

Prendre une décision : quand règne l'ignorance il reste la volonté

Mise à jour : 10/06/2021

Le déterminisme que j'ai étudié pendant des années [1] ne régit que les évolutions sans frottement, celles qu'on qualifie de *conservatives* parce qu'un système fermé ne peut évoluer qu'en conservant son énergie. Or les évolutions réelles sont *dissipatives*, soumises à des échanges d'énergie par frottement, rayonnement, réaction chimique, etc., ce qui les empêche d'être déterministes et rend leurs résultats peu prévisibles faute de précision.

Quand il étudie les lois de la nature, l'homme simplifie les évolutions en postulant le déterminisme : les lois qu'il affirme supposent des évolutions conservatives. Ces lois se vérifient, par exemple, aux frottements près. Cette approximation affecte la reproductibilité des résultats d'expérience, chacun distribué en général selon une loi statistique munie d'une moyenne et d'un écart-type. Lorsqu'une décision à prendre dépend du résultat d'une loi physique, si ce résultat est imprécis et/ou non-reproductible la décision peut être risquée, voire même impossible.

Maximisation d'une fonction malgré des expériences peu reproductibles

Voici un exemple vécu de ces problèmes. Au début de ma carrière, en 1964, j'ai animé un laboratoire de métrologie dimensionnelle d'une école d'ingénieurs, l'ICAM à Lille. Avec le soutien financier de la Régie Renault, nous y avons étudié un problème très fréquent dans l'industrie : comment accroître la productivité des outils coupants comme les fraises, les outils de tournage et surtout les forets. Nous cherchions une méthode, théorique et/ou expérimentale, pour accroître la vitesse d'enlèvement de matière tout en garantissant une durée minimum de vie entre deux affûtages de l'outil. Par exemple, il s'agissait de percer le plus vite possible un trou dans un carter moteur, tout en garantissant la tenue de l'affûtage du foret pendant 500 carters consécutifs de la chaîne de fabrication.

Une recherche documentaire préalable s'avéra décevante. Il n'y avait eu dans le monde que peu de publications sur ce sujet, et toutes sans résultat utile : on ne disposait pas de lois recommandant, pour un métal et un diamètre de trou donnés, les paramètres d'affûtage du foret et ses paramètres de vitesse de rotation et de pénétration (avance en mm/tour).

La méthode de recherche de telles lois commençait par essayer de comprendre, en les décrivant, les lois de coupe des métaux par déformation plastique à chaud sous l'action d'un outil coupant (à chaud parce qu'un tel outil chauffe fort en travaillant). Or ces lois sont d'une complexité telle qu'on ne les connaît pas encore suffisamment un demi-siècle après, malgré les nombreuses thèses théoriques et expérimentales sur la plasticité. La méthode consistant à déduire un résultat d'un phénomène compris ne marchait pas dans le cas des outils coupants en fabrication mécanique.

Abandonnant l'espoir de comprendre la coupe des métaux à partir de leur déformation plastique, j'ai donc cherché des lois de perçage optimal en faisant des essais de durée : combien de trous dans un métal donné un foret pouvait-il faire

entre affûtages, dans des conditions données de vitesse de rotation et de pénétration ? Les paramètres de l'étude étaient *dimensionnels* (la géométrie de construction et d'affûtage du foret) et *cinématiques* (vitesses de rotation et de pénétration). Nous avons construit une machine automatique à percer adaptée aux tests et fait quelques milliers de trous, mais une nouvelle difficulté est apparue : les résultats (nombre de trous entre affûtages) étaient insuffisamment reproductibles, le rapport écart-type sur moyenne étant trop élevé pour énoncer une loi. Non seulement l'approche compréhension → déduction était impossible, la notion même de loi de prédiction de durée était sujette à caution.

