



**Des objets qui solidifient une théorie :
L'histoire du contrôle statistique
de fabrication**

Denis Bayart

Extrait de l'ouvrage :

DES SAVOIRS EN ACTION
Vers une approche cognitive de la gestion

coordination :
Florence CHARUE-DUBOC

Éditions L'Harmattan
5-7, rue de l'École-Polytechnique
75005 Paris

© L'HARMATTAN, 1994
ISBN : 2-7384-2677-8

Des objets qui solidifient une théorie : L'histoire du contrôle statistique de fabrication

Denis Bayart

Nous proposons ici d'aborder le problème de la naissance et de la diffusion des savoirs en gestion sous un angle un peu inhabituel : celui des *objets* à travers lesquels le savoir acquiert une certaine *matérialité*. Dans ce domaine, la tradition consiste plutôt à étudier les *idées* : comment elles naissent, comment on éprouve leur pertinence, en quoi les avantages qu'elles apportent peuvent expliquer leur succès, etc. On se concentre sur le contenu de la pensée, présupposant que c'est dans sa qualité et sa pertinence que réside la valeur des méthodes de gestion. Sans vouloir nier l'importance des idées, il est cependant fécond d'examiner le rôle que jouent les objets matériels, aussi bien dans la construction des idées que dans leur diffusion et dans leur mise en oeuvre dans le monde des entreprises.

Par "objets", nous entendons ici toutes les formes concrètes, matérielles ou graphiques, qui sont produites à l'appui d'un savoir déterminé, que ce soit à titre d'illustration, d'argumentation, de preuve, ou de moyen pour la mise en oeuvre. Les *représentations graphiques* tiennent une place importante parmi ces objets, comme on peut le constater en feuilletant n'importe quel manuel de gestion. Le *manuel*, type particulier de livre, est aussi un objet spécifique qui joue un rôle certain dans la diffusion des savoirs, rôle généralement peu étudié dans le domaine de la gestion (alors que l'histoire et la sociologie des sciences et des techniques s'y intéressent nettement plus). La mise en oeuvre de savoirs comme l'étude des temps et des mouvements nécessite des instruments bien particuliers (chronomètres spéciaux, équipements de prise de vues, bordereaux d'enregistrement de données...). On peut aussi penser aux objets *logiciels* (par exemple, les packages d'outils statistiques pour le contrôle de la qualité).

Nous examinerons le rôle des objets dans l'édification des savoirs en gestion de trois points de vue :

- dans la construction des théories de gestion, d'une part en tant qu'éléments de la démarche de connaissance, d'autre part comme points d'appui de la rhétorique des promoteurs (ces deux aspects étant difficiles à dissocier en pratique) ;
- dans la mise en oeuvre des savoirs, comme médiateurs par rapport à l'action ; les propriétés des savoirs pour l'action sont en effet liées à des objets ;
- dans la diffusion : constituant l'aspect matériel du savoir, ils sont engagés dans la vie sociale de la même manière que n'importe quels autres objets ; ils peuvent notamment avoir la forme de marchandises, soumis à circulation, échange, commerce¹.

Nous soutenons ici une conception constructiviste et écologique de ce qu'il est convenu d'appeler la "production /diffusion" des savoirs en gestion : ceux-ci, construits dans des conditions singulières par un groupe de promoteurs, sont mis en circulation dans le champ social par le truchement d'objets (maquettes, modèles, textes de différentes natures...) ; parvenus dans le monde des entreprises, ils sont soumis à un processus de sélection faisant intervenir les propriétés dont les objets apparaissent porteurs. Cette analyse conduit à mettre l'accent sur les interactions entre, d'une part, les objets qui sont produits et mis en circulation, et, d'autre part, les contextes qui donnent sens aux objets et font apparaître leurs propriétés. Il paraît impossible de considérer les propriétés des objets comme leur étant inhérentes car elles nécessitent une interaction avec les hommes pour se manifester. Nous sommes alors conduits à étudier tous les processus sociaux qui font apparaître, établissent, ou font reconnaître les propriétés des objets. Parmi ces processus, la normalisation tient une place particulièrement importante ; dans un autre travail², le contrôle statistique est présenté sous

¹ Midler C., 1986 : "Logique de la mode managériale", *Annales des Mines*, série *Gérer et comprendre*, n°3, juin, pp. 74-85.

² Bayart D., 1994 : "La quantification du contrôle qualité dans l'industrie : un point de vue sociologique et historique", in Nicolas F. et Valceschini E. (eds) : *Agro-alimentaire : une économie de la qualité*, INRA-Economica, Paris.

l'angle d'une *convention économique*, rejoignant ainsi les travaux plus théoriques de Eymard-Duvernay³.

De nombreux travaux de recherche en gestion se sont attachés à montrer comment les instruments de gestion structurent les modes de pensée et les comportements dans les organisations, expliquent souvent les difficultés d'évolution que l'on impute à tort aux seules "mentalités", constituent une "technologie invisible" dont on sous-estime l'inertie⁴. Dans une optique très matérialiste, ces recherches visaient à montrer que les objets mis en place pour gérer les organisations ont souvent plus de poids que les idées de gestion qu'ils sont supposés représenter, et cela du fait que le sens de ces objets est réinterprété par les acteurs en fonction de leur contexte local, ce qui ne va pas toujours dans le sens voulu par les responsables des organisations. A l'heure actuelle, un intérêt se manifeste en sciences sociales pour les objets⁵ et pour la manière dont ils sont "engagés dans l'action", ce qui permet d'envisager, pour l'avenir, d'intéressants parallèles avec les sciences de la gestion.

Cette dimension des *objets dans la gestion* mérite donc d'être explorée en tant que telle, comme fil conducteur du processus d'innovation et de diffusion. Nous en ferons ici l'expérience sur le cas des méthodes statistiques de contrôle de la qualité dans les fabrications industrielles. Desrosières⁶ a admirablement caractérisé le double aspect des objets statistiques par rapport à l'action :

"Les outils statistiques permettent de découvrir ou de créer des êtres sur lesquels prendre appui pour décrire le monde et agir sur lui. De ces objets, on peut dire à la fois qu'ils sont réels et qu'ils ont été construits, dès lors qu'ils sont repris dans d'autres assemblages et circulent tels quels, coupés de leur genèse, ce qui est après tout le lot de beaucoup de produits".

³ Eymard-Duvernay F., 1989 : "Conventions de qualité et formes de coordination", *Revue économique*, n° 2, p. 329-359.

⁴ Par exemple, Berry M., 1983 : "Une technologie invisible ? L'impact des instruments de gestion sur l'évolution des systèmes humains", Centre de recherche en gestion, Paris.

⁵ Voir notamment le numéro thématique de la revue *Raison pratique : Les objets dans l'action. De la maison au laboratoire*, Ed. de l'EHESS, Paris, 1993.

⁶ Desrosières A., 1993 : *La politique des grands nombres. Histoire de la raison statistique*, La Découverte, Paris, p. 9.

Les méthodes statistiques de contrôle de la qualité ont été développées dans les années 1920 pour les besoins de l'industrie américaine du téléphone, à la Western Electric et aux Laboratoires Bell ; elles ont abouti à la technique standardisée des *cartes de contrôle*, qui permet de suivre la régularité des performances de la fabrication et de détecter très tôt les dérèglages de machines. Le principe en est relativement aisé à comprendre, mais demande quelques explications. Pour être jugés de "bonne qualité", les objets fabriqués doivent satisfaire à des tolérances déterminées selon un certain nombre de caractéristiques choisies comme critères de qualité, par exemple leurs dimensions géométriques. Mais les équipements de production, aussi précis soient-ils, sont incapables de produire des objets *exactement* semblables les uns aux autres, et les caractéristiques des produits fabriqués se répartissent en fait selon des distributions statistiques. Tout va bien tant que la distribution de chaque caractéristique reste comprise dans les limites de tolérance ; on dit alors que la machine est *sous contrôle statistique*, autrement dit *bien réglée*. Mais il arrive toujours un moment où la machine se dérègle ; lorsque ce dérèglement est progressif, la machine se met à produire quelques pièces mauvaises parmi une majorité de pièces bonnes. Les cartes de contrôle sont un outil graphique qui, à l'aide de techniques d'échantillonnage, permet de détecter ce dérèglement très tôt, avant qu'il n'affecte une grande quantité de pièces fabriquées. On peut alors, en connaissance de cause, interrompre la fabrication pour régler à nouveau la machine et éviter ainsi des gaspillages ou des coûts de reprise des loupés qui peuvent être très élevés. Plus largement, les cartes de contrôle sont actuellement un outil fondamental de suivi de la qualité en fabrication, notamment dans le cadre de procédures d'assurance qualité.

1. Le contrôle de fabrication avant la "révolution probabiliste"

La principale innovation introduite dans les années 1920 en contrôle de fabrication a été la *prise en compte du hasard* par des méthodes de statistique mathématique, qui ont permis de définir rationnellement des procédures de jugement sur échantillon. Comme nous le verrons, cet apport constitue, dans le champ de la production industrielle, une véritable "révolution probabiliste", pour reprendre l'expression

consacrée en histoire des sciences⁷. Auparavant, il existait bien évidemment des procédures de contrôle de qualité, même par échantillonnage, mais elles ne reposaient pas explicitement sur le calcul des probabilités. En des âges aussi anciens que le XIIe siècle, les Anglais recouraient déjà à de telles méthodes pour contrôler le titre et le poids des monnaies fabriquées pour le compte du roi par les maîtres de monnaie⁸.

Au tournant du XXe siècle, le *déterminisme* était la conception dominante parmi les ingénieurs et scientifiques tournés vers l'organisation industrielle. Nous prendrons l'exemple de Henry Le Chatelier pour montrer à quel point, dans ces conceptions, il était impossible de prendre en compte le hasard. Le Chatelier, éminent chimiste, membre de l'Académie des sciences, est aussi connu pour son rôle de diffuseur des travaux de F.W. Taylor, qu'il fit connaître en France dès 1907. Il écrit, en préface à un livre d'organisation industrielle publié par son disciple Nusbaumer⁹ :

“Tous les phénomènes sont engrenés suivant des lois inexorables. (...) La croyance à la nécessité des lois, autrement dit à l'inexistence du hasard, conduit dans l'industrie à s'insurger contre les irrégularités, contre les déchets de fabrication et permet presque toujours de les faire disparaître”.

