



Quelques aspects historiques de la notion de réseau

Daniel Parrochia

Notre ambition, dans cet article, est tout à fait modeste. Il s'agit de présenter, comme notre titre l'indique, quelques aspects historiques de la notion de réseau. Cette entreprise n'est pas la première du genre. Nous avons, naguère, en un temps où la notion de réseau était moins en vogue qu'aujourd'hui, contribué à mettre cette histoire en lumière (1). Depuis, Pierre Musso a, à plusieurs reprises, développé une critique très utile des représentations auxquelles elle a donné lieu (2). Toutefois, comme Hegel l'a montré, des représentations de concepts ne sont pas des concepts, c'est pourquoi la mythologie, l'art, la religion, ne sont pas des moyens adéquats pour l'expression de la pensée (3). De plus, nous entendons nous limiter, pour l'essentiel, à l'histoire du noyau rationnel de cette notion, sans prétendre évidemment, dans la limite de l'espace qui nous est imparti, à l'exhaustivité. Soucieux de montrer de façon claire comment la notion de réseau s'est peu à peu dégagé du halo d'images et d'obstacles épistémologiques qui l'entouraient, nous irons de ses aspects préhistoriques (le réseau comme filet) à ses usages effectifs dans la théorie des graphes et des réseaux de transport en montrant comment, de l'organisation de la matière à celle du territoire puis des moyens de communication, cette notion s'est avérée, peu à peu indispensable pour décrire les sociétés contemporaines où, selon une thèse célèbre de Mac Luhan, les échanges et la re-production deviennent aussi importants, sinon plus, que l'appareil productif lui-même.

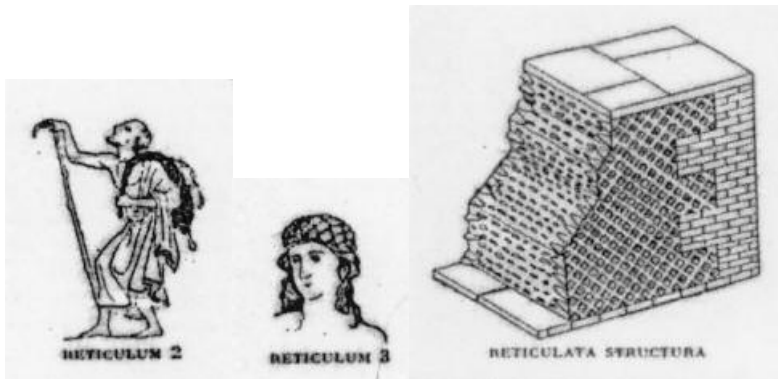


PRÉHISTOIRE DE LA NOTION DE RÉSEAU

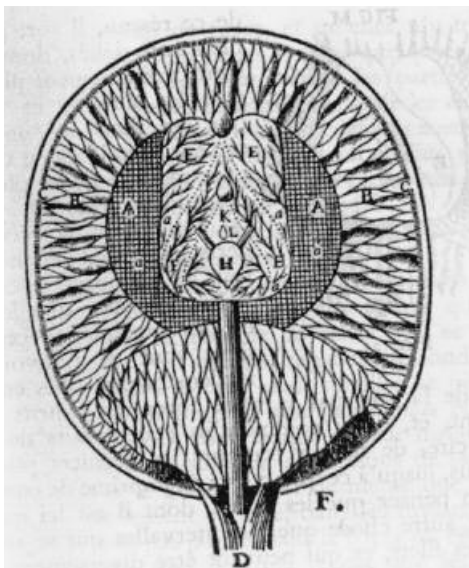
On partira ici de l'étymologie. Le mot « réseau », du vieux français « résel » (Marie de France, XIIe s.), variante de « réseuil », vient du latin « retiolus », diminutif de rete-retis, filet, qui a aussi donné le mot « rets ». Le filet en question a d'abord été un filet de chasse, destiné à rabattre de petits animaux en direction de leurs poursuivants.

Mais, très vite, le filet s'est fermé, donnant lieu au sac à mailles, ou encore à la résille, coiffe enserrant, à l'époque, la chevelure féminine. Par analogie, des constructions à colombages étaient appelées, dans le monde romain, « maçonneries réticulaires » (reticulata structura)

Considéré dans ce premier sens, le « réseau » est donc essentiellement un outil de capture, ce qui situe sa place de façon précise dans la culture. Si l'on adopte, en effet, la classification proposée par André Leroi-Gourhan (4), l'ensemble des techniques peut être divisé en deux grandes classes: les techniques de percussion et les techniques de préhension (ou de capture), opposition philosophiquement fondée sur deux modes de rapport au monde tout à fait opposés: pénétrer ou filtrer, aller vers, se projeter en avant ou, au contraire, entourer, encercler, lier. Cette opposition, très prégnante dans l'Antiquité, était alors illustrée par l'affrontement symbolique du gladiateur (teneur de glaive) et du rétiaire (détenteur du filet). Les Anciens étaient si conscients des avantages et désavantages réciproques des deux techniques (complémentaires plus que contradictoires) que chacun des combattants voyait compenser les défauts de son arme majeure par une arme du registre opposé: le bouclier, pour le gladiateur, le trident et le petit couteau pour le rétiaire.



Le sens de « filet » est constant jusqu'au XVII^e siècle, où le mot « réseau » est à la fois un mot technique et populaire utilisé par les tisserands et les vanniers pour désigner un entrecroisement de fibres textiles ou végétales (5). Présent dans les dictionnaires de Furetière (1670), de Richelet (1680) et de l'Académie (1694), il décrit une sorte de tissu de fil ou de soie. C'est dans ce contexte – et dans ce contexte seulement – que Descartes l'emploie. Dans son célèbre *Traité de L'homme* (6), la notion de « réseau » s'applique à la description de la zone centrale du cerveau, au-dessus de l'hypophyse (la fameuse « glande pinéale » dont Descartes pensait qu'elle était le point de contact de l'âme et du corps). Cette zone joue le rôle d'une sorte de tamis pour les « esprits animaux », particules reliant les terminaisons nerveuses périphériques au centre cérébral et



D'après Descartes (1953), *Traité de l'Homme*, Paris, Gallimard, p. 845

assurant la transmission de l'information. Soit dans le sens centripète : les « esprits » vont alors agiter la glande pinéale et susciter dans l'âme des affections, émotions ou passions. Soit dans le sens centrifuge : ils transmettent alors aux muscles les ordres du cerveau et rendent compte du mouvement volontaire. Le texte de Descartes est sans ambiguïté :

« Concevez [la] superficie AA, qui regarde les concavités EE, comme un réseau ou lacis assez épais et pressé, dont toutes les mailles sont autant de petits tuyaux par où les esprits animaux peuvent entrer (...) pensez que les pores dont il est ici question ne sont autre chose que les intervalles qui se trouvent entre ces filets, et qui peuvent être diversement élargis et rétrécis, par la force des esprits qui entrent dedans. » (7).

