

Revue Internationale de

ISSN 0980-1472

systemique

Vol. 4, N° **3**, 1990

afcet

Dunod

AFSCET

Revue Internationale de
systemique

Revue
Internationale
de Sytémique

volume 04, numéro 3, pages 375 - 393, 1990

Méditations mécaniciennes sur l'action,
les mots et les équations aux dimensions

Jean-François Quilici-Pacaud

[Numérisation Afscet, janvier 2016.](#)



Creative Commons

- J. J. McDOWELL, The importance of Herrnstein's mathematical statement of the law of effect for behavior therapy, *American Psychologist*, 37:7, 1982, p. 771-779.
- J. MEHLER, E. DUPOUX, De la psychologie à la science cognitive, *Le débat*, 47, 1987, p. 65-87.
- D. MERCIER, Systèmes à mémoire utilisant des réseaux neuronaux, In J. DELACOUR et J. C. S. LEVY, *Systèmes à mémoire*, Mason (à paraître).
- J. R. MILLENSON, An isomorphism between stimulus-reponse notation and information processing flow diagrams, *The psychological record*, 17, 1967, p. 305-319.
- R. J. NELSON, Behaviorism is false, *The journal of philosophy*, 14, 1969, p. 417-475.
- W. QUINE, *Word and object*, Cambridge, MA: M.I.T. Press, 1960.
- M. RICHELLE, *L'acquisition du langage*, Bruxelles, Dessart et Mardaga, 1976.
- D. E. RUMELHART, J. L. McCLELLAND et P.D.P. Research Group, Parallel distributed processing, *Explorations in the Microstructure of Cognition*, vol I et II, M.I.T. Press, 1986.
- P. SUPPES, Stimulus-reponse theory of finite automate, *Journal of mathematical psychology*, 6, 1969, p. 327-355.
- R. S. SUTTON et A. G. BARTO, Toward a modern theory of adaptive networks: Expectation and prediction, *Psychological Review*, 88, 1981, p. 135-170.
- T. WINOGRAD, Cognition, attunement and modularity, *Mind and Language*, 2: 1, 1987, p. 97-103.
- M. D. ZEILER, The sleeping giant: reinforcement schedules, *Journal of the experimental analysis of behavior*, 42, 1984, p. 485-493.
- G. E. ZURIFF, *Behaviorism: A conceptual reconstruction*, Columbia University Press, 1985.

MÉDITATIONS MÉCANICIENNES SUR L'ACTION, LES MOTS ET LES ÉQUATIONS AUX DIMENSIONS

Jean-François QUILICI-PACAUD

Chercheur en technologie-innovation ¹

Résumé

La mécanique comme science fondamentale et appliquée, jadis si dominante, est parfois jugée dépassée.

On peut cependant considérer — du point de vue des représentations, avec notamment les équations aux dimensions issues de son domaine — qu'elle est une sorte de « grammaire de la physique » (G. Bachelard), bien que le champ de cette dernière soit devenu moins accessible à la sensibilité humaine que celui de la Mécanique de Newton ; qu'elle est exemplaire du cursus historique de toute science appliquée, erreurs de parcours comprises. Et, enfin, qu'elle a toujours une valeur heuristique importante, pour la conception de produits originaux comme pour l'explication de l'action même.

Abstract

Mechanics, as both a fundamental and applied science, which has been a dominating one, is now sometimes said obsolete.

All the contrary, from the point of view of representations (mental models) and more definitely from the so-called "dimensional identities" issued from its field, one can consider it as a "physics grammar" (G. Bachelard), even though modern physics are less "sensitive" than Newton's mechanics. That it exemplifies the historical cursus of any applied science, itinerary errors included. And, at last, that it always remains of an heuristic value, for the design of new artifacts as for the very explanation of action.

Parfois reléguée aujourd'hui au rang de science d'application ou de technique, la Mécanique (newtonienne) a pu être qualifiée par Bachelard (1949) de « grammaire de la physique ». Elle peut être considérée aussi comme sa grand'mère, fille elle-même de la Géométrie.

1. 131, rue de Vaugirard, 75015 Paris.

Notre propos est de montrer qu'elle reste bien une discipline « fécondante » ou heuristique par excellence. Partant de l'expérience vécue immédiate et de la matérialisation des premiers artefacts (outils, armes, véhicules, etc.), elle a su progressivement forger des moyens abstraits, mais rigoureux, de désignation et d'interprétation (du concept de masse et du principe reliant celle-ci à l'accélération, par exemple, aux équations aux dimensions); elle est aussi en mesure d'utiliser ceux-ci pour concevoir – le mot anglais « design » s'apparente à la fois à « dessein » et « dessin » – de nouveaux artefacts (ou produits du génie humain) et surtout pour représenter correctement les objets naturels et tout particulièrement l'homme, de ses gestes les plus courants à sa façon de « saisir » ou de comprendre les modèles les plus abstraits (Mécanique post-newtonienne, par exemple).

A chaque étape de leur processus de découverte, les mécaniciens ont certes commis des erreurs : représentation incorrecte du geste ou de l'action, confusion entre la « carte » et le « territoire » ou entre le modèle et la chose, tant au niveau du langage naturel qu'à celui des équations aux dimensions. Mais, à chaque fois, la Mécanique adulte a su se reprendre et pu servir de repère à ses sciences-filles qui, à leur tour, commettaient des excès similaires et souvent plus graves. Le mécanisme n'est plus l'apanage de la Mécanique et semble affecter davantage les électroniciens et les biologistes.

De nos jours s'ouvre peut-être une nouvelle voie mécanicienne, moins porteuse d'aveuglements et de dérives, pour une meilleure appropriation des connaissances techniques. C'est au repérage de cette voie et à un voyage dans la « technonature ou monde des artefacts » que nous convions le lecteur. C'est aussi la poursuite d'un effort de réhabilitation d'une technologie paritaire et complémentaire de l'épistémologie, dès lors que nous admettons que les vocations et productions respectives des scientifiques et des techniciens diffèrent essentiellement (Quilici-Pacaud, 1989).

1. L'action vécue

Si la plupart des disciplines scientifiques et techniques trouvent bien leur source dans l'action vécue – et ressentie en notre for intérieur –, leurs connaissances accumulées n'ont pourtant guère permis d'éclairer méthodiquement cette source.

