HAL
open science

From inert matter to the global society - Life as multi-level networks of processes.

David Chavalarias

To cite this version:

David Chavalarias. From inert matter to the global society - Life as multi-level networks of processes.. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2020, 375 (1796), pp.145-152. 10.1098/rstb.2019.0329 . hal-02429928

HAL Id: hal-02429928

https://hal.science/hal-02429928v1

Submitted on 13 Jan 2020

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.

Copyright

Formes collectives

David Chavalarias,
Directeur de Recherche au Centre d'Analyse et de Mathématique Sociales,
École des Hautes Études en Sciences Sociales & CNRS
http://chavalarias.org

Chacun a déjà pu observé une colonie de fourmis s'accaparer les quelques aliments laissés la veille sur une table de jardin. Traçant, à l'instar d'une colonne d'infanterie, un chemin relativement rectiligne, les insectes semblent s'atteler à leur tâche jusqu'à ce que leur mission soit accomplie. La comparaison avec l'ordre militaire s'arrête cependant là, car les deux systèmes sont fondamentalement différents. À une organisation centralisée qui vit dans la tête de quelque général, la fourmilière oppose une organisation totalement décentralisée, où chaque individu ne communique qu'avec ses plus proches voisins, sans qu'aucun n'ait de représentation de ce que fait le collectif. La fourmilière dans son ensemble réalise pourtant des tâches très complexes qui peuvent couvrir, outre la quête de nourriture, la construction du nid, la culture de champignons, l'élevage de pucerons, la constitution de radeaux, etc.

Cette capacité d'une espèce à passer de comportements individuels relativement simples à des comportements collectifs complexes a été appelée *intelligence collective*. Les fourmis et autres insectes sociaux (abeilles, guêpes, termites, etc.) ont été les premières sociétés animales à être étudiées sous cet angle (Bonabeau & Théraulaz, 1994). Leurs membres traitent collectivement des problèmes qu'aucun d'entre eux n'est capable de résoudre individuellement, ni même de concevoir. L'un des principes fondamentaux à l'origine de cette intelligence collective est la *stigmergie :* une coordination indirecte entre individus médiatisée par des traces laissées dans l'environnement.

Ce principe est mis en œuvre à l'échelle de la fourmilière. Lorsqu'une fourmi rapporte de la nourriture au nid, elle laisse sur son passage des phéromones, marqueurs chimiques d'un chemin vers une source potentielle de nourriture. Les autres fourmis ayant tendance à suivre les traces de phéromone de leurs congénères, leurs chances de découvrir cette même source de nourriture s'en trouve augmentée, ce qui contribue au renforcement de la trace collective de phéromone. Un effet renforce sa cause, c'est ce que l'on appelle une *rétroaction positive*, figure causale connue pour mener à l'émergence de structures et de formes.

La qualité de la phéromone, sa persistance dans l'environnement, la propension des fourmis à la déposer dans l'environnement est le fruit de millions d'années d'évolution et d'adaptation de la fourmilière à son environnement. Ces caractéristiques diffèrent d'une espèce de fourmi à l'autre et cette différence se reflète dans les formes que génère une fourmilière quand elle chasse (cf. Fig. 1).

Les insectes sociaux génèrent des comportements collectifs complexes à partir de colonies d'individus cognitivement simples. A l'autre extrême, l'espèce humaine développe une forme d'intelligence collective à partir d'individus déjà cognitivement sophistiqués. Nous pouvons donc nous attendre à un saut de complexité encore plus important entre les niveaux individu et collectif.

