

V^E COLLOQUE TIC & TERRITOIRE : QUELS DEVELOPPEMENTS ?
Université de Franche Comte, Besançon, 9-10 juin 2006

GÉOGRAPHIE PHYSIQUE ET GÉOGRAPHIE HUMAINE DU WEB

Roger Bautier

Professeur en sciences de l'information et de la communication

bautier@sic.univ-paris13.fr

LabSic – Université Paris 13

Résumé : Cet article étudie les contributions récentes de la physique à la géographie du web. Son objectif est de déterminer leurs conséquences possibles sur la compréhension des territoires virtuels et physiques.

Mots-clés : web, physique, sciences humaines et sociales.

Abstract : This paper explores the recent contributions of physics to a geography of the web. It aims to evaluate their possible consequences on the understanding of the virtual and physical territories.

Keywords : web, physics, human and social sciences.

GÉOGRAPHIE PHYSIQUE ET GÉOGRAPHIE HUMAINE DU WEB

INTRODUCTION

Dès les débuts du world wide web, une collaboration entre les sciences de la communication et la sociologie, la science politique ou l'économie a rendu possible le repérage précis des limites de la mise en œuvre des potentialités offertes par l'internet et les réseaux qui, comme le web, en sont l'émanation. Au cours des dernières années, cependant, ces limites ont été aussi déterminées et évaluées par des travaux issus non plus des sciences humaines et sociales mais de la physique, travaux qui ont considéré les réseaux étudiés, spécifiquement celui des sites web (et des sites particuliers que constituent les blogs), comme des systèmes complexes soumis à des lois de développement relevant des sciences naturelles.

Si l'on considère le web comme un territoire virtuel, on est ainsi passé d'une géographie humaine à une géographie physique de ce territoire. Ces travaux ont fourni, notamment à partir de l'application de la théorie des graphes, des éléments très précieux pour une meilleure connaissance de la structure du web, tant au niveau macroscopique qu'au niveau microscopique, et pour une description statistique relativement fine de son évolution. En revanche, ces mêmes travaux ont tendu, de manière très discutable, à contester la pertinence des approches relevant des sciences humaines et sociales et à favoriser des conceptions réductrices de l'action humaine sur les territoires virtuels ou non.

1. UNE GÉOGRAPHIE DU WEB ? L'APPLICATION DE LA THÉORIE DES GRAPHES

Le cadre de réflexion peut être précisé en faisant référence aux différents aspects que Parrochia (1999) recommande de distinguer lorsque l'on parle de réseaux. Premier aspect : l'aspect topologique. On identifie alors le concept de réseau à celui de graphe (au sens de la théorie mathématique des graphes). Deuxième aspect : on envisage des structures dans lesquelles circulent des flux ou des flots

(le point de vue adopté est celui de la théorie des réseaux de transport). Troisième aspect : on s'intéresse à des réseaux complexes, difficiles à modéliser, notamment ceux qui sont associés aux systèmes vivants, et on parle de réseaux autonomes, de réseaux autopoïétiques qui « s'auto-constituent, se gèrent et se maintiennent par leurs propres ressources et sont, en outre, auto-régulés ». Les travaux qui seront évoqués maintenant relèvent clairement du premier aspect, tout en fournissant, on le verra, une introduction possible au traitement du troisième aspect.

La description topologique de tels réseaux adopte, en effet, aisément le cadre de la théorie des graphes. Un graphe est un couple, qu'on appellera par exemple G , formé par deux ensembles d'éléments, qu'on appellera par exemple S et A , étant donné que les éléments de A sont des couples d'éléments (des arêtes si les couples ne sont pas ordonnés, des arcs s'ils le sont) qui appartiennent à S (les sommets). Pour un graphe très simple, on aura par exemple : $G = \{S, A\}$, $S = \{a, b, c, d\}$, $A = \{\{a, b\}, \{a, c\}, \{a, d\}, \{c, d\}\}$. On définit le degré (ou la valence) d'un sommet comme le nombre des arêtes qui lui sont incidentes et on parle de degré entrant ou de degré sortant quand le graphe est orienté. Sur le plan statistique, les grands graphes (comme ceux des réseaux physiques ou virtuels issus du développement de l'internet) peuvent être caractérisés par une distribution de degrés : celle-ci exprime la probabilité qu'un sommet quelconque ait un certain degré (entrant ou sortant).

