

Comment lutter contre les nouveaux obscurantismes ? Quels rôles pour les académies ?

Alain Pavé¹

Ce texte a été rédigé suite à un débat formel interne à l'Académie d'agriculture. Au départ l'événement pouvait paraître anecdotique, il s'agissait d'une note élaborée par des membres de trois académies - Académie d'agriculture, Académie des technologies, Académie des sciences - et intitulée « Note sur la place de l'innovation française dans les nouvelles biotechnologies pour l'agriculture ». Cette note fait suite à un « Avis sur la réglementation des mutagénèses ciblées en amélioration des plantes », adopté le 6 juillet 2016². Bien que rédigée par quelques experts reconnus et entérinée par les membres de deux groupes de travail spécialisés, la question posée était de donner à la note en question un statut d'avis de l'Académie d'agriculture. Plusieurs consœurs et confrères étaient favorables, restait la procédure à adopter. Peu importe les détails, il semblait à certains que donner le statut d'avis de l'Académie demandait de passer par un vote en séance plénière, comme c'est l'usage à l'Académie des technologies. Cette dernière confrontée à des problèmes relevant de multiples secteurs d'activité sensibles a pris soin de définir des procédures et des statuts pour les publications portant son sceau afin d'éviter toute contestation interne et de placer les débats externes au bon niveau. Ainsi une note garde un statut informatif alors qu'un avis a une dimension plutôt prescriptive. Toujours est-il que ce débat a conduit le Secrétaire perpétuel à proposer de définir les divers statuts des publications publiées par l'AAF.

Les sujets évoqués ici, comme beaucoup d'autres, donnent parfois lieu à d'étranges déclarations. On constate que dans nos sociétés émergent des discours obscurantistes de la part d'experts « auto-proclamés » le plus souvent technophobes et parfois anti-humanistes, dont les dires et les écrits sont bien relayés par les médias. Ils sont aussi souvent alarmistes, voire apocalyptiques et irrationnels, se réfèrent à une éthique pas toujours bien explicitée. Complété par une obsession sécuritaire, nous en arrivons à des principes de « non-action ».

Mais quelle est la portée d'un argumentaire scientifique face à ceux largement diffusés et souvent simplistes à propos de technologies et de pratiques jugées dangereuses ou contraires à une éthique tout aussi auto-proclamée ? On se doit d'y répondre, c'est ce que nous faisons, mais quelle est la portée de nos réponses ? Tout cela est-il nouveau ? Et après tout que cherchons nous : à nous faire plaisir ? à donner un point de vue ? à conseiller utilement le monde politique et ses institutions ? à éclairer les citoyens et parfois nous-mêmes ? etc.

¹ Professeur émérite à l'Université Claude Bernard – Lyon 1, Laboratoire de Biométrie et de Biologie Évolutive (UMR CNRS/Inria/UCBL), Membre de l'Académie des Technologies, Correspondant de l'Académie d'Agriculture – Chevalier de la Légion d'Honneur, courriel : alain.pave@univ-lyon1.fr - Site personnel : <http://www.alain-pave.fr/>

² <http://www.academie-technologies.fr/blog/categories/avis-et-recommandations/posts/avis-sur-la-reglementation-des-mutageneses-ciblees-en-amelioration-des-plantes>

A ce sujet, il est utile de reprendre une citation de Henri Poincaré :

« Il est clair que les savants, comme tous les citoyens, doivent s'intéresser aux affaires de leur pays. Dès qu'ils ont lieu de penser que leur intervention peut servir utilement les intérêts de la nation, il faut qu'ils sacrifient tout à ce devoir.

Ont-ils à cet égard des obligations spéciales qui n'incomberaient pas aux autres citoyens ? Doivent-ils plus que les autres à la Chose Publique ? Oui, s'ils peuvent lui être plus utiles ; et ils peuvent lui être plus utiles si leur voix a plus de chance d'être écoutée. Mais y a-t-il des raisons pour qu'elles le soient ? Le langage de la passion est le seul que la foule comprenne et ce langage n'est pas le leur. »³

L'expression la plus brève de la passion est le cri, qu'on entend que trop souvent.



Portrait de Henri Poincaré par Eugène Pirou
(1890)

Au passage, rendons lui grâce, il ne s'est pas contenté d'être un des plus grands mathématiciens de tous les temps, il a aussi mené des réflexions philosophiques d'un grand intérêt et s'est impliqué dans des « problèmes de société ». Il est étonnant de constater qu'il ait été longtemps, sinon ignoré, du moins qu'il n'ait pas recueilli la considération qu'il méritait, notamment en France, même parmi les mathématiciens. Ce n'est plus le cas, fort heureusement⁴.

Croyance versus confiance

On peut ajouter que la *croyance* est un mécanisme lourd, imprimant des certitudes difficiles à mettre en doute, et quand on le fait, c'est au prix d'un effort énorme. Tout un chacun qui s'y est risqué peut en témoigner. Disons le déjà, la croyance est l'expression de notre dimension religieuse. Elle s'installe souvent sur un fond d'ignorance et de

³ Henri Poincaré, Sur la participation des savants à la politique, *Revue politique et littéraire* (Revue bleue), 5^e série, 1, 1904, p. 708.

⁴ Cf., par exemple :

Charpentier E., Étienne Ghys, Lesne Annick, *l'héritage scientifique de Poincaré*, Belin, Paris, 2006, 424p.

Coutellec L., Schmid A.-F., *Modélisation, simulation, expérience de pensée : la création d'un espace épistémologique. Regards à partir des œuvres de Vernadsky et de Poincaré. Modéliser & simuler*, dir. Varenne F., Silberstein M., Dutreuil S., Huneman P., Tome 2. Éditions Matériologiques, 2014, p. 21-47.

Dans ce dernier ouvrage, Poincaré est de loin l'auteur le plus cité.

paresse intellectuelle : il est plus facile de croire que d'analyser et de synthétiser. Il est parfois plus aisé d'imposer le « croire » aux dépens du « convaincre ». Cependant dans ses formes les plus raffinées, elle n'exclut pas le doute ; ce doute est sinon autorisé du moins toléré dans certaines religions installées. Dans le contexte présent, nous l'entendons au sens premier, celui d'un absolu indiscutable, la foi du charbonnier insufflée par des prédicateurs de tous poils.

