



HAL
open science

Les problèmes de maintenance dans l'industrie : un symptôme, mais de quoi ?

Michel Villette

► **To cite this version:**

Michel Villette. Les problèmes de maintenance dans l'industrie : un symptôme, mais de quoi ?. Gérer et Comprendre. Annales des Mines, 2023, 152, pp.39-44. halshs-04758828

HAL Id: halshs-04758828

<https://shs.hal.science/halshs-04758828v1>

Submitted on 30 Oct 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les problèmes de maintenance dans l'industrie : un symptôme, mais de quoi ?

Entretien avec Pierre MESSULAM

Par Michel VILLETTE
Sociologue

La dégradation de la qualité de la maintenance dans les industries de réseau se traduit par une multiplication des incidents, des pannes, et des arrêts de production. Cet entretien, fondé sur l'expérience professionnelle de Pierre Messulam, tente de saisir les ramifications causales de cette dégradation, symptôme d'un problème systémique de la société technologique du XXI^e siècle, particulièrement en France. La conjonction de transitions économiques, démographiques et techniques mal anticipées et mal gérées, aussi bien par le système éducatif que par les services publics de transport et d'énergie, ont conduit à une perte de savoir-faire. Le recours massif à la sous-traitance, les réductions d'effectifs touchant en particulier les agents de maîtrise, le report des investissements de renouvellement des actifs, et l'espoir magique mis dans des solutions numériques ont pu masquer pendant un temps les tendances de fond de dégradation des systèmes sociotechniques. Or, les outils de métrologie et de modélisation saisissent imparfaitement le réel. Les écrans d'ordinateur ne montrent que des corrélations entre des données. Et un cahier des charges même très précis ne peut pas dire tout ce qu'il faut faire pour que ça marche.

Pierre Messulam, normalien, docteur en mathématique et membre du corps des Mines, est entré à la SNCF en 1989, après une première expérience dans le nucléaire, pour diriger le service « facteurs humains ». Il a alors complété sa formation par des études de psychologie auprès de Christophe Dejours, au CNAM (Dejours, 1980). Il a terminé sa carrière comme membre du comité exécutif de la SNCF, en tant que directeur délégué pour la gestion des risques, la sécurité (audit et analyse des accidents), et la sureté.

Sur la base de cette expérience professionnelle, il a souhaité aborder le sujet de l'appauvrissement, depuis une quinzaine d'années, des capacités d'observation et d'intervention des équipes opérationnelles chargées de la maintenance industrielle.

Avant de revenir sur les causes multiples de cet appauvrissement, je lui ai demandé d'en souligner la gravité et les conséquences :

Pierre Messulam : « ... Ce qui se joue, c'est l'incapacité accrue des acteurs et des collectifs de travail à percevoir suffisamment tôt les signes de la dégradation d'un système technique. »

Michel Villette : En quoi cette perte de savoir-faire est-elle grave ?

« Elle est importante, parce que cette vigilance perdue était le garant de la sécurité et de la fiabilité des systèmes industriels. Elle permettait d'éviter des pannes, voire des accidents. Pasteur (1854) disait "savoir s'étonner à propos est le premier pas fait sur la route de la découverte". Sans observation correcte et attentive des phénomènes, on ne peut réagir à temps, et on ne déclenche pas les mesures préventives. Des décisions prises sur la base d'informations atrophiées ou incomplètes, trop loin du terrain, peuvent se révéler *a posteriori* inutilement coûteuses, inadaptées aux besoins, voire trop tardives par rapport à des situations critiques. »

Autrement dit, si l'on prend des décisions sur la base des informations présentes sur un écran d'ordinateur, sans aller suffisamment observer la matérialité des choses, et sans s'appuyer sur le savoir pratique de ceux qui sont en contact quotidien avec les dispositifs techniques, on peut faire de lourdes erreurs...

