

La Lettre de la S.C.M.



Décembre 2023

Numéro 104

ISSN : 2112-4698

Le mathématicien n'est pas responsable du monde tel qu'il est (Von Neumann)

On ne fait pas boire un âne qui n'a pas soif (Laurent Schwartz)

Éditorial par Bernard Beauzamy : Paresse intellectuelle

Dans de nombreuses situations, les projets s'étalent sur des années, en particulier dans le domaine du nucléaire, où des autorisations sont requises ; l'instruction des dossiers prend du temps.

La recommandation que nous faisons systématiquement aux responsables est : prenez de l'avance. Vous savez parfaitement quels sont les sujets sur lesquels les Autorités de Sûreté vont réclamer des compléments d'information ; n'attendez pas qu'on vous les demande et profitez de ces années pour faire une recherche "amont" qui soit de bonne qualité : ne pas se contenter de répondre ponctuellement aux questions posées, mais montrer qu'on a une compréhension globale du sujet.

Un sujet spécifique que nous rencontrons souvent est la gestion des incertitudes. Comme nous l'avons écrit à plusieurs reprises, la prise en compte des incertitudes au moyen d'un code de calcul n'est pas une évidence, et c'est d'autant plus difficile que le code est plus "fin", c'est-à-dire prétend décrire correctement la physique du problème. Nous avons eu un contrat avec EDF en 2015 et, dès cette époque, nous avons préconisé la mise au point de codes "grossiers", dépendant d'un petit nombre de paramètres, et mieux adaptés à la gestion des incertitudes.

Quel qu'en soit le sujet, la recommandation "prendre de l'avance" est très rarement écoutée par les responsables. Les divers organismes ont perdu l'habitude de ce qui s'appelait jadis "recherche amont" (dans la terminologie de la DGA, Ministère des Armées) ; ils attendent qu'on leur donne une consigne précise : veuillez répondre à telle question, assortie évidemment du financement correspondant.

Un autre aspect, qui relève de la même paresse intellectuelle, consiste à refuser toute analyse critique des process : on cherche à les normaliser et, ceci fait, on se réfugie derrière le tampon de l'organisme de certification, en se gardant bien de réfléchir davantage. Voyons deux exemples de telles situations.

En 2001, l'usine AZF de Toulouse a explosé et nous avons été mêlés à l'enquête de manière marginale (des experts judiciaires prétendaient pouvoir reconstituer le lieu exact et l'instant exact de l'explosion, à partir des indications d'un unique sismographe, et nous avons montré que c'était impossible, à la suite de quoi les experts ont retiré leurs conclusions). Le point important est que l'usine fabriquait du nitrate d'ammonium, engrais très ordinaire, et était l'objet de toutes les certifications. Notre point de vue (qui n'a rencontré aucun écho auprès des responsables) est qu'il aurait été utile de faire varier légèrement les proportions des produits en entrée, pour voir si la stabilité en sortie était maintenue.

Autre exemple : on nous remet très souvent d'énormes bases de données relatives à un process industriel, afin que nous déterminions les paramètres qui ont le plus d'influence sur la qualité. A chaque fois, nous disons aux responsables (sans jamais être entendus) que cette base de données représente un vaste plan d'expériences, fourni généreusement par la Nature. Il faudrait l'exploiter pour chercher si certains réglages sont favorables, tandis que d'autres sont défavorables ; en bref, ne pas se contenter d'optimiser le process, mais l'explorer de manière aussi approfondie que possible. A aucun moment, au cours de notre activité, n'avons-nous rencontré un industriel qui accepte de prendre en compte cette suggestion, pourtant peu coûteuse puisque la base de données existe déjà. Les centres de recherche des industriels pourraient s'y consacrer, mais ils préfèrent s'occuper d'innovations verdâtres.

Un responsable de l'évaluation des risques dans un organisme nous dit qu'il a fait traiter une base de données par un stagiaire, en utilisant une loi de probabilité triangulaire. Le stagiaire est content, le responsable est content et la hiérarchie est contente, puisqu'ils ont obtenu des résultats à peu de frais. Mais celui qui, à bon droit, manifeste la plus grande satisfaction, c'est Satan, "le rusé doyen" : en effet, la loi triangulaire ne porte que sur un intervalle, et les valeurs extrêmes y échappent par définition. C'est ainsi qu'en février 2021, le Texas a été victime d'un gigantesque "blackout" (panne d'électricité), tout simplement parce qu'on avait négligé la possibilité de températures très basses, qui pourtant s'étaient déjà rencontrées.

