LEONARDO DA VINCI

L'INVENTION DES MACHINES

Esthète, inventeur acharné, esprit protéiforme, protothype de l'homme universel, Léonard de Vinci a édifié le monde actuel avec une anticipation de plusieurs siècles. Il appartient à ce peuple de saints, d'artistes, de philosophes, d'érudits et de poètes qui a le droit de prétendre au titre de messager de l'éternel. Encore que nées en Orient, développées dans la radieuse atmosphère hellénique, puis reprises par les Arabes, c'est en effet en Italie que la science et la technique eurent leur plein essor, qu'elles trouvèrent leur style, qu'elles furent totalement décantées par l'art. Léonard est donc bien le fruit naturel d'une terre féconde qui engendra les plus illustres savants, les plus profonds penseurs et les plus grands artistes de l'humanité. Dans la ligne des Etrusques, Apuliens, Lucaniens, Sicanes, Sicules, *Siceliotae* et Romains, il continue leurs ferventes traditions, il réunit en lui la somme de leur puissance vitale, il insère son champ d'activité dans le glorieux ensemble de la splendeur latine, il ouvre toute grande la porte enchantée de la Renaissance.

Revenant tout d'abord sur ses pas, pour refaire la longue route suivie par ses prédécesseurs, Léonard de Vinci constate

que les Grecs ont laissé des traces considérables chez les Etrusques, mais que ceux-ci les ont nettement dépassés dans les domaines des arts appliqués, du génie civil, de la mécanique, des ponts et chaussées, de la chimie, des constructions hydrauliques, de la métallotechnique. D'autre part, il argue que la science grecque, vouée essentiellement aux problèmes métaphysiques et aux spéculations théoriques, ne forme les éléments primitifs d'une enquête d'observation et d'une méthode expérimentale qu'au moment où elle transmigre dans l'Italie méridionale, c'est-à-dire avec Archytas de Tarente (430-365 av. J.C.) et Archimède de Syracuse (287-212 av. J.C.) : les deux plus remarquables mécaniciens de l'Antiquité. Quant aux Romains, bien que leur culture dérive en partie des données de la Grèce et de l'Etrurie, Léonard remarque qu'ils modifièrent substantiellement le champ de la technique et de la construction, en élevant une architecture colossale et utilitaire qui constitue une conquête évidente au point de vue artistique et social; en créant des appareils de guerre nouveaux, des machines industrielles, des installations hydrauliques, des vaisseaux, des véhicules; en perfectionnant les instruments mécaniques, les procédés technologiques, les systèmes de travail de l'artisanat. Enfin, les connaissances accumulées par le renouveau des sciences exactes et appliquées (qui s'est ouvert en Italie, dès le XIIe siècle) contribueront à déclencher l'ardeur géniale du Vinci, en l'inspirant d'une ambiance logique.

Quand Léonard se présente comme réalisateur sur la scène active, l'Italie possède déjà une industrie très florissante, conséquence de ce phénomène spécifiquement national qu'est la Renaissance. Federigo Enriques et Giorgio de Santillana ont en effet clairement démontré que ce grand courant d'idées ne se répandra à travers l'Europe, et ne prendra donc sa signification universelle, qu'après avoir provoqué dans la patrie du Vinci l'ascèse totale d'une civilisation nouvelle qui formera le monde moderne. Cette révolution a fondé son essence sur une disposition particulière de l'âme italienne, dont le contact avec l'Antiquité —qu'elle connût par les notions et sous la forme exotique que lui transmirent les Arabes— lui fit saisir

le mouvement originaire d'une culture qu'elle absorba avec aisance puisqu'elle en était la seule héritière légitime. Sous l'égide des libertés communales, l'élan monta en majeure partie du peuple et c'est de ce peuple que sortirent artistes, savants, écrivains et philosophes. Le sentiment esthétique s'extériorisa largement dans toutes les circonstances de la vie quotidienne. Il créa la beauté en allant de l'esprit à la réalité pratique, du temple au plus modeste utensile domestique.

C'est ainsi que l'appui donné au progrès par les imposantes flottes marchandes de Gênes et de Venise et l'intense fécondité technique qui marqua de son empreinte caractéristique l' activité commerciale des cités italiennes, représentent deux des éléments essentiels sans lesquels le souffle vital de la science antique n'aurait jamais pu renaître. Durant plus de trois siècles, les villes d'Italie garantirent l'épanouissement incontesté de leurs arts, de leurs métiers et de leurs industries. Les manifestations de toute nature qui en découlèrent affinèrent considérablement le sens artistique, le goût esthétique, l'esprit d'observation de la nation entière. Les découvertes techniques imprimèrent en outre une forte impulsion à l'art des monuments et à l'art appliqué. Le XIIIe siècle retrouva et rénova l'art de travailler le verre, tandis qu'il introduisit celui de fondre les métaux, dont les portes en bronze du Dôme de Pise —réalisées par Bonanno en 1180— et la frappe des florins d'or à Florence —qui eut lieu en 1252— en sont les premières expressions.

Mais au XVe siècle, au temps de Léonard de Vinci, dans la Péninsule italienne la machine n'était pas ce qu'elle est aujourd'hui. Elle constituait vraisemblablement une propriété nationale. On enveloppait de mystère les inventions, car la possession exclusive d'une machine ou d'un brevet suffisait à former la prospérité d'un Etat. Des guerres étaient même entreprises pour disposer des secrets d'un métier, d'un commerce, d'une industrie. Hermann Gröthe rapporte que bien avant cette époque, des luttes avaient déjà été engagées pour s'emparer de certains procédés précieux de fabrication. Roger II, grand comte, puis roi des Deux-Siciles de 1101 à 1154, passa en Grèce pour y conquérir et rapporter à Palerme l'industrie de la soie.

