

**BULLETIN N° 125
ACADÉMIE EUROPEENNE
INTERDISCIPLINAIRE
DES SCIENCES**



Séance du mardi 13 mai 2008 :

**Conférence d'Anouk BARBEROUSSE, chargée de Recherche au CNRS:
« Emergence et réduction : le cas de la mécanique statistique revisité »**

Prochaine séance le mardi 10 juin 2008 :

**Discussion sur divers aspects de l'émergence
avec les Professeurs Denise PUMAIN (géographie Université Paris I)
et Dominique LECOURT (philosophie Université Paris VII)**

ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES
FONDATION DE LA MAISON DES SCIENCES DE L'HOMME

PRESIDENT : Michel GONDRAN
SECRETAIRE GENERAL : Irène HERPE-LITWIN

TRESORIER GENERAL : Bruno BLONDEL
CONSEILERS SCIENTIFIQUES :
SCIENCES DE LA MATIERE : Pr. Gilles COHEN-TANNOUJJI.
SCIENCES DE LA VIE ET BIOTECHNOLOGIES : Pr. François BEGON
PRESIDENT DE LA SECTION DE NICE : Doyen René DARS
PRESIDENT DE LA SECTION DE NANCY : Pierre NABET

PRESIDENT FONDATEUR
DOCTEUR Lucien LEVY (†).
PRESIDENT D'HONNEUR
 Gilbert BELAUBRE
SECRETAIRE GENERAL D'HONNEUR
 Pr. P. LIACOPOULOS

mai 2008

N°125

TABLE DES MATIERES

- P. 3 Compte-rendu de la séance du mardi 13 mai 2008
- P.6 Compte-rendu de la section de Nice-Côte d'Azur
- P.8 Annonces
- P. 9 Documents

Prochaine séance :
 MSH, salle 215-18heures

Mardi 10 juin 2008

Discussion sur divers aspects de l'émergence
avec les Professeurs Denise PUMAIN (géographie Université Paris I)
et Dominique LECOURT (philosophie Université Paris VII)

ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES
Maison des Sciences de l'Homme, Paris.

Séance du
Mardi 13 mai 2008

Maison des Sciences de l'Homme, salle 215, à 18 h.

La séance est ouverte à 18 h. 00 sous la Présidence de Michel GONDRAN et en la présence de nos collègues, Gilbert BELAUBRE, Alain CARDON, Irène HERPE-LITWIN, Jacques LEVY, Pierre MARCHAIS, Victor MASTRANGELO

Etaient excusés : François BEGON , Bruno BLONDEL, Françoise DUTHEIL, Manuel GALAN, Marie-Louise LABAT, Gérard LEVY, Emmanuel NUNEZ

Conférence d'Anouk BARBEROUSSE, chargée de Recherches au CNRS
« Emergence et réduction : le cas de la mécanique statistique revisitée »

Anouk BARBEROUSSE est membre de l'Institut d'Histoire et de Philosophie des Sciences (IHPS) et chargée de Recherches au CNRS. Titulaire d'une double formation en philosophie et en sciences physique elle a soutenu en 1998 une thèse de philosophie des sciences intitulée : « Connaissance scientifique et probabilités . Problèmes philosophiques en physique statistique » sous la direction de Daniel ANDLER et Catherine CHEVALLEY.

Elle est l'auteure de plusieurs ouvrages que l'on peut trouver chez Ellipses :

- La Physique face à la probabilité
- Physique statistique – de Clausius à Gibbs
-

Elle a participé à la rencontre « Einstein et les horizons de la Physique » qui s'est tenue à la BNF le 16 novembre 2005 où elle a présenté :

- Einstein et le sens de la probabilité

Elle a récemment publié dans le Hors –Série de la revue Science et Avenir dédié à « l'énigme de l'émergence » de juillet-août 2005 un article intitulé « L'émergence statistique » que nous avons reproduit dans le bulletin n° 123.

Selon Anouk BARBEROUSSE, la notion d'émergence pose le problème de l'existence d'une nouveauté radicale dans la nature et de la réduction de certaines théories scientifiques à des théories plus fondamentales (qu'entend-on au juste par fondamental ?)

Elle commence donc par examiner ce que l'on entend par réduction entre deux théories : la réduction est parfois associée à l'élimination ce qu'elle réfute. Elle se réfère à divers travaux dont ceux de NAGEL

(Structure of Sciences 1961) qui déclare qu'une théorie T ne peut réduire une théorie T' plus ancienne et plus fondamentale que s'il existe:

-1) un vocabulaire de la théorie T' traduisible en termes de la théorie T c'est-à-dire une connectabilité des concepts qui permet d'énoncer des « lois-ponts » de correspondance entre les théories . Exemple : La température (émergence) est réductible à l'énergie cinétique moyenne des molécules. La mécanique statistique réduit ici la thermodynamique classique.

-2) une déduction possible des lois de T à partir de celles de T' (dérivabilité)

Comme la philosophie de l'esprit se concentre sur la causalité mentale, Anouk BARBEROUSSE passe ensuite en revue les travaux sur les divers types d'émergence en passant par la notion de survenance de Jaegwon KIM réductionniste physicaliste : les propriétés mentales doivent se réduire à des propriétés physiques, la survenance de la propriété mentale doit pouvoir être élaborée à partir du monde physique, il doit exister une complétude de l'action causale sans surdétermination causale ; les états mentaux doivent avoir une efficacité causale mais aucun état ne doit avoir plus d'une cause physique. Il en résulte une image du monde dans laquelle la réalité se découpe en niveaux hiérarchiques partiellement autonomes. Cette image a été fortement retenue au XIème siècle. On aboutit aux niveaux de réalités vus par Lloyd MORGAN, PUTNAM, OPPENHEIM. On peut ainsi effectuer des hiérarchies allant des particules élémentaires jusqu'aux groupes sociaux. Pour KIM les propriétés émergentes sont issues des propriétés microscopiques de rang inférieur.

Anouk BARBEROUSSE objecte que cette décomposition spatiale est insuffisante. Il faut introduire une décomposition dynamique (Patrick Mc GIVERN 2007) faisant intervenir des niveaux de réduction et de synthèse.

Dans un second temps elle analyse la démarche d'explication réductive de WIMSATT qui comprend toujours des niveaux hiérarchiques et qui aboutit à un domaine d'émergence très vaste excédant les qualia. Presque toutes les propriétés systémiques sont émergentes, sauf les propriétés agrégatives (le tout ne résultant pas de la somme des parties). Elle rappelle les conditions d'agrégativité de WIMSATT qui éliminent donc la possibilité d'émergence. Il semble qu'il existe en fait peu de propriétés agrégatives ce qui laisse un vaste champ à l'émergence.

Elle cite également la classification d'Achim STEPHAN aboutissant à la notion d' « émergence forte » ou de qualia irréductibles. Si une propriété systémique est réductible il n'y a pas d'émergence forte... Il existerait également des émergences fortes avec des qualia irréductibles analysables et divers types plus nuancés d'émergence dans lesquels on peut distinguer des émergences synchroniques et diachroniques (émergence faible prédictible et émergence forte imprédictible).

L'émergence faible prédictible comprend la théorie de l'auto-organisation, le jeu de la vie, le chaos déterministe. Ce type d'émergence diachronique faible selon BEDAU (1997) peut être simulé numériquement pas à pas.

Dans ce dernier cadre est abordé pour finir l'émergence en mécanique statistique en considérant :

- L'Idéalisation du gaz parfait
- Les modèles moléculaires
- La validité de l'hypothèse ergodique
- Des moyennes temporelles sur des intervalles finis
- La signification physique des ensembles de mesures
- Le paradoxe de la réversibilité microscopique versus l'irréversibilité macroscopique

La thermodynamique se réduit donc à la théorie mécaniste plus fondamentale.

Le passage mathématique de l'échelle microscopique à l'échelle macroscopique nécessite l'usage de micro-composantes spatiales et dynamiques qu'il faut pouvoir justifier. Il existe un risque de conception trop éloignée de l'image des niveaux de réalités. Ceci a conduit à trouver de nouveaux formalismes comme ceux des automates cellulaires (simulation numérique au moyen de mathématiques discrètes) pour rendre compte de la mécanique statistique.

Diverses questions sont posées dans l'assistance :

- La hiérarchisation des niveaux dans la nature n'est-elle pas subjective ? n'implique-t-elle pas la subjectivité de la représentation ? La réduction, la conceptualisation ne reposent-elles pas sur la symbolisation du langage ?

Anouk BARBEROUSSE déclare qu'en effet il faut un accord sur les représentations symboliques, tandis que l'auteur de la question déclare que :

- L'intersubjectivité n'est pas garante de l'objectivité

Après ce riche débat la séance est levée à 20 heures ,

Bien amicalement à vous,

Irène HERPE-LITWIN

Compte-rendu de la section Nice-Côte d'Azur

Le consensus sur une question complexe est le signe d'une absence de pensée.

A. Laferrère – Commentaire (2007) n° 120 Hiver 2007-2008.

Compte-rendu de la séance du 20 mars 2008 (113^{ème} séance)

Présents :

Patrice Crossa-Raynaud, Guy Darcourt, René Dars, Jean-Pierre Delmont, Jean-Paul Goux, Yves Ignazi, Jacques Lebraty, Maurice Papo.

Excusés :

Jean Aubouin, Richard Beaud, René Blanchet, Sonia Chakhoff, Pierre Couillet, François Cuzin, Michel Lazdunski, Jean-François Mattéi, Jacques Wolgensinger.

1- Approbation du compte-rendu de la 112^{ème} séance.

Le compte-rendu est approuvé à l'unanimité des présents.

2- Le mois écoulé.

Le secrétaire général nous remet le volume 8 de notre collection : « Les climats de la Terre au cours des temps ».

Il a été imprimé comme d'habitude par la maison Pierotti à qui nous avons passé commande sur la promesse du versement du crédit nécessaire par M. Barthe, adjoint à la Culture de l'ancien conseil municipal : de ce fait, nous n'avons pas, pour le moment, les moyens de régler la facture de M. Pierotti.

Le nouveau Maire-Adjoint à la culture scientifique n'est autre de Mme Agnès Rampal qui connaît bien l'AEIS et les buts que nous poursuivons.

Mme Rampal nous a recommandé d'écrire au Maire de Nice, s/c du Maire-Adjoint aux finances M. Tordo, pour lui demander de nous assurer une subvention de 3 500 € sur le budget 2008 non encore voté, afin que nous puissions rapidement honorer nos engagements vis-à-vis de l'imprimerie Pierotti.

Notre huitième volume « Les climats de la Terre au cours des temps » arrive à point nommé sur le marché des ouvrages où, de plus en plus, la responsabilité exclusive des hommes dans le changement climatique est mise en doute.

3- 9^{ème} colloque.

Au cours de la réunion, nous avons évoqué une prolongation du cycle de conférences « Les lundis de la connaissance ».

Deux sujets ont été abordés :

Annances

*Extrait de l'article de Nicolas Weill du Journal « Le Monde » du 1^{er} juin 2008
concernant le décès d'un membre fondateur de l'AEIS*

Pierre Simon

Ce médecin s'attachait, tout au long de sa carrière, à rendre aux femmes la maîtrise du vivant

Ce qui frappait tout visiteur du docteur Pierre Simon, qui vient de mourir dimanche 11 mai, c'était d'abord sa haute taille et le dynamisme infatigable qui a porté sa vie de médecin et de réformateur social. La chaleur communicative de cet homme, né dans une famille juive de Metz en 1925, suffisait à montrer que, malgré les attaques - tant des communistes que de l'Eglise ou que des " natalistes " - suscitées par son engagement en faveur de la contraception et du contrôle des naissances, il était bien un amoureux de la vie, dans tous les sens du terme.

Homme de gauche, membre du Parti radical ayant flirté un temps avec le centre droit, il rappelait malicieusement que ce fut à l'occasion d'un voyage effectué en URSS " *avant la mort de Staline* ", en 1953, qu'il avait importé en France les techniques d'accouchement sans douleur. On lui doit également l'invention du " stérilet " et la promotion, dès les années 1950, de cette technique contraceptive encore clandestine.

Cette action de longue haleine, il la percevait rétrospectivement comme une sorte de fusée à étages, lancée vers la transformation progressive et la rationalisation des concepts définissant le vivant - jusque-là monopoles des religions ou des idéologies politiques - qu'il entendait remettre entre les mains des hommes, et en particulier des femmes. Après avoir participé à la fondation du Mouvement français pour le Planning familial en 1956 dont il présida le " collège médical ", il fut à des titres divers et dans plusieurs cabinets ministériels, dont celui de Robert Boulin, de toutes les batailles : celle de la contraception puis celle de l'avortement. Il s'était enfin prononcé pour le droit de mourir dans la dignité.

Il fut aussi à l'initiative du premier grand rapport sur le comportement sexuel des Français annoncé à la " une " du *Monde* (21 octobre 1972) qui se voulait, dans une société en passe de se libérer de ses " *archaïsmes* ", l'équivalent de ce qu'avait été le célèbre rapport du docteur Alfred Kinsey pour la société bourgeoise et puritaine de l'Amérique des années 1930 et 1940.