« C'est exactement ça. Aujourd'hui, beaucoup de décisions sont prises uniquement sur la base des données fournies par des tableaux Excel, sur la base de statistiques, ou en application de normes et de procédures, et plus suffisamment à partir d'observations directes. On ne se déplace plus assez pour aller voir de près les lieux où seront faits de coûteux investissements, ou les composants défaillants dans leur environnement. »

Manque d'investissement, réduction des coûts de maintenance et rupture entre générations

C'est du point de vue d'un ingénieur que vous nous parlez de la perte de savoir-faire pratique des équipes, mais ne faut-il pas introduire aussi quelques considérations financières sur le coût de la maintenance ? Ne faut-il pas expliquer pourquoi des investissements nécessaires n'ont pas été réalisés, ou pourquoi le personnel a été prématurément mis à la retraite et non remplacé à temps, lorsque les problèmes de maintenance allaient en s'aggravant comme le signalaient des rapports d'experts malheureusement trop peu écoutés (Rivier et Putallaz, 2005 ; Crozet et Raoul, 2011 ; Putallaz et Tzieropioulos, 2012) ?

« Il faut commencer par rappeler le contexte des années 1990-2015 ; les directions générales des grands réseaux étaient confrontées à plusieurs contraintes nouvelles :

La montée des déficits publics conduisait à limiter les investissements, alors que dans le même temps, toutes les villes voulaient leur gare de TGV et invoquaient l'égalité entre les territoires. Cette demande politique poussait à l'extension des réseaux, sur des segments de moins en moins rentables, alors même que les gouvernements successifs, s'inspirant du modèle anglais, cherchaient à moins subventionner les *utilities* et en particulier les chemins de fer.

À la même époque, la haute fonction publique connaissait un exode sans précédent de compétences : de nombreux jeunes hauts fonctionnaires préféraient entrer dans le secteur privé, devenir *traders* ou fonder une *start-up*, plutôt que de suivre une carrière lente dans le contrôle des chaussées, des ponts ou des centrales nucléaires. Cette fuite des cerveaux a progressivement érodé les capacités d'analyse et de contrôle des tutelles étatiques. L'administration et les directions générales des entreprises publiques se sont alors tournées vers des cabinets de conseil, soit pour justifier les réductions de coûts, soit pour tenter de s'en défendre.

Ces quelques éléments peuvent expliquer comment la gouvernance s'est progressivement déplacée d'un centrage sur la technique vers un centrage sur les questions financières et juridiques, si bien qu'en France en particulier, et à la différence de ce qui s'est passé en Allemagne dans les années 1970-1990, on a usé jusqu'à la corde les actifs que la génération précédente avait développés. C'est vrai dans le domaine ferroviaire, et plus récemment dans le domaine routier, c'est vrai aussi dans le domaine de l'énergie : les grands barrages, le parc nucléaire, le réseau haute tension, le réseau gazier. À partir des années 1990, et pour réduire les coûts, on a réduit les investissements de renouvellement des actifs. Comme le parc d'équipements était relativement récent, les conséquences de ces décisions sont passées inaperçues dans un premier temps, et le volume des charges de maintenance n'a pas beaucoup augmenté dans les années qui ont suivi ces décisions. Mais au fil du temps, les équipements ont vieilli, et les charges de maintenance ont augmenté alors même que l'on cherchait à réduire les coûts de maintenance en réduisant le personnel et en recourant à la sous-traitance. Aujourd'hui, avec des réseaux et des outils de production vieillissants, on se trouve devant un mur d'investissements à réaliser en

urgence. Brusquement, il faut investir des dizaines de milliards pour remettre les actifs au niveau de fiabilité et de disponibilité attendu par toute la société et par les entreprises clientes. Comme les ressources financières sont limitées, il faut choisir ce que l'on fait et à quel moment le faire pour éviter les pannes et les incidents.

Les gens de métier savaient que c'est par l'observation sur le terrain que l'on peut surveiller la dégradation du matériel, et déceler les réparations indispensables et urgentes. Or, les anciens agents de maîtrise sont partis massivement à la retraite, souvent la rage au cœur : à la fois pour des raisons démographiques liées aux recrutements de la reconstruction (1947-1962) puis du développement des grands réseaux entre 1970 et 1990, et par une recherche de simplification des organisations en supprimant des échelons hiérarchiques.

