship on the local scale and sheds light on 'individual' bio-behavioural processes underpinning the acquisition of the required skills (cf. Bril and Roux, 2002). The potters using the wheel were members of small or larger communities that (a) learned the wheel-based technique according to its own 'programmes' of education, (b) activated similar chaînes opératoires and (c) exploited the available

technological environment to achieve the same end, namely the production of a series of vessels having an old 'Anatolian' signature.

In light of these data, it seems that the link between wheel technology and a specific type of pottery was maintained throughout EB3 and that a specific cultural value perpetuated through the practice of the wheel, and thus determined the actions of specific potters. If the techniques are "traditional efficient acts" (Mauss 2009: 82) – and are traditional because they are passed on from generation to generation, collectively consolidating common principles of action and conception (Schlanger, 1991: 114–116; 2009: 18–20) – then the transmission of the potter's wheel from EB2b to EB3 reveals the maintenance of a social traditional practice. With this perspective, the different phenomena of technical transfers identified both in central Greece and the north-eastern Peloponnese could be interpreted as expressions of the meaningful acts of potters who embedded and reproduced a long-lived cultural 'habitus' rooted in a social world of craft activities.

The potters who perpetuated deeply-rooted technological traditions were dispersed across different parts of mainland Greece during a period of generalised socio-economic destabilisation that expressed the moment when consumption behaviours changed, assimilated aspects of the older habits and spread over certain groups of consumers within local societies. In this framework, the producers who possessed the knowledge of the potter's wheel and reproduced 'Anatolian' practices participated in the organisation of the production of each settlement in variable ways, depending on the socio-cultural context into which they were integrated. On one hand, the wheel was kept by potters who comprised a resistant community of practice in the milieus of central Greece. It was a visible community in the region that addressed its products to consumers who had already been familiarised with 'Anatolian' habits since EB2b. On the other hand, use of the wheel remained a rare practice in the Peloponnese, a region that developed different strategies of social organisation during EB2b and was never affected by the 'Anatolian' potting traditions. As such, it determined the actions of a very marginal, invisible community, probably trained in the wheel-based technological traditions of central Greece. Its members

seem to have been potters who were attached to the manufacture of a small quantity of new drinking vessels consumed by small groups, and who introduced potting habits that were foreign to the local socio-cultural contexts of production.

The new communities of practice acting in mainland Greece were differentiated from most of the producers of the settlements on the basis of their innovative craft behaviours. This designates 'social'

boundaries among potters using the potter's wheel and potters who persisted in hand-forming techniques. However, one can constantly observe a specific phenomenon of exchange and interaction between producers:

“The potter’s wheel seems to have appeared as a cultural practice, acting as the agent that bound together communities of individuals who learned and possessed knowledge of the tool. These communities produced a cultural value by means of a unique conception of manufacture”

the potters who possessed a specialised potting technology that was difficult and took a long time to acquire coexisted in the same context of production with smaller groups of potters who were trained in hand-forming techniques and originated from a different context of apprenticeship. Both potters shared the same end, comparable chaînes opératoires, including some of the technological innovation of the period, and sometimes the same technological environment to produce a similar type of pottery (CGP vessels) that was imbued with a particular value for the consumers. This sharing of practices implies that the constant link of the potter's wheel with this pottery does not give any further meaning to its social role. Instead, it emphasises a social division within the same context of production, a separation that did not express a differentiation in the 'tastes' of the consumers. It is rather a division that was manifested within the 'invisible' social world of technical actions and of learning, where the cognitive transformations consolidated ways of making and conceiving things, where the traditions were modulated and the social identities were internalised and appropriated (Chevalier 1991; Dietler & Herbich 1994; Minar & Crown 2001).

The potter's wheel seems to have appeared as a cultural practice, acting as the agent that bound

together communities of individuals who learned and possessed knowledge of the tool. These communities produced a cultural value by means of a unique conception of manufacture; by performing the new technique, they constituted and redefined a distinct social identity and created their own 'boundaries' within the resistant world of producers who persisted in hand-based traditions. The technology of the potter's wheel turned

out to be a resilient way of making pottery while its arbitrary diffusion eventually collided with conceptual and cultural constraints (Van der Leeuw, 1993; Gelbert, 1997). As such, it materialised the values of its practitioners that pre-

vented it from 'releasing' its technical potential and being more generalised in societies that kept maintaining and giving meaning to their traditional ways of doing things.

Acknowledgments

I would like to express my sincere gratitude to the Fyssen Foundation for giving me the opportunity to carry out this study, and to Jan Driessen who hosted me at the Aegis Group, Catholic University of Louvain. This research would not have been possible without the generous assistance and insightful contributions of Evangelia Kiriati, who supervised the petrographic analyses at the Fitch laboratory, British School at Athens. I am also particularly grateful to Nikos Petropoulos for this help and direction during the radiographic study at the National Technical University of Athens. I also owe my sincere acknowledgements to Oliver Dickinson, David French, Joseph Maran, Jeremy Rutter and the British School at Athens for allowing me to study and publish the archaeological material. Special thanks also go to the directors and staff of the archaeological services and museums for their help and permissions. Finally, I thank Louise Quillen for proofreading the French version of this paper and Duncan Howitt-Marshall for proofreading the English version.

Conservation de l'ADN ancien en France néolithique

Maité RIVOLLAT

Post-doctorante, PACEA – Université de Bordeaux, France ; MPI-SHH – Iéna, Allemagne

Résumé

La période néolithique est un événement majeur de l'histoire de l'humanité, représentant l'apparition d'un mode de vie moderne basé sur l'agriculture et la sédentarité. A partir du 8^e millénaire avant notre ère, des migrations massives de populations venues d'Anatolie s'étendirent dans toute l'Europe, portant un profil génétique très différent des groupes de chasseurs-cueilleurs autochtones. Le territoire français n'a pratiquement pas jusqu'ici fait l'objet d'études génomiques pour ces périodes. Ce papier présente les résultats préliminaires des données génomiques obtenues pour six sites néolithiques français, qui permettent de discuter des processus de conservation. Les résultats ne confirment pas la variabilité précédemment publiée dépendant de la géographie, mais plutôt un phénomène différentiel de conservation dû aux pratiques funéraires. Ils seront pris en compte dans les futurs choix engagés dans le cadre d'un projet paléogénomique sur la néolithisation de l'Europe de l'ouest.

Mots-clés

Transition Mésolithique/Néolithique, ADN ancien, conservation, environnement, pratiques funéraires

Ancient DNA conservation in Neolithic France

Abstract

The Neolithic period is a major event in the history of mankind, marking the apparition of the modern way of life based on a farming system and sedentism. From the 8th millennium before common era, massive migrations of Neolithic populations from Anatolia spread into Europe, carrying a very different gene pool from autochthonous hunter-gatherer groups. French territory was still free of genomic investigation to date. This study presents preliminary results from the first genomic data obtained for six French Neolithic sites, allowing to discuss about conservation processes. The results do not confirm previously published geography-related variability, but rather conservation phenomenon linked to funerary practices. They will help to determine future choices in a coming major project about western European Neolithic genomics.

