



Réflexions désordonnées

Michel Raynal¹

N'est définissable que ce qui n'a pas d'histoire.

Friedrich Nietzsche.

Les idées dans le vent ont souvent un destin de feuilles mortes.

Anonyme.

La profusion des choses cachait la rareté des idées et l'usure des croyances.

Annie Erneaux, *Les Années* (2008).

À un certain moment de ma carrière je me suis posé la question très naturelle « c'est *quoi* mon métier d'enseignant-chercheur à l'université ? ». Question qui s'est vite diffractée en des questions plus ciblées telles que « c'est *quoi* l'enseignement dans un cadre universitaire ? », « c'est *quoi* la recherche dans un cadre public ? ». Étant enseignant-chercheur en informatique, une autre question s'est tout aussi naturellement posée, à savoir « c'est *quoi* l'informatique ? »², question qui en sous-tend directement une autre « que doit contenir un cursus d'enseignement universitaire en informatique ? ». Questions certes naïves dénotant peut-être un manque de maturité (ou une maturité tardive) de la part de leur auteur, mais qu'importe ! Sans répondre à toutes ces questions, le texte qui suit livre quelques réflexions qui tentent de leur apporter des éléments de réponse.

1. Michel Raynal est informaticien. Il est Professeur à l'IRISA-ISTIC, université de Rennes, et *Adjunct Professor* à Polytechnic University, Hong Kong. Il est aussi membre senior de l'Institut universitaire de France et de Academia Europaea.

2. Une réponse à cette question est apportée dans l'article « L'informatique : la science au cœur du numérique », paru dans le numéro 2 du Bulletin 1024 de la SIF.

Remarquons tout d'abord qu'*enseignant-chercheur* est un mot composé qui, bien que n'apparaissant pas dans le « Petit Robert », est plus qu'une juxtaposition de mots. Il définit aussi un état d'esprit qui rend ses deux composantes difficilement séparables. Il est dommage que le métier d'enseignant-chercheur ne soit pas associé à un mot insécable. (Par ailleurs, de la même façon que le mot féminin « personne » est un mot asexué qui désigne indifféremment une femme ou un homme, j'utilise dans ce texte les mots « enseignant-chercheur » et « il » avec une sémantique asexuée.)

La recherche à l'université

La recherche est *une des raisons d'être* des universités, et ceci est indépendant du lieu et du temps. Comme déjà remarqué par d'autres personnes, « la recherche est le carburant de l'enseignement universitaire ». Cela constitue une des différences essentielles entre les universités et d'autres structures d'enseignement (telles que les lycées et certaines structures d'enseignement post-baccalauréat).

La recherche est une aventure à la fois personnelle et collective de nature intellectuelle. Par « aventure » j'entends le fait que la recherche ne se définit pas par une feuille de route. Elle a pour but la compréhension du monde qui nous entoure et des artefacts que l'on y crée, et prétend à une certaine universalité³. Elle s'appuie pour cela sur la curiosité, l'opiniâtreté, la sagacité et les connaissances personnelles de ses acteurs, ainsi que sur la sérendipité⁴ liée au contexte dans lequel elle est réalisée.

Une grande partie de la recherche est constituée de recherches incrémentales⁵, qui servent de terreau à de grandes avancées, et dont l'ensemble permet des changements de paradigme⁶. Une des difficultés de la recherche est de fournir ce terreau sans s'y enliser. En effet, ce n'est pas en améliorant sans cesse la technologie des chandelles que l'électricité a été découverte, comprise et maîtrisée. La recherche demande abnégation et patience.

Dans la recherche publique les enseignants-chercheurs ont pour la plupart des postes de permanent (fonctionnaire en France, *tenure position* dans d'autres pays, et ceci indépendamment des cultures, des comportements sociaux, et des structures économiques différentes de ces pays). Ceci n'est pas fortuit, et remonte aux tout premiers mandarins chinois : la permanence du poste leur garantissait le temps de la réflexion — et non de l'action impulsive et précipitée — nécessaire au maintien

3. N'oublions pas que les mots « universalité » et « université » dérivent de la même racine.

4. Au sens de la rencontre inopinée entre des connaissances personnelles, un état d'esprit, un contexte, et... le hasard.

5. Il n'y a rien de réducteur dans ce mot-là. « Incrémentale » est pris ici au sens « par elle-même ne créant pas de rupture » et ne veut surtout pas dire absence de créativité.

