



Longévité et isolement

par Bernard Beauzamy

07/11/2022

Résumé Opérationnel

Les Industriels nous sollicitent, souhaitant utiliser les mathématiques pour améliorer leurs process ; ceci va dans le sens que souhaitait Von Neumann pour la communauté mathématique : retour à l'empirisme.

Mais que pouvons-nous apporter ? Il existe déjà quantité de méthodes pour l'aide à la décision : la méthode "au pif" (style Carlos Ghosn), l'observation du vol des oiseaux, la lecture dans les entrailles d'animaux, la chiromancie, la cartomancie, etc. ; plus récemment la "méthode Macron" (interroger 150 personnes qui n'y connaissent rien) et l'Intelligence Artificielle. Toutes ont, sur les mathématiques, l'avantage de pouvoir être mises en œuvre immédiatement et à peu de frais. Notre discipline, en 6 000 ans, s'est construite au contraire sur la validation (lente et progressive) de tout résultat par l'ensemble de la communauté.

Nous ne sommes généralement pas en situation de pouvoir apporter aux Industriels des réponses immédiatement satisfaisantes alors que, pour ne citer que deux exemples, la dentisterie et l'ophtalmologie parviennent à donner à la plupart des patients des traitements rapides et appropriés. Les outils bien validés dont nous disposons (par exemple la théorie des taux de risque, due à Laplace) ne donnent satisfaction que dans le cadre d'hypothèses assez strictes.

En revanche, la longévité de notre discipline nous permet d'énoncer trois règles, nécessaires et non suffisantes à la survie de toute entreprise :

Règle 1. - L'avocat du diable

Tout projet d'entreprise doit être soumis à une équipe distincte de celles qui ont bâti le projet ; le rôle de cette équipe sera, par principe, d'analyser et de critiquer le projet, du point de vue de ses insuffisances et de ses vulnérabilités.

Règle 2. – Profondeur et historique des données

On veillera à bien s'assurer, avant toute chose, que l'on dispose de données sur un historique suffisant pour rendre compte des risques que rencontrera le projet. La question n'est pas de la qualité de ces données, mais simplement de leur présence.

Règle 3. – Validation

Tout outil, toute organisation, adoptés par l'entreprise doivent avoir été validés : on les a mis en pratique sur des situations, sur des données, différentes de celles qui ont permis la conception. Cette validation doit - ceci est impératif – être faite par une équipe différente de celle qui a conçu l'outil ou le logiciel : on ne peut être à la fois juge et partie.

1. Empirisme et dégénérescence

Nous sommes sollicités, de temps à autre, par des Industriels qui nous disent : nous aimerions injecter un peu de mathématiques dans nos process ; nous pensons que cela pourrait nous être utile. Il s'agit soit de process industriels (amélioration du fonctionnement d'un four, de la fiabilité des équipements, etc.), soit de process liés à l'organisation (amélioration des tournées de distribution, des approvisionnements, etc.). Nous n'avons évidemment aucune raison de refuser : c'est flatteur pour nous et cela répond directement au vœu formulé par Von Neumann dès 1947, pour lutter contre la dégénérescence :

*"à grande distance de sa source empirique, ou après avoir absorbé quantité d'abstraction, un sujet mathématique est en danger de dégénérescence [...] Le seul remède, selon moi, est le retour aux sources régénérant : la réinjection d'idées plus ou moins directement empiriques"*¹.

Les Industriels nous rendent donc grand service en nous sollicitant sur des sujets empiriques.

Cette sollicitation pourrait évidemment bénéficier à la communauté académique tout entière, mais celle-ci persiste à ne s'intéresser qu'aux problèmes qu'elle se pose à elle-même. Il y a bien eu quelques tentatives de création de structures de contact, mais reposant toujours sur la vanité des titres : nous sommes bons parce que nous avons eu tel prix, parce que nous sommes membre de telle Académie. Les Industriels s'en moquent complètement : ce n'est pas ainsi qu'il faut les aborder.

