

La Lettre de la S.C.M.



Décembre 2022

Numéro 100

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 :

Nous sommes souvent sollicités par des Industriels qui souhaitent améliorer la disponibilité de leurs équipements, rendre la maintenance moins coûteuse, plus efficace, etc. : préoccupations très naturelles. Notre réponse est également très naturelle : il faut disposer d'un système d'information qui renseignera sur la mise en service des équipements, les interventions qui ont été faites, les pannes qui ont été recensées, etc. Malheureusement, le "très naturel" s'arrête là : dès que nous soumettons un projet, il s'avère que nous sommes en complet désaccord avec l'Industriel concerné, pour des raisons idéologiques.

La première est que le coût de notre prestation est insuffisant ("pas assez cher, mon fils", pub pour la Renault Clio, 1993). Le coût d'une prestation à caractère mathématique est négligeable devant le coût d'une prestation informatique, lui-même négligeable devant le coût de l'industrialisation. L'Industriel se valorise, se glorifie, au prorata de l'argent qu'il dépense.

La seconde est que le délai est excessif. L'Industriel veut mettre des capteurs partout (c'est le "big data") et faire traiter instantanément les données recueillies par quelque boîte noire appelée "intelligence artificielle", l'idée étant de réfléchir le moins possible. Quant à nous "we work by wit, and not by witchcraft, and wit depends on dilatory time" (nous opérons par l'intelligence, non par la magie, et l'intelligence est soumise aux délais du temps) Shakespeare, Othello, traduction François-Victor Hugo.

Ces deux contraintes, de coût et de délai, suffisent à discréditer notre offre dans l'immense majorité des cas, d'autant que l'Industriel est soumis à l'intense pression de cabinets de conseil et d'équipementiers, qui tous vantent des solutions "clés en main", évidemment très coûteuses.

Quant à nous, il ne nous reste qu'à parodier Chateaubriand : "Inutile Cassandre, nous avons assez fatigué les entreprises de nos avertissements dédaignés ; il ne nous reste plus qu'à nous asseoir sur les débris d'un naufrage que nous avons tant de fois prédit". Nous contemplons avec amusement les efforts qui les conduisent à la ruine.

Récemment, un grand opérateur de telecoms nous a dit qu'une intervention sur trois (auprès des clients particuliers) n'aboutissait pas, faute d'information précise sur l'adresse de l'intervention. Les données transitent par environ 600 applicatifs différents. On aurait pu penser, avec naïveté, que pour un opérateur qui installe la fibre à domicile, la connaissance de l'adresse est essentielle, mais non. Au lieu de 600 applicatifs, il suffirait d'une seule base de données, bien faite et convenablement entretenue.

On voit sur cet exemple les raisons de l'échec ; elles tiennent à deux règles simples, que nous énonçons constamment et que personne n'écoute :

Règle 1. – Le SI doit impérativement être grossier, c'est-à-dire définir l'équipement de manière globale. Il ne doit pas descendre au niveau des composants élémentaires (telle rondelle en caoutchouc). La plupart des industriels veulent définir un SI beaucoup trop fin ; ils se perdent dans des détails inutiles et le résultat est inexploitable. Mais, évidemment, un SI grossier coûte moins cher qu'un SI fin : pas assez cher, mon fils !

Règle 2. – Le SI ne doit jamais être rempli par les techniciens eux-mêmes, parce qu'ils n'ont pas le temps, parce qu'ils ne savent pas le faire : chacun mettra ses propres mots et le résultat sera inexploitable. Il faut donc désigner une personne compétente ; une secrétaire peut faire cela parfaitement. Elle recueillera chaque jour les informations en provenance des techniciens et veillera à les insérer dans le SI, selon une nomenclature prédéfinie, qu'on lui aura expliquée et qu'elle aura comprise.

Utiliser une secrétaire et la former, au lieu d'un colossal dispositif d'intelligence artificielle, articulé autour de réseaux de neurones et de calculs via un ordinateur quantique : quelle horreur !