Elle est donc à distinguer de la *confiance*, par exemple, quand une opinion est émise par un « grand savant », connu pour ses compétences et son humanisme, on a tendance à lui faire confiance. C'est, par exemple, l'interprétation de Laurent Rollet sur l'expertise du groupe d'experts, constitué d'Henri Poincaré, de Paul Appell et de Gaston Darboux, tous trois éminents mathématiciens, qui ont démolé la méthodologie mise au point et utilisée par Alphonse Bertillon pour « démontrer » que le « bordereau », pièce majeure de l'accusation contre Alfred Dreyfus, aurait bien été écrit par lui⁵. Les savants en question avaient sûrement d'autres priorités, mais ils se sont mobilisés avec leur savoir, leurs compétences et leur intelligence, mettant en œuvre les techniques les plus récentes à l'époque. Le tout a fait l'objet d'un rapport de 100 pages⁶. Il n'en demeure pas moins, selon Laurent Rollet, que c'est surtout la notoriété de ces scientifiques qui a pesé plus que le contenu du rapport lui-même. De toute façon, un point final a été mis à ce procès inique. Cela étant, le rapport existe et tout un chacun peut l'analyser et le critiquer. Un siècle après, personne ne s'y est risqué ou alors aucun argument n'a été trouvé. On peut néanmoins supposer qu'étant donné l'ambiance à l'époque certains aient essayé. Notoriété bien sûr, mais aussi dossier solide.

Parmi les problèmes actuels, la contestation tous azimuts et *a priori* des nouveautés technologiques freine bien des progrès et pas qu'économiques. On s'aperçoit vite que beaucoup de ces contestations ne concernent pas l'objet principal, mais la mise en cause du « système » social et économique. Elle se fonde aussi sur une croyance : on n'y connaît rien en biologie, mais on est opposé aux OGM. Le cas du riz doré est illustratif de cet aveuglement idéologique, développé par un organisme public, il apporte une solution à un problème grave de santé dans certaines populations, à savoir la carence en vitamine A. Les prédicateurs et inquisiteurs sont montés aux créneaux et la production de riz doré a été entravée. Il a fallu la mobilisation d'un grand nombre de scientifiques, dont beaucoup de Prix Nobel, pour médiatiser le problème. Inversement, les dossiers scientifiques doivent être solides, ce qui était d'ailleurs le cas pour cet OGM. À ma connaissance, tous les textes élaborés et les avis rendus par les académies que je connais le mieux : l'Académie des technologies, l'Académie d'agriculture et l'Académie des sciences, sont fortement argumentés et solides. Peu ont été contestés sur le fond.

⁵ Laurent Rollet, Autour de l'affaire Dreyfus Henri Poincaré et l'action politique. *Revue historique*, 1997, 603, 49-101. La citation reprise ici, est d'ailleurs en en-tête de cet article.

⁶ Poincaré H., Darboux G. et Appell P., 1908, Examen critique des divers systèmes ou études graphologiques auxquels a donné lieu le bordereau, in *Affaire Dreyfus. La révision du procès de Rennes. Enquête de la Chambre criminelle de la Cour de cassation, 5 mars – 19 novembre 1904*, tome 3 (Paris, Ligue des droits de l'homme), 500-600.

La nébuleuse de l'écologie, de celles et de ceux qui s'en revendiquent, est particulièrement concernée : une science sérieuse, utile et même nécessaire a été progressivement dévoyée au bénéfice de slogans érigés en vérités scientifiques, ce qui a notamment conduit Christian Lévêque à se demander si l'écologie est encore scientifique⁷. On va examiner ce cas, qui n'est pas unique, mais sans doute le plus illustratif : Comment en est-on arrivés là ?

Les discours et les arrière-plans idéologiques des contestations écologistes et para-écologistes

Pour qu'il n'y ait pas d'équivoque, il faut préciser que ce qui suit est issu d'une expérience individuelle et collective de longue date et de compétences dont on peut vérifier aisément les contours⁸. Un livre à paraître développe l'argumentation dont quelques résultats sont repris ici. On y trouve aussi les références collectives, notamment académiques⁹.

En fait, on a vu se développer des discours alarmistes, voire apocalyptiques, souvent irrationnels. Complété par une obsession sécuritaire pour en arriver à un principe de « non-action », ce qu'est en réalité le principe de précaution. En regardant d'un peu plus près, on constate que ces discours sont d'origines différentes se revendiquant plus ou moins de l'écologie. Nous sommes devant un phénomène curieux, celui d'une discipline scientifique à partir de laquelle d'autres écologies se sont développées : politiques, religieuses, associatives, médiatiques, etc., ou plutôt que divers mouvements s'en revendiquent sans qu'on soit bien assuré que ceux qui les tiennent en ont une vision claire. Cependant, dans les courants écologistes, des problèmes cruciaux ont été bien formulés ou bien relayés. On doit reconnaître aussi que des scientifiques utilisent ces vecteurs d'information ou même participent activement à certains d'entre eux.

Devant la diversité des sujets abordés, il faut rappeler que l'écologie est d'abord une science de la vie et une science de la complexité. Elle doit se penser dans un contexte évolutif. Pour éviter de se perdre dans ces dédales, il faut avoir une approche rigoureuse : définition stricte de ses concepts, de ses objets d'étude (populations, communautés, écosystèmes,... , biosphère et surtout les interactions entre les constituants de ces entités), de ses méthodes, dont l'analyse des systèmes et la modélisation, de ses techniques d'expérimentation et d'observation, ainsi que des procédures d'évaluation scientifiques strictes¹⁰. Elle doit accepter une théorisation

⁷ Lévêque C. (2013) L'écologie est-elle encore scientifique ? Ed. QUAE, Paris.

⁸ Cf., par exemple le site : alain-pave.fr

⁹ « Le foot et l'escargot - La biodiversité trente ans après » qui sortira à l'automne 2018 aux Editions du Seuil.

¹⁰ Ces procédures sont rôdées et évitent grandement les erreurs, la publication de résultats faux, mais ne les suppriment pas. Par exemple, la « loi aire-espèces » pour estimer le nombre d'espèces supprimées lors de la destruction d'une aire donnée d'un écosystème aboutit des résultats faux : on surestime grandement ces disparitions. Or cette loi a été beaucoup utilisée à cette fin.

On dispose maintenant d'une méthode fiable : He F., Hubbell S. P. (2011) Species-area relationships always overestimate extinction rates from habitat loss. *Nature*, 473, 368-371.

réfutable. Science de la vie, ses bases biologiques doivent être solides : son premier cercle de coopérations, et donc d'interdisciplinarité, est avec d'autres disciplines de ce secteur et, tant que de besoin, avec des disciplines d'autres secteurs : chimie, physique, mathématiques, sciences humaines et sociales, sans s'y diluer. Enfin, elle doit avoir des ambitions technologiques en développant une ingénierie des systèmes écologiques. Cette écologie, l'écologie scientifique, existe, mais on entend beaucoup moins parler d'elle que des autres écologies, dans lesquelles il arrive parfois que certains scientifiques s'égarer, au point de n'être plus entendus, même par la communauté scientifique elle-même.

