



**HAL**  
open science

# **Les Fondements Cognitifs de la Culture et de L'Évolution Culturelle Cumulative : Une Revue de la Littérature The Cognitive Bases of Culture and Cumulative Cultural Evolution: A Literature Review**

Emmanuel de Oliveira, François Osiurak, Emanuelle Reynaud

## ► To cite this version:

Emmanuel de Oliveira, François Osiurak, Emanuelle Reynaud. Les Fondements Cognitifs de la Culture et de L'Évolution Culturelle Cumulative : Une Revue de la Littérature The Cognitive Bases of Culture and Cumulative Cultural Evolution: A Literature Review. *L'Année psychologique*, 2017, Vol. 117 (3), pp.351-378. <10.3917/anpsy.173.0351>. <hal-04586814>

**HAL Id: hal-04586814**

**<https://hal.science/hal-04586814v1>**

Submitted on 24 May 2024

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

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



HAL Authorization

1 **Les Fondements Cognitifs de la Culture et de L'Évolution Culturelle Cumulative :**  
2 **Une Revue de la Littérature**

3 **The Cognitive Bases of Culture and Cumulative Cultural Evolution: A Literature**  
4 **Review**

5 Emmanuel De Oliveira<sup>1</sup>, François Osiurak<sup>1,2</sup>, et Emanuelle Reynaud<sup>1</sup>

6 <sup>1</sup>Laboratoire d'Étude des Mécanismes Cognitifs (EA 3082), Université de Lyon, France

7 <sup>2</sup>Institut Universitaire de France, Paris, France

8 **Correspondance**

9 Emmanuel De Oliveira, Laboratoire d'Étude des Mécanismes Cognitifs (EA 3082), Institut de Psychologie,  
10 5, avenue Pierre Mendès-France, 69676 Bron Cedex, France.

11 Email: Emmanuel.De-Oliveira@univ-lyon2.fr

12 ***Titre Courant : Bases Cognitives de la Culture et de l'Évolution Culturelle Cumulative***

13

14

**Abstract**

15 Culture is a set of information acquired through social transmission. Human  
16 cultures are more complex than in other species. This is due to cultural evolution, which  
17 appears to be cumulative for human beings: cultural traits are progressively improved  
18 or replaced by better ones through generations of individuals with a minimum of loss.  
19 Many experimental studies investigated the origins of that phenomenon, focusing on  
20 socio-cognitive factors that might lead to its emergence in a group. The first studies in  
21 that field advocated for social high-fidelity transmission, which facilitates the  
22 preservation of cultural traits through time, thus enabling populations to create new  
23 practices from the old ones. However, more recent studies have showed that cultural  
24 evolution could emerge in some non-human species — sometimes in a cumulative  
25 fashion —, that high-fidelity transmission is not a fundamental factor for cumulative  
26 culture and that some other factors, both psychological (physical intelligence, mental  
27 flexibility) and social (communication, teaching), may play a more important role.

28 **Keywords :** Cumulative Culture ; Evolution ; Physical Intelligence ; Social Intelligence ;  
29 Social Learning.

30

## Résumé

31 La culture est un ensemble d'informations acquises grâce à la transmission sociale.  
32 Les cultures développées chez l'être humain sont plus complexes que chez toutes les  
33 autres espèces animales. On attribue cela au processus d'évolution culturelle qui, chez  
34 l'humain, est cumulatif : tous les traits culturels qui sont acquis ou dont la performance  
35 est améliorée par les individus d'une génération accumulent ces modifications sans  
36 qu'elles soient perdues. De nombreuses études expérimentales portent sur l'origine de  
37 ce phénomène, en particulier les facteurs sociocognitifs qui favorisent son émergence  
38 dans un groupe. Les premiers travaux menés en psychologie l'ont attribué à la capacité à  
39 transmettre fidèlement des informations au sein d'un groupe, facilitant ainsi le maintien  
40 des traits culturels au fil des générations. Des études récentes montrent toutefois que  
41 l'évolution culturelle peut survenir chez d'autres espèces — parfois de façon quasi-  
42 cumulative —, que la fidélité de la transmission sociale n'est pas une aptitude réservée à  
43 l'être humain et que d'autres facteurs psychologiques (intelligence physique, flexibilité  
44 mentale) et sociaux (communication, enseignement) sont à considérer.

45 **Mots-Clefs :** Culture Cumulative ; Evolution ; Intelligence Physique ; Intelligence  
46 Sociale ; Apprentissage Social.

47 **1. Introduction**

48 Chez tous les groupes d'êtres humains, on constate que le mode de vie des individus est  
49 grandement affecté par les idées qu'ils échangent, par leurs croyances, leurs pratiques et  
50 leur avancée technique. Un regard sur notre société révèle, par exemple, l'omniprésence  
51 de la technologie numérique dans nos moyens de communication, de circulation, de  
52 manipulation et de stockage de l'information. Ce sont des exemples de ce que l'on peut  
53 nommer une culture, c'est-à-dire un ensemble de traits partagés par les membres d'un  
54 groupe *via* des processus de transmission sociale (enseignement, langage...), qu'ils  
55 soient directs (où un individu naïf acquiert un nouveau comportement en présence d'un  
56 congénère plus expérimenta) ou indirects (où le congénère expérimenté est absent et où  
57 seul le résultat de son comportement est observable, dont l'individu naïf se sert pour  
58 apprendre un nouveau comportement). Ces traits peuvent prendre la forme d'idées, de  
59 croyances, de pratiques ou d'artefacts (Mesoudi, 2011), créés et modifiés sous l'effet de  
60 contraintes ou de choix arbitraires. Pour être qualifié de trait culturel, un comportement  
61 doit également être diffusé au sein d'un groupe (i.e. transmis d'un individu à plusieurs  
62 autres individus) et dont on vérifie l'absence dans un autre groupe, sans que cela soit dû  
63 à des variations écologiques (Whiten et al., 1999 ; Mesoudi, 2011). Si cette diffusion  
64 repose sur un processus de transmission sociale et non pas d'autres facteurs (inné,  
65 environnement), on considère qu'il s'agit d'un phénomène culturel. Enfin, la plupart des  
66 comportements des individus repose sur un apprentissage : ce que l'on fait et sait faire  
67 dépend de l'expérience individuelle et des besoins auxquels les membres du groupe font  
68 face — contraintes internes (la faim, la soif...) et externes (choix d'un itinéraire,  
69 nidification...). Cet apprentissage est facilité par la présence de congénères qui suivent  
70 un objectif commun et savent coopérer. Ainsi, certains animaux sont capables d'agir

71 ensemble pour satisfaire les besoins du groupe (Goldberg, 1998). Les résultats  
72 dépassent généralement ce qu'un individu isolé aurait pu accomplir (Boyd & Richerson,  
73 1995).

74 La mise en place et le développement de traits culturels dépendent de  
75 l'apprentissage social, soit l'acquisition ou la modification d'un comportement sous  
76 l'influence d'autrui. Il en existe plusieurs modes (Whiten, 2000), chacun se distinguant  
77 des autres par l'orientation de l'attention de l'élève et par le rôle du démonstrateur :

78 - La mimique : l'élève apprend quelque chose de l'action du démonstrateur, mais  
79 il ignore les relations qui existent entre ses actions et les résultats obtenus, ni  
80 celles qui relient le démonstrateur aux objets qu'il peut manipuler (Want &  
81 Harris, 2002).

82 - Le rehaussement du stimulus ou de lieu : l'attention de l'élève est attirée par un  
83 élément de l'environnement, comme un objet ou un endroit spécifique (Hayne,  
84 2002 ; Spence, 1937 ; Thorpe, 1963). Il apprend quelque chose du dispositif qui  
85 a conduit au résultat qu'il a pu observer tout en ignorant les actions du  
86 démonstrateur. L'élève apprend ainsi certaines propriétés des objets ou des  
87 éléments de son environnement qu'il peut réutiliser dans des conditions  
88 similaires.

89 - L'imitation : l'élève reproduit l'action et l'intention du modèle (Tomasello,  
90 1990).

91 - L'émulation : l'élève suit le même objectif que le démonstrateur avec une  
92 méthode différente (Tomasello, 1990).

- 93 - L'enseignement : le démonstrateur s'efforce de transmettre une information  
94 que l'élève tâche de s'approprier et de répéter pour la mémoriser (Tomasello,  
95 Kruger et Ratner, 1993).
- 96 - La pédagogie : c'est un mode de communication, par lequel chaque partie  
97 s'engage activement dans la transmission d'informations (Csibra et Gergely,  
98 2009). Contrairement à l'enseignement, elle nécessite une communication  
99 ostensive (le démonstrateur manifeste le fait qu'il est en train de présenter une  
100 information), des messages référentiels (afin que l'élève comprenne sur quoi  
101 repose l'information avant de pouvoir la généraliser) et des messages  
102 pertinents (les informations transmises doivent être nouvelles et  
103 compréhensibles).

104 À mesure qu'ils sont transmis au fil des générations et qu'ils subissent l'influence  
105 des contraintes environnementales et des comportements des individus, les traits  
106 culturels sont susceptibles d'évoluer. L'aspect le plus intéressant de l'évolution  
107 culturelle porte certainement sur sa propriété cumulative, étudiée depuis longtemps  
108 chez l'être humain et actuellement en cours d'investigation chez d'autres espèces. La  
109 culture cumulative se définit comme la progression constante d'une performance au fil  
110 des générations (Tomasello, 1990). Cette progression résulte de l'accumulation de  
111 modifications de traits au fil des générations (e.g., le couteau en fer transformé en  
112 couteau en acier inoxydable), ou parfois de nouveaux traits, qui peuvent en remplacer  
113 d'autres (e.g., la bougie remplacée par l'ampoule à incandescence). Au final, elle aboutit à  
114 des pratiques, des artefacts, des institutions de plus en plus variées et complexes — i.e.  
115 combinant de plus en plus de caractéristiques tirées de précédents traits culturels, les  
116 rendant de plus en plus difficile à reproduire ou acquérir (Byrne, 2007). Ce phénomène

117 cumulatif a conduit certains chercheurs à lui attribuer le nom de *ratchet effect* — soit  
118 « effet cliquet » (Tennie, Call & Tomasello, 2009), à l'image de ce mécanisme qui  
119 empêche une roue de revenir en arrière, beaucoup d'auteurs considèrent que les  
120 cultures humaines ne peuvent que progresser ou rester immobile, à moins d'une  
121 catastrophe (Mesoudi, 2011).

