

Le mouvement

L'appréhension directe de la réalité est impossible car celle-ci est en perpétuelle évolution. Elle est si vaste que les moyens d'investigation directe échouent. Il faut donc utiliser des outils adéquats tout comme pour l'érection d'un obélisque.

Dans le domaine de la technique comme dans ceux de la science et de l'art, nous devons forger les instruments qui nous permettront de dominer la réalité. Ceux-ci peuvent être d'ordres divers. Ils peuvent être adaptés à la mécanisation, à la pensée ou à l'expression des sentiments. Mais il n'en existe pas moins entre eux des liens internes, des rapports méthodologiques. Nous reviendrons sans cesse sur ces rapports.

Le mouvement dans l'Antiquité et au Moyen Age

Nos pensées et nos sentiments dans leurs moindres ramifications sont régis par le concept de mouvement. Nous devons notre vision du monde en grande partie aux Grecs. Ils nous ont légué un magnifique héritage : les mathématiques et la géométrie, ainsi que leurs modes de pensée et d'expression. Pourtant nous sommes bien loin des Grecs à présent. A certains égards, nous avons progressé; mais dans l'ensemble, nous avons régressé par rapport à eux. L'une des sphères dans lesquelles nous avons cependant dépassé la Grèce, est celle de la compréhension du mouvement. Le besoin instinctif d'explorer le mouvement, c'est-à-dire la *mutation* sous toutes ses formes, a déterminé l'orientation de notre pensée scientifique et finalement l'expression de notre affectivité.

Si les Grecs n'ont pas trouvé d'explication adéquate au mouvement, s'ils ne l'ont pas réduit à des termes logiques exacts, ce n'est point qu'ils en aient été incapables : c'est leur conception fondamentale du cosmos qui les en empêcha. Ils vivaient dans un monde d'idées éternelles, un monde de constantes qui leur permettait de trouver la formulation adéquate de leurs pensées et de leurs émotions. Nous avons hérité de leur géométrie et de leur logique. Aristote, et toute l'Antiquité avec lui, voyait le monde comme quelque chose d'immuable qui aurait toujours existé. A cette conception vint un jour s'opposer l'idée religieuse de la création du monde et de sa mise en mouvement par un acte volontaire. A la haute époque gothique, cette conception d'un monde mû par une volonté extérieure entraîna de nombreuses conséquences sur le plan scientifique. Les scolastiques, il est vrai, réhabilitèrent Aristote. La doctrine aristotélicienne, on le sait, reprit une telle importance au dix-septième siècle qu'elle réussit presque à étouffer l'idée nouvelle d'un

monde fondé sur le mouvement (Galilée). Mais en même temps, un aspect essentiel de cette doctrine était remis en question. La réflexion de Thomas d'Aquin concernant la façon dont le monde avait pu être créé à partir du néant et la nature des principes et des causes premières sous-tendant l'action de Dieu, donna naissance à des recherches sur la notion de changement et par conséquent sur la nature du mouvement.

De même que le temple grec symbolisait un équilibre de forces dans lequel ne dominait ni le vertical ni l'horizontal, de même la Terre, aux regards des Anciens, constituait le centre immuable du cosmos. Les verticales vertigineuses des cathédrales gothiques n'évoquent aucun équilibre de forces. Elles sont, au contraire, le symbole du changement éternel, c'est-à-dire du mouvement. Le calme et le recueillement qui se dégagent de ces églises n'échappent, bien sûr, à personne, mais en même temps toute l'architecture, qu'elle soit intérieure ou extérieure, est emportée dans un élan perpétuel.

Pendant ce temps, les scolastiques s'acharnaient, à expliquer la nature du mouvement. A partir du quatorzième siècle, si l'on en croit Pierre Duhem, les philosophes parisiens se mirent à étudier avec un intérêt toujours croissant l'hypothèse de la rotation quotidienne de la terre, hypothèse soutenue avec force par Nicolas Oresme¹, évêque de Lisieux (v. 1320-1382) et — si l'on en croit Duhem, le grand physicien, mathématicien et historien français — avec plus de précision que ne devait le faire plus tard Copernic. Oresme expose cette théorie dans son remarquable commentaire de la première traduction française du traité d'Aristote *Du ciel et du monde*, commandée par Charles V. Il intitule le chapitre en question « Divers excellents arguments [...] tendant à démontrer que la terre effectue une révolution quotidienne, et que le ciel reste immobile »². Il suggère ici que le mouvement des cieux peut tout à fait s'expliquer par la révolution de la terre autour du soleil, et non par celle du ciel autour de la terre. A l'hypothèse de Pierre Duhem, selon laquelle Oresme avait peut-être inspiré Copernic, on a souvent objecté que Copernic était parti des contradictions logiques et géométriques du système de Ptolémée³. Mais cet argument ne diminue en rien les mérites d'Oresme.

La personnalité de Nicolas Oresme se détache du cercle prestigieux des scolastiques parisiens dont il est le dernier représentant après Jean Buridan (1300-v.1358) et Albert de Saxe (1316-1390). L'immense figure d'Aristote est omniprésente dans leurs discussions et leurs réflexions. Ils n'ont et ne veulent point avoir d'autre maître. A lui ils ramènent toute pensée. C'est lui qui fait jaillir l'étincelle. Il est leur seul guide lorsqu'ils tâtonnent dans la nuit de la science, cherchant prudemment leur chemin dans l'inconnu. Les voilà qui soutiennent contre l'autorité ancienne que la terre tourne, puis qu'elle ne tourne pas. Gardons-nous bien de voir dans leurs hypothèses aristotéliennes et théologiques l'origine de notre propre conception mathématique qui a fait son chemin dans nos esprits depuis Descartes. Au milieu de leurs tâtonnements, ils manifestent la même hardiesse que les bâtisseurs des cathédrales gothiques. Ils délaissent la fantastique conception aristotélienne et la remplacent par une autre qui a encore cours aujourd'hui.

1. Pierre Duhem (1861-1916) a mis en lumière cet aspect de Nicolas Oresme dans « Un précurseur français de Copernic, Nicolas Oresme (1377) », *Revue générale des sciences pures et appliquées*, Paris, 1909, vol. XX, pp. 866-873.

2. *Le Livre du ciel et du monde* : la traduction française de l'ouvrage d'Aristote par Nicolas Oresme a été récemment publiée dans *Medieval Studies*, vol. III-V, 1941, avec un commentaire de A.D. Menut et A.J. Denomy.

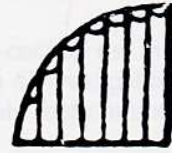
3. Dans le troisième volume de ses *Études sur Léonard de Vinci, Les précurseurs parisiens de Galilée*, Paris, 1913, Duhem démontre de façon magistrale que les principes de la mécanique galiléenne étaient déjà connus de ce cercle.

fig. 1. Nicolas Oresme : Première représentation graphique du mouvement. Vers 1350. Les changements de position d'un corps furent représentés graphiquement pour la première fois par Nicolas Oresme, évêque de Lisieux. La variation se traduit par des lignes verticales dessinées perpendiculairement à une droite de référence horizontale appelée plus tard axe des x. (Tractatus de Latitudine Formarum, 2e édition, Padoue, 1486).

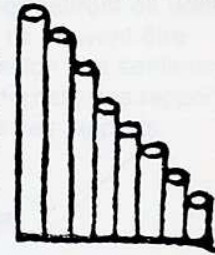
difformis vniformiter variatio reddit vniformiter difformiter difforme. ¶ Latini: vniformis dicitur illa q̄ inter excessus graduum eque distantium fuerit eade p̄portio eade in e p̄portio equitatis. Nā si inter excessus graduum inter se eque distantium fuerit eade p̄portio equitatis ut est autem vniformis difformis ut p̄; ex diffinitionibus membrorum secunde diuisionis. Rursus si nulla proportio seruet tunc nulla possit attendi vniformitas in latitudine tali et sic non esset vniformiter difformis et difformis. ¶ Latini: difformiter difformiter difformis est illa q̄ inter excessus graduum eque distantium non tenet eandem proportionem sicut in secunda parte patebit. Notandum tamen est quod sicut in supradictis diffinitionibus ubi loquitur de excessu graduum inter se eque distantium



Diffōrū diffōrū



of, of, diffōrū



Le quatorzième siècle représente pour la première fois le mouvement

Ce qui nous préoccupe ici, c'est la première *représentation graphique du mouvement*. Le traité dans lequel Nicolas Oresme y parvient, c'est-à-dire *On Intensities*⁴, part, selon l'approche aristotélicienne, de l'examen général des caractéristiques d'un objet donné. Oresme cherche à connaître le changement d'intensité d'une certaine caractéristique. Il la détermine par la méthode graphique. Il trace l'extension (*extensio*) du sujet observé ou support sur une droite de référence qui correspond à l'axe des x de Descartes au dix-septième siècle; et il représente la position du support à des moments différents par des lignes droites perpendiculaires à la droite de référence (axe des y). Le rapport entre les variations apparaît dans ces lignes verticales. Les changements de « qualité » du support se lisent dans la figure géométrique délimitée par le sommet des lignes verticales. Oresme a illustré son traité de schémas dans lesquels (fig. 1) les différentes positions s'élèvent comme des tuyaux d'orgue⁵. La courbe qu'elles dessinent représente les variations de position ou « qualité ». Oresme se sert de nouveau de cette méthode pour étudier l'essence du mouvement, ce qui lui permet de comprendre la nature de la vitesse (*velocitas*) et de l'accélération. C'est encore par une méthode graphique qu'il représente le mouvement, le temps, la vitesse et l'accélération⁶.

En quoi consistait la nouveauté du système graphique d'Oresme ?

4. *Tractatus de uniformitate et difformitate intensium*. MS. Bibliothèque Nationale, Paris. Paru dans plusieurs éditions vers la fin du quinzième siècle.

5. Voir également H. Wieleitner : « De la notion de fonction et de courbe graphique chez Oresme », *Zeitschrift fuer die Geschichte der mathematischen Wissenschaften*, troisième série, vol. XIV, Leipzig, 1913.

6. Résumée dans la thèse de doctorat de Ernst Borchert « Ce que nous enseigne la théorie du mouvement de Nicolas Oresme », *Beitraege zur Geschichte und Philosophie des Mittelalters*, t. XXXI, Münster, 1934, p. 93.

D'abord, il était le premier à reconnaître que le mouvement ne peut être représenté que par le mouvement, le changement par le changement. C'est ce qu'il fait en figurant le même sujet à divers moments. Il était assez courant au Moyen Age de faire figurer un sujet plusieurs fois dans le même tableau. Il n'est que de songer aux œuvres du gothique tardif, dans lesquelles le même personnage (le Christ, par exemple, dans les chemins de Croix) apparaît plus d'une fois à l'intérieur d'un même cadre de référence. Lorsque Descartes, dans sa *Geometria* (1637), représenta les lois des sections coniques par un système de coordonnées, la conception aristotélo-scolastique n'existait déjà plus et les variables étaient devenues un principe fondamental, non seulement dans la représentation graphique, mais aussi en mathématiques. C'est au moyen de variables que Descartes relie mathématiques et géométrie.

Le dix-neuvième siècle saisit le mouvement dans son essence

Le mouvement organique
et sa représentation graphique
vers 1860.

Le dix-neuvième siècle fait un bond décisif et apprend littéralement à prendre le pouls de la nature. En 1860, au début de sa carrière, le physiologiste français Étienne Jules Marey (1830-1904) inventa le sphygmographe qui inscrivait sur un cylindre recouvert de noir de fumée la forme et la fréquence des battements du pouls humain.

A cette époque, des chercheurs comme Wundt et Helmholtz rêvaient d'inventer un appareil permettant de mesurer le mouvement des muscles et des nerfs (fig. 2). Marey est l'un de ces grands savants* qui sont aujourd'hui les témoins par excellence d'un des aspects essentiels du dix-neuvième siècle.

Le mouvement sous toutes ses formes — dans le flux sanguin, dans le muscle excité, dans le pas du cheval, chez les animaux aquatiques et les mollusques, dans le vol des insectes et des oiseaux — tel est le leitmotiv des recherches de Marey. Dès les premières années de sa carrière pendant lesquelles il conçut l'enregistreur des battements du pouls humain, jusqu'à ses derniers travaux en 1900 sur les tourbillons aériens qu'il enregistra sur une plaque photographique, de son premier livre sur la circulation du sang « reposant sur une étude graphique du sang » jusqu'à son dernier ouvrage, le plus populaire, *Le mouvement* (1894), traduit en anglais l'année suivante, la pensée de Marey évolue sans relâche autour d'un concept essentiel de notre époque : le mouvement.

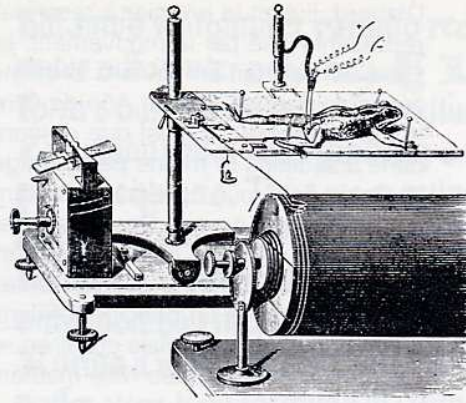
Tout à fait consciemment, Marey se tourne vers Descartes, mais, au lieu de représenter des sections coniques, c'est le mouvement organique qu'il traduit sous une forme graphique⁷. Dans son ouvrage, *La méthode graphique dans les sciences expérimentales*, qui reflète sa maîtrise du sujet et son système de pensée universelle dans tout son éclat, il rend hommage à ses ancêtres spirituels⁸ avec le respect et la modestie qui caractérisent les grands esprits.

