

# La Lettre de la S.C.M.



Juin 2018

Numéro 82

ISSN : 2112-4698

*La vérité ne fait pas tant de bien en ce monde que ses apparences n'y font de mal (La Rochefoucauld)*

Éditorial par Bernard Beauzamy : Bugs et Intelligence Artificielle

Dans le cadre d'un contrat avec l'Andra, nous avons récemment découvert un "bug" dans un module Matlab de modélisation en génie civil ; voir la présentation détaillée :

[http://www.scmsa.eu/archives/SCM\\_Error\\_Matlab\\_Toolbox\\_2018\\_05.pdf](http://www.scmsa.eu/archives/SCM_Error_Matlab_Toolbox_2018_05.pdf)

Nous avons contacté Matlab, qui a immédiatement confirmé la réalité du bug et le corrigera dans une prochaine mise à jour.

Il ne faut pas incriminer Matlab : de tels bugs sont normaux et on en trouverait sans doute dans les travaux de la SCM. Mais plusieurs enseignements très importants doivent en être tirés :

Il ne faut jamais faire confiance à une "boîte noire" ; les spécialistes d'un domaine devraient au moins être capables de vérifier les ordres de grandeur du résultat. Plus spécifiquement, on ne devrait jamais confier à un ordinateur la résolution d'un problème dont on n'est pas capable soi-même. L'ordinateur n'est là que pour brasser des quantités importantes de données, non pour imaginer le processus de résolution.

En second lieu, une méthode de résolution, un algorithme, ne sont corrects que lorsqu'ils ont été testés, retestés, disséqués, par d'innombrables communautés d'utilisateurs, qui auront changé les valeurs initiales, les conditions d'application, etc. Les résultats obtenus par une seule équipe, surtout lorsqu'ils sont internes à une entreprise, ont une valeur très limitée. Cela ne signifie évidemment pas qu'une entreprise n'a pas le droit de faire réaliser en interne ses propres études : toutes le font ; mais, encore une fois, la validité des conclusions est sujette à caution, et ce d'autant que les experts maison n'admettront jamais qu'ils peuvent se tromper.

Le troisième point sur lequel nous aimerions insister est ce qu'on appelle maintenant "intelligence artificielle". On n'y comprend rien, on récupère des données n'importe comment et n'importe où, et on espère qu'un logiciel sous forme de "boîte noire" va en sortir une solution, comme un pigeon d'un chapeau.

A titre d'exemple, en juin 2017, la Gendarmerie Nationale annonçait s'être dotée d'un logiciel appelé "Anacrim" qui, disait-elle "a aidé les enquêteurs à démêler les indices de l'affaire Grégory", en présentant des "analyses de graphes". Autrement dit, le logiciel, présenté comme "hyper-puissant" par la presse, fait apparaître des relations entre éléments, que l'instruction appelle "indices graves et concordants". En réalité, ces relations ne sont que la conséquence d'une programmation, qui est une "boîte noire".

De fait, les mises en examen, décidées à partir de ces indications, ont été annulées un an plus tard par la chambre de l'instruction de Dijon : il n'y avait pas d'éléments factuels nouveaux, mais simplement l'interprétation d'un logiciel.

C'est là qu'on voit toute la différence : un module Matlab est soumis à la critique du public ; on peut le tester, le valider, en analyser les erreurs. A l'inverse, personne ne peut tester "Anacrim", qui est né dans la confidentialité et qui prospère dans l'arbitraire. Pourtant, les "analyses de graphes" relèvent aussi de modèles mathématiques.

En 1894, Alfred Dreyfus a été condamné sur la base d'une expertise graphologique, portant sur le "bordereau" ; la graphologie était alors une science balbutiante, qui a cessé depuis de balbutier puisqu'elle a perdu le rang de science. En 1904, la Chambre Criminelle de la Cour de Cassation a chargé le mathématicien Henri Poincaré d'une expertise concernant le "Système Bertillon" en graphologie, qui était à la base de l'accusation. Voici ce qu'écrivait Henri Poincaré dans son rapport : "En résumé, tous ces systèmes sont absolument dépourvus de toute valeur scientifique" ; il dirait aujourd'hui la même chose de tout système à base d'intelligence artificielle. Et la Chambre Criminelle de la Cour de Cassation, en 1904, réhabilite Dreyfus et ridiculise les experts :

"La reconstitution du Bordereau effectuée par Bertillon est fautive ; ces planches sont le résultat d'un traitement compliqué, infligé au document primitif, et d'où celui-ci est sorti altéré, après avoir subi une série d'agrandissements et de réductions photographiques, et même de calcages, recalages, découpages, collages, gouachages, badigeonnages et retouches."