122 Cet article passe en revue les principaux travaux effectués à propos de l'évolution  
123 culturelle cumulative. Il s'agit d'un phénomène étudié de plus en plus fréquemment dans  
124 le domaine de la psychologie expérimentale, faisant suite aux travaux d'anthropologie,  
125 de sociologie, d'histoire et d'archéologie. Le premier axe portera sur les exemples de  
126 traits culturels et découvertes plus récentes d'évolution culturelle chez des espèces  
127 animales autres que les primates. Nous aborderons ensuite la question de la culture —  
128 et de la culture cumulative — chez les primates non humains en passant en revue des  
129 études expérimentales portant sur le sujet. Finalement, nous considérerons le cas des  
130 êtres humains.

## 131 **2. Indices de culture chez des espèces non primates**

132 La définition de la culture présentée en introduction signifie que tout comportement  
133 acquis par transmission sociale et partagé avec les membres d'un groupe peut être  
134 considéré comme un trait culturel — synonyme de tradition dans cette revue. Elle  
135 permet de jeter un regard neuf sur des pratiques animales dont on ne soupçonnait pas  
136 l'origine, et de mieux comprendre l'influence du groupe sur l'individu et son rôle sur  
137 l'évolution des comportements au fil des générations.

138 Chez les insectes, on trouve des traces de pratiques partagées entre individus  
139 membres d'un même groupe grâce à la transmission sociale. Worden et Papaj (2005) ont

140 montré que le butinage chez certains bourdons (*Bombus impatiens*) était guidé par le  
141 comportement de démonstrateurs dans leur groupe. En les enfermant dans une cage, les  
142 auteurs les ont laissé observer des congénères entraînés à butiner un type de fleur  
143 spécifique (verte *versus* orange). Les auteurs ont constaté que les bourdons naïfs avaient  
144 tendance à butiner le même type de fleur que leurs démonstrateurs. Cette pratique  
145 persistait même avec des démonstrateurs artificiels (i.e. des marionnettes manipulées  
146 par les expérimentateurs), ce qui indique que le comportement des individus naïfs était  
147 davantage guidé par un apprentissage par observation que par communication (e.g.  
148 signaux chimiques). Les fleurs en elles-mêmes ne présentent aucune particularité  
149 pouvant inciter les bourdons à en préférer une. Cette étude fournit l'exemple d'un  
150 comportement arbitraire propre aux membres d'un groupe, que l'on peut donc  
151 considérer comme un trait culturel.

152       La recherche de nourriture est un type de comportement facilement observable  
153 chez les insectes, qui permet de rendre compte des objectifs des membres d'une colonie  
154 et des moyens sollicités pour y parvenir. Il peut arriver que ce comportement soit guidé  
155 par l'exemple donné par des congénères, qui guident les individus naïfs vers la meilleure  
156 source de nourriture ou sur le meilleur itinéraire. C'est l'exemple présenté par  
157 Hölldobler et Wilson (1990). Chez la fourmi (*Temnothorax albipennis*), ils ont constaté  
158 que certains leaders peuvent guider des individus naïfs vers une source de nourriture de  
159 façon active. En effet, chaque fois qu'ils sont séparés, le leader retourne vers l'individu  
160 naïf pour corriger son comportement. Ce genre de pratique tend à faciliter la  
161 propagation d'une pratique (orientation spatiale, recherche de l'itinéraire optimal) au  
162 sein de la colonie. C'est un trait que l'on peut considérer comme culturel, guidé par les  
163 instructions d'un congénère plus expérimenté.

164 On peut également trouver des exemples de traits culturels chez certaines  
165 espèces de poissons vivant en groupe, pour l'usage d'outils ou pour le partage  
166 d'informations sur les lieux de chasse. Bshary, Wickler et Fricke (2002) font une liste  
167 non exhaustive de plusieurs comportements que peuvent partager des poissons  
168 membres d'un groupe. Il peut s'agir, par exemple, de la sélection du terrain de chasse  
169 selon la présence de planctons ou de prédateurs, ou de la capacité à se servir des coraux  
170 comme d'une enclume pour ouvrir un oursin. Plus intéressant encore, Laland et  
171 Williams (1997) ont trouvé que les guppies (*Poecilia reticulata*) affichaient un  
172 comportement similaire à celui observé par Worden et Papaj (2005) avec les bourdons.  
173 En entraînant un démonstrateur à atteindre une source de nourriture en empruntant  
174 une voie spécifique (e.g. passer à travers un anneau rouge *versus* vert, chaque route  
175 étant à même distance de la récompense), ils ont constaté que les guppies naïfs  
176 observant ce démonstrateur avaient tendance à choisir le même itinéraire que lui sur  
177 plusieurs essais lorsqu'ils étaient testés seuls. Les auteurs ont complété leur étude en  
178 utilisant un paradigme de transmission en chaîne. Ce paradigme consiste à remplacer  
179 progressivement les membres d'un groupe, afin de mesurer la transformation d'un trait  
180 qu'ils se partagent. Cette méthode a été popularisée par Bartlett (1932), dont les travaux  
181 ont notamment contribué à la compréhension du phénomène de rumeur et du principe  
182 de reconstruction de souvenirs. Dans son étude, Bartlett proposait aux participants de  
183 transmettre une information verbale afin d'observer les modifications qu'elle subissait  
184 progressivement au fur et à mesure qu'elle était transmise. Laland et Williams (1997)  
185 ont repris le même paradigme en mesurant le maintien de la transmission d'un  
186 itinéraire arbitraire entre les guppies. Ils ont découvert que le choix de la route était  
187 toujours guidé par le comportement des démonstrateurs, même lorsque ceux-ci ne  
188 faisaient plus partie de la chaîne.

189 Les meilleurs exemples de culture chez des animaux (autres que les primates) se  
190 trouvent chez les oiseaux, dont on sait actuellement que de nombreuses espèces sont  
191 capables d'utiliser diverses techniques de communication, de nidification et de chasse,  
192 parfois associées à l'usage et la manufacture d'outils. Hinde et Fisher (1972) ont par  
193 exemple fait la présentation de la mésange bleue d'Angleterre (*Cyanistes caeruleus*), qui,  
194 parmi ses diverses techniques de sustentation, est capable d'ouvrir l'opercule en  
195 aluminium de bouteilles de lait. Cette technique a été observée dans divers lieux chez  
196 cette espèce. Néanmoins, il semble peu probable qu'il s'agisse d'un comportement inné :  
197 aucun objet dans la nature ne reproduit les caractéristiques physico-mécaniques d'une  
198 bouteille scellée. Pour les auteurs, la diffusion de ce comportement entre les mésanges  
199 repose sur une forme de transmission sociale indirecte. Ainsi, chaque individu a pu  
200 observer une bouteille ouverte par un congénère, puis reproduire son comportement  
201 grâce à un rehaussement du stimulus.

202 Hunt et Gray (2003) se sont intéressés au corbeau de Nouvelle-Calédonie (*Corvus*  
203 *moneduloides*), une espèce particulièrement étudiée aujourd'hui pour ses capacités en  
204 inférence causale (Taylor, Hunt, Medina & Gray, 2009), en manufacture et en usage  
205 d'outil (Hunt, 1996), et en transmission sociale (Holzhaidner, Hunt & Gray, 2010). Ces  
206 auteurs ont trouvé des indices de culture chez cette espèce en observant plusieurs  
207 membres utiliser des techniques de pliage/découpage de feuilles destinées à attraper  
208 des insectes sous l'écorce des arbres. Les auteurs ont découvert que la forme des outils  
209 variait avec les lieux où vivaient les oiseaux étudiés (répartis sur les îles de Grande Terre  
210 et de Maré). Ils ont notamment conclu que ces outils de formes différentes avaient une  
211 origine commune du fait de similarités dans la façon dont les corbeaux coupaient et  
212 pliaient une feuille. La grande variété de techniques et d'outils utilisés en des lieux si

213 rapprochés a conduit les auteurs à penser que les corbeaux ont développé leurs traits  
214 culturels sur la base de traits communs, qui auraient ensuite évolué selon des choix  
215 arbitraires et avec les contraintes du milieu de vie. En d'autres termes, les auteurs  
216 considèrent que les techniques des corbeaux ont évolué de façon cumulative.

217         Dans une étude plus récente, Mueller, O'Hara, Converse, Urbanek et Fagan (2013)  
218 se sont intéressés aux variations de routes migratoires chez la grue (*Grus americana*). La  
219 méthode de ces auteurs consiste à enregistrer la modification de leur itinéraire en  
220 fonction de la présence de congénères dans un groupe, afin de mieux rendre compte de  
221 l'influence des prédécesseurs sur la transformation d'un comportement. Pour cela, ils  
222 ont mesuré l'écart de la trajectoire moyenne des oiseaux par rapport à une ligne joignant  
223 leurs points de départ et d'arrivée, en s'en servant d'indice d'optimalité de la route  
224 empruntée (i.e. la route la plus proche de la ligne est la plus optimale ; celle la plus  
225 éloignée de la ligne est la moins optimale). Ils ont constaté qu'avec la présence de  
226 congénères plus âgés (et donc plus expérimentés), cette route devenait plus optimale.  
227 Cette étude a conduit les auteurs à formuler deux conclusions. Tout d'abord, la  
228 performance des jeunes oiseaux a pu être améliorée grâce à l'apprentissage social : en  
229 suivant l'exemple de démonstrateurs plus âgés, les grues ont adopté un comportement  
230 moins coûteux (i.e. en temps, en énergie) que si elles avaient dû le découvrir par elles-  
231 mêmes. Ce phénomène a concerné tous les jeunes membres du groupe, on peut donc le  
232 considérer comme un trait culturel. D'autre part, le fait qu'une jeune génération  
233 d'individus ait adopté une trajectoire plus efficace grâce aux informations transmises  
234 par leurs prédécesseurs peut être considéré comme une forme d'accumulation. Il semble  
235 donc que l'étude de Mueller et al. (2013) rende compte d'indices de culture cumulative  
236 chez certains oiseaux. On ne pourrait cependant l'affirmer avec certitude, puisque le

237 partage d'informations sociales dans cette étude aurait également pu se faire entre  
238 individus de même génération et dont certains auraient plus d'expérience. De plus, il est  
239 difficile de conclure à la présence d'un processus cumulatif uniquement grâce à l'étude  
240 de deux générations d'individus. Le *ratchet effect* émerge, sur le long terme, des  
241 interactions entre les membres d'un groupe sur plusieurs générations. En ce sens,  
242 l'étude de Mueller et al. (2013) nécessiterait d'être approfondie de façon longitudinale.

