



Cerveau & Psycho

**D'OÙ VIENT LA COLÈRE
SUR LES RÉSEAUX
SOCIAUX ?**

NOTRE CERVEAU NOUS TROMPE... POUR NOTRE BIEN !

Les avantages cachés des biais cognitifs

SOMMEIL
COMMENT
VAINCRE
LES PARALYSIES
NOCTURNES

BIEN-ÊTRE
PRATIQUER
LE « BON »
VAGABONDAGE
MENTAL

PARENTALITÉ
PSYCHOLOGIE
DU PARENT HÉLICOPTÈRE



Dossier

L'OPTIMISME, UNE ERREUR UTILE?



*Ces travaux ont été récemment récompensés
par le prix Théodule-Ribot,
attribué par le Comité national français
de psychologie scientifique*

En partenariat avec **Cerveau
& Psycho**

- Selon des recherches récentes récompensées par le prix Ribot de psychologie scientifique,
- notre cerveau privilégierait les informations positives par rapport aux négatives pour décider comment agir. Une erreur qui, dans certains cas, se révélerait avantageuse.

Par Stefano Palminteri, directeur de recherches au Laboratoire de neurosciences cognitives et computationnelles de l'École normale supérieure – Paris Sciences et Lettres, et de l'Inserm.

EN BREF

● En moyenne, nous avons tendance à tenir compte des informations positives plus que des informations négatives pour ajuster nos comportements.

● Ce biais d'optimisme va souvent de pair avec un autre biais dit « de confirmation », où l'on tient compte davantage des informations qui confirment nos croyances préalables que de celles qui les contredisent.

● Les recherches de l'auteur ont montré que ces biais résultent de mécanismes d'apprentissage asymétrique au niveau le plus fondamental de notre cerveau.

● Les neurones dopaminergiques du striatum, sous le cortex cérébral, biaiseraient la prise d'information en faveur des éléments encourageants. Cette asymétrie aurait pu remplir une fonction adaptative dans l'évolution humaine.

Les bonnes décisions, pense-t-on, se doivent de reposer avant tout sur une analyse rationnelle et objective de la réalité. Et nous savons combien c'est vrai... Un créateur d'entreprise a tout intérêt à analyser le plus justement possible l'état du marché auquel il s'attaque, pour ne pas se retrouver rapidement en faillite. Quand un lycéen choisit son orientation future, il a intérêt à bien identifier ses points forts, et éviter de choisir une filière dans laquelle il aura des difficultés. À un échelon plus large, il nous faut être le mieux informés possible pour prendre des décisions en tant que citoyens. Prenez l'exemple du Covid-19 : pour lutter contre cette pandémie, il était extrêmement important de comprendre comment elle était apparue, de cerner les voies de transmission du virus, ainsi que les avantages et inconvénients des vaccins.

Sur le papier, nous sommes dotés d'un cerveau capable de s'informer de manière objective pour prendre les meilleures décisions. Mais, en réalité, les choses sont un peu différentes. On ne compte plus les jeunes entrepreneurs qui ont surestimé le marché de leur produit génial, les étudiants qui se leurrent sur leurs forces et leurs faiblesses, et les croyances fantaisistes sur le Covid.

Cet exemple est éclairant : au cours de la pandémie, l'analyse objective des faits s'est révélée parfois difficile. Ainsi, une partie de la population a réagi à la montée du Covid-19 en supposant son origine intentionnelle dans des théories

L'OPTIMISME, UNE ERREUR UTILE ?

- conspirationnistes, ou en minimisant sa gravité, voire en soutenant que ce virus était inoffensif et que c'étaient les vaccins qui représentaient une menace pour la santé publique.

Ces deux types de réaction sont en partie le résultat de biais cognitifs. Quand vous adhérez à une théorie du complot, vous sélectionnez sur internet ou dans les médias les informations qui vont dans le sens de votre croyance préalable, tout en écartant celles qui vont dans le sens contraire, et on parle alors de «biais de confirmation». Quand vous soutenez que le Covid-19 est «une grosse grippe, rien de plus», vous reprenez préférentiellement les informations rassurantes et optimistes (j'ai un collègue qui l'a eu et qui va très bien), sans prendre en compte les autres (les morts, les Covid longs, etc.). On parle alors de «biais d'optimisme».