Keywords

Mesolithic/Neolithic transition, ancient DNA, conservation, environment, funerary practices

Introduction

Le mode de vie néolithique s'est diffusé dans toute l'Europe depuis l'Anatolie à partir du 8^e millénaire avant notre ère. Au cours du siècle dernier, l'archéologie a clairement identifié deux courants de néolithisation, l'un le long du Danube vers Europe centrale et l'autre le long des côtes méditerranéennes vers la Péninsule ibérique,

chacun caractérisé par des traits culturels distincts (Gronenborn 2009 ; Guilaine 2003). Ces dernières années, le développement de nouvelles technologies dans le domaine de l'ADN ancien, donnant largement accès aux génomes anciens (séquençage à haut-débit), a permis de compléter ce tableau culturel en montrant que la diffusion néolithique a été accompagnée de migrations massives de populations venant d'Anatolie et se

propageant dans toute l'Europe (Bramanti et al. 2009 ; Haak et al. 2015 ; Lipson et al. 2017). Des études régionales ciblant les processus de métissage entre les fermiers migrants et les chasseurs-cueilleurs indigènes ont montré un faible taux de métissage entre premiers fermiers et chasseurs-cueilleurs dans les régions étudiées, suivi par une augmentation de la composante génétique héritée des chasseurs-cueilleurs dans les groupes du Néolithique moyen plusieurs siècles plus tard (Haak et al. 2015 ; Lipson et al. 2017 ; Mathieson et al. 2018 ; Olalde et al. 2019). À l'échelle de la France actuelle, le schéma d'interaction et d'échange du Mésolithique au Néolithique récent est montré par les données archéologiques comme très variable. Cela se traduit par une mosaïque visible dans la culture matérielle, liée aux deux courants de Néolithisation venant d'Europe centrale ou de l'aire méditerranéenne, ainsi que par des processus d'interaction variables avec les groupes chasseurs-cueilleurs locaux. Cependant, seulement de très rares données génomiques étaient disponibles pour le territoire français jusqu'à aujourd'hui (4 individus, Olalde et al. 2018).

Pendant ma thèse de doctorat effectuée à l'Université de Bordeaux, j'ai procédé à une première étape d'analyse en utilisant l'ADN mitochondrial sur différents sites néolithiques français, établissant ainsi les bases pour les analyses génomiques. J'ai pu notamment montrer une proportion plus importante de profils mitochondriaux hérités des chasseurs-cueilleurs dans les groupes néolithiques que dans d'autres parties de l'Europe, suggérant un processus spécifique de métissage dans cette région (Rivollat et al. 2015 ; Rivollat et al. 2016).

En tant qu'équipe regroupant des chercheurs français et allemands, nous avons développé un nouveau projet pour explorer la diversité génomique des populations d'Europe de l'ouest (projet INTERACT, ANR/DFG, ANR-17-FRAL-0010 ; Dir. M.-F. Deguilloux/W. Haak, 2018-2021). Notre but est de démêler la complexité et la variabilité des interactions culturelles et biologiques entre groupes humains pendant la période néolithique. Grâce au financement postdoctoral de la Fondation Fyssen (2017-2018), j'ai pu mettre en place un projet pilote à INTERACT, ciblant le territoire français. L'un des objectifs a été d'établir la faisabilité des analyses génomiques envisagées sur un ensemble de sites sélectionnés.

J'ai choisi six sites, qui ont principalement fait partie de mon projet de thèse ou d'études génétiques précédemment effectuées à Bordeaux (Deguilloux et al. 2010 ; Rivollat et al. 2015 ; Rivollat et al. 2016). Pour documenter la diversité des cultures et pour considérer un éventail géographique et chronologique large, j'ai sélectionné des sites qui s'inscrivent dans un large panel de caractéristiques différentes. Pendimoun et Les Brégières, situés au sud-est de la France (Alpes-Maritimes), sont les plus anciens sites du corpus, respectivement datés entre 5480 et 5330 avant notre ère et 5450 et 4650 avant notre ère. Ils représentent la phase du Néolithique ancien de ce corpus. Pendimoun est un abri contenant trois inhumations de l'horizon Impresso-cardial (Binder et al. 1993). Le profond aven des Brégières contient au moins 61 individus et correspond à une période allant du Cardial ancien pour les plus anciennes phases à la culture des vases à bouche carrée pour les plus récentes (Provost et al. 2017). Pour la phase du Néolithique moyen, j'ai sélectionné quatre sites dans la moitié nord de la France. Tout d'abord, Obernai en Alsace (Bas-Rhin) est une nécropole de plein-air contenant 27 individus datés de 5000 à 4400 avant notre ère (Lefranc et al. 2018). Directement dans l'aire d'influence culturelle du courant rubané venant d'Allemagne, une succession claire de cultures dérivées du Rubané (Grossgartach, Planig-Friedberg, and Rössen) est établie à l'échelle régionale (Denaire 2011). Gurgy « les Noisats », situé dans le Bassin parisien (Yonne), est également une grande nécropole de plein-air, composée de 128 individus. Des datations directes placent le site entre 5000 et 4000 ans avant notre ère, mais malgré une fouille récente, l'attribution culturelle du site reste peu claire, en raison notamment d'une faible présence de mobilier funéraire ou de traits caractéristiques (Rotier et al. 2005). L'occupation de Fleury-sur-Orne, situé en Normandie (Calvados), a commencé vers 4700 ans avant notre ère et s'est étendue dans le temps jusqu'après 4000 ans. La particularité du site réside dans ses structures de type Passy dans lesquelles sont inhumés 17 individus. L'attribution culturelle à l'horizon Cerny est proposée en raison des similarités observées de ces structures avec celles du Bassin parisien (Chambon 2003 ; Duhamel and Mordant 1997). Le dernier site considéré dans le corpus est Prissé-la-Charrière, un tertre de 100 mètres de long daté entre 4300 et

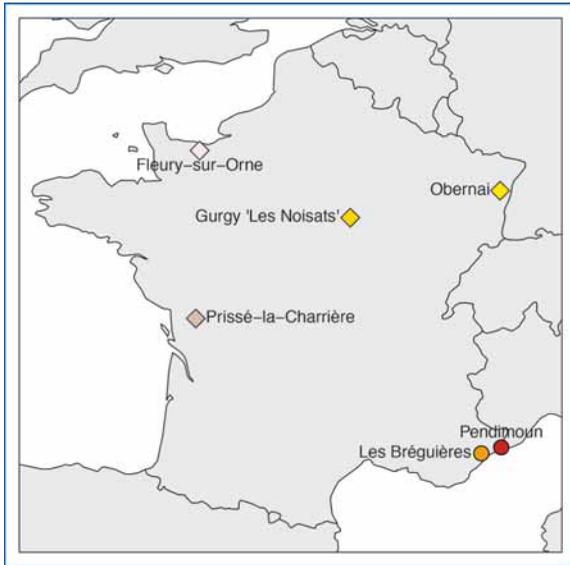


Figure 1 : Localisation spatiale des sites analysés.