Il est ainsi tout à fait légitime de considérer l'internet, en tant que réseau physique, comme un graphe. On assimile alors les machines à des sommets et les liaisons physiques entre les machines à des arêtes. Dès la fin des années quatre-vingt-dix, il a été ainsi possible de montrer (Faloutsos et al., 1999) que l'exploration de ce graphe faisait apparaître, aussi bien au niveau des routeurs de l'internet qu'au niveau des systèmes autonomes, des distributions dites « larges ». Cela signifie que, s'il existe bien de nombreux sommets à faible degré, il n'empêche que la probabilité de

trouver des sommets à fort degré n'est pas négligeable et que, par conséquent, le degré moyen ne représente rien de spécifique.

A la fin des années quatre-vingt-dix également, plusieurs études ont mis l'accent sur les distributions concernant non plus le réseau physique de l'internet mais le réseau virtuel du web. Elles ont visé tout d'abord à mieux connaître la structure même du web en tant que réseau se présentant comme un ensemble de nœuds reliés par des liens hypertextuels. C'est ainsi que l'on a pu montrer que ce réseau était, lui aussi, marqué par des distributions « larges » (Barabasi, Albert, Jeong, 2000). Ces études, confirmées souvent ensuite, ont souligné que, loin d'être constitué de nœuds dont la plupart auraient un nombre de liens proche d'une certaine moyenne (on aurait alors une représentation de la distribution en forme de cloche), le réseau du web est, au contraire, formé de nœuds dont certains, très nombreux, n'ont que très peu de liens voire aucun, alors que d'autres (des super-nœuds), en petit nombre, en ont beaucoup ou même énormément. D'où une représentation de la distribution qui est caractéristique d'un réseau connecté suivant une « loi de puissance » (Barabasi, 2002).

2. LE WEB : UN TERRITOIRE DE MIEUX EN MIEUX CONNU

Les présentations synthétiques des résultats principaux existent déjà en grand nombre, qu'elles soient relativement techniques (Albert, Barabasi, 2002 ; Dorogovtsev, Mendes, 2002 ; Newman, 2003 ; Pastor-Satorras, Vespignani, 2004), ou qu'elles soient plus vulgarisatrices (Barabasi, 2002 ; Buchanan, 2002 ; Huberman, 2001 ; Watts, 2003).

Une des propriétés les plus intéressantes qui sont mises en évidence est celle qui se rencontre aussi bien dans la structure de l'internet en tant que réseau physique que dans celle des réseaux virtuels hébergés par l'internet. Il s'agit de la propriété qu'ont ces réseaux de constituer des réseaux « sans échelle typique » ou « sans échelle caractéristique » (expressions plus adéquates que « invariants d'échelle », quelquefois utilisée pour traduire « scale-free »), cette propriété étant liée à la présence de distributions statistiques dont on peut rendre compte par une « loi de puissance ». Les

travaux en question se sont orientés souvent, d'une part, vers l'évaluation précise de ces distributions, d'autre part, vers la modélisation de l'évolution des réseaux étudiés.

En ce qui concerne le premier objectif, la recherche a porté sur la « loi de puissance » elle-même. On constate que la probabilité qu'un nœud ait k liens est inversement proportionnelle à k^n et l'on peut déterminer la valeur de l'exposant n pour les degrés entrants et les degrés sortants des pages web : n semble proche de 2,1 pour les premiers et varier entre 2,4 et 2,8 pour les seconds. Cependant, en fonction du contenu des pages, on a observé des variations assez importantes, pouvant faire passer n de 2,1 à 2,6 (Pennock, Flake, Lawrence, et al., 2002).