243 Une étude encore plus récente de Sasaki et Biro (2017), portant sur le  
244 comportement de migration chez le pigeon (*Columba livia*), rend mieux compte des  
245 indices de culture cumulative chez certains oiseaux. Ces auteurs ont utilisé le paradigme  
246 de transmission en chaîne afin d'étudier la modification progressive de l'itinéraire choisi  
247 par les pigeons à mesure de sa transmission sur plusieurs générations. Leur protocole  
248 consiste à simuler une microsociété où chaque génération est représentée par un couple  
249 de pigeons. Chaque couple est lâché soixante fois au point de départ, puis les  
250 expérimentateurs enregistrent l'itinéraire qu'ils empruntent. À la fin d'une génération, le  
251 pigeon le plus vieux est remplacé par un individu naïf qui sera lâché avec le second  
252 pigeon. Sasaki et Biro (2017) ont découvert qu'au fil du temps, chaque nouvel oiseau  
253 empruntait un itinéraire de plus en plus court entre les points de départ et d'arrivée,  
254 après avoir accompagné son prédécesseur. Pour les auteurs, cela signifie que les pigeons  
255 sont capables d'accumuler les informations acquises auprès d'un prédécesseur et de les  
256 transmettre au fil des générations, chacune étant ainsi généralement plus performante  
257 que les précédentes.

258 Enfin, certains auteurs ont étudié la question de l'évolution culturelle chez les  
259 mammifères non primates. Thornton et Malapert (2009) se sont par exemple intéressés  
260 au maintien de comportements arbitraires chez le suricate (*Suricata suricatta*) sous

261 l'effet d'une démonstration. Les auteurs ont entraîné certains membres du groupe à  
262 favoriser un terrain particulier pour récupérer une source de nourriture, puis ont  
263 observé le comportement des suricates naïfs dans leur choix de terrain. Ils ont constaté  
264 qu'après une période de latence où les membres non-entraînés du groupe ignoraient la  
265 zone du démonstrateur, ils s'orientaient peu à peu vers le même endroit que ce dernier,  
266 bien qu'une zone contenant la même nourriture était située à égale distance. Thornton  
267 et Malapert (2009) attribuent cela à un processus de rehaussement du lieu, accentué par  
268 l'âge du démonstrateur (les sujets naïfs se déplaceront plus vite vers la zone si le  
269 démonstrateur est plus vieux, quel que soit son rang dans le groupe). Ils remarquent  
270 cependant qu'au bout de quelques jours, les suricates finissent par se désintéresser de la  
271 zone de démonstration après avoir compris que la zone alternative est aussi profitable.  
272 Les auteurs en concluent qu'avec une espèce sociale testée en milieu naturel, il est  
273 possible d'observer l'émergence de traits culturels sur le court terme, mais qu'ils sont  
274 susceptibles de disparaître. En effet, en condition naturelle — où les stratégies  
275 alternatives sont plus nombreuses —, l'exploration individuelle peut pousser les  
276 individus à adopter de nouvelles stratégies. À l'inverse, la captivité, où la nourriture est  
277 présente à profusion et où l'espace physique est restreint, inclinerait davantage les  
278 individus à se conformer à un démonstrateur ou aux humains qui les encadrent  
279 (phénomène d'enculturation) plutôt qu'à chercher par eux-mêmes de nouveaux  
280 comportements.

281 Les études présentées jusqu'à présent rendent compte à la fois de traces de  
282 culture et d'évolution culturelle — parfois cumulative — chez certaines espèces  
283 d'insectes, de poissons, d'oiseaux et de mammifères non primates. Nous avons  
284 également présenté la méthode de transmission en chaîne, un paradigme expérimental

285 très utilisé pour l'étude de l'évolution culturelle. Nous allons à présent explorer les  
286 études menées chez une population différente : les primates non-humains. Ce sont des  
287 individus phylogénétiquement proches de l'espèce humaine, qui offre donc la possibilité  
288 de mieux comprendre l'origine des comportements qui nous distinguent (inné *versus*  
289 acquis). Les travaux que nous allons aborder permettent également de rendre compte  
290 de certains des mécanismes sociocognitifs qui sous-tendent l'évolution culturelle.

### 291 **3. Indices de culture et d'évolution culturelle chez les primates non-humains**

292 On peut observer des traces de culture chez plusieurs groupes de primates. Le partage  
293 de comportements et d'artefacts au sein de ces groupes est un indice conséquent de la  
294 présence de traits culturels, qui révèle que ces espèces sont capables d'acquérir de  
295 transmettre des comportements pouvant se maintenir au sein du groupe sur plusieurs  
296 générations. L'usage et la manufacture d'outils sont les comportements les plus étudiés  
297 car ils fournissent un indice de mesure des aptitudes cognitives chez le primate  
298 (Matsuzawa, 2008) telles que l'intelligence, la flexibilité mentale et la communication.  
299 Nous commencerons par évoquer les exemples de traits culturels chez les primates cités  
300 dans la littérature (en particulier le chimpanzé et le babouin), avant de nous intéresser  
301 aux facteurs cognitifs qui joueraient un rôle dans leur mise en place et leur évolution.

302 Boesch et Boesch (1990) ont étudié la manufacture et l'usage d'outils chez des  
303 chimpanzés (*Pan troglodytes*) vivant en milieu naturel (parcs africains de Mahale, de  
304 Gombe et de Tai). Bien qu'ayant observé certaines similarités entre les groupes (e.g.  
305 usage du bâton pour récupérer des fourmis sous terre), les auteurs ont noté des  
306 différences de pratiques entre les groupes de chimpanzés (e.g. les singes de Tai utilisent  
307 et fabriquent une plus grande variété d'outils que leurs congénères de Gombe et  
308 Mahale). Les auteurs notent que ces variations ne sont pas toujours dues à des choix

309 arbitraires et peuvent être influencées par les pressions environnementales (e.g.  
310 difficulté d'accès à une fourmilière). Les mêmes observations sont rapportées par Humle  
311 et Matsuzawa (2002) chez les chimpanzés de Bossou (Nouvelle-Guinée). Les auteurs ont  
312 noté en effet que la forme et l'usage des outils de chasse que partagent les membres d'un  
313 groupe varient selon les proies concernées. Ainsi, avec des fourmis se déplaçant à l'air  
314 libre, le groupe de chimpanzés utilisait en général de petits outils (branche de moins de  
315 50cm) pour les attraper et les guider directement à la bouche. Quand elles étaient  
316 cachées sous terre, les chimpanzés utilisaient une technique d'insertion avec un plus  
317 grand bâton, destiné à sonder les ouvertures de la fourmilière. Les auteurs ont  
318 également identifié un lien entre l'agressivité des fourmis et la technique employée par  
319 les chimpanzés : dans le cas où les fourmis attaquent leurs agresseurs, les chimpanzés  
320 avaient tendance à utiliser des outils plus grands avec la méthode d'insertion. Ces  
321 observations attestent de la capacité des chimpanzés à partager des comportements et  
322 des artefacts avec leur groupe. Ici, la raison de leur usage est guidée par des pressions  
323 environnementales. Afin d'identifier les facteurs cognitifs impliqués dans le choix et la  
324 transmission de traits culturel chez cette espèce — et chez d'autres primates — certains  
325 auteurs se sont intéressés aux modes de communication et de transmission sociale entre  
326 les membres d'un groupe. L'étude de ces traits permet d'une part de comprendre  
327 l'émergence et la transmission de traits non physiques entre individus, et sert d'autre  
328 part à comprendre leurs effets sur la transmission et la transformation d'autres traits  
329 culturels.

330 Pour commencer, Whiten, Horner et De Waal (2005) se sont employés à étudier  
331 le phénomène de conformisme chez les chimpanzés. On nomme biais de conformisme la  
332 tendance à adopter une stratégie répandue dans le groupe, malgré la capacité à pouvoir

333 utiliser d'autres stratégies. Dans leur étude, deux groupes de chimpanzés apprenaient à  
334 récupérer une récompense avec une technique différente et non naturelle — pousser un  
335 verrou *versus* soulever un verrou (paradigme de double action ; Heyes, Jaldow &  
336 Dawson, 1994). Quand la majorité des membres de chaque groupe avait acquis la  
337 technique d'ouverture (sur les 32 chimpanzés, deux n'y sont pas parvenus), les auteurs  
338 présentaient la technique opposée à certains membres des deux groupes, en tâchant de  
339 vérifier s'ils persistaient dans l'usage de l'ancienne technique ou adoptaient la nouvelle  
340 stratégie. Ils ont découvert que les chimpanzés persistaient à utiliser la première  
341 technique apprise plutôt que d'adopter la seconde, même quand celle-ci était plus  
342 efficace. Autrement dit, les chimpanzés étaient bien capables de reproduire fidèlement  
343 un comportement observé chez un pair, mais cela pouvait les freiner dans l'acquisition  
344 d'une nouvelle stratégie.