Ainsi, en 2012, la déclaration des Académies des sciences de 15 pays, transmise au G8, concerne la mobilisation de la recherche sur 3 défis majeurs : (i) Concilier les besoins en eaux et en énergie, (ii) Construire la résilience aux événements extrêmes, (iii) Améliorer les connaissances sur les gaz à effet de serre. La question de la biodiversité a été oubliée, le mot n'apparaît même pas dans le texte, pas plus qu'écologie. Pourquoi ? Nous laissons au lecteur le soin d'imaginer des explications...¹¹

Il s'avère que les autres écologies sont beaucoup plus audibles que l'écologie scientifique. Elles peuvent parfois utiliser ses arguments et même revendiquer une démarche scientifique, mais le plus souvent sans en avoir la rigueur. Ces écologies sont mues par des préoccupations principalement idéologiques. Autour de cette nébuleuse on trouve des mouvements divers, de défense des animaux, de végétariens, de végétalistes, de végans, allant jusqu'à des individus ou des groupes qui prônent l'eugénisme voire l'éradication d'Homo sapiens¹². Leur caractéristique commune est plus de contraindre les humains que d'améliorer leur sort. Alors que l'écologie et ses thèmes principaux, comme la biodiversité, sont de grande importance, tout cela entraîne une grande confusion et une non moins grande dangerosité. Parmi les protagonistes, on peut soupçonner des mouvements fondamentalistes : le risque principal réside peut-être dans leurs influences et leur extension mondiale. En effet, le plus souvent leurs idées relèvent d'un néo-obscurantisme en s'opposant explicitement ou implicitement à

¹¹ http://www.academie-sciences.fr/pdf/communiqu/G8_2012.pdf

¹² Il suffit d'interroger internet en associant ces mots avec *écologie* (et ses dérivés), pour observer qu'elles sont nombreuses. La détermination des cooccurrences des mots dans les textes et plus généralement dans les discours est utile pour les interpréter. Le nombre élevé de cooccurrences observées indique une proximité de ces mouvements avec l'écologie (au sens pluriel du texte). Pour aller plus loin, il faudrait s'attaquer aux concordances et faire un véritable travail statistique et sociologique. Ce travail est du domaine de la linguistique quantitative, qui a bien progressé depuis cette publication :

- Thoiron P. et Pavé A. *Index et concordance pour "Alice's Adventures in Wonderland" de Lewis Carroll*. Ed. Champion-Slatkine, Genève, 1989.

Ce travail est un des éléments qui a permis à Philippe Thoiron de soulever quelques lièvres et de proposer une nouvelle lecture de cette œuvre remarquable. Ma contribution était méthodologique (informatique et statistique), cependant mes discussions avec Philippe m'ont éclairé sur l'interprétation des textes en utilisant les concordances. J'en ai profité largement.

Pour en revenir à nos moutons, prenons le paradigme astronomique, on pourrait voir les écologies comme un « centre galactique » qui attire ces mouvements, ou, au contraire, si ces derniers viennent de ce centre. Il ne faut cependant pas penser qu'ils forment un groupe homogène, les végétariens et autres partisans de régimes végétaux n'ont rien à voir avec ceux qui prônent l'éradication des humains.

la démarche scientifique. Dans les versions les plus affirmées on trouve des créationnistes patentés et des confessions qui nient l'évolution biologique en incluant la création divine dans leur dogme. La présenter comme une alternative à l'évolution dans les enseignements scolaires et universitaires est une de leurs principales revendications.

Prenons quelques autres exemples. Tout d'abord, les mouvements animalistes comme PETA (*People for an Ethical Treatment of Animals*), sa version française ou son avatar L214, dont la communauté scientifique a pu mesurer l'influence à propos des animaux de laboratoire. Il n'y a pas que cela, tout ce qui relève de la « *Deep Ecology* » pose problème. Ces mouvements sont parfois violents, ou dans des versions plus douces entraînent des gens de bonne foi¹³.

À ce sujet on peut citer une histoire et une anecdote :

L'*histoire* a été largement diffusée au niveau mondial, il s'agit de celle de Chico Mendès, dans les années 1980, un séringuéro brésilien de l'Acre, qui se battait contre la déforestation, non pas d'abord pour des raisons écologiques, mais tout simplement parce que la forêt fournit les ressources permettant à ces communautés de vivre. Des mouvements écologistes états-uniens l'ont propulsé au premier plan de la scène mondiale, il est même intervenu à l'ONU, jusqu'à ce qu'ils s'aperçoivent que Chico Mendès défendait la forêt d'abord pour les gens qui y vivent et en vivent, et non pas comme entité écologique plus ou moins sanctifiée. De son côté, Chico Mendès lui se rendit compte qu'il était instrumentalisé pour défendre une cause, celle de la forêt en tant que telle. Cette cause n'étant pas exactement la sienne, il est alors rentré au Brésil où il a été assassiné. Cependant, sa notoriété était grande. Événement exceptionnel à l'époque, les commanditaires ont été arrêtés, jugés et lourdement condamnés.

L'*anecdote* est aussi révélatrice. Le 12 septembre 2017, une émission de France Culture a été organisée pour parler d'Amazonie à propos d'une décision du président actuel du Brésil de déclassifier une réserve naturelle, la Renca (*Reserva Nacional do Cobre e Associados*), d'une superficie équivalente à la Suisse. Le but était de permettre l'exploitation minière de cette zone. L'émission a débuté par un extrait sonore datant de 1989, au contenu catastrophiste : l'Amazonie est au bord du désastre et même c'est quasiment trop tard¹⁴. Presque 20 ans après, elle est toujours là, un peu plus entamée, mais encore largement existante et... vivante. Le discours est néanmoins réitéré par la plupart des membres d'associations de protection de la nature, par beaucoup de médias

¹³ On peut citer :

- Deborah Rudacille, *The scalpel and the Butterfly*, Macmillan e-book, 2015.
- *Holy Cows: how PETA twists religion to push animal « rights »*, The Center for Consumer Freedom, 2017.
- Barnhill D.M., Gottlieb R.S., *Deep Ecology and World Religions, New Essays on Sacred Grounds*, State University of New York, 2001

Et pour les incidences au niveau des laboratoires :

- André Buatois (dir), *Entre l'homme et l'animal, le rituel de Circé*. Les Editions Persée, 2015. Ouvrage très axé sur les problèmes rencontrés par la recherche scientifique et comment elle y répond.