2. Méfiance !

Même si cette sollicitation nous profite et nous flatte, elle doit être regardée avec circonspection : tout n'est pas si rose. Souvenons-nous de l'exemple de la finance qui, à un moment, a engagé quantité de physiciens. L'idée de départ était celle de Louis Bachelier (1900) : similitude entre le mouvement Brownien et les variations du cours de la bourse ².

Idée évidemment absurde, mais qui, de glorification en enseignement, a envahi progressivement toutes les institutions financières. On rirait beaucoup si on faisait un bilan : lesquelles ont enregistré les plus mauvais résultats : celles avec physiciens ou celles sans physiciens ?

3. Les outils d'aide à la décision

Les Industriels ont évidemment besoin d'outils d'aide à la décision. Mais il y a pléthore de tels outils. Il y a d'abord la décision "au pif". Citons Carlos Ghosn, qui a décidé de lancer le groupe Renault-Mitsubishi-Nissan dans l'aventure du véhicule autonome parce que, croyait-il, "les vieux en ont besoin". Jugement absurde : ce dont les vieux ont besoin, c'est de quelqu'un pour ranger les bagages dans le coffre, et qui les aide ensuite à prendre place dans l'automobile. On reste confondu devant la forme d'autocratie que révèle une telle décision : apparemment, en interne, personne ne l'a contestée.

¹ http://www.scmsa.eu/archives/Von_Neumann.pdf.

² <https://www.institutlouisbachelier.org/groupe/louis-bachelier/>

Si on remonte dans le temps, on trouve toute sorte d'outils pour l'aide à la décision : l'observation, par les augures romains, du sens du vol des oiseaux (les favorables arrivaient par la gauche, les défavorables par la droite) ; les haruspices pratiquaient l'art divinatoire de lire dans les entrailles d'un animal sacrifié ; les horoscopes (on se souvient que Kepler a voulu mieux connaître l'orbite de Mars pour améliorer les horoscopes, à la demande de Rodolphe II). On pourrait y ajouter diverses méthodes prophétiques : la chiromancie (pratique divinatoire consistant à interpréter les lignes de la main), la cartomancie, les diseurs de bonne aventure de toute espèce, etc. L'orientation religieuse, qui consiste à faire ce qui est recommandé par les textes sacrés, joue un rôle fondamental depuis des temps très anciens.

Plus récemment, on a vu la "méthode Macron" consistant à interroger 150 personnes prises au hasard, ne connaissant absolument rien au sujet, et à s'en remettre à leurs indications.

Bref, on n'a que l'embarras du choix ; toutes ces méthodes ayant, sur les mathématiques, l'avantage de fournir une réponse immédiate, pratiquement sans aucune donnée et à peu de frais. L'argument selon lequel les mathématiques auraient un fondement plus scientifique, plus rationnel, que les autres méthodes ne tient pas. Toutes prétendent avoir un socle rationnel et scientifique : la théologie, par exemple, est enseignée depuis des temps immémoriaux ; elle a ses livres, ses publications, ses thèses, ses colloques, etc.

La tendance actuelle est à l'Intelligence Artificielle et au Big Data : on collecte des données n'importe comment et on les injecte dans un ordinateur qui les traitera n'importe comment, l'essentiel étant de réfléchir le moins possible et d'avoir une réponse rapide à peu de frais : cela rejoint directement les arts divinatoires. Il y a actuellement quantité d'enseignements, de publications, de thèses, relatives à l'Intelligence Artificielle et au Big Data ; comme toutes les modes de société, celle-ci considère qu'elle a un socle scientifique solide.

Nous-mêmes, à la SCM, sommes directement confrontés à la concurrence de toutes ces pratiques, et la question nous concerne directement : que diable pouvons-nous dire aux Industriels, tentés de faire appel aux mathématiques ? Quel bénéfice peuvent-ils en attendre ?