Les préoccupations de disponibilité des équipements sont évidemment très anciennes, mais les Industriels sont incapables de comprendre que, si elles ne sont pas résolues en 2022, c'est que les approches essayées à ce jour ne sont pas bonnes. A chaque nouvel échec, appuyés par leurs conseillers et équipementiers, ils diront : nous n'avons pas investi assez d'argent, nous n'avons pas assez de capteurs et pas assez d'intelligence artificielle. Il y a un refus de principe (on peut parler de blocage psychologique) à l'idée de considérer des solutions qui ne relèvent pas de l'idéologie dominante, qu'on peut appeler "politiquement correcte".

Bien entendu, l'utilisation de données anciennes est une nécessité : on ne peut estimer la durée de vie d'un équipement, d'une installation, si on n'a pas d'information sur la date de pose et sur les interventions qui ont été faites. Mais rares sont les industriels qui se préoccupent d'exploiter de telles données, considérées comme "ringardes" ; la mode est aux EWS (*early warning signals*) : quelque indicateur mystérieux et bienveillant, basé sur l'IA, viendra à point vous avertir que l'équipement commence à se lasser. La tendance actuelle est à la moindre réflexion et, si intelligence il y a, elle doit être artificielle.

Bernard Beauzamy

Stabilité des talus

Nous devons à la RATP le contrat le plus original et le plus intéressant que nous ayons eu à traiter en 27 années d'activité. Il s'agit de la démonstration de la stabilité de certains talus.

La RATP a "hérité" de lignes de chemin de fer construites au 19^{ème} siècle ; elles comportent des talus, en surplomb ou en dévers, et la question est aujourd'hui : sont-ils stables ?

Nous avons commencé par lire les documents anciens relatifs à la mécanique des sols, et interroger de nombreux spécialistes. La réponse a été conforme à ce que la RATP avait elle-même observé : aucun document n'est exploitable pour une approche scientifique ; la plupart donnent des informations empiriques : tel talus a été construit avec tel angle, mais cela ne suffit pas à démontrer la stabilité.

Faute de méthodes constructives modernes, nous avons eu l'idée de nous poser la question : comment Archimède aurait-il résolu ce problème ? La question n'est pas du tout absurde : les Grecs construisaient des aqueducs, et, pour assurer l'horizontalité, il faut creuser les collines. Si l'angle est trop ouvert, on déplace inutilement d'énormes quantités de terre ; s'il est trop fermé, le talus ne tient pas. Il y a donc un angle "optimal".

Archimède avait à sa disposition les outils qu'il a lui-même développés : calcul différentiel et intégral, discrétisation, éléments finis, bilans des forces, etc., que les mathématiques contemporaines ont su exploiter et développer. Il avait en outre des outils que les générations suivantes n'ont pas su utiliser comme la "méthode" (nous dirions aujourd'hui "méthode de comparaison"). Il est possible qu'il ait eu d'autres outils, qui ne nous sont pas parvenus.

La différence essentielle avec les générations suivantes est qu'il disposait de capacités intellectuelles que l'on peut, à proprement parler, qualifier d'effrayantes. S'il est permis de parler de durée de retour pour le génie, on dira que Gauss est de classe 500 (on voit un Gauss tous les 500 ans) ; avec cette terminologie, Archimède serait de classe 5 000.

On peut estimer qu'il lui aurait fallu vingt minutes pour résoudre le problème (le temps de prendre un bain) ; il nous a fallu vingt jours pour parvenir à une solution préliminaire. En toute modestie, nous estimons qu'un rapport de 1440 en notre défaveur est assez satisfaisant.

Les travaux d'Archimède nous sont parvenus parce que quelque recevait une lettre de lui s'empressait de la faire copier. Tous les rois, tous les princes, tous les papes, veillaient à ce que leur bibliothèque comportât ses œuvres, avec diverses traductions. Le travail le plus récent est dû à Johan Ludvig Heiberg, fin du 19^{ème} siècle. On imagine mal le gouvernement actuel faisant procéder à une édition modernisée, qui serait pourtant utile.

On s'interroge beaucoup aujourd'hui sur une amélioration de l'enseignement des mathématiques. On serait bien inspiré de revenir aux bases de la pensée d'Archimède. Bien entendu, c'est difficile, parce ses approches intellectuelles étaient très différentes des nôtres (il était plus intelligent que nous), mais notre exemple prouve que, en prenant son temps, on parvient à en tirer parti. Les élèves y apprendraient en particulier la rigueur dans la pensée : il ne se satisfaisait pas de solutions approximatives.