1.1. De l'action vécue comme source de connaissance

On peut raisonnablement penser, à la suite de R. Pagès (1986), qu'Archimède a découvert « son » principe en prenant conscience qu'il se sentait plus léger dans l'eau de sa baignoire. L'explication pédagogique, selon laquelle la

différence des densités du corps immergé et du liquide permet à la pesanteur d'agir, est autrement abstraite (Bachelard, 1949); elle est en tout cas post-newtonienne et occulte totalement l'intuition originelle. On notera, au passage, ce que « prendre conscience » veut dire sous la plume de Szent-Gyorgii ou d'E. Morin (1986) : « être capable de passer du perçu au conçu ».

Autre exemple, la construction d'un angle droit, au moyen d'une corde matérialisant un triangle de côtés respectivement proportionnels aux nombres 5, 4 et 3, était connue des Chinois comme des Grecs, avec deux solutions pour le sommet rectangle à partir d'une hypoténuse donnée.

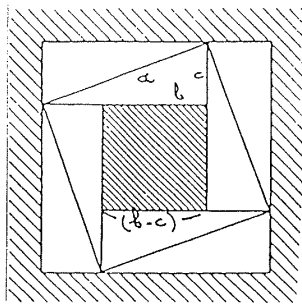
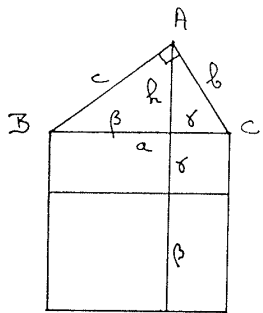
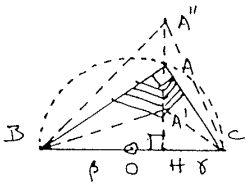
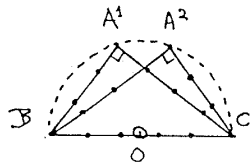
La constatation que le lieu des sommets rectangles était le cercle ayant l'hypoténuse pour diamètre vint assez facilement et renforça sans doute la curiosité de Pythagore pour les qualités propres aux triangles rectangles en général. On peut supposer qu'il a observé la similitude des trois triangles obtenus en abaissant la normale de l'angle droit puis évalué le rapport qui donne pour la hauteur la moyenne géométrique entre les deux segments déterminés sur l'hypoténuse (ce qui est historiquement attesté); de là à trouver son théorème, il y a un cheminement sensible assez facile à suivre. Par ailleurs, dans un ouvrage chinois ancien, on trouve un dessin qui donne une autre démonstration du théorème, fondée sur le calcul de superficies qui parlent bien aux yeux (cf. fig. 1 et 2).

Le rêve de Kékulé, imageant la formule chimique bouclée du benzène, ou encore le « bonhomme » d'Ampère constituant d'autres illustrations de « mise en situation personnelle » au départ d'une découverte. De nos jours, cette projection mentale est au cœur de certaines techniques de créativité comme la « synectique » de Gordon (1961).

1.2. A la connaissance de l'action vécue

En ce qui concerne l'impact de nos connaissances sur notre perception de l'action, il faut bien admettre que bien des mathématiciens ou physiciens, ayant pourtant assimilé les concepts de force, de moment et d'inertie, ont quelque peine à les mettre en pratique pour ouvrir et fermer une porte ou pour bricoler... et qu'ils utilisent leur propre corps comme une « boîte noire » fonctionnelle (docile et muette, autant qu'inconnue d'eux dans son organicité), jusqu'au jour où quelques douleurs les obligent à se poser de cruelles questions... et à « inventer » une démarche antalgique parfois aggravante.

Même les gestes les plus courants, celui de pousser par exemple, font l'objet d'une représentation lacunaire ou erronée chez la plupart des gens et quelques grands esprits. Ainsi, Bachelard (1949) écrit-il : « pris comme être sensible et volontaire, l'homme n'a d'autres activités que de poussée et de choc ». Bien qu'il distingue très finement la mécanique rationnelle de l'empirique ou « la



OBTENTION D'UN ANGLE DROIT
(CONNUE AVANT PYTHAGORE)
PAR CORDE $5+4+3$
($5^2 = 4^2 + 3^2$)
DONNE 2 SOLUTIONS : A_1 ET A_2
(ET AUSSI LE CERCLE CIRCONSCRIT)

VU PAR PYTHAGORE, LE
TRIANGLE RECTANGLE ABC
EST SEMBLABLE À HBA
ET À HAC
CE QUI PEUT S'ÉCRIRE PAR
LES FRACTIONS (DIMENSION L^0)
 $\frac{h}{\beta} = \frac{\gamma}{h}$ ET/OU PAR
LE PRODUIT (DIMENSION L^2)
 $h^2 = \beta \cdot \gamma$ (SURFACE)

MAIS, SUPPOSANT CETTE SIMILITUDE
RECONNUE (BACHELARD op.cit.)
LA QUESTION $a^2 = b^2 + c^2$?
EST IDENTIQUE
À $b^2 = \gamma^2 + h^2$?
ET/OU À $c^2 = h^2 + \beta^2$?
(OU À LA SOMME) $a^2 = \beta^2 + \gamma^2 + 2h^2$?

OR $h^2 = \beta \cdot \gamma$ ("MOYENNE DE PYTHAGORE")
ET $a^2 = \beta^2 + \gamma^2 + 2\beta \cdot \gamma$
 $= (\beta + \gamma)^2$

SE LIT SUR LE DESSIN (CITÉ PAR
G. BATESON IN LA NATURE ET LA
PENSÉE)

AUTRE DÉMONSTRATION, CHINOISE
TEHAO KIUM K'ING (II^{ES} ?)
(CITÉ PAR A.G. HAUDRICOURT)
(ÉVALUER LA SURFACE DU
CARRÉ OBLIQUE ◻)

Figure 1.

domination du sensible de la réduction au sensible » ou relève encore chez Taine une erreur que celui-ci « n'eût vraisemblablement pas faite, s'il eût apprécié l'expérience à partir de la problématique qui la rendait intéressante », Bachelard néglige le fait que la traction permet la poussée : un muscle ne pouvant que tirer en se rétractant, seule sa combinaison avec un compas osseux permet une poussée (et symétriquement, un équilibre d'efforts en une position donnée, s'il y a un muscle antagoniste ou au moins quelque organe élastique passif). C'est ce que l'on peut observer dans les cas simples du bras ou de la queue des crustacés (fig. 3).