Cette analyse, politiquement très difficile à l'époque, était scientifiquement évidente ; comme on le dirait maintenant en langage imagé, Bertillon avait "pris ses désirs pour des réalités". De nos jours, reconnaître un défaut dans un logiciel est devenu extrêmement difficile, tant les instructions sont complexes. Il ne paraît pas possible (contrairement à ce qu'on a longtemps cru) de faire des preuves qui relèvent de la logique formelle ; il faut attendre qu'un bug se manifeste, en espérant que quelqu'un saura le remarquer, et qu'il ne sera pas trop tard si on est dans le cadre d'une application critique. Il faut donc, de manière générale, faciliter la dissémination de logiciels de ce type et leur utilisation par des communautés les plus larges possible.

Bernard Beauzamy

## Biodiversité

La défense de la biodiversité est la nouvelle sottise à la mode, le concept dont il faut parler dans les salons. Il y a 50 ans, un étudiant rêvait de partir pour soigner des lépreux en Asie ; aujourd'hui, il rêve de compter les koalas d'Australie. Rappelons simplement que l'on n'a aucune idée du nombre d'espèces vivantes (pas même d'un ordre de grandeur), ni du nombre de celles qui disparaissent, ou ont disparu par le passé, ni du nombre de celles qui apparaissent, ou ont apparu par le passé. Si la Nature décide de la disparition d'une espèce, comme elle le fait en permanence, l'homme peut toujours essayer de la préserver : ce sera en pure perte.

Une société appelée ARP Astrance, qui s'occupe de logistique, en profite pour faire sa publicité, en organisant un petit déjeuner sur le thème "Logistique et biodiversité : et si les parcs logistiques devenaient des générateurs de biodiversité ?" Dans les entrepôts, il y a généralement des rats, tout comme dans Paris. On ne sait s'il faut s'en réjouir.

## Mathématiques académiques

Quand on lit les revues éditées par les institutions académiques françaises en mathématiques (Société Mathématique de France, Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles), on a l'impression d'une corporation qui aspire en permanence à l'isolement, au repli sur soi (voir le dernier numéro de la Gazette, avril 2018, qui parle avec nostalgie de l'Institut des Hautes Etudes Scientifiques, à Bures sur Yvette). La situation idéale, pour le monde académique d'aujourd'hui, est celle où on lui donne de l'argent et où on le laisse en paix, pour qu'il puisse se consacrer à ses propres recherches, toujours présentées comme "éminentes".

Lorsque la SMAI parle de liens avec les entreprises, c'est entièrement factice : pas de sujet précis, pas de programme de travail, pas d'emplois. Cette attitude de repli sur soi, très malsaine à l'évidence, s'est accentuée au cours des 40 dernières années (elle est apparue avec le groupe Bourbaki) ; rappelons que par le passé, des mathématiciens comme Poincaré, puis Von Neumann, trouvaient leur inspiration dans les problèmes que l'époque rencontrait.

La communauté des mathématiciens du monde académique s'est plainte, dans le numéro de "Matapli" de novembre dernier, de souffrir de désaffection. Nous avons essayé de lui expliquer pourquoi, mais notre projet d'article a immédiatement été rejeté par la communauté ; voir :

[http://www.scmsa.eu/archives/BB\\_Matapli\\_2018\\_03.pdf](http://www.scmsa.eu/archives/BB_Matapli_2018_03.pdf)

Dans le même ordre d'idée, nous avons été sollicités par l'Université d'Angers, qui ouvre un master "data science" et souhaite bénéficier du soutien d'entreprises. Notre réponse a été "pourquoi pas ?". Mais nous avons proposé de faire un exposé devant les étudiants, pour expliquer quels sont les besoins d'une entreprise. Réponse immédiate des responsables du master : surtout pas !