Mais mon équipe et moi étions têtus : nous voulions aboutir. Le problème de productivité des outils coupants était trop important dans l'industrie pour baisser les bras. J'ai donc étudié les méthodes statistiques adaptées à l'agronomie, où la recherche des conditions optimales de culture d'une variété de plante est aussi soumise à des problèmes de reproductibilité des résultats. Trouver, par exemple, le type d'engrais et la quantité nécessaires au rendement maximum d'un blé d'hiver dans des conditions de type de terrain et de météo données est un problème important et difficile d'essais en plein champ. Or on connaît depuis longtemps des méthodes statistiques de conception des expériences multifactorielles sous le nom de *plans factoriels* [2].

Nous pouvions donc, avec ces plans d'expériences, organiser des tests de perçage et en tirer les résultats les plus significatifs possibles. Notre sujet de recherche s'énonçait ainsi : trouver expérimentalement le maximum d'une fonction économique (le nombre de trous entre affûtages) lorsque les multiples paramètres dont elle dépend varient, et ce malgré les problèmes de reproductibilité. Il s'agissait donc, sur le plan universitaire, de construire un pont entre Recherche opérationnelle et Statistiques, deux branches des mathématiques, ce qui fut fait.

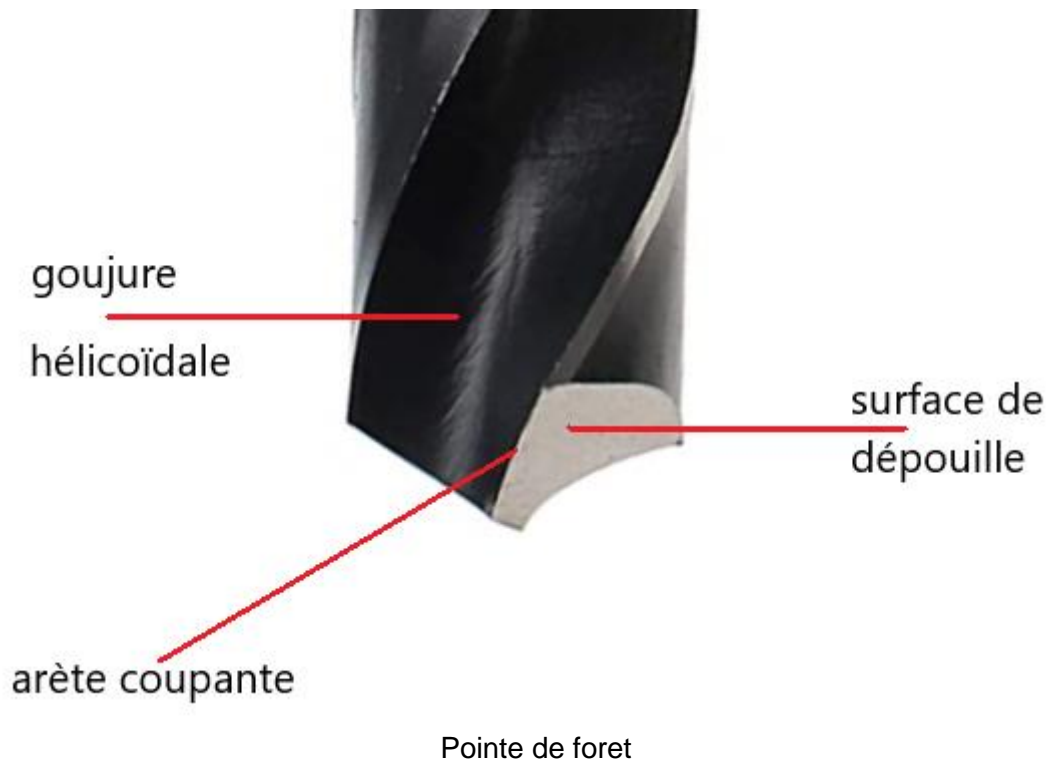
Après de longs mois de recherches, nous avons pu livrer notre première contribution à la productivité d'une opération de perçage. C'était, à l'usine Renault du Mans, l'accélération du perçage des bielles qui freinait la production des moteurs, freinant par-là celle des voitures de la gamme qui se vendaient le plus. L'application de nos paramètres d'affûtage et de cinématique divisa par deux la durée de l'opération, permettant ainsi de produire plus de voitures par jour. Mais l'ouvrier, qui montait les bielles à percer sur le carrousel de perçage et démontait les bielles percées après usinage, a vu sa cadence de travail devenir insupportable. Une demi-heure après le début du nouveau mode de travail il s'est plaint à son délégué syndical, qui a mis toute la chaîne de fabrication en grève en quelques instants ! Il a suffi d'affecter deux ouvriers, l'un pour le montage des bielles sur le carrousel et l'autre pour le démontage, pour revenir à une cadence supportable.