Franc-maçon, par deux fois grand maître de la Grande Loge de France, Pierre Simon estimait que le médecin devait agir dans et sur la société avec l'audace théorique nécessaire. Dans son livre de souvenirs, *De la vie avant toute chose* (Mazarine, 1979), il invitait ses lecteurs à " *changer notre attitude et notre comportement devant la vie* ", " *en n'y voyant plus un don de Dieu mais un matériau qui se gère* ".

Nicolas Weill

1925 Naissance à Metz

1956 Participe à la fondation du Planning familial

1972 A l'initiative du premier grand rapport sur le comportement sexuel des Français

11 mai 2008 Mort

Documents

Pour compléter la conférence d'Anouk BARBEROUSSE, nous vous proposons , issu du livre de Philosophie des sciences de Daniel ANDLER, Anne FAGOT-LARGEAULT et Bertrand SAINT-SERNIN, un sous-chapitre consacré à l'émergence :

P. 10 : « Hiérarchies, niveaux d'intégration, croissance de la complexité »

En vue de la préparation du congrès « Emergence : de la fascination à la compréhension » avec les Pr Denise PUMAIN et D. LECOURT nous vous proposons diverses thématiques de l'émergence en sciences sociales:

P. 16 : « Une approche de la complexité en géographie » écrit par Denise PUMAIN, Professeure de géographie à l'Université Paris 1 dans la revue « Geocarrefour »¹ traitant de l'évolution et des transformations sociales :

P. 26: chapitre 5 : « les nantis et les démunis de l'histoire » issu du livre de Jared DIAMOND, paru chez Folio-Essais, « De l'inégalité parmi les sociétés » traitant de l'émergence des sociétés d'agriculteurs à partir des sociétés primitives de chasseurs-cueilleurs

¹ **Denise Pumain** , « Une approche de la complexité en géographie », *Géocarrefour*, Vol. 78/1, 2003, [En ligne], mis en ligne le 23 mai 2007. URL : <http://geocarrefour.revues.org/index75.html>. Consulté le 02 juin 2008.

HIERARCHIES, NIVEAUX D'INTEGRATION, CROISSANCE DE LA COMPLEXITE

*Extrait du livre de Daniel ANDLER, Anne FAGOT-LARGEAULT, Bertrand SAINT-SERNIN
« Philosophie des sciences/Emergence » Collection FOLIO ESSAI*

François Jacob suggère que le processus d'intégration est initié par des unités individuelles qui prennent l'initiative de s'unir pour former les parties d'un tout (et perdre leur individualité au profit du tout ?). Lequel tout, fort de son unité, peut à son tour rallier d'autres unités pour constituer un autre tout de niveau supérieur, et ainsi de suite , de bas en haut :

« A chaque niveau , des unités de taille relativement bien définie et de structure à peu près identique s'unissent pour former une unité à l'échelon suivant. Chacune de ces unités constituées par l'intégration de sous-unités peut être désignée par le terme général d'intégron. Un intégron se forme par l'assemblage d'intégrons de niveau inférieur ; il participe à la construction de niveau supérieur » (F. Jacob, 1970)

Bien que Darwin (1859) ait prudemment fait observer qu'il est « presque impossible de définir nettement ce que l'on entend par une organisation plus ou moins élevée », ce que Chaisson² appelle « montée de la complexité dans la nature », et que Lamarck (1820) nommait « tendance de la nature à compliquer de plus en plus l'organisation », a été tenu pour un fait de l'évolution biologique puis pour un fait de l'évolution cosmologique . Lamarck constate le fait et postule la progressivité du changement :

« La nature n'ayant pu produire que successivement les corps qui existent, a été forcée de suivre un ordre constant, propre à lui permettre d'amener les diverses productions auxquelles elle a su donner lieu. Or ce qu'elle a pu faire immédiatement dans chacune des catégories de ses opérations, est extrêmement différent de ce qu'elle est parvenue à faire en dernier lieu ; et ce n'est qu'en remplissant alternativement tous les degrés de l'échelle entre ses deux extrêmes, qu'elle a su faire exister, parmi ses dernières productions , celles qui nous paraissent si admirables » Lamarck, 1820

Darwin explique l'émergence de nouvelles espèces par la sélection, mais il a souvent relevé que l'hypothèse de sélection naturelle est plus efficace pour justifier l'élimination de formes non viables que pour rendre compte de la création de formes neuves.³ Le schéma darwinien (variation, sélection) suppose que la source du changement (le « générateur de diversité ») est dans les organismes individuels, et que la régulation est faite par le milieu (le contexte) dans lequel les organismes évoluent⁴. Chaisson, qui ne délimite pas sa hiérarchie aux espèces vivantes⁵, cherche une explication thermodynamique à la complexification des systèmes ordonnés au sein d'un univers désordonné :

« Comment l'ordre a-t-il pu (et peut-il) émerger du désordre, donné que la seconde loi de la thermodynamique prescrit à l'Univers de devenir toujours de plus en plus aléatoire et déstructuré ? pouvons-nous réconcilier la pente destructrice de la théorie thermodynamique (souvent appelée « flèche du temps thermodynamique ») avec ce que nous observons de constructif dans l'évolution du temps » (Eric Chaisson , 2001 Prologue, p.5)

Le propos de Chaisson , comme celui d'autres auteurs est de montrer que la tendance (trend) des structures ordonnées à augmenter leur complexité – tendance qui suppose des flux d'énergies croissants – « ne viole aucune loi de la physique », et que « c'est peut-être la thermodynamique moderne qui aide le mieux

² Chaisson admet, lui aussi que mesurer le degré de complexité n'est pas facile : « that the complexity of ordered structures has generally risen over the course of time is well recognized , albeit difficult to measure” Eric Chaisson, Cosmic evolution p.12

³ « once we treat organisms as unitary systems with integral structures, we realize that natural selection , is not the sole determinant of organismic structures » (Sunny Auyang , 1998 p. 196)

⁴ Lamarck suppose au contraire que la source du changement (le problème) est dans le milieu extérieur, et que la régulation (l'adaptation, la solution du problème) vient des organismes individuels

⁵ « Cosmic évolution accords well with observations revealing that an entire hierarchy of localized structures has become enriched , in turn, during yhe history of the Universe : particles, atoms, galaxies, stars, planets, life , intelligence, and culture » (Eric Chaisson, 2001, Prologue p. 11)

à l'expliquer » (ibid., p.14). On peut objecter à Chaisson⁶ ce que Ruyer objectait naguère à Brillouin, Bertalanffy, Prigogine : le « flux nourricier » est nécessaire, il ne suffit pas.

*«Il est incontestable que les organismes sont en effet des systèmes ouverts, et qu'ils ne contreviennent pas au principe de dégradation de l'énergie, mais il est plus incontestable encore que le fonctionnement d'un système ouvert n'explique en rien la constitution dudit système, qu'il y faut essentiellement une canalisation, une tuyauterie, et que cette tuyauterie implique une activité formatrice. [...] Le temps n'est plus où, avec Descartes⁷, on pouvait prétendre que, dans l'organisme embryonnaire, c'est la circulation des fluides et le dépôt de leurs sédiments qui façonnent les organes » (R.Ruyer, *La Genèse des formes vivantes*, 1958, chap.III, p.17).*

Raymond Ruyer (1958) dans ce chapitre intitulé « De la molécule à l'organisme », s'interroge sur la transition du non-vivant au vivant. Il écarte toute solution vitaliste : il n'y a pas de « force formatrice » spéciale au vivant, « la microphysique conduit naturellement à la biologie », et « les formes biologiques sont dérivées sans hiatus des morphologies moléculaires ». Réciproquement, le monde vivant n'a pas le monopole de la morphogénèse. Il est naïf de se représenter l'atome de carbone comme un petit solide en forme de pyramide tétraédrique pouvant être juxtaposé à d'autres petites pyramides » ; l'hypothèse du tétraèdre, pour le chimiste, indique seulement une « forme virtuelle », qui rend compte des possibilités d'interaction de l'atome de carbone, lequel est moins une matière investie d'une forme tétraédrique, qu'un type de « comportement structurant ». Il ya une morphogénèse atomique et moléculaire, comme il y a une morphogénèse organique. Les implications ontologiques de cette manière de voir sont, d'une part, que matière et forme sont indissociables (« la forme n'est pas séparable de la matière »), d'autre part qu'une structure ne peut être induite que par d'autres structures (*structura omnis e structura*⁸), enfin que la temporalité est inscrite dans le processus par lequel l'atome de carbone, par exemple, entre dans certains types de liens avec divers radicaux chimiques. La transition du non-vivant au vivant n'est pas un passage de la matière à l'organisation, elle est liée à l'activité structurante qui est la matière même. Admettre que la matière « ne se présente jamais que formée », c'est admettre qu'elle est faite d'unités individualisées (« moléculaires, atomiques ou sous-atomiques »), et que les unités d'un certain niveau (par exemple la cellule vivante) résultent des comportements structurants de leurs parties. Préciser que la « forme » matérielle est plus une virtualité de forme qu'une forme figée, c'est sous-entendre que l'activité structurante ne se développe pas seulement dans l'espace, mais aussi, si peu que ce soit, dans le temps (« verticalité » : mémoire, anticipation), et dans ses relations avec les autres formes. Ruyer est conscient que, pour expliquer la transition du non-vivant au vivant, il faudra expliquer comment certaines molécules ont acquis la propriété de se reproduire ; il s'intéresse particulièrement aux virus, comme possibles jalons entre les niveaux moléculaire et cellulaire. Mais surtout il exprime une intuition intéressante : les processus « émergents » (ce mot n'appartient pas au vocabulaire de Ruyer, qui dit « morphogénétiques ») pourraient être liés à ce que les unités constitutives d'un tout ne sont pas indépendantes les unes des autres, mais entretiennent entre elles des « relations horizontales » :

*« A partir des phénomènes individuels de l'atome, on peut aller [...] dans deux directions. Leur accumulation statistique conduit aux lois de la physique ordinaire. Mais que ces phénomènes individuels se compliquent par des interactions « systématiques », tout en gardant leur individualité, ausein de la molécule, puis de la macromolécule, puis du virus, puis de l'unicellulaire en se subordonnant les phénomènes de foule, on arrive alors à l'organisme qui, si gros qu'il soit reste en ce sens « microscopique » (R., Ruyer, *La genèse des formes vivantes*, 1958, chap. II p.54).*

⁶ C'est précisément ce qu'objecte George Ellis dans son compte rendu du livre de Chaisson, « An energetic view of nature », *Nature*, 9 Aug. 2001,412, p. 587-588

⁷ Allusion au *Traité de la formation du fœtus*, édition posthume : *L'homme de René Descartes, et un traité de la formation du fœtus, du mesme auteur, avec les remarques de Louis de la Forge, Docteur en médecine...*, Paris, Charles Angot, 1664, p.109-170

⁸ Le principe que « toute structure vient d'une structure » est explicitement emprunté à par Ruyer à Frey-Wissling qui, dans son livre *submicroscopic Morphology*, 1953, le présente comme une généralisation du second principe fondateur de la théorie cellulaire, formulé par Virchow (1858) : « *omnis cellula e cellula* »

D'une part, Ruyer tient les recherches sur l'origine de la vie⁹, qui supposent une continuité entre le monde physico-chimique et le monde vivant, pour compatibles avec quelque chose comme une théorie de l'émergence. D'autre part, il a fait une hypothèse sur l'emboîtement des ordres. Entre les parties constituantes d'un tout, de deux choses l'une : ou bien il y a indépendance mutuelle (le tout est alors un résultant, un agrégat), ou bien elles sont interconnectées, et le tout est un émergent (passage d'un niveau d'ordre à un autre).

Dans le débat entre émergentistes et réductionnistes, William Wimsatt¹⁰ fait de la recherche de l'agrégativité un outil heuristique. Les naïfs croient, dit-il, que tous les phénomènes jugés émergents à première vue sont réduits à des résultants à mesure que l'analyse scientifique progresse. En réalité, c'est l'inverse qui se produit. Au premier abord, pour analyser un système complexe, nous essayons un modèle simple, qui présuppose l'homogénéité des parties, et leur agrégativité. Nous disons : « un comportement social *n'est que* la somme des comportements individuels ». Nous appliquons notre modèle, qui peut un temps nous aveugler sur la réalité étudiée, parce que nous la percevons dans les cadres prescrits par le modèle. Puis notre attention est attirée vers les détails qui clochent, les situations qui ne « cadrent » pas avec le modèle. Pour l'ajuster à ces faits rétifs, nous compliquons notre modèle. Nous admettons que *le tout n'est pas que* la somme ... Nous distinguons les comportements qui peuvent être homogénéisés de ceux qui ne le peuvent pas. « Peu de propriétés des systèmes sont agrégatives, ce qui suggère que l'émergence, définie comme échec du postulat d'agrégativité, est chose très commune – la règle plutôt que l'exception » (Wimsatt, 1997, p538).

Les rapports entre le tout et la partie sont depuis longtemps un objet de réflexion philosophique. Platon¹¹ montre que « les parties, comme le tout participent de l'Un. ; » D'un côté ce sera l'unité d'un tout, dont seront parties les parties ; de l'autre, l'unité d'une partie singulière du tout, autant de fois qu'il y aura de parties dans le tout ». Aristote¹² oppose les tous dont l'unité « résulte de plusieurs parties intégrantes » (comme la main est partie intégrante du corps humain), des sommes où « la position des parties est indifférente » (comme un sac de pommes). Un tout auquel on soustrait une partie intégrante est « mutilé », atteint dans sa nature propre.