Cette dernière remarque montre la difficulté qu'il y a à traiter du second objectif. En effet, l'intérêt porté aux réseaux complexes tels que ceux qui sont issus du développement de l'internet a fait apparaître qu'il était judicieux de modéliser le fonctionnement de ces réseaux en supposant deux caractéristiques qui, appliquées au web (Barabasi, Albert, Jeong, 2000), se traduisent par une première hypothèse, selon laquelle le réseau de pages est en expansion continue, et par une seconde hypothèse, selon laquelle une nouvelle page inclura des liens vers des pages déjà existantes avec une probabilité proportionnelle au degré entrant de ces pages. Il s'agit de ce que l'on appelle un « attachement préférentiel », qui est la traduction d'une tendance à ce que « les riches deviennent toujours plus riches ». On notera que ce type de modélisation a suscité de nombreux correctifs, ainsi que de nombreuses propositions concurrentes au cours des dernières années (plus ou moins éloignées de la proposition initiale), qu'il s'agisse de son application à l'internet et au web ou, plus récemment, de son application aux réseaux de courrier électronique, de messagerie instantanée et de systèmes peer-to-peer.

La relance extraordinaire des travaux portant sur les réseaux a été bien évidemment suscitée par la rencontre de ces ensembles gigantesques, dont la structure et l'expansion ont été très vite considérées comme ne permettant de les assimiler ni à des graphes totalement réguliers, ni à des graphes totalement aléatoires, alors même qu'ils étaient « auto-organisés » et non pas régulés par une

autorité centrale. Le champ d'études qui en a résulté est d'une fécondité telle que celle-ci a sans doute quelquefois obscurci des distinctions qui doivent pourtant être maintenues entre :

- ce qui relève, d'abord, de la démonstration mathématique (par exemple : le fait que, dans un graphe, le nombre de sommets de degré impair est pair) ;
- ce qui relève, ensuite, de l'observation empirique, nécessairement partielle, et qui va être, éventuellement, exprimé sous forme mathématique (par exemple : les distributions statistiques dont on peut donner une approximation en recourant à une « loi de puissance ») ;
- ce qui relève, enfin, de la simulation (par exemple : l'engendrement de réseaux par tel ou tel programme informatique, dont la fonction peut être de servir à prévoir une étape prochaine dans le développement d'un réseau existant).

3. PREMIÈRE DÉSHUMANISATION DU TERRITOIRE : UN MACRO-ORGANISME ?

Mais ce ne sont pas ces distinctions qui sont en cause directement dans les développements d'une géographie du web oublieuse de la dimension humaine du territoire qu'elle considère. Cette déshumanisation est bien plutôt le fait de ceux qui, plus philosophes que physiciens, pensent qu'il s'agit de permettre au web d'organiser, de manière autonome, les connaissances qu'il contient, de manière à favoriser l'intégration des individus dans un macro-organisme collectif dont le web serait le système nerveux.

Un exemple parmi d'autres : la visualisation de l'avenir de l'humanité par la « métaphore du cybionte, macro-organisme planétaire en voie d'émergence » (Rosnay, 1995) et la présentation du cybionte comme un « macro-organisme sociétal » comparable à l'écosystème planétaire. Plus précisément, Joël de Rosnay estime que les systèmes de communication fondés sur l'utilisation des ordinateurs forment « l'ébauche du système nerveux et du cerveau du cybionte » et que le cybionte et l'écosphère sont liés dans un « partenariat symbiotique en co-évolution ». En conséquence, selon lui, on peut considérer

que, si « hommes-neurones, autoroutes électroniques, ordinateurs et mégamémoires créent le cyberspace, nouvel environnement électronique de la pensée collective du cybionte », les connexions entre les hommes qui en sont constitutives, par le recours aux ordinateurs, mais aussi à des interfaces biotiques, conduisent à une « représentation consciente du fonctionnement « mental » du cybionte », c'est-à-dire à une « conscience globale réfléchie » dans ce qu'il appelle « l'introsphère ».

La même conception se retrouve, plus discrète et plus prudente, dans un texte portant sur la société de l'information (Rosnay, 1999), qui se conclut sur une comparaison entre les organismes vivants évolués et les sociétés humaines (les uns et les autres ayant besoin d'un maximum d'intelligence), comparaison qui permet de rappeler que « la société de l'information et les réseaux multimédias interactifs sont les embryons de ces systèmes nerveux planétaires qui pourraient permettre à l'humanité d'atteindre un nouveau stade de son évolution, des systèmes nerveux sans cerveau unique centralisé, à la différence de l'organisme ».