Aujourd'hui, les élèves ne rêvent que d'ordinateurs, d'intelligence artificielle et de programmation en python ; leur proposer de s'intéresser à Archimède est à peu près aussi plausible qu'enseigner la relativité générale à un moine pratiquant la méditation dans un ashram des Himālayas.

Train autonome

Nous avons eu la chance de n'être pas retenus sur un projet "train autonome", pour lequel la SNCF nous avait consultés tardivement.

Nous n'avons rien contre les projets de véhicules autonomes : pour nous, ils représentent des défis technologiques qu'il faut relever. Nous nous reconnaissons pleinement dans le discours de JF Kennedy, septembre 1962 : We choose to go to the moon in this decade and do the other things, not because they are easy, but because they are hard" (soi dit par parenthèse, sacré discours, comme on aimerait en entendre chez nous ; vidéo disponible [ici](#)). Que le projet soit en définitive rentable ou non, nous estimons que la SNCF a raison de s'intéresser au concept.

Le cahier des charges que nous avons reçu dit que le projet est bien avancé, mais que des questions relatives aux exigences de sécurité restent à résoudre. Pour un conducteur, on exige un taux de défaillance de 10E(-5), c'est-à-dire une défaillance toutes les 10E(5) heures de conduite ; il s'agissait de démontrer que cette exigence était excessive et pouvait être relaxée pour un système autonome. Autrement dit : démontrer qu'il est licite de demander que le système automatique soit plus mauvais conducteur que l'humain ; curieux, n'est-ce pas ?

En outre, nous étions en désaccord fondamental sur deux points techniques principaux :

Tout d'abord, il est licite de compter le nombre de défaillances des conducteurs sur une longue période, mais non d'évaluer un taux de risque pour un matériel qui n'existe pas.

Ensuite, et surtout, le train autonome a été conçu pour être bardé de capteurs de toute nature. Nous n'approuvons pas cette approche "technologique" ; pour nous, deux caméras ordinaires, situées de part et d'autre du train, suffisent amplement, pourvu que le système bénéficie d'un apprentissage : un vrai conducteur explique au système ce qu'il voit et ce qu'il ne voit pas ; c'est ainsi que procède une auto-école. Cette idée n'est pas de nous : elle provient des travaux de Von Neumann ("The Computer and the Brain", 1955) ; malheureusement la mode, à l'heure actuelle, est à la débauche de technologies.

Le cahier des charges n'offrait aucune possibilité de discussion : il relève de l'arrogance, la critique est impossible et l'avocat du diable n'y est pas bienvenu. Il se résume à ceci : démontrez que nous avons raison. Notre réponse, au contraire, insistait sur les points de désaccord, mais elle arrivait trop tard. Notre réflexion aurait été pertinente au stade de la définition préliminaire du projet, mais ce stade n'a jamais existé. La débauche technologique, à défaut de raisonnement, a été retenue dès le début.

Si l'on réfléchit un peu, on s'aperçoit que ce type de projet, né sous une mauvaise étoile, n'a aucune chance d'aboutir. Il inclut, dès le départ, de nombreux équipementiers, qui feront évidemment pression pour que les capteurs soient les plus nombreux et les plus élaborés possible. La réflexion initiale à propos de la conception générale du projet aurait dû se faire sans les équipementiers.

Les responsables, qui n'ont pas lu Von Neumann, n'accepteront jamais de considérer une solution simple (pas assez cher, mon fils, voir ci-dessus). Il en résulte maintenant une complexité dans l'appareillage qui rend impossible toute démonstration de sûreté, d'où le souhait des responsables de réduire les exigences de sûreté, ce que, de toute évidence, la SNCF n'acceptera jamais. L'impasse actuelle n'est pas conséquence d'une insuffisance technologique, mais d'un défaut initial dans l'approche méthodologique et contractuelle.

Apprentissage

Cette notion d'apprentissage, dont nous venons de parler à propos du train autonome, est en réalité fondamentale dans tous les sujets qui relèvent de la recherche opérationnelle.