Georges Canguilhem¹³ affirme que, d'Aristote à Descartes et au-delà, les naturalistes ont eu un modèle « technologique » (mécaniste ou organologique) du vivant. Ce modèle avait l'avantage de rendre possible la déduction anatomique (consistant à prédire la fonction à partir de la structure de l'organe, décrit comme partie intégrante du tout), mais il avait l'inconvénient de rendre très difficile (malgré les efforts de Descartes) la conception d'un développement qui soit une différenciation à partir d'un état indifférencié (épigénèse). Au XIX^e siècle, au contraire (avec Kant, Cl. Bernard ; et avec la naissance de la théorie cellulaire), on saute à un modèle « économique et politique » du vivant. Les organismes sont constitués de cellules, les cellules sont des individus, l'organisation biologique est pensée par référence à l'organisation sociale, le problème est celui de l'intégration des individus à la société. « La relation des parties au tout est une relation d'intégration », dit Canguilhem ; la cellule-individu a toutes les fonctions vitales, le tout (« milieu

⁹ Danchin. *Une aurore de pierres*, Paris, Seuil, 1990 ; Gesteland R.F. & Atkins J.F. eds., *The RNA World*, Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1993 ; Maurel M.-C., *Les origines de la vie*, Paris, Syros, 1994 ; Nagai K. & Mattaj I.W. eds., *RNA-protein Interactions*, Oxford, Oxford University Press, 1994 ; Patrick FORTERRE, « *Genomics and early cellular evolution. The origin of the DNA world* », CR Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie/Life Sciences, 2001, 324, p. 1067-1076

¹⁰ Wimsatt William, « Reductionism, levels of organization, and the mind-body problem », in G.G. Globus et ali., eds, *Consciousness and the Brain*, New York, Plenum Press, p. 205, p. 205-267 ; « Reductionist research strategies and their biases in the units of selection controversy », in Nickles T., ed. *Scientific Discovery : Case studies*, Dordrecht, Reidel, 1980, p. 213-259 ; « aggregativity: reductive heuristics for finding emergence », *Philosophy of Science*, 1997, 64(4), p. S372-S384 ; « Emergence as non aggregativity and the biases of reductionisms », in Wimsatt, *Piecewise Approximations to Reality*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1998

¹¹ *Parménide 157 d.*

¹² *Métaphysique*, Δ, 1023 b11-1024 a 28

¹³ G. Canguilhem, « Le tout et la partie dans la pensée biologique », *Etudes philosophiques*, 1966, XXI (I). Repris in Canguilhem, *Etudes d'histoire de philosophie des sciences*, 2^e édition 1970, III, 6 p. 319- 333

intérieur ») est au service du fonctionnement des parties. « Le tout n'est plus le résultat d'un agencement d'organes, il est une totalisation d'individus. »

Ce modèle social n'est peut-être (chez Claude Bernard) « qu'une métaphore, ajoute Canguilhem ; du reste la biologie l'a ensuite abandonné. Notre auteur tranche donc : « l'organisme n'est pas une société¹⁴. Mais quittons Canguilhem et suivons l'analogie entre organisme et société . « les analogies sont instructives , écrit Sunny Auyang, non parce qu'elles représentent l'inconnu sous la forme du familier, mais parce qu'elles nous font discerner , dans le cas familier, des idées générales qui sont aussi applicables à des situations peu familières.¹⁵ » Une société peut s'organiser schématiquement , de deux façons , : totalitaire ou démocratique. En reconnaissant qu'il n'y a pas de Grand Organisateur du développement biologique, on a opté pour le modèle démocratique. Auyang (1997, chap. 6, § 25) compare les deux façons de conceptualiser une économie démocratique. : la façon néoclassique et la façon néokeynésienne . Dans la perspective néoclassique , au niveau microéconomique , les agents individuels sont présumés chacun indépendamment les uns des autres , maximiser leur utilité. En supposant que le marché fonctionne parfaitement (entière flexibilité des salaires et des prix) tout déséquilibre au niveau macroéconomique est aussitôt compensé. Le chômage fait baisser les salaires , la baisse des salaires incite les chefs d'entreprise à embaucher, on revient au plein emploi. Les prix baissent, les consommateurs se précipitent pour acheter , ce qui fait fondre l'offre et remonter les prix. Les rééquilibrations au niveau « macro » résultent directement de ce qui se passe au niveau « micro » . : les agents , présumés homogènes et informés de l'état du marché, effectuent chacun un calcul rationnel, il suffit d'agréger leurs choix pour prédire le résultat (causalité de bas en haut ou *bottom-up*) . Les phénomènes du niveau macro sont réductibles à ceux du niveau micro. Le postulat d'homogénéité exclut la possibilité de structures émergentes » (Auyang, 1998, p. 209). Dans la perspective néokeynésienne, on tient compte de ce que , en fait, un chômage massif peut ne pas tendre à se résorber , ni l'abondance de la main d'œuvre tendre à faire baisser les salaires. Pour expliquer le fait , il faut se dire que les agents individuels ne sont ni homogènes dans l'exercice de leur rationalité, ni seuls contre tous face au marché. Des échanges d'informations, des négociations peuvent exister entre les agents , ces négociations peuvent prendre en compte des valeurs collectives distinctes de l'avantage privé. Des phénomènes « émergents » sont alors possibles :

« L'approche éclectique des économistes néokeynésiens permet de voir les caractères émergents de l'économie, invisibles pour les économistes néoclassiques à cause de leur exigence de compétition parfaite. Les modèles de compétition parfaite présupposent que les individus n'interagissent qu'implicitement à travers les paramètres de salaires et de prix en termes desquels ils sont définis. Cette présupposition facilite l'agrégation des comportements individuels, mais empêche la formation de structures saillantes. Quand les individus interagissent directement et différenciellement , la moindre inhomogénéité peut induire l'émergence d'une segmentation, ou d'autres structures globales » (Auyang. Foundations of Complex-system Theories, 1998, p. 209).

Sunny Auyang est venue, par la physique de la matière condensée (son domaine scientifique), à une enquête sur les modèles théoriques par lesquels on conceptualise les processus dont on peut faire à la fois une description macroscopique (au niveau du tout) et une description microscopique (au niveau des éléments) : par exemple , le passage de l'eau de la phase gazeuse à la phase liquide (condensation) , ou le fait qu'un métal , porté à très basse température, devient brusquement « superconducteur » au dessous d'un seuil critique de refroidissement¹⁶. Comment relie-t-on les propriétés globales du système (par exemple la transition de phase) à la multitude des événements microscopiques sous-jacents (les comportements individuels des molécules d'eau) ? Pour éclairer sa lanterne , Auyang a cherché des situations comparables dans d'autres sciences ; biologie de l'évolution , sciences économiques,. Comment les biologistes relient-ils les innovations évolutives (comme l'apparition de l'œil) à l'accumulation de micro-variations génétiques censées les avoir produites ? Elle observe que beaucoup de modèles théoriques optent pour une stratégie

¹⁴ En voici la raison résumée par un aphorisme très canguilhémien : « pour l'organisme, l'organisation est son fait : pour la société, c'est son affaire » (*Etudes...*, 1970, p.333)

¹⁵ Sunny Auyang Foundations of complex-system Theories in Economics, Evolutionary Biology, and Statistical Physics, 1998, p. xi

¹⁶ La découverte de ce fait valut à Heike Kamerlinghones un prix Nobel en 1913

simplificatrice consistant à « homogénéiser » les éléments du système, *i.e.* , « à représenter un système complexe de constituants interactifs comme un système (plus facile à manier) de constituants non-interactifs » (XI). Elle constate que cette stratégie escamote les caractères « émergents ».

Pour asseoir sa thèse, elle prend « émergent » au sens le plus étroit, et « résultant » au sens le plus libéral. La non-déductibilité (ou non-prédictibilité) ne lui paraît pas être un trait discriminant (il peut exister des résultants non prédictibles). Les critères d'émergence qu'elle retient sont la nouveauté, et la non additivité. On reconnaît un « résultant » à deux traits : 1. Le processus macroscopique (où se montre le *résultat*) est qualitativement homogène au processus microscopique : leurs descriptions s'énoncent dans le même langage ; 2. La micro-explication (analytique) suppose les acteurs du niveau microscopiques indépendants les uns des autres, ou faiblement couplés. Les critères auxquels on identifie un « émergent » sont : 1. Le phénomène macroscopique est « nouveau », il appelle une description en termes spéciaux ; 2. Les modèles fondés sur le présupposé d'une base microscopique décomposable en unités indépendantes sont peu performant ; 3. Les caractères macroscopiques sont relativement indépendants du substrat microscopique, ils peuvent être observés dans d'autres systèmes ayant des substrats différents. Exemple : une baguette de métal. Elle conduit l'électricité : c'est un phénomène *résultant*. Chaque électron du métal porte une micro-charge électrique, le mouvement de l'électron génère un micro-courant ; dans les conditions ordinaires les électrons se meuvent en tous sens, leurs micro-courants s'annulent ; un macro-voltage appliqué à la baguette entraîne les électrons dans une certaine direction, le macro-courant qui passe est la somme de tous les micro-courants ; on sépare la baguette de la source, les électrons reprennent leur cours erratique au hasard des collisions, aucun macro-courant ne passe plus. Au dessous d'un seuil de température, la même baguette (avec les mêmes électrons) devient un superconducteur ; c'est un phénomène *émergent*. Le macro-courant appliqué au superconducteur persiste indéfiniment après que la source est éteinte ; la résistance du métal est devenue nulle. Que s'est-il passé au micro-niveau ? Un événement minuscule a suscité la formation d'un pattern où les électrons sont tous interconnectés. Ils ne se meuvent plus que tous ensemble. En 1986 ont été découverts d'autres superconducteurs qui ne sont pas des métaux. Leur température critique est différente, mais leur macro-comportement est analogue à celui des métaux. Par contre, les micro-mécanismes sous-jacents, ne sont pas les mêmes. La propriété émergente n'est donc pas strictement liée au substrat.

D'autres recherches vont dans la direction indiquée par Auyang : par exemple en biologie, en logique, en informatique. En génétique des populations, on a souvent raisonné comme si les espèces étaient des entités isolables, face à leur environnement ; et la montée en puissance de la biologie moléculaire a fait identifier chaque espèce à un pool génique. Puis des voix se sont élevées pour faire entendre que dans un système écologique les espèces interagissent, qu'un génome n'est pas un sac de gènes, et que, (particulièrement dans les organismes complexes) il y a des interactions entre les mutations géniques (« interactions épistatiques¹⁷ ». La possibilité d'analyser un trait macroscopique (par exemple une maladie) jusqu'à le rattacher à une anomalie moléculaire d'un gène ne dispense pas de s'interroger sur les interactions géniques, susceptibles de moduler l'expression du gène.

Supposons, écrit J. Hintikka, que l'UNESCO nous demande de construire une langue logique universelle. Nous aurons dans cette langue des variables d'individus, des prédicats (fonctions), et des quantificateurs. Nous voulons pouvoir exprimer dans cette langue toutes les relations possibles de dépendance / indépendance entre les variables. La logique dite « classique » (du premier ordre) ne le permet pas, parce qu'elle met des conditions restrictives aux emboîtements des quantificateurs. Hintikka montre qu'on peut construire une logique « hyperclassique » (« indépendance friendly » ou IF-logic) qui, levant ces conditions restrictives, autorise toutes les relations possibles entre les variables d'individus. Mais c'est au prix de renoncer à la « compositionnalité » (terme de linguistes). Une langue a la propriété de compositionnalité si, et seulement si, le sens d'une expression complexe est déterminé par le sens de ses éléments, et par la syntaxe de l'expression. Autrement dit, le sens d'une expression résulte du sens de ses parties (il est indépendant du contexte). Les langues logiques classiques ont la propriété de

¹⁷ Solé & Goodwin, *Signs of Life. How Complexity pervades Biology*, 2001, chap. 9

compositionnalité. Par contraste, en logique IF, le contexte peut faire émerger un sens surprenant, comme dans les langues naturelles¹⁸.