Faute de mentors pour les former, les nouveaux embauchés comprennent mal les vieilles installations et les vieux systèmes, et ils peinent à diagnostiquer la dégradation des nouveaux. La nouvelle génération, livrée à elle-même, espère résoudre ce déficit du "savoir-observer" par la digitalisation, mais il lui manque la méthodologie qu'avait acquise la génération précédente pour se confronter efficacement à l'étrangeté de la matérialité des choses. Observer des phénomènes d'usure, de corrosion, comprendre des vibrations, c'est tout un art qui commence par l'observation directe guidée par un corpus de connaissances théoriques et de méthodes, et avec un esprit de curiosité : pourquoi ce phénomène qui *a priori* n'a pas de raisons de se produire est-il en train d'arriver ?

Les directions générales ne se sont pas rendues compte des conséquences à long terme des coups d'accordéon dans les départs en retraite et les embauches, car le délitement des compétences collectives s'est réalisé sur quinze ou vingt ans.... Et l'embauche massive de bac +2 comme opérateurs n'a pas pallié ce délitement : les BTS ont un meilleur bagage conceptuel initial de départ, mais ont encore à apprendre à observer. Un simple agent d'exécution, pour peu qu'il ait du métier, qu'il ait été formé par des anciens, et qu'il ait "le coup d'œil" comme on dit, voit des choses qu'un jeune technicien ou ingénieur, aussi bien formé soit-il, ne saura pas encore remarquer en début de carrière. »

Les solutions proposées par les gestionnaires à la crise de la maintenance

Que disent aujourd'hui les experts, les managers et les consultants sur la manière de résoudre ce problème de perte de savoir-faire en maintenance des installations industrielles ? Quelle est la vulgate en la matière ?

« Les solutions actuellement préconisées sont largement l'expression du point de vue des financiers et des experts en systèmes d'information. Toujours plus de capteurs pour mesurer l'état des installations, toujours plus de données quantifiées, toujours moins d'interventions humaines.

Le traitement statistique des *big data* est supposé fournir une solution à la fois plus précise, plus efficace, et moins coûteuse que la maintenance classique à base de savoir-faire humain. Non seulement on

met des capteurs partout, mais l'on croit n'avoir plus besoin de faire autant d'observations directes, ni de s'interroger sur ce qu'il convient de mesurer. Le *big data* et l'intelligence artificielle seraient la solution. Les corrélations calculées sont censées fournir automatiquement la liste des mesures à prendre, en enjambant l'étape de l'observation et de la modélisation.

À mon avis, cette vulgate s'avère largement inopérante. On met des capteurs partout mais sans se demander suffisamment : où les mettre ? Pour mesurer quoi ? Comment ? Avec quelle fréquence ? Et surtout, avec quel degré d'incertitude et quelle marge d'erreur ? Pour informer qui ? Et avec quelle capacité d'intervention ? La réflexion méthodologique, qui devrait passer avant le rouleau compresseur du *big data*, est trop souvent négligée. »

Parallèlement à la digitalisation, n'y aurait-il pas un second phénomène à l'œuvre : le recours massif à la sous-traitance ? La manière dont sont établis les contrats par les donneurs d'ordre implique souvent un strict respect du cahier des charges. Les contrôles assortis de pénalités obligent le personnel des sous-traitants à s'en tenir strictement au travail prescrit. Il n'y a plus de marge de manœuvre et de négociation pendant l'exécution du travail.

« La sous-traitance s'est développée pour avoir plus de flexibilité dans la gestion de la main-d'œuvre et pour baisser les coûts, car elle emploie des personnels moins qualifiés donc moins bien payés, pour exécuter des tâches simplifiées, contrôlables par les agents du donneur d'ordre. Ces personnels sous-traitants n'ont pas la même relation de long terme avec les installations. Ils peuvent laisser passer des défauts qui ne sont ni compris, ni signalés.