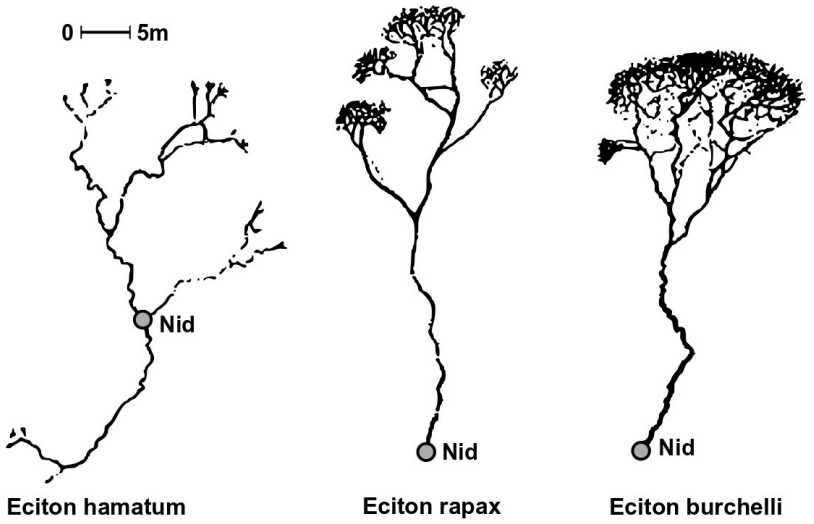

Figure 1. Motifs de chasse de différentes espèces de fourmis légionnaires. Source : Deneubourg & Goss 1989.

Quelles formes nos interactions stigmergiques génèrent-elle et que représentent-elles ?

L'intelligence collective humaine a pris de l'ampleur au fur et à mesure que les supports stigmergiques se diversifiaient. Elle a connu un saut qualitatif très important lors de l'invention de l'imprimerie, qui a permis de partager de manière de plus en plus décentralisée des récits, instructions et connaissances lus, amendés et interprétés par des milliers, puis des millions d'individus.

Dès les premières initiatives pour synthétiser la masse de connaissances ainsi générée, la question de la forme s'est posée. Ainsi en 1751, dans sa préface à la première encyclopédie, d'Alembert évoquait l'aspect labyrinthique et buissonnant de la connaissance humaine, dont il aspirait à en faire une représentation sur le modèle des cartes géographiques. Ainsi décrivait-il l'entreprise de la première Encyclopédie :

> […] rassembler dans le plus petit espace possible, & à placer, pour ainsi dire, le Philosophe au-dessus de ce vaste labyrinthe dans un point de vûe fort élevé d'où il puisse apercevoir à la fois les Sciences & les Arts principaux ; voir d'un coup d'œil les objets de ses spéculations, & les opérations qu'il peut faire sur ces objets ; distinguer les branches générales des connoissances humaines, les points qui les séparent ou qui les unissent ; & entrevoir même quelquefois les routes secrètes qui les rapprochent. C'est une espèce de Mappemonde qui doit montrer les principaux pays, leur position & leur dépendance mutuelle, le chemin en ligne droite qu'il y a de l'un à l'autre ; chemin souvent coupé par mille obstacles, qui ne peuvent être connus dans chaque pays que des habitans ou des voyageurs, & qui ne sauroient être montrés que dans des cartes particulières fort détaillées. Ces cartes particulieres seront les différens articles de notre Encyclopédie, & l'arbre ou système figuré en sera la mappemonde.

Plus de deux cent ans après, la cartographie des sciences s'est donné exactement la même mission avec les outils modernes de fouille de texte et de visualisation d'information. Elle développe des méthodes qui permettent de synthétiser les immenses corpus académiques numérisés via des cartes qui proposent d'en explorer les contenus par grandes thématiques.

Par exemple, le *Tweetoscope Climatique* (Chavalarias et al. 2015, http://tweetoscope.iscpif.fr), propose une cartographie interactive de cinq années de recherches sur le changement climatique. À partir de l'analyse de près de 30,000 notices d'articles, elle identifie les principales expressions clés du domaine et la manière dont les chercheurs les mettent en relation. Cette « carte » est ainsi constituée de termes, représentés par des nœuds, qui sont reliés entre eux lorsqu'ils ont une forte proximité d'usage dans la littérature. Les termes sont disposés sur la carte de telle sorte que ceux qui interagissent fortement entre eux soient proches. Comme pour les images des réseaux de phéromones, cette carte montre les chemins intellectuels empruntés de manière récurrente par les chercheurs. Émerge de l'agrégation de ces chemins un « labyrinthe » parfaitement structuré, qui donne à voir en surplomb les grands « continents » de la recherche sur le changement climatique : les énergies fossiles et les émissions de gaz à effet de serre, les impacts sur les sociétés humaines, les questions de biodiversité, les écosystèmes des sols, etc. L'articulation entre ces grandes thématiques est révélée par leurs proximités sur la carte et il ressort de cette cartographie une structure en forme de *V*, sous-jascente à la recherche dans ce domaine. Celle-ci est formée de deux grandes branches de la connaissance, l'une liée aux recherches sur les écosystèmes (terrestres, marins, des sols), l'autre à celles sur l'impact de et sur les société humaines (énergie, agriculture, gestion de l'eau, effets sur la santé, etc.). Ces branches sont reliées par les questions de modélisation et quelques chemins transverses. Les traces (publications académiques) laissées par la communauté scientifique génèrent ainsi des formes qui révèlent la manière dont ses membres appréhendent collectivement le problème du changement climatique.