Les informaticiens ont appelé *emergent computation* le style de programmation permettant de simuler sur ordinateur des processus où « un comportement global intéressant émerge de nombreuses interactions locales ». Les méthodes standard de programmation « minimisent le potentiel d'émergence ». Les méthodes innovantes renoncent au principe qu'un problème est toujours décomposable en sous-problèmes indépendants les uns des autres ; elles admettent des interactions entre les composantes (« emergent computation is primarily computation by side effect », p.6) . La neuvième conférence de Los Alamos était centrée sur la présentation de telles méthodes, permettant, par exemple, la simulation du comportement d'une fourmilière :

« *Les actions des fourmis individuelles sont limitées, et apparemment aléatoires, mais l'organisation collective et le comportement de la fourmilière a un haut degré de sophistication ; elle inclut la communication de masse et la construction du nid. En l'absence de tout contrôle centralisé , l'entité collective (la fourmilière) peut « décider » (la décision elle-même est un émergent) quand, où comment le nid sera construit – comportement auto-organisé, collectif et coopératif s'il en est* » (Stéphanie Forrest, 1991, p. 8).¹⁹

Si les processus émergents sont devenus (obligatoirement) abordables par le calcul, c'est qu'on a cessé de les tenir pour des mirages ou des effets miraculeux. Ils sont pris au sérieux. Des critères d'identification ont été formulés, qui permettent de démêler les effets émergents des résultants. Les journaux scientifiques publient nombre de descriptions détaillées de processus morphogénétiques ou épigénétiques , qui sont comme autant de petites séquences d' « évolution créatrice » . Le problème philosophique de l'émergence se laisserait-il dissoudre par cette fragmentation besogneuse , ou reste-t-il une énigme ? Le lecteur choisira, en songeant que Descartes, qui avait fait de grands efforts, quoique très infructueux, pour donner une explication naturelle (scientifique) de la procréation et du développement embryonnaire, persistait à dire que c'était la route à suivre :

« *Exspecto cur aliquis caperata fronte dicat esse radiculum, rem tanti momenti, quanta est procreatio, fieri ex tam levibus causis. Sed vero quas velint graviore, quam Naturae leges aeternas ? Forte ut ab aliqua mente fiant ? A qua autem ? An immediate a Deo ? Cur ergo aliquando fiunt monstra ? An a sapientissima ista Natura, quae non nisi ex humanae cogitationis desipientia habet originem?*” René Descartes, *Primae cogitationes circa generationem animalium*, in AT, XI, p. 524²⁰).

¹⁸ Hintikka Jaako & Sandu Gabriel « Game theoretical Semantics ». in Johan von Benthem & Alice ter Meulen, eds, *Handbook of Logic and Language* , Amsterdam Elsevier, 1997, p3 361-410. Hintikka J. “Introduction and Postscript”. Post-Tarskian truth” *Synthese*, 2001, 126 (1-2), p.1-16, 17-36

¹⁹ Forrest Stéphanie, ed., « *Emergent Computation Self-organizing , Collective and Cooperative Phenomena in Natural and Artificial Computing Networks*, Cambridge, Mass., The MIT Press, 1991

²⁰ « On me dira en haussant les épaules qu'il est ridicule d'attribuer un phénomène aussi important que la procréation à de si petites causes ; mais quelles plus grandes causes faut-il donc que les lois naturelles ? Veut-on l'intervention immédiate d'une intelligence ? De quelle intelligence ? De Dieu lui-même ? Pourquoi naît-il donc des monstres ? Ou veut-on y voir l'intervention de Dame Nature qui n'a que la sagesse que lui prête la folie de notre esprit ? » René Descartes, (*Premières pensées sur la génération des animaux*).

Géocarrefour

Vous êtes ici [Accueil](#) / [Numéros](#) / [Vol. 78/1](#) / [Une approche de la complexité en géographie](#)
[Sommaire](#) [Document précédent](#) [Document suivant](#)
[Vol. 78/1 Les références des géographes](#)

Une approche de la complexité en géographie

Denise Pumain

p. 25-31

[Résumé](#) | [Index](#) | [Plan](#) | [Texte](#) | [Bibliographie](#) | [Notes](#) | [Citation](#) | [Auteur](#)

Résumé

[Français](#) | [English](#)

Pour construire une théorie géographique du changement qui ne se limite pas à la simple spatialisation d'une théorie de l'histoire ou des transformations sociales, on propose de formaliser les observations de l'évolution des systèmes spatiaux à l'aide des concepts et des méthodes élaborés par les sciences de la complexité. Au cours des trente dernières années, des avancées des théories physiques de l'auto-organisation, des théories de l'évolution du vivant ou des systèmes cognitifs adaptatifs ont renouvelé notre conception de la dynamique des systèmes, en interrogeant notamment les conditions d'émergence de la nouveauté. La géographie pourrait ainsi proposer une interprétation de la formation et de l'évolution d'entités localisées qui, à côté d'autres réseaux intermédiaires comme les groupes ou les institutions, structurent les interrelations entre les individus et le monde.

Entrées d'index

Plan

Texte intégral

[PDF 347k](#)

1) Porter témoignage des influences philosophiques ou idéologiques en géographie, à partir de sa propre expérience, n'offre pas la meilleure garantie de l'objectivité scientifique ! Décevoir Popper n'implique pas davantage de satisfaire les tenants d'une posture postmoderne, car, comme dit le proverbe russe : « le pire témoin est celui qui était là ». La proposition de la revue Géocarrefour et de François Durand-Dastès, tendant à une clarification des positions des géographes dans l'univers des références intellectuelles du temps, n'est cependant pas sans intérêt. Cette exigence d'explicitation, tout autant qu'un rappel de nos revendications affichées depuis les années 1970, invite aussi à un retour sur l'expérience des trente dernières années, du moins pour ce qu'il en reste de mémoire, avec les inévitables clairs-obscur et révisions de sens qu'apporte le coup de projecteur des conceptions actuelles.

2) Dans cette optique, la question qui pour moi demeure centrale est celle des fondements d'une théorie de la géographie, qui serait une théorie permettant de comprendre l'évolution des systèmes territoriaux planétaires, ou plus précisément une théorie explicitant les processus (écologiques et spatiaux)

qui conduisent à l'organisation et à la différenciation des entités localisables et des représentations que s'en font les sociétés. Il n'est pas possible d'évoquer en un court article les références correspondant à cette ambition théorique dans son ensemble, j'ai donc choisi d'en mentionner ici l'une des entrées possibles, qui n'est ni la seule, ni sans doute la principale, mais qui suscite aujourd'hui un regain de curiosité. J'ai ainsi l'occasion de répondre un peu longuement à la question qui m'a souvent été posée : pourquoi aller chercher une légitimité scientifique du côté des sciences « dures », pourquoi travailler en géographie avec des modèles ? Ma réponse sera construite autour de références à ce que l'on appelle aujourd'hui les théories de la complexité.

3) Les conditions de production d'un article imposent un biais d'écriture, j'ai choisi de ne mentionner ici que les références qui ont un rapport direct avec l'objet de mes recherches. Cela ne veut pas dire qu'il n'y en a pas eu d'autres, (dont éventuellement je n'aurais pas conscience !) et cela ne signifie pas non plus mon adhésion totale aux thèses de celles que j'ai citées. Si j'ai fait le choix personnel de ne pas militer pour une école, de garder un éclectisme de références, une liberté de construction intellectuelle, c'est qu'entre une posture philosophique qui tendrait à produire un système de pensée cohérent et une pratique des sciences sociales qui adopte l'insertion progressive et fragmentaire de faits d'observation dans des constructions interprétatives partielles, je me situe résolument dans la seconde voie. Cela n'implique pas une revendication d'originalité, puisque au contraire je crois à la nécessité d'une production et d'une transmission cumulatives de la connaissance. Cette position n'exclut pas les révisions nécessaires, ni l'ouverture, mais suppose une défiance à l'égard des concepts jetables, des acceptions personnelles et inusitées, et justifie au contraire le patient travail de réflexion et d'assimilation collective de la nouveauté.

Théorie géographique et dynamique de système

4) L'ambition théorique était très partagée, pour les géographes de ma génération, allant parfois jusqu'à proposer d'axiomatiser la géographie, ou du moins d'en approfondir les concepts et les construits (pour citer les titres de quelques-uns des premiers colloques Géopoint). Il est possible qu'elle ait été facilitée par les acquis taxinomiques antérieurs, par les nombreuses classifications de paysages, de régions, de genres de vie, de villes et de réseaux urbains, sans oublier les maisons et les peuples, les climats et les végétations, ou encore les formes de sous-développement. Théoriser, c'était d'abord tenter d'échapper aux apories d'une « science du concret », et surtout dépasser l'irréductible unicité des lieux, chercher à construire un point de vue nomothétique sur la discipline.

5) Schématiquement, deux conceptions de la place de la théorie en géographie s'affrontaient à l'époque. Pour les uns, il était exclu de faire bande à part sous la bannière disciplinaire, toute construction spécifique revenant à « fétichiser l'espace », les formes et différenciations observées sur le terrain n'étant que la projection spatiale des organisations sociales, il était inutile (et forcément dangereux !) de chercher à identifier des effets de la composante spatiale sur les constructions sociales, donc une théorie géographique ne pouvait être d'abord qu'une théorie sociale. Pour d'autres, les régularités observées dans l'organisation de l'espace par les sociétés étaient suffisamment importantes, par delà les différences et inégalités des conditions « naturelles », politiques ou culturelles, pour en tenter la modélisation, voire un développement de théories comme celles déjà bien établies de la rente foncière de von Thünen sous-tendant les inégalités centre-périphérie à moyenne échelle, ou de la trame hiérarchisée des lieux centraux formalisée par Christaller.

6) Les jalons n'ont pas manqué dans cette quête d'une construction théorique plus assurée. Vues d'Europe, les questions posées par la géographie n'étaient pas mauvaises, le renouvellement ayant été amorcé par la génération précédente (la réévaluation de la hiérarchie des facteurs explicatifs s'y étant opérée sous la forme d'une ouverture thématique : meilleure prise en compte de l'économie, remise à sa place de la géomorphologie, remplacement du découpage zonal par la notion de développement). Rien d'étonnant donc si la « révolution théorique et quantitative » s'y est voulue plus en continuité qu'en rupture épistémologique (Racine, Reymond, 1973), et si l'accent a plutôt été mis sur la méthodologie, par exemple par l'incitation à ne pas se contenter de monographies (Pinchemel), au moment où la mise à disposition des techniques d'analyse multivariée et des premiers progiciels statistiques permettait de donner de la diversité géographique une description plus contrôlée, plus comparative, délaissant momentanément les perceptions

intuitives et subjectives du paysage visible pour les certitudes partagées et rassurantes (mais en partie illusoires) des « paysages statistiques » (Pumain, Robic, 2002) !

7) Ce n'est pas je crois refaire l'histoire que de signaler qu'à aucun moment nous n'avons souscrit à une interprétation des résultats de ces analyses, les facteurs récurrents et stables issus des analyses factorielles (par exemple, Pumain, Saint-Julien, 1978), en termes de « dimensions latentes », de « trames indépendantes » qui se seraient superposées selon une structure feuilletée de l'espace géographique (Lacoste, 1976), organisé par des logiques sectorielles. Ces interprétations, sans doute cohérentes avec la notion de « combinaison » de la géographie classique, et dont elles proposaient une forme de mesure, ne tenaient pas longtemps, dans les applications aux analyses comparatives des villes, face à une lecture en termes de traces d'une évolution. Les différenciations observées en termes de tailles des villes (et de tous les indicateurs qui lui sont associés) reflétaient l'histoire des effets cumulatifs de la croissance urbaine, tandis que les faisceaux d'indicateurs qualitatifs regroupés par différenciation fonctionnelle s'interprétaient en termes de cycles d'innovation et de « générations » de villes. Autrement dit, même si elles se traduisent par des configurations géographiques distinctes, les trames spatiales sont organisées par des processus temporels, et ce sont eux qui reproduisent ou maintiennent la stabilité de cette structure dans ses différentes composantes. L'explication de la pérennité de la combinaison ne réside pas tant dans la force des associations qui en relient les composantes, que dans la subtilité des principes évolutifs par lesquels la structure, de manière incrémentale et continue, et dans toutes ses composantes, s'adapte aux changements, qu'elle peut aussi d'ailleurs contribuer à susciter.

8) Très vite donc, cette quête théorique impliquait de savoir passer de l'observation des régularités à l'analyse des processus, de l'identification de « combinaisons » ou de structures, à l'étude du changement susceptible de les produire et de les transformer. Il faut préciser ce que l'on entend par changement. Bien souvent, la description du changement en géographie se limite à l'enregistrement des transformations politiques, techniques, économiques, sociales ou culturelles intervenant dans différents lieux. Il en résulte une géographie, certes nécessaire, que j'ai appelée « de la mise à jour » (Pumain, 1998). Dans une seconde étape, si l'on veut produire une théorie géographique du changement, il faut cependant déplacer la focale, depuis le contenu de ces transformations, vers les modalités géographiques de leur assimilation par les lieux, et de leurs effets en termes d'évolution des inégalités et des différenciations. Cela implique à la fois d'observer les transformations des structures des systèmes géographiques, en mesurant les effets différentiels et sélectifs du changement général, et de s'intéresser aux processus opérant ces différenciations. On oublie trop souvent que la New geography (comme l'avait bien vu Paul Claval, 1977), dans sa révolution, s'efforçait déjà d'expliquer les formes spatiales par des processus générateurs, rapportés à l'échelle des individus : catégories fondamentales des dispositions individuelles dans l'espace (Nystuen et l'exemple de la mosquée), préférences et représentations (Golledge, Gould), stratégies d'homo economicus, inégales propensions à accepter la nouveauté (Hägerstrand), positions dans des dispositifs de pouvoir (Harvey).

9) Cette question passionnante est difficile ! Aujourd'hui encore, lorsqu'il s'agit de comprendre et de formaliser l'émergence d'entités géographiques collectives (des territoires, des réseaux, des systèmes de villes), la théorie ne permet que rarement de relier explicitement le niveau d'action et de représentation des individus et celui des objets géographiques qu'ils construisent, dès que ceux-ci ont une certaine ampleur. On se contente donc souvent de travailler sur des entités agrégées, entre lesquelles existent des régularités empiriques fortes, qui justifient qu'on s'interroge : comment la diversité des intentions, des préférences et des actions, se laisse-t-elle enfermer dans cette dynamique collective si cohérente ? Cela n'implique pas que l'on prenne définitivement parti pour le holisme (Valade, 2001) contre l'individualisme méthodologique (Boudon), mais que l'on garde l'un et l'autre en mémoire comme garde-fou de l'autre.