Contrairement à ce qu'on a pu parfois soutenir, ce sont bien les mailles qui sont les tuyaux et les « esprits » ne circulent nullement le long des mailles. Ils les traversent. En conséquence, la notion de « réseau » n'a ici aucun sens « circulatoire ». C'est tout simplement un filtre.

Contrairement à ce qu'on a pu parfois soutenir, ce sont bien les mailles qui sont les tuyaux et les « esprits » ne circulent nullement le long des mailles. Ils les traversent. En conséquence, la notion de « réseau » n'a ici aucun sens « circulatoire ». C'est tout simplement un filtre.

Au XVIII^e siècle, une première inflexion va se produire dans l'histoire de la notion de réseau. Ceci, cependant, ne la rapproche nullement du sens moderne qu'elle a pour nous aujourd'hui. Le modèle textile du filet va rester en place. Simplement, le « faisceau de fibres » qu'il constitue va prendre un caractère plus dynamique. Dans le contexte anti-mécaniste développé par l'École de Montpellier, où la médecine de Barthez mène une forte critique de la théorie des animaux-machines, la formation des vivants ne peut plus être assimilée à une construction technique. Influencé par le sensualisme de Locke et de son disciple français Condillac, Diderot imagine, quant à lui, des « brins sensibles » capables de développement, réunis en faisceaux, et dont l'ensemble constitue ce qu'il appelle un « réseau ». D'où le célèbre dialogue du *Rêve de d'Alembert*, où Bordeu, alias Barthez, développe la variante d'un filet sensible en croissance :

« Mlle de Lespinasse. – Et ce réseau ?

Bordeu. – N'a à son origine aucun sens qui lui soit propre ; ne voit point ; n'entend point, ne souffre point. Il est produit, nourri ; il émane d'une substance molle, insensible, inerte, qui lui sert d'oreiller, et sur laquelle il siège, écoute, juge et prononce. » (8)

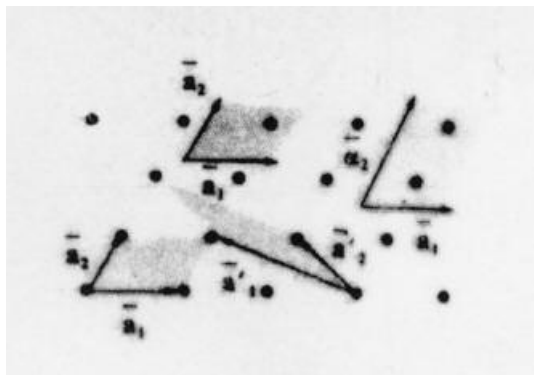
Dans cette conception, nulle volonté d'échapper à l'ordre ni à la centralité. Pour Diderot, l'organisation du réseau fibré est hiérarchisée, et elle est également enracinée dans la tête. L'image sous-jacente est, en fait, celle de la toile d'araignée :

« Les fils sont partout; il n'y a pas un point à la surface de votre corps auquel ils n'aboutissent; et l'araignée est nichée dans une partie de votre tête que je vous ai nommée, les méninges, à laquelle on ne saurait presque pas toucher sans frapper de torpeur toute la machine » (9)

Un constat s'impose donc: jusqu'au XVIII^e siècle, la notion de « réseau » a bien le sens d'un « filet », statique ou dynamique, mais rien ne circule encore le long de ses fibres. Chez Descartes, les « esprits animaux » en traversent les mailles. Chez Diderot, c'est la fibre elle-même qui se déploie comme une tentacule, et réagit tout entière aux sollicitations. Ce premier sens du mot n'a donc rien à voir avec le nôtre et il serait illusoire de chercher à le rapprocher de nos préoccupations.

DE LA MATIÈRE AU TERRITOIRE

Issue de la métaphore textile, la notion de « réseau », telle que nous la connaissons, va en fait se constituer dans le courant du XVIII^e siècle, en premier lieu dans le contexte d'une réflexion sur l'espace concret et sa mesure: L'espace physico-chimique, d'abord, avec la naissance de la cristallographie chez Haüy, Delafosse et Bravais. L'espace militaire ensuite, avec la réforme des dispositifs de fortification de Vauban, repensés par Cormontaigne (1732) puis les investigations des géomètres (réticule de L'abbé La Caille, 1751; réseau de triangulations de Cassini, 1780) qui, pour la première fois de façon vraiment rationnelle, vont mettre en carte l'espace géographique.



D'après Y. Quéré (1988), Physique des matériaux, Paris, Éditions du Marketing

Commençons par la cristallographie. Les premières réflexions sur la matière et ses agencements, menée dans le Timée, avaient conduit Platon à souligner l'importance de cinq polyèdres réguliers (cube, tétraèdre, octaèdre, icosaèdre et dodécaèdre) qui formaient, selon lui, les éléments fondamentaux du monde, par agencement de triangles élémentaires contenus dans la Chôra (espace « bâtard » à l'origine de sa cosmologie). Ces solides « platoniciens » dont Kepler avait cru, un temps, pouvoir faire un usage astronomique, vont alors servir un but plus modeste. L'Abbé René-Just Haüy (1743-1822) en fera les types cristallographiques fondamentaux.

Décelant dans la nature un langage doublement articulé, ce savant montre que les pierres conglomèrent des minéraux, mais que chaque minéral se réduit lui-même à des pièces de base, qu'il nomme « molécules intégrantes », et dont les polyèdres platoniciens et leurs troncatures forment tous les systèmes possibles (10).

Delafosse, élève de Haüy, introduira explicitement la notion de « réseau » en soulignant qu'un corps apparaît sous forme cristalline lorsque ses molécules « offrent un réseau continu et uniforme », un « système réticulaire complet ou à trois dimensions ».