¹⁴ <https://www.franceculture.fr/emissions/la-methode-scientifique/foret-amazonienne-bout-de-souffle>

et même par certains scientifiques. Un collègue botaniste et écologue était également interviewé, son discours était très raisonnable, mais l'on n'a guère parlé de la Renca. Cependant, on ne peut pas en tenir rigueur au journaliste. Juste à la fin, le problème a pu être brièvement rappelé en soulignant que c'est bien de parler de l'écosystème, mais que ce qui importe d'abord ce sont les populations qui l'habitent. Fort heureusement, face à la pression internationale, le Président du Brésil est revenu sur sa décision.

Revenons au cas français : c'est bien aussi d'évoquer la campagne, la « nature », les écosystèmes mais plus encore de se préoccuper de ceux qui y vivent et qui en vivent. D'autant plus qu'on peut allier les deux en évitant notamment que les terres deviennent des objets de spéculation financière, qu'elles se dépeuplent, en se préoccupant en particulier des agriculteurs et des éleveurs, tout d'abord en les écoutant¹⁵.

Pour terminer sur ce sujet, osons une réflexion d'ordre général : les mouvements animalistes et écologistes se développent dans le halo des nébuleuses évangéliques et quand on analyse un peu les discours, ils sont de nature plutôt religieuse dans leur expression, mais pas directement évangélique, encore que le mythe du Jardin d'Eden n'est pas loin.

En fait, il n'y a pas de réponse bien claire du milieu de la recherche scientifique sur ces sujets, même si le positionnement académique va dans ce sens. Il nous revient d'actionner le relai médiatique, avec les journalistes les mieux disposés.

Conclusion : la passion l'emporte souvent sur la raison, est-ce perdu pour autant ?

On reste souvent confondu par l'audience des discours diffusés par ces mouvements et certaines ONG. Ainsi parle-t-on plus des rapports du WWF et de l'UICN, des positions parfois tempétueuses de Greenpeace, que des publications et positions des Académies. Il suffit qu'un vague gourou prône le véganisme pour devenir un personnage médiatique, ou qu'un autre mette en doute l'un des plus grands progrès de l'histoire de l'humanité, à savoir la vaccination, pour convaincre un public significatif. On met en avant des publications douteuses, critiquées par la grande majorité des scientifiques, et ce sont ces publications qui emportent l'adhésion, il suffit de crier assez fort. Oui, Poincaré était dans le vrai, et nous en sommes toujours là. Ces attaques ont pour effet une perte de confiance dans la démarche scientifique au bénéfice de croyances dans des dogmes assésés ; comme il arrive souvent, la réitération de l'argument fait alors office de preuve.

S'il y a un combat à mener, c'est encore celui de la raison, mais aussi de gagner la confiance pour éviter que ce ne soit que la croyance qui détermine les opinions. Certains courants religieux ont grandement évolué, mais d'autres ont émergé revitalisant la soumission implicite aux paroles des despotes et des prédicateurs où les passions tristes l'emportent souvent sur les passions joyeuses. De plus, la plupart des discours des « écologies » non scientifiques et des mouvements qui les accompagnent, remuent des

¹⁵ Des associations sont très actives, comme le *Comité Central Agricole de la Sologne*, qui invite des scientifiques à ses débats.

passions tristes. On pourrait être pessimiste et penser que c'est définitivement perdu, mais c'est ignorer les extraordinaires progrès enregistrés ces trois derniers siècles. Il faut donc continuer opiniâtrement, valoriser les démarches scientifiques, faire avancer l'adhésion à la raison, donner plus de crédit à la confiance plutôt qu'à la croyance, activer les passions joyeuses plutôt que les passions tristes, se demander pourquoi les écologies nous promettent l'enfer alors qu'elles devraient nous dessiner le paradis.

La *démarche scientifique* n'est pas fermée, elle évolue constamment. Ce caractère évolutif ajoute à la confiance qu'on peut avoir dans cette démarche, ce qui la distingue de la croyance. Nous savons maintenant que de nombreuses questions ne peuvent être résolues, ni même abordées, voire tout simplement énoncées, que dans un contexte et une pratique interdisciplinaires, et dans l'avenir transdisciplinaires. Depuis les années 1970 la communauté scientifique s'y attèle, il faut que le système de recherche s'y adapte, ainsi que les académies.

En restant à l'écoute de nos concitoyens, donnons-nous le temps qu'il faut à ces fins.

Annexe

Ci-dessous, un extrait du courriel qui accompagnait ce texte dans sa version quasi définitive. Le débat devenant désagréable, j'y ai mis fin de ma propre initiative. Dans des courriels reçus, mes compétences ont été mises en cause dans certains domaines, par exemple sur le plan épistémologique. Comme, dans mon texte, il est fait allusion à des experts auto-proclamés, le « compliment » m'était opportunément retourné. Pour qu'il n'y ait pas d'équivoque, je précise que ce domaine n'est évidemment pas de ma compétence première, mais que, dans mes écrits et oraux, j'ai souvent introduit des considérations épistémologiques et aussi historiques. Pour l'écologie, j'ai fait un effort particulier à la demande de collègues du CNRS et de l'Académie des sciences, à un moment où son statut de discipline scientifique était contesté. Je joins ce texte, très imparfait car rédigé dans une certaine urgence, mais qui ouvre sans doute quelques pistes épistémologiques. Pour la modélisation, on en trouve des preuves dans mes ouvrages... Enfin, l'histoire est souvent oubliée, à ce niveau il me paraît nécessaire de rappeler que j'ai été un des plus fidèles défenseur de l'écologie, notamment quand j'étais en position de responsabilité d'opérations et de programmes de recherche.

1- Extrait de mes derniers messages

L'élargissement de la réflexion doit se faire dans un contexte interdisciplinaire. C'est ce que nous faisons dans le PIREN¹⁶, le Programme Environnement et le PEVS au CNRS, avec des difficultés, certes, mais aussi avec quelques succès. Le système de recherche a des difficultés à s'y adapter. Les difficultés des programmes interdisciplinaires l'illustrent. Alors que le CNRS et ses partenaires ont accumulé une grande expérience à ce sujet, exemplaire au niveau mondial, nous avons des difficultés à la faire connaître. Par exemple, en 2012, un petit groupe a été réuni au CNRS à cette fin. Une synthèse a été produite mais jamais publiée. J'en parle en connaissance de causes, puisque j'en ai été le principal rédacteur et que j'ai tiré les conséquences de la non publication à titre personnel. De toute façon, l'ID se développe singulièrement (Cf., par exemple, Nature, 525, 2015, 306-307... où l'on voit que la France est... mal classée. Voir l'inégalité du dossier dans ce numéro).