Cette affaire fit du bruit chez Renault. Un de leurs responsables des Méthodes me demanda comment j'en étais arrivé à appliquer des mathématiques *agricoles* (les plans factoriels) à un problème d'usinage. Je lui ai répondu : "En cherchant désespérément une solution".

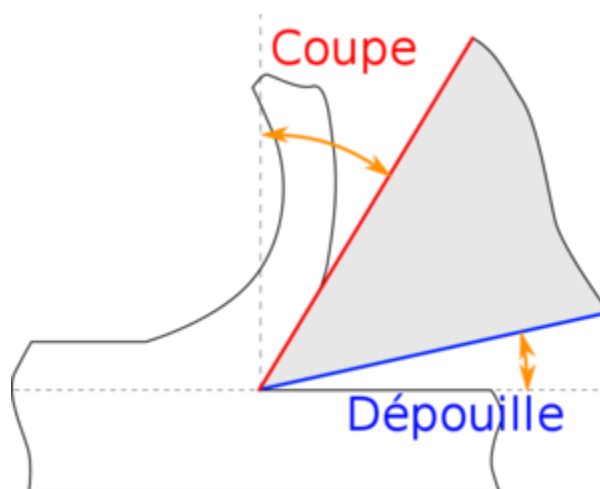
Lorsqu'une approche traditionnelle ne convient pas, il faut essayer des approches révolutionnaires jusqu'à ce qu'on trouve une solution, ou qu'on démontre par l'expérience qu'aucune n'est à notre portée.

Le calcul des angles de dépouille des forets

J'ai eu une autre occasion d'innover pour Renault, en étudiant l'aspect théorique du perçage à partir de la plasticité du métal.



Un foret a deux goujures, surfaces hélicoïdales par où la matière coupée par les arêtes s'évacue. L'affûtage du foret était réalisé, pour chaque arête, par une meule plate dont le déplacement enveloppe une surface conique (dite *de dépouille*) qui coupe l'hélicoïde de goujure selon cette arête ; celle-ci était donc une courbe gauche. Par chaque point P de cette courbe passe un cylindre virtuel de même axe que celui du foret. Dans le plan tangent en P au cylindre on définit un angle, dit *de dépouille*, entre l'opposé au vecteur déplacement de P et la tangente à la surface de dépouille.