10) Pour soutenir cette entreprise, la référence aux seuls travaux des géographes n'aurait pas été suffisante, parce que peu d'entre eux encore avaient pris pour objet l'étude de l'évolution des entités géographiques, dans une démarche comparative. Les pionniers (tels D. Janelle ou E. Juillard) n'avaient que des méthodes assez rudimentaires à leur disposition. Il fallait donc constituer des bases de données, et chercher des instruments pour leur analyse. Assez naturellement, c'est l'ensemble des réflexions conduites autour de la dynamique des systèmes qui, à partir des outils qui en étaient issus, offraient les perspectives les plus prometteuses.

De l'analyse des systèmes à l'auto-organisation

11) Certains confondraient volontiers le systémisme avec l'esprit de système... quand ce n'est pas avec une espèce de croyance, de type sectaire ! L'ambition globalisante des tenants d'une « théorie générale des systèmes » (Bertalanffy, 1969), comme la généralité éclectique et cultivée de certains passeurs (Morin, 1977) ou encore l'enthousiasme prophétique de certains philosophes (Le Moigne, 1983) tantôt séduisent et tantôt laissent en partie sceptique. Outre les réunions organisées par l'AFCE (Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique), animées notamment par Bernard Paulré (1985), deux conférences internationales ont jalonné pour moi l'entrée dans un univers de références systémiques : la première organisée à Boston au MIT en 1981, encore très largement dominée par l'analyse de systèmes de type Forrester, et la seconde à Bruxelles en 1982 (AFCE, SOGESCI, 1982) déjà largement consacrée aux théories de l'auto-organisation. Je n'ai découvert que par la suite d'autres approches, notamment celles développées dans le magnifique compte-rendu d'un colloque de Cerisy par Paul Dumouchel et Jean-Pierre Dupuy (1983) et dont bien des interrogations demeurent d'actualité. Pour l'anecdote, c'est lors d'une conférence organisée à Créteil en 1982 sur l'entropie, que j'ai rencontré P. Allen et découvert une formalisation plus générale des observations que nous avons pu faire sur les villes.

12) Les vingt dernières années ont considérablement fait évoluer le contenu de la référence systémique. Que l'on se souvienne des premières représentations d'un système analysé « à la Forrester » (1964), relativement bien isolé de son environnement, constitué d'éléments peu nombreux en interaction les uns avec les autres, tels que leurs relations à l'intérieur du système soient plus intenses ou plus déterminantes que celles les liant à l'environnement du système, et « organisé pour répondre à un but », selon la définition qu'en donnait Joël de Rosnay (1975).

13) Au moins cette phase « cybernétique » de la référence systémique a-t-elle permis de mettre au centre des recherches, non plus les entités mais leurs relations, et de bien différencier la simple mesure des évolutions (une cinétique) de la dynamique (incluant une interprétation des facteurs contrôlant cette évolution). Cette première acception du systémisme valorisait aussi l'idée que « le tout est plus que la somme des parties », c'est-à-dire que le comportement du système ne se déduisait pas simplement de celui de ses composantes. J. Forrester insistait sur des « comportements contre-intuitifs » invalidant les bonnes intentions des politiques urbaines, tandis que R. Boudon (1984) mettait en évidence les « effets pervers » de bien des constructions sociales.

14) Cette idée devient centrale avec les théories de l'auto-organisation, en général issues de la physique, qui considèrent des systèmes à plusieurs niveaux (généralement deux) : le niveau microscopique constitué d'un très grand nombre d'éléments en interaction, et le niveau macroscopique où apparaissent des phénomènes collectifs non directement prévisibles à partir de la connaissance des états des éléments microscopiques. Théorie des « structures dissipatives » en chimie (Prigogine, 1979) ou de la « synergie » issue de la physique des lasers (Haken, 1977) suggèrent des mécanismes interactifs tels que les changements de l'état des particules du système deviennent corrélés entre eux sur de grandes distances (relativement à leur propre taille) et s'auto-organisent selon des configurations macroscopiques.

15) Surtout, la théorie prévoit que plusieurs configurations sont possibles pour un état du système à l'échelon macroscopique à partir d'une même description des états microscopiques. La dynamique de ces systèmes combine en effet des trajectoires stables et des moments d'instabilité, durant lesquels l'état macroscopique du système peut évoluer vers différentes formes d'organisation, de manière imprévisible, selon des bifurcations. Elle inclut des hypothèses d'irréversibilité du temps, d'imprévisibilité du futur et d'unicité des trajectoires « historiques » de chaque système, faites d'une succession originale de bifurcations. Voilà des propositions qui deviennent conciliables avec l'univers des sciences sociales ! Même si, bien entendu, ces idées n'ont pas pour elles l'intérêt de la nouveauté : depuis que l'on réfléchit sur les sociétés, il n'est pas arrivé que l'on se baignât deux fois dans le même fleuve ! En fait, si ces idées sont séduisantes, c'est qu'elles sont assorties de modèles mathématiques, qui simulent ces processus, et qui sont capables d'engendrer avec les mêmes équations une très grande diversité de formes et d'évolutions. Non seulement leurs hypothèses sont moins réductrices que celles des modèles déterministes ou linéaires, mais en outre ils permettent de se livrer avec meilleure conscience à l'ascèse du test !

16) Pour la géographie, cette conception présente au moins trois intérêts. Le premier est de permettre le dépassement de l'opposition entre l'idiographique et le nomothétique, qui était un des moteurs de son ambition théorique le plus en rupture avec sa tradition disciplinaire, depuis les années 1970. En effet, la théorie de l'auto-organisation fait comprendre comment des processus généraux identiques sont susceptibles de produire des effets et des structures différents en fonction des conditions initiales et des valeurs des paramètres [1] qui contrôlent les interactions et leur évolution. La liberté de choix des acteurs, les préférences culturelles ne sont plus exclues de l'explication pour leur incompatibilité avec la production de régularités par des processus généraux. Le second intérêt est d'inviter à repenser la *diversité* géographique, non plus comme le produit d'une combinatoire contingente autorisant toutes les associations possibles (par exemple de structures élémentaires), mais comme le produit de certains processus fonctionnant sous certaines contraintes et selon diverses temporalités (Durand-Dastès, 1996), qu'il s'agit de mesurer et de hiérarchiser. Les particularités des entités géographiques sont explicables par une succession originale de trajectoires stables et de bifurcations, selon une évolution qui procède par sauts, et qui entraîne le système vers des attracteurs distincts. Les structures observées à un moment donné intègrent cette « histoire » particulière produite par une dynamique générique, et donc toutes les associations qualitatives de propriétés ne sont pas également probables.

1 Un exemple facile est celui de la configuration sociale centre-périphérie de certaines villes (...)

17) Ainsi, une troisième source de satisfaction intellectuelle réside dans une forme de libération par rapport au caractère surplombant et inéluctablement premier de l'histoire dans l'explication des entités géographiques : au lieu que celle-ci ne prenne nécessairement la forme du récit biographique, à faire remonter toujours plus loin du côté des origines et toujours à actualiser en fonction des transformations du présent, apparaît une nouvelle forme d'intelligibilité de l'évolution des lieux, qui permet de les caractériser en tant que réalisation advenue, parmi toute une collection de résultats possibles, dans l'évolution d'un système dynamique. Refaire l'histoire, ou l'inventer ? La simulation par les modèles permet en quelque sorte de sortir la géographie de son rôle de fille de l'histoire, condamnée à recourir au fil d'Ariane du récit biographique pour trouver du sens dans le labyrinthe causal des interactions sociales, écologiques et spatiales, en lui substituant une explication, certes réduite, « normalisée », sous forme d'une trajectoire dynamique dans un processus évolutif générique.

18) Les expériences de simulation menées avec ce type de modèles sont encore trop peu nombreuses et trop peu confrontées entre elles pour juger de la pertinence et de la qualité de cette contribution explicative. Sans doute une meilleure évaluation sera-t-elle possible en fonction de l'aide qu'ils peuvent apporter à la décision territoriale, tout comme à l'arsenal des méthodes de prévision. L'apport essentiel réside dans la mise en relation explicite de configurations géographiques, de structures spatiales, avec des processus générateurs agissant à d'autres échelles.

De l'auto-organisation à la complexité

19) Les théories de la complexité aujourd'hui mettent l'accent sur une notion plus difficile, celle de « structure émergente ». Déjà présente en physique avec le concept d'auto-organisation, cette idée, issue principalement de l'étude du vivant, semble ajouter une connotation de création, d'apparition de la nouveauté. Par rapport au système préexistant, l'émergence peut consister dans la création d'une nouvelle catégorie d'éléments, ou d'attributs, ou dans l'apparition d'une nouvelle structure, voire d'un nouveau système, ou dans l'invention de nouvelles règles par les protagonistes d'un jeu de simulation. Ainsi, dans les références actuelles, on parle moins d'auto-organisation et plus d'émergence, ce qui se définit strictement de la même façon en termes de relation entre niveaux dans le système, mais l'accent est désormais mis sur la nouveauté, voire la « surprise » de l'observateur (qui se trouve donc impliqué dans la conception du système), et peut s'exprimer en termes de règles au niveau des interactions entre agents (qui deviennent des acteurs intelligents et eux-mêmes adaptatifs, non plus passifs comme les particules des structures dissipatives ou de la synergetique).

20) Les risques de l'analogie entre les systèmes vivants et les systèmes sociaux sont bien connus. La sociobiologie est sans doute la plus critiquée de ces tentatives, parce qu'en naturalisant les rapports sociaux, on pourrait laisser entendre que, puisque ces derniers sont aussi « naturels », il serait illusoire d'essayer de les transformer. Or, cette représentation-là est en train de changer : avec les biotechnologies, la société fait irruption dans le champ de l'évolution du vivant, le « naturel » devient aussi transformable. Cela ne va pas sans poser des problèmes éthiques. Mais alors sur quels arguments vont pouvoir s'appuyer tous ceux qui sont réticents à l'idée d'une science sociale reposant sur les mêmes principes et les mêmes méthodes que les sciences du vivant (Passeron, 1991), et qui récusent les éléments d'ingénierie sociale qui en dériveraient ?

21) La théorie actuelle de l'évolution a certes acquis une plus grande compatibilité avec les conceptions des sciences sociales (fin du finalisme, place dévolue à la contingence, notion d'adaptation sans optimalité), elle admet aussi que l'évolution puisse en partie dépendre des interactions avec l'environnement (Mayr, 1989, Prochiantz, 2001, Jeannerod, 2002). Mais, outre que les conceptions se modifient très vite dans ce champ des sciences d'observation, sous l'effet des progrès des techniques et sous le contrôle des méthodes expérimentales, s'inspirer des théories évolutionnistes ne serait sans doute pas la bonne réponse pour continuer à construire une théorie géographique. Le risque est en effet de passer à côté de deux processus essentiels : celui de l'invention, non plus aléatoire ou à la rigueur guidée par l'environnement, comme les mutations du vivant, mais de plus en plus consciente, recherchée, anticipée dans l'émulation par rapport à d'autres individus ou groupes sociaux, et moteur apparemment sans fin qui débloque les verrous successifs à la maîtrise humaine de l'utilisation des ressources planétaires. L'autre spécificité des systèmes sociaux est l'intervention de la cognition, qui injecte dans le système des stratégies, certes plus ou moins bien informées, mais qui tiennent compte d'une représentation de l'état du système pour tenter d'agir dessus (voir par exemple les prophéties à visée auto-réalisatrice du marketing urbain). Dans les diverses théories du lien social (qu'elles reposent sur l'imposition violente d'un pouvoir, ou sur un consensus culturel, ou sur la rivalité mimétique) on démontre que l'effet des représentations de ces théories qui filtrent dans la société ne sont pas neutres vis-à-vis de son évolution (conscience de classe, prophéties auto-réalisatrices). Tout se passe comme si, collectivement, l'humanité guidait en partie son évolution sociale, et peut-être bientôt biologique, à partir des représentations qu'elle s'en fait.

22) Dans ces investigations, une des contributions de la géographie peut être d'aider à mieux comprendre l'intervention de niveaux intermédiaires entre les représentations individuelles et la formation ou le maintien de grands systèmes sociaux. Entre l'individu et le monde, à côté (ou plutôt en conjonction) des groupes sociaux, des institutions, étudiées par d'autres disciplines comme la sociologie ou la science politique, la géographie signale l'importance, pour la structuration et l'évolution de ces systèmes, de niveaux d'organisation localisés et spatialisés, villes, régions, réseaux, territoires... La médiation des relations entre les individus et la société par des lieux différenciés, articulés en niveaux d'échelle, devient, tout autant que l'analyse de l'évolution de ces entités, un programme (Berthelot, 2001) spécifique à la géographie dans les recherches sur la complexité en sciences humaines et sociales.

