

La Lettre de la S.C.M.



Septembre 2025

Numéro 111

ISSN : 2112-4698

*La science invite l'homme à apprendre ; la religion l'invite à agir
Max Planck, autobiographie scientifique*

Éditorial par Bernard Beauzamy : Mutualisation des ressources

À chaque fois que nous traitons un contrat, pour quelque donneur d'ordre que ce soit, nous faisons la même recommandation : votre problème s'inscrit dans un ensemble plus vaste et il gagnerait à être traité en prenant du recul.

Prenons l'exemple concret, que nous avons rencontré récemment avec la RATP et la SNCF, d'un véhicule d'inspection des rails : la question est de savoir si les rails présentent des fissures. La détection n'est pas évidente, parce que les fissures peuvent être internes et donc invisibles de l'extérieur. Personne ne sait exactement comment elles naissent, ni comment elles évoluent. Si la fissure est apparente et dangereuse, la RATP et la SNCF remplacent le rail immédiatement ; sinon, différentes consignes sont données : on circule à vitesse réduite et on pratique de nombreuses auscultations ; c'est du bon sens.

La sécurité des voyageurs étant une préoccupation majeure, la RATP et la SNCF ont une politique extrêmement stricte : vigilance et remplacement, si bien qu'aucun accident ne s'est jamais produit. Dans certains cas, un opérateur humain marche le long de la voie et observe l'état des rails.

La méthode la plus utilisée pour la détection des fissures profondes est l'analyse par ultrasons. Mais EDF est confrontée au même problème (pour des tubes, non pour des rails) et un haut responsable du sujet nous a dit que la détection par ultrasons n'était pas fiable : elle dépend du type de fissure et une démonstration de sûreté sur ces bases a récemment été refusée par l'Autorité de Sûreté.

Pour la RATP et la SNCF, le besoin est vital ; les inspections sont nombreuses, mais 95% résultent en fausses alertes, parce que les dispositifs d'identification ne sont pas fiables. Il y aurait donc un gain évident, en termes d'économies de fonctionnement, à posséder des moyens de détection des fissures qui soient plus efficaces. Le point de vue que nous défendons est que ceci ne concerne pas seulement la RATP et la SNCF, mais s'inscrit dans un ensemble plus vaste, incluant de nombreux utilisateurs et des centres de recherche, comme nous allons maintenant l'expliquer.

Tout d'abord, nous ne pensons pas qu'il y ait de réelles préoccupations de confidentialité. Tout le monde sait que la RATP et la SNCF ont des rails, que EDF a des canalisations, et que tout ceci peut présenter des fissures. Le problème est connu de toute éternité.

La première difficulté que nous rencontrons, lorsque nous commençons à travailler sur ces sujets, est l'obligation de confidentialité : nous devons signer un NDA (Non Disclosure Agreement) au terme duquel nous nous engageons à ne révéler à personne que les entreprises de transport ferroviaire ont des rails.

Les ingénieurs de ces entreprises considèrent que leurs difficultés sont à traiter en interne ; ils ne voient pas, ils ne comprennent pas, que ces difficultés gagneraient à être résolues à un échelon beaucoup plus vaste, c'est-à-dire à être mutualisées. Mais ce changement d'échelon doit avant tout être accepté par la direction générale de chaque entreprise.

Posons donc le problème en toute généralité : nous voulons un véhicule d'inspection des rails qui fonctionne et nous voulons définir la stratégie d'exploitation : à quelle vitesse doit-il passer et avec quelle fréquence (tous les jours ? tous les mois ? tous les ans ?). Certainement, toutes les entreprises qui ont des rails ou des canalisations, dans le monde entier, sont intéressées par une réponse à ces questions.

Commençons donc par interroger les fabricants d'équipements de détection : ultrasons, courants de Foucault, etc. Tous nous assurent : nos équipements fonctionnent parfaitement et nous garantissons absolument toute détection ; vous pouvez passer à toute vitesse, vous pouvez même survoler à haute altitude, nous sommes sûrs de détecter.