L'opinion de Le Chatelier vis-à-vis du hasard s'explique par ses conceptions de l'organisation industrielle. Une seule voie lui paraît légitime et féconde : connaître avec une exactitude aussi grande que possible les lois de la matière mises en jeu dans les produits fabriqués, dans les machines... Ni sa conception de la qualité, ni celle de l'organisation industrielle, n'avaient besoin de “l'hypothèse du hasard”, pourrait-on dire en paraphrasant Laplace. Au contraire, il fallait la rejeter avec la plus grande vigueur car elle offrait une échappatoire facile aux responsables d'usine qui rechignaient à entreprendre la démarche de connaissance scientifique, laborieuse et coûteuse, qui aurait pu rendre

⁷ Krüger L., Daston L., Heidelberger M. (eds), 1987 : *The Probabilistic Revolution*, Cambridge : MIT Press.

⁸ Stigler S.M., 1977 : “Eight Centuries of Sampling Inspection : the Trial of the Pyx”, *J. Am. Stat. Ass.* , vol. 72, pp. 493-500.

⁹ Nusbaumer E., 1924 : *L'organisation scientifique des usines*, Nouvelle librairie nationale, Paris. Préface de H. Le Chatelier.

compte véritablement de ces phénomènes. Accepter l'idée que le hasard existe, c'est refuser de chasser le désordre¹⁰.

Parfois, notamment lorsque le contrôle impliquait une destruction des pièces (essai jusqu'à la rupture, par exemple), il était bien nécessaire de prendre un échantillon de pièces. Le Chatelier ne se posait pas la question de la taille de cet échantillon ni de la validité des conclusions qu'on tirait de l'essai ; il aurait probablement été incapable de la traiter car il semblait ignorer l'existence du calcul des probabilités, que Laplace avait pourtant très clairement articulé avec une philosophie déterministe, et cela dès le début du XIXe siècle¹¹.

La même conception déterministe semblait régner également dans l'industrie américaine. F.W. Taylor donne ainsi un exemple d'organisation parfaitement déterministe d'un contrôle qualité, dans la fabrication de billes de roulement de bicyclettes¹². Nusbaumer, l'élève de Le Chatelier mentionné ci-dessus, a d'ailleurs reproduit très exactement le dispositif de Taylor dans la poudrerie qu'il avait pour mission de réorganiser en 1916. Même sur des sujets qui, dans notre vision actuelle, se prêtent remarquablement bien à une approche probabiliste, tels que l'entretien préventif des courroies de transmission dans un atelier afin d'éviter les interruptions de la fabrication, Taylor adopte une problématique rigoureusement déterministe¹³.

La croyance au déterminisme dans les milieux industriels américains était également entretenue par la recherche de la plus grande précision possible dans les fabrications mécaniques, qui apparaissait comme le seul moyen d'obtenir

¹⁰ Le débat est toujours actuel avec les partisans du "zéro défaut". Certains voient dans la démarche du contrôle statistique de fabrication l'institutionnalisation de l'inefficience : les opérateurs, sachant que les produits sont inspectés en fin de chaîne, ne cherchent pas particulièrement à corriger les défauts. L'intérêt majeur d'une politique "zéro défaut" serait de forcer les gens à se coordonner.

¹¹ Laplace, 1986 : *Essai philosophique sur les probabilités*, 1825, rééd. Christian Bourgois, Paris.

¹² Exemple qu'il donne dans *The Principles of Scientific Management* (trad. fr. : *La direction scientifique des entreprises*, Ed. Marabout, 1967).

¹³ Taylor F.W., 1907 : "L'emploi des courroies", in *Etudes sur l'organisation du travail dans les usines*, Dunod et Pinat, Paris.

l'interchangeabilité des pièces. L'historien A.D. Chandler estime que :

“le système américain de manufacture peut être défini comme un processus de production en grandes quantités au moyen de la fabrication de pièces standardisées qui s'assemblent en produits finis¹⁴”.

Pour beaucoup d'industriels, un des principaux objectifs de qualité pour une fabrication mécanique était l'interchangeabilité des composants, selon l'équation : qualité = interchangeabilité = précision.

L'approche non déterministe du contrôle de fabrication développée aux Laboratoires Bell va venir bouleverser cette idéologie scientifique dominante dans les milieux industriels en introduisant dans le champ de l'ingénierie les problématiques de la physique statistique.

2. La construction d'une théorie solide de la qualité

Pourquoi Shewhart ?

S'il s'agissait ici d'une approche purement historique, il faudrait décrire et analyser une assez large variété de travaux qui eurent lieu pendant la décennie 1920-30, non seulement aux Etats-Unis, mais aussi en France, en Allemagne, en Grande-Bretagne, et peut-être aussi en Russie. Il est en effet remarquable que, à peu près en même temps dans ces différents pays, mais de façon indépendante, des ingénieurs aient réfléchi à des approches probabilistes du contrôle de qualité. Cela témoigne de ce que l'émergence du problème ne résulte pas d'un concours de circonstances propre à un secteur industriel singulier, mais est bien plus probablement liée à une étape historique dans l'évolution des techniques de production, dans l'organisation des entreprises et dans celle des échanges industriels. Sans grand risque de se tromper, on peut avancer qu'il s'agit de la généralisation de la

¹⁴ In : Mayr O. et Post R.C. (eds), 1981 : *Yankee Enterprise. The Rise of the American System of Manufactures*, Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., p. 153. L'ensemble du livre montre bien l'importance de la question de l'interchangeabilité et l'étonnement du monde industriel devant les performances des manufactures américaines en la matière.

production de masse, tout en ayant conscience qu'une caractérisation aussi générale est insuffisante. Cette question demanderait des recherches plus étendues dépassant l'ambition de ce texte.

Parmi tous ces travaux indépendants, ceux des Laboratoires Bell retiendront notre attention pour les raisons suivantes : c'est là que le corpus théorique le plus ambitieux et le plus complet a été développé ; la méthode mise au point, celle des cartes de contrôle, est réellement passée dans l'industrie et est encore actuelle ; les matériaux publiés sont assez nombreux et riches pour permettre de suivre à la trace le développement de cette innovation. Dans les autres pays, au contraire, les méthodes développées sont restées assez fragmentaires, ou limitées à certaines entreprises, et ont en définitive été submergées par la méthode des Laboratoires Bell. Exception notable, les Anglais ont pu prendre le train en marche et intégrer leurs propres travaux dans la conception américaine, à laquelle ils ont considérablement apporté dans les années 1930 - ce qui n'a rien d'étonnant compte tenu de leur impressionnant potentiel de chercheurs en statistique, tant mathématique qu'appliquée.

Pour ne pas compliquer l'exposé, nous nous limiterons à la méthode des cartes de contrôle ; mais, pour une étude complète, il faudrait également prendre en compte les méthodes de contrôle de réception par échantillonnage qui ont également été développées aux Laboratoires Bell¹⁵. W.A. Shewhart (1891-1967) est le créateur reconnu des cartes de contrôle, ce dont témoigne une dizaine d'articles parus entre 1924 et 1931, culminant avec un volumineux traité¹⁶ qui rassemble le tout. D'un article à l'autre, on suit parfaitement bien l'évolution des idées et des outils associés, et c'est cette construction que nous analyserons en nous attachant plus particulièrement à trois étapes de cette construction : 1924, 1926 et 1929-30¹⁷.

¹⁵ Dodge H.F. & Romig H.G., 1929 : "A Method of Sampling Inspection", *Bell System Tech. J.*, vol. 8, pp. 613-631.

¹⁶ Shewhart W.A., 1931 : *Economic Control of Quality of Manufactured Products*, New York : Van Nostrand et London : MacMillan.

¹⁷ Shewhart W.A., 1924 : "Some Applications of Statistical Methods to the Analysis of Physical and Engineering Data", *Bell System Technical Journal*, vol. III, n°1, pp. 43-87 – "Quality Control Charts : a brief description of a newly developed form of control chart for detecting lack of control of manufactured products", *Bell Sys. Tech. J.*, vol. V (1926), pp. 593-603 – "Economic Quality Control of Manufactured

Selon les témoignages¹⁸, la Western Electric s'est préoccupée dès 1922-24 des problèmes de contrôle qualité, à l'intérieur de son *Engineering Department*. W.A. Shewhart, physicien de formation, connaissant les méthodes de la physique statistique, fut chargé d'examiner les mesures effectuées sur des équipements téléphoniques produits pendant plusieurs mois afin de trouver des procédures de contrôle qualité. Il fut transféré aux Bell Labs lorsque ceux-ci furent créés en 1925 et y continua ses travaux sur le contrôle de la qualité.

Le microphone au carbone, ou la mise en scène de l'aléa : 1923-24

Dès la première phrase de son premier article, antérieur donc aux cartes de contrôle, Shewhart attaque de front la croyance au déterminisme, redéfinissant la signification de la mesure d'une grandeur physique en s'appuyant sur la physique moderne de l'époque. Au lieu de l'exactitude, c'est-à-dire d'une précision aussi grande que l'on veut, on ne peut espérer trouver que des entités statistiques qui n'offrent plus de certitudes, mais seulement des probabilités :

“Nous pensons habituellement que les sciences physiques et celles de l'ingénieur sont des sciences exactes. Pour la majorité des mesures de grandeurs physiques, cela est pratiquement vrai. (...) L'introduction de la théorie moléculaire des quantas nous a cependant obligés à modifier certaines de ces conceptions anciennes. Ainsi, nous sommes de plus en plus amenés à envisager le problème de la mesure de n'importe quelle grandeur physique comme celui d'établir sa valeur la plus probable. Nous sommes conduits à concevoir les lois physico-chimiques comme un déterminisme statistique auquel la « loi des grands nombres » confère l'apparence d'une précision infinie¹⁹”.

Il commence par construire un parallèle entre physique et ingénierie ; les titres des deux premiers paragraphes de l'article sont révélateurs à cet égard : *“Statistical nature of certain physical problems”* et *“Statistical nature of certain*

Product”, communication American Association for Advancement of Science, Des Moines, dec. 1929, publié in : *Bell Sys. Tech. J.*, vol. 9 (1930), pp. 364-389.