4000 ans avant notre ère. Une chambre intacte, non perturbée par des interventions postérieures, a été étudiée, renfermant au moins six individus (Scarre et al. 2003).

Les sites sélectionnés couvrent donc une large répartition géographique (**Figure 1**), ainsi qu'une importante diversité des pratiques funéraires (nécropoles, monuments individuels, chambre mégalithique, abri, aven ; **Figure 2**). Celles-ci permettent de questionner la variabilité de la conservation de l'ADN en fonction des différents contextes environnementaux et funéraires.

J'ai échantillonné 53 individus parmi ceux disponibles dans les sites décrits ci-dessus. J'ai procédé aux analyses dans les infrastructures de l'Institut Max Planck pour la Science de l'Histoire de l'Homme à Iéna, en Allemagne. Les os pétreux ont été principalement sélectionnés, ainsi que les dents pour Prissé-la-Charrière et des fragments d'ossements non identifiés quand les os pétreux n'étaient pas disponibles à Fleury-sur-Orne. J'ai extrait l'ADN et construit les bibliothèques double-brin associées à des paires d'index uniques suivant le protocole décrit dans Villalba Mouco et al 2019. Les bibliothèques ont été analysées par séquençage *shotgun* avec une profondeur de 5 millions de lectures (*reads*) chacune sur un séquenceur Illumina HiSeq2500. J'ai utilisé le logiciel EAGER (Peltzer et al. 2016) pour établir le pourcentage

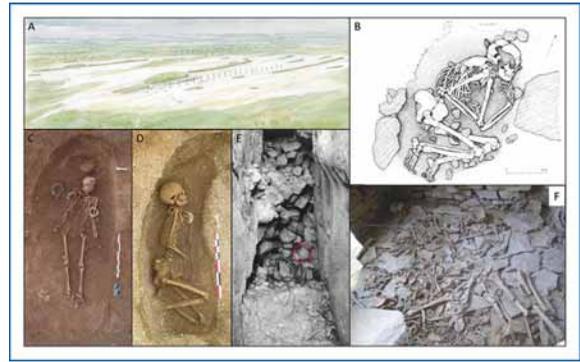


Figure 2 : **A.** Reconstitution des monuments de type Passy de Fleury-sur-Orne (Dessin : L. Juhel, Inrap). **B.** Pendimouin, individu F1 (Dessin : H. Duday, Binder et al. 1993). **C.** Obernai, Sep 4022-1 (photo : P. Lefranc, Lefranc et al. 2018). **D.** Gurgy « les Noisats », GLN 248 (photo : S. Rottier). **E.** Les Bréguières (Archive : CEPAM, Provost et al. 2017). **F.** Prissé-la-Charrière, chambre III (photo : L. Soler, Deguilloux et al. 2010)

d'ADN endogène. Ce pourcentage est calculé en fonction du nombre de fragments correspondant au génome humain de référence *hs37d5* par rapport aux fragments correspondant à de l'ADN environnemental (bactéries, champignons...).

Comme montré par la **Figure 3**, les valeurs d'ADN endogène s'échelonnent entre 0,1 % et 34,7 %. Cette importante variabilité est visible tant au sein de chaque site qu'entre eux. Prissé-la-Charrière fait figure d'exception avec de très faibles valeurs de façon générale (de 0,1 % à 1,1 % pour trois individus).

Ces résultats ne reflètent pas la répartition géographique des sites. Il a été démontré que les régions méditerranéennes ne sont pas favorables à une bonne conservation de l'ADN (Bollongino et al. 2008), mais nous observons une conservation plutôt bonne pour les deux sites méditerranéens (taux d'ADN endogène minimal = 4,1 %), alors que l'unique site situé à l'ouest de la France, Prissé-la-Charrière, montre l'ensemble des valeurs les plus basses. Les sites situés au nord-est de la France, dans un climat plus tempéré, montrent des valeurs très inégales.

Ces observations peuvent partiellement être expliquées non pas par la géographie mais par les pratiques funéraires. En effet, à Prissé-la-Charrière, les vestiges osseux ont été retrouvés sur un dallage à l'intérieur de la chambre funéraire et ont été préservés dans une chambre totalement vide qui a conservé son intégrité face aux pertur-

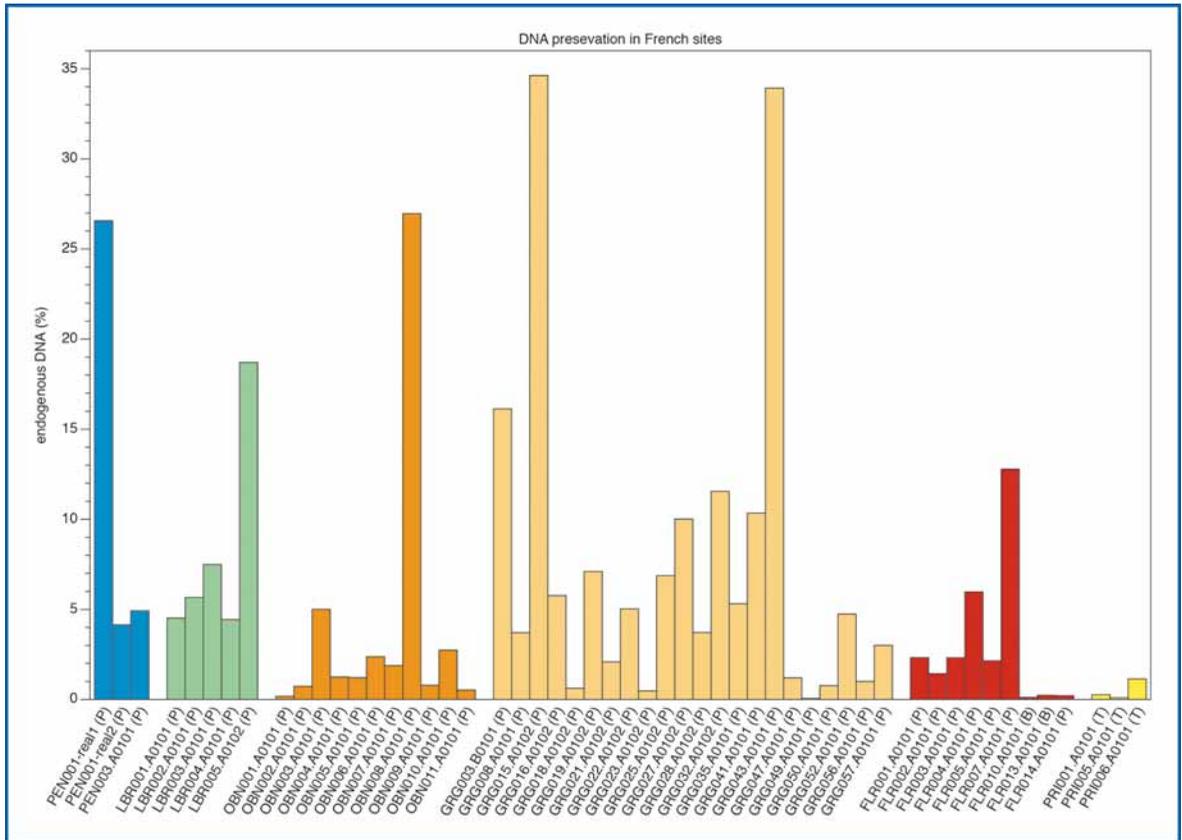


Figure 3 : Pourcentage d'ADN endogène par individu. (P) = os pétreux, (B) = os non spécifié, (T) = dent.