Interrogeons maintenant les scientifiques qui travaillent sur ces questions : contrôle non destructif, traitement de l'image, etc. Même son de cloche : nos méthodes d'investigation sont parfaites, aucun problème ; cette question, scientifiquement parlant, est résolue depuis longtemps.

Comment se fait-il, dans ces conditions, que les inspections menées par la RATP et la SNCF se traduisent par 95% de fausses alertes, et comment y remédier ?

Comme nous allons le voir, le problème n'est pas scientifique : c'est un problème de société. Nous sommes dans une époque où chacun clame ses convictions et où le retour à la Nature, sous forme de validations, est inconnu et considéré comme absurde, inconvenant. Les spécialistes des sujets concernés font état de quantité de thèses, de colloques, de publications, qui leur permettent d'affirmer qu'ils maîtrisent complètement le sujet ; d'un autre côté, les utilisateurs restent sur leur faim et, dans ce cas précis, sont obligés d'envoyer un homme marcher le long des voies.

Bernard Beauzamy

Expérimentation

Nous avons très souvent rencontré cette situation : sur un sujet donné, les scientifiques assurent que leur solution est parfaite, mais le besoin demeure ; les utilisateurs sont insatisfaits. La seule solution en pareil cas est le retour à l'expérimentation, qui est politiquement très incorrecte de nos jours : on préfère avoir recours à la simulation, au jumeau numérique et autres joyeusetés, qui ne prouvent absolument rien.

Rappelons le "Grand Challenge" organisé par la DARPA (Defense Advanced Projects Agency : agence des projets avancés du ministère de la Défense, aux USA) en 2004 : il concernait la robotique mobile.

Les équipes académiques, les fabricants d'équipement, étaient unanimes : nos robots autonomes savent tout faire et vont partout. La DARPA les a pris au mot et a organisé un concours : faites en sorte que vos robots parcourent quelques centaines de km dans le désert Mojave, en toute autonomie. Malgré les rododromes, la première année, le meilleur robot n'a pu parcourir que 7 miles avant de s'effondrer, prouvant ainsi que la robotique mobile était loin d'être au point, en dépit des assertions des scientifiques et des fabricants.

C'est exactement ce que nous devons faire dans le cas qui nous occupe : nous n'aurons pas besoin de centaines de km dans le désert Mojave ; il nous suffira de nous doter d'une voie abandonnée, sur laquelle nous mettrons toutes sortes de rails, dont nous savons d'avance qu'ils ont des fissures ; nous savons de quelles fissures il s'agit et où elles sont situées. Pour cela, il suffit de récupérer des rails mis au rebut par la SNCF et la RATP. Quant à la voie abandonnée, il suffit de la demander à la SNCF.

Sur un sujet de ce type, EDF dispose déjà de bases de tests comportant des canalisations qu'elle sait endommagées et sur lesquelles les appareils de détection sont essayés.

L'expérimentation paraît simple à réaliser : il suffit d'équiper une voie désaffectée, abandonnée par la SNCF ; aucune autorisation administrative n'est nécessaire et les riverains n'ont aucune raison de se plaindre.

Pourquoi n'est-elle pas déjà mise en œuvre ? La réponse est simple : elle se heurtera à l'opposition en interne de tous les ingénieurs et techniciens en charge de ces questions, pour qui tout changement risque de déboucher sur une remise en cause de leurs méthodes de travail. Elle se heurtera par principe à l'opposition de tous les scientifiques et de tous les fabricants d'équipement, qui sont parfaitement satisfaits du statu quo, qui leur permet d'affirmer que tout fonctionne. Comme en outre toute expérimentation est politiquement incorrecte à l'heure actuelle, quel que soit le domaine, elle sera combattue par le pouvoir politique. Elle ne pourra donc résulter que d'une décision ferme émanant de la Direction Générale des entreprises concernées, qui auront décidé que le sujet est important et qu'il faut constituer un consortium susceptible de le porter.

Constituer un consortium

Ici, nous tombons sur un mode de fonctionnement auquel les entreprises ne sont absolument pas habituées : partager leurs préoccupations avec d'autres et mutualiser des ressources. Pourtant, elles ont l'habitude d'acheter des équipements dans le commerce (équipements informatiques, par exemple) et de faire appel à des prestataires banalisés (livraisons, approvisionnements, etc.).