DÉNI CLIMATIQUE ET COMLOTISMES

Ces deux biais sont à l'œuvre sur un autre sujet plus important encore. Certaines personnes, pour mille raisons, ne croient pas au réchauffement de notre planète, ou minimisent son impact. Souvent, elles font remarquer les journées de grand froid en hiver, y voyant une preuve tangible que le climat ne se réchauffe pas – mais elles ne parlent jamais des périodes de douceur inhabituelle au cours du même hiver qui, mises bout à bout, pèsent beaucoup plus sur la moyenne des températures. Elles sélectionnent les informations qui confirment leur vision du monde.

D'autres individus se réjouissent de lire dans le journal que l'on a inventé un procédé industriel permettant de capter le CO₂ dans l'atmosphère – mais ils ne lisent pas les autres analyses montrant que cette solution serait très loin de résoudre le problème dans son ensemble. Ils sélectionnent les informations qui sont des bonnes nouvelles, et écartent les mauvaises. Biais d'optimisme.

Au cours de mes travaux, je me suis posé la question : pourquoi deux biais aux conséquences aussi profondes que le biais d'optimisme et le biais de confirmation sont-ils si répandus ? S'agit-il d'un dysfonctionnement de notre cerveau ? Ou bien y a-t-il une raison à l'existence de ces biais, quelque chose comme un avantage caché qui les justifierait ? Les travaux que j'ai menés avec mon équipe m'ont permis de découvrir que certains circuits de neurones dans notre cerveau sont à l'origine de ces déviations du raisonnement. Mais, par la même occasion, ces données permettent de mieux comprendre pourquoi ces déviations existent, et quel rôle essentiel elles jouent dans nos vies.

QU'EST-CE QUE LE BIAIS D'OPTIMISME ?

Le biais d'optimisme désigne la tendance à modifier ses croyances préférentiellement en prenant en compte des informations à caractère positif, et en négligeant celles qui font moins plaisir. Cela a été très clairement montré en 2011 par la psychologue Tali Sharot, de l'université de Londres et du Massachusetts Institute of Technology (MIT), et ses collaborateurs. Ils ont mis en place une expérience où les participants devaient, dans une première phase, estimer la probabilité qu'un événement (désagréable) se produise dans la population générale (par exemple, les chances pour un couple marié de divorcer, ou le risque pour n'importe quel individu de développer un cancer). Puis, les auteurs ont montré aux participants les statistiques réelles de l'effet en question. Et finalement, dans la troisième et dernière phase de cette expérience, il était redemandé aux participants d'estimer une nouvelle fois les probabilités des mêmes événements. Le but étant de savoir comment ils ou elles avaient modifié leurs estimations en fonction des informations avérées reçues.

C'est à ce moment qu'on peut distinguer deux cas de figure. Admettons que le taux de divorce réel communiqué aux participants soit de 2%. Si un participant a initialement estimé la probabilité à 4%, il a donc reçu une bonne nouvelle (la probabilité de divorce est moindre que ce qu'il croyait). Les auteurs ont montré que, dans ce cas, les participants ont tendance à corriger significativement leurs croyances : quand on leur redemande une nouvelle estimation, celle-ci sera très proche de la vraie valeur

Notre inaction face au réchauffement climatique pourrait résulter, en partie, du fait que nos cerveaux ont du mal à prendre en compte les signaux inquiétants pour mettre à jour leur représentation du monde.



de 2%. Le deuxième cas de figure concerne les sujets qui ont donné une estimation de la probabilité de divorce plus basse que la réalité (par exemple 0,5%). Cette fois, quand ces participants sont confrontés à la vraie probabilité (2%), ils reçoivent une mauvaise nouvelle (une probabilité supérieure à ce qu'ils croyaient). Et lorsqu'ils doivent estimer à nouveau la probabilité de cet événement, ils n'en tiennent pas compte : ils continuent à dire 0,5%. On voit donc une forme de biais d'optimisme en action : on tient compte davantage des bonnes nouvelles plutôt que des mauvaises nouvelles quand on révisé ses croyances sur la probabilité de certains événements. Avec une précision supplémentaire : ce biais est plus fort pour des événements concernant les participants eux-mêmes – par exemple si on leur demande d'estimer, non pas la probabilité de divorcer en général, mais celle qui les concerne personnellement. Dans ce cas, ils sont encore plus biaisés vers les bonnes nouvelles que vers les mauvaises.