Si on veut faire des économies, la meilleure solution est d'aller mettre un cierge à Notre-Dame : c'est moins coûteux et tout aussi efficace qu'un stagiaire avec une loi triangulaire. C'est une pratique qui a fait ses preuves, puisque l'église a plus de 700 ans. Un agnostique dira immédiatement qu'on ne risque rien à mettre un cierge : au pire on perd son temps, tandis qu'on risque beaucoup à mettre un stagiaire avec une loi triangulaire.

Prendre de l'avance, sur un sujet donné, consisterait à pratiquer une véritable recherche scientifique (horresco referens !) : donner au problème une dimension suffisamment abstraite, le proposer à diverses équipes, organiser des publications et des colloques, organiser des validations à partir de données générées pour la circonstance. C'est totalement inconcevable en période d'obscurantisme, le choix délibéré étant de recourir au consensus et d'ignorer les lois de la Nature.

Bernard Beauzamy

Archimède

L'équipementier Valeo, qui nous avait initialement promis un soutien massif au projet Archimède, s'est finalement désisté, au motif que l'action avait baissé en bourse. Mais, en parallèle, on lit dans la presse : "l'équipementier automobile Valeo a réalisé son premier hackathon axé sur l'Intelligence Artificielle (IA) Générative. Ce premier hackathon reflète l'esprit d'innovation qui règne chez Valeo. Nos équipes collaborent et relèvent des défis technologiques au quotidien et dans le monde entier pour rendre la mobilité de demain plus sûre, plus verte et plus connectée."

On se tord de rire : le roi Hiéron de Syracuse avait-il demandé à Archimède de faire la preuve que ses travaux étaient "plus sûrs, plus verts et plus connectés" ? Heureusement pour nous, nous n'avons jamais pris au sérieux les vantardises de l'industriel : il se prend pour François 1^{er} distinguant Léonard de Vinci ; en définitive, ce n'est qu'un fabricant d'essuie-glaces en mal de notoriété. Nul doute que l'action de Valeo ne se redresse rapidement, mais, si l'action tend vers zéro, si Valeo disparaît, cela se fera "sans que rien manque au monde, immense et radieux"¹.

Le projet Archimède avance bien ; le texte (environ 180 pages) est maintenant sous forme pratiquement définitive. Des cobayes (élèves et professeurs) ont commencé à se faire connaître. Nous nous donnons environ trois mois pour incorporer leurs commentaires, si bien que le texte final sera remis à l'imprimeur fin mars 2024.

Nous l'avons initialement conçu comme un moyen de faire découvrir des questions simples et bien posées aux élèves des lycées, et de stimuler ainsi leur goût pour la compréhension des lois de la Nature. Mais, une fois le texte rédigé, on s'aperçoit qu'il va bien au-delà ; en particulier dans le chapitre "Les Corps Flottants", Archimède met en œuvre des méthodes de pensée totalement différentes de ce que nous connaissons aujourd'hui.

A plusieurs reprises, nous mettons en parallèle deux méthodes : celle d'Archimède et une méthode moderne utilisant les coordonnées, les équations différentielles, etc. A chaque fois, il apparaît que la méthode d'Archimède est plus courte, plus claire et plus efficace. Le recours systématique aux coordonnées dites "cartésiennes" et à la description de la Nature au moyen d'équations aux dérivées partielles pourrait n'être qu'un choix artificiel (cette remarque a déjà été faite par Von Neumann et David Ruelle). Les mathématiciens sont pourtant convaincus de la portée universelle de leurs travaux : selon eux, les Martiens développeraient les mêmes mathématiques.

A mesure que notre travail progressait, notre indulgence initiale à l'égard des traducteurs successifs est devenue irritation : on trouve aujourd'hui encore, sur le web, quantité de sites qui prétendent citer Archimède et ne sont même pas capables de le traduire correctement. En particulier, sur le site de Philippe Remacle <https://remacle.org/>, on trouve cette perle : "Le centre de gravité d'une figure quelconque dont le contour est concave du même côté, se trouve nécessairement en dedans de la figure."