La carte du Twee*toscope climatique* (Fig. 2) est établie à partir de traces lentement distillées par les scientifiques. La science est l'une des plus belles réalisation stigmergique humaine, fruit d'une concentration des efforts sur le long terme. Mais le recours à la stigmergie dans nos sociétés n'a jamais été aussi important qu'aujourd'hui et s'étend bien au-delà de la sphère scientifique, jusque dans notre quotidien. Au cœur des transformations numériques de nos sociétés, elle constitue l'une des clés de compréhension des comportements collectifs auxquels tous, à notre manière, nous participons.

Wikipedia en est un très bon exemple. Pur produit d'interactions stigmergétiques, il est le cinquième site le plus consulté au monde avec, pour la France, plus de 50.000 contributeurs et plus de 10 millions d'éditions par an. Collectivement, les contributeurs de Wikipedia font vivre un média qui synthétise en temps réel un ensemble de faits et connaissances qu'il n'aurait été impossible de concevoir sans un support stigmergique comme le web.

A l'ère numérique, chaque contribution à une page web, chaque publication sur un réseau social ou un forum, chaque évaluation laissée sur un site commercial sont autant de traces que nous laissons derrière nous et qui seront susceptibles d'orienter les actions futures de parfaits inconnus. Ces interactions stigmergiques, comme dans le cas de la fourmilière, génèrent des constructions sociales sans commune mesure avec ce qu'auraient pu produire des individus isolés.

