

I Brèves

Infection par *T. gondii* et modifications du comportement humain

JOHNSON SK, FITZA MA, LERNER DA *et al.* 2018 Risky business: linking *Toxoplasma gondii* infection and entrepreneurship behaviours across individuals and countries. *Proc. R. Soc. B* 285: 20180822

Les parasites sont souvent définis comme des êtres vivant aux dépens d'un hôte sans lui apporter beaucoup en échange mais il est certainement plus réel de nous voir comme des écosystèmes qui intègrent divers parasites et bactéries commensales dans des relations asymétriques souvent complexes. Nous serions par exemple incapables de survivre sans les bactéries de notre tube digestif.

Les parasites ont aussi participé à notre course à l'évolution. L'émergence de la diversité des espèces végétales ou animales peut être vue comme une réaction de défense qui a permis aux espèces d'être moins vulnérables à certains parasites. La course à l'évolution comporte aussi une certaine symétrie parce que les parasites suivent eux aussi un processus évolutif favorisant leur survie.

L'un des éléments les plus stupéfiants en parasitologie est la capacité du parasite à modifier le comportement de son hôte pour favoriser sa transmission et sa reproduction. Un exemple classique est celui des "zombies snails". *Leucochloridium paradoxum* (vers de la famille des helminthes) suit un cycle de reproduction dans le tube digestif des oiseaux dont les fientes infectées de sporocystes souillent les feuilles de végétaux qui seront éventuellement ingérées par des escargots [1]. Chez l'es-

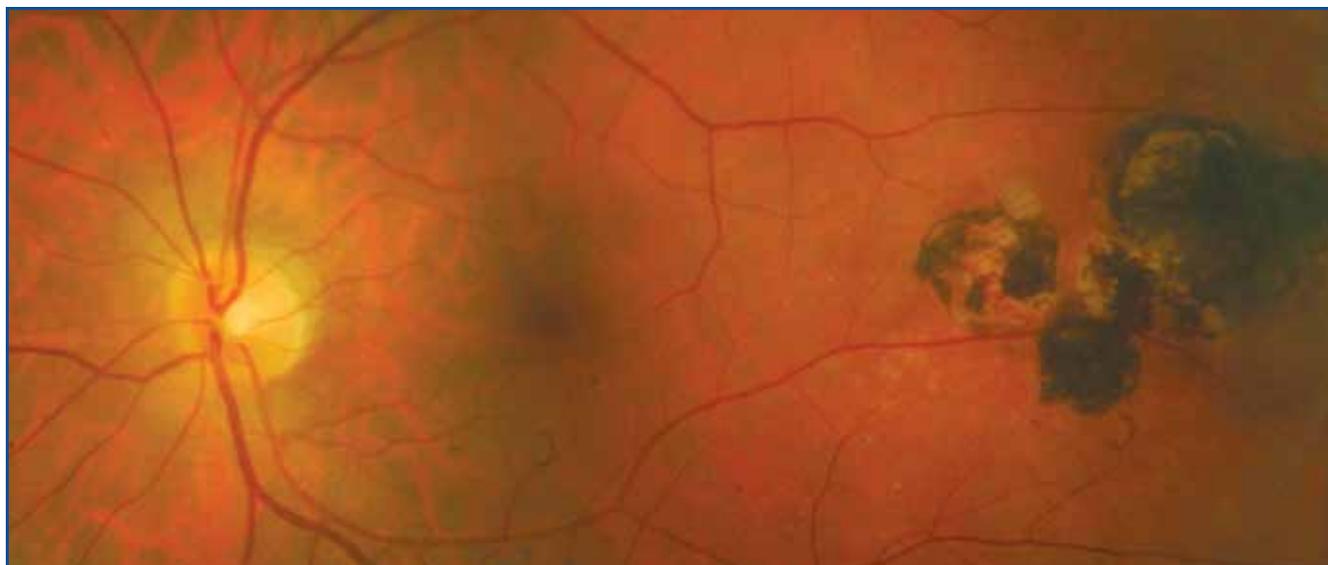
cargot, le parasite produit des sacs pulsatiles qui modifient l'aspect de leurs antennes qui prennent un aspect proche de celui de chenilles. Surtout, l'infection par le parasite incite les escargots à quitter l'abri habituel de la végétation pour évoluer en pleine lumière en agitant leurs antennes ce qui attire le regard des oiseaux prédateurs, favorisant la poursuite du cycle...