Quand on aborde les travaux d'Archimède, la première chose à faire est de se souvenir que c'est le plus grand génie que l'espèce humaine ait jamais porté. Citons E.T. Bell, dans son gros ouvrage "Men of Mathematics" :

"It is only possible that Archimedes, could he come to life long enough to take a post-graduate course in mathematics and physics, would understand Einstein, Bohr, Heisenberg and Dirac better than they would understand themselves."

¹ Victor Hugo, *Soleils couchants*, poème VI, *Les Feuilles d'automne*

Les cobayes volontaires pour la relecture peuvent se faire connaître (il y en a déjà 3), professeurs et élèves. Les commentaires doivent nous parvenir au plus tard en mars 2024 ; nous prévoyons l'envoi du manuscrit à l'imprimeur fin mars.

Nous avons accueilli pendant une semaine un élève de 3^{ème}, Antoine Caignard-Ficadiere, pour un stage de découverte de l'entreprise. Le sujet du stage a été d'estimer la hauteur de flottaison d'une sphère, selon la méthode d'Archimède. Antoine a rédigé un rapport de stage très complet, disponible sur notre site web. Ceci montre bien que les élèves, même très jeunes, peuvent s'intéresser aux lois de la Nature ; bien souvent, au contraire, à 25 ans, au terme d'études épuisantes, ils en ont perdu le goût.

Le problème de la flottaison d'une sphère, si on l'exprime analytiquement, se traduit par une équation du 3^{ème} degré, très abstraite et peu manipulable quand on fait intervenir des incertitudes sur les données (notamment la densité de la sphère). A l'inverse, la méthode de pesée d'Archimède ramène le problème à l'intersection d'une droite et d'une courbe simple, et la prise en compte des incertitudes est immédiate.

Données médicales imprécises

L'article "Méthodes mathématiques pour le traitement de données médicales imprécises", de Rima Abdenbi et Bernard Beauzamy, est disponible sur notre site web : https://www.scmsa.eu/archives/SCM_donnees_medicales_imprecises_2023.pdf

Il nous a valu des compliments de la part de spécialistes du domaine. La question, très générale, se pose ainsi : on dispose de données, généralement insuffisantes, incomplètes et imprécises ; comment les interpréter sans faire trop d'hypothèses de modèle ? Une hypothèse de modèle consiste à dire que le phénomène est linéaire, ou bien croissant, ou bien suit une loi de Gauss, de Gumbel, etc. C'est nécessaire si on veut faire un traitement informatique ; par paresse intellectuelle, les spécialistes sont habituellement très pressés de mettre les données dans une machine et d'appuyer sur un bouton.

Dans le cas qui nous occupait, des patients avaient passé des tests, sans qu'on sache vraiment lesquels étaient déterminants, et sans qu'on sache si les panels étaient représentatifs. Notre travail a consisté en une extraction "a minima" des conclusions possibles, sans faire de suppositions particulières. Une bonne représentation est celle-ci : le travail d'exploitation est fait par quelqu'un qui ne connaît absolument rien à la médecine et n'a aucune idée préconçue. C'est le rôle que nous jouons souvent : nous n'avons aucune connaissance du métier du client, et aucun a priori idéologique : nous nous contentons de traiter les données telles qu'on les recueille.

Données extrêmes, aberrantes

A priori, si on dispose d'une base de données, il est impossible de savoir si certaines données sont aberrantes ou non : vous pouvez parfaitement avoir 99.9% des données entre 0 et 1 et une donnée à 10 000. Elle peut correspondre à une réalité et, a priori, on ne peut la qualifier d'aberrante ; c'est le cas du débit du Vidourle, dont nous parlons plus loin : il est à sec la plupart du temps, mais a des crues "fulgurantes".

Il faut une connaissance métier pour pouvoir décider et, même ainsi, ce n'est pas évident. Autre exemple : on pourrait croire qu'un débit est nécessairement positif, mais ce n'est pas exact : de temps en temps, le fleuve peut remonter vers sa source (phénomène de marées).