7. E.J. Marey, *La méthode graphique dans les sciences expérimentales*, Paris, 1885, p. IV.

8. Ibid, pp. 11-24.

* En français dans le texte (N.d.T.)

fig. 2. E.J. Marey : Le myographe, appareil servant à enregistrer les mouvements d'un muscle. Avant 1868. *Enregistrement des réactions de la patte d'une grenouille à une excitation électrique répétée.* (Marey, *Du mouvement dans les fonctions de la vie*, Paris, 1868).



Déjà, au dix-huitième siècle, on avait tenté d'étendre la représentation graphique à d'autres domaines. Le but de ces efforts était de rendre intelligible un mouvement de dimensions historiques. Playfair y était parvenu en 1789 en établissant le graphique des fluctuations de la dette nationale entre 1688 et 1786 sous forme de courbes qui traduisaient nettement les effets des guerres. On représenta plus tard, selon la même méthode, les phases de l'épidémie de choléra de 1832. Dès le seizième siècle, selon Marey, on s'était attaqué au tracé des contours sur les cartes mais cette opération ne se généralisa qu'à l'époque post-napoléonienne. Marey signale également, au dix-huitième siècle, une tentative pour reproduire les phases successives du pas du cheval.

James Watt, l'inventeur de la machine à vapeur, mérite en quelque sorte le titre de précurseur de Marey. Car c'est Watt, déclare Marey, qui « introduisit le premier appareil enregistreur dans le domaine de la mécanique, résolvant d'un seul coup l'un des problèmes les plus ardues : celui de la mesure graphique, à l'intérieur du cylindre, du travail effectué par la vapeur »⁹. Ces indicateurs, en enregistrant sous forme de diagramme le mouvement de la vapeur, annoncent les travaux de Marey. Celui-ci allie le génie du physiologiste expérimental à celui de l'ingénieur. Il se révèle d'une fécondité remarquable dans la première moitié de sa carrière, inventant, entre autres, un « appareil enregistreur » (fig. 2) dont les aiguilles tracent le mouvement sur des cylindres enfumés¹⁰. Les formes ainsi produites ont souvent une beauté fascinante (fig. 3, 4). Ces courbes, dit le savant, pourraient s'appeler « le langage des phénomènes »¹¹. Peu après 1880, Marey commence à utiliser la photographie.

9. E.J. Marey, op. cit. p. 114.

10. Pour étudier le vol des oiseaux, Marey construisit, en 1872, un modèle de monoplane à deux hélices actionné par un moteur à air comprimé (aujourd'hui au musée de l'Aéronautique à Paris). En 1886, il inventa une pellicule photographique pouvant se recharger à la lumière du jour. A l'aide de la première caméra de cinéma (qui contenait toutes les pièces essentielles, il filma une courte scène dans laquelle un homme descendait de bicyclette sur les Champs-Élysées.

11. E.J. Marey, op. cit.

La visualisation du mouvement dans l'espace, vers 1880.

Marey aborde finalement le domaine qui nous intéresse particulièrement, et qui consiste à rendre la véritable forme du mouvement telle qu'elle s'inscrit dans l'espace. Ce mouvement, Marey le souligne constamment, « échappe à l'œil ».

C'est à la fin des années 1860 que Marey tenta pour la première fois de donner une représentation graphique du mouvement. Un pigeon attelé à

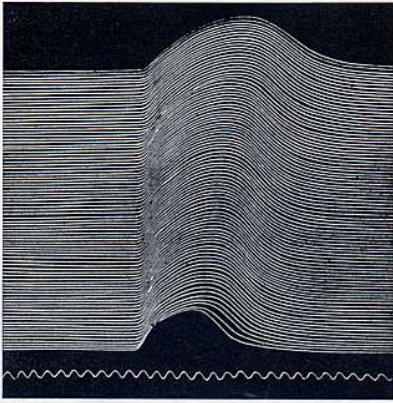
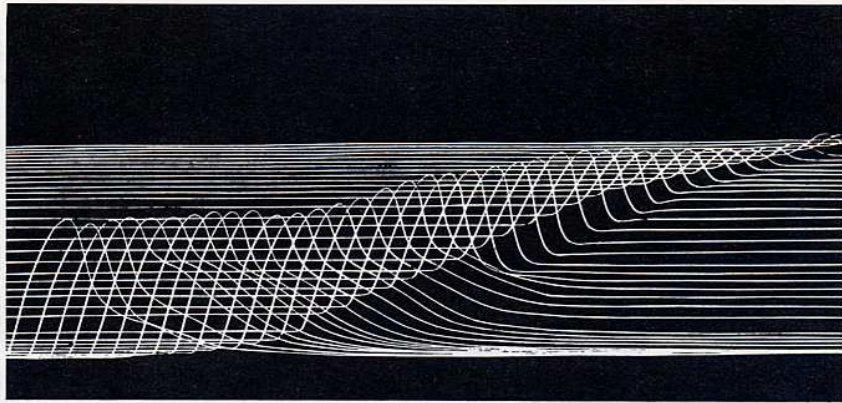


fig. 3. E.J. Marey : Enregistrement du mouvement d'un muscle. Avant 1868. *Réactions d'une patte de grenouille à une excitation provoquée par un courant électrique.* (Marey, *Du mouvement dans les fonctions de la vie*, Paris, 1868).

fig. 4. E.J. Marey : Trajectoire des réactions d'une patte de grenouille. Avant 1868. *Coagulation du muscle et perte graduelle de sa fonction sous l'influence d'une température trop élevée.* (Marey, *Du mouvement dans les fonctions de la vie*, Paris, 1868).



un appareil enregistreur (fig. 5) transmet la courbe de ses battements d'ailes à des cylindres enduits de noir de fumée. Ceux-ci permettent de suivre la forme du mouvement point par point. Au début des années 1880, Marey commença à utiliser la photographie pour la représentation du mouvement. L'idée lui en était venue en 1873 après qu'un astronome eût montré à l'Académie des sciences quatre phases du soleil enregistrées sur une seule plaque photographique. Le « fusil astronomique » de son collègue Janssen le mit également sur la voie; en effet, celui-ci, à peu près au même moment, avait réussi à saisir sur son cylindre tournant le passage de Vénus devant le soleil. Désirant appliquer cette méthode aux objets terrestres, Marey conçut son « fusil photographique » (fig. 6) pour suivre le vol des goélands. A la place de planètes en mouvement, il montrait des oiseaux en vol¹².

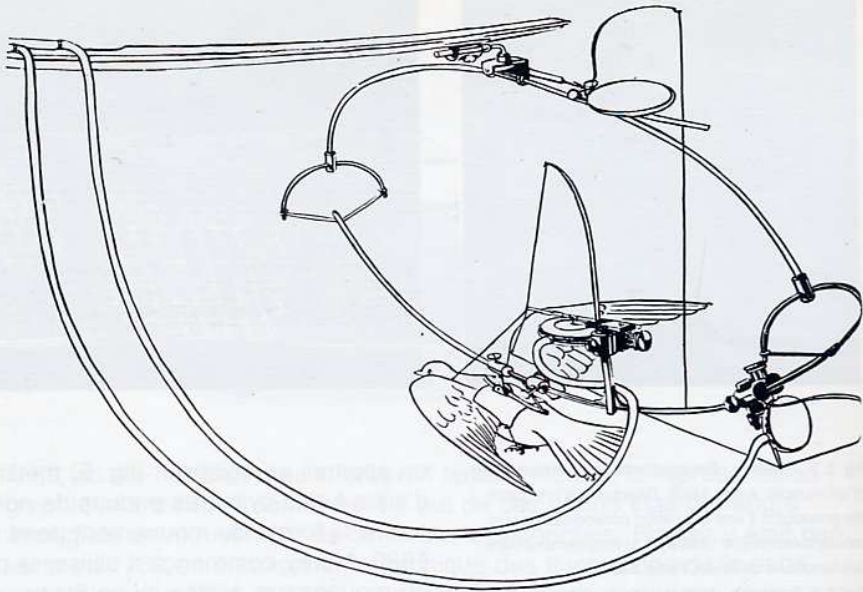
Les extraordinaires études photographiques du mouvement auxquelles se livrait alors Muybridge en Californie encouragèrent également Marey à travailler dans cette direction bien que leurs méthodes, nous le verrons, différassent considérablement. Muybridge plaçait des appareils photographiques côte à côte de façon que chacun d'entre eux fixât une phase isolée du mouvement à enregistrer. Marey, en physiologiste qu'il était, voulait, lui, saisir le mouvement sur une seule plaque et avec un seul objectif pour obtenir une image parfaitement claire du mouvement continu, tout comme il l'avait enregistrée graphiquement sur ses cylindres enfumés.

En 1881, il invita Muybridge à lui rendre visite à Paris et le présenta à tout ce que l'Europe comptait de plus brillant parmi les physiciens, les astronomes et les physiologistes. Ils applaudirent la manière judicieuse dont Muybridge abordait le problème.

La méthode utilisée par ce dernier pour photographier le vol des oiseaux ne satisfaisait pas entièrement Marey dont le but était de comprendre pleinement le caractère tridimensionnel du vol, de la même façon que Descartes avait projeté des formes géométriques, car le vol des insectes et des oiseaux s'inscrit dans l'espace et se déroule sur trois dimensions. Vers 1885, Marey orienta trois appareils photographiques de façon à voir l'oiseau simultanément de dessus, de côté et de face. Dans son labora-

12. Marey est aussi l'inventeur de la première caméra de cinéma pourvue de rouleaux de films (1886). Il montra à Edison son premier « film » pendant l'Exposition de Paris de 1889. Comme la plupart des grands savants du dix-neuvième siècle, Marey ne se souciait aucunement de la valeur marchande de ses idées. C'est à Edison, vers 1890 et à Lumière en 1895, que l'on doit les applications pratiques de ce principe.

fig. 5. E.J. Marey : Enregistrement de mouvements amples. Le vol, 1868. Pour tracer les mouvements d'un oiseau, Marey attèle un pigeon au bras d'un manège de chevaux de bois. Les ailes, reliées à des tambours à air comprimé, enregistrent leur propre trajectoire sur un cylindre.



toire du Parc des princes à Paris, il installa un vaste hangar dans lequel il faisait voler un goéland devant des murs noirs et au-dessus d'un plancher également noir. Ces réalités élémentaires, normalement cachées à l'œil humain, ont une grandeur qui se passe de commentaire.

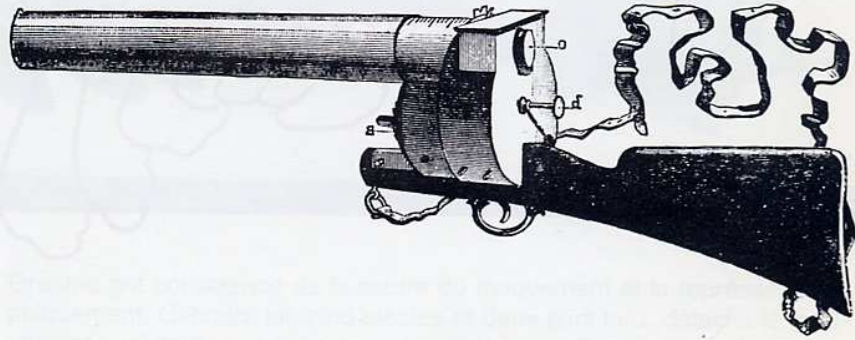
Pour mieux connaître le mécanisme du vol de l'oiseau, Marey traça plus tard des schémas, dans lesquels il dissociait les chevauchements photographiques (fig. 7, 8). Il reproduisit même en bronze les attitudes successives du goéland en vol (fig. 9). Cette sculpture aurait ravi Boccioni, le créateur de la « Bouteille dans l'espace » (1912) et de l'« Homme en marche » (1913). Dans ses recherches ultérieures¹³, Marey utilisa largement la caméra qui, pourtant, ne semblait pas particulièrement adaptée à cet usage.

Plus importantes encore sont les expériences antérieures de Marey sur le mouvement seul, c'est-à-dire indépendamment de celui qui l'exécute. Bien que ce ne fût pas lui qui mena cette idée à son terme, ses trajectoires d'une aile d'oiseau (vers 1885) et d'un homme en marche (vers 1890) méritent une place dans l'histoire.

Pour visualiser le mouvement pendant son déroulement dans l'espace, Marey essaya tout d'abord d'écrire son propre nom dans les airs à l'aide d'une petite boule de métal brillant : sa signature apparut clairement sur la plaque photographique. Il attacha aussi une bande de papier blanc à l'aile d'une corneille qu'il fit voler sur un fond noir (vers 1885). La trajectoire de chaque battement d'aile apparut sous forme d'un trajet lumineux (fig. 15). Vers 1890, il plaça un point brillant à la base des vertèbres lombaires d'un homme s'éloignant de l'appareil de prises de vues. Au cours d'une conférence faite quelques années plus tard, en 1899, il parlera de ces courbes comme « d'une trace lumineuse, une image sans fin, à la

13. E.J. Marey, *La chronophotographie*, Paris, 1899, pp. 37 et suiv., ou, selon ses termes, « images chronophotographiques recueillies sur pellicule mobile ».

fig. 6. E.J. Marey : Enregistrement du mouvement par la photographie. Fusil photographique conçu pour enregistrer les différentes phases du vol d'un oiseau. 1885. Le canon abrite un objectif photographique. Les plaques sont fixées à un disque tournant et sont mues par l'action de la gâchette. Seize poses par minute. (Marey, La méthode graphique, Paris, 1885).



fois multiple et unique »¹⁴. Ce savant voyait les objets avec la sensibilité d'un Mallarmé. Il appela cette méthode *chronophotographie*, son but étant de rendre visibles « des mouvements imperceptibles à l'œil humain ».