Même si les tâches de sous-traitance sont correctement effectuées, elles peuvent avoir été mal définies par le donneur d'ordre, ou difficiles à vérifier *a posteriori*. La conception et la vérification de travaux sous-traités supposent des contrôleurs aguerris, connaissant la technique et sachant observer. S'ils ne font qu'un contrôle formel de conformité, on peut passer à côté de sérieux problèmes. »

Et que pensez-vous des transformations qui ont été apportées aux procédures internes d'organisation de la maintenance au cours des années récentes ?

« Ce point est très important. L'assurance qualité développée depuis les années 1990 est censée apporter une réponse à ces transformations : moins de contrôles tatillons, plus de responsabilisation du sous-traitant. Mais elle ne peut répondre à la question centrale des aptitudes à l'observation de ceux qui sont au contact des objets physiques.

On peut optimiser la maintenance en faisant moins de contrôles et moins d'interventions d'entretien systématiques, mais il faut que l'on puisse tout de même garantir la qualité de fonctionnement à court et long terme.

Le gestionnaire qui prend la décision de faire des économies n'a pas nécessairement une connaissance suffisamment précise de l'historique des pannes pour savoir comment se comportent les matériels, et comment se produit l'usure ou la casse. Il ne sait plus toujours à quoi faire attention, car ce savoir sur l'historique des matériels était réparti dans la mémoire des contremaîtres et des techniciens de maintenance

partis en retraite. Les référentiels techniques ne suffisent pas, car ils ne sont jamais que la traduction forcément incomplète et fossilisée du savoir technique vivant.

Les gestionnaires en quête de réduction des coûts ont pu voir dans la défense des savoirs pratiques et implicites des opérateurs une forme de résistance nostalgique, une « idéologie défensive de métiers » (Dejours, 1980), mais en les écartant, ils n'ont pas vu les conséquences techniques sous-jacentes.

Lorsque les installations dépassent un certain seuil de vieillissement, des problèmes nouveaux apparaissent, avec des faciès inconnus jusque-là. Il faut alors imaginer des solutions de maintenance qui ne se trouvent pas dans les référentiels et les procédures. »

Enfin, on a réduit les effectifs de maintenance au moment précis où les problèmes se multipliaient, et l'on a confié le travail à des sous-traitants qui n'avaient pas une connaissance approfondie des matériels et de l'historique de leur vieillissement.

« C'est tout à fait ça. Et en plus, ces sous-traitants n'avaient ni l'expérience, ni l'obligation contractuelle d'alerter sur des faits d'observation hors du cadre strict de leur mission. »

Pourriez-vous fournir aux lecteurs de *Gérer & Comprendre* des éléments chiffrés, synthétiques, sur la crise de la maintenance et la dégradation des systèmes sociotechniques dont vous nous parlez (voir le graphique page 42) ?

« La dégradation de la maintenance apparaît par l'augmentation des défaillances et des incidents. Le problème, c'est que l'on ne sait pas dire si les défaillances augmentent parce que le matériel est plus vieux, ou parce qu'il est moins bien maintenu. Les deux facteurs s'entremêlent. Cependant, lorsque l'on fait l'analyse d'un incident particulier, on voit souvent apparaître des problèmes humains et organisationnels qui expliquent la défaillance. On peut alors dire avec certitude : voici ce qu'ils n'ont pas vu et qu'ils auraient pu voir, sentir, ou mesurer, pour éviter l'incident. »