Avec Bravais, au XIX^e siècle, la notion de réseau se précisera et admettra une définition vectorielle. En écriture moderne, c'est l'ensemble des points M définis par une origine O quelconque et l'équation :

$$\vec{OM} = m_1\vec{a}_1 + m_2\vec{a}_2 + m_3\vec{a}_3$$

où \vec{a}_1 , \vec{a}_2 et \vec{a}_3 sont trois vecteurs non coplanaires, m_1 , m_2 et m_3 étant trois entiers positifs ou négatifs non simultanément nuls (11)

Parallèlement au développement des sciences de la matière, la fin du XVIII^e siècle, comme nous l'avons dit, voit également l'essor d'une réflexion sur l'espace concret. En 1781, Achille Nicolas Isnard (12) réfléchit sur l'utilité des routes et des voies navigables et préconise l'interconnexion de ces deux réseaux fondamentaux dans de grands comptoirs réservés aux marchands et établis le long des voies d'eau (13). A l'aube du XIX^e siècle, en 1802 très exactement, D'Allent, dans son Essai de Reconnaissance Militaire, montre l'importance stratégique des voies de communication et décrit l'espace géographique comme le « double canevas des routes et des eaux ». (14) Dans les années 1850-1863, J.G. Kohl puis L. Lalanne (1811-1892)

ingénieur des Ponts et Chaussées; se préoccupent de la géométrie des réseaux de transport (15).

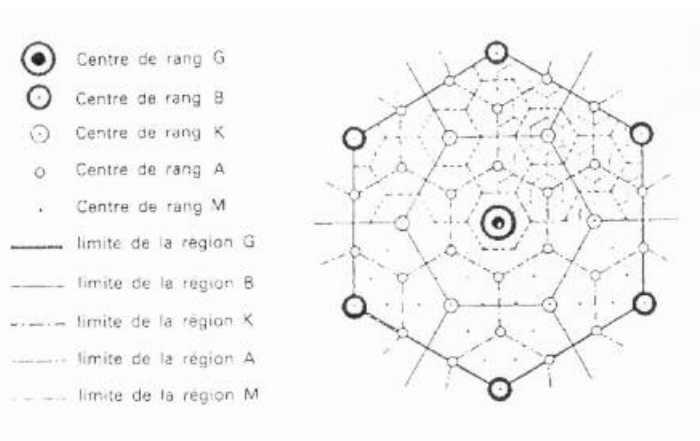
L'analyse spatiale progressant, le géographe Christaller (1938) en viendra alors à formuler des conditions d'organisation générale du territoire, qui mettent en jeu les distances entre ses pôles urbains. Ils retrouvent deux lois célèbres, formulées pour la première fois par Lalanne (16) et qui – malgré leur caractère approximatif souvent mis en exergue par les géographes – jettent les bases de l'analyse spatiale:

– La loi dite « de l'équilatérite » qui affirme que les distances mutuelles de deux agglomérations voisines de même ordre s'écartent peu, en moyenne d'une longueur donnée.

– La loi des distances multiples, qui stipule que la distance moyenne de deux agglomérations d'un même ordre de grandeur est un multiple exact de la distance moyenne relative à chacun des ordres inférieurs.

Le résultat cumulé de ces lois est une structure cristalline hexagonale qui semble répliquer, au niveau du territoire les organisations mêmes de la matière.

Ainsi, dans le domaine microscopique comme dans l'organisation de l'espace à grande échelle, on voit ainsi émerger un concept de « réseau » d'un genre nouveau, cependant encore incomplet: dans ce type d'application, le concept reste encore purement spatial, proche de ce que sera un jour la notion de graphe (dans le cas où les arêtes ne sont pas « orientées »). Il n'est pas question ici de circulation. Le filet que les Anciens

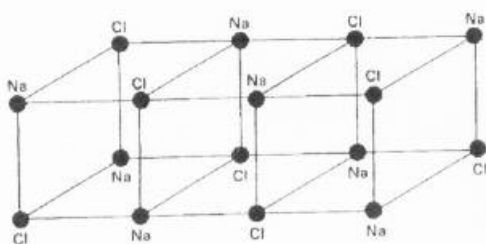


La théorie des centres de Christaller

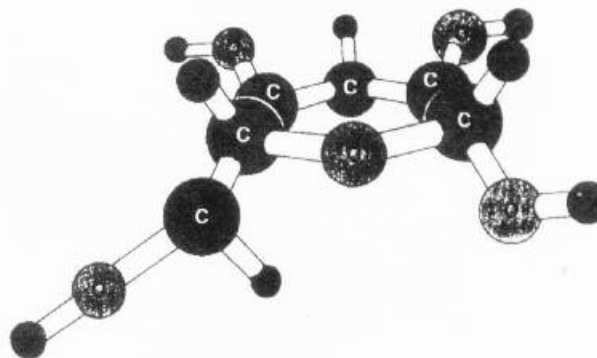
réseraient au domaine de la vie quotidienne s'est simplement étendu dans l'invisible. Et il a diffusé, parallèlement, dans l'espace géographique. Mais on ne prend toujours pas en compte ce qui y circule.

RÉSEAU ET CIRCULATION

La question des flux et des circulations a emprunté un tout autre chemin. Comme on l'a vu, le mot « réseau » n'avait pas, dans l'Antiquité, le sens de « réseau de transport » ou de « réseau de communication ». Bien entendu, cela ne veut pas dire que les Anciens n'avaient pas de pensée de la communication. En Grèce, déjà, Hermès se posait en dieu des voleurs et des carrefours. Il était lié à l'idée de ruse (métis) (17) aux images du piège et du labyrinthe, à Dédale et à la mythologie de l'artisan (18). Chez les Romains, Mercure devait hériter de ses prérogatives.



réseau cubique



structure chimique de type hexagonal

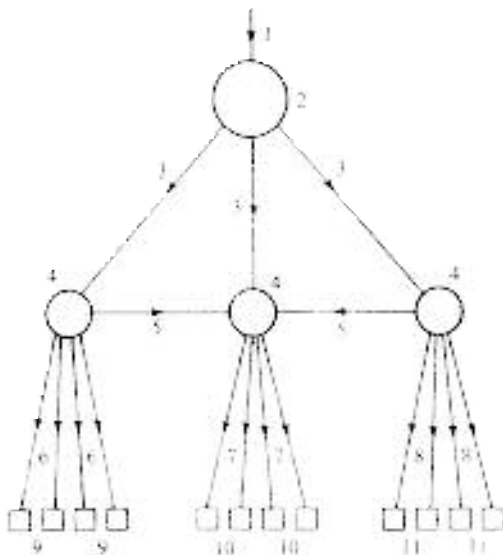


Fig.2-8. - Schéma d'une distribution d'eau romaine

- 1 conduite d'adduction
- 2 château d'eau
- 3 3 conduites de même diamètre
- 4 citernes
- 5 conduites de trop-plein des citernes extérieures
- 6 alimentation des maisons privées
- 7 alimentation des bassins et fontaines publics
- 8 alimentation des thermes
- 9 maisons privées
- 10 bassins et fontaines
- 11 thermes

Schéma de distribution des eaux urbaines à Rome
(D'après J. Bonnin (1984), *L'eau dans l'Antiquité*, Paris, Eyrolles, p. 47).