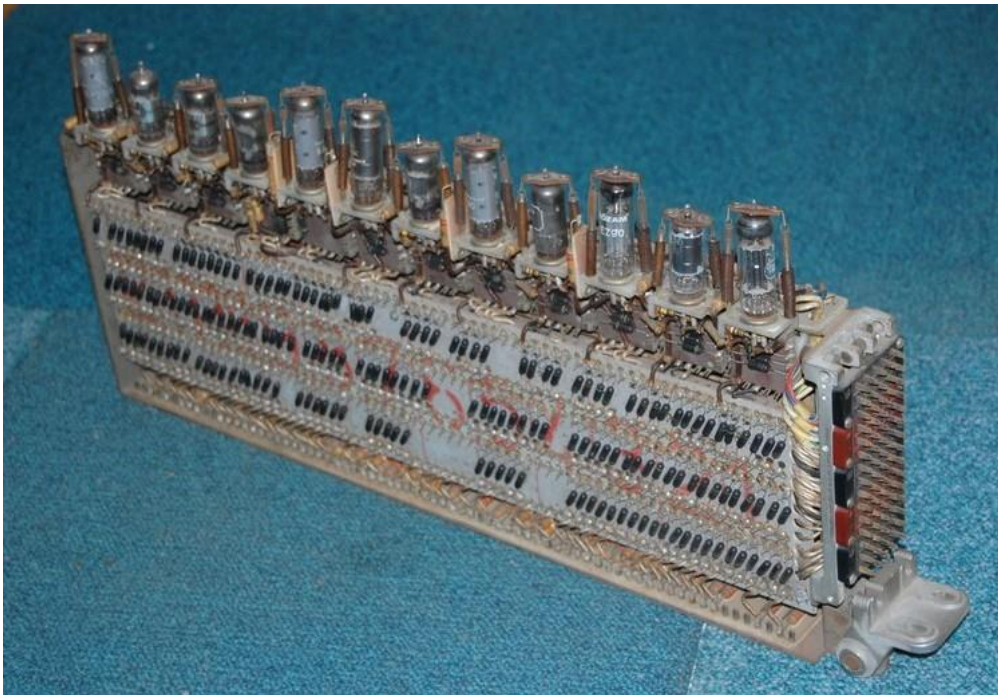


Angle de dépouille - ©fablabo.net

On me demandait d'étudier la variation de cet angle le long de l'arête pour divers cas d'affûtage. Je devais, en Géométrie descriptive (méthode graphique de représentation d'un

objet dans l'espace par ses projections sur deux plans perpendiculaires, par exemple par une vue de face et une vue de dessus), faire des dessins de 60 cm de côté pour relever au rapporteur les angles de dépouille d'une dizaine de points. C'était horriblement fastidieux et prenait environ une journée par cas d'affûtage.

Après une semaine de ce travail j'allai demander conseil à mon professeur d'astronomie, titulaire de la chaire à Lille : y a-t-il un moyen plus rapide - et surtout moins fastidieux - de calculer ces angles après les avoir définis en Géométrie analytique ? Il en avait un, utilisant un langage informatique qu'il avait inventé pour faire des calculs d'astronomie de position sur l'ordinateur à cartes et tableau de connexion [Gamma Extension Tambour](#) qui venait d'arriver à l'université ; ce n'était qu'[une tabulatrice Gamma 3 vitaminée](#), mais tout le monde en était fier.



Tabulatrice Gamma 3 : tiroir de mémoire à condensateurs, avec ses lampes

On câblait son tableau de connexion, on lui fournissait des programmes et des données par cartes perforées et il imprimait les résultats sur un large papier listing. Mon professeur m'a tendu un mode d'emploi de son langage, ronéotypé sur 4 pages, en précisant qu'il calculait bien les angles correspondant à des sinus, cosinus ou tangentes.

J'ai mis une semaine à rédiger la solution de Géométrie analytique et une autre à écrire le programme. J'ai ensuite perforé celui-ci sur des cartes 80 colonnes avec une perforatrice à 3 doigts P80, une colonne par caractère.



Carte perforée - ©Wikipedia



Perforatrice de cartes Bull P80

Il y avait environ 300 cartes et un miracle s'est produit : pour la seule fois dans ma carrière ultérieure d'informaticien, un programme compliqué a marché correctement du premier coup. En une journée de week-end, le vaillant ancêtre d'ordinateur a fait le travail que j'aurais réalisé en deux ans en Géométrie descriptive, et ses angles de dépouille étaient en degrés, minutes, secondes et 4 décimales après, une précision des millions de fois meilleure.