Mais elles considèrent que les fissures dans les rails sont du domaine privé, réservé, intime en quelque sorte : des données qu'il ne faut absolument partager avec personne. C'est cette difficulté psychologique qu'il faut lever.

Concentrons-nous sur les rails, en laissant de côté les canalisations (qui pourtant relèvent de la même préoccupation). Il est évident que les entreprises de transport au Brésil et en Tasmanie ont les mêmes préoccupations en ce qui concerne l'état des rails et seraient intéressées par une recherche commune. Bien sûr, il peut y avoir des différences : l'écartement n'est pas le même, l'acier non plus, ni les modes de pose de la voie. Mais tout de même il y a un intérêt commun. Si un consortium se crée, il aura intérêt à se faire connaître dans tous les pays, en disant : messieurs, nous sommes à votre disposition pour créer des voies expérimentales avec vos caractéristiques, tester vos rails, vos équipements, et dégager de tout cela des conclusions qui seront d'intérêt pour tout le monde. C'est typiquement le genre de sujet sur lequel une collaboration internationale est envisageable ; il n'y a pas derrière de secrets de fabrication, comme pour l'énergie nucléaire !

Bien sûr encore, peuvent s'associer au consortium toutes les villes qui gèrent ou font gérer des réseaux de transport sur rails : métros, tramways, etc.

Définir un véhicule

Prenons l'hypothèse où la RATP et la SNCF veulent améliorer les inspections. Elles n'ont pas la capacité en interne pour faire de la recherche sur la détection de fissures et ce n'est pas leur métier. Selon le schéma que nous préconisons, elles vont donc se contenter de lancer un Appel d'Offres (c'est le terme juridiquement consacré) disant : "Messieurs, nous disposons de voies sur lesquelles nous savons que les rails sont endommagés (ce sont les voies expérimentales dont nous parlions précédemment) ; veuillez les utiliser pour nous démontrer la validité des équipements que vous nous proposez. Nous retiendrons pour notre exploitation (et pour toutes celles des institutions partenaires) les véhicules qui auront fait leurs preuves. Vous veillerez en outre à bien définir les conditions d'exploitation (vitesse, etc.)."

Bien entendu, l'expérimentation se fait aux frais des équipementiers, la RATP et la SNCF se contentant d'une mise à disposition des voies. Le coût d'un tel appel d'offres est donc voisin de zéro pour la RATP et la SNCF.

Ensuite, les équipementiers se retournent vers les scientifiques : "Messieurs, veuillez nous aider à définir les méthodes d'auscultation : sont-ce les ultrasons, les Courants de Foucault ou autre chose ? C'est à vous, qui avez les connaissances théoriques, de nous aider à faire les choix appropriés". Le type de contrat que les équipementiers peuvent passer avec les scientifiques ne concerne en rien la RATP ou la SNCF ; il sera bon pour les scientifiques de se voir confrontés à un besoin réel et d'être jugés sur autre chose que le nombre de leurs publications.

Un programme de ce genre ne réclame pas de fonds importants, ni de recherche scientifique d'envergure : il suffit simplement de tester ce qui existe déjà et d'en déterminer les limites de validité, comme l'a fait la DARPA pour la robotique mobile. Ce n'est pas de la recherche ; cela ne concernera pas un thésard et le projet doit aboutir en quelques mois, disons six au maximum.

Comme nous l'avons déjà dit, la principale difficulté est culturelle : le programme suppose un retour à l'expérimentation, c'est-à-dire une confrontation avec les lois de la Nature, ce dont nous avons aujourd'hui totalement perdu l'habitude.

Orano et les méthodes probabilistes

Nous poursuivons le travail pour Orano ; il s'agit de mieux comprendre les propriétés d'un process industriel. Pour le moment, nous travaillons sur données simulées : des signaux sont enregistrés et on veut savoir si ces signaux sont à peu près semblables ou radicalement différents. Ce type de problème est difficile à résoudre par les méthodes déterministes usuelles, pour lesquelles on fixe un seuil et on compare à ce seuil. Pour prendre un exemple imagé, si on cherche à savoir si des humains sont semblables par la taille ; on décide que oui si la différence de taille est inférieure à 5 cm, non dans le cas contraire. On est alors tributaire du choix du seuil et des incertitudes de mesure.