4. En six mille ans d'activité

Notre discipline a ceci de particulier, de spécifique, que sur tout problème elle requiert une réflexion, en général approfondie. Ceci éliminera d'office tous les utilisateurs qui voudraient un outil tout fait ; grand bien leur fasse ! Comme disait déjà Shakespeare (Othello) : "Nous opérons par l'intelligence, non par la magie, et l'intelligence est soumise aux délais du temps"³

On trouve sur le marché, aujourd'hui, quantité d'outils tout faits, qui vont répondre à toutes les attentes : ils vont planifier les livraisons, organiser les maintenances, gérer les entrepôts, rédiger un bilan carbone, etc. L'outil met en œuvre une ou deux formules, d'apparence vaguement mathématique pour faire sérieux : comme les arts divinatoires, il prétend reposer sur un socle rationnel et scientifique ; comme les arts divinatoires, il fournit une réponse rapide et à peu de frais ; comme les arts divinatoires, il dissimule les méthodes qui sont employées : on ne voit que le résultat et c'est tant mieux, puisque ce résultat n'a pas vocation à être mis en cause.

³ Shakespeare, Othello, acte 2, scène 3, traduction François-Victor Hugo

A la différence des arts divinatoires énumérés ci-dessus, notre discipline recherche en permanence la validation, par échange entre spécialistes. Archimède, déjà, avait coutume d'écrire au moins une fois par an à ses correspondants, pour leur soumettre ses travaux, et il se plaignait lorsque les réponses n'étaient pas suffisamment critiques. En six mille ans d'existence, notre discipline a conservé et développé cette pratique : sous forme de publications, d'échanges, de colloques, chacun interroge les autres sur la valeur et la portée de ce qu'il a fait ; la démonstration de l'un est critiquée et simplifiée par les uns, renforcée par les autres. Il en résulte une très grande uniformité dans nos notations, dans nos langages, dans notre façon de penser. Deux mathématiciens, issus de pays différents, de cultures différentes, peuvent se comprendre et échanger, et nous pouvons lire les travaux d'Archimède et d'Euclide. G. H. Hardy, analyste éminent, Professeur à l'Université de Cambridge (GB), recevant en 1913 une lettre de Ramanujan (à l'époque comptable à Madras), a compris qu'il n'y comprenait rien et qu'il était urgent de l'inviter à Cambridge.

Imagine-t-on, à l'inverse, deux haruspices, ayant chacun ouvert les entrailles d'un bouc, comparant leurs résultats ? Imagine-t-on deux "clubs citoyens", tirés au hasard, comparant leurs résultats ? Imagine-t-on de comparer les résultats d'un logiciel d'intelligence artificielle, alimenté par des données du passé, avec les données recueillies sur ce qui s'est effectivement produit ? Allons donc ! Le propre des arts divinatoires est de n'accepter ni validation ni comparaison. Leurs conclusions sont instantanées, éphémères, périssables. Au mieux, elles impressionnent sur le moment, mais il ne faut surtout pas les confronter à un quelconque processus de validation.

5. Non brevetable

L'une des caractéristiques principales de notre discipline, résultant de cet échange permanent, est qu'elle est non brevetable. Chacun peut utiliser les concepts, les constructions, les résultats, les théorèmes, comme bon lui semble et sans avoir de droit d'auteur ou de licence à verser à qui que ce soit. Tout au plus est-il recommandé, par honnêteté intellectuelle, de mentionner l'origine du résultat, mais ce peut être une simple référence à un livre où il a été publié.

Il n'existe donc pas, chez nous, de "brevet" pouvant protéger une création intellectuelle de nature mathématique, et c'est une fort bonne chose. Un brevet est comme ces filtres qui retiennent les liquides et laissent passer les gaz : il génère de l'argent liquide, mais s'oppose à la libre circulation des idées. Si l'on pouvait breveter telle ou telle branche des mathématiques, dire "elle est la propriété d'untel et il faut payer pour y avoir accès", ce serait, pour la branche en question, le déclin rapide et la disparition à court terme.

6. Données confidentielles

La principale difficulté que voient les entreprises (pas seulement industrielles), lorsqu'elles s'intéressent à nos méthodes, est la confidentialité des données. On nous fait signer un "NDA" (Non Disclosure Agreement : accord de confidentialité) et on nous fait jurer que nous ne révélerons jamais rien de ce que nous avons appris. Nous jurons volontiers et ne révélons rien, mais la question n'est absolument pas là : les entreprises ne le comprennent pas.