Comme d'habitude, les universitaires ne souhaitent pas réellement répondre aux besoins des entreprises (n'oublions pas qu'ils sont traditionnellement de gauche), mais ils ont lu dans la presse la mode du "big data" et ils se sont dit que, s'ils ouvraient une formation sur ces sujets, cela leur vaudrait des postes et des subventions. Ils ont besoin des entreprises pour appuyer l'ouverture, mais elles ne sont jamais sollicitées ensuite pour le suivi : nous rappelons notre expérience avec la filière "génie mathématique" de l'INSA de Rennes, dont les étudiants, récemment, ont été capables d'interviewer Cédric Villani : quelle réussite !

## Jeu-Concours

Les résultats du 9<sup>ème</sup> jeu-concours, organisé conjointement par la Fédération Française des Jeux Mathématiques et par la SCM, sont maintenant connus. Le sujet portait sur l'organisation de la logistique : un industriel reprend des usines, des entrepôts, des magasins, et ne dispose que du chiffre des ventes pour une année antérieure : comment dimensionner sa logistique ?

Le premier prix "individuels" a été gagné par Alexis Montoisson et Pierre-Yves Bouchet, de l'Ecole polytechnique de Montréal (Canada). Le premier prix "groupes" a été gagné par Taylor Arnold, Alex Baker, Alden Duquette, Nirali Jantrania, David Josephs, Charlie Maier, School of Engineering, University of Virginia, USA.

Les participants ont été moins nombreux que les années antérieures, probablement parce que le sujet n'est pas de nature académique, à la différence de ce que l'on voit pour les Olympiades.

## SNCF/Transilien

Nous avons présenté, devant la direction du Transilien et celle du projet "Eole", l'outil d'investigation que nous avons réalisé. Il permet, pour le "bipôle Nanterre-La Défense", une estimation des flux de voyageurs entrants, sortants, et en transit, même pour les piétons. Il permet également une estimation de l'évolution d'ici 2030. La SNCF s'inquiète du dimensionnement des infrastructures, et les modèles existants étaient trop grossiers pour être fiables. L'outil est conçu pour être modulable ; il permet par exemple d'incorporer de nouveaux moyens de transport, s'ils deviennent disponibles.

## Crimée

Notre accord de collaboration avec V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, République de Crimée, Fédération de Russie, a été signé courant avril par le Vice-Recteur, Serguei Iurchenko. L'objet de la collaboration est que nous puissions faire travailler un groupe d'étudiants, comme nous l'avons fait par le passé avec l'Université de Donetsk. Le groupe est maintenant constitué, et le travail va pouvoir commencer. Il portera sur des analyses probabilistes, déjà faites, que les étudiants vont reprendre en les précisant et en les approfondissant. Un groupe d'étudiants est particulièrement approprié pour ce type de travail : ils ont du temps, ils se répartissent les données entre eux, posent des questions nouvelles, et, en définitive, voient des choses qui auraient échappé à un ingénieur.

## Carrefour

L'année dernière, nous avons collaboré avec les équipes de Carrefour Bazar dans le cadre d'un projet de recommandations d'achats aux magasins, au moyen de "Plans d'Achat". L'objectif du projet était de maximiser les performances de vente des magasins en évitant les situations du type "rupture de stock" ou "sur-stockage". Nous les avons aidés à réaliser un outil de recommandation pour les Plans d'Achat : l'outil tient compte de l'historique des ventes de tous les magasins et suggère des achats optimisés pour chaque comportement de vente des magasins (exemple : acheter plus si le comportement est du type "rupture", et inversement pour le type "sur-stockage"). Par ailleurs, nous avons effectué des traitements de données pour améliorer la qualité de l'information.

Les équipes de Carrefour Bazar utilisent l'outil depuis maintenant une année. Les performances de l'outil leur ont donné satisfaction : les équipes confirment qu'il apporte une plus-value à leur travail et aux recommandations.

## Monceau Assurances : Politique Commerciale

Nous travaillons actuellement sur la recherche d'anomalies dans les contrats d'assurances automobile. Les lois Chatel (2005) et Hamon (2015) facilitent la résiliation d'un contrat d'assurance automobile, mais seulement après le 1<sup>er</sup> anniversaire. Les contrats de durée inférieure à un an peuvent donc être considérés comme anormaux. Les plus courts (moins de trois mois), sont pourtant théoriquement possibles : ce sont des "notes de couverture", sorte de "période d'essai" de l'assuré : l'assureur se donne 90 jours maximum pour étudier son profil et ses antécédents de sinistralité. Pendant cette période, l'assuré s'engage à payer des primes bien plus élevées que la normale. A n'importe quel moment, l'assureur peut rompre la note de couverture et refuser l'assuré. L'utilisation des notes de couverture peut se justifier dans des cas extrêmes, mais est très mauvaise pour l'image commerciale. Nous avons mis en évidence un nombre trop élevé de contrats de courte durée.