Systématiquement, un problème de RO est traité de la manière suivante : on définit une "fonction coût", que l'on cherche à minimiser, sous diverses contraintes. Le résultat est très long à obtenir et très fragile : il peut être totalement différent si les contraintes sont très légèrement modifiées.

Nous avons été consultés récemment par un transporteur maritime : la question est l'ordonnement des containers dans les navires. Nous avons recommandé l'abandon d'une approche en terme de minimisation d'une fonction coût, au profit d'un apprentissage : le système sait quelles ont été les allocations antérieures et en tire parti pour la nouvelle organisation.

L'approche par apprentissage n'est pas une évidence ; elle réclame une interface spécifique entre le système et l'humain. Par exemple, pour un train, le conducteur pourrait dire au système "je vois un arbre sur la voie dans 500 m" ; le système comprendrait ceci et le confronterait à ses propres perceptions. Il serait alors capable de dire plus tard, en analysant seulement ses propres relevés : "arbre sur la voie à 500 m". Il faut aussi que le système soit capable de modifier cette perception, si elle se révèle erronée ou imprécise.

De manière simplifiée, on peut dire ceci : il y a les données brutes, en l'occurrence la vision par les deux caméras, et un "système d'information" qui, à partir de ces données, dit "il y a un arbre". Le système de vision est ce qu'il est, une fois pour toutes ; il n'évolue pas et n'apprend rien ; c'est le système d'information qui évolue au fur et à mesure que les expériences l'enrichissent.

La notion d'apprentissage ne convient pas à la plupart des Industriels : ils aimeraient un système "clés en main" ; on appuie sur un bouton et hop ! le résultat désiré est obtenu. Ils sont prêts à payer des fortunes pour un tel système, généralement vital pour le fonctionnement de l'entreprise. Mais lorsqu'on leur dit : il n'est pas nécessaire d'investir des sommes colossales ; il suffit d'utiliser les données passées et de réfléchir un peu, l'intérêt disparaît ; comme nous l'avons vu plus haut, le double argument "pas assez cher" et "il faut réfléchir" discrédite instantanément de telles approches ; les entreprises n'ont pas en interne les compétences pour les mener à bien.

Grêle

À la demande d'un industriel du BTP qui installe des panneaux photovoltaïques, nous nous sommes intéressés au risque "grêle", puisque les grêlons de grosse taille sont susceptibles d'endommager les panneaux. L'Industriel a le choix entre trois attitudes : il souscrit une assurance ; il installe des protections (lorsque c'est possible) ; il s'organise pour effectuer des réparations rapides (présence d'équipes d'intervention à proximité et de stocks de pièces détachées). Le choix n'est pas simple et doit être pris sur des bases rationnelles. Il peut être déterminant pour la politique commerciale et la réponse aux attentes des clients.

Nous sommes habitués aux investigations à propos des phénomènes naturels (tempêtes, etc.) ; la plupart du temps, on constate une irrationalité des attitudes et des décisions. C'était le cas pour les tempêtes ; c'est pire pour la grêle : les gens viennent pleurnicher lorsque leur voiture ou leur toit est détruit, mais n'ont aucune idée de la localisation et de la fréquence du phénomène.

Nous avons donc commencé par nous renseigner sur la localisation : la grêle ne frappe que certains départements et seulement à certaines saisons. Ensuite, non sans difficulté, nous avons pu faire l'acquisition d'une base de données qui recense les chutes de grêle (ces données ne sont pas publiques !) et nous nous occupons actuellement d'en déduire la fréquence, selon la localisation et la taille des grêlons.

En conclusion de notre étude, nous fournirons à l'Industriel des recommandations claires sur l'attitude qu'il doit adopter et sur la politique de communication à l'endroit de la clientèle.

Ce qui est étonnant, c'est que personne n'ait fait ce travail, quoique la grêle soit aussi ancienne que la planète (quelques milliards d'années) et qu'elle endommage les constructions humaines depuis quelques centaines de milliers d'années. On invoquera plutôt le climat, qui est détraqué, comme chacun sait.