¹⁸ Littauer S.B., 1950 : “The Development of Statistical Quality Control in the United States”, *The American Statistician*, dec., pp. 14-20
Gogue J. M., 1990 : *Les six samouraï de la qualité*, Economica, Paris.

¹⁹ *Op. cit.*, 1924, pp. 43-44.

telephone problems”. Dans le premier, il détaille, graphiques à l'appui, l'expérience historique de Rutherford et Geiger (1910), montrant que, pour une source radio-active, le nombre de particules alpha émises par unité de temps est une variable aléatoire dont l'on peut rendre compte par une loi de Poisson. Dans le deuxième, il exhibe un composant téléphonique dont le comportement ne peut être valablement appréhendé que par des méthodes statistiques, et conclut :

“Les caractéristiques de certains équipements téléphoniques ne peuvent guère plus être maintenues dans des limites étroites que la distribution de particules alpha ne peut être contrôlée dans l'expérience précédente”.

Shewhart opère ainsi un transfert de problématique entre le champ de la physique statistique et celui de l'ingénierie du téléphone : à partir du moment où il est reconnu en physique qu'un modèle probabiliste est la meilleure manière de rendre compte d'un certain phénomène, le recours à des modèles probabilistes dans le champ de la téléphonie devient légitime – et même nécessaire de la part de chercheurs appartenant aux Bell Labs, et donc payés pour se tenir à la pointe du progrès...

L'objet choisi par Shewhart procure un exemple particulièrement démonstratif de la nécessité de l'approche statistique. Il s'agit du microphone à carbone, élément-clé du combiné téléphonique, dont une caractéristique importante, la résistance électrique – mesurée en laboratoire avec toutes les précautions imaginables – manifeste toutes les apparences d'un comportement aléatoire. Sur un tel objet, l'impuissance de la conception déterministe est patent : l'aléa se trouve au coeur de l'objet fabriqué, et pas seulement dans les machines qui le fabriquent.

Cet objet providentiel permet à Shewhart de soulever un problème de fond pour le contrôle qualité : quels standards de fabrication peut-on établir pour des produits dont on ne peut maîtriser les caractéristiques de qualité, et comment va-t-on les formuler, les représenter pour le personnel des ateliers ? Comment établir les limites de variation admissibles ? La réponse de Shewhart est “par les statistiques, et seulement par là”. Voilà donc légitimée la poursuite de recherches dans ce champ pour arriver à des méthodes opérationnelles. Et en même temps se trouve dénoncée la croyance des industriels selon laquelle c'est en augmentant indéfiniment la précision des machines que l'on pourra résoudre *dans tous les cas* la question de la qualité.

Voyons maintenant sur quoi débouche cette mise en question radicale. Car il ne suffit pas de dénoncer : dans le domaine industriel, il faut aussi proposer des méthodes de travail. La démarche proposée par Shewhart dans cet article, et à laquelle il va se tenir par la suite, consiste à identifier par des méthodes numériques la distribution statistique de la caractéristique de qualité étudiée, dans des conditions de fabrication stabilisées. La plus grande partie de l'article est ainsi consacrée à une revue des méthodes statistiques existantes afin d'évaluer leur pertinence pour l'identification d'une distribution empirique. C'est donc un article méthodologique et programmatique. Les outils pratiques de travail ne sont pas encore au point, mais ils viendront rapidement dans le courant de cette année 1924.

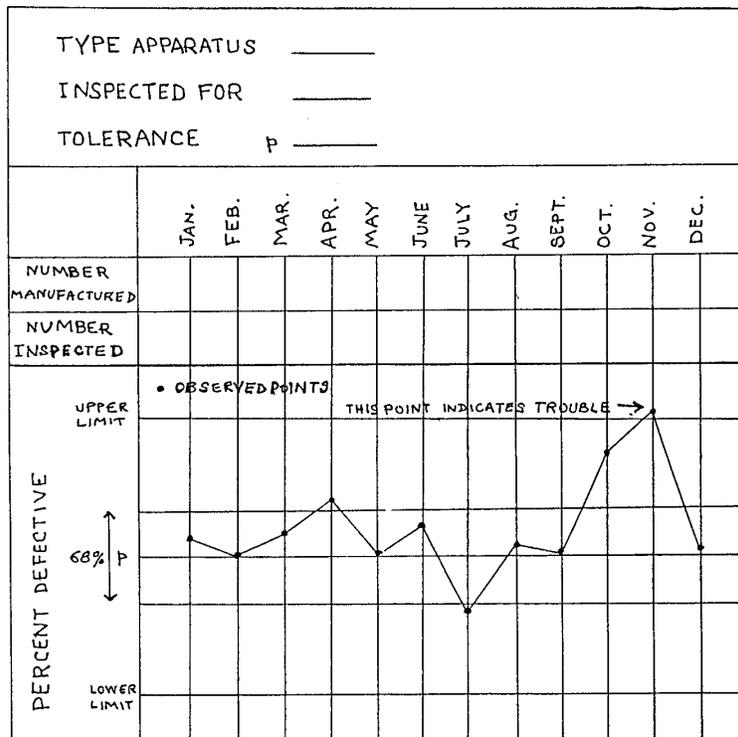
Des distributions statistiques aux cartes de contrôle

L'article que nous venons d'analyser conclut que la qualité d'un produit industriel est représentée par une distribution statistique. Celle-ci est identifiée par les valeurs numériques de ses premiers moments, en application de la théorie mathématique de Karl Pearson. A partir de là, Shewhart va mettre en forme progressivement l'outil graphique de la carte de contrôle qui sera l'objet matériel essentiel dans cette méthode. C'est cette évolution que nous allons retracer, depuis l'idée initiale apparue dans une note interne²⁰ du 16 mai 1924 jusqu'à la forme normalisée (1935). L'analyse entend montrer que la forme graphique a constitué un élément fixe par rapport aux conceptions théoriques, qui ont évolué autour de ce pivot. Cette observation apporte donc une confirmation à la thèse du rôle prédominant des objets dans l'évolution des idées en gestion.

La note interne de 1924 comporte deux éléments : un exemple de représentation graphique (fig. 1, p. 112) et un

²⁰ Note reproduite dans Gogue J. M. : *Les six samouraï de la qualité*, op. cit., pp. 30-31.

Figure 1



texte très bref de Shewhart indiquant qu’il est sur le chemin d’une méthode opératoire :

“Le rapport graphique ci-joint est conçu pour indiquer si la variation observée dans le pourcentage d’appareils défectueux d’un type donné est ou n’est pas significative ; c’est-à-dire pour indiquer si, oui ou non, le produit est satisfaisant”.

Il ajoute que la théorie sous-jacente est relativement complexe et qu’il a commencé à travailler à des mémos l’expliquant en détail. Mais il est clair que c’est cette forme graphique qui est l’apport majeur car elle permet de saisir “d’un coup d’oeil le maximum d’information pertinente”. Son principe est simple : un axe horizontal représente les dates successives où l’on effectue les mesures, un axe vertical porte l’échelle de la caractéristique mesurée. L’élément nouveau, qui donne toute sa valeur au graphique, est constitué par une droite horizontale dont l’ordonnée

correspond à une valeur déterminée par des moyens théoriques, et qui représente une limite à ne pas dépasser ; si la valeur de la caractéristique de qualité atteint cette droite, cela indique un problème (“*this point indicates trouble*”, a écrit Shewhart sur la figure).

A posteriori, connaissant les développements ultérieurs de la théorie, il est facile de comprendre l’idée directrice : tant que la distribution statistique de la variable de qualité reste inchangée, on peut déterminer un intervalle, fonction des caractéristiques de la distribution, tel que la variable ait une probabilité pratiquement égale à 1 d’y être incluse. Par exemple, si la distribution est une loi de Laplace-Gauss, la probabilité que la variable tombe hors d’un intervalle ± 3 de part et d’autre de la moyenne (σ étant l’écart-type de la distribution) n’est que de 3 pour mille. Pour une distribution quelconque, le théorème de Bienaymé-Tchebycheff dit que cette probabilité est inférieure à 11%. Si donc le résultat d’une mesure tombe hors de cet intervalle, on peut dire avec une quasi-certitude, dans le cas d’une distribution normale, que le système de production n’est pas resté dans le même état - ce qui constitue le *trouble* dont parle Shewhart : quelque chose s’est déréglé, il faut intervenir.