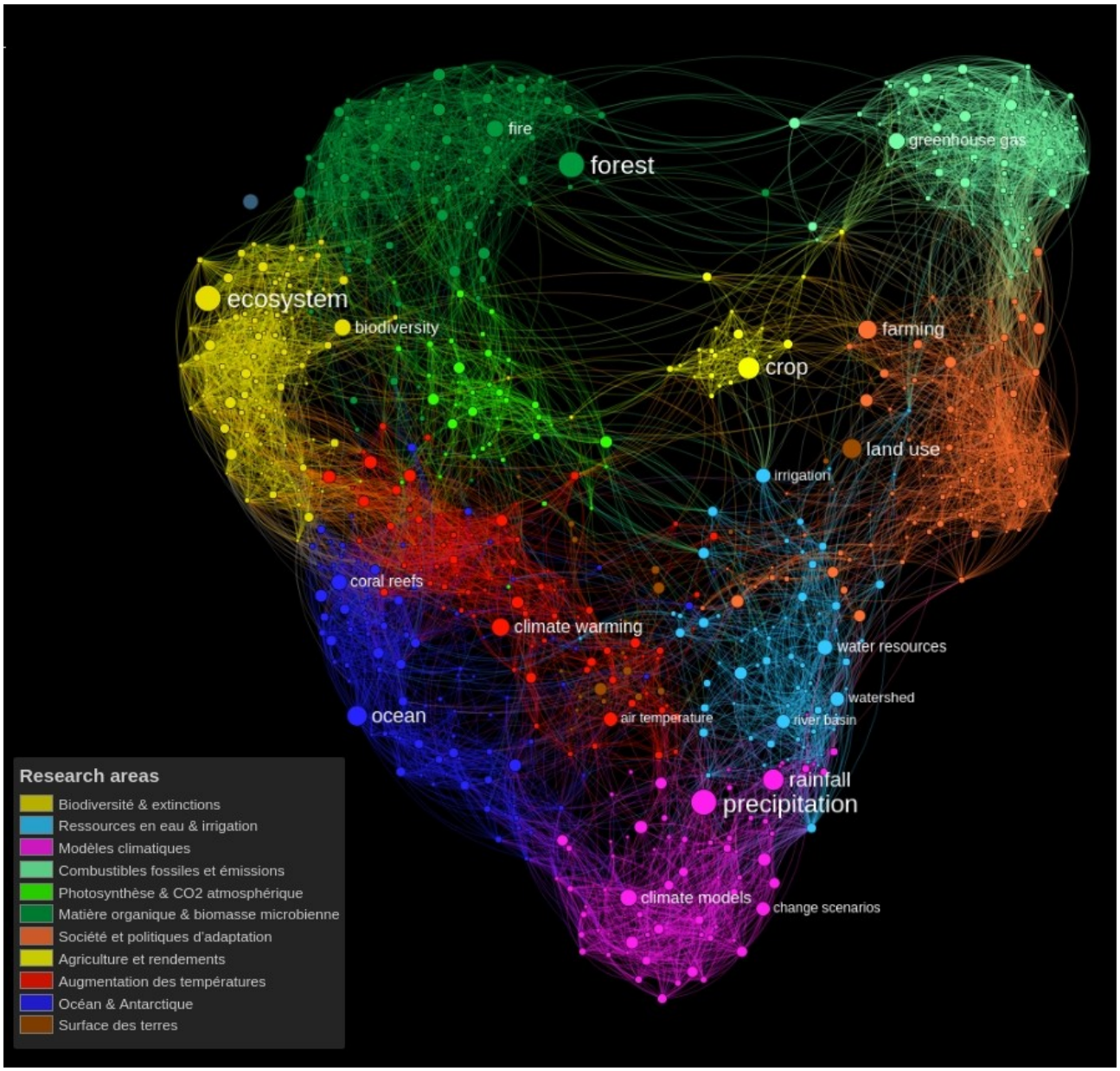

Figure 2 : représentation des fronts de recherche sur le changement climatique sur la période 2014-2015. Les points correspondent aux principales expressions utilisées dans ces recherches, les liens entre deux expressions traduisent leur mise en correspondance par les chercheurs.

Outre la science, cette intelligence collective génère des « pensées » plus volatiles, produites sur des échelles de temps beaucoup plus courtes (jours, heures) correspondant à des incursions collectives sur des sujets divers et variés. Une fenêtre sur cette manifestation de l'intelligence collective nous a été ouverte récemment par les media sociaux, dont ils faut rappeler qu'ils n'ont pas vingt ans. Parmi ceux-ci, Twitter est probablement celui ou la composante stigmergique est la plus prégante : tout le monde peut poster des messages, ceux-ci peuvent être lu par tout le monde et la plateforme est pensée pour inciter ses utilisateurs à reprendre du contenu publié en le relayant avec ou sans modification.

Sur ce type de média, des sous populations entières s'engagent régulièrement dans des débats ou des réactions à l'actualité rendant présent à la « conscience collective» tel ou tel phénomène ou enjeu. Que ces prises de conscience soient éphémères ou déclenchent des tempêtes médiatiques, elle contribuent, sur le long terme, à façonner l'opinion publique. A nouveau, il est possible de donner

une forme à ces cheminements collectifs en utilisant des méthodes de reconstruction de dynamiques sociales, comme par exemple la reconstruction des phylomémies (Chavalarias et Cointet 2013).