Par manque de moyens techniques, ces premières tentatives n'aboutirent pas. Leur pleine réalisation devait venir d'ailleurs, en l'occurrence du secteur industriel et plus particulièrement de l'organisation scientifique du travail dont le but était d'enregistrer dans tous ses détails une succession de mouvements. Ceci permit, pour la première fois, d'observer les diverses phases d'une tâche donnée. On obtint alors des images excessivement précises du mouvement pur, des images rendant parfaitement compte du comportement de la main au travail. Nous pénétrons ici dans un domaine jusqu'alors interdit à l'observation. C'est l'Américain Frank B. Gilbreth, ingénieur en organisation qui, vers 1912, élaborait pas à pas cette méthode permettant de visualiser le mouvement. Dans la section intitulée l'Organisation scientifique du travail et l'art contemporain, nous tenterons de définir les étapes de cette recherche parallèle à une certaine évolution de la peinture.

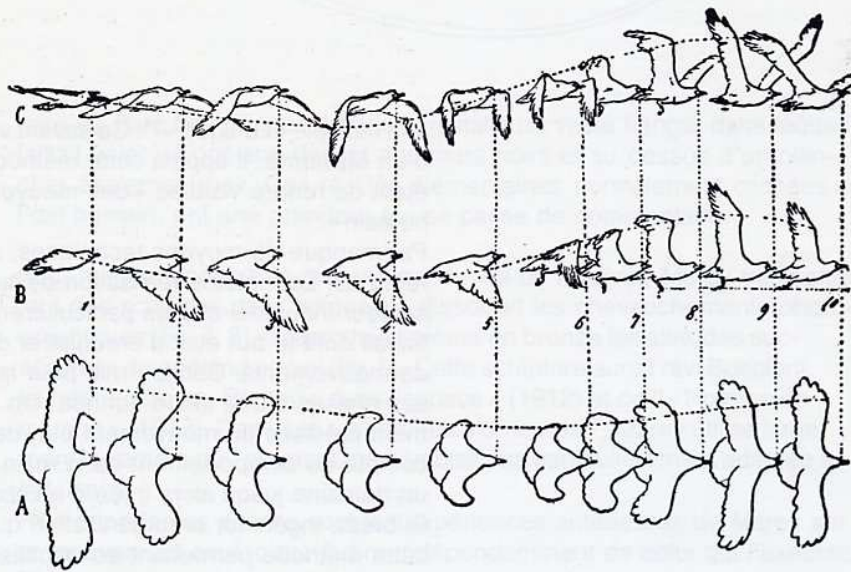
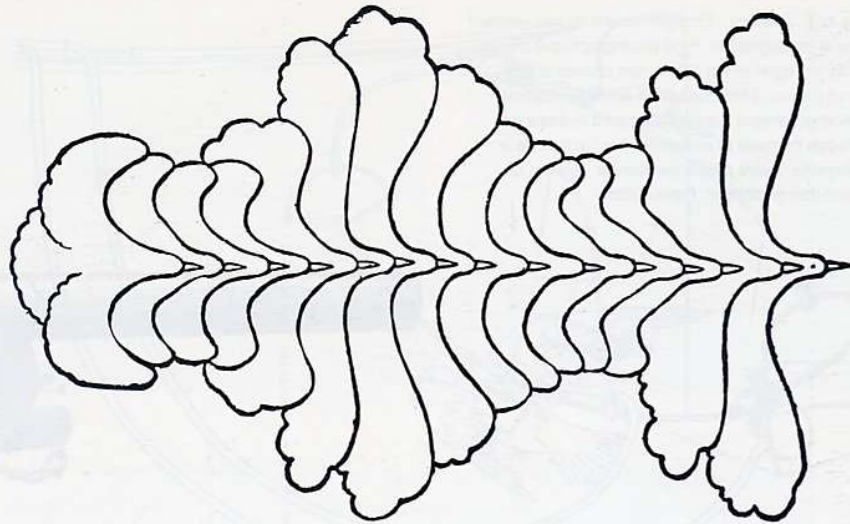
L'étude du mouvement.

Une ligne continue relie le quatorzième siècle au vingtième, en passant par Oresme, Descartes, Marey et Gilbreth, c'est-à-dire par le théologien-philosophe, le mathématicien-philosophe, le physiologiste, et l'ingénieur en organisation. Trois de ces hommes naquirent en France, le pays le plus doué pour la visualisation dans tous les domaines. Le quatrième, un Américain, se manifesta dès que le besoin d'efficacité exigea que l'on découvrit « la meilleure façon d'exécuter un travail ».

14. Ibid. p. 11.

fig. 7. E.J. Marey : Projection horizontale du goéland en vol. Avant 1890. (Marey, le vol des oiseaux, Paris, 1890).

fig. 8. E.J. Marey : Vol d'un goéland enregistré en trois projections. La ligne sinueuse représente la projection sur le plan vertical. Les lignes en pointillé qui relient les têtes marquent les phases identiques. Pour plus de clarté, on a exagéré ici la distance entre chaque phase. (Marey, Le vol des oiseaux, Paris, 1890).



Nicolas Oresme, évêque de Lisieux, fut le premier à représenter sous une forme graphique le changement continu, c'est-à-dire le mouvement. Frank B. Gilbreth (1868-1924) fut le premier à saisir avec une parfaite précision la trajectoire compliquée du mouvement humain.

Nous ne pousserons pas plus loin la comparaison. Nicolas Oresme marque, à un moment décisif, le schisme entre le monde ancien et le monde moderne. Une tâche apparemment aussi simple que la représentation du mouvement exige une faculté de pensée et d'abstraction qu'il nous est difficile d'imaginer aujourd'hui. L'Américain Frank B. Gilbreth n'est lui-même qu'un maillon de la grande chaîne de la mécanisation. Mais nous n'hésiterons pas à établir une passerelle entre ces deux hommes.

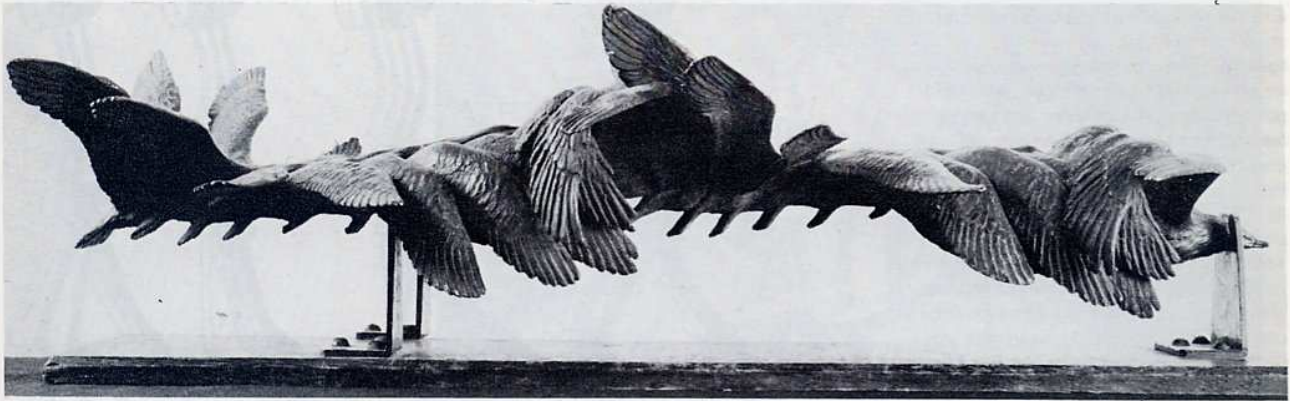


fig. 9. E.J. Marey : Modèle en bronze d'un goéland en vol. (Centre Georges Pompidou/Photo J. Faujour).

Oresme prit conscience de la nature du mouvement et la représenta graphiquement. Gilbreth, lui, cinq siècles et demi plus tard, détacha le mouvement humain de son exécutant et parvint à une visualisation précise de ce mouvement dans l'espace et dans le temps (fig.14). Gilbreth est un novateur dans le domaine de la gestion scientifique; sa pensée et ses méthodes appartiennent à la prestigieuse tradition scientifique du dix-neuvième siècle.

Un nouveau monde s'ouvre : un monde de formes inconnues, de modes d'expression nouveaux qui transcendent le domaine de l'ingénieur.

Le mouvement, c'est-à-dire le changement incessant, paraît de plus en plus régir notre système de pensée. Il sous-tend le concept de fonction et de variable en mathématiques supérieures. En physique également, l'essence de phénomènes tels que les sons, la lumière, la chaleur et l'hydrodynamique, semble de plus en plus ressortir au mouvement. Notre siècle a finalement découvert que la matière aussi se décompose en mouvement et que les atomes sont constitués d'un noyau autour duquel des électrons à charge négative évoluent en orbite à une vitesse dépassant celle des planètes.

Un phénomène comparable existe en philosophie et en littérature. Peu de temps après l'invention du cinéma par Lumière en 1895-1896, Henri Bergson, en 1900, enseignait au Collège de France « le mécanisme cinématographique de la pensée »¹⁵. Plus tard, James Joyce fendait les mots comme on ouvre des huîtres, nous les montrant ainsi en mouvement.

Maladroits à traduire la pensée en termes d'émotion, peut-être devons-nous nous contenter aujourd'hui de poser la question suivante : existe-t-il un lien entre les trajectoires telles que les représente l'ingénieur en organisation « pour éliminer les mouvements inutiles, mal orientés et inefficaces » et l'impact émotionnel des signes qui apparaissent à maintes reprises dans l'art contemporain ? Notre époque, si peu habituée à assimiler les processus de la pensée à ceux de l'émotion, pouvait seule se poser cette grave question.

15. H. Bergson, *L'évolution créatrice*, Paris, 1907.

fig. 10. Attitudes successives des membres dans un pas. (D'après The Mechanism of human locomotion par les anatomistes allemands et E.H. Weber, vers 1830. Marey, La méthode graphique, Paris, 1885).

fig. 11. E.J. Marey : Oscillations de la jambe chez un homme qui court. Avant 1885. Le modèle à photographier était vêtu de noir, avec, le long des bras, du corps et des jambes, une bande métallique brillante. (Marey, La méthode graphique, Paris, 1885).

fig. 12. Eadweard Muybridge : Nu descendant un plan incliné. Vers 1880. Muybridge installe une série d'appareils photographiques à des intervalles de douze pouces + et déclenche leur obturateur selon un procédé électromagnétique, de façon à obtenir toutes les phases du mouvement. Chaque image représente une phase particulière. (Muybridge, Human Figure in Motion, 6e édition, Londres 1925).

+ Un pouce équivaut à 2,54 cm (N.d.T.).