6. Au sens que lui donne Thomas S. Kuhn dans son livre *The Structure of Scientific Revolutions*, The University of Chicago Press, 1962. Version française aux éditions Champs Flammarion.

de l'État⁷. La permanence du poste est une condition nécessaire pour asseoir une réflexion sur la longue durée, sans être (trop) contraint par les hoquets et les aléas du court terme. « *Time to market* » ne doit être ni le diktat, ni le critère définissant les thématiques de recherche, ni la grille d'analyse présidant à leur évaluation.

La phrase « Nul n'entre ici s'il n'est géomètre », gravée sur le fronton de l'Académie platonicienne, résume un état d'esprit propre à la recherche scientifique. Il y a certes un continuum depuis la recherche jusqu'à son impact directement visible dans la société, et donc de l'enseignant-chercheur à l'ingénieur. (J'entends ici le mot « ingénieur » au sens industriel. Il y a bien sûr des « ingénieurs de recherche »⁸ dont le travail est essentiel pour la recherche, et dont les retombées sociétales ne sont pas directement visibles dans des produits.) Pour l'enseignant-chercheur (et à la différence de l'ingénieur), les applications sont plus importantes par les nouvelles questions qu'elles posent que pour leur impact direct sur l'économie. La dualité enseignant-chercheur/ingénieur est semblable à la dualité historien/journaliste. Le travail du premier consiste, dans le champ d'étude qu'il a choisi, à analyser et relier des événements, et à les mettre en perspective, dans le but de nous fournir une vision raisonnée, globale et cohérente d'une période donnée (passée ou contemporaine)⁹. Selon les écoles auxquelles les historiens appartiennent, il est possible d'avoir des analyses et des présentations différentes. Pour les citoyens, cette pluralité est un des garants de démocratie. Le travail du journaliste est lié à l'actualité et donc aux faits présents. Il consiste essentiellement à nous informer (et aussi parfois à porter un regard critique sur les faits présentés)¹⁰.

Comme un historien, le travail d'un enseignant-chercheur en science consiste à explorer et approfondir un domaine scientifique de façon, non seulement à faire progresser les connaissances, mais aussi à en enseigner le « nécessaire » aux étudiants. Formés avec les concepts et les méthodes adéquates, chaque génération d'étudiants irrigue les entreprises avec de nouvelles idées, de nouvelles méthodes, de nouvelles

7. Par ailleurs leur (très bon) salaire, et des peines exemplaires, se sont avérés une arme efficace pour lutter contre la corruption. En ce qui concerne la progression de la fraude scientifique durant les vingt-cinq dernières années voir l'ouvrage *Malscience, de la fraude dans les labos* de N. Chevassus-au-Louis, Seuil, 2016.

8. Encore l'absence d'un mot spécifique pour désigner une activité particulière.

9. Il est toujours surprenant, à ce propos, de constater que certaines périodes qui ont eu une influence très forte sur l'histoire, voire la civilisation, ont eu des durées très courtes. Citons, à titre d'exemples, la période de Périclès, la Renaissance italienne et la Révolution française, qui peuvent toutes être considérées comme des « changements de paradigme ».

10. En ce qui concerne l'histoire, il y a aussi l'approche qui consiste à ne voir aucune cohérence dans les faits passés, qui seraient tous dus au hasard. Un article intéressant à ce titre est celui de l'informaticien Paul M. B. Vitányi intitulé *Tolstoy's Mathematics in War and Peace*, Springer Science+Business Media, 35(1):71-75, 2013. Paul Vitányi est un spécialiste du calcul réparti et de la complexité de Kolmogorov, sujet sur lequel il a publié un ouvrage paru chez Springer.

connaissances, telles qu'au bout de dix générations d'étudiants ces vagues successives opèrent de véritables *révolutions industrielles* dans les entreprises. Ce processus de percolation constitue l'impact réel et visible des universités sur la société, impact qui fait chaque jour ses preuves.

Une remarque à propos des articles scientifiques

On m'a plusieurs fois posé la question « qu'est-ce qu'un bon article ? » Question déroutante ! Mes premières réponses consistaient en une réponse en partie syntaxique. Parmi les « bons » articles, il y a ceux qui ont obtenu un prix qui ne peut être attribué qu'à des articles parus il y a au moins x années (par exemple $x = 10$ pour le prix Dijkstra). Ces articles ont subi l'épreuve du temps, ce qui n'est pas négligeable, et ont très souvent eu un impact très fort sur la communauté scientifique concernée.