bations extérieures pendant des millénaires (**Figure 2F**). Les pratiques funéraires peuvent également expliquer la très bonne conservation observée dans les sites de Pendimoun et des Bréguières dans les Alpes-Maritimes. Ils sont respectivement un abri et un aven (probablement la partie profonde d'une grotte sépulcrale aujourd'hui disparue). Les deux sites se situent dans un environnement plus préservé des variations climatiques extérieures, au contraire des sites de plein-air.

Les trois nécropoles situées dans la moitié nord de la France montrent les plus importantes variations de pourcentage d'ADN endogène. Puisque les pratiques funéraires sont strictement les mêmes au sein de chaque site, les différences observées peuvent être dues à des variations géologiques ou environnementales locales (taux d'humidité, type de sol... ; Bollongino et al. 2008). Il faut également souligner que la conservation de l'ADN n'est pas dépendante de la conservation macroscopique, comme démontré

précédemment (Gamba et al. 2011). Nous observons par exemple à Fleury-sur-Orne une mauvaise conservation macroscopique des vestiges osseux pour certains individus menant néanmoins à des résultats exploitables. **La Figure 4** montre la sépulture de l'individu FLR003 (Sep 8-5), qui a fourni 2,3 % d'ADN endogène malgré des restes humains très mal conservés.

Si la variabilité observée à Obernai ou à Gurgy « les Noisats » où seuls des os pétreux ont été échantillonnés semble pouvoir être expliquée uniquement par des hypothèses environnementales, Fleury-sur-Orne au contraire répond aux attentes en termes de type d'os analysé. Les études de ces dernières années ont montré que les os pétreux et les dents dans un second temps sont les meilleurs vestiges osseux pour la conservation de l'ADN humain (Gamba et al. 2014). À Fleury-sur-Orne, les échantillons montrant les meilleurs résultats sont en effet des os pétreux (FLR001, FLR002, FLR003, FLR004, FLR005, FLR007) et s'échelonnent entre 1,4 % et 12,8 %



Figure 4 : A. Sépulture de l'individu FLR003 (Sep. 8-5) de Fleury-sur-Orne. (Photo : C. Thévenet). B. Os pétreux de l'individu FLR003.

d'ADN endogène, alors que la poudre d'os de FLR010 et FLR013, qui a respectivement fourni 0,12 % and 0,23 % d'ADN endogène, provient d'os non identifiés. Cette sélection d'échantillons a été dictée par les portions de squelette disponibles. Prissé-la-Charrière a également fourni des pourcentages d'ADN endogène faibles pour les trois échantillons analysés qui étaient tous des dents. Cela reste cohérent avec les études publiées sur la conservation des différents types d'os (Gamba et al. 2014).

Globalement, ces résultats montrent une conservation très variable dépendant de nombreux paramètres différents : pratiques funéraires, type d'os, variations environnementales. Ils donnent une direction quant aux stratégies d'échantillonnage pour les études à venir. De plus, l'évolution des technologies de séquençage à haut-débit a permis de s'affranchir des conditions de fouilles. Alors que nous devons être extrêmement attentifs aux problèmes de contamination au début des années 2000, les nouvelles méthodes bio-informatiques rendent désormais possible de détecter les dommages caractéristiques de l'ADN ancien et d'évaluer l'authenticité des données (Llamas et al. 2017). Ainsi, nous pouvons maintenant analyser tout site archéolo-

gique, quelques soient les conditions de fouille et de conservation post-fouille (par exemple Pendi-moun a été fouillé en 1956 et Les Bréguières en 1966), avec moins de restriction que dans les premières périodes d'étude de l'ADN ancien.

En plus de fournir des résultats utiles à la discussion à propos de la conservation à diffé-

“Ces résultats montrent une conservation très variable dépendant de nombreux paramètres différents : pratiques funéraires, type d'os, variations environnementales”

rentes échelles et à aiguiller les futurs échantillonnages, ces résultats préliminaires donnent d'importantes informations pour les analyses suivantes. Deux op-

tions se présentent pour l'analyse des génomes anciens après cette première étape de *shotgun*. L'une consiste à séquencer avec plus de profondeur pour obtenir dans le meilleur des cas la couverture complète du génome, mais cette approche nécessite un haut taux d'ADN endogène pour optimiser la complexité et le coût du séquençage. L'autre option consiste à cibler des positions d'intérêt (*Single Nucleotide Polymorphisms* ou SNPs) dans le génome, appelée capture, pour obtenir un set de données informatives. Dans le cadre du projet INTERACT, nous optons pour une capture spécifique synthétisée par *Agilent Technologies* et ciblant plus de 1,2 millions de SNPs (Mathieson et al. 2015) ainsi qu'une capture dédiée au génome mitochondrial complet (Maricic et al. 2010). Ce choix est parfaitement

adapté à l'ADN faiblement préservé dans la mesure où la capture enrichit des marqueurs spécifiques, et permet d'obtenir des données comparables aux jeux de données disponibles dans la littérature, même pour des échantillons peu prometteurs, à moindre coût. Le seuil minimum de sélection des échantillons pour capture est de 0,1% d'ADN endogène, ce qui signifie que la totalité de nos échantillons analysés pendant ce projet pilote sont de bons candidats. Dans le cas de la première option, analyser des génomes complets sur ce corpus nécessiterait la sélection des individus présentant plus de 10 % d'ADN endogène, soit dix d'entre eux (**Figure 3**), afin de maximiser les chances d'obtenir une couverture correcte. Pour les autres, le coût exponentiel du séquençage et le temps nécessaire rendent impossible leur analyse.

Dans le cadre de notre projet franco-allemand, cette étude pilote nous permet de sélectionner les meilleurs candidats pour des données de qualité au niveau du groupe pour chaque site, permettant un aperçu de la diversité dans et entre les groupes. L'un de nos principaux objectifs sera d'explorer comment les entités néolithiques en France et dans l'ouest de l'Europe représentent des groupes humains génétiquement distincts, avec le meilleur niveau de résolution possible.