Autre difficulté pour les assureurs : les contrats à deux conducteurs. Souvent, la tarification pour ces contrats ne dépendra que des caractéristiques du conducteur principal, et non de celles du conducteur secondaire. Par exemple, si un parent et son enfant, jeune conducteur, sont inscrits ensemble, c'est le bonus du parent (souvent maximal) qui entrera en vigueur, tandis que la sinistralité sera celle du jeune (souvent élevée). Ces contrats, qui permettent aux jeunes d'avoir facilement une première assurance, sont dangereux du point de vue de la rentabilité et difficiles à analyser statistiquement par l'assureur.

## Monceau Assurances : Catastrophes Naturelles

La modélisation de l'impact des tempêtes sur un assureur se fait en deux temps : la partie "assurance" et la partie "réassurance". La première partie est plutôt simple : en partant de la localisation des assurés et de l'historique des tempêtes, nous évaluons le coût et la fréquence des différents phénomènes. Pour la partie réassurance, il faut prendre en compte les conditions de réassurance de chacune des "cédantes" (assureurs qui se réassurent chez Monceau). Les conditions sont complexes : l'assureur peut avoir le droit à un, deux, trois remboursements de tempêtes sur une année pour un seul versement de primes à Monceau ("restitutions") ; Monceau va commencer à prendre en charge les sinistres de l'autre assureur à partir d'un certain seuil, et remboursera un pourcentage de ce qui dépasse le seuil. Un assureur est réassuré et réassure des dizaines d'autres assurances, ce qui permet de mutualiser le risque.

Au niveau de la modélisation, la partie réassurance est similaire à la partie assurance : on se met à la place des autres assureurs, on modélise l'impact des tempêtes sur leur portefeuille, et ensuite on impose les conditions de réassurance cédante par cédante pour savoir ce que Monceau devra rembourser.

Au-delà des études, notre travail comporte la réalisation d'un outil, dont les caractéristiques essentielles sont:

- 1) il incorporera les nouvelles cédantes ;
- 2) il permettra les modifications des portefeuilles existants ;
- 3) il rendra la CCR jalouse à en pleurer !

## Nouvelle brochure

La SCM a commencé la rédaction d'une nouvelle brochure, qui est disponible en version préliminaire :

[http://www.scmsa.eu/fiches/SCM\\_brochure\\_2018.pdf](http://www.scmsa.eu/fiches/SCM_brochure_2018.pdf)

Nous la ferons tirer par un imprimeur sur du papier de bonne qualité et nous l'enverrons par la poste. Nous estimons en effet que les envois d'email ne donnent pas satisfaction.

## Outil logiciel statistique

Nous observons souvent que les traitements statistiques sont faits de manière incorrecte : les responsables construisent les histogrammes d'une manière qui fausse le résultat. Nous avons élaboré un petit logiciel, SCM-histo.xlsm, programmé en VBA sous Excel, qui automatise les routines : l'utilisateur insère les données, et choisit la taille des boîtes ; le logiciel construit automatiquement l'histogramme. Il indique aussi la borne inférieure à tant % (ex 3%) et la borne supérieure à tant % (ex 5%). Ce logiciel est disponible au téléchargement gratuit :

[http://www.scmsa.eu/archives/SCM\\_Histo.xlsm](http://www.scmsa.eu/archives/SCM_Histo.xlsm)

## ANDRA

Nous avons récemment présenté nos travaux devant la Direction Scientifique de l'Andra : critique du dimensionnement des réseaux de capteurs pour le site CIGEO de stockage de déchets radioactifs.

L'Andra nous a présenté les orientations scientifiques futures : études visant à prouver la faisabilité de la construction pour la demande d'autorisation en 2019, préparation d'un dossier de sûreté à plus longue échéance concernant la phase d'exploitation et le futur programme de surveillance (dimensionnement de l'instrumentation, etc.). Dans l'immédiat, l'Andra a évoqué plusieurs thèmes de travail : définition de tolérances sur les valeurs attendues des différents paramètres, acceptables par l'ASN et réalisables par l'Andra ; prise en compte des différentes incertitudes dans le dossier de sûreté ; définition de la dynamique générale de stockage : est-ce que les fûts vieillissent de la même manière sur toute la longueur de la galerie ?