Les données aberrantes peuvent se présenter par paquets (tel capteur a mal fonctionné pendant plusieurs jours) ou bien isolément ; il n'existe pas de règle générale. Dans le cas des phénomènes dits "extrêmes", les données aberrantes sont très difficiles à discerner. Il est possible de rencontrer des tempêtes dont le vent souffle à 300 km/h.

Pour déterminer la durée de retour de tels phénomènes, les climatologues ont souvent recours à la loi de Gumbel, qui est simple à utiliser car elle dépend de peu de paramètres, mais c'est une loi purement académique, qui ne correspond pas à une description satisfaisante des lois de la Nature. A partir d'une loi de ce genre, le calcul de la durée de retour des phénomènes extrêmes sera faux.

Dans notre livre "Méthodes probabilistes pour la gestion des risques extrêmes" (bon de commande disponible sur notre site web), nous faisons seulement l'hypothèse suivante : plus le phénomène est extrême, plus sa probabilité est faible. C'est assurément une hypothèse de modèle, mais elle est plus faible et plus légitime que le recours à la loi de Gumbel.

Insistons sur ce point : le choix du modèle "minimal" (en ce sens qu'il contient le moins d'information possible) n'est nullement une évidence et réclame souvent un travail très important. C'est facile à admettre : si on considère que le phénomène est linéaire, il n'y a pas à réfléchir ; à l'inverse, si on cherche les déterminants principaux du phénomène, on doit beaucoup travailler. Les informaticiens peuvent passer leur chemin.

Pour la réalisation des ouvrages d'art, il est essentiel de prendre en compte les phénomènes climatiques sur de longues périodes : au moins 50 ans. La résistance d'un pont, d'une digue, ne se calculent pas par référence à des valeurs moyennes, mais à des valeurs extrêmes. Les Romains ont correctement dimensionné le pont de Sommières, sur le Vidourle, en observant les traces laissées par les crues sur le flanc des vallées : le Vidourle, ruisseau en général à sec, a des crues très fortes, environ tous les 50 ans, et en ce cas son débit dépasse celui de la Seine en crue. La prise en compte des séismes, nécessaire pour la construction des centrales nucléaires (par exemple) est généralement faite à partir d'un historique de 2 000 ans ; il est difficile de remonter au-delà. Il existe une carte de France des séismes, que nous avons eu l'occasion de critiquer à la demande du CEA, il y a quelques années.

Sur d'autres sujets, on considère plutôt les valeurs moyennes ou habituelles du process ; un réseau de transport n'est jamais dimensionné pour répondre à la plus forte affluence possible : ce serait trop coûteux. La question est intéressante, sur le plan mathématique : il n'existe pas de "bon" dimensionnement d'un réseau de transport, quel qu'il soit. Il faut en outre distinguer entre l'entretien des infrastructures (routes, voies ferrées, etc.) et coût immédiat de fonctionnement (automobile, bus, train, etc.).

AXA ou l'Art de l'Arrogance

Dans la Lettre précédente, nous avons ironisé sur l'arrogance qui règne chez AXA ; quelques jours après, un haut responsable nous a téléphoné pour nous dire que c'était absolument vrai. Castigam ridendo mores !

L'arrogance, dans une institution, est directement liée au repli sur soi. Il n'existe que deux manières de progresser : par compétition avec d'autres équipes, par compétition avec la Nature ; la seconde est évidemment préférable, mais requiert des données expérimentales.

Fatigue des métaux

Nous avons eu la visite du directeur d'un Institut, à Moscou, qui travaille sur la fatigue des métaux, sous l'égide de Rosatom (Agence fédérale de l'énergie atomique en Russie) ; la réunion avait été organisée par l'Ambassade de Russie en France, que nous remercions ; une collaboration est envisagée sur ce thème.

La fatigue des métaux est un sujet extrêmement mystérieux, sur lequel on ne dispose que de données empiriques et peu nombreuses. La physique des phénomènes est mal connue et les lois sont assurément non linéaires. Il se peut qu'aucune fatigue ne se soit manifestée pendant des années, après quoi, sans signe précurseur, la dégradation peut être rapide. Lors de contrats anciens, des industriels nous avaient fourni des données relatifs au vieillissement du béton ; de même, sur les métaux, des données existent. Comme d'habitude, nous ne connaissons absolument rien au sujet, mais nous serions heureux de traiter les données recueillies et de voir ce qu'on peut en déduire ; nous pourrions essayer de faire une première classification des paramètres qui favorisent le vieillissement.