Remerciements

Je remercie la Fondation Fyssen pour m'avoir donné l'opportunité de commencer ce passionnant projet dans le cadre d'une collaboration internationale des plus enrichissantes. J'ai pu développer de nouvelles compétences dans les meilleures conditions. Je souhaite également remercier très chaleureusement mon superviseur Wolfgang Haak à l'Institut Max Planck de Iéna, Allemagne, pour m'avoir accueillie et formée. Merci à Kathrin Nägele qui m'a formée aux protocoles de laboratoire, et à tous les techniciens qui m'ont aidée pour toutes les étapes techniques. Un merci chaleureux à Marie-France Deguilloux de PACEA, Bordeaux, pour m'avoir aidée à initier ce projet et pour m'avoir soutenue sans faillir depuis le début. Bien sûr je souhaite également remercier les archéologues engagés dans cette aventure pour m'avoir fait confiance et pour nos passionnantes discussions, notamment Didier Binder, Philippe Chambon, Emmanuel Ghesquière, Luc Laporte, Philippe Lefranc et Stéphane Rottier. Enfin, je souhaite remercier

l'ANR/DFG pour avoir financé la suite de ce projet qui nous permet de poursuivre cette recherche.

Bibliographie

- Binder D, Brochier EJ, Duda H, Helmer D, Marival P, Thiebault S, et Watez J. 1993. L'abri Pendimoun à Castellar (Alpes-Maritimes). Nouvelles données sur le complexe culturel de la céramique imprimée méditerranéenne dans son contexte stratigraphique. *Gallia préhistoire* 35(1) :177-251.
- Bollongino R, Tresset A, et Vigne J-D. 2008. Environment and excavation: Pre-lab impacts on ancient DNA analyses. *Comptes Rendus Palevol* 7(2) :91-98.
- Bramanti B, Thomas MG, Haak W, Unterlaender M, Jores P, Tambets K, Antanaitis-Jacobs I, Haidle M, Jankauskas R, Kind C-J et al. 2009. Genetic discontinuity between local hunter-gatherers and central Europe's first farmers. *Science* 326(5949):137-140.
- Chambon P. 2003. Revoir Passy à la lumière de Balloy : les nécropoles monumentales Cerny du bassin Seine-Yonne. *Bulletin de la Société préhistorique française* 100(3) :505-515.
- Deguilloux M-F, Soler L, Pemonge M-H, Scarre C, Joussaume R, et Laporte L. 2010. News from the west: Ancient DNA from a French megalithic burial chamber. *American Journal of Physical Anthropology* 144(1):108-118.
- Denaire A. 2011. Chronologie absolue de la séquence Hinkelstein-Grossgartach-Roessen-Bischheim dans le sud de la plaine du Rhin supérieur et le nord de la Franche-Comté à la lumière des dernières données. In: Denaire A, Jeunesse C, Lefranc P, editors. *Nécropole et enceintes danubiennes du Ve millénaire dans le Nord-Est de la France et le Sud-Ouest de l'Allemagne. Actes de la table ronde internationale de Strasbourg organisée par l'UMR 7044 (CNRS et Université de Strasbourg)*. p. 9-30.
- Duhamel P, et Mordant D. 1997. Les nécropoles monumentales Cerny du bassin Seine-Yonne. *Mémoires du Musée de préhistoire d'Ile-de-France*(6) :481-488.
- Gamba C, Fernández E, López-Parra AM, and Arroyo-Pardo E. 2011. Statistical evaluation of pre-laboratory and laboratory factors that influence DNA recovery from archaeological

material. *Forensic Science International : Genetics Supplement Series* 3(1):e109-e110.

- Gamba C, Jones ER, Teasdale MD, McLoughlin RL, Gonzalez-Forbes G, Mattiangeli V, Domboróczki L, Kővári I, Pap I, Anders A et al. 2014. Genome flux and stasis in a five millennium transect of European prehistory. *Nature communications* 5(5257).

- Gronenborn D. 2009. Transregional culture contacts and the neolithization process in Northern Central Europe. In: Jordan P, and Zvevėbil M, editors. *Ceramics before Farming: the Dispersal of Pottery among Prehistoric Hunter-Gatherers*: Left Coast Press. p 527-550.

- Guilaine J. 2003. De la vague à la tombe : la conquête néolithique de la Méditerranée, 8000-2000 avant J.-C. Paris : Seuil. 375 p.

- Haak W, Lazaridis I, Patterson N, Rohland N, Mallick S, Llamas B, Brandt G, Nordenfelt S, Harney E, Stewardson K et al. 2015. Massive migration from the steppe was a source for Indo-European languages in Europe. *Nature* 552:207-211.

- Lefranc P, Bachelier F, Chenal F, Denaire A, Féliu C, Réveillas H, et Schneider N. 2018. La nécropole néolithique moyen d'Obernai « Neuen Brunnen » (Bas-Rhin) : rites funéraires de la première moitié du 5^e millénaire dans le sud de la plaine du Rhin supérieur (Grossgartach, Planig-Friedberg, Roessen). *Revue archéologique de l'Est, Société archéologique de l'Est* 67 :5-57.

- Lipson M, Szécsényi-Nagy A, Mallick S, Pósa A, Stégnár B, Keerl V, Rohland N, Stewardson K, Ferry M, Michel M et al. 2017. Parallel palaeogenomic transects reveal complex genetic history of early European farmers. *Nature* 551:368.

- Llamas B, Valverde G, Fehren-Schmitz L, Weyrich LS, Cooper A, et Haak W. 2017. From the field to the laboratory: Controlling DNA contamination in human ancient DNA research in the high-throughput sequencing era. *STAR: Science & Technology of Archaeological Research* 3(1):1-14.

- Maricic T, Whitten M, et Pääbo S. 2010. Multiplexed DNA Sequence Capture of Mitochondrial Genomes Using PCR Products. *PLOS ONE* 5(11):e14004.

- Mathieson I, Alpaslan-Roodenberg S, Posth C, Szécsényi-Nagy A, Rohland N, Mallick S,

Olalde I, Broomandkhoshbacht N, Candilio F, Cheronet O et al. 2018. The genomic history of southeastern Europe. *Nature* 555:197.

- Mathieson I, Lazaridis I, Rohland N, Mallick S, Patterson N, Roodenberg SA, Harney E, Stewardson K, Fernandes D, Novak M et al. 2015. Genome-wide patterns of selection in 230 ancient Eurasians. *Nature* 528(499-503).

- Olalde I, Brace S, Allentoft ME, Armit I, Kristiansen K, Booth T, Rohland N, Mallick S, Szécsényi-Nagy A, Mittnik A et al. 2018. The Beaker phenomenon and the genomic transformation of northwest Europe. *Nature* 555:190.