Le traitement inégal des informations est au cœur d'un autre biais, le biais de confirmation. Par «biais de confirmation», on désigne une tendance à mettre à jour nos croyances davantage lorsque les nouvelles informations que nous recevons confirment nos croyances antérieures que lorsqu'elles les infirment. Ce biais prend des formes variées et s'applique à des situations très différentes, depuis le raisonnement logicomathématique jusqu'aux comportements en politique. Au point que certains auteurs, comme le psychologue américain Raymond Nickerson, en sont arrivés à y voir une sorte de biais cognitif omniprésent. Sur ce point il faut reconnaître que, dans la grande majorité des situations, les biais d'optimisme et de confirmation coexistent et s'entremêlent. En effet, la plupart du temps, nous attribuons à nos opinions et croyances une valeur subjective positive et nous éprouvons du plaisir à «avoir raison» : dans ce cas, sélectionner les bonnes nouvelles (biais d'optimisme) ou privilégier celles qui confirment nos croyances préalables (biais de confirmation) revient à peu près au même.

PROCESSUS COGNITIFS ÉLÉMENTAIRES

Jusqu'à récemment, les biais d'optimisme et de confirmation étaient considérés comme relevant de processus cognitifs dits de «haut niveau». On entend par là un ensemble d'opérations complexes qui ont pour objet des idées ou des croyances relativement abstraites et des informations généralement hypothétiques (comme la probabilité de divorcer, dans notre exemple précédent). Dans notre groupe de recherche nous

Nous avons découvert que le taux d'apprentissage positif est plus important que le taux négatif : les gens prennent moins en considération les erreurs de prédiction négatives que les positives – ils semblent négliger toute information indiquant qu'ils ont fait un mauvais choix...

avons remis en question cette idée reçue en testant une hypothèse alternative, selon laquelle ces biais cognitifs reposeraient sur des processus cognitifs plus élémentaires. Nous nous sommes penchés sur un des mécanismes les plus simples et universels à l'œuvre chez les animaux : l'apprentissage par renforcement. L'apprentissage par renforcement (voir l'encadré page 48) est le processus cognitif qui nous permet de modifier nos choix en fonction des résultats obtenus par le passé dans des situations similaires. Plus précisément, il permet de réagir et modifier son comportement pour maximiser les récompenses et fuir les punitions. Le modèle standard de l'apprentissage par renforcement postule que le sujet possède une représentation mentale des valeurs des options qui lui font face (lesquelles peuvent être neutres en début d'apprentissage). Cette représentation mentale sert à prendre une décision : l'option ayant le plus de valeur est plus fréquemment choisie. La décision peut ensuite se solder par une «récompense» (résultat meilleur qu'attendu) ou une punition (résultat inférieur aux attentes). Dans tous les cas, qu'il soit positif ou négatif, ce nouveau résultat est utilisé pour modifier la valeur de l'option qui était choisie.

Pour bien comprendre de quoi il s'agit, prenons l'exemple d'un touriste qui se rend dans un pays inconnu. Arrivant au restaurant, il se fie à ce qu'il a lu dans certains guides et commande un plat appelé Strudnak. Mais il est très déçu par ce plat huileux et insipide. Le résultat est inférieur aux attentes et, selon le principe d'apprentissage par renforcement, il délaissera ce plat à l'avenir. Ses attentes (ou encore ses «croyances») sur ce plat ont été modifiées par l'expérience. ●●●

L'OPTIMISME, UNE ERREUR UTILE ?

Depuis les années 1990, à la suite des études de Peter Dayan et collaborateurs, un consensus s'est dégagé sur les bases computationnelles (ou mathématiques) de ce processus d'apprentissage. Selon ce modèle standard, l'apprentissage par renforcement consiste d'abord à mesurer l'écart entre le résultat attendu (le Strudnak va me plaire) et le résultat obtenu (il ne me plaît pas). Cet écart est appelé «erreur de prédiction». En d'autres termes, l'erreur de prédiction quantifie à quel point le résultat obtenu nous surprend. Elle mesure donc la surprise, positive quand le résultat est meilleur que ce qu'on attendait (une «bonne nouvelle»), et négative si le résultat est moins bon que nos attentes (une «mauvaise nouvelle»). Une fois cette erreur de prédiction calculée, la prochaine étape consiste à mettre à jour la valeur des options de choix. Cette étape dépend d'un paramètre crucial, le «taux d'apprentissage». Le taux d'apprentissage quantifie à quel point un nouveau résultat obtenu modifie la valeur de l'option qui a été choisie : pour comprendre sa fonction il suffit de penser que le taux d'apprentissage est de zéro si les résultats observés ne modifient pas les comportements ultérieurs. Au contraire, si le taux d'apprentissage est maximal, nos estimations des valeurs des différentes options seront très fortement influencées par les résultats immédiats.