RATP 2

Nous avons un autre contrat avec la RATP : il porte sur le coût des programmes, et la "hiérarchisation" des paramètres qui influent sur ce coût. La SCM a progressivement développé et amélioré, au fil des années, une méthode de hiérarchisation, qui est purement probabiliste ; la dernière version est disponible ici :

http://scmsa.eu/fiches/SCM_Hierarchisation.pdf

Nous avons réalisé un travail semblable, il y a quelques années, pour "Espaces Ferroviaires", une filiale de la SNCF en charge des programmes immobiliers. Il s'agissait de hiérarchiser les risques rencontrés par les divers programmes, susceptibles d'influer sur la durée et sur le coût. Sans surprise, nous avons mis en évidence le fait que le principal "risque" était un changement de réglementation environnementale. En vérité, ce n'était pas un risque, mais une certitude.

Befesa

Nous venons de terminer une étude, commencée en juillet, au profit de Befesa-Valera ; cet Industriel traite des déchets métalliques et il s'agissait d'améliorer les réglages d'un four. Bien entendu, nous avons utilisé notre méthode de hiérarchisation de paramètres pour déterminer ceux qui avaient la plus forte influence sur le bon fonctionnement du process. Mais Befesa ne s'est pas contenté de ce résultat et a réclamé une analyse conjointe : si on prend les paramètres deux à deux, quels sont les couples les plus significatifs ? On peut se poser la même question avec les triplets, etc.

La méthode ne pose pas de problème théorique : il s'agit de définir des lois de probabilité conditionnelles. Mais le nombre de données disponibles est faible et, si la dimension de l'espace des configurations augmente, on ne dispose pas de suffisamment d'expériences pour analyser tous les cas possibles.

Il est apparu néanmoins que l'étude des couples de paramètres donnait des résultats significatifs, qui n'apparaissaient pas si on considérait les paramètres un par un.

Le cas de Befesa présente des spécificités : l'Industriel ne se contente pas de brûler des déchets, comme le fait SARP Industries, pour lequel nous avons travaillé par le passé. Befesa récupère un certain nombre de métaux en sortie et les renvoie aux clients après purification : le process relève donc de ce qu'on appelle actuellement "économie circulaire", ce qui rend plus complexe la définition des objectifs : il y a une estimation de la qualité en sortie, et le réglage ne se réduit pas à minimiser les adjutants pour la combustion.

Atlandes

Nous avons repris la collaboration avec Atlandes, concessionnaire de l'autoroute A63 dans le sud-ouest de la France. Comme nos études précédentes, celle-ci concerne les poids lourds et le type de trajet qu'ils réalisent : sont-ils simplement en transit, ou bien participent-ils du commerce local ?

Pour répondre à cette question, nous avons analysé les séquences et temps de trajets entre deux passages successifs d'un même poids lourd aux gares de péage de l'A63. Il y en a deux, au nord et au sud, distantes de 65 km. Un enregistrement est réalisé à chaque passage d'un poids lourd ; un passage entre deux gares successives définit un trajet. On veut mieux connaître les trajets des poids lourds, en particulier la durée et la répétition des motifs dans les séquences.

Les résultats montrent une grande variabilité dans les données, en particulier dans les tailles de séquences. Certains camions effectuent très peu de trajets par an tandis que d'autres en font plusieurs centaines. Certains motifs sont plus présents que d'autres. Les plus courants concernent le cycle habituel des poids lourds sur l'A63 : aller, boucle sud, retour puis boucle nord.

Les temps de trajet sont très dispersés. Les minima sont de l'ordre de la dizaine de minutes, tandis que les plus longs peuvent prendre des mois. Les moyennes varient beaucoup.

Nous avons cru mettre en évidence des poids lourds dont la vitesse excédait 500 km/h, et nous nous préparions à alerter les chasseurs d'OVNI. Malheureusement, ces données correspondaient à des trajets affectés par le changement d'heure. Encore un mystère qui disparaît. Il règne, sur l'A63, une rationalité que l'on peut qualifier d'affligeante. Toutes nos études visent à une analyse a posteriori ; les responsables veulent s'assurer que tout est sous contrôle. L'utilisateur en sera satisfait, le poète beaucoup moins ; Baudelaire ne se serait pas assis sur un talus de l'A63 pour écrire *"Au fond de l'Inconnu pour trouver du Nouveau"*.