Le lundi matin à 11 heures j'étais à Billancourt chez Renault, où jusque-là personne aux Méthodes n'avait fait de calcul scientifique sur ordinateur. En une heure, après avoir vu mon listing, ils ont décidé de former leurs ingénieurs calculant des engrenages de boîtes de vitesses et différentiels à la programmation Fortran. Ce langage venait d'arriver des Etats-Unis en même temps que leur premier grand ordinateur, un IBM 360 trônant dans une salle climatisée. Après avoir appris le Fortran en un mois, quelques ingénieurs ont programmé un pont hypoïde [5] en trois mois, conception des surfaces d'engrenages qui demandait deux ans avec leurs méthodes précédentes.

C'est ainsi que l'informatique scientifique est entrée au service Méthodes de Renault, révolutionnant des opérations complexes du dessin de carrosserie et d'outillage, des calculs d'engrenages et de bien d'autres applications.

Vers le sommet en suivant la ligne de plus grande pente

Pour trouver les paramètres optimaux des forets en matière de géométrie, d'affûtage et de vitesse nous avons vu qu'une approche scientifique par compréhension et déduction ne convient pas. Nous avons vu, aussi, qu'une recherche expérimentale de ces paramètres souffre de la reproductibilité limitée des résultats de tenue du foret entre deux affûtages. Voici les principes de notre recherche expérimentale du maximum de tenue entre affûtages.

Puisque nous ne pouvons connaître scientifiquement l'expression mathématique de la fonction économique à maximiser, nous renonçons à la trouver. Nous supposons d'abord que c'est une fonction *continue* de nos variables de géométrie, d'affûtage et de vitesse, dans son domaine d'existence (espace à une quinzaine de dimensions, dont on ne fait varier qu'une à trois à la fois dans une campagne d'essais particulière). Nous supposons ensuite que c'est une fonction *deux fois dérivable et concave*, c'est-à-dire qu'elle a un maximum dans ce domaine, que ce maximum est unique et que toute montée vers lui est possible sans jamais redescendre.

Pour illustrer ces hypothèses, supposons que notre domaine est une montagne, la fonction $F(x,y)$ à maximiser étant l'altitude d'un point de coordonnées (x,y) : nous cherchons donc à atteindre le sommet. Nous voulons l'atteindre par le chemin le plus court possible, c'est-à-dire en suivant la ligne de plus grande pente à partir de notre point de départ D. Mais nous ne connaissons pas l'expression de la fonction économique, c'est-à-dire la forme de la montagne. Nous savons seulement qu'elle est concave, c'est-à-dire qu'on n'aura jamais d'obligation de redescendre dans notre trajet vers le sommet. Nous supposons enfin que c'est la nuit et qu'on voit seulement à quelques mètres, mais que nous disposons d'un niveau à bulle permettant en tout point de savoir « de quel côté le sol monte, et avec quelle pente ».

Au point de départ D, en posant notre niveau sur le sol dans diverses directions nous pouvons déterminer celle de plus grande pente. Nous faisons quelques pas dans cette direction et nous atteignons le point E, situé plus haut que D. Nous cherchons alors en E la nouvelle direction de plus grande pente avec le niveau, etc. Cette méthode de progression est dite *de gradient*.

Pour résoudre le mieux possible le problème de faible précision des expériences en chaque point (et de la hauteur exacte de la bulle de notre niveau) nous définissons le plan des essais de perçage selon la méthode statistique du *Plan factoriel*, méthode que nous n'approfondirons pas ici : en faisant un ensemble d'expériences ainsi conçu autour de chaque point de notre parcours, nous y déterminons la direction la plus probable de plus grande pente et la précision que nous pouvons espérer.

Lorsque toutes les directions de déplacement auront une probabilité de progrès inférieure à l'erreur probable, nous aurons atteint le sommet S. Par précaution, nous ferons ensuite un ensemble d'expériences autour de S pour vérifier la stabilité de ce maximum.

Dans les recherches de perçage optimal effectuées pour Renault, cette méthode a permis de définir un nouveau type d'affûtage à surfaces en dépouille plates, produit par une affûteuse précise et simple qui a été brevetée [3]. Après avoir financé les recherches effectuées à l'ICAM, Renault a confié à la société AVYAC le soin de fabriquer une affûteuse industrielle [4], activité qu'elle poursuit à ce jour avec les technologies numériques les plus récentes.