UN MÉCANISME CÉRÉBRAL ASYMÉTRIQUE

Lorsque notre groupe de recherche a commencé à s'intéresser à la question, la plupart des spécialistes du sujet supposaient que le taux d'apprentissage était le même pour des erreurs de prédictions positives (bonnes nouvelles) et négatives (mauvaises nouvelles). Toutefois, les expériences décrites plus haut montraient une prise en compte différente des informations positives et négatives, ce qui nous a mis la puce à l'oreille : quelque chose de similaire n'était-il pas à l'œuvre également au niveau de l'apprentissage par renforcement ? Dans ce cas, cela impliquerait que les taux d'apprentissage ne soient pas identiques pour les erreurs de prédiction positives ou négatives. Les biais d'optimisme et de confirmation se traduiraient alors par un taux d'apprentissage plus élevé pour les erreurs de prédiction positives que pour les négatives.

Pour tester cette hypothèse, nous avons réalisé une expérience adaptant un test expérimental communément appelé «bandit manchot». Le participant est confronté à deux stimuli neutres, qui sont en réalité associés à des récompenses ou des «punitions» (des pénalités financières, par exemple), dont la valeur de départ est inconnue du

participant. Celui-ci choisit donc entre ces deux options, par exemple en appuyant sur des boutons, et ensuite observe le résultat : récompense ou punition. Il peut répéter ses choix plusieurs fois à la suite et a donc la possibilité de découvrir quelle option apporte des meilleurs résultats. Pour des raisons pratiques, mais aussi éthiques, nous utilisons des gains monétaires en guise de récompense, et des pertes comme punition, et, pour maintenir la motivation des sujets, nous faisons en sorte que leurs choix durant l'expérience affectent réellement leur indemnisation.

UN MÉCANISME
PROBABLEMENT TRÈS ANCIEN

C'est au cours d'une de ces études, publiée en 2017, que nous avons apporté pour la première fois des éléments suggérant que c'est bien un taux d'apprentissage asymétrique des récompenses et des punitions qui serait à la base des biais d'optimisme et de confirmation. Nous avons trouvé que les taux d'apprentissage estimés à partir de notre tâche d'apprentissage par renforcement n'étaient pas identiques, et que le taux d'apprentissage positif était plus important que le taux négatif. En d'autres termes, c'est comme si les sujets prenaient moins en considération les erreurs de prédiction négatives que les positives. Ils semblent

QU'EST-CE QUE
L'APPRENTISSAGE
PAR RENFORCEMENT ?

L'étude scientifique de l'apprentissage par renforcement remonte aux origines de la psychologie scientifique en Russie, comme aux États-Unis. On parle aussi souvent de conditionnement, en distinguant – au moins – deux formes d'apprentissage : le conditionnement pavlovien et le conditionnement opérant, ou instrumental. Le point commun de ces deux formes d'apprentissage est le fait que les sujets (animaux ou humains) apprennent à prédire l'arrivée des stimuli assortis d'une valeur affective bien définie : récompenses et punitions. La différence est que, dans le premier cas, la récompense (ou la punition) suit un stimulus, sans que le sujet fasse quoi que ce soit (l'exemple typique est le chien de Pavlov qui apprenait à saliver après le son d'une clochette qui précédait de façon systématique l'arrivée de la nourriture, quoi que le chien fasse entre les deux moments), alors que, dans le deuxième cas, la récompense (ou la punition) dépend de l'action du sujet (ici, l'exemple typique est la boîte de Skinner où des rats et des pigeons devaient apprendre à appuyer sur des leviers pour obtenir de la nourriture, ce qui renforçait les comportements aboutissant à cette récompense).

négliger toute information indiquant qu'ils ont fait un mauvais choix.