Mais c'est surtout la nécessité d'organiser la vie dans la cité qui a amené les Romains à créer d'authentiques réseaux concrets (voies routières, aqueducs, réseaux de distribution et d'évacuation des eaux urbaines) (19), dont il subsiste aujourd'hui, comme on le sait, de nombreuses traces archéologiques.

Toutefois, les Romains n'utilisaient pas le mot *rete-retis* pour désigner ces systèmes de distribution ou de communication.

En revanche, au Moyen âge, les progrès de l'anatomie feront découvrir chez certains mammifères (paresseux, cétacés, pinnipèdes et loutres) des organisations capillaires denses du système circulatoire qu'on baptise immédiatement, à cause de leur forme en filet, « *retia mirabilia* », « réseaux admirables ». Cette appellation est d'autant mieux choisie qu'on connaît aujourd'hui le rôle de ces organisations: à la fois filtre et réchauffe, elles dissolvent les bulles d'air accumulées en période de plongée, et font remonter la température du corps de l'animal quand, par inversion de la circulation veineuse, le sang se concentre dans ces réseaux, qui agissent un peu comme une « résistance ».

On doit cependant éviter tout anachronisme. De fait, on ne possède pas de théorie réelle de la circulation sanguine avant William Harvey (1578-1657). Ce savant, qui dissèque d'abord des cadavres à Cambridge, travaille ensuite à Padoue. C'est là

qu'il rencontre Fabrice d'Acquapendente, médecin et physicien. Dans le cadre galiléen d'une explication mathématique et mécaniste de la nature, celui-ci vient de décrire les valvules des veines comme des « soupapes » qui s'opposent à la circulation du sang dans la direction cœur-tissu et la laisse circuler dans le sens tissu-cœur. La thèse, à l'époque, est révolutionnaire, car elle contredit la théorie de Galien, pour qui le sang, dans les veines, va du cœur au foie puis du foie au tissu. Comment prouver la nouvelle hypothèse? En examinant des grenouilles, dont les battements cardiaques sont particulièrement lents, Harvey découvre le rôle des oreillettes, voit leur contraction, qui fait passer le sang dans les ventricules, et met en évidence la contraction systolique du cœur, cause du pouls. Il va jusqu'à mesurer la quantité de sang chassé en une heure: il ne lui faut pas longtemps pour s'apercevoir que, si chaque battement chasse 100g de sang, 70 battements par minute doivent en pulser 420 kg. Il en déduit qu'il est impossible que tant de sang provienne du foie, ce qui signifie que le sang est nécessairement recyclé. En 1616, il propose donc un schéma de la circulation où le cœur (muscle) agit comme une pompe aspirante-refoulante (20).

Dès lors, le schéma harveyen de la circulation du sang dans le corps humain va reléguer les explications cartésiennes aux oubliettes: le cœur n'est plus un viscère, il n'agit pas comme

une chaudière vaporisant le sang dans les artères. Ce muscle est en réalité un « circulateur ». Sa fonction devient générique, et elle pourra, à terme, être transposée au plan du « corps social ». Ce schéma de la circulation, en particulier, animera longtemps la réflexion des économistes, non sans être, cependant, multiplement contesté. Au XVIII^e siècle, en effet, si nous en croyons Francine Markovits (21), deux modèles économiques s'affrontent. L'un, harveyen, compare la circulation des flux économiques dans le corps social à la circulation sanguine dans le corps humain (pour Law, par exemple, la « banque » constituera précisément une sorte de « cœur »). L'autre modèle (défendu par Condillac, Turgot ou Montesquieu) s'inspirera davantage de l'hydraulique: ainsi, la dispersion des marchés est pensée à l'image des fontaines, qui rassemblent le ruissellement des sources, suivant les courbes de niveau alimentant les vallons, pour la plus grande fécondité de la cité et le plus grand bonheur des citoyens. Via la médecine et l'hydraulique, le « filet » acquiert donc des capacités circulatoires. Le développement des grands réseaux de transport au XIX^e siècle (réseau routier puis ferroviaire) va parachever cette rupture.

LA NOTION DE RÉSEAU DE TRANSPORT

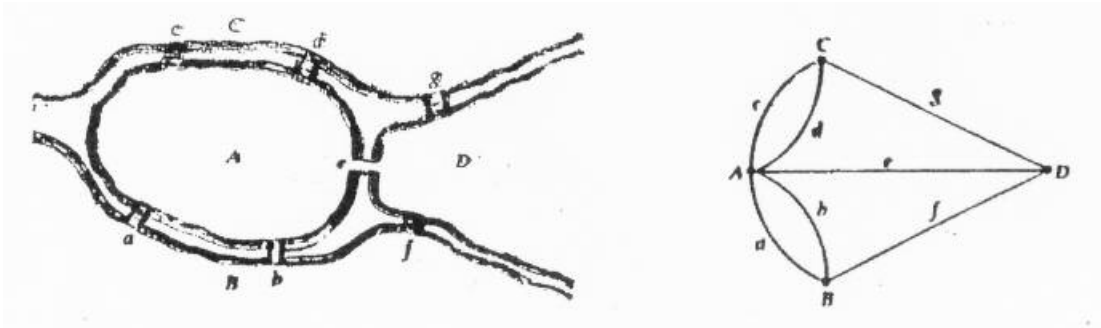
Comme nous l'avons montré dans notre ouvrage en suivant les beaux travaux d'André Guillerme (22), des nécessités concrètes devaient amener à réformer les routes, qu'une voirie mal pensée rendait incertaines, dangereuses, et même insituables (les grosses pierres dont elles étaient pavées, déplacées sous l'action des intempéries et du roulage, laissaient la place à des ornières immenses qui obligeaient à des contournements de plus en plus importants). Une triple révolution devait amener, en quelques années, une réforme complète du réseau: la technique de l'empierrement et du blocage, avec l'invention du procédé Mac Adam (1818) qui préconise un gravillonnage léger en multicouches convexes, bloquées par des bornes; la réforme de la vicinalité (1836), qui met les liaisons départementales dans la dépendance des préfets et des conseils de région; un encadrement quasi militaire des agents-voyers, calqué sur l'organisation hiérarchique du corps des Ponts et Chaussées, et qui veille à l'exécution de travaux pratiquement imposés. D'où, en quelques années, un développement fantastique du réseau routier, qui passe d'environ 30 000 kilomètres avant la Révolution à 600 000 dans les années 1880.