À côté de cette réponse, qui représente l'accord d'une communauté sur les travaux qu'elle a choisi de primer, j'ai une réponse plus personnelle. Un bon article est un article dont je suis un peu jaloux de ne pas l'avoir écrit ! Il faut bien sûr prendre ici le mot « jaloux » avec un sens amical. On trouve l'article bien écrit, développant une idée que l'on pense intéressante, voire profonde. Cela ressemble un petit peu à l'enfant qui ne veut pas rendre un jouet qu'on lui a prêté parce que, ayant joué avec, il l'a fait « sien ». C'est l'effet produit par les bons articles : tout le monde les fait « sien », en les assimilant et en en faisant passer l'essentiel auprès des étudiants.

Une anecdote sur la primauté des résultats

Conférencier invité l'an passé, j'ai choisi de faire un exposé sur les « motifs » rencontrés dans les algorithmes répartis. Avant de passer au calcul réparti, j'ai choisi comme exemple introductif le motif bien connu en calcul séquentiel proposé par William George Horner (1786-1837) pour calculer efficacement la valeur d'un polynôme. Furetant sur le web (merci Wikipedia) j'ai découvert que cette méthode avait été précédemment proposée par le philosophe et mathématicien italien Paolo Ruffini (1765-1822). Une recherche bibliographique plus incisive m'a amené à découvrir que la méthode de Horner était utilisée par Zhu Shijie (1270-1330), qui utilisait le nom *fan fa* pour la désigner dans son livre *Jade Mirror of the Four Unknowns* (1203) (livre où est aussi présenté le triangle dit « de Pascal »). Des livres sur l'histoire des sciences font état de bien d'autres exemples. Comme l'a dit un scientifique avec plein d'humour, la valeur d'un résultat pourrait se mesurer au nombre de fois où il a été redécouvert !

Et l'innovation dans tout ça ?

La grande utilisation de ce mot, ces derniers temps, semble en faire un mantra qui doit conjurer la maléconomie¹¹. Les politiques qui dispensent les crédits de recherche ont des électeurs auxquels ils doivent montrer, entre autres choses, que les

11. Néologisme à mettre dans la même famille que malbouffe, malscience, etc.

deniers du contribuable sont bien utilisés, ce qui est assez compréhensible et naturel. Malheureusement, pour cela leur vision de la recherche se limite très souvent à une projection de cette dernière sur sa face directement visible et accessible au grand public, qu'ils appellent *innovation*. Et ceci est ensuite amplifié par la résonance médiatique, et tout est dit !

Comme le vivent et le savent les enseignants-chercheurs, la réalité est bien sûr plus subtile. Il y a des tas d'innovations qui ne sortent pas des laboratoires de recherche. De plus, toute recherche ne conduit pas nécessairement à une innovation visible par le grand public, et certains résultats de recherche ne rencontrent des applications que longtemps après avoir été trouvés (le laser et le verre tactile en sont des exemples intéressants). L'innovation provient le plus souvent d'un ingénieur (bien formé !) qui allie compétence scientifique et un goût prononcé pour la manipulation d'outils technologiques avancés. En clair, le mot innovation ne traduit souvent chez certaines personnes qu'une « mauvaise compréhension » (volontaire ?) de ce qu'est la recherche. Il semble malheureusement participer (avec son faux-frère le mot « excellence ») de la novlangue réductrice qui constitue la langue maternelle de certains décideurs du financement de la recherche, ce qui leur permet de diriger la recherche vers le court terme ¹².

« Une science uniquement faite en vue des applications est impossible ; les vérités ne sont fécondes que si elles sont enchaînées les unes aux autres. Si l'on s'attache seulement à celles dont on attend un résultat immédiat, les anneaux intermédiaires manqueront et il n'y aura plus de chaîne. »

Henri Poincaré, *La Science et l'Hypothèse* (1902).