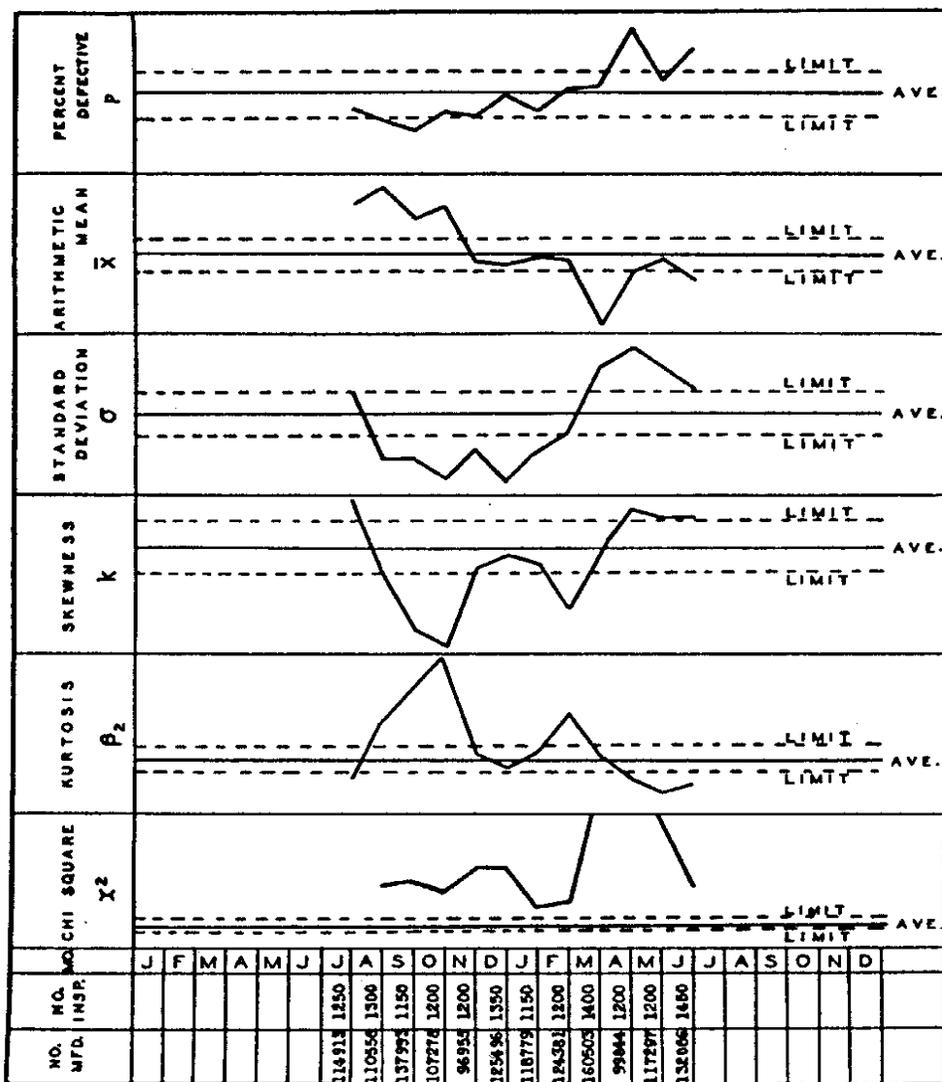
Mais ce n’est pas d’un seul coup que Shewhart est parvenu à une formulation aussi claire et ramassée. Il a d’abord construit une théorie relativement sophistiquée, étroitement décalquée de la démarche des biométriciens britanniques, qu’il expose dans un article de 1926, le premier où soit employé le terme de *control charts*.

L’objectif visé est, comme dans son premier article, l’identification de la distribution empirique de la caractéristique de qualité. La démarche comporte quatre étapes. En premier lieu, il faut poser l’hypothèse d’un modèle théorique de distribution (loi normale, loi de Poisson, etc...). Ensuite, choisir des estimateurs : habituellement, ce sont les premiers moments de la distribution - moyenne, écart-type, coefficient d’asymétrie, coefficient d’aplatissement - mais rien n’oblige le statisticien à se tenir à ceux-là. La troisième phase est celle de l’estimation numérique. En dernier lieu, il convient de tester le degré d’adéquation aux données empiriques de la distribution déterminée par ces calculs.

Ce que propose Shewhart est donc une démarche méthodologique laissant au statisticien toute latitude pour choisir le modèle théorique et les estimateurs. Nous sommes encore bien loin d’une procédure standard directement utilisable dans un atelier.

Cependant, nous retrouvons dans cet article plutôt théorique le principe graphique imaginé en 1924, que Shewhart applique cette fois aux paramètres qui définissent la distribution estimée (fig. 2, p. 114). Son raisonnement est le suivant : dans l'hypothèse où les conditions de production

Figure 2



restent inchangées, la distribution statistique de la variable de qualité reste stable, et il en est donc de même pour les paramètres qui la définissent ou qui en sont une conséquence directe (sur la figure : pourcentage de défectueux, moyenne, écart-type, asymétrie, aplatissement) ; les valeurs numériques de ces paramètres, calculées sur différents échantillons de la production, ne diffèrent que par suite des fluctuations dues à l'échantillonnage. Or la loi de probabilité de ces fluctuations est connue, sur la base de la distribution que l'on a estimée, et l'on peut calculer les limites entre lesquelles doivent se trouver les valeurs des paramètres avec une probabilité que l'on se fixe grande, par exemple 0,99. En reportant ces limites sur les graphiques représentant ces valeurs, on voit immédiatement si les variations observées peuvent ou non être imputées au seul échantillonnage.

Quand on regarde la figure 2, il saute aux yeux que la distribution de la caractéristique de qualité n'est pas restée identique à elle-même tout au long de la période observée : les quatre premiers moments de la distribution sortent largement des limites correspondant aux fluctuations d'échantillonnage. Le graphique rend donc extrêmement visible l'existence de causes importantes de variations dans le processus de fabrication.

A ce stade, Shewhart a ainsi forgé deux instruments : une représentation graphique simple et parlante, une méthodologie lourde et impliquant beaucoup de calculs. Ces deux facettes ne sont pas encore étroitement complémentaires : le graphisme ne fait encore qu'illustrer la théorie, celle-ci restant autonome. L'évolution qui va se produire ensuite dans la méthode est très intéressante en ceci que la théorie va être considérablement simplifiée, et que l'outil graphique va devenir partie intégrante de la méthode. Cette évolution évoque ce que Simondon a appelé le processus de *concrétisation*²¹ d'un objet technique : un objet technique est d'abord réalisé, en tant que prototype, comme décalque de son schéma théorique ; puis, avec le temps et à travers les usages, ses composants sont redéfinis en fonction les uns des autres, en un processus qui confère à l'objet l'apparence d'une vie autonome, relativement indépendante des conceptions théoriques qui ont présidé à sa création.

²¹ Simondon G., 1969 : *Du mode d'évolution des objets techniques*, Paris, Aubier.

Cette concrétisation se manifeste clairement dans la forme normalisée des cartes de contrôle (1935²², fig. 3, p. 116). La forme primitive était strictement calquée sur la démarche théorique de Karl Pearson, dans laquelle

Figure 3

TABLE II.—OPERATING CHARACTERISTIC, DAILY CONTROL DATA.

SAMPLE	SAMPLE SIZE, n	AVERAGE, \bar{X}	STANDARD DEVIATION, σ
No. 1.....	50	35.7	5.35
No. 2.....	50	34.6	5.03
No. 3.....	50	32.6	3.43
No. 4.....	50	35.3	4.55
No. 5.....	50	33.4	4.10
No. 6.....	50	35.2	4.30
No. 7.....	50	33.3	5.18
No. 8.....	50	33.9	5.30
No. 9.....	50	32.3	3.09
No. 10.....	50	33.7	3.67

Central Lines
 For \bar{X} : $\bar{X}' = 35.00$.
 For σ : $\sigma' = 4.20$.

Control Limits
 For \bar{X} : $\bar{X}' \pm 3 \frac{\sigma'}{\sqrt{n}} = 35.00 \pm 1.78$,
 33.22 and 36.78.
 For σ : $\sigma' \pm 3 \frac{\sigma'}{\sqrt{2n}} = 4.20 \pm 1.260$,
 2.940 and 5.460.

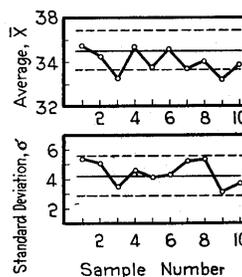


FIG. 2.—Control Charts for \bar{X} and σ . Large samples, \bar{X}' , σ' given.

RESULTS: Lack of control at standard level indicated on third and ninth days.

l'identification d'une distribution repose sur celle de ses premiers moments, la précision de l'estimation augmentant avec le nombre de moments pris en compte. C'est pour cela que Shewhart va jusqu'au quatrième moment, dont le calcul est en fait très lourd ; cela lui permettait notamment de s'affranchir de l'hypothèse de normalité de la distribution de la variable, hypothèse qu'il critique longuement en 1924. Mais le standard, dont on peut raisonnablement supposer qu'il intègre les modes d'usage de l'outil, se limite à prendre en compte les deux premiers moments, posant donc implicitement des hypothèses sur la normalité de la distribution ; le

²² American Society for Testing Materials : *Manual on Presentation of Data, Supplement B*, 1935.

manuel définissant la norme s'en explique très brièvement en disant que "en pratique, la moyenne et la dispersion se sont avérées suffisantes". Le processus de concrétisation a donc conduit dans le cas présent à une simplification de l'objet initial, obtenue au prix d'hypothèses implicites restreignant, au plan théorique, le domaine d'application de la méthode.

Parallèlement, la procédure de recherche de la distribution statistique est elle aussi standardisée, codifiée en une procédure opératoire où l'on a cherché à minimiser les références à la théorie statistique. La méthodologie très ouverte que Shewhart présentait en 1926 a ainsi pris, dix ans après, la forme tangible d'un objet graphique assorti *d'un mode d'emploi*. Cet objet, devenu largement autonome par rapport à la théorie statistique qui le fonde, est maintenant prêt pour être acheminé par les canaux de diffusion institutionnels du monde industriel : instances de normalisation, de formation... Bien que ces canaux n'aient pas été, comme nous le verrons, le seul vecteur de diffusion, ils ont joué un rôle important pour identifier et faire connaître le "produit" carte de contrôle.

Des ambitions épistémologiques, des avantages économiques

Mais Shewhart ne se contente pas de proposer des règles opératoires et des outils. Ses ambitions dépassent celles d'un ingénieur industriel pour viser le statut de *savant* : il construit une véritable *épistémologie* du contrôle statistique de fabrication, reliant sa démarche de pensée et d'action aux grandes lois scientifiques de la nature, dans une forme qui rappelle le Laplace de l'Essai philosophique sur les probabilités²³. Dans une communication de 1929 à l'*American Society for the Advancement of Science*, importante société savante américaine, il pose trois *postulats* (sic) pour introduire le concept de *constant system of chance causes* (système stable de causes à effets aléatoires ; en langage moderne, on dirait : système aléatoire stationnaire) :

²³ Rapprochement qui n'est pas fortuit, Shewhart ayant lu cet ouvrage de Laplace, que lui avait fait connaître un mathématicien des Bell Labs, E.C. Molina, fin connaisseur de l'histoire des probabilités.

“Postulat 1. Tous les systèmes de causes aléatoires ne sont pas semblables au regard des possibilités qu’ils nous donnent de prédire le futur en fonction du passé.

“Postulat 2. Il existe dans la nature des systèmes constants de causes aléatoires.

“Postulat 3. Les causes assignables de variations peuvent être trouvées et éliminées.”