La construction du réseau ferroviaire devait doubler cette première irrigation du territoire d'une seconde, plus rigide et

sûrement plus contrainte, mais non moins essentielle. L'idée de combiner la traction à vapeur – connue depuis les inventions de Denis Papin (1671), James Watt (1665) et Nicolas Cugnot (1669) – avec le roulement sur rail, dont les vertus sont découvertes dès le début du XVII^e siècle (mines de Newcastle), remonte aux premières années du XIX^e siècle en Angleterre. Richard Trevithick y fait circuler la première locomotive à vapeur en 1804. Quelques années plus tard, en 1808, il en présente une nouvelle à Londres, avant que William Hadley apporte, six ans plus tard (1814), la preuve expérimentale de l'adhérence fer-fer, avec une locomotive de 8 tonnes, qui pouvait remorquer 50 tonnes à 8 kilomètres heure. En 1823, les Anglais George et Robert Stephenson fonderont, à Newcastle, la première usine de construction de locomotives. En 1825, le premier train de voyageurs, tiré par une locomotive de 90 tonnes, circulera sur la ligne Stockton-Darlington; à près de 20 kilomètres heure.

L'avènement d'un véritable réseau devait exploiter l'invention de l'aiguillage, système dont le point de départ est l'invention de l'anglais William Jessop en 1789, et qui, en autorisant les bifurcations, donne de la souplesse au rail, jusque là lié à une trajectoire unique et rigide. Son électrification permettra en 1898, de commander les voies de la gare de Lyon. Dès lors, les réseaux ne vont cesser de croître. Les grandes lignes se développent à partir de 1827, et l'on s'aligne, progressivement, sur un même écartement des voies (1,435 m) dans la plupart des pays d'Europe. Peu à peu, les vitesses augmentent et le rail s'allonge. Au milieu du XIX^e siècle, le chemin de fer comptait déjà 90 000 kilomètres de lignes dans le monde, parmi lesquels 14 000 kilomètres aux États-Unis, 10 500 en Angleterre, 5 800 en Allemagne et un près de 4 000 en France. Multipliant les vitesses par dix, les charges remorquées par cent, le chemin de faire révolutionne l'économie: la houille se diffusant désormais loin du carreau des mines, la production industrielle en est accélérée, le commerce également. Le tourisme suivra le mouvement. En France, dès 1833, le plan Legrand trace une toile d'araignée ferroviaire à partir de la capitale. En 1878, le plan Freycinet portera le réseau ferré de 20 000 à 40 000 kilomètres. Dans la seconde moitié du XIX^e, où l'effort s'intensifie, le nombre de voyageurs-kilomètres passe de 100 millions à 11 milliards, tandis que le nombre de tonnes kilomètres passe de 400 millions à 14 milliards.

Si l'on ajoute à cela la naissance des télécommunications, dont il serait trop long de parler ici – le télégraphe de Chappe (1792), bientôt électrifié, l'invention du téléphone (Bell, 1876),



Le problème des ponts de Königsberg

les dispositifs de captage des ondes radio (Hertz, Branly, Lodge, Tesla, Popoff) puis la « télégraphie sans fil » ou TSF (Marconi, Edison, Fleming, Lee de Forest) respectivement découvertes dans la deuxième moitié et vers la fin du XIX^e siècle, la planète se couvre peu à peu de réseaux invisibles qui contribuent objectivement, quoiqu'on en pense, à rapprocher les hommes.

Ces révolutions – les deux premières en particulier – ne pouvaient laisser indifférents les philosophes, qui vont les accompagner, les justifier, leur trouver un ancrage naturel et des extensions. Ainsi, pour Saint-Simon, le corps humain est déjà un ensemble de réseaux composés de canaux, vaisseaux, capacités et tubes divers. La bonne santé du corps (social comme humain) suppose la libération de la circulation dans les réseaux : de la circulation sanguine dans le corps humain, de la circulation de l'argent dans le corps social. D'où la nécessité de créer des « circulateurs » artificiels (chambres d'invention, d'examen, d'exécution de projets) pour hâter les circulations et vivifier le corps social. D'où une utopie de la communication à laquelle, au besoin, la religion aidera : une fausse étymologie du mot ne veut-elle pas qu'il signifie « ce qui relie » ? Dans les années 1825-1831, Decaen, Infantin, Chevalier (voir son article sur le « système de la méditerranée », février 1832) développent le concept de réseau. Ils préconisent notamment la mise en communication de l'Orient et de l'Occident. D'où l'idée d'Infantin, de percer l'isthme de Suez. F. de Lesseps (1805-1894), diplomate français saint-simoniens, reprenant cette idée, fera percer Suez en 1869, et en 1881, commencera le creusement du canal de Panama, lequel ne sera achevé, comme on sait, qu'après sa mort, en 1914.

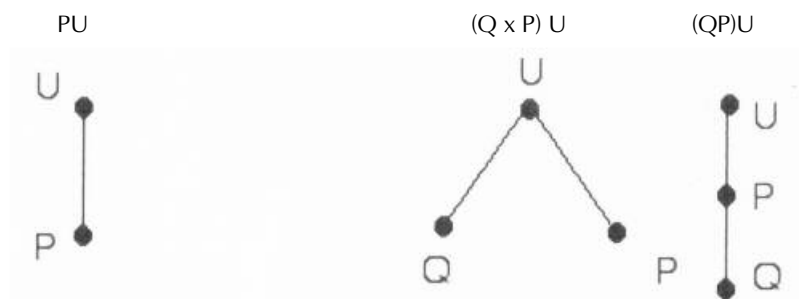
Pierre Musso, qui a rappelé l'essentiel de cette histoire a soutenu qu'avec le Saint-Simonisme, la notion de réseau atteindrait ainsi son point d'acmé. Car le moment où elle parvient à la conceptualisation que lui donnent les saint-simoniens est

aussi celui où elle dégénère en idéologie, et même en théologie : avant que la cybernétique (N. Wiener), le systémisme (Bertalanffy, Parsons) ou la mythologie « New Age » de certains « internautes » ne s'en mêlent, il s'agit déjà, au fond, pour ces penseurs, de rétablir une hypothétique transparence entre les hommes en instituant une nouvelle communion sociale. Le succédané de cette croyance se retrouverait alors dans les idéologies qui se sont développées à la fin du XX^e siècle autour des télécommunications, des autoroutes de l'information, et de l'idée fragile et dangereuse d'une régulation sociale par les réseaux (23). On se gardera de confondre, cependant, les bases scientifiques et techniques des approches systémiques et réticulaires, et les idéologies plus ou moins délirantes auxquelles celles-ci ont pu donner lieu.