L'enseignement à l'université

Comme le yin et le yang, recherche et enseignement sont indissociables. D'un côté, la recherche est le domaine de l'incertitude. On s'attaque à un problème sans savoir ce qui va en sortir et, une fois publié, un résultat fait partie du passé pieusement conservé dans DBLP et dans son CV ¹³. De manière caricaturale, pour un enseignant-chercheur le problème le plus important est presque toujours celui qu'il est en train d'essayer de résoudre. Quand on considère la dualité enseignement/recherche, l'enseignement se situe presque toujours du côté des certitudes. On enseigne des choses connues, que l'on modifie partiellement d'une année à l'autre en fonction du cursus concerné et de ce que l'on a soi-même assimilé des résultats de recherche relatifs à ce

12. Voir aussi l'article « Le Nobel de chimie 2016 avait tout faux » paru dans le blog {Sciences²} du journal *Le Monde* huet.blog.lemonde.fr/2016/10/07/le-nobel-de-chimie-2016-avait-tout-faux/.

13. Malheureusement les résultats dits « négatifs » sont trop souvent considérés comme des citoyens de seconde zone, alors que souvent ils éclairent une face obscure de certains résultats positifs...

cursus. Évidemment la notion de certitude se dégrade et finit par s'estomper lorsque l'on progresse du L1 à la fin d'un Master 2 orienté vers la recherche.

Ce sont ainsi deux axes « orthogonaux » qui constituent l'ossature sur laquelle repose l'activité des enseignants-chercheurs. Cette complémentarité est équilibrante et rend leur travail différencié et très souvent agréable. C'est elle qui participe à la beauté de leur métier. À la fin d'un semestre durant lequel il a enseigné une matière donnée, l'enseignant-chercheur auquel on pose la question « qu'as-tu fait ce semestre ? » peut répondre avec fierté « j'ai fait de mon mieux pour faire passer telles et telles notions auprès des étudiants » plutôt que de répondre « j'ai fait 60 heures de cours »¹⁴. Comme souligné par Leslie Lamport¹⁵, l'enseignement ne peut pas se réduire à une accumulation de faits (études de cas ou résultats). Henri Lebesgue (1875-1941) définissait l'enseignement universitaire comme l'activité de « penser à haute voix devant les étudiants ». Leur apprendre à raisonner et leur transmettre une démarche scientifique (et donc un esprit critique au sens philosophique du terme¹⁶) participent à l'essence de l'enseignement supérieur. On n'apprend pas aux scolaires à lire/écrire à l'aide des notices de machine à laver (qui sont des choses « utiles »), mais avec les textes des grands auteurs. On peut certes rétorquer que ceci est une perte de temps et un aveu flagrant d'irresponsabilité, puisque presque aucun d'entre eux ne sera romancier. Le fait est que, en plus du plaisir de lire, la lecture de beaux textes (prose et poésie) enrichit notre imaginaire, qui s'imprègne alors d'un univers à la fois souple et structuré (la langue !). Tout cela définit des asymptotes qui nous tirent vers le haut.

Après avoir été chercheur à temps plein, j'ai été recruté dans une école d'ingénieurs nouvellement créée (Telecom Bretagne avait trois ans à ce moment-là) où, tout jeune professeur, j'ai eu à définir un programme d'enseignement en informatique. Après cette expérience « initiatique » de quelques années, j'ai obtenu un poste de professeur à l'université. L'expérience acquise dans ces deux structures différentes, ensuite fécondée par le passage du temps, ont enrichi ma réflexion sur la nature de l'enseignement dans le supérieur.

Je me suis très vite rendu compte qu'enseigner requiert d'éveiller la curiosité intellectuelle des étudiants et de leur donner le désir d'apprendre (ce qui peut paraître évident mais est loin d'être facile...). Le désir d'apprendre de la part de l'étudiant est bien plus important que la forme pédagogique utilisée (quelles que soient les

14. Un collègue chercheur à temps plein avait obtenu un poste de professeur associé pour deux années. Alors qu'il était redevenu chercheur à temps plein, je lui avais demandé : « et alors, qu'en as-tu retiré ? ». Il m'avait répondu « tu sais, un chercheur qui enseigne, ce n'est pas toujours un enseignant-chercheur et cela ne s'improvise pas ». Effectivement, penser l'enseignement et en avoir une vision sont des choses qui ne s'improvisent pas et sont au cœur du métier d'enseignant-chercheur.