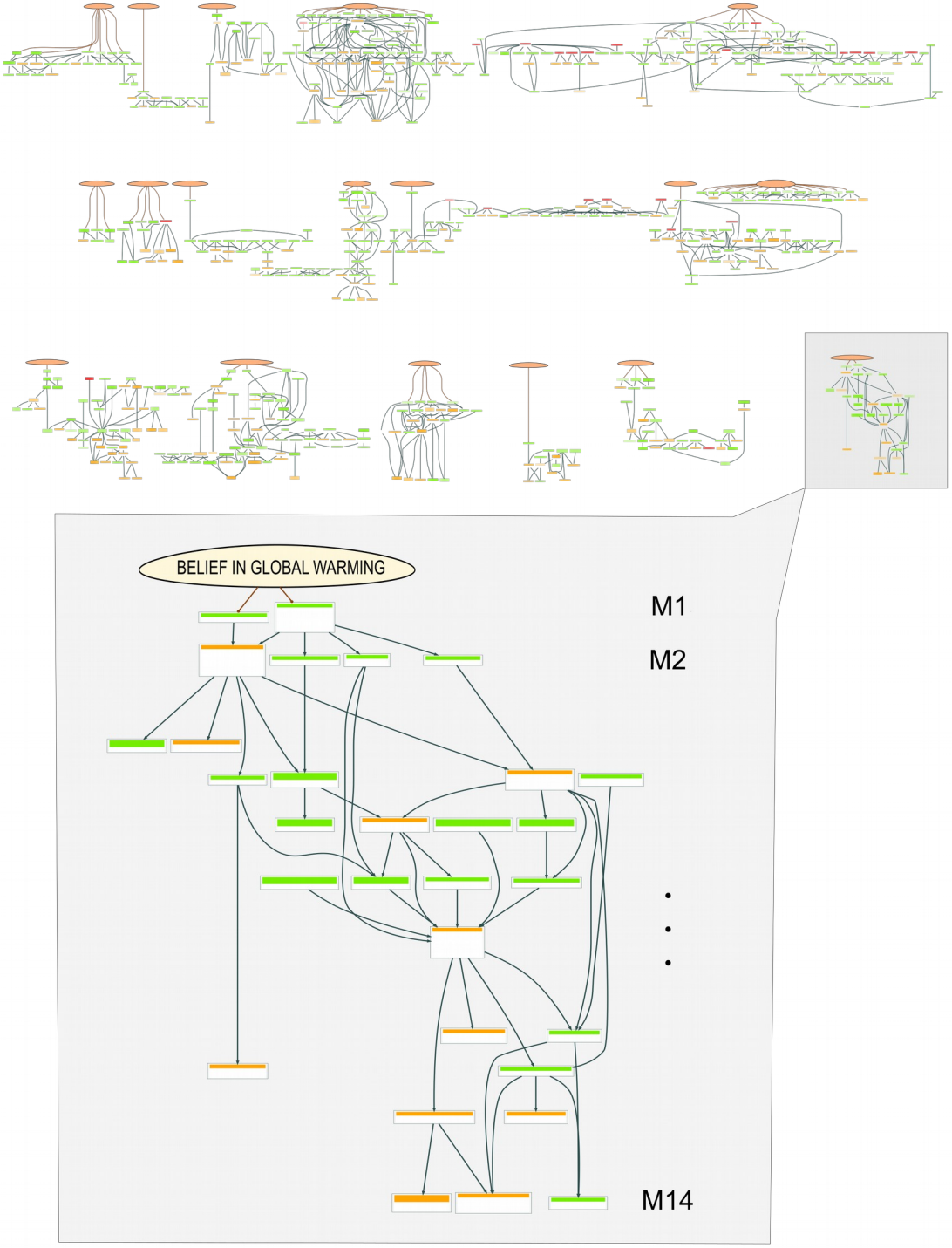

Figure 3. Ensemble de quelques débats liés au changement climatique, reconstruits à partir de données Twitter. Chaque branche correspond à un débat particulier. Le zoom montre la structure du débat autour de la croyance dans le changement climatique sur 14 mois (de M1 à M14). Chaque rectangle correspond à la présence d'un sujet particulier discuté sur une période de 1 mois. Les sujets sont caractérisés par un ensemble de termes qui ne sont pas affichés ici pour des raisons de clarté. Les sujets sont reliés entre eux d'une période à l'autre lorsqu'ils sont apparentés (poursuite d'un même débat). Chaque débat a une morphologie particulière qui reflète sa longévité, sa diversité, sa résilience, le nombre de personnes impliquées, sa vivacité, etc. Le détail de ces branches est disponible sous forme interactive sur https://iscpif.fr/stalagmemes.