Tout ensemble de données peut être anonymisé : il suffit de remplacer les entêtes des colonnes d'Excel par des lettres : A, B, C, ... et de multiplier toutes les données par une même constante, $\pi/2$, ou $\log(3)$, ou ce que l'on voudra. Ainsi les données de travail ne ressemblent plus du tout aux données d'origine, mais les conclusions obtenues sont transposables immédiatement aux données d'origine. Récemment, nous avons eu à traiter une base de données pour le CEA, Direction des Applications Militaires, et nous n'avons jamais su ce que représentaient les données.

[Remarque technique importante : il faut faire attention à ne pas normaliser les données séparément dans chaque colonne, en remplaçant par exemple x par $(x-x_{\min})/(x_{\max}-x_{\min})$, parce qu'alors on modifie radicalement l'importance relative des différents paramètres]

Document confidentiel :

Le second "la" de l'Andante du
Prince Igor de Borodin
(2nd B-flat Clarinet),
d'après Pierre Dac



Ce que les entreprises ne voient pas, c'est que la confidentialité porte sur les données et non pas sur les raisonnements. Il est de leur intérêt de soumettre ces raisonnements à la critique, pour en vérifier la validité : obéissent-ils bien aux règles fondamentales du raisonnement mathématique, en particulier tous les cas possibles ont-ils été pris en compte ?

En ce qui concerne les données, c'est leur agencement qui peut être confidentiel. En quoi la valeur "1.5" peut-elle l'être ? Dans le même ordre d'idée, Pierre Dac avait publié le document ci-contre.

7. Puissance et longévité

Les entreprises se jugent les unes les autres selon deux critères principaux : le chiffre d'affaires et l'effectif, qui ne présument en rien de la longévité de l'institution. Tel capitaine d'industrie, "pétri de ruse et d'arrogance" ⁴, décide de commercialiser le bichlorure de rubidium ; succès commercial immédiat ; le chiffre d'affaire et les effectifs explosent. Mais, peu de temps après, les femmes de la région sud de Tanzanie développent une rougeur sur la jambe gauche et on incrimine le produit. Les fonds de pension se retirent du capital : l'entreprise vacille. Un jeune, encore plus arrogant, décide de passer au trichlorure de rubidium : l'entreprise s'effondre.

On se souvient de l'apostrophe de Staline à Laval, en 1935 : "le Pape, combien de divisions ?". Certes, mais le Pape était là longtemps avant Staline ; Staline a disparu et le Pape est encore là.

La longévité d'une discipline, et les mathématiques sont là depuis six mille ans, ne tient pas tant à ses succès instantanés qu'à la robustesse de son organisation. Chez nous, tout le monde parle le même langage ; chacun s'efforce de comprendre ce que font les autres et s'efforce de leur faire comprendre ce qu'il fait.

⁴ Victor Hugo : Les Châtiments

8. Cent ans de solitude

L'idée selon laquelle l'entreprise pourrait avoir "ses" chercheurs, travaillant en secret sur les sujets d'intérêt pour l'entreprise, est fondamentalement malsaine ; elle ignore les principes de base de la recherche scientifique. On ne peut progresser que par confrontation avec d'autres équipes. Le rôle des chercheurs en entreprise est donc de faire le lien entre les besoins de l'entreprise et les résultats obtenus par la recherche internationale, à laquelle ils vont évidemment participer, et non de se réfugier dans la solitude. Comme le disait Gabriel Garcia Marquez : "Aux lignées condamnées à cent ans de solitude, il n'est pas donné sur terre de seconde chance"⁵.

9. A quoi tout cela sert-il ?

La recherche mathématique d'aujourd'hui n'est pas destinée à fournir des outils immédiatement exploitables aux entreprises d'aujourd'hui, tout simplement parce qu'il faut nous laisser le temps de la validation, comme expliqué ci-dessus. Par contre, nous mettons à leur disposition tous les outils que les générations antérieures ont conçus puis validés ; en probabilités, par exemple, l'héritage de Laplace et de Gauss suffit à répondre aux besoins, dans l'immense majorité des cas. En ce qui concerne la SCM, ce cadre nous a toujours suffi, à une exception près : nous avons eu recours au concept d'entropie, dû à Boltzmann (1870), donc légèrement postérieur à Gauss.