Ces propositions sont destinées à fonder théoriquement la démarche du contrôle statistique qui peut cependant être formulée en termes plus intuitifs : lorsqu’il s’agit de produire une caractéristique de qualité au comportement aléatoire, la meilleure stratégie possible consiste à maintenir dans un état stable le système de fabrication, après avoir éliminé les causes de variation de la qualité sur lesquelles on peut agir ; ces causes sont notamment celles qui produisent, au cours du temps, des variations inhabituelles, cycliques, ou une dérive à long terme des caractéristiques des produits. Les causes de variation sont classées en deux types : celles qui sont *assignables*, c’est-à-dire dont on peut identifier l’origine, et les autres, qui relèvent des événements aléatoires incontrôlables. A moins de remplacer les équipements de production, l’ingénieur ne peut agir que sur les causes assignables.

Chaque postulat est étayé sur des exemples, les uns tirés de la physique statistique et de la démographie, les autres de l’expérience des ingénieurs (qui fonde le troisième postulat, principe d’action). S’il était publié à l’heure actuelle, un tel texte serait probablement jugé fantaisiste ou mégalomane ; il relie en effet des choses qui nous paraissent hétérogènes, disproportionnées : l’action d’ingénieurs cherchant à régler des machines et des principes cosmologiques ou métaphysiques. Est-il véritablement besoin d’invoquer des propositions aussi générales pour justifier une démarche somme toute très compréhensible en elle-même ? Mais Shewhart, au fond, exploite aussi loin que possible sa formation et ses connaissances de physicien pour mettre de son côté toute la science moderne de l’époque. La mobilisation efficace de ces “alliés de poids”, selon l’expression de B. Latour, peut expliquer que les théories de Shewhart n’aient jamais été attaquées sur le plan de leur légitimité scientifique : les critiques se seraient heurtés au poids de toute cette science dont les textes de Shewhart sont constamment entrelardés.

Mais le poids des alliés scientifiques ne suffit pas à expliquer le succès remporté par la méthode de Shewhart. Il

fallait encore démontrer sa faisabilité technique, sa viabilité économique, critères déterminants vis-à-vis des industriels. Dans cet article extrêmement dense, Shewhart ajoute encore des arguments économiques en faveur du contrôle statistique : réduction du coût de l'inspection, réduction du coût des rebuts, maximisation des bénéfices de la production en grandes quantités, atteinte d'une qualité uniforme même en cas de tests destructifs, réduction des limites de tolérance lorsque la mesure de la qualité est indirecte (par recours aux corrélations).

Shewhart n'est cependant pas un vulgarisateur particulièrement doué, ni un grand communicateur. Dans la suite de sa carrière, il ne publiera que deux livres. Le premier, en 1931, rassemble tous ses articles antérieurs, dans une forme très touffue et difficile à lire. Il constitue un ouvrage de référence et de légitimation, mais certainement pas un manuel opératoire... Il a été énormément cité, mais sans doute peu étudié à fond par les praticiens car il soulève plus d'interrogations qu'il n'apporte de réponses. Le deuxième livre est un recueil de conférences sur la qualité, édité en 1939 par les soins de Deming ; il est également jugé plutôt "philosophique" par les experts.

A la vue de ces ouvrages, il paraît évident que ce n'est pas l'orientation personnelle de Shewhart (plutôt théorique, donc) ni ses efforts de promotion qui peuvent expliquer le succès du contrôle statistique de fabrication. Il aura fallu le secours d'ingénieurs plus tournés vers la pratique, qui se sont réunis en comités de normalisation pour produire des standards opératoires. Une véritable division des rôles s'est ainsi instaurée entre différents agents intervenant dans le processus de promotion. Le poids du Bell System, de son organe pensant, les Bell Labs, et de son organe de production, la Western Electric, est aussi évidemment pour beaucoup dans le succès de la promotion, comme le montrera, plus loin, une comparaison avec le cas français.

Le caractère très théorique de certains des travaux de Shewhart ne doit cependant pas faire négliger l'importance du remaniement qu'il a accompli dans le champ des idées. En effet, au delà d'un pur transfert de raisonnements et d'observations pris dans le champ de la physique théorique, il y a bien élaboration de problématiques spécifiques au monde de la fabrication industrielle. En premier lieu, il y a la prise en compte de la dimension économique : si la meilleure stratégie face aux aléas de production consiste à éliminer les causes assignables de variation et à maintenir aussi constantes que possible les conditions de fabrication, le coût de ces opé-

rations doit rester “raisonnable” (le critère étant le “jugement de l’ingénieur”). Certes, Shewhart ne va pas bien loin dans l’articulation de la démarche qualité avec des critères économiques, mais ses collègues Dodge et Romig, avec qui il est en étroite relation, publient en 1929 une méthodologie de contrôle par échantillonnage qui repose explicitement sur une optimisation des coûts de l’inspection. La préoccupation de gestion est donc bien présente dans ce milieu d’ingénieurs, et elle parvient à s’exprimer de façon opératoire. Ensuite, Shewhart reformule complètement la notion de *contrôle* afin de prendre en compte l’indéterminisme des phénomènes, notamment le fait fondamental qu’*une qualité contrôlée est une qualité variable*, et non pas toujours égale à un standard pré-fixé :

“un phénomène sera dit contrôlé lorsque, sur la base de notre expérience passée, nous pouvons prédire, au moins dans certaines limites, quelles variations du phénomène peuvent être attendues dans le futur. Prédire entre certaines limites signifie ici que nous pouvons établir, au moins approximativement, la probabilité pour que le phénomène observé tombe entre les limites données²⁴”.

Ces principes de base sont maintenant complètement intégrés dans la pratique quotidienne des services de contrôle qualité.

3. Le mode d’engagement des objets dans l’action

Nous avons vu la construction de la théorie de Shewhart, comment elle s’articulait d’une part à la science, d’autre part à des objets qui la relient à la pratique : le microphone au carbone qui démontre la nécessité de résoudre un problème de fabrication, le graphique de la carte de contrôle qui propose une méthode apparemment intuitive et facile à mettre en oeuvre. Mais à ce stade de l’analyse, nous n’avons examiné que le point de vue du promoteur initial, Shewhart, qui s’exprime avec une bonne dose de rhétorique. Que la méthode donne l’impression d’être utilisable en pratique peut n’être qu’un effet d’une habileté de Shewhart, ou des ingénieurs avec lesquels il était en relation et qui l’auraient conseillé - puisque nous avons vu que Shewhart était plutôt tourné vers la théorie. Du seul examen de la rhétorique des

²⁴ Shewhart 1929, op. cit., p. 4.

promoteurs, nous ne pouvons en réalité rien déduire sur les conditions réelles d'application de la méthode.

Pour dépasser cette question, il faut analyser la manière dont la méthode a été mise en pratique, reçue par les usagers. Nous disposons pour cela de quelques témoignages qui, s'ils sont assez lacunaires, permettent néanmoins de tirer des conclusions intéressantes quand on les replace dans un cadre conceptuel convenable. Indiquons donc d'abord notre conception du cadre d'analyse.

Il s'agit, au fond, d'une étude de *réception*. Il faut déplacer radicalement notre point de vue, jusqu'à présent celui des promoteurs, pour adopter celui de l'utilisateur. Celui-ci est confronté à deux types d'éléments : les discours des promoteurs, et les objets pour mettre en oeuvre la méthode proposée. L'utilisateur industriel est avant tout soucieux de savoir si la méthode "marche" dans le contexte de l'atelier ; il va donc avoir a priori une certaine méfiance vis-à-vis du discours des promoteurs, sachant qu'il contient une part importante de rhétorique. Il demandera des preuves, des témoignages fiables, des comptes rendus d'expérience... Mais ce sont là des éléments *discursifs* qui, s'ils peuvent attirer l'attention et l'intérêt d'un industriel, doivent être dissociés de l'*essai* de la démarche, un engagement dans une action pratique qui met en oeuvre les objets. Nous tenterons de montrer que l'essai de la carte de contrôle possède un pouvoir de conviction décisif sur les personnes, par exemple dans le cadre d'une formation. Ce sera l'objet du premier point : l'objet carte de contrôle comme nouvel outil cognitif. Nous examinerons ensuite comment l'argumentation des promoteurs est renforcée par le recours à d'autres objets que la carte de contrôle, tels que les urnes pour simuler les tirages au sort, qui sont utilisés dans les situations de formation, mais pas dans les ateliers. Dans un troisième point, nous analyserons la compatibilité entre l'ensemble des objets associés au contrôle statistique (notamment les modes d'emploi) et les structures organisationnelles de l'entreprise, la division des compétences et des tâches. Enfin, nous verrons comment l'engagement des objets dans la vie sociale de l'entreprise provoque des évolutions de la théorie.

La carte de contrôle comme nouvel outil cognitif

La carte de contrôle possède des propriétés qui l'apparentent à un nouveau moyen de perception : elle rend visibles et tangibles des phénomènes jusque-là cachés. Une

carte de contrôle standard (cf fig. 3, p. 116) permet de suivre deux tendances de la caractéristique de qualité : sa moyenne et sa dispersion. Si la moyenne est une notion relativement intuitive, il n'en va pas de même de la dispersion ; on conçoit l'idée, mais on a bien du mal à s'en faire une représentation mentale précise sans recourir à une image du type histogramme. Or la carte de contrôle donne à voir (cf fig. 3, p. 116), spatialisée sur une feuille plane, la notion de dispersion tout en montrant les limites que cette dispersion ne doit pas dépasser aussi longtemps que la production reste sous contrôle. Elle représente de façon parfaitement visible, sensorielle, la variabilité du processus de fabrication au cours du temps. Notons qu'elle n'utilise pas la représentation de l'histogramme, qui ne serait absolument pas opératoire pour suivre l'évolution de la dispersion dans le temps.

Si on entre un peu plus dans le détail, la carte de contrôle représente également des notions beaucoup plus abstraites : la variabilité de la valeur moyenne et la variabilité de la dispersion. Qu'est-ce que la variabilité d'une dispersion ? Pour comprendre ce concept, il faut se représenter le processus d'échantillonnage, comprendre qu'on estime à partir de chaque échantillon la dispersion de l'ensemble de la population, que cette estimation présente une variabilité du fait de cet échantillonnage... Bref, une succession de raisonnements parfois difficiles, qu'il serait impossible de dérouler mentalement dans le courant d'un travail répétitif. Or la carte de contrôle représente ces notions peu intuitives sans qu'il soit même besoin pour l'utilisateur de s'en faire une représentation mentale. C'est là que réside le tour de force : grâce à la carte de contrôle, il n'y a plus besoin de recourir au mental de l'ouvrier pour gérer la dispersion. La notion statistique de dispersion, qui est construite dans la théorie, a ainsi acquis une représentation uniquement visuelle.