345         Horner, Whiten, Flynn et De Waal (2006) ont utilisé la méthode de chaîne de  
346 diffusion pour évaluer l'aptitude des chimpanzés à transmettre fidèlement une  
347 technique à d'autres individus et la comparer à celles d'enfants humains. En employant  
348 le paradigme de double-action, les auteurs ont formé certains démonstrateurs à ouvrir  
349 une boîte contenant une récompense avec une méthode spécifique (soulever *versus*  
350 glisser la porte). Ils ont ensuite observé le comportement des nouveaux participants  
351 après qu'ils aient vu faire le démonstrateur. Les résultats ont révélé que les chimpanzés  
352 avaient tendance à reproduire la méthode employée par le démonstrateur du début de  
353 chaîne jusqu'au dernier sujet, ce qui, selon les auteurs, attesterait de leur capacité à  
354 maintenir une tradition arbitraire au fil des générations. Le même phénomène a été  
355 observé chez les groupes d'enfants humains. Cette étude fait suite à celle de Whiten,  
356 Horner et De Wall (2005) qui rend compte de la capacité des chimpanzés à transmettre

357 fidèlement une information sociale. Le fait que les chimpanzés (et, parallèlement,  
358 plusieurs autres primates; Thornton & Clutton-Brock, 2011) soient capables de  
359 développer des traits culturels ouvre aux chercheurs une autre piste d'étude : celle de la  
360 culture cumulative. Si, comme il l'a pu être évoqué dans les paragraphes précédents,  
361 d'autres animaux sont capables de partager fidèlement des artefacts et des  
362 comportements au sein d'un groupe sur plusieurs générations, cela sous-entend la  
363 possibilité pour eux de développer une culture cumulative. La question est de pouvoir  
364 utiliser un protocole propice à vérifier cette hypothèse, puisque les expérimentations et  
365 les études de terrain présentées jusqu'ici subissent une certaine controverse. En effet,  
366 certaines études citées dans l'axe 2 ne se basent que sur la transmission de  
367 comportements entre deux individus seulement (Mueller et al., 2013; Sasaki & Biro,  
368 2017), tandis que d'autres ne font appel qu'à l'observation de terrain, où les auteurs  
369 n'exercent aucun contrôle sur leur population (Boesch & Boesch, 1990; Humle &  
370 Matsuzawa, 2002).

371 Une étude de Marshall-Pescini et Whiten (2008) semble réfuter la possibilité de  
372 culture cumulative chez le chimpanzé. Les auteurs ont utilisé le paradigme de double-  
373 action avec un fruit artificiel pour observer la transmission d'un comportement  
374 arbitraire destiné à récupérer une récompense. Le fruit artificiel contenait du miel et  
375 pouvait s'ouvrir de deux façons différentes (insérer un bâton *versus* soulever la porte).  
376 Après avoir exploré le dispositif, chaque chimpanzé a assisté pendant plusieurs jours à  
377 la démonstration de la technique d'insertion (moins efficace). Après s'être assuré que les  
378 chimpanzés avaient bien acquis cette technique, les auteurs leur ont donné accès à la  
379 démonstration de la technique d'ouverture (qui permet de récupérer davantage de  
380 miel). Marshall-Pescini et Whiten ont constaté que, en dépit de leur capacité à acquérir

381 un nouveau comportement par observation d'une démonstration, les chimpanzés ne  
382 sont pas parvenus à le remplacer par un comportement plus efficace : à la fin de  
383 l'expérimentation, tous ont favorisé la technique d'insertion à celle d'ouverture. Leur  
384 aptitude à transmettre fidèlement une information semble avoir un effet pervers : ils  
385 sont bien capables d'apprendre un nouveau comportement, mais semblent réticents à le  
386 modifier — ce que les auteurs qualifient de tendance au conservatisme.

387       Davis, Vale, Schapiro, Lambeth et Whiten (2016) ont également investigué  
388 l'évolution culturelle chez le chimpanzé avec le paradigme du fruit artificiel. Les auteurs  
389 ont divisé leurs participants en trois groupes :

- 390       - *Deux Techniques* : les participants sont entraînés à ouvrir la boîte avec une  
391       technique peu efficace (i.e. qui permet d'atteindre l'objectif de façon  
392       laborieuse), puis ils observent une démonstration de la technique efficace.
- 393       - *Une Technique* : les participants sont uniquement entraînés à ouvrir la boîte  
394       avec la technique inefficace.
- 395       - *Naïf* : les participants n'ont reçu aucun entraînement.

396       L'objectif des auteurs est de vérifier quel comportement sera davantage employé  
397 par les chimpanzés à la fin de l'expérimentation, ainsi que de déterminer si ce choix est  
398 guidé par l'exploration individuelle ou par l'apprentissage social. Ils ont constaté que les  
399 membres du groupe *Une Technique* utilisaient généralement la technique inefficace à  
400 laquelle ils étaient formés et ne découvraient pas la seconde technique, plus efficace.  
401 Parmi les sujets naïfs, deux seulement ont découvert la technique efficace. Les sujets du  
402 groupe *Deux Techniques* ont adopté la technique efficace significativement plus  
403 fréquemment que chez les autres groupes. Les expérimentateurs ont également souhaité  
404 vérifier la capacité des chimpanzés à s'inspirer d'un comportement acquis pour un

405 produire un nouveau plus efficace, l'une des aptitudes estimées nécessaires à  
406 l'émergence de l'évolution culturelle cumulative. Ils ont découvert que les sujets du  
407 groupe *Deux Techniques* parvenaient à combiner les informations issues de leurs  
408 connaissances personnelles (maîtrise de la technique efficace) et de l'exploration pour  
409 produire une technique nouvelle et encore plus efficace que celles qu'ils connaissaient.  
410 Leurs résultats vont à l'encontre de ceux de Marshall-Pescini et Whiten (2008),  
411 néanmoins leur étude montre que la tendance des chimpanzés au conservatisme dépend  
412 du contexte : quand les résultats d'une ancienne technique ne sont plus assez  
413 bénéfiques, ils sont capables de combiner des comportements acquis à des moments  
414 différents pour développer une nouvelle technique. D'après les auteurs, cela constitue  
415 une aptitude nécessaire à la mise en place de la culture cumulative.

416       Enfin, Claidière, Smith, Kirby et Fagot (2014) se sont intéressés à la question de  
417 l'évolution culturelle chez le babouin (*Papio papio*). En entraînant plusieurs individus à  
418 utiliser un dispositif tactile (i.e. toucher quatre cibles rouges parmi douze distracteurs  
419 sur un écran), les auteurs ont souhaité reproduire le paradigme de transmission en  
420 chaîne en manipulant le trait transmis entre les générations. Dans la condition  
421 expérimentale, chaque pattern de cibles touchées par un individu était transmis à un  
422 autre individu, qui devait à son tour reproduire ce pattern le plus fidèlement possible.  
423 Dans la condition contrôle, chaque pattern de cible était généré aléatoirement. Le but  
424 des auteurs était, d'une part, de mesurer la progression des performances des sujets au  
425 fil du temps (i.e. la proportion de patterns correctement reproduits à chaque  
426 génération). D'autre part, ils ont cherché à vérifier si, à la fin de l'expérimentation, les  
427 réponses des sujets convergeaient vers des patterns spécifiques. Claidière et ses  
428 collaborateurs ont tiré trois grandes observations de leur expérimentation. Tout

429 d'abord, les performances des individus augmentaient au fil des générations. Les auteurs  
430 ont également constaté que certains patterns étaient plus fréquents à la fin qu'au début  
431 de l'expérimentation (cibles organisées en forme de carré, de ligne, de 'S', de 'L' ou de  
432 'T'). C'est justement l'émergence systématique de ces patterns (que les auteurs  
433 nomment des tétraminos) qui aurait conduit au processus évolutif observé dans l'étude.  
434 Enfin, le nombre de tétraminos produit dans la condition expérimentale était  
435 significativement supérieur à celui de la condition contrôle, ce qui tend à indiquer que la  
436 transmission sociale est la clé de l'émergence d'une structure systématique propice à  
437 l'évolution culture cumulative.

438 Les études abordées dans cet axe montrent que les chimpanzés développent des  
439 traits culturels (Boesch & Boesch, 1990 ; Humle & Matsuzawa, 2002), qu'ils sont  
440 capables de transmettre avec un grande fidélité (Whiten, Horner & De Waal, 2005).  
441 Malgré une tendance au conservatisme, dans certaines conditions, les chimpanzés  
442 peuvent combiner plusieurs traits pour en créer de nouveaux, plus efficaces (Davis et al.,  
443 2016). Ceci constitue un indice de capacités cognitives nécessaires à la mise en place  
444 d'une culture cumulative. Claidière et al. (2014) ont également identifié la capacité à  
445 développer un trait culturel autour d'une structure systématique chez le babouin. Ces  
446 données indiquent que d'autres primates non humains disposent des capacités  
447 nécessaires à l'émergence du *ratchet effect*. Elles questionnent également l'idée que  
448 l'aptitude à transmettre fidèlement des informations joue un rôle fondamental dans la  
449 culture cumulative chez l'espèce humaine, puisque d'autres primates en seraient  
450 capables.

#### 451 **4. Culture et évolution culturelle chez l'être humain**

452 Tomasello et ses collaborateurs (Tomasello, 2009 ; Tomasello, Kruger et Ratner, 1993)  
453 ont attribué l'émergence de la culture cumulative à la capacité des humains à  
454 transmettre fidèlement des informations avec les membres du groupe — grâce à  
455 l'attention conjointe, à la cognition sociale (Carpenter, Nagell & Tomasello, 1998 ;  
456 Tomasello, 1995), à l'apprentissage social (Dean, Vale, Laland, Flynn & Kendal, 2014).  
457 Ces processus favoriseraient une transmission fidèle des traits culturels au fil des  
458 générations, d'où l'émergence d'une culture cumulative : à partir des anciens traits, les  
459 individus peuvent les modifier ou les combiner pour en créer de nouveaux. Les facteurs  
460 orientés vers la transmission sociale joueraient donc un rôle critique dans le *ratchet*  
461 *effect*. Les paragraphes précédents ont passé en revue des exemples de culture et  
462 d'évolution culturelle, parfois cumulative, chez des espèces non-humaines. Nous allons à  
463 présent aborder les travaux menés chez l'humain, testant à la fois le rôle d'une  
464 transmission sociale fidèle entre les individus et explorant d'autres facteurs cognitifs. Il  
465 semble aujourd'hui que les capacités sociocognitives ne soient pas nécessairement le  
466 facteur expliquant totalement l'émergence du *ratchet effect* dans un groupe. Caldwell et  
467 Millen (2009) ont grandement contribué à défendre ce point de vue, grâce au paradigme  
468 de transmission en chaîne qu'elles ont repris avec plusieurs variantes. La majorité des  
469 études qui seront abordées se basent sur le paradigme de transmission en chaîne, qui  
470 fait l'objet depuis quelques années d'un certain engouement au sein de la recherche sur  
471 la culture cumulative en laboratoire.