De la même manière, plusieurs auteurs ont montré que l'infection par *Toxoplasma gondii* qui concerne environ 2 milliard d'individus sur la planète pouvait modifier le comportement des humains. La plupart de ces modifications sont généralement perçues comme négatives mais l'article publié le mois dernier par l'équipe de Johnson dans les *proceedings* de la *Royal Society* apporte une note plus positive.

Modifications du comportement généralement vues comme négatives

Le toxoplasme est capable d'infecter une centaine d'espèces animales, les hôtes intermédiaires dont l'homme fait partie. En revanche, la reproduction du parasite se fait exclusivement chez le chat domestique ou sauvage. D'un point de vue évolutif, tous les éléments favorisant le risque de prédation par l'hôte définitif sont favorables au parasite. Des études expérimentales sur modèles animaux ont montré que l'infection par *T. gondii* était associée à des comportements à risque de prédation tels qu'une attirance pour l'urine de chat, une tendance à l'exploration à découvert d'espaces nouveaux [2, 3].

Des auteurs ont montré que l'infection par le parasite provoquait une déméthylation des promoteurs de certains gènes au



Cicatrice de rétinopathie toxoplasmique en proche périphérie temporale (cliché TD).

niveau de l'amygdale cérébrale des hôtes intermédiaires modifiant les circuits dopaminergiques associés à la peur [4]. Les stimuli habituellement associés à ces circuits (odeur de l'urine de chat) stimulent alors également l'excitation sexuelle des animaux infectés (phénomène de l'attraction fatale (PFA)) [2, 5].

Chez l'homme, les circuits neuronaux associés à la peur et à l'excitation sexuelle sont également proches et il n'est finalement pas surprenant qu'une étude utilisant une analyse multivariée réalisée chez 36 564 sujets ait récemment montré une majoration des pratiques masochistes chez les sujets infectés par *T. gondii* [6]!

Ces modifications du comportement passeraient par une altération des systèmes dopaminergiques associés aux récompenses et aux plaisirs [7]. L'équipe de Stock a récemment montré que les patients ayant une sérologie positive pour *T. gondii* ont des performances supérieures aux autres dans les situations faisant appel aux fonctions cognitives supérieures mais ont au contraire une diminution de leur sensibilité aux tests basés sur la récompense ce qui pourrait être expliqué par une hyper expression de la dopamine. D'autres auteurs ont montré une hyper expression de la testostérone chez les hommes infectés par le toxoplasme [8]. L'hormone a été associée à une majoration de l'impulsivité, de l'agressivité et de comportements à risques chez l'humain [9].

D'autres études ont montré que l'infection par le toxoplasme pouvait être associée à la fréquence de la schizophrénie et aux tentatives de suicide [10, 11]. De même, une étude a montré une association entre les comportements à risque en voiture (*road rage*) et l'infection par le toxoplasme [12].

Modifications du comportement associées à une note plus positive

Ces éléments apportent un éclairage intéressant sur les comportements et leur éventuelle relation avec la toxoplasmose pourtant généralement réputée comme bénigne. La prévalence de la toxoplasmose est relativement importante en France ce qui est peut-être un élément inquiétant dans la perspective de ces altérations du comportement. Une étude réalisée chez 42 916 femmes en fin de grossesse avait montré que la séroprévalence de la toxoplasmose chez les femmes enceintes a diminué mais reste très importante en France, passant de 54,3 % en 1995 à 43,8 % en 2003 et à 36,7 % en 2010 [13].

L'étude publiée récemment dans les *proceedings* de la *Royal Society* par une équipe mixte, américaine, allemande, espagnole et de Hong Kong apporte une note encourageante. L'équipe de Johnson montre en effet que l'infection par le toxoplasme est un facteur prédictif positif pour l'activité entre-

preneuriale. La peur de l'échec serait moins importante chez les sujets infectés qui seraient alors plus disposés que les autres à monter leur propre entreprise!

Les auteurs ont utilisé des prélèvements de salive chez des étudiants de l'université de Boulder, pour déterminer leur statut vis-à-vis de l'infection à toxoplasme et évaluer une éventuelle association avec leur type d'orientation professionnelle. Au Colorado, les étudiants choisissent d'abord l'inscription à une section "arts et science", "business" et "ingénierie". Une fois admis à une section, ils choisissent une option principale. Dans la section "business", ils peuvent choisir entre "finance", "comptabilité", "marketing" et "activité d'entrepreneurs". Dans la section "arts et science", les options sont "biologie", "psychologie", "physique", "chimie" etc.