23) Les théories actuelles des systèmes complexes s'efforcent de trouver des interprétations globalisantes pour rendre compte de l'émergence de la nouveauté, dans des champs aussi divers que l'économie cognitive (Kirman, 1993), la psychologie sociale, ou les systèmes homme-machine (Hubermann, 1988). La géographie pourrait être tentée d'aller emprunter de nouveaux modèles à l'une ou l'autre de ces disciplines. Pourtant, tout en gardant une attention soutenue à ces expérimentations en cours, il me semble que c'est désormais dans son fonds propre de références que la géographie peut trouver matière à construire des éléments théoriques pertinents. Parmi les instruments mis à sa disposition, les modèles de systèmes multi-agents, couplés à des SIG, sont en effet de nature à permettre une formalisation contrôlée de certaines des hypothèses qu'elle avance depuis plusieurs décennies sans avoir pu complètement les tester : sur le rôle des acteurs dans les transformations des territoires, sur la place que prennent les représentations dans ces processus, sur les mécanismes de l'adaptation et de la spéciation des entités géographiques.

24) Le statut épistémologique de l'émergence dans les modèles actuellement réalisables demeure cependant ambigu. Dans le monde réel, que ce soit celui du vivant ou celui du social, de la nouveauté est produite, elle émerge véritablement, à partir de ce qui existe. Dans la transcription que nous en faisons dans les ordinateurs, les phénomènes d'émergence que nous savons simuler pour le moment, qui produisent un effet de surprise pour l'observateur, sont le plus souvent liés à la difficulté de celui-ci à concevoir le résultat

du jeu des règles qu'il a lui-même introduites dans le modèle. Seule la rapidité de calcul de la machine, en permettant de dépasser les limitations de l'esprit humain, produit un effet de surprise, en réalisant une sorte de compression du temps. Mais la simulation de l'émergence d'une véritable nouveauté au moyen de modèles reste très difficile. Par exemple, dans un modèle proposé par P. Allen et J. McGlade, les « innovations » d'acteurs non optimisateurs censés inventer une fonction productive ou sociale nouvelle sont en fait représentées dans le modèle par des sauts de leur position dans le graphe de l'espace des phases, qui pourraient se traduire comme l'exploration géographique d'un continent éloigné ou la colonisation d'un nouveau territoire ! Mais c'est peut-être en recherchant ce déplacement des métaphores d'une discipline à l'autre que, de temps en temps, peut émerger ce qui constitue véritablement une innovation scientifique.

25) Il reste qu'au cours de cette évolution scientifique, on a relâché beaucoup des exigences qui rendaient réductrice et contestable l'opération consistant à isoler par la pensée, dans le réel social, des observations et des propriétés, pour un faire un système relativement isolé de son environnement. Cela ne signifie pas que cette opération ne reste pas la plus délicate de toutes (Batty, Torrens, 2002). Elle est cependant facilitée par cette propension de ce que nous appelons des « systèmes » à survivre, à s'auto-entretenir, à être résilients, à s'adapter, à s'auto-transformer pour durer. Que cela résulte de la tendance croissante à l'isolement, au fonctionnement intégré et autonome, voire auto-référent, comme le suggère Luhman (1999) à propos des systèmes institutionnels dans les sociétés occidentales développées, ou bien que cela soit associé plus étroitement à nos filtres cognitifs d'observation du réel, que cela ressorte d'une position constructiviste ou d'une affirmation réaliste (comme celle de Prigogine associant l'existence d'entités observables à une dynamique discrète, qui « saute » d'une trajectoire à l'autre sans emprunter toutes les configurations intermédiaires imaginables), au fond peu importe. Le paradigme est porteur, puisqu'il nous invite aussi à dépasser les apories de l'opposition entre holisme et individualisme.

26) « Ce qu'on ne sait pas dire, il faut le taire » disait Wittgenstein. Ce fondement d'un type de communication scientifique (ne se poser que les questions qu'on peut résoudre, n'avancer que ce que l'on a empiriquement testé, signaler quand on s'évade et qu'on commence à divaguer) n'est lui-même pas scientifique au sens des sciences sociales, puisqu'il est bien réfuté par l'expérience ! Qu'on nous permette de l'invoquer cependant pour ne pas avoir à choisir entre deux définitions de la complexité, réaliste : « la complexité est un ordre dont on ne connaît pas le code » (Atlan, 1979, p.78), ou constructiviste « la complexité est le nombre d'interprétations non équivalentes qu'un observateur peut se faire d'un système » (Livet, 1983).

Conclusion

27) Sans doute l'une des perspectives les plus prometteuses de cette démarche appuyée sur le comparatisme de la dynamique des systèmes est de pouvoir expliquer des objets géographiques (territoires, villes, régions, réseaux, systèmes de villes) non plus par l'aboutissement d'un récit biographique mais comme l'une des issues possibles d'un ensemble de processus interactifs complexes. Il ne s'agit pas de remplacer des processus géographiques (écologiques et socio-spatiaux) par des processus explicatifs qui seraient pertinents pour d'autres systèmes, mais bien d'imaginer que l'explication des évolutions observées relève pour une part (qu'il s'agit de déterminer) de dynamiques évolutives plus générales, communes à un certain nombre de systèmes, et que l'on peut abstraire dans des modèles, mathématiques ou informatiques.

28) Une telle démarche a l'intérêt pour les sciences sociales de permettre de substituer à la linéarité du récit de l'histoire événementielle le résultat plus ou moins aléatoire de dynamiques compétitives susceptibles d'être modélisées, et de décrire les systèmes viables observés comme la réalisation de trajectoires particulières parmi un ensemble de possibles, sous des contraintes identifiables.

29) Je retiendrais ainsi volontiers de mes expériences d'échanges intellectuels et de transferts de modèles une disposition favorable à la métaphore et à l'analogie, sous le contrôle vigilant de ce qui fait l'identité disciplinaire : chercher des transpositions d'une science à l'autre permet d'abord de mieux réfléchir à ce qui fait la spécificité des objets dont s'occupe chacune. Un bon exemple en serait donné aujourd'hui par les sciences cognitives, les allers retours entre les représentations des ordinateurs et celles du cerveau ayant produit beaucoup de fantasmes et d'illusions mais permis au passage des investigations mieux centrées, et de nouvelles applications.

30) Les similitudes de morphologie, de comportement ou d'évolution entre les systèmes, en somme des manifestations extérieures de leur activité, lorsqu'elles sont comparables, signifient-elles une similitude des processus qui les produisent ? Là est la question. Du moins invitent-elles à étudier des descriptions nouvelles susceptibles d'éveiller d'autres hypothèses explicatives. D'où l'utilité des emprunts en termes de méthodes d'analyse et de mesure des morphologies et des dynamiques, les références instrumentales ayant pour moi toujours prévalu sur les analogies interprétatives.

31) On commence à peine à comprendre le rôle de la diversité dans une dynamique. Mais il n'est peut-être pas trop ambitieux d'envisager pour la géographie, comme sa contribution, non seulement aux sciences, mais encore à l'éthique (Smith, 2000), une théorie qui montrerait comment la diversité planétaire et mondiale, d'origine « naturelle » et construite, constitue le moteur historiquement le plus sûr du changement social, en incitant d'abord à aller voir ailleurs, puis à mettre en réseau, en suscitant toujours l'émulation, même si prévaut souvent la prédation... Encore cette vague intuition doit-elle être formalisée et modélisée pour emporter la conviction et devenir une référence en dehors de la géographie...



Bibliographie

Abler R. Adams J., Gould P., 1972, *Spatial organization, the geographer's view of the world*. London, Prentice Hall.

AFCET-SOGESCI, 1982, *Des sciences physiques aux sciences sociales*. Bruxelles, 7eme conférence internationale de dynamique des systèmes, 2 vol.

Allen P. 1997, *Cities and regions as self-organizing systems : models of complexity*. Amsterdam, Gordon and Breach.

Atlan H., 1979, *Entre le cristal et la fumée*. Paris, Seuil.

Batty M., Torrens P., 2001, Modelling complexity. The limits to prediction. *Cybergeo*, 201, 24 p.

Berthelot J.-M., (dir.) 2001, *Epistémologie des sciences sociales*. Paris, PUF.

Boudon R. 1984, *La place du désordre*. Paris, PUF.

Claval P. 1979, *La nouvelle géographie*. Paris, PUF, coll. Que-sais-je.

Dumouchel P. et Dupuy J.P. 1983, *L'auto-organisation, de la physique au politique*. Paris, Seuil, colloque de Cerisy.

Durand-Dastès F. 1996, La trace des temps, in Archaeomedes, *Des oppida aux métropoles*, Paris, Anthropos, 45-71.

Forrester J. 1964, *Urban dynamics*. Boston, MIT Press.

Hubermann B. A. (ed.), 1988, *The ecology of computation*. North Holland, Elsevier.

Haken H., 1977, *Synergetics, an introduction*. Berlin, Springer.

Jeannerod M. 2002, *La nature de l'esprit*. Paris, Odile Jacob.

Kirman A. 1993, L'hypothèse de l'individu représentatif : une analyse critique. *Problèmes économiques*, n°2325, 5-14.

Lacoste Y. 1976, *La géographie, ça sert d'abord à faire la guerre*.

Le Moigne J.-L., 1983, Science de l'autonomie et autonomie de la science, in Dumouchel P., Dupuy J.-P. (eds) op.cité, 521-536.

Livet P. 1983, La fascination de l'auto-organisation, in Dumouchel P., Dupuy J.-P. (eds) op.cité, 165-171.

Luhman N. 1999, *Politique et complexité*. Paris, Ed. du Cerf.

Mayr E. 1989, *Histoire de la biologie*, Paris, Fayard, 2 vol.

Morin E., 1977, *La méthode*. Paris, Seuil, 3 vol.

- Passeron J.-C. 1991, *Le raisonnement sociologique*. Paris, Nathan.
- Paulré B., 1985, *La causalité en économie*. Presses Universitaires de Lyon.
- Pinchemel Ph. et G., 1988, *La face de la terre*. Paris, Colin.
- Prigogine I., Stengers I., 1979, *La nouvelle alliance*, Paris, Gallimard.
- Prochiantz A. 2001, *La machine-esprit*. Paris, Odile Jacob.
- Pumain D. 1997, Vers une théorie évolutive des villes. *L'Espace Géographique*, 2, 119-134.
- Pumain D. 1998, La géographie saurait-elle inventer le futur ? *Revue européenne des sciences sociales*, 110, 53-69.
- Pumain D. 2001 *Approche systémique et causalité : à propos des systèmes de villes*. Vanves, CNED, N6106 T 03, 405, p.65-103.
- Pumain D. Robic M.C. 1996, Théoriser la ville, in Derycke P.H. Huriot J.M. Pumain D. (eds), *Penser la ville, théories et modèles*. Paris, Anthropos, chap. 4, 107-161.
- Pumain D. Robic M.-C. 2002, Le rôle des mathématiques dans une « révolution » théorique et quantitative : la géographie française depuis les années 1970. *Revue d'histoire des sciences humaines*, 6, 123-144.
- Racine J.B., Reymond H., 1973, *L'analyse quantitative en géographie*. Paris, PUF.
- de Rosnay J., 1975, *Le microscope*, Paris, Seuil.
- Rosser J.B., 1991, *From catastrophe to chaos : a general theory of economic discontinuities*. Dordrecht, Kluwer.
- Smith D. 2000, *Moral Geographies. Ethics in a World of Difference*. Edinburgh University Press.
- Valade B. 2001, De l'explication dans les sciences sociales : holisme et individualisme, in Berthelot J.-M., (dir.), *Epistémologie des sciences sociales*, Paris, PUF, 357-405.



[1] Un exemple facile est celui de la configuration sociale centre-périphérie de certaines villes nord-américaines et de nombreuses villes européennes, de forme opposée en dépit de la similitude de certaines des contraintes et des processus sociaux qui les déterminent.



Références

Denise Pumain , « Une approche de la complexité en géographie », *Géocarrefour*, Vol. 78/1, 2003, [En ligne], mis en ligne le 23 mai 2007. URL : <http://geocarrefour.revues.org//index75.html>. Consulté le 02 juin 2008.

Denise Pumain Professeur, Université Paris I
CNRS-UMR 8504, Géographie-Cités, 13, rue du Four. 75 006 Paris
E-mail : pumain@parisgeo.cnrs.fr

LES NANTIS ET LES DEMUNIS DE L'HISTOIRE

Chapitre 5 du livre de Jared DIAMOND

« *Guns, Germs and Steel, the Tates of Human Societies / De l'inégalité parmi les sociétés* »

Traduit par Pierre-Emmanuel DAUZAT

Collection Folio Essais

L'histoire de l'humanité a consisté pour une large part en conflits inégaux entre nantis et démunis : entre les populations possédant la force agricole et celles qui en étaient dépourvues, ou entre populations qui l'acquirent à des périodes différentes. On ne doit pas s'étonner que la production alimentaire n'ait jamais pris dans de vastes régions du globe pour des raisons écologiques qui la rendent encore difficile, voire impossible, de nos jours. Par exemple ni l'agriculture ni l'élevage en troupeaux ne se sont développés dans les temps préhistoriques dans la zone arctique de l'Amérique du Nord, tandis que les troupeaux de rennes sont la seule forme de production alimentaire qui soit apparue dans l'Arctique eurasiatique. La production alimentaire ne pouvait non plus apparaître spontanément dans les déserts éloignés des sources d'eau nécessaires à l'irrigation comme dans certaines parties de l'ouest des Etats-Unis.