De même, Leroi-Gourhan (re)présente comme des « percussions posées » le maniement d'outils du genre grattoir, couteau ou ciseau ; alors que le concept de percussion implique l'idée d'une vitesse préalable et notable, que celle de contact exclut.

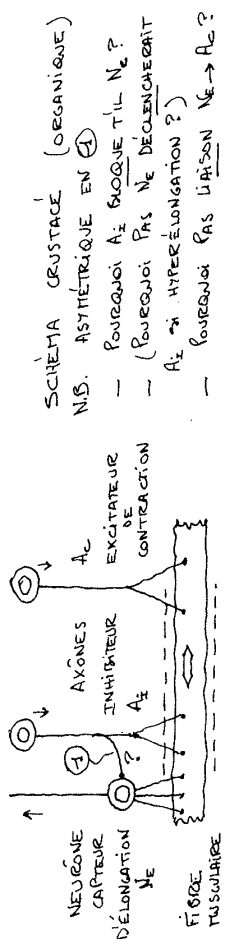
Les mécaniciens antiques avaient probablement plus de « flair » qu'on ne leur en concède a posteriori, en insistant sur leurs représentations infra-scientifiques et langage afférent. Ainsi, dans la tradition hindouiste tantrique, ne distingue-t-on pas déjà « connaissance abstraite » (jnana) et « expérience » (vijñana) en insistant sur leur « conjonction » (yoga) ? Dès 1750, dans le *Prospectus de l'Encyclopédie*, Diderot ne déplorait-il pas qu'on ait trop parlé des Sciences et pas assez des Arts mécaniques, les pratiquants étant quasi-muets... : « dans l'atelier, c'est le moment qui parle et non l'Artiste ».

2. Les mots

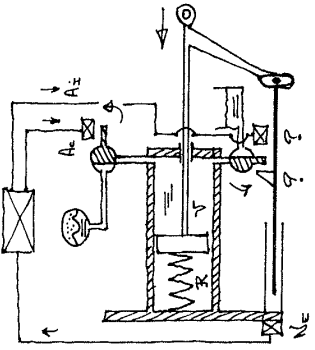
Si les mots du langage naturel servent d'abord à désigner ou repérer leur objet, à l'interpréter ou le qualifier, ils permettent aussi de dériver métaphoriquement d'autres interprétations pour des objets analogues mais moins connus. Mais toute discipline tend à opérer des dérivations incontrôlées et se laisser entraîner dans des « dérives » ou dérapages dangereux. Créatrice de concepts fondamentaux qui ont fécondé ensuite d'autres disciplines, la Mécanique s'interroge sans doute davantage sur eux, comme l'y invite Bachelard (1949).

2.1. Fonction du mot

La première fonction d'un mot est de désigner ou repérer l'objet auquel il réfère ; cette action de « dénomination » est reconnue comme essentielle par la philosophie. Désigner permet de reconnaître immédiatement : si l'on appelle un chat un « chat », c'est bien pour ne pas le confondre avec d'autres félins ou félidés, surtout les plus proches (on retrouve ici « la bonne vieille dialectique »). Désigner permet également d'identifier quelque chose qu'on



- TENTATIVE D'ANALOGIE ROBOTIQUE
- NIVEAU "CENTRAL" (TRAITEMENT INFO)
 - NIVEAU CONNEXIONNE (AXONES)
 - A LIAISONS INFO/ENERGIE? (SYNAPSE?)
 - A ENERGIE (SIMPLE EFFET CAPTEL ELASTIQUE?)
 - A CONNEXIONNE, DONT N₂ → A₂
 - A CAPTEUR DELONGATION



SYSTEMES OSTEO/MUSCULAIRES

SCHEMA CRUSTACE:
 (N₂ R ECHANGEBLES) N.B.
 SIMPLE EFFET
 PAS DE REDONDANCE N₂, A₂
 R → EFFORT DE TENSION PREDETERMINE

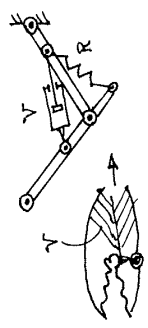


Figure 2.

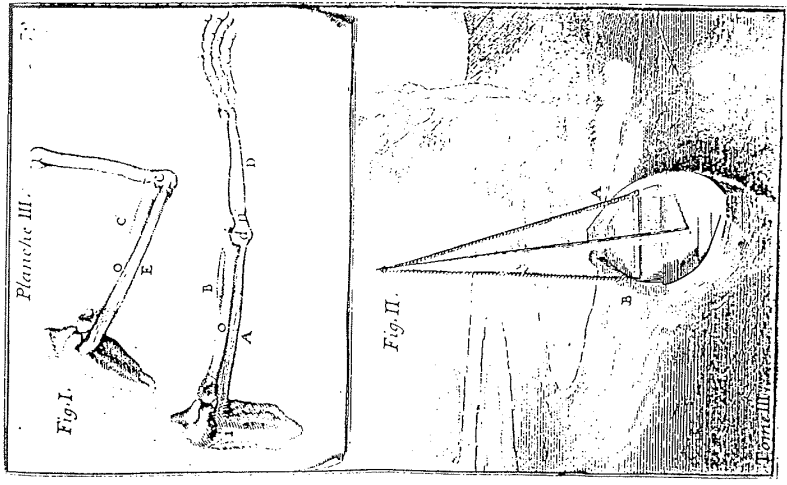
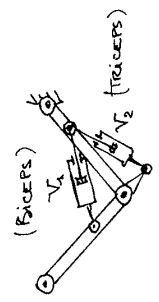


Figure 3.