L'Andra prend, conceptuellement, une orientation nouvelle et bien adaptée à ce type de projet : commencer par une approche "grossière", c'est-à-dire en termes d'ordres de grandeur, que l'on affine progressivement. Nous l'avons souvent dit : il ne sert à rien de calculer avec 15 chiffres après la virgule, lorsque beaucoup d'éléments essentiels ne sont pas encore figés.

Techniquement, un projet de site de stockage ne présente pas de difficultés particulières. Mais les durées envisagées vont au-delà de ce que notre civilisation sait faire. Une difficulté spécifique, liée à cette durée, est qu'il faudra conserver l'information de présence du site, de génération en génération. Ceci n'est pas une évidence : les Arènes de Lutèce, pourtant vastes, construites au 1<sup>er</sup> siècle, ont été oubliées, et redécouvertes en 1869 en construisant une gare routière. De la même façon, on a perdu la mémoire des tombes des Pharaons : on ne sait plus où elles se trouvent, quelques milliers d'années après la construction.

L'acceptabilité sociale du projet fait débat, comme toujours. Pour la rendre plus facile, l'Andra aurait intérêt à expliquer qu'une ville sera construite, que cette ville, comme toutes les villes, aura des maisons, des commerces et des écoles, et que les responsables de l'Andra habiteront ces maisons, fréquenteront ces commerces et enverront leurs enfants dans ces écoles.

## Due Diligence

Nous avons été amenés à faire la "due diligence" d'une société financière, basée à New-York, pour le compte d'une société franco-anglaise, qui envisage d'y investir. Techniquement, cela consiste à regarder l'ensemble des outils mathématiques utilisés et à en estimer la validité, ce qui relève bien de nos compétences. Mais, en pratique, la rentabilité d'une entreprise (et donc l'intérêt qu'elle présente pour un investisseur) ne dépend pas uniquement de la qualité des modèles mathématiques qu'elle emploie.

## R ATP Freinage d'urgence

À la suite de nos travaux précédents, la RATP a lancé début mars une campagne de tests de freinages d'urgence en conditions réelles ; elle a choisi pour cela la rame que nous avions désignée comme étant la moins satisfaisante. Le protocole d'essais comportait des freinages sur différentes pentes (rampes, sol plat), à différentes vitesses (20, 30 et 50 km/h) et avec différentes conditions initiales du train (freinage, marche sur l'erre, accélération). La RATP a équipé la rame d'un système de capteurs très précis et entièrement indépendant des systèmes déjà installés. En quelques jours, elle a pu réaliser une cinquantaine d'essais, que nous avons ensuite dépouillés.

La conclusion est claire : il n'y a aucun problème physique de freinage ; les trains freinent correctement en toute circonstance. La difficulté provient de la récolte des données, obtenues grâce au système d'enregistrement usuel, qui s'appelle OCTYS.

Les mesures de distance, vitesse et temps faites par OCTYS sont imprécises : elles sont suffisantes pour assurer un écart de temps entre deux trains (historiquement, c'est pour cela que OCTYS a été conçu), mais trop grossières pour caractériser un phénomène aussi critique que le freinage d'urgence.

Nous allons maintenant travailler sur les essais réalisés par la RATP : la comparaison entre les indications d'OCTYS et celles des capteurs précis devrait nous permettre de "calibrer" OCTYS et d'interpréter ses incertitudes pour en déduire des mesures de freinage fiables. C'est une application particulièrement intéressante des méthodes probabilistes : connaissant les valeurs exactes et les valeurs mesurées, on fabrique des lois de probabilité conditionnelles, qui permettent de constituer des tables de correction. Par le passé, nous avons déjà fait cela pour MBDA (correction de la trajectoire de missiles) et pour l'IRSN (correction des déclarations relatives aux bilans de matières nucléaires).