Une phylomémie est une structure formelle reconstruite à partir de l'analyse de productions textuelles. Elle retrace au cours du temps, sous forme de réseau de thèmes, l'évolution des groupes

de concepts manipulés par une communauté d'acteurs. Si nous appliquons cette méthode à un ensemble de quelques millions de tweets collectés pendant un peu plus d'un an autour de la COP21 (Dec. 2015)[1], nous obtenons des structures qui peuvent évoquer les motifs de chasse d'une fourmilière.

Cette analogie est cependant limitée car tout porte à penser que les caractéristiques et la variété des formes de ces traces numériques sont bien plus grandes que ce que l'on peut trouver ailleurs dans la Nature.

La Nature est très riche en formes de toutes sortes sculptées par la sélection naturelle : rainures des feuilles, formes des termitières et des ruches, formes des organes, formes des bancs de poissons, etc. Si certaines de ces formes peuvent être dues au hasard (évolution neutre), la plupart répondent à des contraintes biologiques et physico-chimiques bien établies. Dans le cas d'une fourmilière, nous l'avons vu, les formes émergentes sont le fruit d'une longue adaptation à des contraintes environnementale. L'optimisation évolutionnaire abouti à des patterns de chasse qui sont les plus efficaces étant données l'environnement et présentent de ce fait certaines régularités.

Le cas des systèmes sociaux est totalement différent en ce sens qu'ils n'ont pas, jusqu'à preuve du contraire, de finalité ou de principe fondamental qu'ils optimiseraient. Les formes et régularités des systèmes sociaux sont le produit d'une auto-organisation qui, comme le faisait remarquer Hayek (1990), dépend des caractéristiques cognitives et comportementales des individus, celles-ci étant elles-mêmes pour une large part le produit de cette auto-organisation.

L'autre différence fondamentale, est que les individus qui composent un systèmes social peuvent se concevoir comme faisant partie d'un collectif qui les transcende et, pour autant qu'on leur donne des représentations de ce collectif en train d'agir, ils ont la capacité d'intégrer cette connaissance à leurs manières de penser et à leurs comportements.

Alors que l'analyse des traces numériques de nos sociétés constitue un enjeu fondamental pour les sciences sociales contemporaines, l'évolution de notre intelligence collective et notre capacité à résoudre les défis sociétaux du XXIeme siècle dépendra très probablement elle aussi, de notre capacité à rendre tangibles, pour les citoyens qui les engendrent, les manifestations et les effets des phénomènes d'intelligence collective. Proposer un point de vue en temps réel sur ces manifestations était l'humble l'ambition, par le biais d'une démarche artistique, de l'installation *Stalagmemes* présentée lors de l'exposition *Le Rêve des Formes* au Palais de Tokyo en 2017 (http://stalagmemes.org).

Références

Bonabeau, E., Dorigo, M., Theraulaz, G., 1999. Swarm intelligence: from natural to artificial isystems. Oxford University Press, New York.

1 Tweets collecté par la plateforme Multivac de l'Institut des Systèmes Complexes de Paris dans le cadre du projet *Tweetoscope Climatique*.

Chavalarias, D., Cointet, J.-P., 2013. Phylomemetic patterns in science evolution—the rise and fall of scientific fields. PloS one 8, e54847.