Conclusion philosophique : oser prendre des risques est affaire de volonté

Lorsque l'excès de frottements ou d'incertitudes empêche de prendre des décisions complètement rationnelles, conformes à des lois déterministes, il faut oser sortir des sentiers battus, accepter le risque de l'inconnu. C'est ce que des médecins, des entrepreneurs ou des politiciens font souvent quand ils n'ont pas d'autre choix.

C'est aussi ce que l'Allemand Clausewitz, le plus célèbre théoricien de l'art militaire, a compris et argumenté dans son monumental traité *De la guerre* [6], en expliquant pourquoi et comment oser et accepter le risque est *affaire de volonté*. Il y observe que des armées révolutionnaires françaises, bien moins entraînées, équipées et professionnelles que celles de la Prusse et de l'Autriche, ont vaincu celles-ci à Valmy (1792) et pendant la campagne d'Italie (1797).

C'est aussi ce que Charles de Gaulle faisait dans son appel du 18 juin 1940, quand il n'avait que sa volonté pour continuer dans le reste du monde le combat de la France, vaincue en Europe [7]. C'est sa volonté qui lui a permis de s'imposer comme chef de la France libre, contre Roosevelt et son protégé Giraud ; d'imposer la France comme membre des alliés décidant du sort de l'Allemagne ; enfin d'imposer la France comme membre du Conseil de sécurité des Nations-Unies.

Clausewitz et De Gaulle réfléchissaient depuis des années aux règles d'expérience à observer dans l'art de la guerre, et à la préparation mentale nécessaire pour oser prendre des risques lorsqu'on ne peut faire autrement : *pour vaincre l'ennemi il faut d'abord le vouloir très fort, de toutes ses forces*.

On peut s'y entraîner en y pensant souvent, en pratiquant une méditation continue. On apprend ainsi à maîtriser ses émotions dans les situations d'hostilité, d'incertitude et à haut risque, à conserver son objectivité et son respect des réalités. On apprend à être patient, et à persévérer face aux difficultés graves tant qu'on a une chance de réussir et que l'échec n'est pas certain.

Daniel Martin

Références

[1] Ouvrages de Daniel Martin sur la philosophie des sciences :

- *Philosophie des sciences, métaphysique du XXI^e siècle*
<http://www.danielmartin.eu/Philo/Metaphysique.pdf>
- *Le déterminisme régit toutes les lois physiques - Raisonnements scientifiques du XXI^e siècle* - <http://www.danielmartin.eu/Philo/dtmresume.pdf>

[2] *Plans d'expérience factoriels : Construction et propriétés des fractions de plans* par Dominique Collombier – Editions Springer

[3] *Brevet d'invention de machine à affûter les forets et alésoirs* délivré le 29/11/1965. Propriétaire : ICAM. Inventeur : Daniel Martin.

[4] AVYAC MACHINES société qui fabrique les machines à affûter selon le brevet ci-dessus depuis près de 60 ans - <https://www.avyac-machines.com/>



Machine à affûter AVYAC NC18

[5] Un pont hypoïde est un pont arrière de voiture dont les axes de roues sont dans un plan différent de celui de l'arbre de transmission, d'où des calculs d'engrenages très complexes.

[6] *De la guerre* par Carl von Clausewitz, éditions PERRIN

Cet immense traité reste considéré comme le plus important jamais consacré aux questions militaires et stratégiques, inspirant les plus grands généraux, mais également des intellectuels comme Raymond Aron ou René Girard.

[7] Charles de Gaulle a écrit de nombreux ouvrages proposant des actions et attitudes face aux problèmes militaires, organisationnels, politiques et psychologiques : *La discorde chez l'ennemi*, *Vers l'armée de métier*, *Le fil de l'épée*, etc.