Cette logique signifie que notre mangeur de Strudnak irait probablement retenter sa chance dans un autre restaurant, ayant oublié sa première expérience négative (comme de nombreux joueurs de Loto tentent leur chance encore et encore). Mais peut-on vraiment tirer cette conclusion à partir d'expériences réalisées avec des récompenses abstraites comme de l'argent ? De fait, plusieurs autres études présentant des dispositifs expérimentaux très différents ont répliqué ces résultats. Ces études ont notamment permis de constater que les erreurs de prédiction négatives sont également négligées quand elles sont associées à des « punitions » primaires, comme des décharges électriques. D'autres études ont même répliqué les résultats chez d'autres espèces, comme le macaque, le rat et la souris dans des expériences utilisant de la nourriture comme récompense. L'ensemble de ces résultats montre en somme que les biais d'optimisme ou de confirmation ne sont pas du tout dépendants du raisonnement abstrait, exclusivité humaine, mais semblent plutôt être une caractéristique très répandue, qui s'applique à des stimuli très concrets (argent, nourriture, décharges électriques) et chez des espèces (surtout les rongeurs) qui ne brillent pas pour leur capacité de raisonnement abstrait.

DEUX CIRCUITS DANS LE CERVEAU

Si les biais d'optimisme et de confirmation sont si répandus à la fois chez les humains et dans le règne animal, on peut s'attendre à ce qu'ils reposent sur l'activité de réseaux de neurones clairement identifiables. L'hypothèse dominante, issue des observations électrophysiologiques et pharmacologiques répétées et convergentes, postule que l'apprentissage par renforcement repose sur une modification des synapses situées sous le cortex cérébral, au niveau d'un important centre de la récompense et de la motivation appelé « striatum ». Or les données anatomiques dont on dispose montrent qu'il existe bien deux voies neuronales qui relient le cortex cérébral (qui prend connaissance des informations environnantes) au striatum. L'une de ces deux voies, appelée « voie directe », serait en charge du renforcement positif (la modification des comportements et des représentations mentales en fonction d'informations positives ou confirmant nos croyances préalables), tandis que l'autre, appelée « voie indirecte », serait en charge du renforcement négatif. La voie directe correspondrait au taux d'apprentissage pour les erreurs

Le biais d'optimisme, c'est aussi ce qui va aider un étudiant en médecine à se cramponner à ses études en se raccrochant à tous les indices lui indiquant qu'il peut réussir, tout en laissant de côté ceux qui pourraient le décourager !

de prédiction positives, alors que la voie indirecte correspond au taux d'apprentissage pour les erreurs de prédiction négatives.

Les synapses sont modifiées par la libération d'une molécule, la dopamine, généralement associée aux processus d'apprentissage, de récompense et de plaisir. Simplement, la dopamine semble affecter les deux voies de façon asymétrique : elle renforce la voie directe et affaiblit la voie indirecte. Dans nos expériences, nous avons ainsi observé que l'intensité du biais d'optimisme était corrélée à l'activation du striatum chez des participants lorsqu'ils recevaient des informations positives. C'est alors probablement la voie directe qui s'active, et ce d'autant plus intensément que la personne présente un puissant biais d'optimisme.

RÉCOMPENSER OU PUNIR ?

L'existence des deux circuits d'apprentissage, l'un par récompense et l'autre par punition, montre bien à quel point ces deux « stratégies » sont importantes pour modifier nos comportements. Nous savons tous que la carotte comme le bâton ont un important pouvoir de ce point de vue. Or ces observations suggèrent que, dans de nombreuses situations, l'apprentissage par récompense fonctionne mieux que celui par punition. À chacun d'en tirer parti dans sa vie, avec ses enfants ou ses élèves notamment, pour obtenir le meilleur du cerveau humain !

Si notre cerveau est câblé pour faire plus attention à ce qui est positif qu'à ce qui est négatif, et à ce qui conforte sa vision des choses qu'à ce qui la remet en question, on peut légitimement se demander pourquoi il en est ainsi. Une hypothèse est que le biais d'optimisme ait pu représenter un avantage en matière de survie pour nos ancêtres. Répondre avec certitude à ce genre de question est généralement très délicat, parce qu'il est difficile de tester l'évolution du vivant, surtout celle qui s'est déroulée avant nous ! Néanmoins, ●●●

•• certaines études théoriques cherchent à évaluer les conséquences comportementales de ces biais cognitifs, par des simulations informatiques. Par exemple, des êtres théoriques peuvent être artificiellement dotés de différents niveaux de biais d'optimisme, et interagir avec leur milieu naturel ou entre eux. Une étude récente par Germain Lefebvre et ses collègues de l'université d'Oxford a simulé le comportement de ces êtres dans plusieurs situations d'apprentissage et ils ont montré que ceux dotés d'un biais de confirmation surpassent généralement leurs homologues non biaisés. Ce résultat contre-intuitif découle du fait que les biais de confirmation nous permettent de négliger certaines erreurs de prédiction négatives liées au hasard et non informatives... C'est un peu ce qui permet à un étudiant en médecine de se cramponner à ses études en se raccrochant à tous les indices qui lui laissent croire qu'il va réussir, alors qu'il aurait de multiples occasions d'abandonner s'il accordait trop d'importance aux inévitables revers qui jalonnent son parcours.