472         Caldwell et Millen (2009) ont montré que le paradigme de transmission en chaîne  
473 pouvait être utilisé afin de simuler un *ratchet effect* en conditions de laboratoire.  
474 Autrement dit, le phénomène de culture cumulative, qui émerge normalement de  
475 l'activité de populations entières sur de longues périodes de temps, peut également

476 apparaître dans certaines conditions à petite échelle (i.e. chez de petits groupes  
477 d'individus et dans un court intervalle de temps). La méthode de transmission en chaîne  
478 de Caldwell et Millen (2009) diffère de celle de Bartlett (1932) sur trois points. Tout  
479 d'abord, alors que Bartlett demande à ses sujets de répéter une information, Caldwell et  
480 Millen (2009) demandent aux leurs de reproduire un artefact (un avion en papier) en  
481 s'inspirant de leurs prédécesseurs. De plus, ils ne doivent pas se contenter d'imiter les  
482 premiers participants : leur tâche est de fabriquer un avion qui plane le plus loin  
483 possible. Autrement dit, la modification du trait culturel est intentionnelle puisque les  
484 sujets doivent tenter de faire mieux que leurs prédécesseurs. Enfin, la transmission  
485 entre participants ne se limite pas à des dyades : il peut y avoir jusqu'à deux enseignants  
486 et deux élèves en même temps au milieu de l'expérimentation. Cela rend la tâche plus  
487 écologique, en simulant une situation où chaque élève peut apprendre non pas d'un seul  
488 individu, mais d'un groupe d'individus.

489 L'avantage de cette méthode est de tester les variables qui conduisent à  
490 l'émergence de ce phénomène sans dépendre de modèle théoriques (Boyd &  
491 Richerson, 1995 ; Enquist & Ghirlanda, 2007 ; Gabora, 2008). Comme évoqué plus haut,  
492 une approche dominante consiste à penser que ce sont les capacités sociocognitives qui  
493 auraient un impact déterminant sur la fidélité de la transmission sociale. Ces capacités  
494 sociocognitives sont par exemple la capacité à comprendre les intentions d'autrui, qui se  
495 développe dès la première année chez l'Homme (Carpenter, Nagell et Tomasello, 1998 ;  
496 Tomasello, 1995). Carpenter, Akhtar et Tomasello (1998) ont testé la capacité d'enfants  
497 humains de 14-18 mois à reproduire l'action d'un démonstrateur tout en comprenant  
498 ses intentions. Ils ont réuni trois groupes, chacun ayant accès à deux démonstrations  
499 différentes sur un jouet inconnu :

- 500 - Démonstration intentionnelle puis accidentelle : le démonstrateur utilise  
501 correctement le jouet et donne un signal verbal montrant qu'il a atteint son  
502 but (« There ! ») ; lors du deuxième essai, il se trompe délibérément et  
503 prononce un « Whoops ! » devant l'enfant.
- 504 - Démonstration accidentelle puis intentionnelle : le démonstrateur enchaîne  
505 les deux essais cités précédemment dans l'ordre inverse.
- 506 - Deux démonstrations intentionnelles : le démonstrateur accomplit deux  
507 actions avec succès, chaque fois en prononçant le signal « There ! ».

508 Les auteurs enregistrent la première action exécutée par les enfants testés, afin  
509 de vérifier leur capacité à comprendre l'intention du démonstrateur. Dans les deux  
510 premières conditions, ils reproduisaient significativement plus souvent l'action  
511 intentionnelle, ce qui révèle leur capacité à distinguer les intentions d'autrui et à  
512 reproduire celles visées par leur démonstrateur. Les auteurs ont noté qu'après plusieurs  
513 essais, les enfants avaient tendance à explorer le jouet en utilisant plus souvent l'action  
514 accidentelle. Les auteurs attribuent cela au fait qu'après avoir vu le démonstrateur se  
515 tromper plusieurs fois, cela a éveillé leur curiosité et les a incités à tester une action.  
516 Pour Carpenter, Akhtar et Tomasello (1998), cette étude confirme la capacité des  
517 humains à comprendre les intentions d'autrui à partir d'un jeune âge.

518 Dean, Kendal, Schapiro, Thierry et Laland (2012) se sont intéressés au rôle  
519 d'autres phénomènes sociaux sur la mise en place d'une culture cumulative. Les auteurs  
520 ont comparé les performances d'enfants humains à celles de chimpanzés et de capucins  
521 (*Cebus apella*) dans une tâche de fruit artificiel. Un fruit artificiel est une boîte contenant  
522 une récompense que l'on peut ouvrir avec des techniques différentes, certaines étant  
523 généralement plus transparentes que d'autres. On dit d'une tâche qu'elle est

524 transparente lorsque les mécanismes qui conduisent au résultat final sont faciles à  
525 comprendre ou à deviner. Dans la situation inverse, on dit de la tâche qu'elle est opaque.  
526 Le but des auteurs était d'identifier les mécanismes cognitifs distinguant les êtres  
527 humains d'autres primates, et donc susceptibles d'intervenir dans la culture cumulative.  
528 L'intérêt de tester des enfants est qu'ils n'ont pas encore maîtrisé les traits culturels  
529 propres à leur groupe d'appartenance, et donc que leur comportement a davantage de  
530 chance d'être guidé par un apprentissage individuel que social. Les auteurs ont choisi de  
531 comparer les performances des enfants et de chimpanzés à celles de capucins, afin de  
532 pouvoir expliquer les comportements des chimpanzés qui se distinguent de ceux des  
533 humains et ceux qui s'en rapprochent. Le fruit artificiel de Dean et ses collaborateurs  
534 pouvait s'ouvrir de trois façons différentes, avec un niveau de difficulté croissant.  
535 Chaque individu parvenant à ouvrir la boîte à un stade donné avait accès à une  
536 démonstration du stade suivant. Les auteurs ont considéré que la capacité à accéder  
537 successivement aux trois stades d'ouverture de la boîte était un signe de culture  
538 cumulative. Les résultats révèlent que les enfants parvenaient généralement plus  
539 souvent jusqu'au stade 3, tandis que les chimpanzés et les capucins bloquaient  
540 généralement au stade 2. Les auteurs ont identifié trois facteurs cognitifs présents chez  
541 les enfants et susceptibles d'avoir contribué à leur performance :

542 - *Enseignement et communication* : les auteurs ont trouvé une corrélation  
543 positive entre le nombre d'instructions données aux enfants et la progression  
544 de leurs performances. Chez les chimpanzés et les capucins, les auteurs se  
545 sont basés sur l'échange d'appels destinés à prévenir de la présence de  
546 nourriture, mais n'ont trouvé aucun lien significatif avec leurs performances.

547 - *Apprentissage par observation* : les enfants reproduisent davantage d'actions  
548 similaires à celles du démonstrateur que ne le font les chimpanzés et les  
549 capucins.

550 - *Pro-socialité* : les comportements altruistes (e.g. échanger la récompense avec  
551 un autre participant) étaient plus nombreux chez les enfants et pratiquement  
552 absents chez les autres espèces.

553 L'étude de Dean, Kendal, Schapiro, Thierry et Laland (2012) montre que les  
554 enfants sont plus sociaux que les chimpanzés et les capucins testés. Autrement dit, les  
555 humains développent tôt des aptitudes liées à la compréhension des intentions d'autrui,  
556 qui semblent absentes chez les primates non humains. Cette information défend  
557 l'hypothèse de Tomasello (1995) : si le *ratchet effect* dépend de capacités cognitives  
558 particuliers absents chez les autres espèces, il s'agirait ici de ceux favorisant la fidélité de  
559 la transmission sociale.

560 Cette hypothèse a récemment été remise en cause avec l'étude de Caldwell et  
561 Millen (2009), qui ont repris le paradigme de transmission en chaîne en manipulant le  
562 mode de transmission entre participants. Elles ont créé trois conditions combinables  
563 entre elles, en contrôlant les informations échangées au fil des générations de sujets :

564 - *Enseignement (E, dix générations)* : les participants peuvent échanger des  
565 informations verbales avec leurs prédécesseurs.

566 - *Observation (O, dix générations)* : les participants peuvent observer leurs  
567 prédécesseurs en train de fabriquer un avion (ils ne peuvent pas  
568 communiquer, à moins que cette condition soit combinée à *Enseignement*).

569 - *Résultat (R, dix générations) : les participants peuvent observer les avions*  
570 *fabriqués par leurs prédécesseurs (ils ne voient pas leurs prédécesseurs, sauf*  
571 *si cette condition est combinée à Enseignement ou Observation).*

572 Les résultats (**Tableau 1**) ont montré des indices de culture cumulative (i.e., une  
573 progression constante des performances au fil des générations) dans toutes les  
574 combinaisons de conditions : les auteures ont observé un *ratchet effect* en conditions *E*,  
575 en *O* et en *R*, avec un score de progression plus significatif ( $p < .001$ ) dans les conditions  
576 *ORE* et *RE*. En manipulant le mode de communication entre les participants dans chaque  
577 chaîne, Caldwell et Millen (2009) ont découvert que la transmission directe (i.e. les  
578 participants peuvent échanger des informations en présentiel) n'est pas une condition  
579 nécessaire à la mise en place d'une culture cumulative. Contre toute attente, le *ratchet*  
580 *effect* peut apparaître même par transmission indirecte, où chaque participant a accès au  
581 résultat final laissé par ses prédécesseurs, sans communiquer avec eux. Les facteurs  
582 cognitifs cités plus haut avec les études de Carpenter, Akhtar et Tomasello (1998) et de  
583 Dean, Kendal, Schapiro, Thierry et Laland (2012) ne semblent pas nécessaires à  
584 l'émergence du *ratchet effect*.

585 < Insérer Tableau 1 par ici >

586 Des travaux plus récents de Osiurak et al. (2016) ont examiné cette question en  
587 reprenant le protocole de Caldwell et Millen (2009). Les auteurs se sont intéressés à  
588 deux facteurs cognitifs, l'intelligence physique et l'intelligence sociale, dans un  
589 paradigme de transmission en chaîne basé sur la tâche de construction d'avion en  
590 papier. Osiurak et al. (2016) sont partis de l'hypothèse selon laquelle l'intelligence  
591 physique aurait un impact tout aussi important que l'intelligence sociale sur la culture  
592 cumulative technologique — l'accumulation de techniques et d'outils de plus en plus

593 efficaces et complexes. Les auteurs ont utilisé des tests psychotechniques pour mesurer  
594 les performances des participants en intelligence physique (tests tirés du NV7, voir  
595 Bernaud, Priou & Simonnet, 1994) et en intelligence sociale (*Read the Mind in the Eye*  
596 *test*, voir Prevost et al., 2014 ; *Comic Strip test*, voir Sarfati, Hardy-Baylé, Besche &  
597 Widlöcher, 1997). Leur objectif était de tester plusieurs modèles prédisant l'émergence  
598 d'un *ratchet effect* en se basant les scores d'intelligence physique et sociale de chaque  
599 élève et de chaque modèle. Comme pour l'étude de Caldwell et Millen (2009), chaque  
600 participant s'inspire d'un "prédécesseur" — qui a construit un avion avant lui — puis  
601 fabrique son propre avion. Il sert également de source d'inspiration pour les  
602 participants suivants. Les auteurs ont également fait varier les conditions de  
603 transmission entre participants :

604 - *Observation* (dix générations) : chaque nouveau participant (élève) pouvait  
605 regarder ses prédécesseurs (démonstrateurs) en train de fabriquer un avion.  
606 Les participants étaient défendus d'interagir de quelque manière que ce soit  
607 — par mots ou par gestes.