## R ATP Tabliers

Nous travaillons sur la caractérisation de situations à risque pour les "tabliers" du métro aérien (portion de voie entre deux piles de pont). Lorsqu'un train réalisant un freinage d'urgence croise un train en traction maximale sur un tablier, les efforts cumulés transmis par les trains au tablier peuvent représenter un risque : le train qui freine appuie sur l'amont, celui qui accélère appuie sur l'aval et les deux se cumulent, pouvant entraîner un déplacement du tablier. Afin de caractériser les situations à risque, nous commençons par détecter tous les croisements entre deux trains sur une période donnée. Sur une semaine entière d'exploitation de la ligne, nous détectons tous les croisements et calculons la décélération/accélération des deux trains. La situation qui nous intéresse est celle d'une accélération maximale versus un freinage d'urgence. Sur une semaine entière, sur une ligne entière de métro, il y a environ 150 situations à risque. Bien sûr, certains endroits sont plus propices à des freinages d'urgence que d'autres et la masse des voyageurs doit être prise en compte.

## Atlandes

La Société Atlandes gère la section de l'autoroute A63 qui s'étend de Salles en Gironde à Saint Geours de Marenne dans les Landes, soit 104 km. Elle a installé des capteurs sur les bretelles en sortie, pour compter les véhicules et en connaître la vitesse. Ces capteurs peuvent normalement détecter (vitesse négative) les véhicules ayant pris la bretelle à contre-sens.

Atlandes nous a confié l'analyse des données recueillies, pour déterminer si les capteurs fonctionnent correctement, ou bien si les contre-sens détectés sont des "fausses alarmes", résultant de dysfonctionnements de capteurs. Ce sujet s'insère bien dans notre programme de travail "dysfonctionnements d'équipements". Les premières investigations réalisées semblent montrer que les deux se rencontrent : il y a effectivement des dysfonctionnements, et il y a effectivement des véhicules à contre-sens. Le journal "Sud-Ouest", dans son numéro du 11 avril 2018, a annoncé ces vérifications.

## S GAMI

Nous avons un nouveau contrat avec le Secrétariat Général pour l'Administration, Ministère de l'Intérieur (SGAMI), Zone Est. Le Ministère de l'Intérieur dispose d'une application appelée "AGORRA" qui gère le trafic sur le réseau routier national lors des intempéries. Les restrictions de circulation temporaires et les mesures de gestion de trafic sont transmises en temps réel par AGORRA, ce qui permet de limiter les effets des perturbations sur le réseau routier national. Le SGAMI cherche à améliorer cette application en disposant d'une analyse externe, en ce qui concerne la logique de gestion des crises.

## R andom Walks

Nous avons poursuivi nos travaux concernant les marches aléatoires dans le plan (jeu de pile ou face), et obtenu des résultats nouveaux dans le cas où les fortunes initiales des deux joueurs sont différentes ; voir : [http://www.scmsa.eu/archives/BB\\_SRW.htm](http://www.scmsa.eu/archives/BB_SRW.htm)

Pourquoi nous soucions-nous de telles questions, alors qu'elles n'ont en apparence aucun intérêt pratique ? Tout simplement parce que le jeu de pile ou face est l'unique exemple (à des variantes près) d'une loi de la Nature qui peut être parfaitement axiomatisée, c'est-à-dire décrite au moyen d'un énoncé mathématique précis. Les conclusions qui en résultent sont intéressantes :

La Nature ne recherche pas des équilibres, mais procède à de vastes oscillations dont l'amplitude va croissant (contrairement à ce que croient les économistes et nombre de scientifiques).

L'avantage du plus riche décroît avec le temps. Ceci est conforme à ce que l'on observe historiquement : si un gros méchant attaque un petit, si le gros ne gagne pas rapidement, le combat s'enlise. Asymptotiquement, les probabilités deviennent égales.

La probabilité que A gagne est  $(F_A+1)/(F_A+F_B+2)$  (où  $F_A$  est la fortune de A) et non  $F_A/(F_A+F_B)$  comme on aurait pu le penser.

Même dans un cadre aussi simple, les démonstrations sont difficiles et requièrent des outils mathématiques très élaborés (utilisant davantage les séries trigonométriques et moins la combinatoire, comme on le fait habituellement). Les outils mathématiques dont nous disposons sont très imparfaits (Von Neumann avait déjà fait la même observation, dans les années 1950).

Il n'est pas étonnant, même sur des exemples simples, que les lois de la Nature nous soient si difficiles d'accès : elles ont été conçues par Satan pour son usage personnel, et il se soucie assez peu de l'usage que l'humanité peut en faire. Comme disait Voltaire (Candide) : "Quand sa Hautesse envoie un vaisseau en Egypte, s'embarrasse-t-elle si les souris qui sont dans le vaisseau sont à leur aise ou non?"