Les méthodes probabilistes, au contraire, permettent une approche plus complète, plus robuste : on détermine la loi de probabilité du signal et on voit comment elle évolue dans le temps. Contrairement à ce qu'on croit souvent, les méthodes probabilistes permettent d'apporter des réponses déterministes à des questions du quotidien. C'est ainsi que, l'an passé, nous avons répondu à une question du maire de Villiers le Bâcle concernant le besoin de rénovation des systèmes d'évacuation des eaux usées.

Récemment, Framatome a lancé un programme de recherche sur dix ans, dans le domaine CFD (Computational Fluid Dynamics). Il y est dit qu'il faut mieux comprendre le processus physique et calculer plus vite. A aucun endroit du projet la prise en compte des incertitudes n'est mentionnée.

Une telle approche, pour fréquente qu'elle soit, n'est pas pertinente et ne peut produire aucun résultat. Les phénomènes en question sont très complexes et dépendent d'autres phénomènes, que l'on ne comprend pas non plus et sur lesquels on ne dispose d'aucune mesure. Les codes de calcul qui vont être réalisés seront factices (c'est-à-dire feront des hypothèses non justifiées sur les lois physiques sous-jacentes, puisqu'on ne les connaît pas) et seront alimentés par des données générées de manière arbitraire, puisque la mesure en vraie grandeur est impossible : on a recours à des simulations. On se retrouve avec un outil d'aide à la décision qui est entièrement factice : il décrit ce qu'on croit connaître des lois de la Nature.

Lorsqu'on dispose d'un tel code de calcul, incorporer les incertitudes devient impossible, tant l'espace des configurations est important. C'est le sens de notre article conjoint avec Giovanni Bruna, ancien directeur scientifique de l'IRSN ; l'article est disponible ici :

https://www.scmsa.eu/archives/Methodes_probabilistes_demonstrations_surete_BB_GB_2024_05_20.pdf

Bien sûr, on peut souhaiter améliorer la compréhension des phénomènes physiques, mais en aucun cas cette description ne doit résulter en une production factice ; le résultat doit rendre compte des limites de la connaissance, c'est-à-dire les incertitudes. Cette préoccupation est malheureusement très rare aujourd'hui.

En réalité, pour toutes ces investigations et en particulier pour la rédaction des démonstrations de sûreté, on a besoin seulement d'une compréhension grossière du phénomène. Prenons un exemple frappant pour faire comprendre ceci.

Les Romains ont construit le pont de Sommières, sur le Vidourle, au 1^{er} siècle av JC. Le Vidourle est normalement un ruisseau, presque à sec, mais il peut avoir des crues considérables, dépassant alors la Seine en crue ! Comment construire un pont dans ces conditions ? Le pont tient encore de nos jours.

Les Romains n'avaient pas, à la différence de Framatome, de logiciels de computational fluid dynamics ; ils n'avaient aucun moyen de mesurer en permanence le niveau atteint par le Vidourle et d'en déduire le débit. Ils ne disposaient d'aucun retour d'expérience (la présence romaine à cet endroit datait d'une cinquantaine d'années) ; à la différence de Framatome, ils ne disposaient pas d'ingénieurs issus des meilleures écoles et spécialisés dans le calcul haute performance. Ils n'avaient pas de calcul haute performance, et ils n'avaient pas même l'électricité. Mais, à la différence de Framatome, ils avaient du bon sens. Comment ont-ils procédé ?

C'est fort simple : ils ont observé sur les parois de la vallée les traces laissées par les crues antérieures et s'en sont servis pour dimensionner le pont. Il fallait y penser ; comme dit un proverbe latin : "Non licet omnibus adire Corinthum".

SNCF

Nous avons terminé un travail pour SNCF/Réseau : il s'agit d'anticiper les dépassements de coûts susceptibles d'affecter les programmes futurs. En effet, sur tous les programmes industriels d'ampleur, il est fréquent d'observer des accroissements de coûts et de délais : sont-ils prévisibles ?