608 - *Communication* (dix générations) : les démonstrateurs pouvaient  
609 communiquer avec les élèves pour les aider à fabriquer le meilleur avion  
610 possible. Il leur était défendu de toucher l'avion d'un élève, mais ils étaient  
611 libres de parler et de communiquer par gestes pour indiquer quelles parties  
612 de l'avion étaient à modifier et de quelle manière.

613 Les auteurs ont observé un *ratchet effect* dans les conditions *Communication* et  
614 *Observation* (voir **Figure 1**). Autrement dit, dans le cadre de ce paradigme, la culture  
615 cumulative peut émerger même en l'absence de communication. Ces résultats rejoignent  
616 ceux de Caldwell et Millen (2009). De plus, les modèles d'Osiurak et al. (2016) ont révélé  
617 que les scores des participants en intelligence physique prédisaient mieux

618 l'augmentation des performances dans la tâche de construction d'avion (voir **Tableau**  
619 **2**), ce qui remet en question le rôle prépondérant de l'intelligence sociale dans  
620 l'émergence du *ratchet effect*.

621 < Insérer Figure 1 et Tableau 2 par ici >

622 En utilisant divers tests psychotechniques mesurant l'intelligence physique et  
623 l'intelligence sociale de chaque participant, Osiurak et al. (2016) ont montré que  
624 l'intelligence physique des élèves est le meilleur prédicteur, tandis que l'impact de  
625 l'intelligence sociale est moins élevé que prévu (et compte davantage pour les  
626 démonstrateurs que les élèves). Ces données défendent l'idée que pour qu'une culture  
627 soit cumulative (avec des traits technologiques), l'aptitude à raisonner sur les propriétés  
628 physiques et mécaniques compte davantage que celle de comprendre les intentions et  
629 les croyances d'autrui et contribuerait au processus de transmission sociale quand les  
630 individus n'ont pas la possibilité d'échanger des informations verbales.

631 Les informations sociales revêtent néanmoins une certaine importance dans des  
632 conditions spécifiques, en particulier pour la résolution d'une tâche inhabituelle et/ou  
633 opaque. La tâche des avions en papier est un exemple de situation transparente, puisque  
634 la majorité des participants est susceptible de posséder une certaine expérience dans  
635 cette tâche et donc de comprendre les étapes qui mènent au résultat final. Certains  
636 auteurs ont donc mis en place des paradigmes basés sur le partage d'informations  
637 (souvent grâce à la méthode de transmission en chaîne) et où la tâche proposée aux  
638 participants est opaque. Dans le cas d'une tâche nouvelle et opaque, Derex, Godelle et  
639 Raymond (2013) ont mis en place une tâche dont l'objectif est de concevoir un filet  
640 permettant d'attraper le plus de poissons possible. Cette tâche se déroulait sur  
641 ordinateur, chaque participant avait droit à quinze essais pour fabriquer son filet dont il

642 manipulait la taille, le nombre de nœuds et le type de cordes et de nœuds utilisables. Les  
643 auteurs ont évalué la progression des performances des participants en se servant du  
644 poids moyen de la pêche au fil des essais. Derex, Godelle et Raymond (2013) ont  
645 comparé trois conditions :

- 646 - *Apprentissage individuel* : les participants ont accès au dernier essai de tous  
647 les autres sujets.
- 648 - *Copie de résultat* : les participants ont accès aux scores des autres sujets et à la  
649 forme de leur filet.
- 650 - *Copie de processus* : les participants ont accès aux scores des autres sujets et  
651 aux étapes qu'ils ont suivi pour fabriquer leur filet.

652 Derex, Godelle et Raymond ont découvert que les performances des participants  
653 augmentaient progressivement dans toutes les conditions, mais que les scores du  
654 groupe *Copie de processus* augmentaient plus fortement que dans les autres groupes. Ils  
655 ont également noté une convergence des formes de filet entre les groupes *Copie de*  
656 *processus* et *Copie de résultat*. En d'autres termes, l'accès à des informations plus  
657 nombreuses et complètes sur l'exécution d'une tâche inconnue a non seulement facilité  
658 la progression des performances des sujets, mais a également conduit à une progression  
659 de similarité entre les filets des membres d'un même groupe. Il se peut donc que, dans  
660 une tâche opaque, la fidélité de la transmission sociale revête plus d'importance que  
661 dans les études citées plus haut.

662 Wasielewski (2014) a également exploré les conditions favorisant l'émergence  
663 d'un *ratchet effect* dans une situation inconnue et dont les mécanismes étaient difficiles  
664 à comprendre. Elle a proposé à plusieurs groupes de participants de fabriquer un  
665 dispositif à partir de ficelle et d'argile, destiné à supporter un poids posé dessus. Chaque

666 groupe était constitué d'une chaîne de transmission (dix générations) dans laquelle les  
667 participants s'échangeaient des informations de manière différente :

668 - *Résultat* (dix générations) : chaque nouveau sujet avait accès au produit de  
669 ses prédécesseurs.

670 - *Action* (dix générations) : chaque nouveau sujet pouvait voir la technique  
671 utilisée par son prédécesseur.

672 - *Résultat/Action* (dix générations) : chaque nouveau sujet avait accès à la fois  
673 à la technique du prédécesseur et à son produit final.

674 Wasielewski a également utilisé un groupe contrôle où chaque chaîne était  
675 constituée par un seul participant effectuant dix fois la même tâche. Ses résultats ont  
676 montré l'apparition d'un *ratchet effect* dans les condition Action et Résultat/Action  
677 uniquement. Là encore, il semble ainsi que pour une tâche mécanique opaque,  
678 l'émergence du *ratchet effect* dépend de la capacité à pouvoir extraire le maximum  
679 d'informations des générations précédentes. D'après l'auteure, une transmission sociale  
680 directe (e.g. par imitation) faciliterait mieux l'apprentissage des individus naïfs, car il  
681 offre l'opportunité de reproduire les méthodes employées par autrui. Le même  
682 processus semble difficile à reproduire quand seul le résultat final est accessible,  
683 obligeant le participant à inférer les étapes de construction qui y ont conduit.

684 Toujours avec le paradigme de transmission en chaîne, Zwirner et Thornton  
685 (2015) se sont intéressés au rôle de divers modes d'apprentissage social dans la mise en  
686 place d'une culture cumulative, à l'image de Caldwell et Millen (2009). Là encore, il s'agit  
687 d'une étude basée sur une tâche inhabituelle et opaque. Celle-ci consistait pour les  
688 participants à construire un panier à partir d'objets de la vie quotidienne, afin de

689 transporter la plus grande quantité de riz possible. Les auteurs ont utilisé trois  
690 conditions expérimentales :

691 - *Imitation* (six générations) : les participants peuvent s'inspirer de la méthode  
692 de leurs prédécesseurs, ils ne peuvent pas communiquer entre eux.

693 - *Emulation* (six générations) : les participants peuvent s'inspirer du panier de  
694 leurs prédécesseurs, ils ne peuvent pas communiquer entre eux.

695 - *Enseignement* (six générations) : les participants reçoivent des conseils de  
696 leurs prédécesseurs et sont libres de les appliquer lors de la tâche de  
697 fabrication.

698 À l'image des résultats de Caldwell et Millen (2009), ceux des auteurs ont révélé  
699 que dans chaque condition, les groupes de participants étaient capables d'accumuler les  
700 performances au fil des générations — i.e. la masse de riz transportable dans chaque  
701 panier augmentait constamment au fil des générations. Ceux du groupe *Enseignement*  
702 semblaient plus performants que ceux des autres groupes, toutefois cette condition ne  
703 s'est pas révélée nécessaire à l'apparition d'un *ratchet effect*. Nous avons donc un  
704 exemple de tâche opaque dans laquelle le mode de transmission sociale semble affecter  
705 le *ratchet effect*, sans impact critique cependant. L'enseignement semble faciliter son  
706 émergence, mais les auteurs considèrent qu'il ne suffit pas à expliquer l'apparition de ce  
707 phénomène.

## 708 **5. Conclusion**

709 Nous avons présenté dans cette revue plusieurs exemples d'études portant sur la mise  
710 en place et la transmission de traits culturels, ainsi que sur l'évolution culturelle  
711 cumulative chez l'humain et chez diverses espèces non humaines. Notre objectif était

712 d'explorer les mécanismes sociocognitifs susceptibles d'expliquer ces phénomènes et de  
713 passer en revue les diverses méthodes actuellement disponibles pour tester nos  
714 hypothèses. Nous avons discuté du rôle fondamental de la fidélité de la transmission  
715 sociale sur l'émergence du *ratchet effect*, une hypothèse avancée par Tomasello  
716 (Tomasello, 1995 ; Tennie, Call & Tomasello, 2009 ; Tomasello, Kruger & Ratner, 1993)  
717 et défendue par plusieurs études menées chez l'être humain et d'autres espèces  
718 (Carpenter, Akhtar & Tomasello, 1998 ; Carpenter, Nagell, & Tomasello, 1998 ; Dean,  
719 Kendal, Schapiro, Thierry & Laland, 2012). Une transmission sociale fidèle dépend de la  
720 capacité des individus à transmettre et acquérir un maximum d'informations  
721 pertinentes sur l'exécution d'une tâche, en passant par des mécanismes cognitifs  
722 (attention jointe, compréhension d'intentions), sociaux (pro-socialité) et des modes  
723 d'apprentissage social particuliers (apprentissage par observation, enseignement).  
724 Plusieurs études ont cependant remis en question l'hypothèse du rôle prépondérant des  
725 capacités sociocognitives telle que la compréhension des intentions d'autrui sur le  
726 *ratchet effect* (Caldwell & Millen, 2009 ; Osiurak et al., 2016), puisque ce phénomène  
727 semble émerger même en l'absence de transmission directe entre individus. Les travaux  
728 de Osiurak et al. (2016) ont par ailleurs montré que l'intelligence physique (i.e.,  
729 l'aptitude à comprendre et exploiter les propriétés physiques et mécaniques d'un objet)  
730 prédisait mieux l'émergence du *ratchet effect* dans une tâche mécanique que la capacité  
731 à interpréter les croyances et les intentions d'autrui. Elle faciliterait notamment  
732 l'émergence de la culture cumulative quand les membres d'un groupe n'ont pas la  
733 possibilité de communiquer directement. Si la transmission sociale joue un rôle dans  
734 l'émergence de la culture cumulative, il consisterait à faciliter l'échange d'informations  
735 dans des situations opaques. Cela expliquerait la diversité et la complexité des modes de  
736 communication chez l'humain que l'on retrouve chez peu d'autres espèces, et qui

737 auraient co-évolué avec l'amélioration des traits technologiques au cours de la  
738 phylogénèse (Morgan et al., 2015).