Les travaux des membres du Global Brain Group (Heylighen, 2002) constituent également une illustration des dérives métaphysiques possibles à partir des travaux portant sur la structure du web. Ils sont, en effet, dans certains cas, liés à des recherches expérimentales portant sur la mise en place d'un dispositif censé entraîner l'auto-organisation d'un réseau hypertextuel (Heylighen, Bollen, 1996). Il s'agit alors de développer des algorithmes qui permettraient au web, de manière autonome, de modifier sa structure et d'organiser les connaissances qu'il contient grâce à un apprentissage des idées et des connaissances que ses utilisateurs humains ont manifestées dans leur comportement de navigation sur le réseau. Mais cet apprentissage est bien envisagé comme la première étape de la formation d'un cerveau global, comme le précise Heylighen (2000) : « Most recently, the technological revolution has produced a global communication network, which can be seen as a nervous system for this planetary being. As the computer network becomes more intelligent it starts to look more like a global brain or super-brain, with capabilities far surpassing those of individual

people (...). This is part of an evolutionary transition to a higher level of complexity. »

La contribution de Joël de Rosnay au Global Brain Workshop de Bruxelles en 2001 est, d'ailleurs, consacrée à cette perspective : « With 400 million users, 170 millions host computers, and an average of 50 links per site (bookmarks and email addresses), new properties will certainly emerge. What about with 2 billion users, 800 billion host computers, and 500 links per site ? With such a giant electronic cluster of interconnected brains and machines, what will these properties look like ? Probably a new form of macrolife becoming progressively conscious of its own existence and self-maintenance. » (Rosnay, 2001). Il s'agit, dès lors, d'envisager le développement due l'internet et du web comme un processus qui s'apparenterait à l'évolution biologique selon Darwin et qui se caractériserait par une stabilisation sélective des sites et des liens au sein du web, stabilisation modélisable à partir des modèles de graphes aléatoires, de manière à rendre compte de l'émergence d'un méta-ordinateur à partir du chaos.

S'il est difficile de juger des propositions qui oscillent ainsi entre des considérations métaphysiques et des analyses dont la validité est contrôlable (Bautier, 2003), il est tout autant difficile d'évaluer les intentions politiques qui leur sont sous-jacentes. Lorsque les auteurs d'un article introduisant aux travaux du Global Brain Group le titrent par la formule « Le cerveau global, un enjeu politique » (Baquiast, Jacquemin, 2002), ils entendent favoriser la réalisation de ce cerveau afin de permettre à l'humanité de faire face aux risques issus d'un environnement devenu particulièrement complexe et évolutif. Sans nécessairement refuser d'envisager les moyens de limiter ces risques, on peut penser qu'il existe cependant, à ce propos, un autre enjeu politique, peut-être plus important : quelles sont les implications des considérations sur le cerveau mondial quant au fonctionnement politique des sociétés humaines ? Il est probable, en effet, que la fonction attribuée à un macro-organisme tend à dévaloriser une conception de la vie des sociétés humaines qui accorde à leurs membres une certaine liberté d'action.

4. SECONDE DÉSHUMANISATION DU TERRITOIRE : NATURALISER LE SOCIAL ?

La dimension humaine du territoire considéré est tout autant négligée par ceux qui, physiciens reconnus devenus philosophes, se donnent pour objectif l'élaboration d'une « science des réseaux ». En effet, ce ne sont plus seulement l'internet et le web qui servent de terrain d'étude aux physiciens ou à ceux qui ont exploité leurs travaux, mais également toutes sortes de réseaux : ont été examinés ou réexaminés les réseaux sociaux tels qu'ils avaient déjà été étudiés généralement dans le cadre de la sociologie ou dans celui de la psychologie sociale (en particulier les réseaux d'individus travaillant ensemble), les réseaux techniques comme ceux de la distribution de l'énergie électrique et des lignes de transport aérien, les réseaux biologiques comme ceux des molécules interagissant à l'intérieur des cellules, les réseaux économiques comme ceux des entreprises, etc.