Une approche rationnelle consiste à se doter d'un historique : on voit quels sont les programmes qui ont été affectés, dans quelle mesure et pour quelle raison. C'est ce que nous avons fait il y a quelques années pour Espaces Ferroviaires (filiale de la SNCF en charge des programmes immobiliers) : nous avons recensé tous les risques que rencontraient ces programmes, avec les conséquences à chaque fois, tout ceci à partir d'un historique.

La situation présente était moins favorable : les données étaient très pauvres et notre rôle consistait à choisir entre quelques lois de probabilités, qui avaient d'office été programmées sans que la question de la pertinence soit posée. En outre, une erreur fondamentale a été commise, consistant à croire que les risques sont indépendants : en pratique, ils ne le sont pas, et divers ennuis peuvent affecter tout un ensemble de programmes. Or, si vous traitez 100 projets, chacun présentant un risque de dépassement évalué à 1 million d'Euros, si vous acceptez une hypothèse d'indépendance, votre risque global est $\sqrt{100} = 10$ millions d'Euros, tandis que si tous les programmes sont affectés, le coût total sera 100 millions d'Euros : on voit la différence.

Création d'une nouvelle entreprise

Nous avons créé une nouvelle entreprise, sous le nom de Société d'Etudes et de Conseils Mathématiques, SAS. Son rôle va être de commercialiser les ouvrages de notre collection "les mathématiques du réel", ainsi que les futurs ouvrages. Elle proposera en outre des prestations pour lesquelles la demande est importante, mais qui ne relèvent pas des mathématiques, en particulier la constitution et l'exploitation de bases de données.

Les actionnaires de la SAS sont au nombre de 25 ; ils présentent ces caractéristiques : ils sont tous blancs, mâles, ont été élèves de l'Ecole polytechnique (promotions antérieures à 86) et ont tous acheté des livres de notre collection. A ceux qui estimerait que les contraintes de biodiversité ne sont pas respectées, nous répondrons aimablement que rien ne les empêche de créer une entreprise dont les actionnaires seront des chimpanzés femelles.

La SCM continuera bien entendu à s'occuper des études à caractère mathématique. On note globalement un regain d'intérêt pour les questions touchant à l'asset management (gestion des ressources, par exemple équipements), voir plus bas.

Atlandes SA

Nous commençons une nouvelle étude à la demande de Atlandes SA (autoroute A63) ; elle porte sur la gestion du patrimoine ("asset management"), qui est le sujet le plus important, à l'heure actuelle, pour toutes les entreprises. Voir plus bas le paragraphe "collaboration internationale".

Précision utile : un projet soumis à Atlandes SA le 23/09/2025 à 15 h 44 a été accepté le même jour à 17 h 06, soit 82 minutes plus tard, ce qui constitue un record. On aimerait que les filières industrielles, en général, s'inspirent de cet exemple. Pour la filière nucléaire, en particulier, la vitesse de propagation des projets au sein de l'administration est celle du neutron lent dans la chouchoute avariée et encore si tout va bien.

Parution

M. Michel Baudry, Professeur, Western University of Health Sciences, Pomona, California, USA, nous prie d'annoncer la publication de son livre "The Silent Epidemic: Quest for a Cure", disponible sur Amazon et Barnes & Noble.

Parution prochaine

Un nouveau livre de Bernard Beauzamy paraîtra prochainement, sous le titre "Meurs vieux lâche, il est trop tard" (vers de Baudelaire). Il explique que les principes fondamentaux sur lesquels repose notre civilisation, à savoir le développement durable, le principe de précaution et le principe de moindre réflexion, sont des sottises qui mènent à l'effondrement.

Extrait : "On sait qu'une ellipse réfléchit les signaux émis par l'un des foyers : ils parviennent à l'autre foyer. Il en est de même de notre civilisation : les signaux émis par le pôle "sottise" parviennent, après réflexion, au pôle "lâcheté", et inversement : lorsque les lâches veulent quelque chose, les sots ont à cœur de répondre à leur demande."

Le livre devrait être disponible avant Noël et il sera imprimé par Normandie Roto, Alençon, comme tous les ouvrages de notre collection "les mathématiques du réel". Le prix de vente devrait être de 25 € TTC.