La SNCF nous a dit récemment devoir gérer 140 000 ouvrages d'art (nombre considérable) ; chacun fait l'objet d'une inspection tous les 5 ans environ. Ces observations sont faites par des spécialistes du sujet, mais ont un caractère empirique. La SNCF serait certainement ravie de disposer d'informations, même grossières, permettant de dire : là il faut surveiller, là c'est moins utile. Sur un sujet à peu près vierge, comme celui-là, tout progrès méthodologique est bon à prendre, même s'il fournit des résultats qui s'avèrent incorrects a posteriori.

ANTS

Nous avons poursuivi nos travaux pour l'Agence Nationale des Titres Sécurisés ; rappelons qu'il s'agit d'anticiper les demandes en passeports et cartes d'identité. L'Agence nous a fourni des données récentes, ce qui nous a permis d'évaluer la qualité des anticipations que nous avons réalisées précédemment. En particulier, nous avons pu comparer l'efficacité des deux méthodes que nous avons employées simultanément : le lissage exponentiel, méthode de Holt-Winters, qui est classique et l'EPH, méthode introduite par la SCM lors de contrats avec Framatome (2003). Il est apparu que les deux méthodes avaient convenablement anticipé les tendances, mais que le lissage était plus précis que l'EPH. La raison est intéressante à analyser.

L'EPH ne fait pas d'hypothèse de modèle, ou, plus précisément, elle suppose simplement que l'information décroît à mesure que l'on s'éloigne d'une source d'information (principe d'entropie). Or, ici, nous sommes en présence d'une situation où la saisonnalité intervient (ou, plus exactement, la proximité des vacances, qui fait que les usagers déposent leurs demandes) ; l'EPH n'a pas été conçue pour tenir compte d'informations complémentaires de ce type.

La méthode de Holt-Winters, ou lissage exponentiel triple, est une méthode de prévision standard pour les séries temporelles qui présentent une tendance et une saisonnalité. Comme pour l'EPH, le poids des données diminue avec l'éloignement : plus les données sont lointaines, moins elles comptent pour la prévision. Mais, à la différence de l'EPH, le lissage prend en compte l'évolution de la série. Si celle-ci est croissante de façon continue, la prévision sera supérieure à la dernière donnée connue. Retenons ceci : il n'existe pas de méthode de prévision universelle : il faut comprendre les spécificités de chaque situation.

Évolution du climat

D'innombrables crétiens ont des convictions sur l'évolution du climat, et on pourrait leur poser la question suivante (décembre 2023) : mettez par écrit vos pronostics pour l'hiver prochain (janvier-mars 2024) ; on constaterait ainsi les divergences d'opinion. Comme dit un proverbe tibétain : autant de moines, autant de religions. On pourrait publier les résultats et un certain nombre de "spécialistes" seraient définitivement discrédités. On pourrait aussi procéder à une large distribution de baffes, mais il paraît que cela ne se fait plus.

La prévision de la température à court terme (trois mois) est un sujet très intéressant, mathématiquement parlant. Un historique, même long (200 ans) renseigne très peu ; cependant, il est incorrect de dire que les années sont indépendantes de l'une à l'autre. Il y a des tendances, sur des dizaines d'années. Pour le niveau de la mer à Brest (source : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, données disponibles sur notre site web), on voit des périodes de 30 ans pendant lesquelles le niveau moyen baisse. Il n'est pas possible de faire une prévision fiable sur dix ans : dans les dix années qui viennent, le niveau peut aussi bien monter que baisser.

L'anticipation des variations du climat, qui relève des lois de la Nature, est beaucoup plus difficile que l'anticipation des demandes en titres sécurisés, qui relève des activités humaines. Faisons abstraction des sottises qui consistent à leur attribuer les variations du climat ; le sujet est difficile parce que le principal déterminant est l'activité solaire, dont nous ne savons à peu près rien. Notre point de vue se résume ainsi : ce n'est pas un bon sujet d'investigation, car on n'y connaît rien, on n'y est pour rien et on n'y peut rien.