Les auteurs montrent que les sujets ayant des IgG positives pour *T. gondii* (n = 1 495) étaient 1,4 fois plus susceptibles de s'orienter sans la section "business" et dans cette section, ils étaient 1,7 fois plus susceptibles de s'orienter vers "l'activité d'entrepreneur" plutôt que vers les autres options.

Parmi les professionnels qui participaient à des congrès d'entrepreneurs, les individus ayant des IgG positives pour *T. gondii* étaient 1,8 fois plus susceptibles d'avoir monté leur propre entreprise que les autres participants (n = 197).

Enfin, après avoir synthétisé et combiné les données de différents pays concernant l'infection au toxoplasme depuis 25 ans, et l'activité entrepreneuriale globale, il apparaît que la prévalence de la toxoplasmose est un facteur prédictif de l'activité entrepreneuriale indépendamment des autres facteurs économiques.

Conclusion

Le comportement des individus fait intervenir un mélange de décisions basées sur le raisonnement et sur l'impulsion. L'article illustre la relation complexe entre l'infection parasitaire d'un hôte intermédiaire et les altérations de son comportement avec une modification des fonctions supérieures pouvant avoir des conséquences positives sur l'activité entrepreneuriale et même la productivité économique. Les mécanismes de ces interactions entre une infection et des comportements font intervenir des neurotransmetteurs tels que la dopamine ou la testostérone mais la séquence précise des éléments influencés reste encore mal précisée.

BIBLIOGRAPHIE

1. Cycle du *Leucochloridium paradoxum* https://en.wikipedia.org/wiki/Leucochloridium_paradoxum. ; Accédé en Août 2018.

Brèves

2. BERDOY M, WEBSTER JP, MACDONALD DW. Fatal attraction in rats infected with *Toxoplasma gondii*. *Proc Biol Sci*, 2000;267: 1591-1594.
3. TAN D, VYAS A. *Toxoplasma gondii* infection and testosterone congruently increase tolerance of male rats for risk of reward forfeiture. *Horm Behav*, 2016;79:37-44.
4. HARI DASS SA, VYAS A. *Toxoplasma gondii* infection reduces predator aversion in rats through epigenetic modulation in the host medial amygdala. *Mol Ecol*, 2014;23:6114-6122.
5. FLEGR J, MARKOS A. Masterpiece of epigenetic engineering - how *Toxoplasma gondii* reprogrammes host brains to change fear to sexual attraction. *Mol Ecol*, 2014;23:5934-5936.
6. FLEGR J. Does *Toxoplasma* infection increase sexual masochism and submissiveness? Yes and no. *Commun Integr Biol*, 2017;10:e1303590.
7. STOCK AK, DAJKIC D, KOHLING HL *et al.* Humans with latent toxoplasmosis display altered reward modulation of cognitive control. *Sci Rep*, 2017;7:10170.
8. COOK TB, BRENNER LA, CLONINGER CR *et al.* "Latent" infection with *Toxoplasma gondii*: association with trait aggression and impulsivity in healthy adults. *J Psychiatr Res*, 2015;60:87-94.
9. CUEVA C, ROBERTS RE, SPENCER T *et al.* Cortisol and testosterone increase financial risk taking and may destabilize markets. *Sci Rep*, 2015;5:11206.
10. ANSARI-LARI M, FARASHBANDI H, MOHAMMADI F. Association of *Toxoplasma gondii* infection with schizophrenia and its relationship with suicide attempts in these patients. *Trop Med Int Health*, 2017;22:1322-1327.
11. TORREY EF, BARTKO JJ, LUN ZR *et al.* Antibodies to *Toxoplasma gondii* in patients with schizophrenia: a meta-analysis. *Schizophr Bull*, 2007;33:729-736.
12. SAMOJLOWICZ D, BOROWSKA-SOLONYNKO A, GOLAB E. Prevalence of *Toxoplasma gondii* parasite infection among people who died due to sudden death in the capital city of Warsaw and its vicinity. *Przegl Epidemiol*, 2013;67:29-33, 115-118.
13. TOURDJMAN M, CATHERINE TCHÉANDJIEU C, DE VALK H *et al.* Toxoplasmose chez les femmes enceintes en France : évolution de la séroprévalence et des facteurs associés entre 1995 et 2010, à partir des enquêtes nationales périnatales. *Bull Epidemiol Hebd*, 2015;264-272.



T. DESMETTRE

Centre de rétine médicale, MARQUETTE-LEZ-LILLE
London International Medical Centre,
LONDRES.