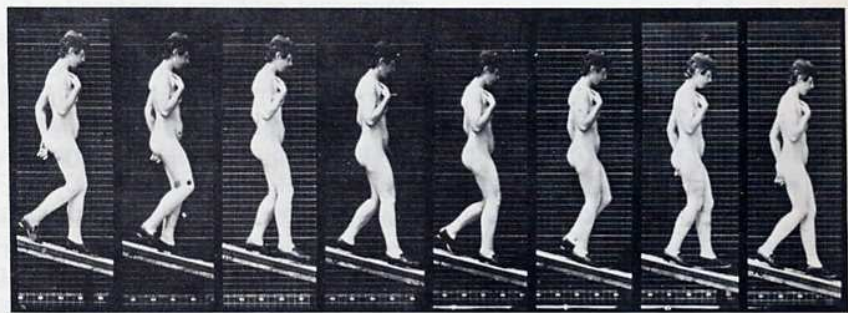
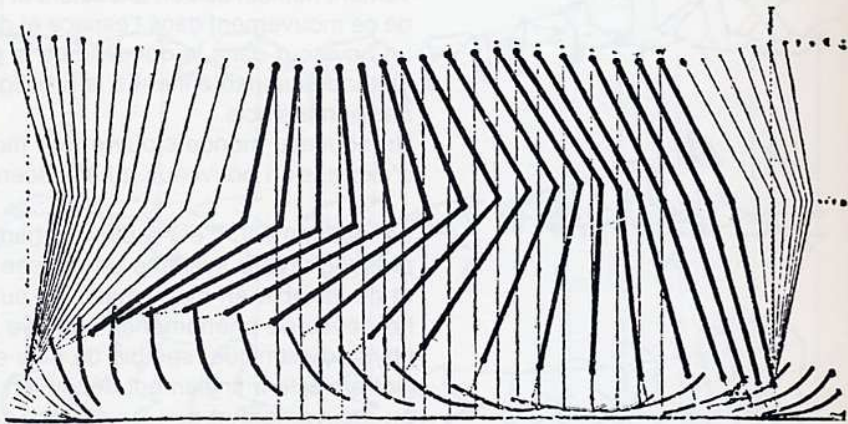
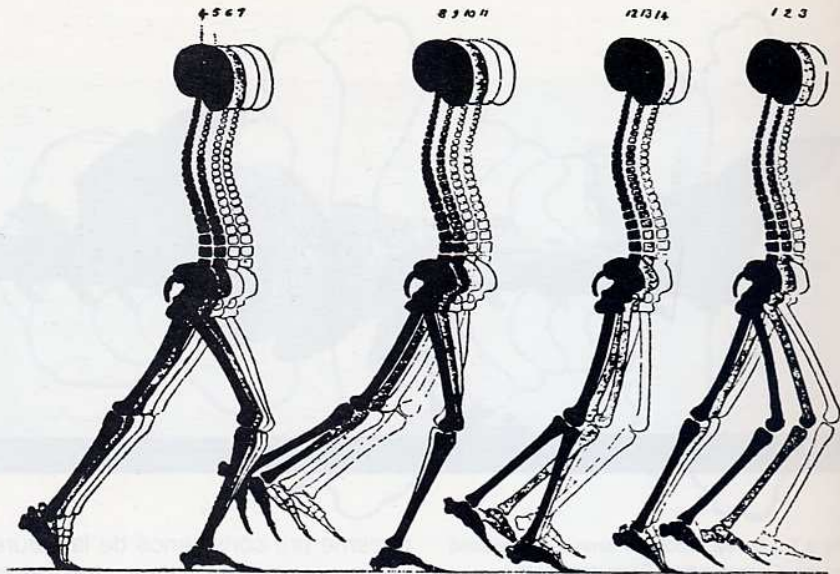
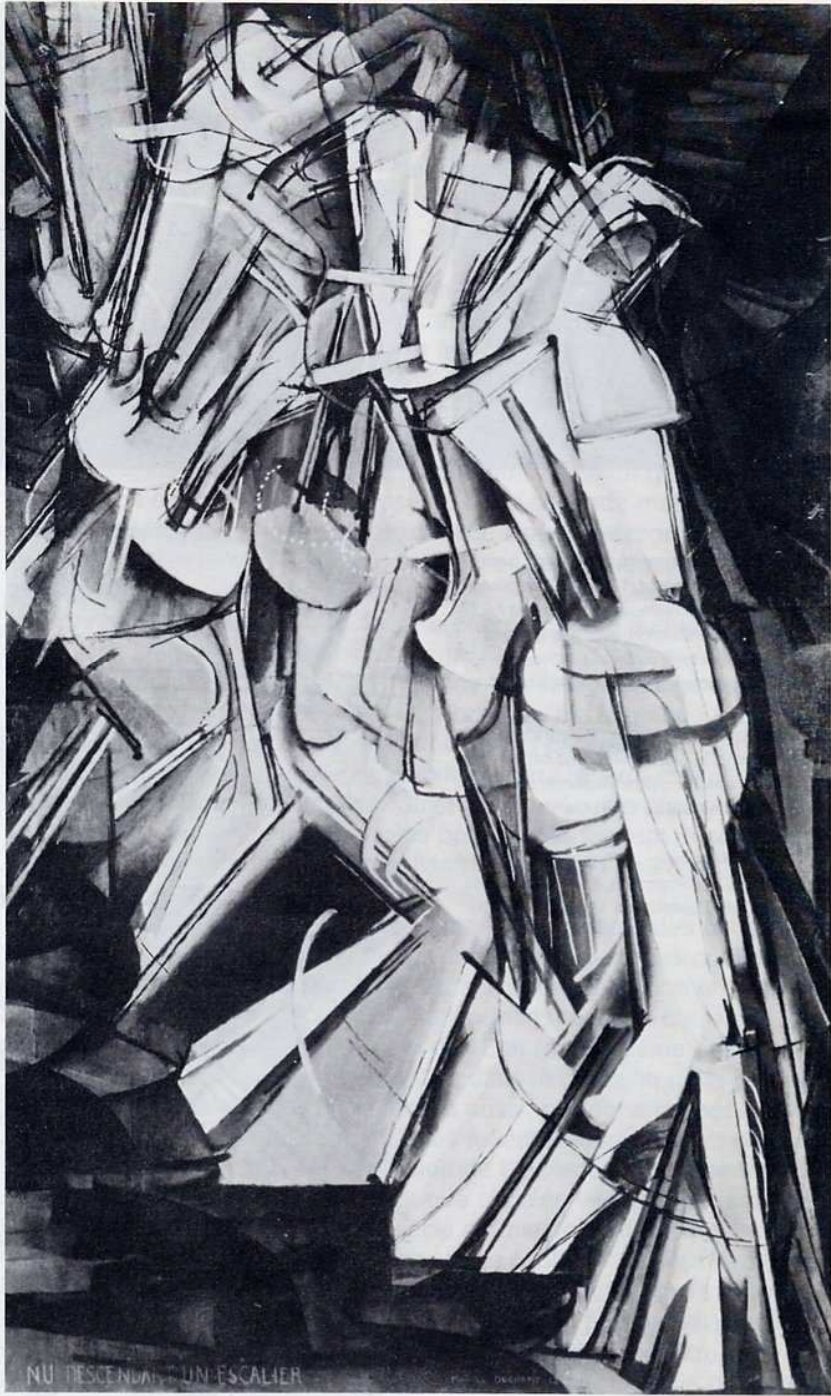


fig. 13. Marcel Duchamp : « Nu descendant un escalier », huile, 1912. (Collection Louise et Walter Arensberg, Philadelphia Museum of Art).



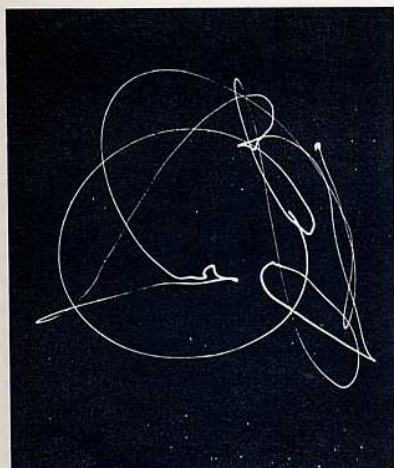


fig. 14. Frank B. Gilbreth : Cyclogramme du chemin parcouru par la pointe d'un fleuret dans la main d'un bon escrimeur. 1914. « Cette photographie illustre la merveilleuse régularité de l'accélération et de la décélération, ainsi que le parfait contrôle de la trajectoire du fleuret. » (Nous devons photographie et légende à Lillian M. Gilbreth).

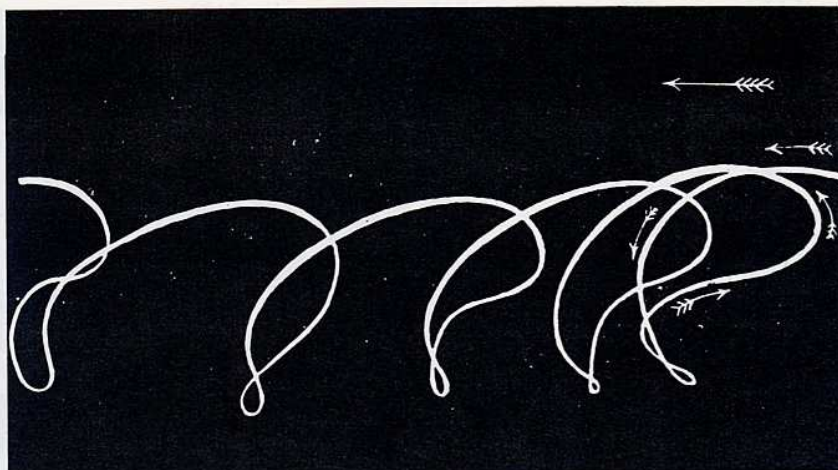


fig. 15. E.J. Marey : Trajectoire photographique de l'aile d'une corneille. Vers 1885. Cinq battements d'aile. Marey a attaché une petite bande de papier blanc à l'aile de l'oiseau qu'il fait voler devant un fond noir.

fig. 16. Wassily Kandinsky : « Pink Square » (Carré rose), Huile, 1923. (Grohmann, Kandinsky, sa vie, son œuvre, Paris, Flammarion, 1958. Photo CCI).



Le credo du progrès

Encore une fois, il est bon de souligner le contraste qui oppose la conception ancienne à la conception moderne. Les Anciens attribuaient au monde une existence éternelle et la possibilité de se renouveler lui-même, tandis que nous le percevons à présent comme enfermé dans des limites temporelles : pour nous, le monde a un but spécifique. L'attitude rationaliste est étroitement liée à cette conviction que le monde existe dans un but bien défini. Le rationalisme, qu'il fût déiste ou non, atteint son apogée avec les penseurs de la seconde moitié du dix-huitième siècle. C'est qu'il va de pair avec l'idée de progrès. Le dix-huitième siècle identifia pratiquement l'essor de la science au progrès social et à la perfectibilité de l'homme.

Au dix-neuvième siècle, on fit de ce credo un dogme auquel on donna successivement diverses interprétations.

Dans les premières décennies, l'industrie profite du prestige dont jouit la science. Pour Henri de Saint-Simon, l'industrie est la grande libératrice; grâce à elle, nationalisme et militarisme seront balayés de la surface du globe. Une armée de travailleurs ceindra la terre. L'exploitation de l'homme par l'homme disparaîtra. Saint-Simon vécut la plus grande partie de sa vie au dix-huitième siècle. Ses opinions se fondent donc sur des universaux. Il voit dans la mécanisation non ce que l'on en fait mais ce qu'elle pourrait devenir.

Au dix-neuvième siècle, par contre, cette vision globale des choses s'estompe. Cependant, la conception universaliste ne perd pas complètement ses droits. Il serait intéressant de suivre la survivance et la disparition de cette tendance jusqu'à l'infiltration, dans tous les domaines, du principe d'isolationnisme : au niveau de l'État (nationalisme), au niveau économique (système des monopoles); dans le domaine de la production de masse; dans celui des sciences aussi, où règne la spécialisation au mépris des conséquences possibles à l'échelle universelle; dans le domaine des sentiments enfin (solitude de l'individu et isolement de l'art). Toutefois, ce qui est sûr, c'est que certains vestiges de la perspective universaliste du dix-huitième siècle se manifestent encore vers le milieu du siècle, sensibles jusque dans la vie publique. La première Exposition universelle qui eut lieu à Londres en 1851, à la fin de l'époque révolutionnaire, se voulait une manifestation de paix mondiale et de coopération industrielle. L'idée de libre-échange qui y est étroitement associée atteint sa courte apogée dix ans plus tard sous le gouvernement de Gladstone.

On trouve également un aperçu de l'attitude universaliste de l'époque dans les ouvrages de grands savants comme Claude Bernard qui écrivit son *Introduction à la physique expérimentale* en 1865.

Herbert Spencer, le plus influent des avocats du progrès tel qu'on l'entendait dans la seconde moitié du dix-neuvième siècle, n'avait certainement pas envisagé que sa théorie de l'évolution (antérieure à celle de Darwin), appliquée au domaine social, servirait de caution à l'irresponsabilité commerciale camouflée sous le nom de *laissez-faire**. Évolution et progrès sont donc maintenant interchangeables, comme le sont la sélection naturelle et les résultats de la libre entreprise. C'est de cette façon détournée que l'on fit d'Herbert Spencer le philosophe du goût dominant. C'est lui qui en fournit le support théorique. Un sociologue a rappelé récemment que plus de 300 000 exemplaires des œuvres de Spencer se vendirent en Amérique en l'espace de quarante ans¹.

Au dix-huitième siècle, la foi dans le progrès telle que l'avait formulée Condorcet, plongeait ses racines dans la science. Au dix-neuvième siècle, elle est fille de la mécanisation. L'industrie qui engendra cette mécanisation, avec son flot ininterrompu d'inventions, avait un côté merveilleux qui fascinait l'imagination du grand public. C'est surtout vrai des années où elle atteignit son plus haut degré de popularité et sa plus large expansion, c'est-à-dire dans la seconde moitié du siècle, époque à laquelle les grandes expositions internationales revêtent une véritable signification historique, depuis celle de Londres, en 1851, jusqu'à celle de Paris, en 1889. Ces hymnes au progrès, à la mécanisation et à l'industrie, se turent aussitôt que faiblit la confiance dans la machine-miracle.

La foi dans le progrès fit place à la foi dans la production. La production pour elle-même date du jour où les fileurs de coton du Lancashire montrèrent au monde ce dont était capable la mécanisation à grande échelle. Au moment où déclinait la foi dans le progrès apparut, flottant tel un étendard métaphysique au-dessus des usines, la foi dans la production comme fin en soi. Le fanatisme de la production pour elle-même s'étendit jusque-là limité au monde de l'industrie. A l'époque de l'automatisation, la foi dans la production imprégna toutes les classes de la société, tous les domaines de la vie, reléguant tout autre considération à l'arrière-plan.

1. T. Cochran et W. Miller, *The Age of Enterprise, A Social History of Industrial America*, New York, 1942, p. 125. Voir en particulier le chapitre

« Philosophie du progrès industriel » pp. 119-128.

* En français dans le texte (N.d.T.)

Quelques aspects de la mécanisation

La mécanisation, au sens où nous l'entendons et la pratiquons aujourd'hui, est l'ultime produit d'une conception rationaliste du monde. Mécaniser la production équivaut à diviser le travail en autant d'opérations qu'il en comporte; ceci n'a pas changé depuis Adam Smith qui, dans un célèbre passage de son ouvrage *Wealth of Nations*, énonçait ainsi, en 1776, le principe de la mécanisation : « L'invention de toutes ces machines qui facilitent et abrègent tant la tâche de l'ouvrier semble tirer son origine de la division du travail ». Ajoutons simplement que, dans la fabrication d'un produit complexe comme l'automobile, cette division du travail s'accompagne d'une opération de réassemblage.