Ce qui appelle une explication c'est plutôt l'absence de production alimentaire, jusque dans des temps modernes, dans certaines régions écologiquement très propices qui comptent aujourd'hui parmi les centres d'agriculture et d'élevage les plus riches du monde. Au premier rang de ces régions déroutantes, où les indigènes étaient encore chasseurs cueilleurs à l'arrivée des colons européens, se trouvaient la Californie et les autres états américains de la côte Pacifique, la Pampa argentine, le Sud-ouest et le sud-est de l'Australie et une bonne partie de la région du Cap en Afrique australe. Eussions nous fait le tour du monde en 4000 av. J.-C., des milliers d'années après l'essor de la production alimentaire dans ses sites d'origine les plus anciens, nous aurions également été surpris de voir divers autres greniers à blé en être encore dépourvus : cela concerne tout le restant des Etats-Unis, l'Angleterre et une bonne partie de la France, l'Indonésie, et toute l'Afrique subéquatoriale. Si nous remontons aux commencements de la production alimentaire, les tout premiers sites nous réservent une autre surprise. Loin de constituer des greniers à blé, ils comptent aujourd'hui des régions plutôt sèches ou écologiquement dégradées : l'Iraq et l'Iran, le Mexique, les Andes, certaines parties de la Chine et en Afrique, le Sahel. Pourquoi la production alimentaire est-elle d'abord apparue sur ces terres apparemment assez marginales et plus tard seulement sur les terres agricoles et les pâturages actuellement les plus fertiles ?

Les moyens par lesquels la production alimentaire est apparue accusent aussi des différences géographiques intrigantes. Dans quelques endroits, elle s'est développée indépendamment, via la domestication de plantes et d'animaux par la population locale. Ailleurs, elle a été le plus souvent importée sous la forme de cultures ou de bétails domestiqués dans d'autres régions. Mais si ces régions d'origines non indépendantes étaient mûres pour une production alimentaire préhistorique dès l'arrivée des espèces domestiquées, pourquoi leurs populations ne se sont-elles pas transformées en agriculteurs et en éleveurs sans aide extérieure, en domestiquant les plantes et les animaux locaux ?

Parmi les régions dont la production alimentaire a surgi indépendamment, d'où vient qu'elle soit apparue à des époques si différentes – par exemple en Asie de l'Est, des milliers d'années plus tôt que dans l'Est des Etats-Unis et jamais dans l'Est de l'Australie ? Parmi les régions où elle a été importée dans des temps préhistoriques, pourquoi la date d'arrivée est-elle également si variable ? Pourquoi par exemple, cela s'est-il produit des milliers d'années plus tôt dans le Sud-ouest de l'Europe que dans le Sud-ouest des Etats-Unis ? toujours parmi ces régions, pourquoi dans certaines zones (par exemple, le Sud-ouest des Etats-Unis) les chasseurs-cueilleurs locaux ont-ils adopté les cultures et le cheptel des voisins et ont survécu en devenant des agriculteurs, tandis que dans d'autres régions (comme l'Indonésie et une bonne partie de l'Afrique subéquatoriale) l'importance de la production alimentaire s'est soldée par la disparition des chasseurs-cueilleurs au profit des envahisseurs producteurs de

nourriture ? Toutes ces questions mettent en jeu des évolutions qui ont décidé des nantis et des démunis de l'histoire.

Avant que l'on puisse espérer répondre à ces questions, il nous faut trouver les moyens d'identifier les régions d'origine de la production alimentaire, de préciser quand elle est apparue, mais aussi où et quand telle culture ou tel animal a été pour la première fois domestiqué. L'élément de preuve le plus fiable nous est fourni par l'identification des restes végétaux et animaux sur les sites archéologiques. La plupart des espèces végétales et animales domestiquées diffèrent morphologiquement de leurs ancêtres sauvages : bestiaux et moutons de taille plus modeste, mais taille plus élevée des poulets et des pommes domestiques, cosses plus fines et plus lisses des pois domestiques, ou encore cornes en vrille plutôt qu'en forme de cimeterre des chèvres domestiques. Ainsi peut-on reconnaître les restes de plantes et d'animaux domestiqués sur un site archéologique daté et ceux-ci nous renseignent sur la production alimentaire en ce lieu et en cette époque ; en revanche, la seule découverte de restes d'espèces sauvages ne nous renseigne en rien sur la production alimentaire et demeure compatible avec une vie de chasseur-cueilleur. Naturellement, les producteurs de vivres, surtout les premières, ont continué à pratiquer la cueillette et la chasse, si bien que les restes alimentaires trouvés sur leurs sites comportent souvent des espèces sauvages aussi bien que des espèces domestiquées.

Les archéologues datent la production alimentaire d'un site par l'analyse au radiocarbone des matériaux contenant du carbone. Cette méthode repose sur la lente décomposition du carbone 14 radioactif, composante très mineure de cet élément omniprésent qu'est le carbone, en azote 14 non radioactif. Les rayons cosmiques produisent constamment du carbone 14 dans l'atmosphère. Les plantes absorbent le carbone atmosphérique, qui contient une proportion connue et à peu près constante de carbone 14 par rapport au carbone 12 isotope prévalant (un ratio d'environ 1/ 1 000 000^e). Ce carbone végétal forme le corps des animaux herbivores qui absorbent les plantes, mais aussi des carnivores qui se nourrissent de ces herbivores. Dès que la plante ou l'animal meurt, cependant, la moitié de son contenu en carbone 14 se décompose en carbone 12 tous les 5 700ans ; puis, après environ 40 000ans, le contenu en carbone 14 devient très faible et difficile à mesurer ou à distinguer de la contamination par de petites quantités de matériaux modernes contenant du carbone 14. Ainsi est-il possible de calculer l'âge du matériau d'un site archéologique à partir du rapport entre carbone 14 et carbone 12.

La datation au radiocarbone souffre de nombreux problèmes techniques, dont deux méritent d'être mentionnés ici. Le premier est que jusque dans les années 1980, le système nécessitait des quantités relativement importantes de carbone (quelques grammes), c'est-à-dire une quantité bien supérieure à celle de petites semences ou de petits ossements. Dès lors les scientifiques devaient souvent s'en remettre à la datation de matériaux récupérés dans le voisinage et censés être « associés » aux restes alimentaires. Typiquement, le choix du matériau « associé » se porte sur le charbon de bois tiré des feux.

Or, les sites archéologiques ne sont pas toujours des capsules temporelles hermétiques de matériaux tous déposés le même jour. Des mat. déposés à des époques différentes peuvent se mélanger sous l'action des vers, des rongeurs et des autres agents qui retournent la terre. Les résidus de charbon de bois d'un feu peuvent donc se trouver à proximité des restes d'une plante ou d'un animal mort et absorbé des milliers d'années plus tôt ou plus tard. De nos jours les archéologues contournent de plus en plus ce problème en utilisant une nouvelle technique, la spectrométrie de masse avec accélérateur, qui permet la datation au radiocarbone avec de minuscules échantillons. Ainsi devient-il possible de dater directement une seule petite graine, un os ou des résidus alimentaires. Dans certains cas, on a trouvé de grosses différences entre les dates récentes au radiocarbone fondées sur des nouvelles méthodes directes (qui ont leurs propres problèmes) et les dates fondées sur les anciennes méthodes indirectes. Parmi les controverses qui en ont résulté et qui demeurent sans solution, la plus importante, peut-être pour le sujet qui nous intéresse est la date à laquelle la production alimentaire est apparue

aux Amériques : les méthodes indirectes des années 1960-et 1970 indiquaient dès 7 000 av. J.-C. , tandis que la datation directe plus récente ne va pas plus loin que 3 500 av. J.-C..

Un second problème est que la datation au radiocarbone est que la proportion carbone 14/carbone 12 de l'atmosphère n'est absolument pas constante. Elle fluctue légèrement avec le temps , si bien que le calcul des dates fondés sur l'hypothèse d'une proportion constante est sujet à de petites erreurs systématiques. L'ampleur de cette erreur pour chaque date peut en principe être déterminée à l'aide des anneaux de croissance annuels des arbres d'une grande longévité, puisque en comptant les anneaux on peut obtenir une date absolue dans le passé tandis qu'il est possible d'analyser la proportion carbone 14/carbone 12 d'un échantillon de bois daté de cette manière. On peut donc « calibrer » les dates mesurées par le radiocarbone pour tenir compte des fluctuations du carbone atmosphérique. Pour des matériaux dont les dates apparentes (i.e. non calibrées) se situent entre 1 000 et 6 000ans av. J.-C. , la date vraie (calibrée) doit être reculée de quelques siècles, voire d'un millier d'années. Dernièrement on a entrepris de calibrer des échantillons un peu plus anciens par une autre méthode fondée sur un autre processus de décomposition radioactive : il est apparu que des échantillons datant en apparence de 9 000 av. J.-C.. dataient d'environ 11 000 av. J.-C..

Les archéologues distinguent souvent les dates calibrées des dates non calibrées, écrivant les premières en capitales et les secondes en minuscules (par exemple 3 000 av. J.-C.. ou 3000 av.j.-c.). Cependant les publications archéologiques risquent de semer la confusion à cet égard, car de nombreux livres et articles indiquent en capitales des dates non calibrées en omettant de préciser qu'elles ne sont pas calibrées. Toutes les dates fournies dans ce livre pour les événements des 15 000 dernières années sont des dates calibrées ; d'où des décalages que remarqueront sans doute des lecteurs entre les dates indiquées ici et celles de certains ouvrages de référence sur les origines de la production alimentaire.

Dès lors qu'on a reconnu et daté certains restes de plantes ou d'animaux domestiques anciens, comment savoir si la plante ou l'animal en question a été domestiqué dans le voisinage du site considéré, plutôt que domestiqué ailleurs et disséminé ici ? une méthode consiste à examiner une carte de distribution de l'ancêtre sauvage de la culture et de l'animal à partir de l'hypothèse que la domestication s'est faite dans la région de l'ancêtre sauvage. Par exemple les pois chiches sont largement cultivés par les paysans traditionnels de la Méditerranée et l'est de l'Ethiopie jusqu'à l'Inde – ce dernier pays représentant 80% de la production mondiale actuelle. On peut donc estimer à tort que le pois chiche a été domestiqué en Inde : or on ne trouve l'ancêtre sauvage que dans le sud-est de la Turquie. La thèse selon laquelle le pois chiche y a été domestiqué est étayée par le fait que les plus anciennes traces de pois chiches , peut-être domestiqués, trouvés sur des sites archéologiques néolithiques nous viennent du sud-est de la Turquie et de la région voisine du nord de la Syrie et remontent donc à environ 8 000 av. J.-C., tandis que les premières traces de pois chiches sur le sous-continent indien n'apparaissent que 5 000ans plus tard.

Une seconde méthode pour identifier le site de domestication d'une plante ou d'un animal consiste à indiquer sur une carte la date de première apparition de la forme domestiquée dans chaque localité. Le site où elle est apparue le plus tôt est sans doute son site de domestication initiale – surtout si on y trouve également les traces de l'ancêtre sauvage et si les dates de première apparition sur d'autres sites sont de plus en plus proches de nous à mesure qu'on s'éloigne du site présumé de la de la domestication initiale , suggérant la dissémination vers d'autres sites. Par exemple, le plus ancien amidonnier (blé dur vêtu) cultivé connu vient du croissant fertile autour de 8 500 av. J.-C.. Peu après, la culture s'étend progressivement plus à l'ouest pour atteindre la Grèce vers – 6 500 et l'Allemagne autour de – 5 000. Ces dates suggèrent une domestication dans le croissant fertile – conclusion confirmée par le fait que l'amidonner sauvage ancestral se trouve confiné à une région qui va d'Israël à l'ouest de l'Iran et à la Turquie.

On aura toutefois l'occasion de s'apercevoir que des complications surgissent lorsque la même plante ou le même animal a été domestiqué indépendamment sur plusieurs sites différents . Il est souvent

possible de détecter des cas de ce genre en analysant les différences morphologiques , génétiques ou chromosomiques qui en ont résulté entre spécimens de la même culture ou du même animal domestique dans différentes régions. Par exemple, les zébus domestiqués en Inde ont des bosses dont sont dépourvues les espèces de bétail domestiquées en Eurasie occidentale, tandis que des analyses génétiques montrent que les ancêtres des espèces de bétail indiennes et eurasiennes modernes ont divergé les uns des autres depuis des centaines de milliers d'années, bien avant qu'on ait commencé à domestiquer le moindre animal. Autrement dit, le bétail a été domestiqué indépendamment en Inde et en Eurasie occidentale dans les 10 000 dernières années , en commençant par des sous-espèces indiennes et eurasiennes qui avaient divergé des centaines de milliers d'années auparavant.

Revenons maintenant sur l'essor de la production alimentaire : où quand et comment la production alimentaire est apparue tout à fait indépendamment, avec la domestication de nombreuses cultures indigènes (et, dans certains cas, d'animaux) avant l'arrivée de la moindre culture ou du moindre animal d'autres régions. On ne dispose aujourd'hui de preuves détaillées et formelles que pour cinq régions : l'Asie du Sud-ouest, également connue sous le nom de Proche-Orient ou de Croissant fertile ; la Chine ; la Mésoamérique (appellation réservée au Mexique central et méridional ainsi qu'aux régions adjacentes d'Amérique centrale) ; les Andes de l'Amérique du Sud et, peut-être, le bassin adjacent de l'Amazonie ; et l'est des Etats-Unis (figure 5.1). Certains des centres , sinon tous, peuvent bel et bien comprendre plusieurs centres voisins où la production alimentaire Est apparue plus ou moins indépendamment, tels que la vallée du fleuve Jaune en Chine du nord et celle du fleuve Bleu en Chine du Sud.