La carte de contrôle permet ainsi de transformer un ensemble complexe de raisonnements abstraits en une procédure de travail faisant appel aux facultés de représentation les plus courantes (vision) et à des opérations de calcul arithmétique élémentaires. L'analyse présentée ci-dessus ne repose certes pas sur des observations empiriques de première main, nous l'avons construite à travers une expérience de pensée où nous nous projetons à la place de l'utilisateur. Mais il faut souligner que de telles observations sont pratiquées par certains chercheurs en sciences cognitives et

cognition distribuée²⁵ ; le principe en est de décrire exactement, par une observation phénoménologique, ce que font les sujets, quels moyens cognitifs élémentaires ils mettent en oeuvre dans l'usage des instruments de travail, afin de reconstituer leur "mode d'emploi" des objets - et non pas la théorie qu'un ingénieur peut voir derrière le fonctionnement de ces objets. Dans la routine d'un atelier, une fois le contrôle statistique "implanté", ce n'est plus la théorie qui sert, mais l'objet carte de contrôle et la procédure organisationnelle associée. La procédure, appliquée de façon automatique, ne nécessite aucune référence à la théorie statistique. L'activité de l'ouvrier peut s'analyser comme une succession d'opérations cognitives élémentaires : prélever un échantillon, effectuer les mesures, faire les calculs, reporter sur le graphique, regarder, conclure... Les observations permettant de valider et d'étoffer ce canevas restent malheureusement encore à faire.

Mais, d'un autre côté, il serait erroné de considérer que l'objet carte de contrôle permet d'évacuer complètement la théorie, de la reléguer au rang des accessoires de coulisse. En effet, si l'on peut encore admettre que l'ouvrier sur la chaîne ne se soucie pas de la théorie du contrôle statistique dans son action quotidienne, il n'en va certainement pas de même pour les ingénieurs qui entendent comprendre, avec leurs moyens cognitifs propres (les concepts scientifiques qu'ils ont l'habitude d'utiliser), comment "marchent" ces objets, comment ils peuvent produire des résultats tangibles. C'est à ce public, ainsi qu'à celui des contremaîtres, que sont destinées les séances de formation où chacun est confronté à des objets "pédagogiques" qui ont généralement pour effet, selon les témoignages des formateurs²⁶, d'emporter la conviction.

Parmi ces objets, il faut mentionner particulièrement les *urnes (bowls)*. Elles étaient remplies de jetons portant des

²⁵ Hutchins E., 1990 : "The Technology of Team Navigation", in : Galegher J., Kraut B., Egidio C. (eds) : *Intellectual Teamwork : Social and Technical Bases of Collaborative Work*, NJ : Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates.

Suchman L., 1987 : *Plans and Situated Actions: The Problem of Human-Machine Communication*, New York : Cambridge Univ. Press.

²⁶ Par exemple, Grant E.L. et Leavenworth R.S., 1972 : *Statistical Quality Control*, McGraw Hill, International Student Edition ; Peach P., 1947 : *An Introduction to Industrial Statistics and Quality Control*, Raleigh, N.C. : Edwards Broughton.

numéros, de telle façon qu'en effectuant des tirages aléatoires de jetons, on simulait le tirage aléatoire dans une population normale (suivant une loi de Laplace-Gauss), ou une loi rectangulaire, ou une loi triangulaire. Ce type de simulation a été assez fréquemment utilisé par les statisticiens, soit pour tester des résultats obtenus par des calculs analytiques, soit pour exhiber sous forme tangible les “lois du hasard²⁷”. On peut d’ailleurs voir dans les musées scientifiques différents appareils inspirés des mêmes principes, qui suscitent toujours l’étonnement des visiteurs : n’est-il pas toujours fascinant d’observer un ordre naître de ce qui n’était apparemment que désordre ?

Nous trouvons ici un effet du type “l’essayer c’est l’adopter” : l’étonnement que peut éprouver un nouvel utilisateur en constatant que “ça marche” est un facteur psychologique important pour expliquer le caractère souvent militant des partisans de la méthode statistique.

Une conséquence de cette confrontation aux objets, généralement couronnée de succès dans le cadre des séances de formation, est que, pour les ingénieurs ainsi formés, l’objet carte de contrôle devient une incarnation de la théorie. Des cartes de contrôle en fonctionnement de routine (donc qui “marchent bien”) constituent une validation permanente de la théorie, dont il devient aussi impossible de douter que de la théorie de la machine à vapeur... Nous observons là une causalité circulaire : la théorie fonde l’objet, dont le fonctionnement fonde la théorie, et ainsi de suite... Mais parallèlement, il faut le rappeler car cela montre la multiplicité des significations dont un objet technique peut être porteur, l’objet engage la théorie de façon différenciée selon le niveau de connaissance de celle-ci que possède chaque individu : l’ouvrier n’y verra qu’une procédure. L’ignorance de la théorie n’empêche pas de faire marcher l’objet, qui présente donc une autonomie ; mais à l’inverse, la théorie ne peut faire ses preuves qu’à travers l’objet, elle en est dépendante.

Des objets à l’appui de la rhétorique

L’adhésion au contrôle statistique passe par deux canaux : la persuasion, effet de la rhétorique des promoteurs et des nouveaux utilisateurs devenus “militants” de la

²⁷ Stigler S. M., 1986 : *The History of Statistics*, Harvard University Press.

statistique, et la confrontation aux objets eux-mêmes, élément d'une épreuve de réalité. Mais, à travers le matériau exploité pour cette analyse historique, il est impossible de faire la part entre ces deux types d'effets : tous les comptes rendus de confrontation aux objets, publiés dans des revues techniques, comportent une part de rhétorique.

Pour tenter de dépasser cette difficulté, on peut observer le statut que prend, dans la rhétorique, le rapport aux objets, et quels objets sont choisis de façon privilégiée comme support d'argumentation.

On trouve un grand nombre de textes qui se présentent comme des comptes rendus de mise en oeuvre. Ces textes induisent le lecteur à se projeter mentalement dans la situation de confrontation aux objets, à simuler cette expérience. La méthode du contrôle statistique subit une épreuve de réalité, le texte expose les conditions et rend compte des résultats. Ces témoignages, à moins d'être ostensiblement "publicitaires", constituent des éléments sur lesquels les décideurs fondent leur opinion.

Une deuxième catégorie de textes concerne les expérimentations de la méthode dans un contexte "scientifique", c'est-à-dire en laboratoire. Shewhart a ainsi utilisé les urnes normales, triangulaires ou rectangulaires, dont il est question plus haut, pour tester la méthode des sous-groupes rationnels (qu'il serait trop long d'expliquer ici) qui est au fondement des cartes de contrôle. Il a publié le résultat de 4000 tirages dans chacune de ces trois urnes, et ces tables ont continué pendant longtemps à faire référence, puisqu'on les trouve encore exploitées dans un manuel connu des années 70. On peut remarquer que, dans le premier article français datant de 1925, on trouve un dispositif similaire, que l'auteur emploie pour confirmer les résultats de ses calculs. Ces objets démonstratifs ne sont engagés, auprès du lecteur d'un article, qu'à travers une description en mots, en schémas, des listes de chiffres, des tableaux rassemblant les calculs. Le lecteur n'a pas devant lui l'objet brut et ne peut pas le manipuler pour vérifier ce qu'il lit. Pour comprendre l'expérience, il doit passer par des représentations mentales en faisant confiance à l'auteur. Néanmoins, ces éléments sont considérés comme des preuves.

A côté des objets qui engagent la théorie dans la pratique du travail, il faut donc aussi faire attention à ceux qui servent à étayer une argumentation, et qui ne parviennent au public que sous la forme textuelle de comptes rendus d'expérience.

En ce qui concerne l'argumentation sur les avantages économiques, on voit que les objets exhibés sont souvent

moins convaincants. Pour l'essentiel, ce sont des évaluations, même pas toujours chiffrées. Plutôt que les objets, ce qui emporte l'adhésion est l'effet d'exemple : le fait qu'une firme aussi importante et sérieuse que la Western Electric ait entrepris entre 1922 et 1924 une campagne d'amélioration de la qualité par des méthodes statistiques constitue un argument de poids... Il a en fait tout le poids de l'entreprise !

Mais ces expériences ne sont pas très nombreuses, alors il faut bien extrapoler. Shewhart exhibe, à travers des graphiques et des séries de chiffres mesurant des caractéristiques de qualité, des situations qui ne sont pas "sous contrôle statistique", et où il conviendrait donc d'intervenir. Mais il prend bien soin de préciser qu'il faut "garder son bon sens" et ne pas engager d'actions qualité si le gain à en attendre n'est pas largement supérieur aux dépenses. Cette disposition raisonnable est appelée le "raisonnement d'ingénieur". Voilà donc l'ingénieur mobilisé pour faire contrepoids au savant, qui risquerait sans doute d'être un peu trop rêveur, et le lecteur-entrepreneur peut être rassuré. On sait par ailleurs que les Bell Labs étaient peuplés d'ingénieurs au moins autant que d'universitaires, ce qui donnait une certaine crédibilité à l'argument de Shewhart.

Les objets pour convaincre de l'intérêt économique connaissent encore actuellement un développement important avec les calculs de *coûts de non-qualité*. Au plan d'une évaluation rigoureuse des coûts, le principe de ces méthodes est très critiquable. Mais elles rencontrent un succès certain si l'on en juge par le nombre d'entreprises qui y ont recours. Il serait intéressant d'analyser plus finement ce qui fait la solidité des méthodes les plus connues...

Des objets dans l'organisation de l'entreprise

Dans le travail, les objets prescrits par la théorie du contrôle statistique de fabrication doivent entrer dans des compromis avec les exigences de l'organisation des ateliers et de leur vie sociale. Les objets qui conduiraient aux performances théoriquement maximales sont souvent d'un usage trop difficile pour une main-d'oeuvre ouvrière, ce qui entraînerait des erreurs.