A ce propos, deux idées, non encore démenties :

(1) L'interdisciplinarité nécessite de s'appuyer encore longtemps sur des disciplines solides. C'est, par exemple, pour cela que l'écologie doit conforter ses bases.

(2) L'interdisciplinarité et dans le futur la transdisciplinarité sont des pratiques collectives, mais qui demandent de compléter les cultures individuelles.

Ces points n'ont pas été abordés dans la version du texte que je vous ai envoyé. J'y fais allusion à la fin de celui joint à ce courriel.

Pour ce qui est des médias, ayant eu l'opportunité d'intervenir plusieurs fois dans diverses émissions et journaux, ma critique doit être pondérée. Si les médias sont souvent en faveur des discours dits « écologistes », ce n'est pas toujours le cas. Ainsi note-t-on que certains articles de journaux adoptent des tons moqueurs... Par exemple celui de Libé sur le célèbre Pique-prune :

Libération du 20/09/2010 (Alexandre Stobinsky) :

¹⁶ Programme Interdisciplinaire de Recherche sur l'Environnement

Enfin, en forme de boutade...s :

- je ne crois pas à la science en tant que telle, mais j'ai confiance en la démarche scientifique.
- Cette démarche n'est pas incompatible avec des formes de croyance par ailleurs. Le problème est dans la confusion des genres.
- On peut résoudre des problèmes concrets, grâce à cette démarche en intégrant notamment une pratique interdisciplinaire et... une réflexion transdisciplinaire.
- Ne pas oublier que l'attente sociale ne se réduit pas à une recherche de solutions, mais également au désir de connaissance. C'est ce qu'a démontré une enquête de Nature, il n'y a pas si longtemps... Sinon comment expliquer le succès de l'astrophysique, de l'astronomie, et de la physique des particules.
- Il serait intéressant de faire ou de réactiver une étude sociologique du monde scientifique lui-même. Les réactions au texte ci-dessus sont en fait plus diverses qu'à première vue. Un autre exemple est constitué par les résultats d'une étude récente portant sur les publications jugées importantes par la communauté des écologues. Plutôt que de se contenter d'une étude statistique sur le nombre de publications et de citations, les auteurs ont complété par une enquête qu'on peut qualifier de sociologique en interviewant un panel international d'écologues. Les résultats obtenus sont faiblement corrélés à ceux de la simple statistique et, de ce fait, relativise l'hystérique recours aux indices divers basés sur les nombres de publications¹⁷, que ce soit pour évaluer des chercheurs à titre personnel que collectif ou pire encore pour promouvoir, voire imposer, des politiques de recherche¹⁸. Nous avons suivi une démarche analogue, fin des années 1990 pour les recherches sur l'environnement¹⁹. (échange avec Bertrand Hervieu, président de l'AAF)
- ...

¹⁷ Courchamp F. et Bradshaw C. J. A., 100 articles every ecologist should read. *Nature Ecology & Evolution*, Nature & Evolution, 2017.

¹⁸ Vincent de Gaulejac, *La recherche malade du management*. Editions Quae, Paris, 2012.

¹⁹ Pavé A., Courtet C., Volatier J-L. Environnement : comment la communauté scientifique voit les problèmes. *Courrier de l'Environnement*, INRA, 34, 109-114, 1998.

2. Texte sur l'écologie, rédigé à la demande du CNRS (direction de l'Inee) et de collègues écologues de l'Académie des sciences

L'écologie est-elle une discipline scientifique ?²⁰

Alain Pavé, le 25/01/2012

Il s'avère que l'écologie, exposée à la confusion avec des courants politiques et idéologiques, n'est pas toujours perçue comme une discipline scientifique par les milieux de la recherche. La question est quelquefois clairement posée et les chercheurs qui relèvent de ce secteur ont des difficultés à se faire entendre, d'autant plus que certains d'entre eux maintiennent cette confusion ou qu'on se plaît à dire qu'ils la maintiennent. Qu'en est-il exactement ?

Le constat

On retiendra d'abord les faits suivants :

- L'écologie a des **objets** d'étude parfaitement définis : les systèmes vivants des niveaux d'organisation supérieurs à l'organisme (populations, communautés et écosystèmes, biomes, voire biosphère)
- Elle développe ses propres **méthodes et dispositifs**, par exemple pour les études de terrain ou expérimentales : station, comme les Nouragues, Zones Ateliers, Ecotron(s), Centre d'écotoxicologie de Rovaltain, LTER (Long Terme Ecological Research, USA), etc.
- Elle s'est dotée de **paradigmes** fondamentaux (au sens de Kuhn²¹) :
 - o l'importance des interactions entre systèmes vivants différents dans les structures et dynamiques observées (interindividuels : de la même espèce dans les populations, d'espèces différentes dans les communautés ; exemples des interactions prédateurs - proies, hôtes-parasites, de la compétition) ;
 - o la nécessité d'inclure les relations entre les systèmes vivants et les composantes géo-physico-chimiques de leur milieu ;
 - o l'approche système, centrale en écologie se déduit de ce qui précède : au sein d'un système écologique on est amené à analyses des relations , d'une part entre des composantes vivantes, et, d'autre part, entre le vivant et le non vivantes ;
 - o La prise en compte des dynamiques géo-physico-chimiques au niveau des écosystèmes (par exemple des évolutions climatiques)
 - o Elle aborde des « grandes questions », notamment celles de la biodiversité et des cycles bio-géo-chimiques à différentes échelles de temps et d'espace.
 - o Elle mène des discussions internes sur les paradigmes. Par exemple, elle s'interroge aujourd'hui sur les limites de la vision mécaniste et systémique de « super organisme » des écosystèmes, implicite dans la définition donnée par Tansley en 1935 et développée par les frères Odum dans les années 1950, puis reprise dans l'hypothèse de Gaïa (Lovelock et Margulis, 1974)²². Ce type de représentation s'appuie

²⁰ Cette note a primitivement été rédigée pour une rencontre entre le CNRS et l'Académie des Sciences. On ne s'étonnera donc pas des multiples références à cet organisme tout en soulignant que l'écologie est aussi l'affaire d'autres instituts comme l'INRA, le Cemagref, l'Ifremer, l'IRD, le MNHN et bien sûr du monde universitaire.

²¹ Kuhn T.S. *La structure des révolutions scientifiques*. Traduction Laurence Meyer. Flammarion, Paris, 2008.