739       Il semble que d'autres espèces non humaines sont capables de faire évoluer leurs  
740 traits culturels de façon quasi-cumulative (chez l'oiseau : Hunt & Gray, 2003 ; Mueller et  
741 al., 2013 ; Sasaki & Biro ; 2017. Chez le mammifère : Thornton & Malapert, 2009. Chez le  
742 primate non humain : Marshall-Pescini & Whiten, 2008 ; Claidière et al., 2014). Les  
743 chimpanzés, que l'on jugeait autrefois incapables de transmettre fidèlement des  
744 informations, se sont révélés aptes à acquérir de nouveaux comportements par le biais  
745 de l'apprentissage social. Dans certaines conditions, ils peuvent même transformer ces  
746 comportements en y ajoutant des traits accumulés par expérience. Les récents travaux  
747 menés sur les primates non humains (Claidière et al., 2014 ; Davis et al., 2016) révèlent  
748 des indices de flexibilité mentale, de combinaisons des connaissances et de structuration  
749 systématique des comportements, qui sont des facteurs susceptibles d'être impliqués  
750 dans l'émergence d'une culture cumulative.

751       Dans tous les cas, la recherche expérimentale dans le domaine de la culture  
752 cumulative en est encore à ses débuts. On découvre depuis peu que le contexte joue un  
753 rôle sur l'émergence du *ratchet effect* — selon que la tâche soit transparente ou opaque,  
754 inhabituelle ou familière... Pour tout expérimentateur intéressé par ce cadre d'étude, la  
755 plus grande difficulté consistera à mettre en place un paradigme aussi écologique que  
756 possible, en incluant notamment la possibilité pour les participants d'explorer plusieurs  
757 alternatives à la tâche et en ajoutant des contraintes pouvant représenter des facteurs  
758 de risques. L'intérêt de l'étude du *ratchet effect* réside dans la possibilité d'identifier les  
759 facteurs individuels et/ou de groupe qui favorisent la création, la sélection, la  
760 transmission, la modification et l'extinction de traits culturels. Cela contribuerait

761 notamment à expliquer les différences qui nous séparent des autres espèces — et donc  
762 qui définissent les humains : d'où viennent les outils et les institutions complexes que  
763 beaucoup d'entre nous possèdent actuellement ? Cela favoriserait également notre  
764 compréhension de la dynamique des interactions qu'entretiennent les membres d'un  
765 groupe et des transformations que subissent les traits partagés. Nous serions à même de  
766 définir les conditions qui favorisent la création et l'amélioration de techniques et de  
767 technologies, en complétant les travaux et les modèles déjà publiés (O'Brien, Darwent, &  
768 Lyman, 2001 ; Enquist & Ghirlanda, 2007 ; Enquist, Ghirlanda & Eriksson, 2011). Enfin,  
769 cela permettrait de prédire les trajectoires d'évolution culturelle de certaines pratiques,  
770 d'outils, voire de cultures entières au cours des générations à venir.

## 771 6. Remerciements

772 Ce travail a été réalisé grâce à des financements de l'ANR (Agence Nationale de la Recherche ; Projet  
773 "Cognition et économie liée à l'outil" ECOTOOL; ANR-14-CE30-0015-01). Ce travail a également été réalisé  
774 au sein du LABEX CORTEX (ANR-11-LABX-0042) de l'Université de Lyon, dans le cadre du programme  
775 "Investissements d'Avenir" (ANR-11-IDEX-0007) de l'Etat Français, géré par l'Agence Nationale de la  
776 Recherche (ANR).

## 777 7. Références

- 778 Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: an experimental and social study*. Cambridge: Cambridge University.
- 779 Bernaud, J. L., Priou, P., and Simonnet, R. (1994). *NV7 : Batterie multifactorielle d'aptitudes*. Paris, France:  
780 Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- 781 Boesch, C., and Boesch, H. (1990). Tool use and tool making in wild chimpanzees. *Folia Primatologica*,  
782 54(1-2).
- 783 Boyd, R., and Richerson, P. J. (1995). Why does culture increase human adaptability? *Ethology and*  
784 *Sociobiology*, 16(2), 125-143.
- 785 Bshary, R., Wickler, W., and Fricke, H. (2002). Fish cognition: a primate's eye view. *Animal Cognition*, 5(1),  
786 1-13.
- 787 Byrne, R. W. (2007). Culture in great apes: Using intricate complexity in feeding skills to trace the evolutionary  
788 origin of human technical prowess. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological*  
789 *Sciences*, 362(1480), 577-585.
- 790 Caldwell, C. A., and Millen, A. E. (2008). Experimental models for testing hypotheses about cumulative  
791 cultural evolution. *Evolution and Human Behavior*, 29(3), 165-171.
- 792 Caldwell, C. A., and Millen, A. E. (2009). Social learning mechanisms and cumulative cultural evolution: is  
793 imitation necessary?. *Psychological Science*, 20(12), 1478-1483.
- 794 Carpenter, M., Akhtar, N., and Tomasello, M. (1998). Fourteen-through 18-month-old infants differentially  
795 imitate intentional and accidental actions. *Infant behavior and development*, 21(2), 315-330.

- 796 Carpenter, M., Nagell, K., and Tomasello, M. (1998). Social cognition, joint attention and communicative  
797 competence from 9 to 15 months of age. *Monographs of the Society for Research in Child Development*,  
798 63 (255).
- 799 Claidière, N., Smith, K., Kirby, S., and Fagot, J. (2014). Cultural evolution of systematically structured  
800 behaviour in a non-human primate. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*,  
801 281(1797), 20141541.
- 802 Csibra, G. and Gergely, G. (2009) Natural pedagogy. *Trends in Cognitive Sciences*, 13, 148–153.
- 803 O'Brien, M. J., Darwent, J., and Lyman, R. L. (2001). Cladistics is useful for reconstructing archaeological  
804 phylogenies: Palaeoindian points from the southeastern United States. *Journal of Archaeological*  
805 *Science*, 28(10), 1115-1136.
- 806 Davis, S. J., Vale, G. L., Schapiro, S. J., Lambeth, S. P., and Whiten, A. (2016). Foundations of cumulative  
807 culture in apes: improved foraging efficiency through relinquishing and combining witnessed  
808 behaviours in chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Scientific reports*, 6.
- 809 Dean, L. G., Kendal, R. L., Schapiro, S. J., Thierry, B., and Laland, K. N. (2012). Identification of the social and  
810 cognitive processes underlying human cumulative culture. *Science*, 335(6072), 1114-1118.
- 811 Dean, L. G., Vale, G. L., Laland, K. N., Flynn, E., and Kendal, R. L. (2014). Human cumulative culture: a  
812 comparative perspective. *Biological Reviews*, 89(2), 284-301.
- 813 Derex, M., Godelle, B., and Raymond, M. (2013). Social learners require process information to outperform  
814 individual learners. *Evolution*, 67(3), 688-697.
- 815 Enquist, M., and Ghirlanda, S. (2007). Evolution of social learning does not explain the origin of human  
816 cumulative culture. *Journal of Theoretical Biology*, 246(1), 129–135.
- 817 Enquist, M., Ghirlanda, S., and Eriksson, K. (2011). Modelling the evolution and diversity of cumulative  
818 culture. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 366(1563), 412-  
819 423.
- 820 Gabora, L. (2008). The cultural evolution of socially situated cognition. *Cognitive Systems Research*, 9(1-2),  
821 104–114.
- 822 Gifford, A. (2008). Peter J. Richerson and Robert Boyd, Not by Genes Alone: How Culture Transformed  
823 Human Evolution. *Journal of Bioeconomics*, 10(2), 193-198.
- 824 Goldberg, J. (1998). *Sociétés animales*. Delachaux et Niestlé.
- 825 Hayne, H. (2002), All forms of social learning are not created equal. *Developmental Science*, 5, 32–34.
- 826 Heyes, C. M., Jaldow, E. and Dawson, G. R. (1994). Imitation in rats: conditions of occurrence in a  
827 bidirectional control procedure. *Learning and Motivation*, 25, 276–287.
- 828 Hinde, R. A., and Fisher, J. (1972). Some comments on the re-publication of two papers on the opening of  
829 milk bottles by birds. *Function and evolution of behavior: An historical sample from the pen of*  
830 *ethologists*, 377-378.
- 831 Horner, V., Whiten, A., Flynn, E., and de Waal, F. B. (2006). Faithful replication of foraging techniques along  
832 cultural transmission chains by chimpanzees and children. *Proceedings of the National Academy of*  
833 *Sciences*, 103(37), 13878-13883.
- 834 Hölldobler, B., and Wilson, E. O. (1990). *The ants*. Harvard University Press.
- 835 Holzhaider, J. C., Hunt, G. R., and Gray, R. D. (2010). Social learning in New Caledonian crows. *Learning &*  
836 *Behavior*, 38(3), 206-219.
- 837 Humle, T., and Matsuzawa, T. (2002). Ant-dipping among the chimpanzees of Bossou, Guinea, and some  
838 comparisons with other sites. *American Journal of Primatology*, 58(3), 133– 148.
- 839 Hunt, G. R. (1996). Manufacture and use of hook-tools by New Caledonian crows. *Nature*, 379(6562), 249.
- 840 Hunt, G. R. and Gray, R. D. (2003). Diversification and cumulative evolution in New Caledonian crow tool  
841 manufacture. *Proc. R. Soc. B* 270, 867–874.
- 842 Laland, K. N., and Williams, K. (1997). Shoaling generates social learning of foraging information in  
843 guppies. *Animal Behaviour*, 53(6), 1161-1169.