SCHEMA VERTEBRE:
 Z X SIMPLE EFFET
 REDONDANCE Z N₂ *
 A Z V REGLAGE
 DETRIET EN POSITION QUANNE
 * PATHOLOGIE "POMPAGE", ECONOMIE POSSIBLE... (ZOGA)



DESSINS TIRÉS DES ESSAIS DE PHYSIQUE DE
 G. PERRAULT 1680/88
 B ou C : BICEPS
 A ou E : TRICEPS
 ANALOGIE AVEC LES HAUBANS D'UN MÂT

ne (re)connaît pas... pour ne l'avoir jamais rencontré auparavant : que ce soit, par exemple, le premier orgasme ou le premier atterrissage vécus. Désigner, c'est donc repérer l'émergence d'un pattern, qu'on saisit d'autant mieux qu'on dispose d'un mot tout prêt.

La seconde fonction du mot est d'interpréter/qualifier l'objet auquel il réfère. Le langage est donc la prime modélisation qui rend compte de l'objet et permet de s'en faire une représentation personnelle plus ou moins « colorée » parmi d'autres (qu'on pense aux poètes). Comme on le verra, ce type de représentation reste du domaine de l'« avoir » plus que de l'« être ».

La troisième fonction du mot est de rendre possible (au sens de « can » ou de « können ») l'interprétation (ou représentation ou modélisation) d'objets analogues mais autres que celui auquel il réfère. C'est l'univers immense des métaphores qui permettent les dérivations les plus fécondes... mais aussi les dérives les plus pernicieuses, qui s'ajoutent aux autres excès du langage ou en multiplient les possibilités d'occurrence.

2.2. La Mécanique et les mots

La Mécanique a été le creuset de nombreux mots et s'en est ensuite servi pour bien des interprétations directes et analogiques, faisant ainsi le lit du mécanisme... Mais ces excès, qui venaient après ceux du Pythagorisme, apparaissent moindres que ceux d'autres disciplines plus récentes. Ceci peut être imputé à un vocabulaire mécanique très strict, dès lors que cette discipline confond rarement la carte et le territoire et fait assez souvent son ménage...

Première productrice d'artefacts, la Mécanique nous apprend à nous poser des questions pertinentes à leur égard, telles que : qu'est-ce que ça a ou n'a pas? pour quoi faire? (en relation) avec quoi?

La première de ces questions concerne les caractéristiques ou attributs *organiques* de l'objet considéré, son anatomie en quelque sorte, et appelle leur désignation par des *substantifs* éventuellement complétés d'adjectifs.

Avec la deuxième, on aborde des propriétés ou *fonctions* connotées par des *verbes* et *adverbes*.

La troisième question vise les *aspects relationnels* de la coopération des éléments de l'objet entre eux ainsi qu'avec l'environnement. On peut représenter ces aspects par des *graphes*; ou tous substantifs répondant à la question : avec quoi?

On notera que le langage révèle de lui-même, de manière latente, les différences morphosyntaxiques que nous avons soulignées. On remarquera aussi que les attributs typiquement systémiques d'un artefact sont également

criblables en genre : par exemple, topologie hiérarchique, modularité, commande en boucle ouverte ou rétroaction soit positive (renforçante) soit négative (stabilisante).

2.3. Les dérives

Plus nettement que d'autres, les mécaniciens ont eu tendance à désigner un objet par ses attributs organiques, avant d'évoquer ses propriétés fonctionnelles ou relationnelles.

Qu'on note par exemple : style et plume, puis stylographe (et stylo-bille); ou roue et cercle, rayons, puis bandage et pneumatique; ou encore bicyclette avant vélo(cipède) et tandem... Il n'y a cependant pas de règle générale et souvent le nom de l'inventeur ou un néologisme s'imposent historiquement. (Exemples français : poubelle ou avion.)

On notera dès lors l'ambiguïté croissante de mots comme « structure ». Ce mot connote d'abord un arrangement d'éléments organiques. Les premières arches et voûtes étaient indiscutablement des séries courbes de voussoirs trapézoïdaux, dont le matériau d'époque (la pierre ou la brique) était évidemment celui qui résistait le mieux à une compression. Ce n'est que récemment que des structures alternatives furent réalisées avec des matériaux de traction (qui renvoient aux mots « réseau » ou « faisceau »).

L'extension de sens du mot « structure » à des arrangements d'éléments fonctionnels est récente. Qu'on pense aux structures familiales, politiques, galactiques, voire mentales ou mythologiques. Si cette dérive est afférente aux fonctions mêmes du mot, l'extension analogique ne va pas toujours sans flou et possibilité de confusion.

Des concepts très bien définis dans leur sens mécanique connaissent des sorts encore plus aventureux. Ainsi, celui d'« énergie » a au moins une équivalence en travail (qui se trouve mesuré en watt \times heure sur nos factures d'électricité); on peut classer les divers modes d'accumulation sur une échelle graduée en $w \times h$ kg (ou toute autre unité de masse). Mais que signifient les acceptions d'énergie « cosmique », « mentale » ou « charismatique »?

Le mot « tendance » n'est pas mieux traité. Pour certains, il peut vouloir dire « incrément » ou « petite variation », « dérivée » ou « tangente » qui représentent le passage à la limite (c'est le sens mathématico-physique précis); mais pour d'autres, il désigne plutôt la cause même de ces variations, force ou effort, contrainte voire motivation, ou encore courbure. Or, le premier sens correspond à une dérivée première des espaces par rapport au temps, tandis que le second connote une dérivée seconde; et si l'économiste ou l'ethnologue peuvent se satisfaire d'une telle confusion, le mécanicien ne peut la supporter car elle touche à l'essentiel.

Ce qui est grave dans de telles dérives, c'est que le choix du mot oriente la représentation de l'objet désigné. Plus le mot est précis, plus fine est la représentation, quand bien même on sait qu'il ne s'agit que d'une représentation (la carte et non le territoire). A l'inverse, plus le mot dérive vers l'imprécision et plus l'objet devient inaccessible voire abstrait (fût-il poétique et donnant à penser), plus on prend le « modèle » ou la représentation afférente pour la réalité.

La Mécanique n'a pas échappé à de telles confusions. Chacun sait — ou croit savoir — qu'une horloge ou montre mécanique est à (ou a un) échappement. Ce dispositif est essentiel pour l'obtention de l'isochronisme de laps de temps élémentaires, qu'il suffit d'additionner et d'afficher; il combine, sous sa forme canonique, un balancier et une roue à cliquets. Or, les mécaniciens européens ont longtemps « assimilé » l'horloge à l'un de ces deux éléments fonctionnels, le balancier ou pendule isochrone de Galilée; alors que le principe de l'échappement était connu bien avant en Chine, mais le balancier remplacé là-bas par une série de petites clepsydres identiques.