15. Dans *Teaching concurrency*, ACM Sigact NEWS, 40(1):58-62, 2009.

16. Voir *Critique de la raison pure* d'Emmanuel Kant.

innovations liées à celle-ci)¹⁷. Nous sommes malheureusement parfois comme ces médecins pour qui ce qui est important est la maladie et qui en viennent à oublier le malade. Je me suis aussi rendu compte que très peu d'étudiants avaient conscience que chaque jour¹⁸, ils apprenaient des choses nouvelles (eh oui !) qui, indépendamment de leur technicité, les enrichissaient et participaient à la formation de leur esprit au sens le plus général.

Définir le contenu d'un enseignement demande de réfléchir selon plusieurs composantes. La première est celle qui permet aux étudiants d'être opérationnels quand ils commencent à travailler. Ceci est important pour une double raison : pour qu'ils aient confiance en eux et pour que leurs employeurs aient confiance en leurs capacités. Cela nécessite des cours de base et la connaissance d'outils et d'éléments technologiques. La seconde est de leur donner des connaissances permettant d'avoir une confiance et un recul tels que dans trente ans ils aient encore du travail et ne soient pas jetés à la poubelle où se trouve déjà la technologie avec laquelle ils ont fait leurs premiers pas. Enfin la troisième composante consiste à transmettre une culture scientifique qui, sans être directement utilitaire, leur permettra de mieux comprendre la science actuelle, les innovations successives et le monde qui les entoure, et constituera leur formation d'« honnête homme » du vingt-et-unième siècle.

« For me, the first challenge for computing science is to discover how to maintain order in a finite, but very large, discrete universe that is intricately intertwined. And a second, but not less important challenge is how to mould what you have achieved in solving the first problem, into a teachable discipline : it does not suffice to hone your own intellect (that will join you in your grave), you must teach others how to hone theirs. The more you concentrate on these two challenges, the clearer you will see that they are only two sides of the same coin : teaching yourself is discovering what is teachable. »

Edsger W. Dijkstra, *My Hopes of Computing Science*, EWD 709 (1979).

Bien que l'instantanéité, la vitesse et la compétition soient vécues dans la société actuelle comme des valeurs (marchandes), il est important de constater que l'on ne réfléchit pas plus vite aujourd'hui qu'il y a vingt-cinq siècles, époque où ont été « inventés » (dans un ordre non significatif) l'histoire, la démocratie (sous une forme particulière), les mathématiques (concept de démonstration), les algorithmes *avec*

17. En ce qui concerne ce point, pour l'avoir expérimenté, je trouve qu'à partir d'un certain niveau, les « *homeworks* » réalisés par petits groupes d'étudiants et les « *office hours* » sont bien plus efficaces que les traditionnels TDs et TP. De façon plus générale, une question intéressante sur les formes pédagogiques est de se demander pourquoi la forme classique enseignant/enseigné (maître/élève) avec unité de lieu (amphithéâtre ou salle de cours) n'a pas disparu des universités après l'apparition de l'imprimerie...

18. On pourrait ajouter de façon humoristique « sauf pendant les vacances ».

leurs preuves (constructions géométriques avec la règle et le compas)¹⁹, la tragédie, la géographie, etc. Il y avait des universités il y a mille ans, il y en aura encore dans mille ans (sous une forme ou sous une autre)²⁰. Nous avons conscience d'appartenir à une grande famille. On se sent chez soi dans presque n'importe quelle université dans le monde, et on se sent solidaires de nos collègues présents et de ceux qui nous ont précédés, quelles que soient leurs croyances et leurs cultures particulières. Nous sommes avec eux dans une logique d'échange et de connaissance et non une logique de compétitivité économique.

P.-S. Je voudrais remercier François Bodin, Christine Froidevaux, Achour Mostéfaoui et François Taïani pour des discussions enrichissantes sur le métier d'enseignant-chercheur et leurs commentaires sur une version préliminaire de ce texte.

19. Les premiers algorithmes trouvés dans les tablettes babyloniennes vieilles de plus de 4000 ans ne sont pas accompagnés de « preuves ». Il s'agit de recueils de règles à suivre pas à pas pour obtenir un résultat du type calcul de surface, calcul de pourcentage, calcul d'intérêt, etc. Voir à ce sujet *Ancient Babylonian Algorithms* par D. Knuth, Communications of the ACM, 15(7):671-677, 1972.

20. Voir à ce sujet les temples de Confucius en Chine qui ont traversé des millénaires.