- 844 Marshall-Pescini, S., and Whiten, A. (2008). Chimpanzees (*Pan troglodytes*) and the question of cumulative  
845 culture: an experimental approach. *Animal cognition*, 11(3), 449-456.
- 846 Matsuzawa, T. (2008). Primate foundations of human intelligence: a view of tool use in nonhuman  
847 primates and fossil hominids. In *Primate origins of human cognition and behavior* (pp. 3-25). Springer  
848 Japan.
- 849 Mesoudi, A. (2011). *Cultural evolution: How Darwinian theory can explain human culture and synthesize the*  
850 *social sciences*. Chicago: University of Chicago Press.
- 851 Morgan, T. J. H., Uomini, N. T., Rendell, L. E., Chouinard-Thuly, L., Street, S. E., Lewis, H. M., ... and Whiten,  
852 A. (2015). Experimental evidence for the co-evolution of hominin tool-making teaching and language.  
853 *Nature communications*, 6.
- 854 Morin, O. (2011). *Comment les traditions naissent et meurent : La transmission culturelle*. Odile Jacob.
- 855 Mueller, T., O'Hara, R. B., Converse, S. J., Urbanek, R. P. and Fagan, W. F. (2013). Social learning of  
856 migratory performance. *Science* 341, 999-1002.
- 857 Osiurak, F., De Oliveira, E., Navarro, J., Lesourd, M., Claidière, N., and Reynaud, E. (2016). Physical  
858 intelligence does matter to cumulative technological culture. *Journal of Experimental Technology:*  
859 *General*, 45(8), 941-948.
- 860 Sarfati, Y., Hardy-Baylé, M. C., Besche, C., and Widlöcher, D. (1997). Attribution of intentions to others in  
861 people with schizophrenia: A non-verbal exploration with comic strips. *Schizophrenia Research*, 25,  
862 199-209.
- 863 Sasaki, T., and Biro, D. (2017). Cumulative culture can emerge from collective intelligence in animal  
864 groups. *Nature Communications*, 8.
- 865 Spence, K. W. (1937). Experimental studies of learning and higher mental processes in infra-human  
866 primates. *Psychological Bulletin*, 34, 806-850.
- 867 Taylor, A. H., Hunt, G. R., Medina, F. S., and Gray, R. D. (2009). Do New Caledonian crows solve physical  
868 problems through causal reasoning?. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*,  
869 276(1655), 247-254.
- 870 Thornton, A., and Clutton-Brock, T. (2011). Social learning and the development of individual and group  
871 behaviour in mammal societies. *Phil. Trans. R. Soc. B* 366, 978-987.
- 872 Thornton, A., and Malapert, A. (2009). The rise and fall of an arbitrary tradition: an experiment with wild  
873 meerkats. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 276(1660), 1269-1276.
- 874 Thorpe, W. H. (1956/1963). *Learning and instinct in animals*. London: Methuen.
- 875 Tomasello, M. (1990). Cultural transmission in the tool use and communication signaling of chimpanzees.  
876 In *Language and Intelligence in Monkeys and Apes* (S. Parker and K. Gibson, pp. 274-311). New-York:  
877 Cambridge University Press.
- 878 Tomasello, M. (1995). Joint attention as social cognition. In C. Moore and P. Dunham (Eds.), *Joint attention:*  
879 *Its origins and role in development* (pp. 103-130). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- 880 Tomasello, M., Kruger, A. C., and Ratner, H. H. (1993). Cultural learning. *Behavioral and Brain Sciences*, 16,  
881 495-552.
- 882 Wasieleski, H. (2014). Imitation is necessary for cumulative cultural evolution in an unfamiliar, opaque  
883 task. *Human Nature*, 25(1), 161-179.
- 884 Whiten, A. (2000). Primate culture and social learning. *Cognitive Science*, 24(3), 477-508.
- 885 Whiten, A., Goodall, J., McGrew, W. C., Nishida, T., Reynolds, V., Sugiyama, Y., ... and Boesch, C. (1999).  
886 Cultures in chimpanzees. *Nature*, 399(6737), 682-685.
- 887 Want, S. C., and Harris, P.L. (2002). How do children ape? Applying concepts from the study of non-human  
888 primates to the developmental study of 'imitation' in children. *Developmental Science*, 5, 1-41.
- 889 Whiten, A., Horner, V., and De Waal, F. B. (2005). Conformity to cultural norms of tool use in chimpanzees.  
890 *Nature*, 437(7059), 737-740.

- 891 Worden, B. D., and Papaj, D. R. (2005). Flower choice copying in bumblebees. *Biology Letters*, 1(4), 504–  
892 507.
- 893 Zwirner, E., and Thornton, A. (2015). Cognitive requirements of cumulative culture: Teaching is useful but  
894 not essential. *Scientific Reports*, 5, 16781.

**Tableau 1. Résultats de Caldwell et Millen (2009) aux conditions observation (O), résultat (R) et enseignement (E)**

Table 2. Presentation of the results in Caldwell and Millen's (2009) study. The three conditions are observation, result and teaching.

Condition	Distance moyenne de vol (en mètres)		Indices de culture cumulative	
	3 premiers participants	3 derniers participants	L de Page	<i>p</i>
ORE	547.7	836.5	3385	.001
OR	544.6	735.9	3212	.016
OE	612.4	754.6	3197	.024
RE	443.9	717.9	3345	.001
O	404.4	598.7	3170	.048
R	506.8	701.0	3207	.018
E	543.5	707.1	3175	.042

O, Condition où les sujets observant une démonstration ; R, Condition où les sujets voient les avions fabriqués par leurs prédécesseurs ; E, Condition où les sujets s'échangent des conseils.

O, Condition in which participants watch a demonstration; R, Condition in which participants examine the paper airplanes built by their predecessors; E, Condition in which participants share advices.

895

896

897

**Tableau 2. Modèles de prédiction de culture cumulative (Osiurak et al., 2016) basé sur un modèle linéaire mixte.**

Table 3. Predictive models of cumulative culture based on linear mixed models (Osiurak et al., 2016).

Condition communication			Condition observation		
Prédicteur	Estimation	Poids	Prédicteur	Estimation	Poids
IP élève	1.06	1	IP élève	0.73	.90
IP modèle	0.50	.43	IP modèle	0.55	.55
IS modèle	0.42	.37	IS élève	- 0.38	.44
IS élève	- 0.41	.35	IS modèle	- 0.13	.27

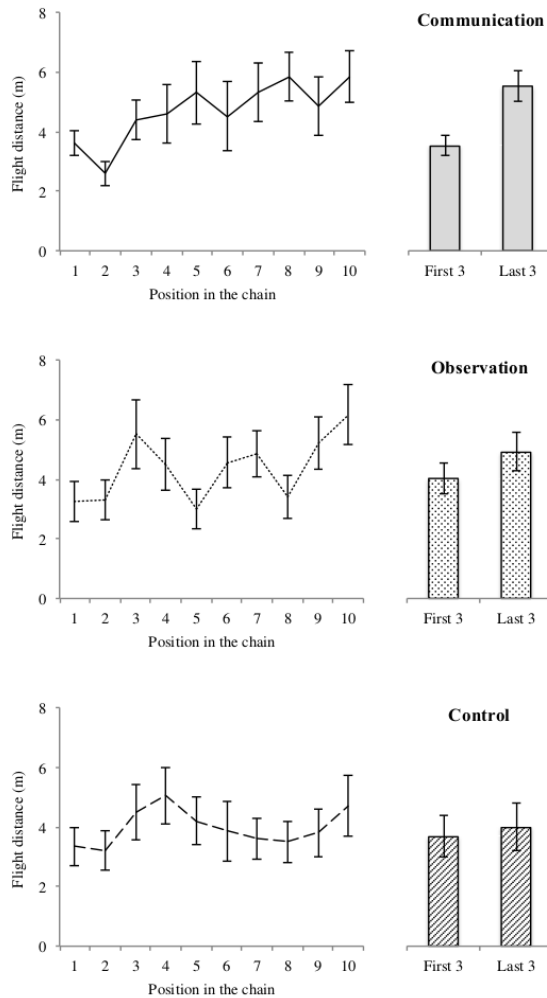
Les meilleurs prédicteurs du *ratchet effect* sont ceux dont le poids est le plus élevé. Dans les deux conditions, l'intelligence physique (IP) des élèves prédit mieux la progression des performances au fil des générations que l'intelligence sociale (IS).

The best predictors of a ratchet effect are those which the strongest weight. In each condition, the student's Physical Intelligence (IP) is the best predictor of a constant increasing of performances through several generations, compared to Social Intelligence (IS).

898

899

900



901

902 *Figure 1. Résultats des chaînes de transmission de Osiurak et al. (2016), en condition communication (les*  
 903 *participants sont autorisés à échanger des conseils), observation (les participants ne peuvent pas*  
 904 *communiquer) et contrôle (un seul participant fabrique 10 avions à la suite). Les courbes représentent la*  
 905 *distance parcourue par un avion à chaque génération (en mètres). Les diagrammes représentent la*  
 906 *distance moyenne de vol des avions des 3 premières et des 3 dernières générations. Les auteurs ont observé un ratchet*  
 907 *effect dans les conditions Communication et Observation ( $p < .05$ ), mais pas en condition contrôle.*

908 *Figure 1. Transmission chains results in the study of Osiurak et al. (2016) in a communication condition*  
 909 *(participants are allowed to share advice), an observation condition (participants watch a demonstration) and*  
 910 *a control condition (each participant build ten paper airplanes). Curves represent the average flight distance (in*  
 911 *meters) of the airplanes in each generation. Diagrams represent the average flight distance of the first three*  
 912 *generations versus the last three generations. The authors found a ratchet effect for both Communication and*  
 913 *Observation conditions ( $p < .05$ ), but not for the control condition.*