Plus près de nous, qui « voit » vraiment, au moins sous ses aspects organiques/fonctionnels/relationnels, le régulateur à boules de Watt (emprunté aux moulins) comme le prototype de la seconde génération d'une cybernétique à matérialisation purement mécanique (avant la servo-mécanisme à vapeur de commande de gouvernail; Farcot, 1879).

Il existe bien d'autres exemples des impérialismes ou aveuglements pouvant résulter de la confusion entre la représentation et la chose. On lit encore, dans les cours d'aérodynamique théorique, que « portance » égale « circulation » ou que « poussée » égale « quantité de mouvement », alors que la première est la réaction due à l'éjection de la seconde (produit d'un débit-masse par sa vitesse d'éjection), même si les deux ont bien même valeur comme forces. On note, d'ailleurs, la même confusion pour la « force centrifuge ».

Confondre la carte et le territoire aboutit souvent à transformer « l'avoir » en « l'être » : la représentation d'un système, basée sur certains des attributs qu'il possède ou « a nécessairement » (par exemple, une voiture « a » 4 roues... mais pourquoi pas 3?), n'est pas davantage celui-ci que la carte n'est le territoire...

Il n'en demeure pas moins une différence essentielle entre appropriation d'un modèle et assimilation intime des implications de cette représentation. Ceux qui se daubent des méthodes de créativité — où l'on pousse notamment les participants à « se mettre à la place » d'un élément organique pour mieux

en ressentir les fonctions et relations — n'ont pas abordé cet apprentissage conscient de la dialectique de « l'avoir » et de « l'être ».

Le langage mérite d'être davantage « pris au sérieux », comme y conviait B. Parain (1942), si l'on entend préserver tout son potentiel heuristique.

3. Les équations aux dimensions

Les imperfections du langage naturel, qui sont autant d'invitations à la dérive, ont incité l'homme à créer des langages plus formalisés, comme la Mathématique; allant jusqu'à lui prêter souvent une sorte de monopole d'exactitude et de vérité... alors que le même genre de dérives, notamment analogiques, y est possible.

Les mécaniciens et physiciens sont pourtant à l'origine des équations aux dimensions, grâce auxquelles le statut d'une grandeur physique s'exprime par un produit des grandeurs de base : longueur, masse et temps : L, M et T, munies chacune d'un exposant. Ces « équations » (il serait étymologiquement plus exact de parler « d'identités ») permettent de traiter des concepts abstraits comme ceux de *position* (situation d'un point et relations métriques entre points), de *vitesse* (définition des mouvements), d'*accélération* (reliant les mouvements à leurs causes, depuis Newton), enfin de « jerk » dont nous reparlerons plus loin.

Pour le mécanicien et le physicien à formation mathématique, ces concepts se déduisent l'un de l'autre par dérivations successives, par rapport au temps. Et la récurrence du procédé de calcul tend à en occulter les significations propres (à nouveau, la carte...); tout comme le procédé inverse d'intégration mathématique qui permet de « remonter » d'une dérivée n ème à celle d'ordre $(n-1)$... où l'on oublie souvent d'évoquer la difficulté de fixation de la constante d'intégration afférente.

Or, chacun de ces concepts a ses particularités ou propriétés, qui le distinguent définitivement des autres; au point que diverses sous-disciplines mécaniciennes traitent spécifiquement de chacun : la géométrie, la cinématique et la dynamique. On voudra bien se rappeler que ces trois disciplines sont apparues historiquement dans cet ordre, de même que la biologie des organes — l'anatomie (couper et comparer) — a précédé la physiologie des fonctions et celle des systèmes, qui intègre relations internes et externes. On peut donc dire que la cinématique est « fille » de la géométrie et « mère » de la dynamique. On notera aussi que chaque filiation par « dérivation » correspond à un degré d'abstraction supplémentaire; on va bien du plus directement sensible (pouvant donc être perçu ici d'un simple coup d'œil) au moins accessible (dont la perception dépend davantage de la conceptualisation)...

avec, à la clé, toutes les dérivées déjà évoquées, sorte de chausse-trappes mentales.

3.1. Les filiations

3.1.1. La géométrie

La géométrie traite des positions : de celle du point – élément nominal – puis de celles de plusieurs points, dans une, deux ou trois dimensions (si l'on en reste à la géométrie d'Euclide), qui se trouvent sur une droite, une courbe ou encore une surface ou un volume. Elle aborde également les rapports entre points, dont les expressions (par fractions et produits de dimensions respectives L^0 et L^2 , les représentations cartésiennes et polaires) sont déjà des artefacts.

Ces opérations frappent d'emblée par un pouvoir onirique qui s'apparente aux vertus métaphoriques des mots : qu'on songe, par exemple, au « nombre d'or » et à sa représentation par tout rectangle qui, amputé du carré construit sur son petit côté, reste un rectangle *semblable*. Ce nombre, rapport des longueurs du grand au petit côté et valant 1,618..., n'a-t-il pas aussi la particularité de satisfaire l'égalité $1/N = (N-1)$, qui trouble la sensibilité esthético-mathématique dans la mesure où le premier membre évoque un élément d'une série « géométrique » et le second un élément d'une série « arithmétique »? Il n'est pas étonnant que diverses civilisations aient longuement réfléchi à ce nombre.

Les configurations issues de ces opérations frappent également par leur organité ou quasi-matérialité, qui incite à envisager leur concrétisation : la roue « descend » du cercle et des fils d'arpenteur (ou « compas »), tout comme les vis d'Archimède, tire-balles ou tire-bouchons, ressorts et hélices, descendent de la figure qui portait déjà ce dernier nom... D'où peut-être aussi cette propension, aussi vertigineuse qu'aveuglante, à réduire un système complexe à son aspect le plus organique et visiblement formel ou morphologique : du 4×4 aux objets fractals.