Figure 5.1. Centres d'origine de la production alimentaire .Un point d'interrogation marque l'incertitude subsistant autour de la question de savoir si l'essor de la production alimentaire de ce centre n'a pas vraiment été influencé par l'extension de la production alimentaire depuis d'autres centres ou (dans le cas de la Nouvelle Guinée) sur la nature des toutes premières cultures.

Outre ces cinq régions où la production alimentaire est clairement apparue *de novo*, quatre autres – le Sahel, l'Afrique occidentale tropicale, l'Éthiopie et la Nouvelle Guinée – sont candidates à cette distinction. Dans chacun de ces cas, subsiste cependant une incertitude. Bien que des plantes sauvages indigènes aient été certainement domestiquées dans le Sahel, juste au sud du Sahara, les troupeaux de bétail ont sans doute pu y précéder l'agriculture sans que l'on sache très bien s'il s'agissait de bétail

sahélien domestiqué indépendamment ou, au contraire, de bétail domestiqué originaire du Croissant Fertile, dont l'arrivée aurait déclenché la domestication des plantes locales. De même, on ne sait pas si c'est l'arrivée de ces cultures sahéennes qui a déclenché l'incontestable domestication locale des plantes sauvages indigènes en Afrique occidentale tropicale, ni si c'est l'arrivée des cultures du Sud-ouest asiatique qui a déclenché la domestication locale des plantes sauvages indigènes en Ethiopie. Pour ce qui est de la Nouvelle-Guinée, les études archéologiques ont mis en évidence des signes d'agriculture longtemps avant la production alimentaire dans les zones adjacentes sans qu'on ait pu identifier formellement les plantes cultivées.

Le tableau 5.1 indique, pour ces régions de domestication locale et d'autres, les cultures et les animaux. Les mieux connus avec les plus anciennes dates de domestication connue. Parmi ces neuf régions candidates à l'évolution indépendante de la production alimentaire, l'Asie du Sud-ouest se distingue par les dates formelles les plus anciennes pour la domestication des plantes (autour de 8 500 av. J.-C.) et des animaux (autour de 8 000) ainsi que par le nombre de loin le plus élevé de dates précises au radiocarbone pour les premières productions alimentaires. Pour la Chine, les dates sont presque aussi anciennes tandis que celles des Etats-Unis sont clairement postérieures de près de 6 000 ans. Quant aux six autres régions candidates, les toutes premières dates formellement établies ne sauraient se comparer à celles de l'Asie du Sud-ouest, mais les sites datés avec précision sont trop peu nombreux pour conclure à un véritable retard sur l'Asie du Sud-ouest et en mesurer l'éventuelle ampleur.

Le groupe suivant rassemble les régions qui ont domestiqué au moins un couple de plantes ou d'animaux locaux, mais où la production alimentaire est demeurée largement tributaire de cultures et d'animaux domestiqués ailleurs. Ces importations domestiquées peuvent être considérées comme des cultures ou des animaux « fondateurs » parce qu'ils ont fondé la production alimentaire locale. Leur arrivée a permis aux populations locales de se sédentariser et, ce faisant, accru la probabilité de cultures locales issues de plantes sauvages cueillies, rapportées et plantées accidentellement puis intentionnellement.

Dans trois ou quatre de ces régions, les éléments fondateurs sont venus d'Asie du Sud-ouest. Ainsi en Europe occidentale et centrale, où la production alimentaire est apparue avec l'arrivée de cultures et d'animaux du Sud-ouest asiatique entre 6 000 et 3 500 av. J.-C., tandis qu'au moins une plante (le pavot, peut-être l'avoine et d'autres) a été ensuite domestiquée localement. Les pavots sauvages sont confinés aux zones côtières de Méditerranée occidentale. Il semble donc clair que la production alimentaire ne s'est pas développée indépendamment en Europe occidentale, mais a été apparemment déclenchée par l'arrivée d'importations domestiquées d'Asie du Sud-ouest. Les sociétés agricoles qui se sont alors formées en Europe de l'Ouest ont domestiqué le pavot, qui, sous la forme de culture s'est ensuite propagé dans l'Est.

La vallée de l'Indus, sur le sous-continent indien, est une autre région où la domestication locale paraît avoir suivi l'arrivée de cultures fondatrices de l'Asie du Sud-ouest. Les toutes premières communautés agricoles du septième millénaire avant notre ère exploitèrent le blé, l'orge, et d'autres cultures qui avaient précédemment domestiquées dans le Croissant fertile et s'étaient ensuite manifestement propagées dans la vallée de l'Indus *via* l'Iran. Ce n'est que plus tard que les éléments domestiqués de dérivés de l'espèce indigène du sous-continent indien, tels que le bétail bossu et le sésame, firent leur apparition dans les communautés agricoles de la vallée de l'Indus. En Egypte également, la production alimentaire commença au sixième millénaire avant notre ère avec l'arrivée des cultures de l'Asie du Sud-ouest. Les égyptiens domestiquèrent ensuite le figuier sycomore et un légume local, le chufa.

Tableau 5.1

EXEMPLES D'ESPECES DOMESTIQUEES DANS CHAQUE REGION

<i>Région</i>	<i>Plantes</i>	<i>Animaux</i>	<i>Toute première date de domestication attestée</i>
ORIGINES DE DOMESTICATION INDEPENDANTES			
1. Asie du Sud Ouest	Blé, pois, olives	Mouton, chèvre	8500 av. J.-C.
2. Chine	Riz, millet	Porc, ver à soie	Avant 7500 av. J.-C.
3. Mésoamérique	Maïs, haricots, courges	Dindon	Avant 3500 av. J.-C.
4. Andes et Amazonie	Patate, manioc	Lama, cobaye	Avant 3500 av. J.-C.
5. Est des Etats-Unis	Tournesol, patte d'oie	Néant	2500 av. J.-C.
? 6. Sahel	Sorgho, riz africain	Pintade	Avant 5000 av. J.-C.
? 7. Afrique de l'Ouest tropicale	Ignames africains, palmier à huile	Néant	Avant 3000 av. J.-C.
? 8. Ethiopie	Café, teff	Néant	?
? 9. Nouvelle-Guinée	Canne à sucre, banane	Néant	7000 av. J.-C. ?
DOMESTICATION LOCALE A LA SUITE DE L'ARRIVEE DE L'EXTERIEUR DE CULTURES FONDATRICES			
10. Europe occidentale	Pavot, avoine	Néant	6000-3500 av. J.-C.
11. Vallée de l'Indus	Sésame, aubergine	Bétail bossu	7000 av. J.-C.
12. Egypte	Figuier sycomore chufa	Ane, chat	6000 av. J.-C.

Le même scénario se répète en Ethiopie, où le blé, l'orge et d'autres cultures du Sud-ouest asiatique sont cultivés de longue date. Le pays a domestiqué de même maintes espèces sauvages localement disponibles et obtenu des cultures pour la plupart encore confinées à l'Ethiopie, mais l'une d'elles (le grain de café) s'est désormais répandue à travers le monde. Toutefois, on ne sait toujours pas si les Ethiopiens se sont mis à cultiver les plantes locales avant ou seulement après l'arrivée d'éléments fondateurs du Sud-ouest asiatique.

Dans ces régions et d'autres, où la production alimentaire est liée à l'arrivée de cultures fondatrices venues d'ailleurs, les chasseurs-cueilleurs locaux ont-ils eux-mêmes adopté ces cultures des populations agricoles voisines pour se transformer en agriculteurs ? Ou ont-elles été apportées par des paysans envahisseurs qui ont pu ainsi se reproduire plus vite que les chasseurs locaux, puis les exterminer, les évincer ou les supprimer en nombre ?

En Egypte c'est vraisemblablement le premier scénario qui l'a emporté : les chasseurs cueilleurs locaux se sont contentés d'ajouter les éléments domestiqués venus d'Asie du Sud-ouest ainsi que les techniques d'agriculture et d'élevage à leur propre régime de plantes et d'animaux sauvages avant d'éliminer progressivement les aliments sauvages. Autrement dit, ce ne sont pas les étrangers eux-mêmes, mais les cultures et les animaux d'origine étrangère qui ont lancé la production alimentaire en Egypte. On peut en dire autant pour la côte atlantique de l'Europe, où les chasseurs-cueilleurs locaux ont apparemment adopté les moutons et les céréales de l'Asie du Sud-ouest au fil de nombreux siècles. En Afrique australe, dans la région du Cap, les chasseurs-cueilleurs Locaux, les Khoi, sont devenus éleveurs (non pas agriculteurs) en acquérant des moutons et des vaches venus du nord de l'Afrique (et, en dernière instance, de l'Asie du Sud-ouest). De même, les chasseurs-cueilleurs Indigènes américains du Sud-ouest des Etats-Unis sont progressivement devenus des agri. En adoptant des cultures mexicaines. Dans ces quatre régions, le début de la production alimentaire donne peu d'indices, sinon aucun, de domestication des espèces végétales ou animales locales, ni, au demeurant, de remplacement des populations humaines.

A l'extrême opposé, on trouve des régions dans lesquelles la production alimentaire a certainement commencé avec l'arrivée brutale d'étrangers aussi bien que de cultures et d'animaux étrangers. Si nous en sommes certains, c'est que cette arrivée a eu lieu dans les temps modernes et a impliqué des européens alphabétisés, qui ont décrit les faits dans d'innombrables livres. Au nombre de ces régions figure la Californie, le nord-ouest Pacifique de l'Amérique du Nord, la pampa argentine, l'Australie, la Sibérie. Jusque dans les derniers siècles, ces régions étaient encore occupées par des chasseurs-cueilleurs –les indigènes d'Amérique dans les trois premiers cas, les aborigènes d'Australie et les indigènes de Sibérie dans les deux derniers. Ces chasseurs-cueilleurs Ont été occis, infectés, chassés ou largement remplacés à l'arrivée des agriculteurs et éleveurs européens, qui sont venus avec leurs cultures et n'ont donc domestiqué aucune espèce sauvage locale (hormis les macadamia en Australie). Dans la région du Cap, en Afrique australe, les Européens ont trouvé chez les Khoi des chasseurs-cueilleurs, mais aussi des éleveurs, qui possédaient des animaux domestiques mais pas de cultures. Le résultat fut une fois encore une agriculture fondée sur des espèces venues d'ailleurs, l'absence d'espèces locales domestiquées et un remplacement massif de la population humaine.

Enfin, le même scénario d'une naissance soudaine de la production alimentaire à partir d'espèces domestiquées ailleurs, mais aussi de remplacement brutal et massif de la population, semble s'être répété dans de nombreuses régions à l'époque préhistorique. Faute de traces écrites, les preuves de ces remplacements préhistoriques doivent être demandées à l'archéologie ou déduites de données linguistiques. Les cas les mieux attestés sont ceux dans lesquels il n'y a pas de doute possible quant au remplacement de la population parce que le squelette des producteurs de vivres nouvellement débarqués différait sensiblement de celui des chasseurs-cueilleurs évincés et parce que lesdits producteurs ont introduit non seulement des cultures et des animaux, mais aussi des poteries. On verra plus loin deux exemples évidents de ce type : l'expansion austronésienne depuis le sud de la Chine vers les Philippines et l'Indonésie (chapitre 17) et l'expansion bantoue en Afrique subéquatoriale.

Le sud-est et le centre de l'Europe présentent un tableau analogue, avec un départ brutal de la production alimentaire (à partir de cultures et d'animaux du Sud-ouest asiatique) et de manufactures de poteries. Cette naissance s'est aussi traduite par le remplacement d'anciens Grecs et Germains par des Grecs et Germains nouveaux, de même que l'ancien avait cédé au nouveau aux Philippines, en Indonésie et en Afrique subéquatoriale. En conséquence, les données relatives au remplacement des populations en Europe sont moins probantes ou moins directes.

En résumé, quelques régions du monde seulement ont développé la production alimentaire de manière indépendante, et elles l'ont fait à des époques très différentes. De ces régions nucléaires, les chasseurs-cueilleurs de certaines zones voisines ont appris la production alimentaire, tandis que les populations d'autres régions voisines ont été remplacées par des envahisseurs producteurs de vivres venus des

régions nucléaires – là encore, à à des époques très différentes. Enfin, les populations de certaines zones écologiquement adaptées à la production alimentaire n'ont jamais développé ni acquis l'agriculture à l'époque préhistorique. Elles sont restées des populations de chasseurs-cueilleurs jusqu'au jour où le monde moderne a fini par les balayer. Les populations des régions qui se sont les premières lancées dans la production alimentaire ont ainsi pris une longueur d'avance sur la voie des fusils, des germes et de l'acier. Et il en résulta une longue série de collisions entre les nantis et les laissés-pour-compte de l'histoire.

Comment expliquer ces différences géographiques dans le calendrier et les formes de la naissance de la production alimentaire ? Les cinq prochains chapitres traiteront de cette question, l'une des plus importantes de la préhistoire.