VERS LA THÉORIE DES GRAPHES ET DES RÉSEAUX

En-deça ou au-delà de ces idéologies, demeure cependant un outil efficace, et, au fond, assez neutre : le noyau rationnel de la notion de réseau. Mathématiquement élaboré dans le courant du XX^e siècle, celui-ci se constitue dans le contexte de la théorie des graphes, qui plonge ses racines les plus lointaines dans un travail du mathématicien L. Euler. En plein XVIII^e siècle, au moment où le quantitatif est à l'honneur, le mathématicien démontre l'un des premiers théorèmes d'Analysis situs, discipline fondée par Leibniz et ancêtre de la topologie. Pour être anecdotique, le problème qui en fut l'occasion n'en est pas moins resté célèbre en mathématiques : c'est celui des Ponts de Königsberg, définitivement résolu par Euler en 1736 (24).

Le problème est le suivant : étant donné que la ville est construite sur deux îles reliées au continent par six ponts, et entre elles par un pont, trouver un chemin quelconque permettant, à partir d'un point de départ choisi, de passer une seule fois par chaque pont et de revenir à son point de départ (étant



entendu qu'on ne peut franchir l'eau que par un pont).

Par une démarche purement qualitative, le mathématicien prouve qu'un tel chemin est impossible, et cela, pour une raison très simple : lorsqu'on représente ponts et territoires par des lettres, la définition du chemin amène une suite impaire au lieu d'une suite paire. En langage moderne, Euler prouve que si un graphe connexe a plus de deux sommets de valence impaire, il ne peut contenir de cycle eulérien.

Une autre origine de la théorie des graphes, liée à la précédente car relevant tout autant de l'Analysis Situs, se trouve dans la pratique du jeu d'échecs, plus spécifiquement, le problème du parcours du cavalier, lui-même lié à la géométrie du tissage. Les travaux du mathématicien A.-T. Vandermonde (1735-1796), qui remarque cette parenté, permettent d'instituer une écriture destinée à figurer l'entrelacement tridimensionnel des fils dans les motifs (24), dont la figure générale s'apparente au déplacement du cavalier aux échecs.

Malgré ces débuts prometteurs, le concept de graphe proprement dit ne sera véritablement constitué que bien plus tard. Il sera d'ailleurs précédé par le concept d'« arbre » mathématique, dont l'invention sera suscitée par les progrès de l'algèbre et de la chimie.

C'est le mathématicien Arthur Cayley (1821-1895) qui joua ici un rôle de pionnier (26). Il travaillait à l'époque sur des expressions algébriques où des termes de même nature P , Q , U , figuraient à la fois comme opérateurs et comme opérands. Dans ce contexte, l'expression PU était censée traduire le résultat de l'opération P appliquée à U . Le produit QPU figurait, quant à lui, le résultat de l'opération Q appliquée à PU .

Posons alors $QPU = (Q \times P)U + (QP)U$, avec $Q \times P$ produit algébrique et QP résultat de l'opération Q appliquée à P . Comment différencier $(Q \times P)U$ et $(QP)U$? Le problème devient crucial si l'on rajoute un quatrième opérateur R . Comment

séparer les différentes formes susceptibles d'être produites?

La solution de Cayley est graphique. On peut représenter facilement les opérations précédentes au moyen des schémas suivants :

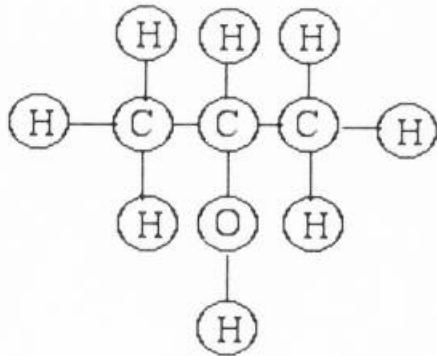
Le concept d'« arbre », comme « graphe connexe sans cycles » en résulte nécessairement.

Tout de suite, la nouvelle structure s'avère particulièrement utile aux sciences de la nature. Dans les années 1850, face à la complexification introduite par la chimie organique, on assiste avec Kékulé, Frankland et Sylvester, à la naissance d'un système graphique de notation chimique nouvelle qui finira par prendre la forme suivante, assez proche de la nôtre. Mais, très vite, il apparaît que les mêmes molécules peuvent être arrangées différemment, soulevant la grande question des isomères. Par exemple, la formule C_3H_7OH donne lieu aux deux dispositions suivantes (graphique page 17) :

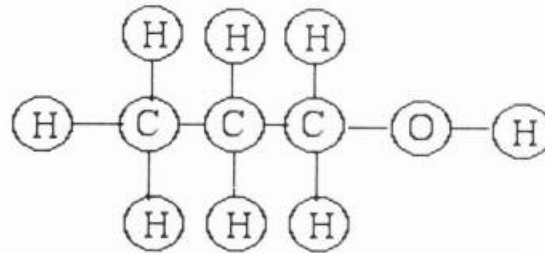
Ceci amènera Cayley à travailler à une théorie mathématique des isomères : il perçoit immédiatement que le problème de l'énumération des isomères se ramène à la possibilité d'engendrer tous les arbres mathématiques possibles ayant un nombre fixé de nœuds et de liaisons. De là naîtra la notion de « graphe chimique ». Le vocabulaire de la théorie des graphes en sera, du reste, pour longtemps influencé. Au milieu du XX^e siècle, on nommait encore « valence » des sommets d'un graphe le nombre d'arcs incidents qu'ils contenaient.

La notion de « graphe » $G(X,U)$, avec le sens qu'elle a aujourd'hui, apparaît pour la première fois dans une note de James Joseph Sylvester de février 1878 (27) et la première étude systématique des graphes sera menée par Denes Koenig (1884-1944) en 1936. Mais il faudra attendre un article de W.T. Tutte de 1947 pour trouver l'expression de « graph theory » (28).

Sur le continent, et notamment en France, pour de longues années, la notion de « graphe » et celle de « réseau » vont se



Alcool propylique



Alcool de Friedel

confondre. En 1926, le mathématicien André Sainte-Laguë publie un livre intitulé « Des réseaux (ou graphes) ». En 1934, Julien Pacotte fera paraître un ouvrage intitulé « Le réseau arborescent » qui relève pour l'essentiel de la théorie des algèbres de Boole. La confusion persistera longtemps puisque le mot « réseau » sera même au départ utilisé pour traduire l'anglais « lattice », avant que n'émerge la notion de « treillis ». On trouve encore dans les années 1970, certains ouvrages d'Arnold Kaufmann où les notions de « treillis », « lattis » ou « ensemble réticulé » sont présentées comme équivalentes (29).