Non seulement, dans de nombreux cas, on a pu constater des distributions en « loi de puissance », avec des valeurs de n souvent comprises entre 2 et 3, mais, également, on a pu avancer que les processus étudiés, en tant qu'ils permettent l'émergence de ce que l'on peut appeler un « ordre », sont susceptibles d'être modélisés en recourant, de manière généralisée, aux deux hypothèses rappelées plus haut : celle d'une expansion continue et celle d'un « attachement préférentiel ». Un certain nombre de conséquences pratiques ont découlé de ces recherches, conséquences qui se sont révélées comparables d'un domaine à l'autre. Ce qui est ainsi apparu, c'est que les réseaux « sans échelle typique » sont, à la fois, robustes et vulnérables. Robustes, d'un côté, parce qu'ils ne sont pas fortement perturbés par une détérioration aléatoire de liens (dans ce cas, les nœuds détruits ne sont souvent que des nœuds à faible degré). Et vulnérables, d'un autre côté, parce qu'ils sont extrêmement sensibles à une détérioration capable d'affecter spécialement les nœuds à fort degré (dans ce cas, en effet, un très grand nombre de liens sont détruits).

Dans ces conditions, il est compréhensible que les recherches sur les réseaux puissent aboutir à l'affirmation de la naissance d'une « science des réseaux » vraiment nouvelle. Il s'agit d'une

science élaborée par des physiciens, étant donné que ceux-ci apparaissent comme parfaitement capables de traiter d'autres disciplines que la physique (Watts, 2003), à partir du moment où celle-ci est passée de l'étude de la matière à celle de toutes les formes d'organisation (Buchanan, 2002). Après une période marquée par une attitude réductionniste, on aurait donc enfin la possibilité de traiter convenablement de la complexité de manière trans-disciplinaire (Barabasi, 2002).

Cette revendication repose notamment sur le caractère universel qui est reconnu aux régularités qui sont censées gouverner l'évolution de l'ensemble des réseaux complexes entourant ou constituant les humains. En effet, ces régularités correspondraient à des lois, relativement simples mais extrêmement générales, qui feraient qu'un Martien visitant la Terre ne pourrait pas voir de différence (autre que de taille) entre un réseau social, le world wide web et le réseau moléculaire des cellules. Il n'y a absolument rien de métaphorique dans cette conception : c'est d'ailleurs ce qui fait, à la fois, son intérêt et son danger (Bautier, 2005).

Son intérêt réside dans le fait qu'elle apporte des connaissances précieuses sur le fonctionnement des réseaux, alors que son danger est lié à la dissolution des sciences sociales dans les sciences de la nature qu'elle impose. En effet, si, au lieu de relever classiquement des sciences sociales, les deux premiers réseaux sont jugés comme relevant bien, comme le troisième, des sciences de la nature, ce n'est pas parce qu'ils pourraient, d'une certaine manière, être comparés au troisième, mais parce qu'ils n'en sont aucunement différents. Fondamentalement, leur évolution est vue comme soumise aux effets radicaux d'une « loi de puissance » qui se manifeste par une domination de super-nœuds engendrée par leur croissance auto-organisée.

D'où, quelquefois, la tentation de supposer que ce fonctionnement est marqué par une sorte d'intelligence qui pourrait être d'origine divine (Buchanan, 2002). D'où, surtout, la tendance à « naturaliser » les rapports de pouvoir et à écarter la question de la régulation, en promouvant une attitude ambiguë à l'égard de l'action, dont on ne sait pas très bien si elle

peut avoir un sens ou non, quand il s'agit de contester des situations existantes ou d'intervenir sur des situations prévisibles.

CONCLUSION : UNE ACTION FAVORISÉE OU ENTRAVÉE ?

De nombreux travaux issus de la physique fournissent manifestement des éléments précieux pour une meilleure connaissance du web. Si l'on considère que les territoires virtuels sont à la fois structurés par les territoires physiques et, en retour, structurants de ces derniers, on peut penser que cette meilleure connaissance permet d'agir avec plus d'efficacité sur les territoires de la géographie traditionnelle comme sur les territoires virtuels.