3.1.2. La cinématique

Avec la cinématique – étude des changements de position, passage des déformations aux mouvements et prise en compte des *vitesse*s – le *temps* fait son entrée conceptuelle dans les cerveaux (et dans les équations aux dimensions). Probablement aussi, le sens des dérivées s'affine-t-il par rapport à celui que donnait le passage d'une mini-corde d'une courbe à sa limite : la tangente. Car celle-ci est indépendante du temps et demeure un artefact mathématico-géométrique.

De plus, les mathématiciens eux-mêmes, qui furent les premiers à étudier et à mesurer des vitesses (chronométrie, balistique et astronomie), sont relativement vite – à l'échelle de l'Histoire – passés à la prise en compte des *accélération*s. Dès lors qu'un hodographe (lieu polaire de l'extrémité d'un vecteur vitesse ramené à l'origine des coordonnées, en langage moderne) fut conçu sinon nommé, l'accélération ne s'y trouvait-elle pas prégnante, comme une sorte de « vitesse de la vitesse »?... Pythagore passant, en quelque sorte, le flambeau de la recherche à Kepler.

On peut toutefois penser que l'identité même des opérations de dérivation est à l'origine de la confusion encore fréquente – chez le profane comme chez certains spécialistes – entre vitesse et accélération ; d'où peut-être une sorte d'obnubilation pour la vitesse au mépris d'autres grandeurs tout aussi significatives...? Certes, on comprend assez facilement le souci des mécaniciens de « lisser » les vitesses, pour éviter les « casses » répétitives résultant des saccades caractéristiques des engins d'époque tels que moulins, horloges et automates, métiers textiles et premières machines agricoles... Il n'en reste pas moins que la fascination actuelle qu'exerce la vitesse pour la vitesse a de quoi étonner.

Dans la mesure où l'on observe aussi une sorte d'obnubilation « géométrico-cinématique » pour les « formes canoniques » de certains mouvements que constituent leurs équations différentielles typiques, on peut se poser la question de son rapport à l'esthétique.

Ainsi, le « mouvement oscillatoire avec rappel élastique (proportionnel à l'élongation) et amortissement proportionnel à la vitesse », aussi nombreuses qu'en soient les applications, ne laisse-t-il pas d'intriguer. Car, si un tel rappel se trouve bien dans tout moyen pendulaire ou élastique – d'où son nom même – il y apparaît en général du premier ordre, qui est celui de la linéarisation (simplificatrice, sinon réductrice). Or, si le traitement des équations linéaires est des plus faciles et le type des solutions connu d'avance, un tel amortissement est beaucoup moins aisé à matérialiser qu'un amortissement en v^2 !

La propension à tout linéariser procède de la prégnance ou de la « force » du modèle simple... que la décomposition de tout mouvement périodique en harmoniques, depuis Fourier, a encore accrue ; assortie d'une sorte de cécité ou de répulsion pour tout ce qui n'est pas linéaire ou facilement linéarisable.

Comme pour les mots, on retrouve le passage subtil de « l'avoir » à « l'être » : une représentation du mouvement n'a plus des harmoniques... elle *est*, pour beaucoup, harmonique (adjectif) sinon somme d'harmoniques (ses éléments de réduction mathématique). Et quant à seulement prendre en

considération des rappels aux lois « carrée » ou « cubique », que l'hydrostatique implique plus naturellement que les ressorts, il en est trop peu question en construction navale ou automobile. La forme ou la géométrie des carènes importe encore toute autre chose. Il est vrai qu'elle assure bien à la fois diverses fonctions : portance, profilage, rappels en roulis et en tangage, stabilité de marche et maniabilité. Il s'ensuit pourtant que, lorsque quelqu'un prétend qu'on pourrait traiter explicitement certaines de ces fonctions par des organes spécialisés — comme cela se fait pour les automobiles —, on lui répond que « ce ne serait plus un bateau »... même si les architectes navals le font implicitement pour des trimarans équipés d'ailes porteuses ou foils, par exemple. La question de la comptine enfantine « Maman, les p'tits bateaux ont-ils des jambes » n'est pas si naïve qu'il y paraît, si l'on admet que le langage structure bien l'artefact qu'est notre cerveau, en lui imposant sa première « banque de modèles ».

3.1.3. La dynamique

La dynamique, depuis Newton, est principalement fondée sur la relation entre force, d'une part, et accélération modulée par la masse ou inertie, d'autre part (par extension rotative, entre moment et accélération angulaire modulée par un moment d'inertie). Et nous vivons dans une « technonature », ou « monde des artefacts adjoints à la Nature », où ces deux genres de concepts sont essentiels.

La poussée d'un réacteur ou d'une fusée est aussi intéressante que la vitesse atteinte par l'avion ou le missile qui en sont équipés (intégrale de la première); tout comme la capacité de dépassement ou de gravissement d'une voiture est aussi intéressante que sa vitesse de pointe (les constructeurs automobiles, surtout depuis la limitation de vitesse, n'ont pas manqué de mettre l'accent sur l'accélération... en donnant, par exemple, des temps aux 400 ou 1 000 m, départ arrêté). Mais, qui *saisit* vraiment que l'installation à bord d'une puissance massive élevée n'a pour effet, au départ, que d'allonger les temps et distance de maintien d'une accélération elle-même supérieurement bornée par l'adhérence? Autrement dit, et toute démultiplication de transmission prise en compte, qu'une Fiat 500 peut « pousser » autant qu'une Ferrari, mais moins longtemps ou moins loin?

Encore s'agit-il là d'une dynamique longitudinale, sur trajectoire linéaire, la plus simple donc. Mais la dynamique transversale est encore plus mal perçue. Pour rappeler, par quelques exemples triviaux, le caractère abstrait des notions de force/accélération, outre le fait que bien des élèves-ingénieurs ont déjà quelque peine à distinguer actions et réactions, forces internes au système considéré et forces de liaison externe, il suffit d'évoquer la « force

centrifuge ». Celle-ci est en fait la *réaction d'inertie* à tout moyen de liaison imposant une accélération centripète ou virage : fil d'une fronde, rail courbe ou simple frottement au sol d'une automobile dont les roues directrices sont braquées... pourtant, tout un chacun « sait » plus ou moins bien que sa valeur est V^2/R et prend donc la mesure pour la chose.