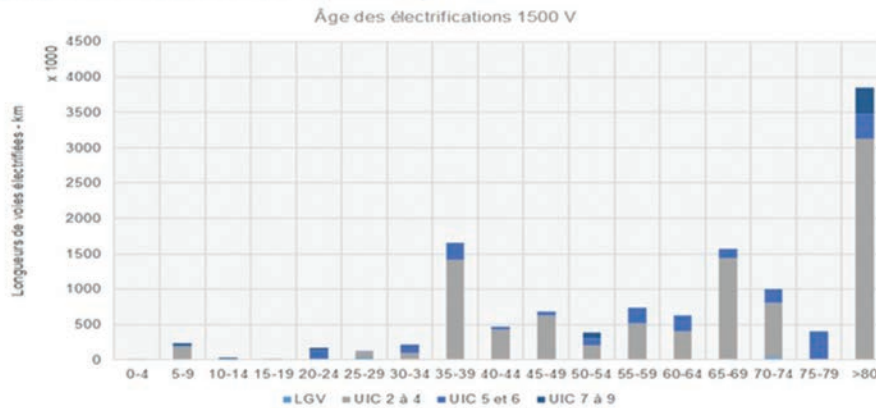
Trois exemples d'incompréhension des problèmes techniques

Pourriez-vous tirer de votre expérience quelques cas précis, afin que l'on comprenne bien ce que vous avez défini en introduction comme un appauvrissement des capacités d'observation des équipes opérationnelles chargées de la maintenance industrielle ?

« On peut commencer par un événement spectaculaire : l'écroulement du pont de Morandini en Italie. Voilà un pont qui vibrait depuis un bon moment. N'importe quel ingénieur de génie civil lorsqu'il observe un tel régime vibratoire devrait savoir que l'on s'approche d'une sollicitation qui peut entraîner la ruine de l'ouvrage. La réaction a été trop tardive et pas assez fondée sur des mesures physiques. Le pont s'est écroulé avant les travaux prévus (Keefe *et al.*, 2022).

Lorsque la SNCF a ouvert le TGV Méditerranée en 2001, elle a décidé de monter la vitesse des TGV de 270 à 300 kilomètres par heure. Au bout de trois mois, des caténaires ont commencé à casser sur cette ligne. Les responsables ont pensé que c'était parce que la maintenance n'était pas assez bien faite. Jeune ingénieur, j'ai pris l'initiative d'aller voir sur

Âge des caténaires 1500V (réseaux sud est et sud ouest de la SNCF)



LGV = lignes à grande vitesse ; UIC 2 à 4 : grandes lignes nationales ; 5 et 6 : lignes intercity régionales ; 7 à 9 : petites lignes.

place. J'ai demandé aux agents de maîtrise de me montrer les pièces cassées. J'ai vu immédiatement qu'il s'agissait d'un cas typique de rupture par fatigue. J'ai demandé aux opérateurs s'ils avaient observé des vibrations. Ils m'emmenèrent alors avec eux pour observer le passage d'un TGV à 300 kilomètres par heure. Nous avons vu et senti vibrer les caténaires, et compris pourquoi elles se brisaient à certains points bien particuliers. À 300 kilomètres à l'heure, l'onde de vibration mécanique de la "ficelle" au-dessus du train est rattrapée par le pantographe ce qui crée des vibrations de forte amplitude et provoque la rupture. L'observation de terrain et la discussion avec les opérateurs a montré que la casse n'était pas un problème de maintenance, mais un problème de conception des caténaires. Il fallait refaire toute l'installation afin de modifier la transmission du phénomène vibratoire.

Lorsque j'ai présenté mes conclusions en comité de direction, on ne m'a pas pris au sérieux, mais les caténaires ont continué à tomber. Un an plus tard, la décision a enfin été prise de les remplacer toutes.

Ce qui mérite d'être souligné dans cet exemple, c'est que les ouvriers d'entretien avaient bien vu les vibrations. Ils l'ont dit, et on leur a répondu qu'il fallait appliquer le référentiel d'entretien, serrer plus les montages, et qu'il n'y avait aucune raison que ça casse, s'ils faisaient bien la maintenance ; et pourtant, ça cassait toujours. »

On leur a donc demandé de respecter les procédures au lieu de prendre en compte leur alerte, tout comme le comité de direction avait rejeté votre analyse du problème. N'est-ce pas un cas typique d'aveuglement organisationnel (Boussard *et al.*, 2006, Leonardi, 2010) ?