²² Cette représentation est directement issue de la vision cosmologique des grecs anciens dans la filiation de la pensée de Parménide (ontologique et vision ordonnée du monde) en opposition à celle d'Héraclite (chaos et tensions ente les contraintes, l'ordre est épistémologique, c'est celui que nous créons). En fait, la représentation écosystémique qui se construit actuellement est celle d'une système hautement stochastique mais où des structures existent à cause des contraintes (filtrage environnemental et notion de niche) et de l'histoire de ce système. Vision proche de celle d'Héraclite,

sur une vision « métabolique » et déterministe (provenant de l'écologie fonctionnelle et modélisables en termes de systèmes à compartiments). Le concept de niche écologique participe aussi à cette vision. Or les *aspects stochastiques* semblent importants sinon essentiels pour expliquer les structures et dynamiques « naturelles ». C'est le cas de la théorie neutraliste de la biodiversité (Stephen Hubbel, 2001)²³. Même si celle-ci doit être relativisée, elle sert de repère et constitue une étape pour aboutir à l'idée d'une théorie synthétique de la biodiversité, par exemple en la complétant par une expression modernisée de la théorie de la niche (filtrage environnemental : Chave et al (2004, 2006)²⁴, Jabot et al., (2008)²⁵, Pavé (2007, 2010, 2011). Progressivement émerge aussi une vision intégrative du monde vivant.

- On peut définir des « sous-disciplines » ou spécialités:
 - o Biologie des populations
 - o Génétique des populations
 - o Écologie fonctionnelle
 - o Écologie chimique émergente
 - o Écologie évolutive en plein développement
 - o Écophysiologie : qui définit implicitement la frontière entre d'une part la physiologie et biologie des organismes (typiquement ce que fait Yvon Le Maho) et, d'autre part les populations et les niveaux d'ordre supérieurs
 - o Écotoxicologie
 - o Écologie globale (écologie au niveau de biosphère) en émergence
 - o Etc.
- Elle est très *théorisée et modélisée*, c'est même l'une des disciplines des sciences du vivant les plus formalisées, sans doute parce que l'étude de terrain est difficile et demande donc de se doter d'un cadre théorique solide :
 - o Modèles très anciens de la démographie et de la dynamique des populations : exemple du modèle logistique de Pierre-François Verhulst, 1838, 1842 et 1844, réinventé (ou repris ?)²⁶ par Pearl dans les années 1920,
 - o modèles de la génétique des populations et évolutives (Fisher, Malécot, Tessier, etc.)
 - o Modèles d'interactions (Lotka, Volterra, etc.)
 - o Modèles de flux de matière et d'énergie (écologie fonctionnelle)
 - o Développement d'outils statistiques spécifiques (exemple d'ADE : analyse des données écologiques ayant donné lieu à un logiciel spécifique, Chessel, Thioulouse et al., développée depuis une vingtaine d'années)
 - o Dans les approches expérimentales, le concept *d'expérience guidée par le modèle* est de plus en plus adopté²⁷.

On notera que l'école française s'est illustrée au début, courant des années 1920 et 1930, notamment sous l'influence de Georges Tessier au point que deux auteurs anglo-saxons ont

mais avec un ordre diffus et changeant au cours du temps : à la représentation en terme de système devrait se substituer celle de réseau ou de tissu (cf. plus loin dans le texte).

²³ Hubbell S.P. *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. Princeton Univ. Press, 2001

²⁴ Chave J. (2004). Neutral theory and community ecology. *Ecology letters*, 7, 241-253.

Chave J., Alonso D., Etienne R. S. (2006). Comparing models of species abundance. *Nature*, 441, E1

²⁵ Jabot F., Chave J. Inferring the parameters of the neutral theory of biodiversity using phylogenetic information and implications for tropical forests. *Ecology letters*, 2008, 12 : 1-10

²⁶ Verhulst P.F. - Recherche mathématique sur la loi d'accroissement de la population. *C.R. de l'Acad. Royale de Belgique*, XVIII, 1-32 (1844)

²⁷ C'est, par exemple, un point clé du projet scientifique de la plate-forme d'écotoxicologie et de toxicologie environnementale de Rovaltain, qui devrait être un des plus grands centres internationaux sur le sujet.

publié en 1978 un ouvrage rendant hommage à ces travaux pionniers²⁸. Elle s'est à nouveau développée à partir des années 1980 (en mentionnant néanmoins les célèbres travaux théoriques en génétique des populations de Gustave Malécot²⁹). Depuis une quarantaine d'années, on notera le rôle pionnier joué par *l'école lyonnaise de Biométrie* : analyse des données écologiques, modélisation, bioinformatique (évoqué dans « la course de la gazelle », je peux évidemment en parler longuement !).

Ecosystème ou écoréseau ?

Revenons sur *l'approche système*, couplée à la modélisation très utilisée et utile. Cette approche est d'une grande efficacité dans l'étude des flux biogéochimiques. En revanche, quand on s'en écarte, elle fait supposer un ordre, une auto-organisation et de proche en proche à voir un écosystème comme un super organisme, alors que c'est plutôt le désordre que l'on observe dans la distribution naturelle des individus. Cette vision héritée du cosmos des grecs, est renforcée par l'ordre des forêts de nos pays, alors que cet ordre est essentiellement d'origine anthropique ou, quand il est observé ailleurs et rarement, imposée par des conditions géophysiques drastiques du milieu.

Plutôt qu'un système, si l'on introduit la distribution spatiale des individus, et si cette distribution n'est pas imposée par l'homme, un *écosystème* est un plutôt un réseau, avec une répartition principalement aléatoire, modérée par les conditions locales du milieu. Des relations écologiques sont aussi locales et conjoncturelles, leur ensemble forme un réseau d'interactions temporaire qu'on pourrait baptiser un « *écolome* ». Ainsi, plutôt que de parler *d'auto-organisation* pourrait-on de préférence parler *d'auto-désorganisation*, dans la mesure où ce sont des processus biologiques et écologiques qui sont à la base de ces structures aléatoires et que ces structures sont des facteurs de *résilience*. Et pourquoi pas parler plutôt *d'écoréseau* ou *d'écotissu* que d'écosystème. Les forêts intertropicales humides sont les exemples les plus marquants avec comme conséquence le maintien à long terme de leur biodiversité. Sans un brassage continu, ces forêts s'appauvriraient spontanément.