Que dire enfin de la dérivée *troisième* des espaces par rapport au temps, qui n'a même pas de nom propre en français et doit se contenter du franglais « jerk »? A. Young proposait, en 1976, le terme « control » — équivalent de « commande » en français — à la fois moins imagé et plus ambigu.

Pourtant, divers concepteurs de véhicules et systèmes de transport l'ont bien rencontrée, dont la R.A.T.P. lors de la mise en service des premiers métros sur pneumatiques. Avant elle — et, cette fois, en dynamique transversale — Stephenson et d'autres constructeurs de chemins de fer puis de routes n'avaient pu que constater des sorties de voie à la *prise d'une courbe* (on se souviendra que l'application *instantanée* d'une force, d'un poids sur un peson par exemple, produit un effet *double* de celui du même poids appliqué infiniment lentement; c'est là une des spécificités de la dynamique par rapport à la statique). On peut voir là la raison de l'invention des courbes de raccordement *progressif* entre parties droites et circulaires des voies — dont la « clothoïde », cubique canonique chez les ingénieurs français des chemins de fer et des Ponts et Chaussées.

Mieux encore, lors de l'invention des gyroscopes et gyromètres dans les années 20, qui permirent la stabilisation en roulis des paquebots et le vol sans visibilité (Sperry), le jerk fut effectivement pris en compte dans les premiers systèmes cybernétiques de stabilisation artificielle... et son action sur le mal des transports constatée. Pourtant, dans ce cas également, on note que ce qui est conçu/modélisé mathématiquement a du mal à être « perçu/conçu » par l'ingénieur et, à plus forte raison, par le profane.

3.2. Les dérives

Langage abstrait, les équations aux dimensions démultiplient, en quelque sorte, les possibilités du langage naturel. Elles sont — a minima — un moyen de vérification comparable à la preuve par 9 en arithmétique; tout ingénieur s'en est servi pour s'assurer de n'avoir pas confondu inertie et poids... en « oubliant g quelque part dans un calcul ». Mais, de plus, elles qualifient et permettent de reconnaître les concepts et grandeurs mécaniques... et autres : en électricité, thermique, économie, etc. Ce faisant, elles interprètent ces concepts et leur confèrent, à l'instar du « goût ou de l'odeur », des qualités propres.

Et c'est là, hélas, que peuvent naître les dérives les plus pernicieuses : la prise de « l'avoir » pour « l'être », la confusion entre « carte » et « territoire », la réduction à leur modèle (surtout mathématique) de la chose ou du système considérés.

Une lecture des manuels d'aérodynamique théorique est édifiante à ce sujet : courbes de potentiel et lignes de courant ; représentation conforme conservant, sinon les figures, du moins les angles ; circulation autour d'un profil ou d'un segment-tourbillon... sont autant d'artefacts mathématiques hypothético-déductifs qui rendent compte d'une portance ou qui la représentent, mais sans en expliquer vraiment la matérialisation phénoménologique et a fortiori les limites expérimentales. Pour cela, il faut faire appel à des modèles annexes et plus fins.

Le résultat du recours à un modèle aussi « totalitaire », qui privilégie une représentation plus *aéro-cinématique* que vraiment *aérodynamique* des profils et surfaces portantes, est un désintérêt du chercheur pour tout ce qui n'est pas conforme à ses dogmes et à son idée singulière de l'avion.

On n'a pas encore réussi à modéliser, d'une manière satisfaisante, les phénomènes naturels que sont le vol battu et la nage... Tous les artefacts qui se sustentent et se propulsent dans l'air et l'eau sont *durs* ou réputés *indéformables*, alors que leurs homologues naturels sont *mous*, à l'exception des crustacés qui se propulsent par réaction plutôt que par portance (au sens de circulation). Et si les recherches sur la portance « instationnaire » de profils durs progressent, qui s'intéresse aux profils déformables, fût-ce en « stationnaire » ? On peut même avancer que le flottement ou flutter — résonance « explosive » d'ailes et/ou gouvernes — est bien propre au « dur » et n'existe pas chez les êtres vivants parce que leur niveau d'*amortissement-système* est différent et, en l'occurrence, plus élevé. Il est d'ailleurs probable que les essais des nouveaux véhicules à contrôle généralisé ou actif (notons que l'expression anglaise « control configured vehicle » est plus parlante) viendront confirmer cette hypothèse technologique.

Toutes proportions gardées et à côté du langage naturel, les équations aux dimensions sont un moyen de mieux « sentir » la réalité et d'en tirer conséquence pour se poser et résoudre tout « problème » de découverte et d'invention ou, plus généralement encore, de cognition ou de conception. Comme le langage naturel, elles nous fournissent des éléments d'*heuristique*.

Cependant, les « goûts » ou « odeurs », que ces équations permettent d'affecter aux concepts, ne sont pas utilisés de la même manière en science, orientée vers la découverte et la représentation de la réalité naturelle, et dans le domaine technique, orienté vers l'invention et la création d'artefacts. Car,

jamais encore les scientifiques n'ont pensé comme les techniciens (Quilici-Pacaud, 1989) : les uns ayant une axiomatique d'unicité, les autres une axiomatique de pluralité restreinte. (Avec quelques exceptions comme Eiffel, Pasteur, Lanchester ou Freyssinet, ingénieurs devenus chercheurs et si l'on s'en tient au proche passé.) Cette différence dans la façon même de penser les aspects naturels et construits de la réalité serait pourtant en soi une source potentielle d'enrichissement mutuel, à la condition que les scientifiques fassent un pas vers la technique et abandonnent une attitude d'ignorance ou de mépris à son endroit... qui remonte à Platon et Aristote.

Maints exemples donnés précédemment indiquent pourtant qu'il y a plutôt appauvrissement mutuel, dès lors que chacun tend à confondre « carte » et « territoire », « avoir » et « être », modèle et chose. Cette stérilité relative de la pensée, malgré des moyens et différences *a priori* enrichissants et surtout gratifiants, n'invite-t-elle pas à croire que les progrès mentaux dépendent d'un apprentissage *concomitant* du conçu (ou res-senti) et du perçu, à propos de toute action humaine ?