- Olalde I, Mallick S, Patterson N, Rohland N, Villalba-Mouco V, Silva M, Dulias K, Edwards CJ, Gandini F, Pala M et al. 2019. The genomic history of the Iberian Peninsula over the past 8000 years. *Science* 363(6432):1230-1234.

- Peltzer A, Jäger G, Herbig A, Seitz A, Kniep C, Krause J, et Nieselt K. 2016. EAGER: efficient ancient genome reconstruction. *Genome biology* 17(1):60.

- Provost S, Binder D, Duday H, Durrenmath G, Goude G, Gourichon L, Delhon C, Gentile I, Vuillien M, et Zemour A. 2017. Une sépulture collective à la transition des VI^e et V^e millénaires BCE : Mougins-Les Bréguières (Alpes-Maritimes, France). *Fouilles Maurice Sechter 1966-1967. Gallia Préhistoire*(57):289-336.

- Rivollat M, Mendisco F, Pemonge M-H, Safi A, Saint-Marc D, Brémond A, Couture-Veschambre C, Rottier S, et Deguilloux M-F. 2015. When the Waves of European Neolithization Met: First Paleogenetic Evidence from Early Farmers in the Southern Paris Basin. *PLoS One* 10(4):e0125521.

- Rivollat M, Réveillas H, Mendisco F, Pemonge MH, Justeau P, Couture C, Lefranc P, Féliu C, et Deguilloux MF. 2016. Ancient mitochondrial DNA from the middle neolithic necropolis of Obernai extends the genetic influence of the LBK to west of the Rhine. *American journal of physical anthropology* 161(3):522-529.

- Rottier S, Mordant C, Chambon P, et Thevenet C. 2005. Découverte de plus d'une centaine de sépultures du Néolithique moyen à Gurgy, les Noisats (Yonne). *Bulletin de la Société préhistorique française* 102(3):641-645.

- Scarre C, Laporte L, et Jousseume R. 2003. Long mounds and megalithic origins in western

France: recent excavations at Prissé-la-Charrière. *Proceedings of the Prehistoric Society* 69:235-251.

- Villalba-Mouco V, van de Loosdrecht MS, Posth C, Mora R, Martínez-Moreno J, Rojo-Guerra M, Salazar-García DC, Royo-Guillén JI, Kunst M, Rougier H et al. 2019. Survival of Late Pleistocene Hunter-Gatherer Ancestry in the Iberian Peninsula. *Current Biology*.

Introduction

The Neolithic way of life expanded across Europe from Anatolia westward from the 8th millennium before common era (BCE). During the last century, archaeology well-identified two streams of expansion, along the Danube River to Central Europe and along Mediterranean coasts to Iberia, each of them carrying distinct cultural features (Gronenborn 2009; Guilaine 2003). These last years, the development of new ancient DNA technologies giving access to ancient genomes (High-Throughput Sequencing) allowed to complete this picture showing that Neolithic expansion was driven by massive migration of populations coming from Anatolia and spreading into Europe (Bramanti et al. 2009; Haak et al. 2015; Lipson et al. 2017). Regional studies focusing on processes of admixture between incoming farmers and local indigenous hunter-gatherers showed little admixture between first farmers and hunter-gatherers in the analysed regions, followed by the increase of hunter-gatherer-related ancestry in Middle Neolithic populations several centuries later (Haak et al. 2015; Lipson et al. 2017; Mathieson et al. 2018; Olalde et al. 2019). When focusing on the modern-day France, a highly differentiated picture of interaction and exchange from the Mesolithic to the Late Neolithic is shown by archaeological research. This results in a mosaic pattern of diversity seen in the material culture, linked to both waves of expansion coming from Central Europe or from Mediterranean areas, and various interaction processes with local hunter-gatherers. However, very few genomic data was available to date from the French territory (4 individuals; Olalde et al. 2018).

During my PhD project at the University of Bordeaux, I proceeded a first step of analysis using mitochondrial DNA on different Neolithic sites in France, establishing the background for

subsequent genomic analyses. I could show notably a more important amount of hunter-gatherer inherited mitochondrial profiles in farmer groups in France than in other parts of Europe, suggesting a specific process of admixture in this region (Rivollat et al. 2015; Rivollat et al. 2016).

As a team of French and German researchers, we developed a new project to investigate the genomic diversity of western European population (INTERACT project, ANR/DFG, ANR-17-FRAL-0010; Dir. M.-F. Deguilloux/W. Haak, 2018-2021). Our purpose is to unravel the complexity and variability in cultural and biological interactions between human groups during the Neolithic period. Thanks to Fyssen Foundation funding (2017-2018), I could set up a pilot project to INTERACT, focusing on the French territory. One of the aims was to establish the feasibility of the planned genomic analysis on a set of selected sites.

I selected six sites, mostly part of my PhD project or part of previous genetic studies made in Bordeaux (Deguilloux et al. 2010; Rivollat et al. 2015; Rivollat et al. 2016). To document the diversity of cultures and to consider a wide geographical and chronological range as well, I chose sites fitting within a large panel of different characteristics. Pendimoun and Les Bréguières, located in southeastern France (Alpes-Maritimes), are the oldest of the corpus, respectively dated between 5480 and 5330 BCE and 5450 and 4650 BCE. They represent the Early Neolithic phase of my corpus. Pendimoun is a shelter including three inhumations from the Impressa-Cardial horizon (Binder et al. 1993). The deep rocky fault line of Les Bréguières contains at least 61 individuals and corresponds to a period from Early Cardial for the oldest phase to Square Mouth Pottery culture for the most recent one (Provost et al. 2017). For the Middle Neolithic phase, I selected four sites in the northern half of France. First of all, Obernai in Alsace (Bas-Rhin) is an open-air necropolis containing 27 individuals ranging between 5000 to 4400 BCE (Lefranc et al. 2018). Directly in the line of the cultural influence from the *Linerabandkeramik* (LBK) culture coming from Germany, a clear succession of LBK-derived cultures (Grossgartach, Planig-Friedberg, and Rössen) is established at the regional scale

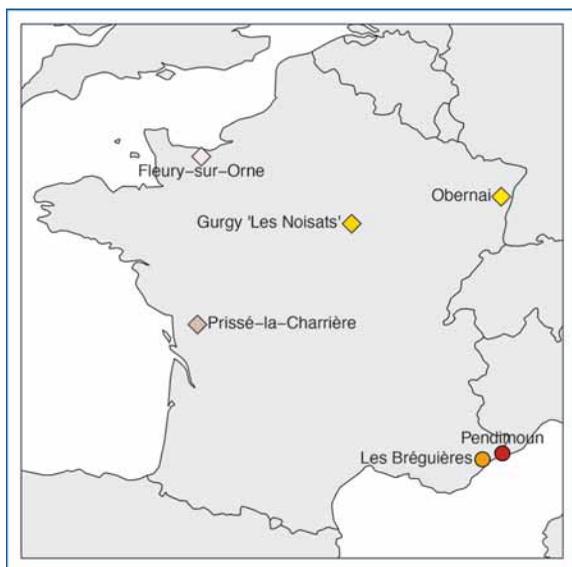


Figure 1: Spatial location of analysed sites.