« Voici un exemple, plus technique, qui montre comment des technologies digitales sophistiquées peuvent être des sources d'erreur et d'incidents.

Lors des essais du tram T11, nous avons été confrontés à des freinages intempestifs fréquents qui empêchaient de rouler et de faire les essais réglementaires de certification. Je me rends dans

l'atelier d'entretien des trams et me fait expliquer la situation. On me dit que les trams sont bien instrumentés et que l'on dispose de mesures très fréquentes et parfaitement enregistrées. L'équipe de maintenance comme le service après-vente du constructeur estiment qu'on ne peut disposer de meilleures informations. Et pourtant, personne ne comprend ce qui se passe. On ne trouve aucune corrélation probante entre les données.

Je m'informe de la fréquence des mesures de vitesse. On me répond : toutes les 30 millisecondes. S'agissant d'un tram et non d'une Formule 1, je m'étonne. Pourquoi mesurer avec une telle fréquence ? Une mesure toutes les 100 millisecondes, voire toutes les secondes garantirait de toute façon que le tram ne prendra pas trop de vitesse entre le moment de la mesure et le moment où il y aurait besoin d'actionner le frein.

Je demande ensuite quelle est la fréquence de calcul du contrôle de vitesse de l'ordinateur de bord ? Tout s'explique : l'ordinateur calcule un accroissement de vitesse reposant sur des mesures désynchronisées, et conclut qu'il faut déclencher le freinage d'urgence.

Une fois la fréquence des mesures des capteurs ramenée à 100 millisecondes, les freinages intempestifs ont disparu. C'est un parfait exemple du chiasme entre le monde digital et la réalité mécanique. Les jeunes techniciens de maintenance ont beaucoup appris à cette occasion, après avoir manqué d'audace et n'avoir pas osé remettre en cause les algorithmes. »

À propos du lien entre vigilance technique et formation initiale

Dans nos précédentes conversations, vous aviez évoqué l'idée que l'enseignement initial reçu par les jeunes générations d'ingénieurs et de techniciens et, en particulier, leur formation mathématique (Villani et Torossian, 2018), joue un rôle dans l'appauvrissement des capacités d'observation et d'analyse des dispositifs techniques. Pourriez-vous revenir sur ce point ?

« L'abandon de l'enseignement de la géométrie a été un désastre pour la formation intellectuelle des jeunes générations. En géométrie, on part de l'observation de la figure, mais l'on doit s'interroger sur ce qui, dans la figure, est significatif par rapport à la question posée. Il faut faire preuve d'imagination pour trouver une réponse. La géométrie conduit l'élève à se poser des questions sur la façon dont il faut lire la figure. Il doit se demander : qu'est-ce que je dois regarder ? À quoi dois-je prêter attention ? Et considérant les formes des triangles, les côtés et les angles, il faut qu'il aille puiser dans sa mémoire le souvenir du théorème qui pourrait aider à résoudre le problème. La géométrie est donc un bon entraînement à la méthode d'observation inductive, tout comme la géologie ou la géographie.

Malheureusement, l'enseignement des mathématiques, de la physique et de la chimie est devenu trop déconnecté de la manipulation des objets du monde sensible. On a remplacé des travaux pratiques en labo qui coûtaient trop cher, par des MOOC et des simulations sur ordinateur. Finalement, on apprend aux élèves à mémoriser des lois et à jongler avec des informations, mais on ne leur apprend plus à regarder pour trouver les informations, puis à aller chercher les lois pertinentes pour comprendre une situation observable.

En mathématique, j'ai toujours aimé me demander : dans un théorème, si j'enlève telle ou telle hypothèse, qu'est-ce qui tient encore dans le résultat ? Ce genre de question est du même type que celle qu'il faut se poser face à un système technique complexe. Si j'enlève tel ou tel élément, si tel ou tel élément se dégrade, casse ou tombe en panne, qu'est-ce qui tient ?