4. Retour à l'action vécue

Disposant, comme tout animal dit supérieur, d'un système ostéo-musculaire dont l'architecture est bien matérielle, le mécanicien peut entreprendre cet apprentissage du « ressenti » et comparer ses moindres gestes ménagers (vaisselle, bricolage, etc.) ou sportifs (marche ou course, voile, etc.) à ceux des robots qu'il conçoit et construit. Si l'on entend par « conception » — après Szent-Gyorgii et Morin — l'action mentale transcendant la sensation en compréhension modélisée, notre *homo-mecanicus* est en mesure d'interpréter, d'une part, ses propres gestes par référence à des mouvements artefactuels et, d'autre part, ses représentations abstraites par rapport à des épisodes gestuels et mouvementés qu'il a connus.

Ainsi, un pilote sensible, ingénieur averti de ce que sont les écoulements instationnaires voire les discontinuités de vitesses à un bord de fuite ou d'attaque (si ce dernier est effilé et le point d'arrêt amont déplacé, les particules d'air en contournement subissent des accélérations de l'ordre du million de g), pourra en vol turbulent *se poser des questions* quant à l'intégration des survitesses rencontrées par l'avion... Il surveillera alors de plus près variomètre et altimètre, reverra les équations de la portance dans le cas d'une pale d'hélicoptère, se dira enfin qu'une tendance à la montée n'est pas illogique non plus dans le cas de l'avion, [quand bien même ses collègues ne voudront pas en entendre parler]. Un adepte du voilier léger s'intéresse bien aux effets de la « godille » par vent faible, fut-elle interdite en compétition...

Comme le disait justement B. Parain (1942), ce n'est pas en raison d'une sensibilité exceptionnelle, mais bien parce qu'il prend le langage plus au sérieux que la moyenne — re-lie donc mieux modèle et réalité — que l'inventeur ou le créateur est fécond.

S'agissant d'une comparaison corps/robot ou nature/artefact, notre mécanicien constate que le domaine naturel ne comporte ni coulisse, ni pivot à rotation indéfinie, ni vérin à double effet (les muscles, ne pouvant que se contracter, sont assimilables à des vérins à simple effet), ni enfin de moteur rotatif, qu'il soit à fluide sous pression ou électrique... Techno-logiquement, un tel état des lieux lui pose alors une question comparative passionnante : à fonctionnalité donnée (mesurée, en l'occurrence, en degrés de liberté), la Nature met généralement en œuvre bien plus d'éléments organiques *combinés* que le roboticien... mais n'en disposait-elle pas déjà dans la phylogénèse évolutive?

Dans le même esprit, notre mécanicien pourra s'intéresser aux organes sensoriels — au sens le plus large, incluant donc toutes boucles proprioceptives ou kinesthésiques neuro-articulaires et musculaires, auriculaires — qui lui rapportent quantité d'informations sur sa position et ses mouvements (notamment, les forces/accélération de ceux-ci). Il lui est donc possible de mieux ressentir les différences et ressemblances de ces systèmes sensoriels et de leurs homologues artificiels ayant des fonctions comparables.

Il constatera alors que leurs modes-mêmes de fonctionnement sont tous connotés par des *couples de verbes* : voir/regarder; entendre/écouter; toucher/palper; goûter/déguster et sentir/humer... S'il peut également identifier des (organes) capteurs de positions absolues et relatives (œil, ligaments), de vitesses angulaires sinon linéaires (œil, oreille), d'efforts/accélération enfin, il peut s'interroger aussi sur le type de « logiciel » gérant nos changements de démarche (comme marche/course) ou encore les passages d'un mode automatique au mode conscient correspondant et inversement (cas d'une démarche antalgique puis de son « oublié »).

Ce faisant, il ne fait ou ne fera pas de l'ana-tomie ou de la simple ana-lyse (mots étymologiquement réducteurs), mais procédera bien de manière plus systémicienne ou proche d'une approche-système... avec auto-apprentissage d'une prise de recul propice à l'invention de la réalité (ce que les anglo-saxons nomment « serendipity »).

Conclusion

C'est peut-être par des exemples « ressentis » — comme cette réappropriation corporelle assez proche en esprit du hatha-yoga traditionnel (mais

« yoga » n'a-t-il pas la même racine indo-européenne que « joug » et « yoke » ou « conjuguer »?) — que la Mécanique « revisitée » peut montrer la voie à d'autres disciplines également soucieuses de se prévenir de dérives et cécités dans leurs représentations les plus abstraites. Dans les domaines où la pratique est moins directement accessible à la sensibilité humaine, cette démarche n'empêche nullement de chercher à relier la théorie à la pratique et met au moins en garde contre les excès de la théorie seule.

En cela, la Mécanique ne fait que reprendre un rôle qu'elle a tenu plus (et peut-être trop) brillamment dans sa jeunesse. Grand-mère de la physique, pourquoi ne nous donnerait-elle pas encore quelques leçons de grammaire?

Remerciements

Je remercie André Demailly (Psychologie sociale, Montpellier-III) pour ses apports quant à la forme et au fond de cet article.

Bibliographie

- G. BACHELARD, *Le rationalisme appliqué*, P.U.F. Paris, (Collection Quadrige, 6^e édition, 1986), 1949.
- W. J. J. GORDON, *Synergetics*, 1961. Harper & Row, New York. Traduction française : Stimulation des facultés créatrices dans les groupes de recherche par la méthode synergetique, *Hommes et Techniques*, Paris, 1965.
- E. MORIN, *La Méthode*. Tome III : La connaissance de la connaissance, Ed. du Seuil, Paris, 1986.
- R. PAGÈS, L'emprise : concepts et chantier, *Bulletin de Psychologie*, 39, n° 374, 1985-86, p. 101-127.
- B. PARAIN, *Recherches sur la nature et les fonctions du langage*, Gallimard (N.R.F.), Paris, 1942.
- J.-F. QUILICI-PACAUD, Technologie et systémique, in : B. PAULRÉ (éditeur scientifique), *Perspectives systémiques*. (Actes du Colloque international de Cerisy, 1986). L'Interdisciplinaire, Lyon, 1989.
- J.-F. QUILICI-PACAUD, La précontrainte, un concept systémicien immémorial, in : *Actes du Congrès Européen de Systémique CES 1*, HEC-INFORGE, Lausanne, 1989.