(Denaire 2011). Gurgy «les Noisats», located in the Paris Basin (Yonne), is a big open-air necropolis as well, containing 128 individuals. Direct radiocarbon dates range the site between 5000 and 4000 BCE but despite a recent excavation, the cultural attribution of the site is still not clear, due to the lack of grave goods and characteristic features (Rottier et al. 2005). The occupation of Fleury-sur-Orne, located in Normandy (Calvados), starts from 4700 BCE and extends over time after 4000 BCE. The particularity of the site is the monuments *de Type Passy* in which are buried 17 individuals. The cultural attribution to Cerny horizon is suggested in relation to the similarities observed with the structures from the Paris Basin (Chambon 2003; Duhamel and Mordant 1997). The last site I considered in the corpus is Prissé-la-Charrière, a 100-meters long mound dated between 4300 and 4000 BCE. I targeted an intact chamber free from posterior perturbations, containing at least six individuals (Scarre et al. 2003).

The selected sites cover a wide geographical range (**Figure 1**), as well as a high diversity of archaeological types of funerary behaviours (necropolis, individual monument, megalithic chamber, shelter, rocky fault line; **Figure 2**). They allow to question the variability of DNA conservation according to different environmental and funerary contexts.

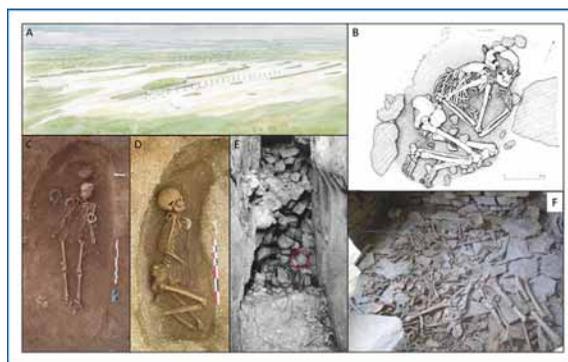


Figure 2: A. Reconstitution of monuments de type Passy of Fleury-sur-Orne (Drawing: L. Juhel, Inrap). B. Pendimouin, individual F1 (Drawing: H. Duday, Binder et al. 1993). C. Obernai, Sep 4022-1 (photo: P. Lefranc, Lefranc et al. 2018). D. Gurgy «les Noisats», GLN 248 (photo: S. Rottier). E. Les Bréguières (Archive: CEPAM, Provost et al. 2017). F. Prissé-la-Charrière, chamber III (photo: L. Soler, Deguilloux et al. 2010).

I selected samples from 53 individuals from the six sites described above. I processed the analysis in the facilities of the Max Planck Institute for Science of Human History of Jena, Germany. Mainly petrous bones were selected, as well as teeth for Prissé-la-Charrière, and other unidentified bones when petrous bones were not available for Fleury-sur-Orne. I extracted DNA and built double-stranded libraries with unique index pairs according to the protocol described in Villalba Mouco et al 2019. Libraries were screened via shotgun sequencing with a depth of 5M reads on an Illumina HiSeq2500 and I used the software EAGER (Peltzer et al. 2016) to establish the percentage of endogenous DNA. This percentage is calculated according to the number of fragments mapping to the human reference genome *hs37d5* compared to fragments corresponding to environmental DNA (bacteria, fungi...).

As shown on **Figure 3**, values of endogenous DNA range between 0.1% and 34.7%. This high variability is visible for each site as well as between sites. Prissé-la-Charrière is an exception with very low values overall (from 0.1% to 1.1% for three individuals).

These results do not reflect the geographical variability of the sites. It is known that Mediterranean areas are not favourable for DNA conservation (Bollongino et al. 2008), but we observe a rather good conservation for both Mediterranean sites (minimal endogenous DNA rate =

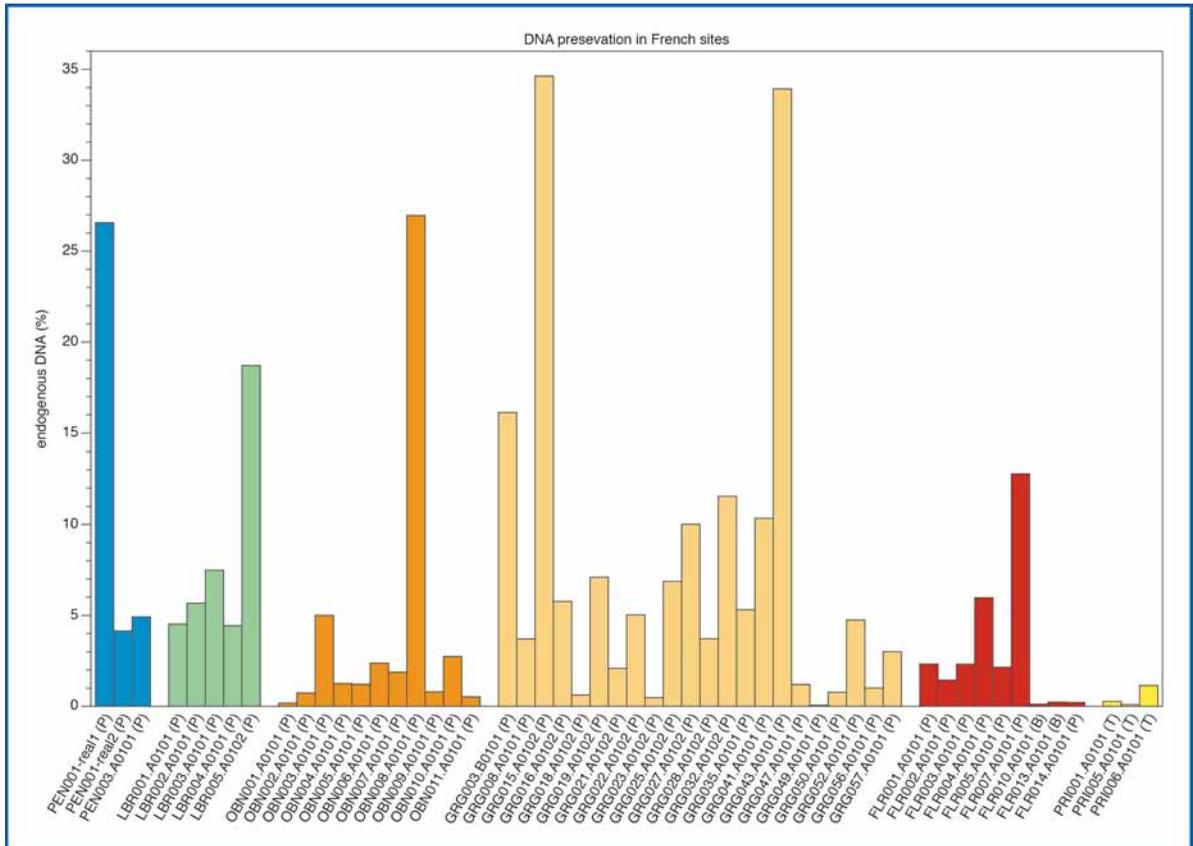


Figure 3: Percentage of endogenous DNA per individual. (P) = petrous bone, (B) = unspecified bone, (T) = teeth.