C'est ainsi que le "plan séquentiel", qui conduit en théorie à des gains très importants sur les tailles d'échantillon, est peu utilisé parce qu'il demande trop de manipulations, et donc de risques d'erreur. Ces plans sont l'oeuvre d'un brillant mathématicien, Abraham Wald, qui les a mis au point sur contrat du gouvernement américain

pendant la dernière guerre. Mais ce mathématicien n'avait sans doute pas un sens du concret suffisant, et les méthodes des ingénieurs de la Bell ont continué à avoir les faveurs des industriels. En revanche, les trouvailles de Wald ont eu des conséquences très importantes pour la théorie de la décision et ont considérablement fait progresser le milieu académique...

Dans le contexte d'un atelier, il ne convient pas de laisser une grande place au hasard, et les méthodes de contrôle statistique ont été rapidement standardisées. G. Th. Guilbaud compare ironiquement ce processus à la codification des instructions qui s'opère dans les organisations militaires : dans l'artillerie, on trouve le manuel du servant de pièce, le manuel du sous-officier, le manuel de l'officier... et dans l'entreprise, le traité scientifique pour ingénieurs, le livre de vulgarisation pour dirigeants, l'ouvrage technique pour contremaîtres (qui ne reproduit pas les démonstrations des théorèmes mais donne des exemples), la notice pour conducteur de machine. Chacun de ces ouvrages donne des règles de conduite, mais avec des libertés de choix de plus en plus réduites quand on descend vers le bas de la hiérarchie. L'ingénieur peut choisir entre les différents types de cartes de contrôle, le contremaître entre les différentes manières d'effectuer une mesure, mais l'ouvrier n'a qu'une règle à appliquer : appeler le régleur si les points reportés sur le graphique sortent des limites de contrôle, et continuer sinon. Il n'est pas jusqu'au tirage aléatoire des éléments de l'échantillon qui ne soit strictement réglementé afin d'éviter que l'ouvrier ne mette en oeuvre, consciemment ou inconsciemment, des stratégies qui introduiraient des biais dans le contrôle : les experts conseillent évidemment l'usage des tables de nombres au hasard mais estiment qu'elles présentent encore trop de marges de manoeuvre, et donc de possibilités d'erreurs ; aussi ont-ils inventé nombre d'ingénieux appareils permettant de tirer des nombres au hasard avec une intervention minimale de l'exécutant.

La démarche du contrôle statistique est donc croisée avec la division du travail et des responsabilités dans l'atelier. Apparemment, ce croisement a pu se faire avec succès, c'est-à-dire d'une façon acceptable au regard de l'ordre social dans les entreprises. C'est certainement là un des points forts de la démarche du contrôle statistique que de pouvoir se prêter à cette décomposition à travers le prisme de la hiérarchie, qui assigne à chacun un travail correspondant à son rang social et à son niveau d'éducation. Toutes les méthodes

de gestion n'ont sans doute pas eu cette capacité, ce qui explique nombre de "rejets".

Une fois cette décomposition conçue et mise en oeuvre, elle devient un élément d'ancrage du contrôle statistique dans l'entreprise : celui-ci est intégré dans le système d'organisation, il n'est plus possible de toucher à un élément sans toucher aux autres et le coût d'une modification devient très élevé.

Des objets engageant la théorie dans le jeu social

L'objet, tout en restant incarnation de la théorie pour les humains qui la connaissent, peut se trouver engagé dans d'autres relations généralement non prévues par les promoteurs initiaux de la théorie, et qui se font jour au gré des usages. La théorie se trouve donc liée à de nouveaux objets, engagée dans de nouvelles relations, qui contribuent soit à la consolider, soit à la déstabiliser selon les circonstances.

Prenons un exemple : le contrôle statistique change les modalités de relations dans l'atelier. Un de ses avantages, selon les experts, est en effet de permettre de décider, sur des critères objectifs et impersonnels, à quel moment la machine est dérégulée ; cela signifie que l'ouvrier, au vu du contrôle, décide d'appeler le régleur ou de continuer la production. Le régleur ou le contremaître ne peuvent donc plus le réprimander selon leur bon vouloir lorsqu'il sort un loupé (en supposant que la moyenne de l'échantillon reste dans les limites de contrôle), mais par contre le régleur peut se trouver en situation difficile si le contrôle montre qu'il ne parvient pas à régler la machine aussi bien qu'il le faudrait.

Le contrôle statistique peut également être utilisé pour modifier les relations entre la fabrication, le contrôle et le bureau d'études. Les cartes de contrôle donnent une représentation de la précision que les machines sont capables d'atteindre, et il serait donc logique que le bureau d'études en tienne compte dans son calcul de tolérances. Sinon, une bonne partie des produits ne seront pas conformes aux spécifications, il faudra les trier et rebuter les non-conformes. Avant l'usage du contrôle statistique, le bureau d'études était rarement mis en cause : la responsabilité des mauvaises pièces incombait à l'atelier, ce qui provoquait des disputes entre fabricants et contrôleurs. Selon des témoignages, le contrôle statistique a permis de rompre cette boucle fermée en impliquant le bureau d'études, et de sortir du conflit en offrant des éléments de discussion tangibles (les mesures de qualité et leurs distributions statistiques).

Un deuxième exemple montre comment la théorie, engagée dans le jeu social par ses objets associés, acquiert une image sociale qui n'était pas prévue au départ. Les promoteurs de la qualité chez Ford ont produit en 1950 une brochure destinée à la formation du personnel, et le contrôle statistique y est associé à des images sociales valorisantes : la médecine, les systèmes d'alarme. L'analogie avec le suivi de l'état de santé d'un malade s'appuie sur la similitude formelle (graphique) entre une carte de contrôle et une feuille de température :

“La carte de contrôle est comme un film qui nous tient informés de la qualité du travail que nous effectuons. Certains la comparent à la feuille de température d'un malade à l'hôpital. Les infirmières prennent la température du malade à intervalles réguliers, reportent chaque mesure sur une feuille de papier spéciale et relient les points par un trait. Lorsque le médecin vient voir les progrès du malade, il examine la feuille de température qu'il considère comme un bon indicateur général de l'état de santé du malade...”

Dans l'analogie avec les systèmes d'alarme, le contrôle statistique est présenté avec lyrisme comme un dispositif qui signale les écarts à la qualité idéale :

“Ce serait merveilleux d'avoir une série de lumières et de cloches accrochées à chaque machine et à chaque opération. Dès que notre travail s'écarterait d'un cheveu de l'état de perfection, les cloches sonneraient et les lumières clignoteraient...”

C'est par un phénomène d'association entre les objets propres au contrôle statistique et des objets sociaux nettement typés que s'est développée une perception sociale de la nouvelle théorie, et qu'elle s'est trouvée ancrée dans une réalité sociale qui lui était extérieure. Il est important de souligner que ces associations et ancrages se font à travers l'usage des outils et méthodes du contrôle statistique par des acteurs sociaux, elles ne leur sont pas inhérentes. Pour prendre une analogie linguistique, c'est le contexte qui accroche du sens sur le message ; et, à travers les phénomènes d'ancrage social, ce supplément de sens finit par s'accrocher au message de façon permanente. La théorie de gestion devient alors beaucoup plus qu'un corpus de connaissances : un symbole porteur d'une valeur dont il n'est plus possible de la séparer.

L'étayage mutuel entre objets et théorie

Nous avons vu comment la carte de contrôle rend perceptibles des notions théoriques comme la dispersion, comment elle "valide" continuellement la théorie dans l'usage professionnel. Il serait bien difficile de dire qui, de la carte de contrôle ou de la théorie, fait "tenir" l'autre ; ce sont deux éléments qui s'étayent mutuellement. Par la démonstration de son fonctionnement, la même carte de contrôle peut donc se trouver engagée dans une opération de conviction ; ce que Shewhart a simulé avec ses différentes urnes, dont la description est reprise par nombre de manuels pédagogiques. Certains instruments, comme les urnes, peuvent être engagés dans des opérations très diverses, de conviction, de pédagogie, d'expérimentation, y compris la simulation numérique puisqu'elles peuvent servir à déterminer expérimentalement l'efficacité de plans d'échantillonnage.

L'histoire du contrôle statistique montre que deux processus de construction ont eu lieu en parallèle : d'une part la construction scientifique de nouvelles propriétés des produits industriels (par exemple la dispersion des caractéristiques), d'autre part la construction d'objets permettant aux gens de percevoir ces nouvelles propriétés et de les gérer. Corrélativement, l'objet a donc un double usage essentiel : entretenir la croyance dans le bien fondé de la théorie, permettre d'intervenir sur le réel. A travers l'usage des objets et les actions de formation qui l'ont accompagné, les individus ont en définitive acquis de nouvelles aptitudes telles qu'être capables de percevoir une dispersion en lisant un graphique.

4. Le cas français : des objets mal à propos

On admettra sans doute facilement que les objets sont des supports pour la diffusion de nouvelles théories. Mais le fait que certaines théories diffusent, d'autres non, peut-il être imputé dans une certaine mesure aux objets associés ? Le cas de travaux réalisés en France et restés complètement lettre morte permettra d'apporter des éléments de comparaison avec le cas américain.

En 1925 paraît un article²⁸ qui traite de façon très complète le problème des conclusions que l'on peut tirer des procédures utilisées pour contrôler, par échantillonnage, la qualité de lots de munitions. Le problème est posé en des termes différents de celui du contrôle à l'intérieur de l'atelier, car il répond à une situation d'un autre genre : l'administration militaire, ayant fait exécuter en sous-traitance certaines fabrications, doit contrôler la qualité des livraisons qui lui sont proposées. A cet effet, le cahier des charges définit une procédure appelée "conditions de recette" : prélever un nombre pré-déterminé d'échantillons, les essayer ; et, en fonction du nombre d'échecs, accepter le lot ou le rebuter. Certaines conditions de recette offraient une deuxième chance au fournisseur si la première série d'essais n'était pas acceptable : il avait droit à une "contre-épreuve".