C'est à l'époque de la Renaissance que la conception rationaliste du monde prit toute sa force. On dissèque alors les événements complexes, le mouvement des corps, par exemple, pour en déterminer les composantes que l'on réunit ensuite afin d'obtenir une résultante (parallélogramme des forces). Le dix-neuvième et le vingtième siècles ont donné des proportions gigantesques à ce principe de division et de réassemblage jusqu'à faire de l'usine un organisme dans lequel les deux opérations sont presque simultanées.

Pendant la seconde moitié du seizième siècle, particulièrement en Italie, le nombre des livres techniques augmente de façon considérable. Ce sont des ouvrages pratiques qui proposent des méthodes nombreuses et variées pour augmenter l'efficacité du travail manuel ou pour le remplacer par des machines. On perfectionne des outils comme la vis sans fin, la roue à aubes, divers types de pompe aspirante et les engrenages de transmission. Cependant, à de rares exceptions près, la Renaissance ne dépassa jamais le niveau technique de l'époque hellénistique; on peut même dire que, dans l'ensemble, ces mécanismes étaient incomparablement plus primitifs que leurs ancêtres grecs. Ce ne sont encore que de simples balbutiements. Et, fait encore plus remarquable, on n'enregistre aucune tentative pour mécaniser la production. La mécanisation, en effet, ne pouvait avoir droit de cité au siècle des guildes. Mais les institutions sociales changent en même temps que l'orientation des idées. Le déclin des guildes coïncida avec la montée de la conception rationaliste du monde qui s'acheminait irrémédiablement vers les objectifs de l'utilitarisme. L'heure de la mécanisation avait sonné.

L'invention créatrice au service du merveilleux

Notre point de vue actuel tend à identifier génie inventif et production, ce qui ne va pas du tout de soi. Les Anciens voyaient les choses tout à fait

différemment : ils plaçaient leurs inventions au service du merveilleux et aimaient fabriquer des machines et des automates magiques. Assurément, ils utilisèrent aussi leurs connaissances mathématiques et physiques à des fins pratiques. Héron l'Ancien, dont on possède encore les écrits et dont le nom est devenu une sorte de terme générique désignant le génie inventif des Hellènes, construisit et perfectionna des presses à huile et des pompes à incendie; il inventa des lampes à mèche automatique et des chaudières aquatubulaires pour chauffer l'eau du bain. L'équipement des derniers thermes romains, si l'on en croit des fouilles récentes, est d'origine égyptienne et date des Ptolémée. Nous reviendrons sur ce point lorsque nous étudierons la mécanisation du bain.

Le seul domaine dans lequel les Anciens appliquèrent systématiquement leurs connaissances en physique fut celui de la guerre. Les inventeurs d'Alexandrie construisirent des canons de bronze à air comprimé d'une facture si parfaite que le feu jaillissait au moment où on libérait la charge. Mais l'idée de placer leur immense génie inventif au service de la production était totalement étrangère à leurs conceptions.

Notre sujet nous contraint à passer sous silence la période qui, par l'ensemble de ses expériences, se rapproche plus que toute autre du dix-neuvième siècle, c'est-à-dire l'Alexandrie hellénistique des troisième et deuxième siècles avant Jésus-Christ¹.

Parmi les idées les plus fertiles d'Alexandre le Grand, mentionnons l'hellénisation de l'Orient; c'est dans ce but qu'il fonda, dans le delta du Nil, la cité qui porte son nom, tout comme, beaucoup plus tôt, les Grecs avaient fondé Milet et toutes leurs autres colonies. Là, grâce aux penseurs et aux savants grecs, naquit une civilisation orientée vers les sciences exactes. Les docteurs jetèrent les bases de l'anatomie du cerveau, de la gynécologie et de la chirurgie, tandis que des savants comme Euclide et Ptolémée inventaient la géométrie et l'astronomie. C'est dans cette atmosphère que, sous le règne des Ptolémée, prospéra l'école des inventeurs d'Alexandrie dont les ouvrages, les plans et les expériences reflètent le calme de cette cité hellénistique en même temps que sa complexité, faite à la fois de précision grecque et d'un amour tout oriental du merveilleux.

Les inventeurs d'Alexandrie étaient passés maîtres dans l'art d'agencer les « machines simples » comme on les appelait (la vis, le coin, la roue et l'essieu, le levier, la poulie), au moyen de l'eau et du vide ou de la pression atmosphérique, de façon à pouvoir leur faire exécuter des mouvements compliqués. Ainsi, les portes du temple s'ouvraient automatiquement dès qu'on allumait le feu sur l'autel et se refermaient de la même façon dès que la flamme s'éteignait. On montait des spectacles religieux en plusieurs actes dans lesquels jouaient des automates que Héron, pour éviter tout frottement, plaçait sur des roues, elles-mêmes montées sur des rails de bois. On n'a cependant retrouvé, à notre connaissance, aucun signe indiquant l'application pratique de ce système à un moyen de transport. Les rails de bois semblent avoir fait leur apparition au début du dix-septième siècle dans les mines anglaises pour faciliter le trainage des wagons de charbon. Ce n'est que vers 1770 que l'usage répandu du matériel roulant sur rails de bois stupéfia les voyageurs venus du conti-

1. Les remarques qui suivent proviennent d'articles non publiés de l'auteur sur l'invention créatrice.

ment pour visiter les mines de charbon anglaises².

Les facteurs économiques pourraient suffire à justifier ce manque d'intérêt pour la production : les Anciens, en effet, disposaient d'une main-d'œuvre bon marché sous forme d'esclaves. Mais ceci n'explique pas pourquoi ils ne donnèrent pas à leurs découvertes des applications pratiques, pourquoi, par exemple, ils n'utilisèrent pas leurs rails pour accélérer la vitesse de leurs véhicules sur les grandes routes, pourquoi ils ne se servirent pas de leurs automates pour distribuer l'eau et pourquoi ils ne les commercialisèrent pas pour leur faire vendre des boissons; pourquoi enfin ils ne mirent pas au service de la vie quotidienne leur capacité à maîtriser le vide, la pression atmosphérique et les engins mécaniques. En vérité, leur orientation était tout intérieure, leur vision de la vie très différente de la nôtre. De même que nous n'avons pas été capables d'inventer une forme de relaxation adaptée à notre mode de vie, de même il ne vint jamais à l'esprit des Anciens de mettre leur génie inventif au service de la pratique.

On a retrouvé un nombre infini d'esquisses d'oiseaux chanteurs à ailes mobiles fonctionnant au moyen d'air pulsé dans des tuyaux invisibles par la pression de l'eau, d'orgues construites sur le même principe, de séries de récipients magiques à débit intermittent, d'automates versant alternativement de l'eau et du vin, ou offrant une certaine quantité d'eau consacrée lorsqu'on y introduisait une pièce de monnaie. Cet amour du merveilleux, ils le léguèrent aux Arabes. Les automates, tous réalisés à partir des principes inventés par les savants d'Alexandrie, occupent une place remarquable dans les miniatures de l'Islam.

Le besoin instinctif de placer les inventions au service du merveilleux survécut pendant toute la période islamique et jusqu'au dix-huitième siècle. Ce qui fit le plus sensation à la fin de ce siècle, ce ne fut pas la nouvelle machine à filer mais les automates à figure humaine qui marchaient, faisaient de la musique, parlaient avec une voix humaine, écrivaient ou dessinaient. Ils firent le tour des cours européennes pour finir dans les foires, et ce jusqu'à une date avancée du dix-neuvième siècle. Le perfectionnement des automates au dix-huitième siècle va de pair avec la maîtrise acquise à cette époque par l'artisanat et l'industrie horlogère en particulier. Ils sont tous deux fondés sur une décomposition et une recombinaison minutieuses du mouvement, démarches essentielles à l'invention de la machine à filer.

Le merveilleux et l'utilitaire

Allons plus loin encore : lorsqu'on observe les éléments constitutifs des outils qui jouèrent un rôle décisif dans l'avènement de la mécanisation, telles les machines textiles et les machines à vapeur, ils nous apparaissent comme le dernier stade d'une évolution dont l'origine remonte à la période alexandrienne. Ce qui a changé, c'est l'orientation, avec le passage du merveilleux à l'utilitaire. La machine à vapeur telle que la conçut James Watt, combine l'utilisation du vide (condenseur) avec la transmission du mouvement. Les machines textiles révèlent la même habileté à

2. T.S. Ashton, *Iron and Steel in the Industrial Revolution*, Londres, 1924, p. 63.

décomposer et recomposer les mouvements que celle qui servit à imaginer les automates à aspect humain.

Pour illustrer le plus simplement la façon dont le merveilleux et l'utilitaire coexistèrent au dix-huitième siècle, il nous suffit d'évoquer l'un des grands inventeurs de l'époque rococo : Jacques de Vaucanson, 1709-1782, contemporain de Louis XV et de Buffon. En lui sont réunies les deux conceptions opposées. Ses automates témoignent d'un prodigieux talent pour créer, à partir de simples mécanismes, les exécutants de mouvements organiques complexes. Vaucanson avait étudié l'anatomie, la musique et la mécanique, toutes disciplines qu'il intégra dans ses automates les plus célèbres : le flûtiste, le tambour et le canard mécanique.

Le flûtiste, que Vaucanson présenta à l'Académie des sciences pour examen en 1738 et que, selon Diderot, tout Paris admira, avait des lèvres mobiles, une langue qui servait de soupape à air et des doigts dont les bouts, en cuir, ouvraient et fermaient les trous de l'instrument. C'est sur les mêmes principes que Vaucanson construisit son tambour qui jouait en même temps d'un pipeau à trois trous. Mais c'est son canard mécanique qui suscita la plus vive admiration. Il marchait et nageait. Ses ailes imitaient la nature dans les plus petits détails et battaient comme les ailes d'un vrai canard. Il agitait la tête, cancanait et ramassait du grain par terre; on apercevait d'ailleurs les mouvements de déglutition. Un mécanisme, à l'intérieur du corps, moula le grain et le faisait ressortir d'une manière quasi naturelle. « Il fallait construire un laboratoire chimique dans un petit espace pour décomposer les parties intégrantes (du grain) et le faire sortir à volonté. » C'est ainsi que le *décrivait l'Encyclopédie de 1751*³ par la plume d'un rédacteur distingué qui n'était autre que le mathématicien d'Alembert. Selon l'*Encyclopédie*, c'est en 1741 que Vaucanson exposa son canard. L'article qui lui est consacré reflète d'ailleurs nettement l'impression faite par ce merveilleux mécanisme sur les savants contemporains les plus en avance sur leur temps. Dans sa description du flûtiste⁴, d'Alembert souligne qu'il ne fait que reproduire l'essentiel de l'article⁵ de Vaucanson lui-même, « qui nous a semblé digne d'être conservé » et à la suite de l'article de d'Alembert, le critique avisé qu'est Diderot ne peut s'empêcher de donner libre cours à un enthousiasme inhabituel : « Combien de finesse dans tout ce détail ! que de délicatesse dans toutes les parties de ce mécanisme... »⁶. En fait, outre un amour du merveilleux, les automates de Vaucanson et les innombrables créations du même genre dues à d'autres inventeurs reflètent l'extraordinaire génie mécanique du dix-huitième siècle.

Le philosophe Condorcet, qui succéda à Vaucanson à l'Académie des sciences mentionne, dans son éloge, le fait que Frédéric le Grand avait cherché à attirer celui-ci à la cour de Postdam en 1740⁷. Mais, en 1741, le cardinal Fleury, en réalité le véritable souverain de la France, nomma Vaucanson « Inspecteur des manufactures de soie ». C'est à partir de ce moment-là que celui-ci appliqua son génie à la mécanisation de la production. Il introduisit de nombreux perfectionnements dans les opérations de filage et de tissage et se révéla un organisateur avisé. Vers 1740, il construisit un métier mécanique pour les lampas, dont les lices se

3. *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné*, vol. I, p. 196.

4. *Ibid.* article « Androïde », pp. 448-451.

5. J. de Vaucanson, *Mécanisme d'un flûteur mécanique*, Paris, 1738.

6. *Encyclopédie*, op. cit. p. 451.

7. Condorcet, « Éloge de Vaucanson », *Histoire de l'Académie royale des sciences, année 1782*, Paris, 1785.

levaient et s'abaissaient automatiquement au moyen d'un cylindre percé de trous conçu sur le même principe que celui qui contrôlait l'arrivée d'air et la sélection des notes chez son flûtiste. Nous trouvons déjà à Alexandrie des mécanismes déclenchés au moyen de chevilles ou de gorges. Grâce à ses métiers, Vaucanson se place dans la longue lignée des inventeurs qui, à partir du dix-septième siècle, s'attaquèrent au problème de la fabrication automatique des étoffes. Le métier de Vaucanson n'eut pas d'applications immédiates. Ce n'est qu'en 1804 que l'inventeur Jacquard, de Lyon, assembla les morceaux du métier de Vaucanson au Conservatoire des arts et métiers à Paris⁸, inventant ainsi sa machine à filer automatique, le métier Jacquard, qu'on utilise encore aujourd'hui, et qui reproduisait jusqu'aux motifs les plus fantastiques.