Malgré ces ambiguïtés, et alors qu'un concept proprement algébrique de « réseau » allait se développer dans la mathématique bourbachique, le « réseau » au sens de « network » allait prendre son autonomie dans les années d'après guerre, avec la théorie mathématique des « réseaux de transport ». Issue des travaux de L.R. Ford et D.R. Fulkerson (30), c'est sous l'impulsion de préoccupations pratiques et en liaison avec des problèmes de recherche opérationnelle qu'elle a pris son essor, provoquant, en retour, un retentissement mathématique important sur la théorie des graphes où, associée à un formalisme algébrique, elle permet de résoudre de nombreux problèmes, pour la plupart suscités par le développement de réseaux complexes, tels le réseau électrique.

Mais à travers le développement de l'informatique, la notion de réseau devait encore subir des généralisations remarquables. Avec l'idée d'assigner aux nœuds d'un réseau une valeur capable de varier sous certaines contraintes, la notion de réseau a pu être ensuite étendue à différents domaines de l'automatique. Les réseaux deviennent alors des outils capables de résoudre des problèmes liés à des processus stochastiques qui

vont de la théorie de l'information à la reconnaissance des formes. Par ordre de généralisation croissante, on voit alors apparaître les graphes stochastiques, les réseaux de files d'attente, les réseaux de Pétri, puis, avec le progrès de l'algorithmique et la maîtrise des réseaux multicouches, les réseaux de neurones formels, à l'origine du regain du paradigme connexionniste (31) dans les années 1970-1980.

DES FORMALISMES À L'UNITÉ DU MONDE

Au cours de sa lente formation, trois aspects des réseaux et trois types de problèmes ont donc émergé :

Le premier aspect est l'aspect topologique. Des objets étant dispersés dans l'espace, la question essentielle est d'abord de repérer leur site et de dénombrer leurs liaisons, ainsi que d'évaluer la longueur de certains parcours. Les problèmes majeurs rencontrés ici sont des problèmes de plus court et de plus long chemin, l'analyse de la forme du réseau passe par une panoplie d'indices bien connus des géographes et des psychologues (diamètre, centralité, connexité, connectivité, etc.) (32).

Le deuxième aspect de la notion est l'aspect rhéologique. Si des éléments circulent sur des arcs, il faut assurer de bonnes conditions de transport du point de départ au point d'arrivée, éviter la saturation des arcs comme l'affaiblissement des flux. D'où les grands théorèmes de la théorie des réseaux : théorème du flot compatible, théorème du flot maximum. Par ailleurs, la nécessité d'assurer la régulation de ce qui circule impose des réservoirs ou des répéteurs : l'agent de police, la gare de triage, la station de pompage, le relais hertzien assurent ainsi des fonctions identiques. Une immense unité du monde se dégage du formalisme utilisé (33).

Le troisième aspect est l'aspect stochastique. Il s'agit désormais de gérer une certaine aléatoire des liaisons ou des flux, donc de maîtriser les processus séquentiels ou parallèles qui assurent la transition de site à site, vident ou alimentent les réservoirs, selon des modalités qui sont parfois plus complexes que ce que la programmation linéaire peut prendre en compte. D'où le recours à la notion de « plan révisable » et l'intervention de stratégies et d'heuristiques combinant au support graphique des éléments de théorie des jeux ou du calcul des probabilités (34).

Les notions de graphe et de réseaux rendent donc d'immenses services aux sociétés modernes, confrontés à des problèmes majeurs : l'ordonnancement de tâches en vue de la construction d'objets techniques complexes, la fiabilisation des activités industrielles, l'optimisation d'itinéraire de tournées (postier chinois, voyageur de commerce), la résolution de difficiles problèmes de taxinomie, la « maintenance » et remplacement de matériels vétustes dans une usine, l'affectation de personnel, la gestion optimale des réserves ou des stocks en fonction des aléas des apports ou des ventes, la rotation d'un ensemble de véhicules ou d'équipage, etc. (35).

L'avènement de la géométrie fractale, la découverte du phénomène d'invariance d'échelle, la physique de la turbulence et des changements d'état ont récemment révélé l'intérêt d'étudier la dynamique de réseaux moléculaires, ainsi que les phénomènes de diffusion et de percolation dans un réseau (36). Il en résulte que des phénomènes aussi différents que les transitions de phase, les tremblements de terre, la propagation d'un incendie de forêt, la conformation de polymères, le rythme cardiaque, la diffusion et la croissance d'interfaces, sont justiciables des mêmes modèles, qui peuvent eux-mêmes servir de paradigmes pour la compréhension de ce qui se passe dans une société entre des individus à d'autres échelles (propagation

d'une rumeur, krach boursier, etc.) On en vient donc à penser l'émergence de formes nouvelles inattendues en termes de dynamisme réticulaire.

CONCLUSION

Au fil de l'histoire des sciences et des techniques, s'est dégagé progressivement le caractère profondément réticulaire de la plupart des organisations naturelles et sociales. La forme générale du « réseau » a émergé des problèmes concrets qui se posaient face aux réalités naturelles et aux constructions sociales, et ses propriétés ont alors été étudiées pour elles-mêmes dans le cadre de l'axiomatique de la théorie des graphes et des réseaux. Aujourd'hui, la notion de réseau est un outil théorique d'utilisation courante qui met en relation différents domaines des mathématiques (algèbre, topologie, théorie des nombres, etc.) dont aucun scientifique ne songerait à se passer.

Des approches plus récentes en font également un outil de la physique non linéaire, de l'économie, de la géographie et peut-être de la sociologie (37). Mentionnons en particulier les travaux de Gabriel Dupuy sur l'urbanisme des réseaux ou l'informatisation des villes, qui font de la notion de réseau un outil majeur pour comprendre et maîtriser la complexité urbaine, ou, plus récemment, le travail sur la géographie d'internet et ses analogies avec les autres réseaux (38).

Au-delà du Saint-simonisme, la notion de réseau reste donc bien vivante, effective et utile – et cela, quelles que soient les idéologies dont elle peut s'accompagner par ailleurs.

Daniel Parrochia
Université Jean Moulin - Lyon III

NOTES

(1) Parrochia, D. (1993), Philosophie des réseaux, Paris, PUF.

(2) Musso P. (2001), « Genèse et critique de la notion de réseau » in Parrochia, D. (ed), Penser les réseaux, Seyssel, Champ Vallon, pp. 194-217. Voir également : Musso, P. (2003), Critique des réseaux, Paris, PUF ; et Musso P. (2003), « De la mythologie grecque à l'idéologie d'Internet », in Musso, P. (ed), Réseaux et société, Paris, PUF.