En revanche, la perspective offerte par les considérations relatives au macro-organisme tend à privilégier une vision de l'individu humain comme agissant sous le contrôle d'un cerveau global. La perspective correspondant au mouvement de naturalisation du social, quant à elle, repose sur une conception d'un individu humain qui agit sous l'effet des lois de la nature. Ces deux perspectives favorisent donc, au contraire, un renoncement à l'action, quel que soit le territoire concerné : difficilement évaluables sur un plan intellectuel, elles risquent de se révéler négatives sur un plan pratique.

Au-delà, une question fondamentale : comment articuler les apports des sciences de la nature et ceux des sciences humaines et sociales ?

RÉFÉRENCES

- Albert, Reka, Barabasi, Albert-Laszlo, « Statistical mechanics of complex networks », *Review of modern physics*, 74(1), 2002.
- Baquiast, Jean-Paul, Jacquemin, Christophe, « Le cerveau global, un enjeu politique », *Automates intelligents*, 31 janvier 2002.
- Barabasi, Albert-Laszlo, Albert, Reka, Jeong, Hawoong, « Scale-free characteristics of random networks : the topology of the world wide web », *Physica A*, 281, 2000.

- Barabasi, Albert-Laszlo, *Linked: the new science of networks*, Perseus, Cambridge, 2002.
- Bautier, Roger, « L'internet comme cerveau mondial », *Esprit critique. Revue internationale de sociologie et de sciences sociales*, vol. 5, n°4, 2003.
- Bautier, Roger, « La « naturalisation » des réseaux de communication », in L. Vieira, N. Pinède-Wojciechowski (dir.), *Enjeux et usages de T.I.C. : aspects sociaux et culturels*, Presses Universitaires de Bordeaux, Bordeaux, 2005.
- Buchanan, Mark, *Nexus : small worlds and the groundbreaking science of networks*, Norton, New York, 2002.
- Dorogovtsev, Sergey, Mendes, Jose Fernando, « Evolution of networks », *Advances in physics*, 51, 2002.
- Faloutsos, Michalis, Faloutsos, Petros, Faloutsos, Christos, « On power-law relationships of the internet topology », *ACM-SIGCOMM '99*, 1999.
- Heylighen, Francis. « The social superorganism and its global brain », *Principia Cybernetica Web*, <http://pespmc1.vub.ac.be>, 2000.
- Heylighen, Francis. « The Global Brain Group », *Principia Cybernetica Web*, <http://pespmc1.vub.ac.be>, 2002.
- Heylighen, Francis, Bollen, Johan, « The world wide web as a super-brain : from metaphor to model », *Cybernetics and systems 96*, Vienne, 1996.
- Huberman, Bernardo, *The laws of the web : patterns in the ecology of information*, MIT Press, Cambridge, 2001.
- Newman, Mark, « The structure and function of complex networks », *SIAM Review*, 45, 2003.
- Parrochia, Daniel, « Les réseaux : de la mathématique à la métaphysique », *Art Press*, H.S. Internet all over, 1999.
- Pastor-Satorras, Romualdo, Vespignani, Alessandro, *Evolution and structure of internet*, Cambridge University Press, Cambridge, 2004.
- Pennock, David, Flake, Gary, Lawrence, Steve, Glover, Eric, Giles, Lee, « Winners don't take all : characterizing the competition for links on the web », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(8), 2002.
- Rosnay, Joël de. *L'homme symbiotique*, Seuil, Paris, 1995.
- Rosnay, Joël de. « La société de l'information au XXIe siècle : enjeux, promesses et défis », in Montbrial, Thierry de, Jacquet, Pierre (dir.), *Ramsès 2000 : l'entrée dans le XXIe siècle*, Dunod, Paris, 1999.
- Rosnay, Joël de, « Increase of complexity of Internet interfaces and the Darwinian process of selective stabilization of Internet nodes » (summary), First Global Brain Workshop : From intelligent networks to the global brain (<http://pespmc1.vub.ac.be>), Bruxelles, 2001.
- Watts, Duncan, *Six degrees : the science of a connected age*, Norton, New York, 2003.