Nouveau livre

Un nouveau livre de Bernard Beauzamy est en cours d'impression auprès de notre imprimeur favori, Normandie Roto à Alençon. Il devrait être disponible fin décembre. Le titre est "Introduction à l'étude des probabilités expérimentales", titre évidemment copié sur Claude Bernard "Introduction à l'étude de la médecine expérimentale", 1865 ; l'objectif est le même : sortir les méthodes de leur cadre académique, pour en montrer l'application concrète en situation réelle.

Un ingénieur reçoit des données, décrivant le fonctionnement d'un process industriel : il s'agit généralement de fichiers Excel, comportant des centaines de milliers de lignes (autant que d'observations) et des centaines de paramètres (chacun étant associé à un aspect du process). Il se demande : que puis-je faire de toutes ces données ?

Le livre apporte des éléments de réponse très concrets : il montre comment construire un histogramme pour chaque paramètre (travail préliminaire indispensable), fait la distinction entre "représentation" et "prédiction" et indique les erreurs à ne pas commettre. Il montre comment exploiter la base de données, de manière à mettre en évidence les paramètres prépondérants.

Il ne requiert pas de connaissances préliminaires en probabilités et s'adresse, de manière générale, à tous ceux qui ont des bases de données à exploiter : fiabilistes, médecins, logisticiens, ingénieurs qualité, etc., à l'exception bien sûr des politiciens et des journalistes, qui de toute façon ne l'achèteraient pas.

Le livre peut déjà être commandé auprès de la SCM ; le prix est de 50 Euros TTC, ce qui est négligeable si l'on considère les millions d'euros de sottises qu'il permet d'éviter.

BNF

Dans le cadre de notre contrat RATP "Talus", nous avons demandé à la Bibliothèque Nationale de France une photocopie d'un article de C. A. Coulomb, disponible à la BNF. Ceci se passait le 30 septembre ; nous avons payé cette photocopie et, au 15 décembre, nous ne l'avons pas encore. Nous sommes entrés de plain-pied dans l'ère numérique où tout est instantané, comme on le voit.

Supposons qu'Archimède ait eu besoin d'une référence bibliographique : il écrit à son ami Eratosthène, conservateur de la Grande Bibliothèque d'Alexandrie. Une semaine de bateau aller, une semaine retour et une journée pour faire la copie : il aurait eu son document en 15 jours.

EDF

Un de nos correspondants, avec qui nous avons cogéré des thèses EDF dans les années 80, nous dit qu'à l'époque existaient des programmes de recherche relatifs à la corrosion sous contrainte, sujet reconnu aujourd'hui comme important. Du fait des restrictions budgétaires, ces programmes ont été supprimés, et personne n'a plus jamais entendu parler des résultats qui avaient été obtenus à l'époque.

Cette disparition des connaissances acquises est un vrai sujet, qui intéresse toutes les entreprises, y compris la SCM. Lorsque nous écrivons un rapport, nous insistons sur le fait qu'il doit pouvoir être lu cinq ans après, par quelqu'un qui ne connaît pas le sujet. Il faut donc commencer par bien présenter le besoin, puis l'état de l'art, c'est-à-dire faire une description des connaissances antérieures. C'est bien beau en théorie, mais en pratique nos rapports sont aussi illisibles que les autres, sortis du contexte immédiat.

Une solution pourrait être de multiplier les publications et les colloques : une fois que l'étude d'un sujet est considérée comme terminée, on s'efforce de lui donner une mise en forme correcte, par exemple sous la forme d'un chapitre dans les actes d'un colloque. Evidemment, il faut d'abord avoir vérifié et validé les résultats et tout ceci prend du temps. En général, les entreprises n'en ont pas : la capitalisation des connaissances est le dernier de leurs soucis. Elles sont convaincues que la pêche au "big data" permettra d'y remédier.

La SCM vous souhaite d'agréables fêtes de fin d'année et une excellente année 2023 ; nous n'espérons pas qu'elle nous sortira de la période d'obscurantisme où nous nous trouvons actuellement, mais en définitive on s'y habitue très bien. Il suffit d'appliquer les deux maximes que l'on trouve en exergue.