(3) Hegel, G.W.F. (1971) Leçons sur l'histoire de la philosophie, I, tr. fr. Paris, Gallimard, p. 242.

(4) Leroi-Gourhan, A. (1971), L'homme et la matière, Paris, Albin Michel, p. 43 ; cf. Leroi-Gourhan, A. (1973), Milieux et technique, Paris, Albin Michel, pp. 86-92.

(5) Guillerme, A. (1988), Genèse du concept de réseau. Territoire et génie en Europe de l'Ouest, 1760-1815, Université de Paris VIII, p. 7-8.

(6) Descartes, R. (1953), Traité de l'Homme, Œuvres, Paris, Gallimard, p. 842-43.

(7) Ibid., p. 844-846.

(8) Diderot D. (1984), Le Rêve de d'Alembert, Paris, Livre de

Poche, p. 59.

(9) Ibid., p. 49.

(10) Dagognet, F. (1973), *Écriture et Iconographie*, Paris, Vrin, p. 135.

(11) Bravais, A. (1866), *Études cristallographiques*, Paris. Cf. Quéré, Y. (1988), *Physique des matériaux*, Paris, Ed. du Marketing.

(12) Isnard, A.N. (1781), *Traité des Richesses*, Part. 1, liv. II, p. 113-116, cité in Flux (1989), numéro spécial, « Réseaux Anthologie 1781-1963 », GDR 903 Réseau, CNRS, p. 9.

(13) Lepetit, B. (1989), in Flux (1989), op. cit., p. 7; cf. Lepetit, B. (1983), *Chemins de terre et voies d'eau: réseaux de transport et organisation de l'espace en France, 1740-1840*, Paris, EHESS.

(14) D'Allent (1802), « Essai de reconnaissance militaire » in (1802) *Mémorial topographique et militaire*, rééd (1827), *Mémorial du dépôt de la guerre*.

(15) Lalanne, L., (1863) *Théorie des réseaux de chemins de fer, fondée sur l'observation des faits et sur les Lois primordiales qui président au groupement des populations*, in (1863) *Compte Rendus de l'Académie des sciences*, 27 juillet, t. 57, pp. 206-210; cf. Flux (1989), op. cit., pp. 49-56.

(16) Cf. Pinchemel Ph. et G. (1988), *La Face de la Terre*, Armand Colin, p. 84.

(17) Détéienne, M., Vernant, J.-P. (1974), *Les ruses de l'intelligence, la métis des Grecs*, Paris, Flammarion, p. 50.

(18) Frontisi-Ducroux, F. (1975), *Dédale, Mythologie de l'artisan en Grèce ancienne*, Paris, Maspéro, p. 192.

(19) Bonnin, J., (1984), *L'eau dans l'antiquité, l'hydraulique avant notre ère*, Paris, Eyrolles, p. 47.

(20) Tubiana, M. (1995) *Histoire de la pensée médicale, les chemins d'Esculape*, Paris, Flammarion, p. 139-140.

(21) Markovits, F., (1986), *L'ordre des échanges, philosophie de l'économie et économie du discours au XVIII^e siècle*, Paris, PUF, p. 12.

(22) Parrochia, D. (1993), *Philosophie des réseaux*, Paris, PUF, p. 84 sq; cf. Guillerme, A. (1984), *Corps à corps sur la route. Les routes, les chemins et l'organisation des services au XIX^e siècle*, Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, p. 22 sq.

(23) Musso, P., (1997) *Télécommunication et philosophie des réseaux, la postérité paradoxale de Saint-Simon*, Paris, PUF, pp. 217-218.

(24) Euler, L. (1736), *Solutio problemata ad geometriam situs pertinentis*, *Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae* (8), p. 128-140. Cf. Biggs, N.L., Lloyd, E.K., Wilson, R.J. (1986), *Graph Theory 1736-1936*, Oxford, Clarendon Press, pp. 3-11.

(24) Vandermonde, A.-T., (1771) « Remarques sur les problèmes de situation », in *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* (Paris), pp. 566-574; cf. Biggs, N.L., Lloyd, E.K., Wilson, R.J. (1986), op. cit., pp. 22-27.

(26) Cayley, A. (1857), « On the theory of the analytical forms called trees », *Philosophical Magazine* (4), 13, pp. 172-176.

(27) Sylvester, J. J. (1878), « Chemistry and Algebra » *Nature*, p. 284; rééd. in *Collected mathematical Papers*, 4 vols, Cambridge, Cambridge University Press, vol. III, pp. 103-104.

(28) Tutte, W.T. (1947), « A ring in graph theory », *Proc. Camb. Soc.* 43, pp. 26-40.

(29) Kauffmann, A. (1973), *Introduction à la théorie des sous-ensembles flous*, 1, *Éléments théoriques de base*, Paris, Masson, p. 304.

(30) Ford, L.R., Fulkerson, D.R. (1962), *Flows in networks*, Princeton Press.

(31) Parrochia, D. (2001), « La rationalité réticulaire », in Parrochia, D. (2001), *Penser les Réseaux*, Champ Vallon.

(32) Cf. Ciceri, M., Marchand, B., Rimbert, S. (1977), *Introduction à l'analyse de l'espace*, Paris, Masson; Dupuis, G., *Systèmes, réseaux et territoires* (1985), Paris, Presses de l'École des Ponts et Chaussées. Voir également: Bakis, H. (1993), *Les réseaux et leurs enjeux sociaux*, Paris, PUF; Forsé, M., Degenne, A. (1994), *Les réseaux sociaux*, Paris, A. Colin.

(33) Parrochia, D. (1993), op. cit., p. 286.

(34) Massé, P. (1946), *Les réserves et la régulation de l'avenir*, Paris, Hermann, 1946; cf. Massé, P. (1965), *Le Plan ou l'anti-hasard*, Paris, Gallimard.

(35) Gondran M., Minoux, M. (1979), *Graphes et Algorithmes*, Paris, Eyrolles.

(36) M. Laguës, A. Lesnes, *Invariances d'échelle, des changements d'états à la turbulence*, Belin, 2003.

(37) Cf. P. Mercklé, *Sociologie des réseaux sociaux*, Paris, La Découverte, 2004.

(38) G. Dupuy, *L'urbanisme des réseaux*, Paris, A. Colin, 1992; voir aussi: *L'informatisation des villes*, Paris, PUF, 1992; et enfin: *Internet, Géographie d'un réseau*, Paris, Ellipses, 2002.