Archimède

Conférence de Bernard Beauzamy, à l'initiative de la SABIX (Société des amis du musée, de la bibliothèque et de l'histoire de l'École Polytechnique) : Archimède : idées modernes, le jeudi 2 octobre 2025, 18 h 30. On peut assister en présentiel (dans les locaux de la SCM) ou bien participer à la diffusion par Teams. Dans les deux cas, il faut s'inscrire : voir https://www.scmsa.eu/archives/BB_conf_Sabix.pdf.

Attention : la SCM est "blacklistée" sur les réseaux email de polytechnique, à savoir polytechnique.org et m4x.org, voir plus bas. Si vous essayez de vous inscrire par email, à partir de l'une de ces adresses, vous ne recevrez pas de confirmation d'inscription.

Un résumé de nos deux livres sur Archimède a été fait par Jacques Léger ; ce résumé est disponible ici : https://www.scmsa.eu/livres/Resume_J_Leger_Archimede.pdf

Association des anciens élèves de l'X

Depuis 2010, nous sommes "blacklistés" sur les réseaux polytechnique.org et m4x.org, soit depuis 15 ans, pour avoir voulu faire connaître nos ouvrages de probabilités à la communauté des polytechniciens : nos emails sont stoppés par les filtres antispam. On aurait pu croire un moment que l'arrivée d'une nouvelle déléguée générale à la tête de l'AX permettrait le retour au bon sens, mais ce n'est pas le cas.

Ce blocage s'applique même à l'annonce des conférences sur Archimède, organisées par la SABIX, voir plus haut.

Collaboration internationale

Nous pensons que, sur de nombreux sujets, les progrès scientifiques doivent passer par une collaboration internationale : il y aura ainsi davantage de compétences et davantage de données. Les mathématiques s'y prêtent particulièrement bien, puisqu'elles sont non-brevetables. En outre, depuis Archimède, les mathématiciens ont constamment développé des réseaux de collaboration, avec un vocabulaire commun. Mais bien d'autres disciplines sont concernées, y compris par exemple la physique nucléaire si on reste à un niveau théorique.

Le sujet qui nous paraît prioritaire est le maintien en condition opérationnelle des équipements, ce qu'on appelle gestion du patrimoine ou "asset management". Il requiert une estimation probabiliste de la durée de vie des équipements.

Nous l'avons présenté à S. Exc. Alexey Meshkov, Ambassadeur de la Fédération de Russie en France, lors de l'entretien qu'il nous a accordé en février dernier, et nous sommes invités à Moscou fin août pour le présenter. Sur ces sujets, la plus grande partie des méthodes mathématiques nécessaires a été introduite par les mathématiciens russes du début du 20ème siècle (Kolmogorov, Smirnov, Khintchine, etc.), dans un cadre purement académique, qu'il importe maintenant de valider.

Nous avons également présenté ce projet à plusieurs autres ambassades et nous avons un rendez-vous avec l'ambassade du Brésil fin septembre.

Pour nous, il ne s'agit pas d'une collaboration académique, qui se traduirait par une production de publications. C'est le système qui est en place actuellement, et il fonctionne très mal, parce que personne ne sait réellement ce que valent ces publications.

Il s'agit de partir d'un besoin concret, par exemple l'état des équipements des métros de Brasilia, Moscou, Paris, et d'apporter une réponse concrète, sous la forme d'un plan d'inspection et de renouvellement, qui sera élaboré par une équipe internationale.

Il n'y a aucune difficulté scientifique à réaliser un tel programme, ni aucune difficulté économique. Il y a bien sûr des blocages politiques et surtout culturels. Les blocages politiques peuvent être ignorés : les mathématiciens ont l'habitude des collaborations internationales et notre discipline ne peut être l'objet d'aucune restriction d'aucune sorte. Les blocages culturels sont plus sérieux : tous les pays ont développé des formes de chauvinisme, qui limitent les possibilités d'ouverture. On est loin de ce vers de Baudelaire "Frères qui trouvez beau tout ce qui vient de loin" ; ce serait plutôt cette vieille formule américaine "Not Invented Here".