Une spécificité : les concours nécessaires et parfois profonds d'autres disciplines

L'une des difficultés de l'écologie est la nécessité, en plus de ses propres démarches, de faire appel à de nombreuses disciplines des sciences du vivant et d'autres secteurs. Pour ne citer que les SDV et se limiter à ce qui se passe aujourd'hui, l'intégration du niveau moléculaire devient une priorité : marqueurs de biodiversité (barcoding et notion de metagénome). C'est en cours, mais il est aussi nécessaire d'intégrer les processus moléculaires au niveau du génome. Par exemple, les discussions sur les effets écologiques des OGM sont obliérées par l'absence de la prise en compte de ces processus dans le discours écologique.

Cette nécessité d'une dose importante d'interdisciplinarité dans une discipline pose évidemment des problèmes spécifiques peu rencontrés ailleurs. C'est peut-être aussi le cas géographie. On note d'ailleurs que la communauté des géographes est celle des SHS la plus ouverte à la discussion avec les écologues, c'est vrai aussi pour l'archéologie et l'anthropologie. L'histoire est aussi de cette nature dans la dynamique impulsée par l'école des Annales. Bien entendu, il existe d'autres disciplines, notamment des sciences de la vie, qui font appel à d'autres disciplines, par exemple les mathématiques et l'informatique pour des raisons techniques ou méthodologiques. Cela étant, *la implication des ces autres disciplines en écologie est plus profonde qu'ailleurs.*

²⁸ Scudo F.M. et Ziegler J.R. - *The Golden Age of Theoretical Ecology : 1923-1940*. Lect. Notes in Biomathematics, Springer-Verlag, 1978.

²⁹ Cf., l'hommage qui lui a été rendu dans la revue « Genetics » : <http://www.genetics.org/content/152/2/477.full> et son célèbre ouvrage « Les mathématiques de l'hérédité » (Masson, Paris, 1948), traduit en anglais : *The Mathematics of Heredity* (Freeman, San Francisco, 1969).

L'écologie en France :

Après des débuts prometteurs dans les années 1920 et 1930, après la guerre l'écologie ne donne pas lieu à une dynamique de recherche particulière. Elle est même au contraire quelque peu étouffée. L'émergence d'une vision moderne des sciences du vivant se heurte probablement à une vision conservatrice de « la Sorbonne et du Muséum ». En 1946, l'urgence est au développement de la génétique. Tessier va se battre d'abord sur ce plan : création du centre de génétique de Gif-sur-Yvette, alors qu'il est DG du CNRS, et d'une chaire de génétique à la Faculté des Sciences de Paris (qui est allouée à Boris Ephrussi en 1946). Cette création est obtenue avec le soutien des mathématiciens et physiciens contre l'avis des biologistes, zoologues et autres botanistes!³⁰. Puis le développement spectaculaire de la biologie moléculaire et ses succès ont pris le devant de la scène. L'écologie reste sur le bord de la route et pour tout dire abordée par une petite communauté pas très brillante. Elle est réactivée avec le lancement des recherches sur l'environnement en 1978 (PIREN).

Début des années 1980, il faut souligner le rôle important joué par Robert Barbault, appelé au département des sciences de la vie du CNRS comme Chargé de Mission par Roger Monier alors directeur de ce département. Au début des années 1990, un poste de DSA est créé dans le DSV et occupé par Robert Barbault, puis par Jean-Marie Legay, autres noms : Pierre-Henry Gouyon (bref passage) puis Bernard Delay qui fit la transition en étant dans la foulée le premier directeur du département Environnement et Développement Durable. Tout au long de cette histoire, il y eut une profonde synergie avec les programmes de recherche sur l'environnement et quelques autres programmes interdisciplinaires (ex. Ecotech et récemment Amazonie)

Toujours est-il que, partie très haut dans les années 1920-1930, l'écologie en France ne se distingue plus jusqu'au début des années 1980 où commence une remontée progressive et très positive avec, aujourd'hui, une communauté qui compte au niveau international. On soulignera là encore le *rôle positif joué par le CNRS* dans le développement de cette discipline essentielle. Si nous en étions restés à l'initiative des universités nous n'aurions guère progressé (d'où mes réserves, non pas sur le fond, mais sur la précipitation avec laquelle sont conçues et se mettent en place les réformes actuelles !).

On pourra souligner que la communauté des écologues est très présente dans l'IUBS (*International Union of Biological Sciences*) et très sensible au développement d'une *biologie intégrative* prônée par cette société scientifique internationale.

Une difficulté (bien présente en France) : la récupération du mot écologie, et de certains de ses concepts, souvent mal compris, par des mouvements politiques et même par des ministères (!). Ce phénomène introduit une grande confusion au point qu'on a adopté le terme « écologues » pour désigner les « écologistes scientifiques ». On retiendra aussi qu'on a du mal à utiliser le mot écologie au sein même du CNRS (cf. intitulés successifs des sections du comité national traitant de l'écologie). Il ne faut pas ignorer non plus que certains collègues s'impliquant dans ces mouvements entretiennent aussi la confusion. Soulignons aussi que la communauté scientifique concernée n'a pas un comportement collectif bien assuré. Il n'en demeure pas moins que, coincée entre la biologie moléculaire et les sciences du climat, elle a trouvé sa thématique porteuse, celle de la biodiversité. Mais cela avec un travers : la faible prise en compte des aspects génétiques et des processus moléculaires.

La création de l'INEE (Institut Écologie – Environnement) est un grand progrès et distingue de ce fait l'écologie (discipline scientifique) de l'environnement (objet de recherche).

³⁰ Cf. Par exemple : Gayon J., Burian R.M. National traditions and the emergence of genetics : the French example. *Nature genetics*, 5, 2004, 150-156.

L'écologie évolue rapidement dans ses thématiques et ses approches comme le montre l'article bibliométrique de Neff et Corley (2009)³¹. On peut même tirer de cet article une analyse plus fine des grandes tendances (en cours).

Les prolongements de l'écologie

Soulignons enfin que l'écologie donne lieu à des développements « technologiques » nouveaux et récents : écotoxicologie, agroécologie, ingénierie écologique, gestion des territoires, réhabilitation des zones dégradées, etc. Elle est aussi *source d'inspiration* pour d'autres disciplines des sciences du vivant. C'est ainsi que l'infectiologie utilise certains de ses concepts. C'est ainsi qu'au milieu des années 1990, une approche originale de l'infection par le HIV a été proposée en utilisant des concepts et des modèles de la biologie des populations et de l'écologie³². Et tout dernièrement la cancérologie s'en est emparé (écologie des populations cellulaires et écologie évolutive)³³. Elle est aussi appropriée par d'autres secteurs, comme l'économie, mais là on peut être très réservé quand au transfert de concept et de vocabulaire. Je ne suis pas sûr que parler d'écosystèmes d'entreprises ait un sens, sinon un faux sens.