Prenons un exemple concret : les mathématiciens russes/soviétiques du début du 20^{ème} siècle (Kolmogorov, Khintchine, etc.) ont obtenu des résultats remarquables à propos des processus stochastiques. Leurs travaux n'en sont plus au stade de la validation : analysés, généralisés, par des générations de mathématiciens, ils sont évidemment corrects. Pourtant, ils sont à l'heure actuelle inexploitable par les entreprises. La raison en est qu'ils reposent sur un formalisme académique très strict : des suites de variables indépendantes. Dans la vie réelle, les enregistrements faits par une entreprise ne sont pas indépendants. Il faut donc espérer que, dans le futur, les mathématiciens parviendront à donner des énoncés applicables aux situations industrielles. A l'inverse, les évaluations des taux de risque, initialement dues à Laplace, sont aujourd'hui utilisées dans les analyses de fiabilité.

Plutôt que de se lancer dans des développements ineptes, présentés comme "innovants", les entreprises seraient bien avisées de mieux utiliser les concepts et les méthodes que des générations de mathématiciens ont validés pour elles ; ces méthodes éprouvées sont, du reste, les seules à pouvoir rassurer la population et les usagers et les seules que l'on puisse utiliser dans le cadre des démonstrations de sûreté.

10. Ephémères Prophètes du néant

Depuis les temps babyloniens, des prophètes du néant s'efforcent de terroriser les populations, de plus en plus crédules et de plus en plus naïves. Leurs diagrammes et leurs graphiques annoncent l'apocalypse pour demain. Ces éphémères contempteurs nous interpellent avec véhémence : il n'est plus temps de réfléchir, il n'est plus temps de valider, il faut agir d'urgence. Insoucieuse des tracasseries qu'on lui prête, la planète poursuit sereinement ses orbites elliptiques.

⁵ Gabriel García Márquez : Cien años de soledad

Les lois de la Nature, immuables et éternelles, ont tôt fait d'anéantir le prophète avec sa prophétie ; ils disparaissent "sans que rien manque au monde, immense et radieux".⁶

11. Un petit bout d'autocritique

Nous ne sommes donc pas en mesure d'apporter aux industriels des réponses claires, immédiates et définitives ; les mathématiques n'en sont pas au stade de développement auquel sont parvenues la dentisterie et l'ophtalmologie, qui parviennent à donner à la plupart des patients des traitements rapides et appropriés.

Les raisons sont multiples : les lois de la physique sont mal connues, les données sont imprécises et insuffisantes. Mais la raison principale relève des choix que la communauté mathématique a faits depuis des centaines d'années : s'intéresser aux problèmes qui ont été bien posés grâce à un formalisme.

Prenons un exemple concret pour illustrer ceci : depuis des centaines d'années, les mathématiciens s'intéressent à la recherche des zéros des polynômes : l'un des exemples les plus frappants est la théorie de Galois. Mais, en pratique, les fonctions qui interviennent dans les applications ne sont pas des polynômes, mais tout au plus des fonctions continues par morceaux ; la recherche précise des x tels que $P(x)=0$ est de peu d'intérêt ; il vaudrait mieux chercher les conditions qui assurent $|P| < \varepsilon$.

L'exemple nous vient d'en haut : Archimède considérait ses travaux théoriques comme seuls dignes de publication et dédaignait ses travaux d'ingénieur. Il avait fait placer sur sa tombe un monument représentant un cylindre englobant une sphère, monument grâce auquel Cicéron a pu identifier le tombeau en 75 av JC ⁷. Récemment, nous avons eu quelque difficulté à reconstituer le raisonnement qu'il avait tenu pour assurer la stabilité d'un talus, à la demande du roi Hiéron de Syracuse, en l'an 1 des 139^{èmes} Olympiades.