DES AVANTAGES SÉLECTIFS

Certes, le biais d'optimisme nous tend des pièges terribles. On le voit dans l'exemple du déni climatique. Pendant trop longtemps la plupart des citoyens ont refusé de prendre en compte les nouvelles angoissantes sur l'avenir du climat et de notre planète. Et même quand ils reconnaissent la réalité, cela ne suffit pas forcément à changer les comportements car il faut pour cela un taux d'apprentissage capable de rétroagir sur les choix. On voit poindre l'idée que des biais de ce type ont pu remplir une fonction de survie en des temps anciens (et peut-être encore aujourd'hui : si un homme voit les qualités et les défauts d'une femme alors que son rival ne voit que ses qualités, ce sont probablement les gènes du second qui se perpétueront, plus que ceux du premier). Mais on comprend aussi l'intérêt de ce biais dans de nombreuses situations d'apprentissage : pour nos ancêtres, la clé de la survie était bien souvent de pouvoir pister un animal et repérer des informations indiquant son passage. Il est donc vital d'accorder une valeur importante aux informations positives ; à l'inverse, il est très difficile de suivre une piste uniquement en se fiant à des informations négatives. L'animal n'est pas passé par là, il n'est pas passé par là, ni par là... Très bien, mais cela ne nous dit pas vraiment quelle direction prendre. Procéder par élimination peut être efficace pour résoudre des problèmes à tête reposée dans un bureau, mais, en situation de survie, la vitesse compte. Et un indice de passage vaut mille indices de non-passage.

Ces observations suggèrent que l'apprentissage par récompense fonctionne souvent mieux que celui par punition.

De la même façon, la qualité de la transmission des savoirs et des apprentissages dans l'espèce humaine a été capitale tout au long de l'essor des sociétés. Or il est évident que l'apprentissage par punition est moins efficace dans bien des domaines que celui par récompense : vouloir apprendre à un élève à réaliser un accord de guitare en le punissant pour chaque accord erroné est long, fastidieux et peu productif. Enfin, de nombreuses actions humaines sont tendues vers un but, parfois lointain, et la poursuite d'un objectif doit souvent s'abstraire de certaines informations décourageantes qui aboutiraient plus d'une fois à son abandon.

Faut-il en conclure que notre cerveau est incapable de prendre en compte les informations négatives et persiste dans l'erreur quoi qu'il arrive ? Évidemment, ce n'est pas le cas. Chat échaudé craint l'eau froide, dit l'adage, et un enfant qui se brûle en prenant un plat trop chaud enregistrera l'information et sera plus prudent à l'avenir. Le biais d'optimisme que nous avons démontré ici s'applique probablement à des situations où l'intensité des récompenses et des punitions est comparable. Notre système nerveux est très efficace pour retenir des événements fortement négatifs et réagir par des réactions de fuite, de la peur et de l'évitement, voire de l'anxiété lorsque cela se prolonge. C'est peut-être aussi la raison pour laquelle les réactions à certains dangers comme le réchauffement climatique ne se feront réellement sentir que lorsque les conséquences dramatiques frapperont directement de plus en plus d'habitants de régions du monde qui se sont senties jusqu'à présent protégées. ●

Bibliographie

S. Palminteri et M. Lebreton,

The computational roots of positivity and confirmation biases in reinforcement learning, *Trends Cogn Sci.*, 2022.

S. Palminteri et al.,

The computational development of reinforcement learning during adolescence, *Plos Comput Biol*, 2017.

G. Lefebvre et al.,

Behavioural and neural characterization of optimistic reinforcement learning, *Nature Human Behaviour*, 2017.

W. Schultz et al.,

A neural substrate of prediction and reward, *Science*, 1997.

T. Sharot et al., How unrealistic optimism is maintained in the face of reality, *Nature Neuroscience*, 2011.