Conclusion

Au bout du compte cette « brève » analyse de la situation montre que l'écologie est une véritable discipline scientifique, féconde dans ses concepts et approches, méritant un statut académique, mais devant « serrer les boulons » pour ne pas se laisser distraire par les sirènes politiques et idéologiques.

Pour plus de références, on pourra consulter celles incluses dans quelques ouvrages et publications récentes de l'auteur :

- Barbault R., Pavé A. Écologie des territoires et territoires de l'écologie. Caseau P. (Ed). Études sur l'environnement : du territoire au continent. Académie des Sciences, RST « *Études sur l'environnement. De l'échelle du territoire à celle du continent* », Lavoisier, Tech&Doc, 2003, 1-48.
- Pavé A., Pumain D., Schmidt-Lainé Cl. Dynamique des territoires : les changements de couverture et d'utilisation des terres. Caseau P. (Ed). Académie des Sciences, RST « *Études sur l'environnement. De l'échelle du territoire à celle du continent* », Lavoisier, Tech&Doc, 2003, 51-77.
- -. *La nécessité du hasard – Vers une théorie générale de la biodiversité*. EDP-Sciences, 2007, 192p.
- -. Necessity of chance: biological roulettes and biodiversity, *C.R. Biologies*, 330, 2007, 189-198.
- -. *On the Origins and Dynamics of Biodiversity : the Role of Chance*. Springer US, New-York, 2010, 178p.
- Pavé A. et Fornet G. *Amazonie, une aventure scientifique et humaine du CNRS*. Galaade, Paris, 2010, 156p.
- - *La course de la Gazelle. La vie, sa diversité et son évolution, entre hasard et nécessité, entre science et société*. EDP Sciences, Les Ulis, 2011.
- Lévêque C., Mounolou J.C., Pavé A., Schmidt-Lainé Cl. À propos des introductions d'espèces. *Études rurales*, 2010, 185 : 219-234.

³¹ Neff M.W., Corley E.A. 35 years and 160,000 articles : a bibliometric exploration of the evolution of ecology. *Scientometrics*, 80 :3, 2009, 657-682.

³² Ho D. D., A. U. Neumann, A. S. Perelson, W. Chen, J. M. Leonard & M. Markowitz: Rapid turnover of plasma virions and CD4 lymphocytes in HIV-1 infection. *Nature*, 1995, 373, 123-126.
Wei X., S. K. Ghosh, M. E. Taylor, V. A. Johnson, E. A. Emini, P. Deutsch, J. D. Lifson, S. Bonhoeffer, M. A. Nowak, B. H. Hahn, M. S. Saag & G. M. Shaw: Viral dynamics in human immunodeficiency virus type 1 infection. *Nature*, 1995, 373, 117-122.
Nowack M.A., May R.M., Phillips R.E., Rowland-Jones S., Lalloo D.G., MacAdam S., Klenerman P., Köppe B., Sigmund K., Bangham C. R. M., McMichael A.J. Antigenic oscillations and shifting immunodominance in HIV-1 infections. *Nature*, 1995, 375, 606-611.

³³ Greaves M., Maley C.C. Clonal evolution in cancer. *Nature*, 2012, 481, 306-313.

On pourra surtout consulter les ouvrages écrits par des collègues, par exemple :

- Barbault R. (2005) Un éléphant dans un jeu de quilles. L'homme dans la biodiversité. Seuil, Paris, 266p.
- Lévêque C. (2001). Écologie. De l'écosystème à la biosphère. Dunod. Paris.
- Lévêque C., Mounolou J.C. (2002). Biodiversité. Dynamique biologique et conservation. Dunod, Paris, 2002.
- Barbault R., Weber J. La vie quelle entreprise ! Pour une révolution écologique de l'économie. Seuil, 2010.

Quelques publications postérieures à janvier 2012

Pavé A. *Modélisation des systèmes vivants : de la cellule à l'écosystème*. Hermès/Lavoisier, Paris, 2012 , 633p,

Pavé A. *Modeling living systems, from cell to ecosystem*. ISTE/Wiley, London, 2012, 620p

Pavé A. Jean-Marie Legay (1925-2012), pionnier de la modélisation ; In : *Modéliser & simuler. épistémologies et pratiques de la modélisation et de la simulation*, Éditions Matériologiques, Paris, tome 1, 713-727, 2013.

Pavé A. Jean-Marie Legay : le scientifique, l'humaniste et le novateur. *Natures, Sciences, Sociétés*, 21, 99-101, 2013.

Pavé A. Entre protection et élimination, que deviennent les petites curiosités de la nature ? ? In : *Le développement durable à découvert*. Ed. Agathe Euzen, Laurence Aymard et Françoise Gaill. CNRS Éditions. 98-99, 2013.

Guillaume LECOINTRE, Muriel GARGAUD, Marc LACHIEZE-REY, Giuseppe LONGO, Alain PAVÉ. Changement, transformation, évolution, historicité. In « *Évolution, de l'univers aux sociétés* », dir. Muriel Gargaud et Guillaume Lecointre, Ed. Matériologiques, 2015, pp23-40.

Guillaume LECOINTRE, Patrick DE WEVER, Sylvia EKSTRÖM, Muriel GARGAUD, Matthieu GOUNELLE, Etienne KLEIN, Giuseppe LONGO, Hervé MARTIN, Alain PAVÉ, Bernard WALLISER, Brigitte ZANDA, René ZARAGÜETA-BAGILS. Catégories et classifications face au changement. In « *Évolution, de l'univers aux sociétés* », dir. Muriel Gargaud et Guillaume Lecointre, Ed. Matériologiques, 2015, pp422-454.

Pavé A. Les cailloux du Petit Poucet. EDP Sciences, 2015, 315p.

Guillou M., Pavé A. (dir.). Technologies et changement climatique, des solutions pour l'atténuation et l'adaptation. Contribution de l'Académie des technologies à la COP21, 2015, 103p.

Pavé A., Modeling in Contemporary Sciences : Efficiency and Limits. Example from Oceanography. In « Tools for Oceanography and Ecosystemic Modeling (Ed. André Monaco and Patrick Prouzet), ISTE/WILEY, 2016, pp 313-335.

Alain Pavé. Point de vue d'un modélisateur. *Qu'est-ce que la science pour vous, 50 scientifiques et philosophes répondent*. Ed. Matériologiques, 2017, pp199-200.

Virgile Baudrot, Sara Preux, Virginie Ducrot, Alain Pavé and Sandrine Charles, New Insights to Compare and Choose TKTD Models for Survival Based on an Interlaboratory Study for *Lymnea stagnalis* Exposed to Cd. *Environmental Science & Technology*, 2018.