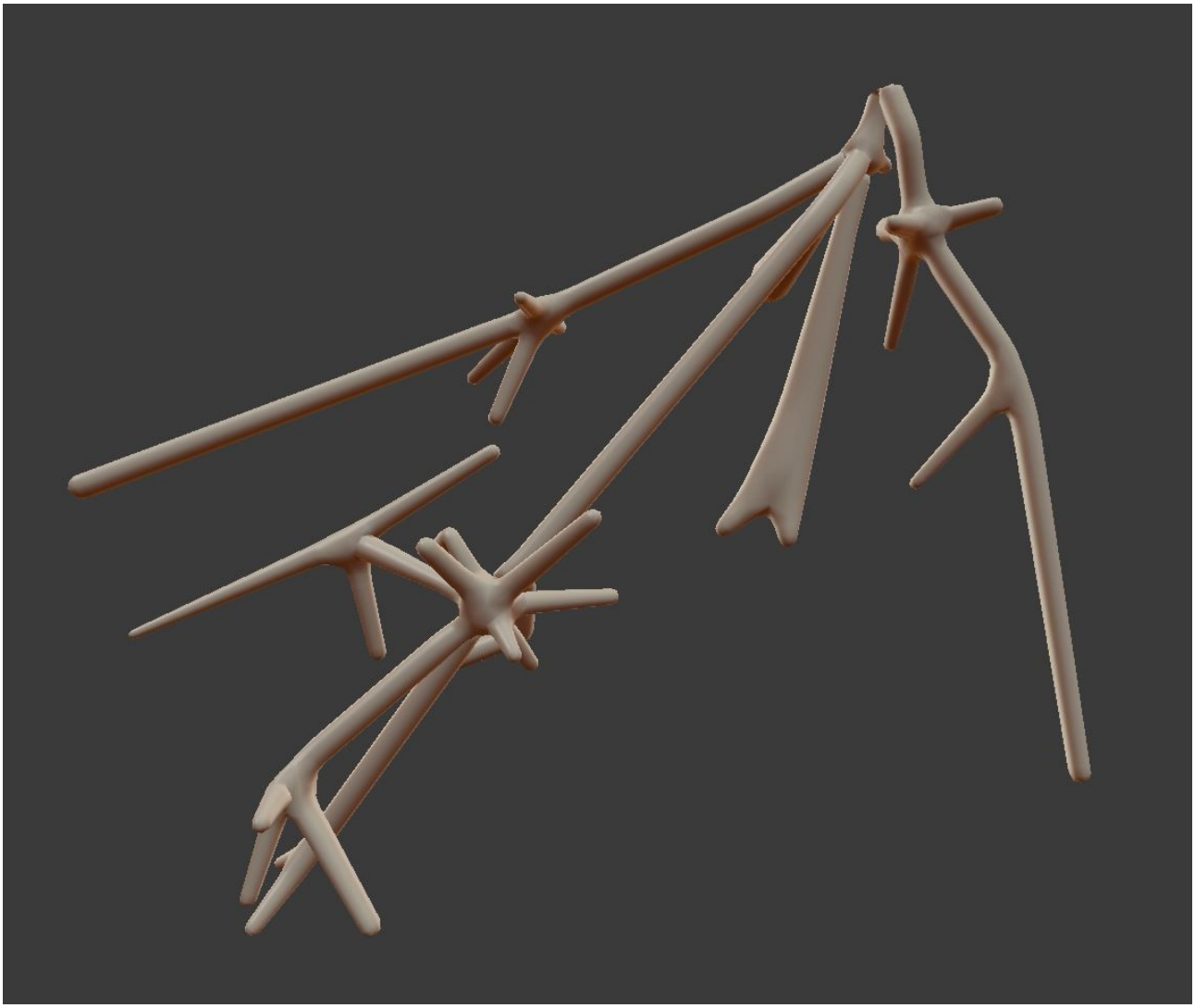

Figure 4 : Représentation graphique de la branche phylomemetique « *belief in global warming* » au sein de l'installation *Stalagmemes (source : Chavalarias D., Pepe J. et Rostagnat T. 2017). Ce « stalagememe »* figurait dans la grotte virtuelle de l'installation et se développait en temps réel en proportion des débats sur ce thème sur Twitter.

Chavalarias D., Panahi M., Castillo S. (2015) Le Tweetoscope Climatique, Installation pour l'exposition *Le Climat à 360°*. Cité des Sciences et de l'Industrie. http://tweetoscope.iscpif.fr

Deneubourg, J. L., Goss. S., Collective patterns and decision-making., *Ethol. Ecol. Evol*. 1: 295 –311., 1989

Hayek, F.A. von, 1990. New studies in philosophy, politics, economics and the history of ideas, Reprint. ed. Routledge, London.