En fait, ce sont les activités pratiques de Vaucanson qui sont les plus intéressantes du point de vue historique. En 1756⁹, il fonda une soierie à Aubenas, près de Lyon, perfectionnant ou inventant même chaque détail du bâtiment ou des machines, jusqu'aux dévidoirs qui, d'une manière fort ingénieuse, reliaient les fils des cocons tandis que ceux-ci trempaient dans l'eau chaude, aux tordoires qui les filaient. C'est, à notre connaissance, la première usine, au sens moderne du terme, construite presque vingt ans avant la fondation en Angleterre par Richard Arkwright, de vraies usines de filature. Vaucanson avait compris que des cabanes en bois ou des bâtiments de fortune ne pouvaient abriter de véritables activités industrielles mais qu'il fallait, au contraire, des installations parfaitement organisées et pensées jusque dans le moindre détail, où les machines seraient mues par une seule source d'énergie. Son traité s'accompagne d'un plan détaillé¹⁰. Ses manufactures, car il en construisit ensuite une seconde, ont trois étages et sont conçues avec la plus grande minutie. La source d'énergie est constituée par une seule roue à augets en dessus. Il recommande une lumière douce fournie par des fenêtres à carreaux de papier huilé. Une ventilation rudimentaire et des plafonds voûtés assurent, dans une certaine mesure, l'atmosphère humide et tiède nécessaire au filage de la soie. Il installa ses *moulins à organsiner** dans de vastes salles bien éclairées. Les petites maquettes exposées au Conservatoire des arts et métiers à Paris sont d'une élégance de construction remarquable et possèdent un nombre impressionnant de fuseaux verticaux qui préfigurent les « ailettes » des années 1900. Quel contraste avec les systèmes de quatre ou huit fuseaux utilisés dans les premières filatures anglaises !

Et pourtant ces efforts ne reçurent aucune application pratique. La France du dix-huitième siècle fut fertile en expériences dans tous les domaines. Des idées naissaient, qui ne devaient se concrétiser qu'au dix-neuvième siècle car elles ne pouvaient prendre racine dans la France catholique de l'Ancien Régime. L'une de ces idées mort-nées est la mécanisation.

La mécanisation de la production

Pour mener à son terme la mécanisation de la production, il fallait des inventeurs et des réalisateurs d'une autre classe sociale, d'autres condi-

8. Vaucanson lui-même avait commencé une collection de maquettes de machines diverses, qui constitua, pendant la Révolution, le noyau du Conservatoire des arts et métiers.

9. Nous indiquons la date de 1756 puisque, en 1776, Vaucanson parle d'une expérience faite à Aubenas vingt ans plus tôt. Cf. J. de Vaucanson, « Sur le choix de l'Emplacement et sur la Forme qu'il faut donner au Bâtiment d'une Fabrique d'Organsin », *Histoire de l'Académie royale, année 1776*, p. 168.

10. On y trouve des illustrations précises des installations de Vaucanson. Voir particulièrement les planches V et VI.

* En français dans le texte (N.d.T.)

tions sociologiques, un autre textile aussi. La soie était un textile de luxe pour gens riches. Dès le début, les Anglais expérimentèrent et construisirent toutes leurs machines en fonction du coton : la route de la production en série était ouverte. Plus frustrés et plus grossiers, comme le textile lui-même, furent la classe et l'environnement sociaux qui favorisèrent la mécanisation de sa production.

Ici, point de nobles ni de savants. Point d'académie pour publier les travaux des inventeurs, si bien que, pour connaître aujourd'hui les débuts de la production en série, il faut, en quelque sorte, s'adonner à un minutieux travail de reconstitution à partir de fragments épars. Pas un gouvernement ne fonda de manufactures privilégiées. La mécanisation de la production débuta dans le Nord, dans le Lancashire, loin des classes dirigeantes et de l'Église Établie d'Angleterre. Ce qu'il fallait, c'était d'une part, des villes isolées comme Manchester qui durent attendre le dix-neuvième siècle pour obtenir le statut de municipalité et n'étaient pas soumises aux contraintes imposées par les corporations, d'autre part, des inventeurs issus du prolétariat. L'un des premiers gros industriels de Manchester remarque dès 1794 : « Les villes où les fabriques sont les plus florissantes ont rarement le statut de municipalité, le commerce exigeant un encouragement universel et non des privilèges exclusifs limités aux habitants et aux maîtres de corporations d'une région donnée. Ceux qui, les premiers, introduisirent la fabrication du coton dans le comté du Lancashire furent des réfugiés protestants qui trouvaient probablement qu'ils recevaient trop peu d'aide pour eux-mêmes et leur industrie, de la part des municipalités anglaises. »¹¹

John Wyatt, qui fut le premier à remplacer la main qui tend le fil par des cylindres rotatifs et qui monta en 1741, dans un entrepôt de Birmingham, la première filature de coton, de modestes dimensions, échoua en prison pour dettes. James Hargreaves, l'inventeur de la machine à filer le coton, entre 1750 et 1757, était un simple tisserand. Et Richard Arkwright, 1732-1792, qui réussit le premier à filer le coton et sut tirer parti des idées sur lesquelles d'autres avaient achoppé, était barbier de son état. Ce n'est qu'en 1767 qu'il abandonna son métier qui consistait à acheter des quantités massives de cheveux de mauvaise qualité et à les rendre utilisables par un procédé approprié. En 1780, il contrôlait plusieurs usines et à sa mort, il légua à son fils une vaste fortune. De très humble extraction, il était le treizième enfant d'une famille pauvre. Armé d'une indomptable ambition, doué d'un sens aigu de la réussite, il est le type même de l'homme d'affaires du dix-neuvième siècle. C'est dans un environnement social hostile, sans appuis, sans subventions du gouvernement mais grâce à des utilitaristes acharnés qui ne craignaient ni les risques financiers ni les dangers d'aucune sorte que la mécanisation de la production fit ses premiers pas. Au siècle suivant, la mécanisation du filage du coton devint partout synonyme d'industrialisation.

11. T. Walker, *Review of some of the Political Events which have occurred in Manchester during the Last Five Years*, Londres, 1794. Cité par W. Bowden, in : *Industrial Society in England Toward the End of the Eighteenth Century*, New York, 1925, pp. 56-57.

Métiers simples et métiers complexes.

Les premières expériences jouent souvent un rôle décisif dans l'évolution future d'une technique. Ceci est certainement vrai, à plus d'un titre,

pour la mécanisation. Les traits qui, dans ce domaine, distinguent l'Europe de l'Amérique s'observent aussi bien au début du dix-huitième siècle qu'un siècle et demi plus tard. L'Europe commença par la mécanisation des tâches simples comme le filage, le tissage et la métallurgie.

L'Amérique, elle, procéda dès le début de façon différente car elle s'attaqua d'abord à la mécanisation des métiers complexes.

Pendant que, vers 1780, Richard Arkwright se taillait à la force du poignet un pouvoir sans précédent, Oliver Evans, sur les rives d'un cours d'eau solitaire non loin de Philadelphie, s'employait à mécaniser la tâche complexe du meunier. Il y parvint au moyen de la chaîne de production continue qui se passait de la main de l'homme, du déchargement du grain jusqu'à l'obtention de la farine prête à l'emploi.

A cette époque-là, l'industrie américaine n'existait pas encore; les ouvriers qualifiés étaient rares et les riches importaient d'Angleterre leurs meubles de salon, leur verrerie, leurs tapis et leurs étoffes; le pionnier de l'arrière-pays fabriquait de ses propres mains ses ustensiles et ses meubles.

Le passage brutal de cette vie à la Robinson Crusoë à un stade avancé de mécanisation est un phénomène fréquent à cette période, l'élan moteur étant la nécessité d'économiser la main-d'œuvre. La manière dont, vers 1850, la Prairie s'ouvre à l'agriculture tandis qu'on crée les machines indispensables à son exploitation et que se mécanise le métier complexe de fermier, forme l'un des chapitres les plus passionnants de l'histoire du dix-neuvième siècle. Mais l'impulsion existait déjà. C'est ce qui nous permet de comprendre que, dès 1836, deux fermiers du Middle West se servaient d'une moissonneuse (fig. 67) qui exécutait, en une chaîne de production continue, toutes les tâches de la moisson : battage, nettoyage et ensachage du grain. Elle apparaissait, en fait, un siècle avant son temps. Ces symptômes éclairent bien l'origine du développement de toute l'industrie américaine. Les dimensions du pays, sa population clairsemée, le manque de main-d'œuvre qualifiée et, par conséquent, l'existence de hauts salaires expliquent pourquoi l'Amérique mécanisa, d'entrée de jeu, les métiers complexes.

Et pourtant, l'une des raisons essentielles de ce processus se situe peut-être ailleurs. Les pionniers, qui avaient apporté avec eux leurs coutumes européennes et leur expérience d'Européens, se trouvaient soudain coupés non seulement des moyens nécessaires pour organiser ces tâches complexes mais de toute la culture qui avait nourri ces institutions. Il leur fallut donc repartir à zéro, ce qui laissait l'imagination libre de reconstruire la réalité à sa guise.

Les origines gothiques de l'artisanat complexe.

En dépit des vicissitudes de l'histoire, l'Europe avait évolué de façon continue jusqu'au moment où la mécanisation entra en scène. L'artisanat très spécialisé plonge ses racines dans la fin de l'époque gothique. Son essor est indissolublement lié à la renaissance de la vie des cités. La nécessité d'un mode de vie organisé à l'intérieur d'une communauté explique pourquoi, aux treizième et quatorzième siècles, la vie de la cité,

qui n'avait cessé de décliner, se remit à fonctionner et pourquoi, dans toutes les régions, qu'elles fussent de culture ancienne ou récente, les villes jaillirent à un rythme que, seul, dépassera le dix-neuvième siècle américain. Les humbles maisons de bois des villes gothiques, avec leurs façades identiques, toutes bâties sur la même surface de terrain, furent le berceau de l'artisanat complexe.

Ce n'est donc que vers la fin de la période gothique, après la construction des grandes cathédrales, que la nouvelle classe des bourgeois éprouva le besoin de décorer l'intérieur de ses demeures, créant ainsi l'intérieur bourgeois. Jusqu'au dix-neuvième siècle, le style gothique finissant fut à l'origine de tous les développements à venir. En même temps, on ne cessait d'affiner les techniques artisanales; ceci dura jusqu'à l'apparition de la mécanisation.

On assiste alors à un remarquable phénomène de symbiose : l'artisanat côtoie la production industrielle ou parfois même se confond avec elle, car les racines gothiques ont la vie dure. Nous en voulons pour preuve l'obligation traditionnelle d'être d'abord apprenti puis ouvrier avant d'accéder à la maîtrise. Ce système hiérarchique s'appliquait même à l'ouvrier d'usine. Cette formation minutieuse dans tous les corps de métiers fournissait d'excellents ouvriers, parfaitement qualifiés et entraîna, de ce fait, des divergences fondamentales entre l'Amérique et le continent européen. Le boucher, le boulanger, le menuisier et le paysan sont des vestiges de la période gothique. Certains pays comme la Suisse ont gardé, outre le noyau gothique des villes, de nombreuses coutumes du passé, jusqu'aux habitudes linguistiques. Une résistance interne empêche la mécanisation de pénétrer trop avant dans le domaine de la vie intime. Et quand, malgré tout, cela arrive, c'est souvent d'une manière hésitante et uniquement pour suivre l'exemple imposé par l'Amérique. L'artisanat complexe tend cependant à donner à la vie un certain caractère de rigidité et de lenteur. En Amérique où il n'existe pas, on compense son absence par une approche directe des problèmes. La hache, le couteau, le marteau, la pelle, les ustensiles et appareils ménagers, bref, tous les instruments qui, en Europe, avaient gardé pratiquement la même forme depuis l'Antiquité, sont repensés et restructurés dès le premier quart du dix-neuvième siècle. La contribution de l'Amérique, c'est-à-dire la mécanisation des tâches complexes, effectuée un départ foudroyant après 1850, particulièrement au début des années 1860, avec un deuxième élan entre 1919 et 1939. Nous allons étudier brièvement le sens et l'importance de ces deux périodes.

Profil des années décisives

Les années 1860.

Dans tous les domaines, il est des époques qui présagent bientôt l'avenir, même si les résultats tangibles se font attendre. Il en va ainsi de l'Amérique des années 1860 qui ne compte ni grands noms, ni grandes inventions. Mais c'est à cette période, agitée d'une grande fièvre d'in-

vention, que nous ferons souvent remonter les impulsions et les tendances qui ont fortement influencé notre époque.