Bien peu de mathématiciens, depuis, se sont intéressés directement aux problèmes du réel, avec l'ambition d'apporter une réponse claire et factuelle à une question mal posée. Nous pouvons citer Kepler, Alan Turing et Von Neumann : c'est peu en 400 ans.

Pour améliorer la recherche de solutions "robustes", comme on dit maintenant, la communauté mathématique pourrait revisiter la "Méthode" d'Archimède. Nous avons quelque excuse à ne l'avoir pas fait plus tôt : elle a été perdue pendant plus de 2000 ans ; selon Wikipedia, le manuscrit "fut découvert à Constantinople en 1906 et publié à partir de photographies par le philologue danois Johan Ludvig Heiberg (1854-1928), puis traduit du grec en anglais par Thomas Heath." ⁸ (Notons qu'il ne s'agit pas de l'original d'Archimède, mais d'une copie réalisée au X^{ème} siècle, vendue chez Christie's en 1998 à un collectionneur, pour deux millions de dollars).

La "Méthode" consiste à générer des situations connues et à les comparer à la situation inconnue ; elle est déjà utilisée par les Postes (reconnaissance automatique de l'écriture) et par le

⁶ Victor HUGO, « Soleils couchants », poème VI, Les Feuilles d'automne (1831)

⁷ <http://www.scmsa.eu/archives/ciceron>

⁸ https://fr.wikipedia.org/wiki/Palimpseste_d'Archimède

GPS (positionnement lorsque le signal est faible). Elle s'impose en particulier lorsque toutes les données du problème soumis sont incertaines ; voir notre livre [AMW]⁹.

12. Notre apport

S'il n'est pas technique, notre apport sera du moins méthodologique : c'est aussi utile. Et là, nous pouvons faire état de la longévité de notre discipline. Nous énoncerons trois lois, qui ne sont pas suffisantes pour assurer le succès, mais qui sont nécessaires, en ce sens qu'enfreindre l'une quelconque conduit inévitablement à l'échec.

Règle 1. - L'avocat du diable

Tout projet d'entreprise doit être soumis à une équipe distincte de celles qui ont bâti le projet ; le rôle de cette équipe sera, par principe, d'analyser et de critiquer le projet, du point de vue de ses insuffisances et de ses vulnérabilités. L'Eglise Catholique fait cela lors de toute canonisation : un évêque est désigné "objecteur en titre, le Promoteur de la Foi, chargé de lister tout ce qui peut faire obstacle à la reconnaissance de sainteté". Ce qui est bon pour l'Eglise devrait l'être pour toutes les entreprises.

C'est particulièrement vrai pour les entreprises cotées en bourse, puisque les titres peuvent être acquis par le public. Celui-ci devrait savoir qu'une analyse critique des projets a été réalisée : ce n'est jamais le cas en pratique.

Règle 2. – Profondeur et historique des données

On veillera à bien s'assurer, avant toute chose, que l'on dispose de données sur un historique suffisant pour rendre compte des risques que rencontrera le projet. La question n'est pas de la qualité de ces données, mais simplement de leur présence. Si on construit un immeuble, une durée de vie de quelques dizaines d'années est souhaitable ; on se renseignera donc sur les tempêtes, inondations, séismes, ayant affecté la région sur 100 ou 200 ans : 20 ans ne suffisent pas. Bien entendu, si la durée de vie de l'équipement doit être plus longue (un pont, une centrale nucléaire, etc.), l'investigation portera sur des données plus anciennes.

Règle 3. – Validation

Tout outil, tout logiciel, tout mode de raisonnement, toute organisation, adoptés par l'entreprise doivent avoir été validés : on les a mis en pratique sur des situations, sur des données, différentes de celles qui ont permis la conception.

Vous disposez d'un logiciel qui vous permet de déterminer le prix de la banane, en Tanzanie, l'an prochain. Faites-le donc tourner sur les données antérieures à 1995 pour voir ce qu'il prédisait en 1996.

Cette validation doit - ceci est impératif – être faite par une équipe différente de celle qui a conçu l'outil ou le logiciel : on ne peut être à la fois juge et partie.

⁹ http://scmsa.eu/livres/SCM_AMW_order.htm