L'auteur de l'article, Maurice Dumas, était polytechnicien et ingénieur militaire dans l'artillerie navale. Son apport consiste à préciser par le calcul les probabilités d'acceptation de lots en fonction du taux de défectueux (inconnu) qu'ils contiennent, et cela pour plusieurs types de conditions de recette. Pour ce faire, il construit des *courbes* qui indiquent la probabilité d'acceptation en fonction du taux de défectueux ; la courbe d'une condition de recette la caractérise complètement. Or une telle représentation graphique aura plus tard un rôle tout à fait essentiel dans la pratique des tests sur échantillon, sous le nom de "courbe d'efficacité", et Dumas semble bien être le premier à l'avoir publiée à propos d'un problème de contrôle statistique²⁹. Voilà donc un "objet" de première importance, à la fois théorique et pratique, que Dumas exhibe. Va-t-il servir à la diffusion de ses idées, être le point de départ d'un renouvellement des méthodes françaises ? Absolument pas : la publication vaut à Dumas plusieurs commentaires flatteurs, mais elle ne produit aucun changement apparent dans les pratiques administratives. Personne ne lui propose de mettre ses idées à l'épreuve, d'expérimenter, même de façon limi-

²⁸ Dumas M., 1925 : "Sur une interprétation des conditions de recette", *Mémorial de l'artillerie française*, T. 4, fasc. 2.

²⁹ Comme tend à le prouver une correspondance entre Dumas et les spécialistes américains de ces méthodes que sont Dodge et Romig, des Laboratoires Bell (publication de 1929, *op. cit.*). Dodge et Romig reconnaissent que, s'ils ont utilisé ces courbes à l'intérieur des Bell Labs à partir de 1926, ils ne les ont pas publiées.

tée, de nouvelles conditions de recette. Comment expliquer cet échec complet, alors que l'approche proposée était scientifiquement correcte et accompagnée de formes graphiques opératoires qui furent systématiquement utilisées à partir des années trente ?

En premier lieu, l'intention de Dumas n'était pas tant de proposer de nouvelles méthodes que de lancer une réflexion critique sur les pratiques existantes. Il voulait montrer que, contrairement à l'opinion répandue, les conditions de recette ne garantissent pas que les lots acceptés soient de bonne qualité (c'est-à-dire contenant un pourcentage de défectueux inférieur à une valeur pré-déterminée), mais donnent seulement une certaine probabilité de rejeter les lots mauvais. Sa démonstration est irréprochable ; mais elle l'amène à des conclusions qu'il juge peu satisfaisantes : les échantillons à essayer pour obtenir le niveau d'assurance qui lui paraît souhaitable ont une taille beaucoup trop importante pour que la méthode soit utilisable en pratique, car l'essai des munitions est destructif et on ne peut pas raisonnablement essayer le quart du lot... Il en conclut que la méthode d'échantillonnage étudiée n'a pas vraiment d'avenir et qu'il faut rechercher d'autres moyens de contrôle (notamment en se fondant sur l'information *a priori*). Dumas ne s'est pas avisé que le problème qu'il voulait traiter était vraiment trop difficile, mais que sa méthode était tout à fait pertinente pour des problèmes moins exigeants, tels que le contrôle non destructif.

Deuxièmement, le support de publication de l'article n'a pas joué comme élément de diffusion. Le *Mémorial de l'artillerie française* avait en effet un statut ambigu : revue professionnelle, certes, mais pas utilisée comme outil de travail par la profession. La revue publiait toutes sortes de textes écrits par des artilleurs et concernant l'artillerie : articles documentaires ou historiques, réflexions, recherches personnelles... L'article de Dumas a donc été perçu par les lecteurs de la revue comme une curiosité mathématique³⁰, et non comme une proposition concrète pouvant amener des réformes dans les procédures de réception. Mentionnons toutefois que cet article a été remarqué par des ingénieurs russes, qui l'ont traduit et publié rapidement en URSS dans une revue d'armement (mais nous ne savons rien de l'écho qu'il a pu avoir dans ce pays).

³⁰ Entretiens avec M. Dumas et archives privées.

En 1925, Dumas a tenté de publier à nouveau son article dans une revue de diffusion plus large éditée par Dunod, *La Technique Moderne*, mais sans succès : la revue n'acceptait que des articles n'ayant jamais été publiés ! Bien qu'il eût pu réécrire l'article, Dumas s'est découragé et n'a pas insisté.

Apparemment, nous avons là le cas d'un inventeur isolé, bricoleur de talent, qui n'a pas trouvé l'auditoire qui aurait pu reprendre ses propositions et les traduire vers d'autres problèmes. Malgré des analyses et des résultats scientifiquement sans défaut³¹, Dumas ne s'est pas vu proposer des moyens suffisants pour produire une théorie solide. Agé de 25 ans, il n'occupait pas une position lui permettant de faire passer ses idées dans la pratique administrative (ce qui aurait impliqué de changer les cahiers des charges des marchés d'armement). Dans la suite de sa carrière, il a cependant été régulièrement associé à l'AFNOR quand celle-ci s'est penchée sur le problème du contrôle par échantillons, en 1940, puis à la Libération, et enfin dans les années cinquante.

Le cas de Dumas n'est pas unique en France. D'autres travaux de valeur ont été publiés, mais sans provoquer de remous notables sur la question des aléas de fabrication : Estienne (1903), Provost (1912), Vallery (1925). La première mention de la méthode américaine des cartes de contrôle remonte à 1936 ; une expérimentation industrielle eut lieu chez Saint-Gobain (Rosenfeld, 1937), et le sujet commença à être évoqué dans les milieux d'ingénieurs. Mais rien de décisif ne se produisit dans l'immédiat avant-guerre. A la Libération, ce sont les méthodes américaines qui furent importées, notamment à travers les missions de productivité du Plan Marshall.

Les objets ne peuvent donc à eux seuls expliquer la diffusion d'une nouvelle théorie : s'ils constituent des supports de communication, il faut faire intervenir des éléments de contexte pour expliquer l'ensemble du processus de diffusion. Le "message" que porte l'objet doit être jugé pertinent par le public industriel, sous l'un ou l'autre de ses aspects. Les courbes d'efficacité de Dumas sont passées inaperçues en dépit de leurs qualités scientifiques, mais il n'en a pas été de même des tables d'échantillonnage de

³¹ En annexe à l'article, on trouve également une vérification expérimentale à partir de tirages dans une urne, selon un dispositif ingénieux qui produisait automatiquement des tirages aléatoires. On a vu que Shewhart avait beaucoup utilisé les urnes, mais celles de Dumas ne sont pas passées à la postérité.

Dodge et Romig publiées en 1929 dans le *Bell System Technological Journal*. Les publications de ce journal étaient en effet lestées de tout le poids des Laboratoires Bell dans le système du téléphone américain : une information technique ou scientifique publiée dans ce journal signifiait pour les lecteurs industriels que les organes centraux du système Bell s’y intéressaient, et prenait donc une valeur stratégique. La Western Electric fabriquait en effet les équipements téléphoniques qui étaient revendus aux compagnies de téléphone locales ; dans un réseau de téléphone, il faut évidemment que tous les appareils placés chez les clients respectent des standards compatibles, et ces standards étaient émis par la Western Electric. Tous les responsables industriels dans le domaine du téléphone lisaient le journal de la Bell. A partir du moment où il y était écrit que la Western Electric utilisait les procédures de contrôle statistique de qualité, toutes les entreprises composant le Système Bell dressaient l’oreille car elles pouvaient s’attendre à être concernées dans un avenir raisonnablement proche. Le Journal de la Bell était donc nettement plus qu’un journal scientifique, c’était aussi une source d’informations stratégiques – à la différence du *Mémorial de l’artillerie française*.

Conclusion

Les objets tiennent, dans le processus de production et de diffusion des savoirs en gestion, une place tout à fait centrale mais paradoxale : leur rôle paraît à la fois trivial et énigmatique. Trivial, puisqu’ils représentent la forme matérielle des théories et que la diffusion fait nécessairement intervenir de telles formes. Enigmatique, dans leur rapport à la théorie, aux idées de la gestion : d’un côté, les objets semblent bien posséder en propre certaines propriétés qui les rendent indépendants de la théorie, et d’un autre côté, ils semblent perdre leur sens quand ils en sont séparés. Un outil de gestion produit bien souvent des effets pervers lorsqu’il est pris au pied de la lettre, en perdant de vue le contexte d’intentions qui a présidé à sa mise en place.

Pour éclairer ce paradoxe, il faut engager des démarches d’analyse beaucoup plus fines que celles habituellement pratiquées concernant les relations entre une théorie et les objets associés. Ce n’est pas à des observations d’ordre logique que nous pensons ici – elles risquent de n’être

qu'une construction spéculative³² – mais à des relations telles qu'on peut les observer dans l'usage que font les êtres humains de ces objets, et qui sont étudiées par des méthodes du type ethnographie de la communication, cognition distribuée..., qui se sont développées notamment à partir de l'ethnométhodologie. Cela demande évidemment des méthodologies d'investigation très particulières, dont la lourdeur constitue une difficulté majeure. Mais il semble nécessaire de regarder ces questions en face. L'exemple des travaux classiques de Mintzberg sur l'emploi du temps des managers montre que ce type d'observation fine conduit à des résultats tout à fait intéressants, en décalage important par rapport à ce que les acteurs eux-mêmes croient savoir de leur activité.

Pour conclure, nous défendons donc l'idée que, pour discuter de l'utilité des connaissances en gestion, il convient de partir de l'usage qui est fait, par les gestionnaires eux-mêmes, des couples associés de théories et de formes concrètes. Il faut recenser les différents types d'usages de ces ensembles théories/formes (usages cognitifs, stratégiques, argumentatifs, d'efficacité productive...), examiner comment ils constituent des ressources engagées par des humains dans l'action. Il faut essayer de penser théories et formes dans un même cadre d'analyse car la force et la solidité d'un tel ensemble ne s'expliquent pas de façon univoque par un ou plusieurs facteurs isolables, mais plus probablement par une certaine configuration singulière de ces facteurs et par la dynamique qu'elle engage.

³² Voir les critiques portant sur le logicisme des modèles d'intelligence artificielle de H. Simon, par les nouvelles écoles cognitivistes dans un numéro spécial de *Cognitive Science* consacré à l' "action située" (vol. 17, n°1, 1993).