Au dix-septième siècle, le génie créateur était l'apanage d'un groupe restreint d'érudits : philosophes et savants comme Pascal, Descartes, Leibnitz, Huygens ou, pour remonter dans le temps, de l'homme universel à la Léonard de Vinci. Les tendances qui devaient plus tard entraîner les masses populaires se dessinent d'abord dans l'esprit d'une élite. Jusqu'à la fin du dix-huitième siècle, les inventions, pour autant qu'elles furent consignées dans les archives du bureau des brevets en Angleterre, sont en nombre infime. Aux environs de 1850 par contre, le besoin de créer s'empare des masses, et nulle part aussi frénétiquement peut-être que dans l'Amérique des années 1860. Inventer est alors une activité normale. Tout le monde invente; celui qui possède une entreprise, quelle qu'elle soit, cherche par tous les moyens à accélérer et à perfectionner la fabrication de ses produits et à leur donner un aspect engageant. Imperceptiblement, anonymement, on transforme les vieux outils en instruments modernes. Jamais le nombre d'inventions par habitant ne dépassa celui de l'Amérique de ces années-là. Mais il faut se garder d'établir une équation entre l'élan inventif et le degré d'industrialisation des États-Unis à cette époque, car ce serait commettre une grossière erreur. Si nous prenons comme référence l'industrie clé du dix-neuvième siècle, c'est-à-dire l'industrie textile, l'Europe et tout particulièrement l'Angleterre, semblent venir largement en tête. Vers 1850, selon la *Revue des Deux Mondes*¹², l'Amérique possédait 5,5 millions de fuseaux mécaniques, la France 4 millions et l'Angleterre 18 millions. Plus tard, l'Europe atteindra un potentiel encore supérieur dans le domaine du tissage avec, en 1867, 70 000 métiers mécaniques pour la France et 750 000 pour l'Angleterre, contre 123 000 seulement en Amérique¹³. Quiconque veut savoir ce qui se passait dans l'âme américaine de l'époque ne puisera pas uniquement dans l'art populaire; l'activité de l'inventeur anonyme est, en fait, plus révélatrice. Mais le bureau des brevets n'a conservé que peu de traces du génie inventif populaire. Si nous faisons si souvent appel aux dessins des brevets, c'est en tant que témoins objectifs, bien que les dessins en eux-mêmes aient souvent une qualité artistique qui les distingue de la sèche technique d'une époque ultérieure. Ils représentent en réalité un aspect non négligeable de l'art populaire.

Dans les listes de brevets américains de la fin des années 1830, on trouve peu de projets de perfectionnement de la machine à vapeur ou de l'industrie textile, alors qu'abondent les idées pour simplifier les tâches complexes ainsi que les premiers efforts pour mécaniser l'environnement humain. Ceci est particulièrement vrai des années 1860 dans le domaine de l'agriculture, de la boulangerie, de l'industrie de la viande et des tâches ménagères. La mécanisation pénètre alors avec succès dans de nombreux secteurs, tandis que, pour d'autres, comme celui des besoins ménagères, l'heure n'a pas encore sonné. Cependant, de cette époque à celle de l'automatisation, il n'y avait qu'un pas à franchir pour réaliser ce que les années 1860 n'avaient fait qu'entrevoir.

12. *Revue des Deux Mondes*, 1855, t. IV, p. 1305.

13. Blennard, *Histoire de l'industrie*, Paris, 1895, vol. III, pp. 60 et suiv.

1918-1939 :
l'ère de l'automatisation.

Nous appellerons l'entre-deux-guerres l'ère de l'automatisation mais son évolution est trop fluctuante pour qu'on puisse lui assigner des limites précises. Le processus d'automatisation avait déjà fait son apparition avant 1918 et était encore loin d'être terminé en 1939. A l'intérieur même de ces dates, l'intensité du phénomène varie considérablement selon les moments. Cependant, tout compte fait, on peut légitimement situer dans l'entre-deux-guerres l'avènement de l'automatisation de l'industrie.

Nous n'avons pas assez de recul pour pouvoir juger parfaitement les événements de ces deux décennies ni en déterminer les conséquences actuelles. Ce qu'il y a de certain, c'est que la mécanisation pénétra d'un seul coup jusqu'aux sphères les plus intimes de la vie. Ce qui se préparait depuis un siècle et demi et surtout ce qui germait depuis la seconde moitié du dix-neuvième siècle mûrit soudain et heurta la vie humaine de plein fouet.

Bien sûr, certains changements affectèrent la vie quotidienne dès les premiers balbutiements de la mécanisation, au début du dix-neuvième siècle, mais leur influence se limitait à des régions assez restreintes, à des villes comme Manchester, Roubaix, Lille, où les grandes usines textiles commençaient à prospérer et, avec les taudis qu'elles engendraient, à saper les structures de la cité. Cependant la vie en général n'était guère touchée par les progrès de la mécanisation.

Jamais, comme nous le verrons plus loin, l'agriculture anglaise ne suscita autant d'admiration que vers 1850. Sur le continent aussi, la population paysanne, même dans les pays industrialisés, dépassait largement en nombre celle de tous les autres secteurs de l'économie. Aux États-Unis la population était alors à environ quatre-vingt-cinq pour cent paysanne et à quinze pour cent urbaine. Cette proportion commença lentement à s'inverser dans les dernières années du siècle. En 1940, moins d'une personne sur quatre appartenait au milieu rural¹⁴.

Dans la seconde moitié du dix-neuvième siècle, avec l'extension du réseau ferroviaire, la croissance accélérée des métropoles et, en Amérique, la mécanisation des métiers complexes, l'influence de ce phénomène se faisait déjà profondément sentir.

Vers 1920, la mécanisation investira totalement le secteur domestique, prenant pour la première fois, possession de la maison et de ce qui, dans la maison, est susceptible d'être mécanisé : la cuisine et la salle de bains, qui flattent le goût du public et réveillent d'un seul coup son instinct de possession. A l'époque de l'automatisation les appareils, devenus objets de première nécessité dans la maison, dépassent en nombre ceux qu'avait inventés tout le dix-neuvième siècle. Ils prennent une place sans précédent dans l'esprit des masses et atteignent des prix inouïs. Pour déterminer le moment auquel les divers appareils électriques devinrent véritablement d'un usage courant, nous avons adressé un questionnaire à une grosse maison de ventes par correspondance; il apparaît que les petits appareils comme les ventilateurs, les fers à repasser, les grille-pain et les essoreuses, figurent pour la première fois dans

14. *Sixteenth Census of the United States, 1940*, « Agriculture », vol. III, p. 22.

les catalogues en 1912; l'aspirateur électrique en 1917; la cuisinière électrique en 1930 et le réfrigérateur électrique en 1932¹⁵. La mécanisation de la cuisine coïncide avec la mécanisation de la nourriture. En même temps que la cuisine se mécanise, on observe une augmentation de la demande d'aliments en conserve ou de plats tout prêts.

Vers 1900, l'industrie de la conserve, viande mise à part, en était encore, du point de vue de la production et de la qualité, au stade des balbutiements. La mécanisation permet une augmentation considérable des rendements et des variétés de denrées de conserve : soupes en boîtes (excellentes), spaghettis en sauce et nourriture en pot pour bébés jusqu'aux repas en boîte pour chats, chiens et tortues. L'ère de la mécanisation est l'ère de la boîte de conserve.

La fabrication industrielle des aliments se reflète également dans les chaînes de restaurants. Une seule entreprise occupant un seul immeuble, à New York, prépare quotidiennement à manger pour 300 000 personnes. Les beignets, nageant dans la graisse bouillante, avancent sur une courroie sans fin tandis que des régiments de tourtes aux pommes traversent continuellement l'immense four-tunnel par rangs de douze comme des soldats.

Nous limiterons presque exclusivement notre étude au progrès de la mécanisation dans la vie privée des Américains, et aux réalités les plus courantes comme la cuisine, la salle de bains et leurs équipements. Mais celle-ci s'implanta, en fait, beaucoup plus profondément : elle pénétra au centre même de l'âme humaine par l'intermédiaire des cinq sens. Pour l'œil et l'oreille qui sont les portes de l'émotion, on inventa des moyens de reproduction mécanique. Le cinéma, avec sa capacité illimitée à reproduire un processus à la fois optique et psychique, a bousculé le théâtre. L'œil s'accommode à la représentation bi-dimensionnelle. L'addition du son et de la couleur vise à augmenter l'effet de réalisme. Avec ces nouveaux moyens d'expression sont nées de nouvelles valeurs et un nouveau type d'imagination. Malheureusement, la demande fut telle que l'on utilisa ce médium selon la loi du moindre effort avec, pour résultat, l'aviilissement du goût du public.

Des possibilités encore plus grandes s'offraient à la reproduction du son dans l'espace. Plus qu'aucun autre moyen d'expression, la radio acquit sa toute puissance à l'époque de l'automatisation et influença tous les aspects de la vie. La musique est maintenant mécanisée dans son immense diversité. Le phonographe, inventé au dix-huitième siècle, fut le précurseur de cette mécanisation. Son perfectionnement coïncide avec l'introduction de la radio. Comme on avait ajouté le son à l'image mobile, de même on ajouta l'image à la radio : la télévision était née.

Pour boucler la boucle, les moyens de transport firent irruption dans la vie de chaque individu. Le voyage fut l'un des dadas du dix-neuvième siècle. Mais la locomotive est un véhicule neutre. L'automobile, elle, est un objet personnel que l'on en vint vite à considérer comme un élément du mobilier, celui, en fait, dont l'Américain se séparerait le moins volontiers. Avec l'exagération permise à un critique de mœurs, John Steinbeck écrit en 1944 que la plupart des bébés de l'époque « ont été

15. Nous devons ces renseignements au professeur Richard M. Bennett qui résida quelque temps avec Montgomery Ward à Chicago.

conçus dans des Ford T et que beaucoup y sont même nés. La théorie du 'home' anglo-saxon en fut tellement bouleversée qu'elle ne s'en remit jamais complètement»¹⁶.

En tout état de cause, le réseau routier s'adapta pendant l'entre-deux-guerres à l'automobile. Cette dernière peut être considérée comme à l'origine de l'automatisation. Sa fabrication en série commença dès 1928 mais les effets ne s'en firent sentir qu'au début de l'ère de l'automatisation. D'abord, de grandes routes en béton puis des avenues rendirent la circulation si aisée que chacun conduisait pour le plaisir de conduire, pour se calmer les nerfs ou pour échapper à soi-même en appuyant sur l'accélérateur. Ce phénomène est universel mais il n'est nulle part aussi marqué qu'en Amérique. Dans le pays où, vers 1840, Henry Thoreau décrivait minutieusement mais sans aucun sentimentalisme, la vie du chemineau fondée sur un contact étroit entre l'homme et la nature, l'automobile a presque totalement chassé le piéton des rues. La marche, la détente pour elle-même, la pause dont le cerveau a besoin pour se régénérer, disparaissent peu à peu au profit de l'automobile. Il serait tentant d'étudier les implications sociologiques de l'automobile ou les effets psychologiques du cinéma et de la radio sur l'homme. Mais ce genre de recherche appartient à d'autres domaines que le nôtre et nécessiterait une équipe de chercheurs de plusieurs disciplines.

A l'époque de l'automatisation, des développements nouveaux apparaissent dont l'orientation et les implications sont imprévisibles. Il ne s'agit plus simplement du remplacement de l'homme par la machine mais de l'intervention de cette machine dans la substance même de la nature organique aussi bien qu'inorganique.

Dans l'inorganique, on étudie la structure de l'atome et son utilisation à des fins encore inconnues. Un secteur est en pleine expansion : celui de l'exploration directe par l'homme de la substance organique. Ici la demande plonge aux sources mêmes de la vie, contrôle la génération et la procréation, influence la croissance, transforme structures et espèces. La mort, la génération, la vie et l'habitat sont soumis aux mêmes processus de rationalisation que les phases ultimes de la chaîne de montage. La multitude d'inconnues que font naître ces processus crée un profond malaise. Qu'il s'agisse de substance organique ou inorganique, on s'attaque, en fait, aux fondements même de la vie. C'est l'évolution de l'art qui nous fait le mieux entrevoir l'énorme influence de la mécanisation sur la vie intérieure de l'homme. La sélection établie par Alfred Barr dans *Cubism and Abstract Art* (New York, 1936) nous montre bien les différentes réactions de l'artiste hypersensible aux premières manifestations de l'automatisation. Nous ne donnerons pour l'instant que quelques aperçus des multiples facettes de cette perception.

La mécanisation a envahi jusqu'au subconscient de l'artiste. Le rêve que Giorgio de Chirico décrit comme le plus obsédant (1924) mêle l'image de son père à la puissance démoniaque de la machine. « Je me débats en vain contre l'homme aux yeux soupçonneux et doux. Chaque fois que j'arrive à le saisir, il se libère en écartant les bras [...] comme ces énormes grues [...] » (J. Thrall Soby, *G. de Chirico*).

La même angoisse et la même solitude imprègnent les architectures

16. John Steinbeck, *Cannery Row*, New York, 1944.

mélancoliques de sa première période, ainsi que ses pathétiques poupées mécaniques, peintes jusque dans leurs moindres détails et en même temps horriblement disloquées.

Il y a, d'autre part, les grandes toiles de Léger qui, vers 1920, présentent une image de la ville au moyen de signes, de signaux et de fragments mécaniques. Il y a les Russes et les Hongrois, eux-mêmes très éloignés de la mécanisation, et pourtant inspirés par sa puissance créatrice. Dans les mains de Marcel Duchamp et d'autres, les machines, ces merveilles d'efficacité, se transforment en objets irrationnels chargés d'ironie, mais introduisent en même temps un nouveau langage esthétique. L'artiste s'entoure d'éléments tels que machines, mécanismes et objets de grande série qu'il considère comme l'authentique produit de son époque et le moyen de se libérer de l'art pourri imposé par le goût dominant.