De la même façon, en géographie, le monde est à explorer, mais on a tellement de lectures possibles qu'il faut faire des choix, par exemple, décider ce que l'on fera figurer sur une carte et à quelle échelle. On peut ensuite multiplier les points de vue, faire varier l'échelle et les éléments d'information pour approcher toute la complexité du réel. »

Finalement, vous en venez à insister sur un nouveau type d'éducation des jeunes générations qui ne les prédisposerait guère à comprendre les réalités industrielles. Vous soulignez une rupture entre générations aux lourdes conséquences sur l'efficacité du travail comme a pu le faire Nathalie Jeannerod (2016), dans sa thèse sur les changements de générations à ERDF.

« Oui, parce que très sincèrement, je pense que pour l'avenir, ce qui importe, c'est d'outiller nos jeunes avec des méthodes actives d'investigation des systèmes sociotechniques. À mon avis, il faut faire machine arrière par rapport au rouleau compresseur

du digital. Plutôt que de se demander comment instrumenter le monde, la véritable question est encore et toujours : qu'est-ce qui se passe devant moi ? Que puis-je observer ? Que devrais-je chercher dans le champ d'observation qui s'offre à moi ? En quoi l'incohérence de mes observations résulte d'une défaillance des mesures ou d'un corpus théorique inadapté ? En un mot, comment puis-je comprendre ce qui se passe devant moi pour agir en conséquence ?

Il nous faut relire et méditer le très beau discours de Louis Pasteur en 1854 à l'occasion de l'inauguration solennelle de la faculté des sciences de Lille. »

Conclusion

« Le monde ne nous est pas donné. Notre rapport au monde se construit et s'enrichit en permanence. Dans un jeu vidéo, toutes les informations pertinentes sont sur l'écran, déjà disponibles. À l'opposé, lorsqu'un géologue va sur le terrain, il ne voit qu'un paysage et il doit détecter des signes de ce qui se passe dans le sous-sol. La présence de certaines essences d'arbre et de certaines plantes peuvent signifier la présence d'une source, qui elle-même signifie la présence d'une faille, qui permet d'en déduire une probable structure géologique. En étant formé à la géologie⁽¹⁾, on apprend à lire un paysage et à aller chercher des éléments qui sont présents mais qui ne sont pas visibles. »

Autrement dit, équipé d'une théorie et d'une intention, on peut identifier dans le paysage des phénomènes prégnants, en rapport direct avec ce qui nous préoccupe ou nous intéresse.

« C'est cela. Pasteur (1854) disait "dans les vastes champs de l'innovation, la chance ne sourit qu'aux esprits préparés". Or, dans les formes d'éducation récentes, on a trop habitué les gens à considérer que les éléments du problème à résoudre leur étaient donnés. Les générations précédentes avaient une éducation en contact plus direct avec la matérialité des choses, plus proche des gestes des gens de métier, pour chercher des signes et les interpréter. On cherchait à analyser une situation nouvelle et inconnue.

Le problème que l'on a dans l'industrie aujourd'hui, c'est de trouver un moyen d'encourager et de développer cette démarche intellectuelle d'exploration du réel, qui ne peut pas se réduire à l'application de *check-lists* ou à la mise en œuvre d'algorithmes.

Cette manière d'interroger le réel se développe plutôt dans une relation de compagnonnage, de maître à disciple, or, elle ne peut être entièrement codifiée. Il s'agit de mettre une personne dans une certaine situation professionnelle pour l'amener à se poser des questions inédites, à capter des phénomènes inaperçus.

Il me semble que les décideurs d'aujourd'hui ont trop souvent tendance à méconnaître à la fois les problèmes de la technique et l'importance du facteur humain, dans leurs décisions. Les organisations ont du mal à se saisir de ces problèmes et à activer le bon levier, c'est-à-dire la formation par compagnonnage

⁽¹⁾ Science et technologie à l'école primaire : un enjeu décisif pour l'avenir des futurs citoyens | Rapports, ouvrages, avis et recommandations de l'Académie | Assurer un rôle d'expertise et de conseil (academie-sciences.fr)