Informatique Quantique

Nous avons terminé notre travail relatif à l'informatique quantique ; notre conclusion, déjà annoncée dans la "Lettre" précédente, est que les méthodes usuelles de cryptage ne sont absolument pas menacées ; il ne s'agit que d'un bruit de salon, destiné à obtenir des financements. L'idée selon laquelle les ordinateurs quantiques pourraient mener à bien une tâche aussi déterministe que la recherche des facteurs premiers d'un nombre quelconque relève de la mystification. Pour l'édification du lecteur, les meilleures réussites actuelles en ce sens vont jusqu'à factoriser $15=3 \times 5$; on ne sait pas quel est le coût de l'ordinateur quantique qui a réalisé cette prouesse (un tel ordinateur fonctionne nécessairement au voisinage du zéro Kelvin).

Nous avons souhaité élargir la réflexion, en l'étendant aux nombreux paradoxes de la Mécanique Quantique : existence ou non de variables cachées et explications apportées par les inégalités de Bell.

Nous avons procédé à l'analyse critique d'un article de D. Marchand : "Le paradoxe EPR et l'inégalité de Bell", disponible en ligne (cours de l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris). Il se consacre à l'analyse de l'intrication et est divisé en deux parties. La première décrit une analogie physique simple : un canon à clous. Malheureusement, l'auteur prouve alors qu'il ignore les lois fondamentales des probabilités. Dans la seconde, l'auteur applique le raisonnement à l'intrication de deux photons et, à ce moment, il prouve qu'il ignore également les lois fondamentales de la mécanique quantique.

Nous avons donné les prescriptions nécessaires pour que l'expérience des photons ait une valeur quantitative et sorte du mysticisme. Enfin, nous avons conclu en nous référant à la position prise par Albert Einstein : il existe une explication assez simple au fait que deux photons intriqués manifestent des polarisations proches, en cas de mesure, même s'ils sont séparés par de grandes distances.

On s'étonne de voir le peu de progrès faits par la mécanique quantique depuis Schrödinger ; on dispose maintenant d'expériences nouvelles, de bonne qualité, qui semblent factuellement indiscutables, mais que l'on est complètement incapable d'expliquer.

Notre point de vue est que le formalisme mathématique de la mécanique quantique, dû pour l'essentiel à Von Neumann et Schrödinger, doit maintenant être revu : il est naïf de croire que la Nature puisse se laisser décrire par un formalisme à base d'espaces de Hilbert, d'opérateurs sur ces espaces et de valeurs propres associées. Il est certain aussi que les progrès doivent passer par une meilleure assimilation de la théorie des probabilités ; en 2015, nous avons mis en évidence une erreur commise par Richard Feynman en électrodynamique quantique ; voir : https://scmsa.eu/archives/BB_2015_Quantum_electrodynamics_doubts.pdf

Conférences organisées par la SCM

L'exposé de Bernard Beauzamy "Faut-il encore un enseignement supérieur scientifique en France ?", 14/12/2023, est en ligne sur notre chaîne YouTube : <https://youtu.be/aGSwqjnyFkY>.

La prochaine conférence est prévue pour le jeudi 11 janvier, 14 h, en nos locaux ; conférencier : Michel Bénézit, ancien directeur général chargé du raffinage-marketing et membre du Comité exécutif du groupe pétrolier Total SA ; titre (sous réserve) : "le bêtisier des hydrocarbures".

Formation organisée par la SCM

Nous avons prévu d'organiser en 2023 une formation, à destination des ingénieurs, sous le titre " Méthodes probabilistes pour Ingénieurs", mais nous avons dû reporter ce projet. La dernière formation que nous avons organisée date de 2018 et les règles administratives ont changé depuis. Par le passé, on obtenait d'abord un numéro de formation (sorte d'homologation administrative), qui permettait aux inscrits d'obtenir une prise en charge par le budget de formation de leur entreprise ; actuellement, c'est l'inverse : il faut d'abord une liste d'inscrits et on demande l'homologation ensuite. Concrètement, nous fixerons début janvier une date précise (la formation aura lieu fin février), et les candidats pourront se faire connaître pour une pré-inscription, qui ne deviendra définitive qu'après l'obtention de l'agrément. C'était notre rubrique : pourquoi faire simple quand on peut faire compliqué ?

La SCM vous présente ses meilleurs vœux
pour la nouvelle année