4.1%), while the only site located west of France, Prissé-la-Charrière, shows the set of the lowest values. Sites located north-east of France, in a more temperate climate, show very unequal values.

These observations can partly be explained not by geography but by funerary practices. Indeed, in Prissé-la-Charrière, the skeleton remains were deposited on the pavement within the chamber, and were preserved from any external perturbation in a totally empty and undisturbed room for millennia (**Figure 2F**). Funerary practices can also explain the extremely good conservation observed in the sites of Pendimoun and Les Bréguières in the Alpes-Maritimes department. They are respectively a shelter and a rocky fault line (likely the deepest part of a former funerary cave). Both are located an environment more preserved from external climatic variation, unlike open-air sites.

The three necropolises located in the northern half of France show the highest variations in the endogenous DNA values. As funerary practices are strictly the same within each of them, these differences can be due to local geological or environmental variations (humidity content, soil type...; Bollongino et al. 2008). It is noteworthy that DNA conservation does not depend on macroscopic conservation, as demonstrated before (Gamba et al. 2011). We see for instance in Fleury-sur-Orne a poor macroscopic conservation for some individuals leading nevertheless to exploitable results. **The figure 4** shows the burial of individual FLR003 (Sep 8-5), which provided 2.3% of endogenous DNA despite a very poor conservation of the human remains.

If I can explain the variability observed in Obernai or Gurgy «les Noisats», where exclusively petrous bones were sampled, only by environmental hypothesis, Fleury-sur-Orne on the contrary meets the expectations in terms of ana-



Figure 4. A. Burial of FLR003 (Sep. 8-5) from Fleury-sur-Orne. (photo: C. Thévenet). B. FLR003 petrous bone.

lysed bone type. Studies from the last years showed that petrous bones and teeth in a second choice are the best bone material for human DNA conservation (Gamba et al. 2014). In Fleury-sur-Orne, samples giving the best results are indeed from petrous bones (FLR001, FLR002, FLR003, FLR004, FLR005, FLR007) and range between 1.4% and 12.8% of endogenous DNA, while bone powder from FLR010 and FLR013, which respectively provided 0.12% and 0.23% of endogenous DNA, comes from unidentified bones. This sample selection has been driven by skeleton parts which were available. Prissé-la-Charrière also provided low endogenous DNA percentages for all the three samples which are teeth. This again correlates with previous studies about bone type conservation (Gamba et al. 2014).

Overall, these results show a highly diverse conservation depending on many different parameters: funerary practices, bone types, environmental variations. They give information on sampling strategies for future study. Moreover, evolution of HTS technologies also allowed to get free from excavation conditions. When we had to be extra-careful with contamination issues in the early 2000's, new computational methods made henceforth possible to detect characteristic damage patterns of ancient DNA and to evaluate the authenticity of the data (Llamas et al. 2017).

“These results show a highly diverse conservation depending on many different parameters: funerary practices, bone types, environmental variations”

Therefore, we are now able to target all archaeological sites according to any excavation conditions and post-excavation storage conservation (for instance Pendimoun excavated in 1956 and Les Bréguières excavated in 1966), with less restriction than in the first period of ancient DNA studies.

In addition to providing useful results for discussion about conservation at different spatial scales and to drive future sampling strategy, these preliminary data give an important information for subsequent analysis. Two options are open to analyse ancient genomes after this first

step of shotgun screening. First, we can sequence deeper to get a maximum of genome coverage, but this approach needs a high endogenous DNA percentage to optimize the complexity and the cost of sequencing. The second option is to capture targeted interest positions (Single Nucleotide Polymorphisms or SNPs) in the genome, to get only informative data. In the frame of the project INTERACT, we will opt for a specific capture synthesized by Agilent Technologies and targeting more than 1.2 millions nuclear SNPs (Mathieson et al. 2015) as well as a capture designed to target the complete mitochondrial genome (Maricic et al. 2010). This choice is perfectly adapted to poor-preserved DNA as the capture will enrich specific markers only, and will allow to get comparable

data even for unpromising samples, at a lower cost. The minimum threshold for selecting samples for capture is 0.1% of endogenous DNA, meaning that the totality of our samples analysed during this pilot project are good candidates. In the case of the first option, analyzing complete genomes on this corpus would require the selection of individuals with more than 10% endogenous DNA, i.e. ten of them (**Figure 3**), in order to maximize the chances of obtaining correct coverage. For the others, the exponential cost of sequencing and the time required make it impossible to analyse them.

In the frame of our next German-French project, this pilot study will permit to select the best candidates for good quality data at the group level for each site, allowing an insight into diversity in and between groups. One of our main goal will be to investigate how French and western Europe Neolithic entities represent genetically distinguishable human groups, at the best possible level of resolution.

Acknowledgment

I thank the Fyssen Foundation for giving me the opportunity to start this very exciting project in the frame of a great international collaboration. I could develop valuable skills in the best conditions. I also want to thank very warmly my supervisor Wolfgang Haak in the MPI-SHH in Jena, Germany, for hosting and training me. Thanks to Kathrin Nägele who trained me in the cleanroom, and to all the technicians from the MPI-SHH who helped me for the different technical procedures. Warm thanks to Marie-France Deguilloux from PACEA, Bordeaux, for helping to initiate this project and having supported me unflinching from the very beginning. Of course, I also want to thank warmly all the archaeologists involved in this adventure for trusting me and for our exciting discussions, namely Didier Binder, Philippe Chambon, Emmanuel Ghesquière, Luc Laporte, Philippe Lefranc and Stéphane Rottier. Finally, I want to thank the ANR/DFG for granting our new project to continue this great research.

BIBLIOTHÈQUE

Nous remercions vivement les généreux donateurs avec lesquels nous échangeons nos Annales :

Cuadernos de Prehistoria y Arqueología
de la Universidad de Granada

n°29 / 2019

Académie Royale de Belgique

Vol. 171 / Année 2016 périodique 1^{er} et 2^e semestre
Vol. 172 / Annuaire 2017
Vol. 173-174 / Annuaire 2018-2019

Nous remercions pour leur collaboration les auteurs soutenus dans leurs travaux de recherche par la Fondation Fyssen, nos lecteurs pour leur fidélité, et tous nos correspondants et bibliothèques qui permettent la libre consultation de notre revue.

We thank for their collaboration the authors supported in their research works by the Fyssen Foundation, our readers for their fidelity, and all our correspondents and libraries which allow the free consultation of our review.

Achévé d'imprimer en Juillet 2020
Sur les presses numériques