Étapes et
procédures
de la
mécanisation

Standardisation et interchangeabilité

La première phase de la mécanisation consiste à transformer les mouvements de la main qui pousse, tire et presse, en une rotation continue. La seconde phase concerne les moyens. Quels procédés va-t-on employer pour reproduire les objets ? Dès la première moitié du dix-neuvième siècle, la reproduction s'effectue de diverses façons : estampage, emboutissage, repoussage et autres procédés décrits par Charles Babbage en 1832 ou Peter Barlow en 1836. Les matrices prennent une importance accrue et servent aussi bien au poinçonnage des pièces de monnaie (fig. 144) qu'à l'emboutissage des canots de sauvetage métalliques fabriqués pour la première fois en 1850 (fig. 18). « Des plaques de tôle galvanisée sont placées entre deux énormes matrices creusées de façon à s'emboîter l'une dans l'autre. » Il fallut attendre la mécanisation intégrale de l'industrie automobile pour que ce procédé fût exploité en grande série. En même temps que l'on différenciait et que l'on restructurait les outils traditionnels, leur fabrication elle-même se transformait : c'est aux matrices que marteaux, haches (fig. 50), scies et faucilles¹ doivent leurs nouvelles formes.

L'estampage, l'emboutissage et le moulage aboutissent à la standardisation et, de là, à la fabrication de pièces interchangeables. On en connaît assez bien les premiers balbutiements. C'est à Eli Whitney, inventeur de la machine à égrener le coton, que l'on attribue l'introduction des pièces interchangeables dans son armurerie de Whitneyville; Simeon North, le fabricant de pistolets dont les ateliers étaient situés non loin de là, à Middletown (Conn.), appliquait lui aussi ce principe. C'est dire que l'idée était dans l'air. En France, Thomas Jefferson, dans une lettre souvent citée, fait observer en 1782 qu'un mécanicien fabrique des fusils à partir de pièces détachées. Nous connaissons cependant peu de choses sur les réalisations de la France dans ce domaine à la fin du dix-huitième siècle. Une étude systématique reste à faire. Les premières éditions du dix-neuvième siècle de l'*Encyclopaedia Britannica* décrivent et illustrent en détail les machines inventées ou montées par Brunel à partir de machines existantes, en vue de la fabrication de palans fondée sur la standardisation et l'amovibilité.

L'Amérique, pour des raisons évidentes, constituait un terrain rêvé pour l'introduction de la standardisation et des pièces interchangeables. Mais, même au milieu du dix-neuvième siècle, cette méthode ne s'appliquait guère qu'à des objets de petites dimensions comme les pendules, fabriquées alors à l'usine de Waltham à partir de pièces interchangeables, car la réparation des pendules ainsi que le remplacement des pièces exigeaient une main-d'œuvre qualifiée.

Peu après 1850, des tentatives furent faites dans différents secteurs de

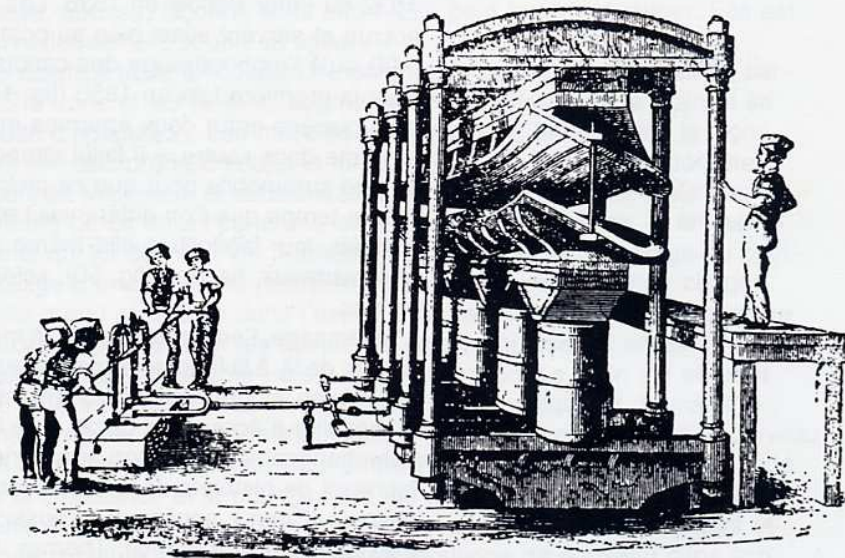
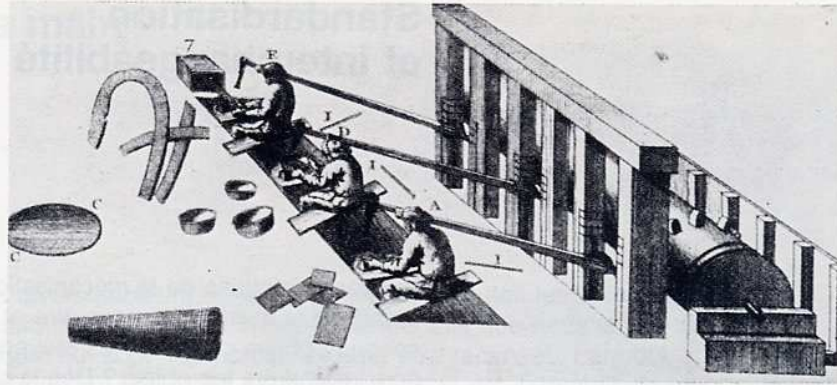
1. Cette apparition simultanée de formes nouvelles et de nouveaux moyens de fabrication remonte aux environs de 1830. Le seul exemple que nous montrons ici est une lame de faucille inventée en 1834 (fig. 52).

fig. 17. Fabrication artisanale en série au 18^e siècle. L'art de convertir le cuivre rouge. 1764. Cette gravure intitulée « Artisans au travail » est extraite de la Description des arts et métiers, l'une des meilleures sources d'information sur la mécanisation au 18^e siècle. Les gros marteaux plats à bascule frappent avec une force et une rapidité variant selon le volume d'eau qui tombe sur la roue. Les artisans façonnent le métal pour en faire des rubans, des plaques ou des récipients. (Duhamel du Monceau, L'Art de convertir le cuivre rouge. Description des arts et métiers, vol V, pl. X, Paris, 1764).

fig. 18. Première utilisation de la presse hydraulique et des grandes matrices : fabrication de moitiés de canots de sauvetage métalliques, 1850. Joseph Bramah inventa la presse hydraulique vers 1796. Avec les progrès de la mécanisation, la technique de l'estampage, de l'emboutissage et du repoussage prit de jour en jour plus d'importance; en commençant vers 1830 par des éléments de décoration intérieure bon marché, pour en arriver vers 1920, à l'emboutissage de carrosseries d'automobiles entières dans les ateliers de Detroit.

fig. 19. Première utilisation des pièces de rechange pour grosses machines : pièces détachées pour moissonneuse, 1867. Les pièces de rechange pour les petits objets : pistolets, fusils, pendules, existaient depuis le début du 19^e siècle. Mais le catalogue, maintenant pratiquement introuvable, de Walter A. Wood, le dynamique inventeur de machines agricoles, Hoosick Falls, N.Y., présente une large gamme de grosses pièces de rechange, un demi-siècle avant que Henry Ford n'appliquât les procédés de standardisation à l'industrie automobile. (Avec l'autorisation de la McCormick Historical Society, Chicago).

fig. 20. Pièces interchangeables : Dents de scie amovibles, 1852. Le contremaître d'une scierie californienne « prit conscience, pendant son travail, des grands inconvénients des scies à dents fixes dans les régions éloignées de toute fabrique. (...) Les scies circulaires à dents amovibles ont un plus gros rendement et reviennent moins cher ». Manufacturer and Builder, New York, janv. 1869.



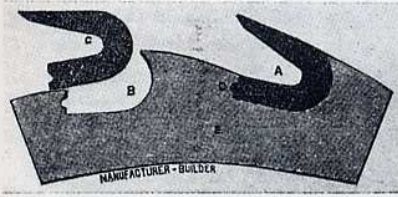
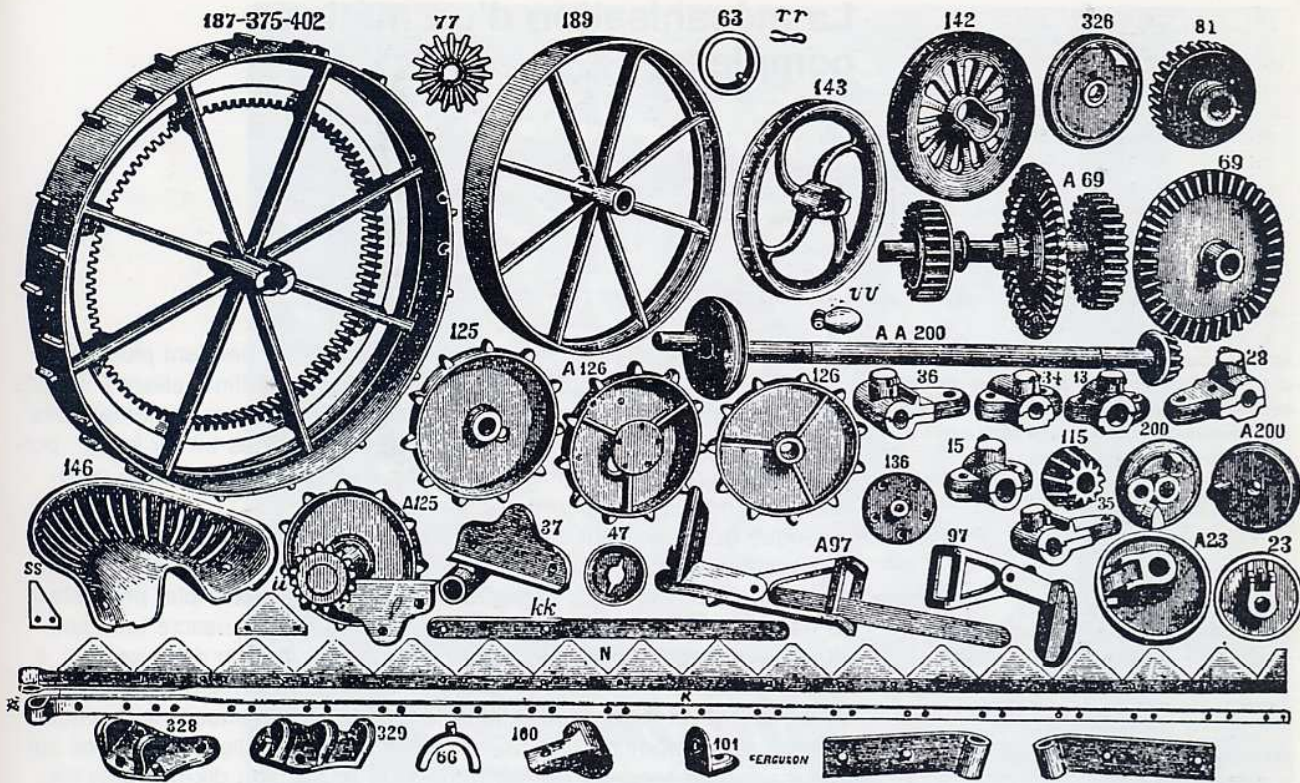
HYDRAULIC PRESS.

l'industrie pour appliquer à de plus grosses pièces le principe de l'amovibilité. L'idée de la scie à dents interchangeables (fig. 20) naquit dans une scierie californienne extrêmement éloignée de toute fabrique, ce qui rendait les réparations impossibles. L'inventeur s'en retourna peu après vers les États de la côte Est où il mit son idée en pratique². Les visiteurs de l'Exposition universelle de Paris, en 1867, purent admirer une scie circulaire de ce type, de 80 pouces de diamètre.

Nous ne pousserons pas plus loin nos investigations dans ce domaine essentiellement consacré à des procédés techniques. En outre, pour l'étudier avec la précision voulue, une recherche interdisciplinaire s'impose, qui ne sera possible que lorsque l'industrie américaine aura surmonté sa timidité à l'égard de l'histoire.

Ce qu'il importe de souligner ici, c'est que l'interchangeabilité devient intéressante à partir du moment où on l'applique à de grosses machines

2. American Manufacturer and Builder, New York, janvier 1869.



et où le remplacement des pièces ne dépend plus d'une main-d'œuvre qualifiée. L'un des très rares catalogues des années 1860, le *Circular for the Year* (1867), de Walter A. Wood³, fabricant de remarquables machines agricoles, publie six « croquis de pièces détachées » (fig. 19) pour sa faucheuse et sa moissonneuse à râtelage manuel; chaque pièce y est illustrée et numérotée de façon à permettre au fermier de faire sa commande en indiquant simplement le numéro de la pièce désirée. Dès le début, le fermier américain, nécessairement bricoleur, avait pris l'habitude d'assembler lui-même ses machines. McCormick, par exemple, expédiait sa moissonneuse dans quatre caisses numérotées.

A notre connaissance, c'est Walter A. Wood, dont nous rencontrerons de nouveau le nom, qui, le premier, inventa la méthode permettant de changer soi-même les pièces des grosses machines. Ce catalogue de 1867 fait une plus large place aux pièces détachées qu'aux machines elles-mêmes.

Ceci se passait un demi-siècle avant qu'Henry Ford, dans l'industrie automobile, ne fit connaître le même principe au grand public. Comme nous le verrons bientôt, l'introduction des pièces détachées pour grosses machines et l'élimination de la main-d'œuvre qualifiée coïncident avec les débuts de la chaîne de montage, au sens moderne du terme, dans l'industrie de la viande.

3. The Walter A. Wood Mowing and Reaping Machine Company, Hoosick Falls, New York, *Circular for the Year 1867*, Albany, 1867.