Pendant cent vingt ans, la ville de Bologne dut à la filature et à une machine à tisser sa richesse et sa puissance; mais le mystère fut divulgué et, d'après les chroniques, trente mille ouvriers furent sans travail. Florence, célèbre par ses banques, ses comptoirs de changeurs, ses systèmes d'apprêt des étoffes, ses tissus, ses taffetas légers et ses brocarts, acquit une partie de son prestige par son industrie des textiles.

Comme les tisserands de Florence, les verriers de Venise étaient les artisans, les ouvriers de la République, dont les installations étaient aussi anciennes que la ville. Et, dès lors, la Seigneurie s'empressa de surveiller jalousement le monopole de l'avantageuse industrie. Elle punit des peines les plus sévères l'exportation des matières premières composant le verre, des recettes pour le fabriquer, et même des morceaux de verre cassé qui auraient pu mettre les ouvriers des autres nations sur la trace des procédés de fabrication. En 1289, par crainte des incendies, mais en fait surtout pour exercer sur eux un contrôle plus serré, le Gouvernement ordonna aux verriers d'aller s'établir dans la petite île de Murano. Longtemps après, en 1547, le Conseil des Dix défendait encore à tout artisan verrier, sous peine de voir emprisonner ses proches, de porter son art en pays étranger. Cette protection sévère assura d'ailleurs à Venise l'essor de la verrerie. De tout temps, ce produit princier de l'artisanat, dont Murano fut du XIIIe au XVe siècle le centre exclusif de fabrication, resta donc protégé. Les efforts de Colbert pour en faire trahir le secret et pour attirer en France, durant le XVIIIe siècle, les ouvriers vénitiens, en sont une des preuves éloquentes. Cet état de choses explique en partie les raisons pour lesquelles Léonard de Vinci, qui composa plus de cent vingt livres, employa pour les rédiger une écriture hermétique, parfois abrégée, afin que personne ne pusse s'emparer de ses inventions de son vivant.

Grâce au circuit qu'il accomplit autour de la science antique, Léonard de Vinci imprégna son esprit des valeurs acquises et dressa comme une nomenclature des principes certains arrêtés par l'intelligence humaine. Chez Archytas de Tarente, par exemple, il trouva la création de la poulie et du moulinet

appellé crécelle. Le Macédonien Aristote (384-322 av. J. C.) lui découvrit déjà des applications mécaniques telles que la balance, le maillet, les moufles, la manivelle, le cylindre, la fronde et des machines simples. Archimède de Syracuse, l'illustre élève d'Euclide, le captiva par ses machines et ses mécanismes: levier, théorie initiale de l'hydrostatique, poulie mobile, roues dentées, sphère mouvante, vis sans fin, moufles perfectionnés, vis creuse, écrous, roue cylindrique sans fin. Peut-être même étudia-t-il l'invention qu'on lui attribue de ces miroirs ardents qui, réfléchissant et concentrant la lumière solaire, offraient le moyen d'incendier à distance les bateaux ennemis.

Bien qu'aucun de ses traités originaux n'ait pu lui parvenir, Léonard de Vinci dut s'intéresser vivement à l'oeuvre de Ctésibios d'Alexandrie (170-117 av. J.C.) et tout particulièrement à ses orgues hydrauliques, à son espèce de fusil à vent, à ses divers types de pompes aspirantes et foulantes (entre autres, à sa ctésibique: machine à deux pistons construite sur le même principe que la pompe à incendie), à ses robinets de fermeture, à ses valves coniques, à ses presses à estamper, à ses applications de l'air comprimé —puisque l'on fait remonter à Ctésibius la découverte de l'élasticité de l'air, dont il se serait servi comme force motrice—, à ses clepsydres (machines hydrauliques et sortes d'horloges à eau, dont le mouvement était dû à l'écoulement d'un liquide et dont Vitruve attribue l'invention à Ctésibios, alors qu'on sait aujourd'hui qu'elles étaient déjà en usage avant lui en Chine et en Egypte).

Le continuateur de Ctésibios, Héron d'Alexandrie (IIe siècle ap. J.C.) —mathématicien et mécanicien grec qui perfectionna et complèta toutes ses recherches et auquel on doit la fontaine dite de Héron l'Ancien— dut également retenir fortement le Vinci avec ses automates, ses roues à dents obliques, ses siphons, ses valves à charnière, ses roues dentées, ses différents appareils, ses pompes à feu, ses roues à vent, ses machines à levier, ses mécanismes à vapeur, parmi lesquels on compte son fameux éolipyle: instrument se composant d'une sphère métallique creuse, mobile autour d'un de ses diamètres

horizontaux et contenant de l'eau qui, étant chauffée, produit un jet continu de vapeur par un bec recourbé adapté à un point de sa surface. Léonard observa en effet que la force qui détermine le mouvement de l'éolipyle est du même ordre que celle que les physiciens cherchent à mettre en évidence dans le tourniquet hydraulique. C'est une force de réaction. Plusieurs philosophes ont tenté d'expliquer la nature et l'origine des vents par la comparaison avec les éolipyles. De nos jours, l'éolipyle est un appareil dont se servent les fumistes pour établir un courant et une lampe à alcool, à pétrole ou à essence qu'utilisent les plombiers.

Poursuivre infatigablement, amplifier l'oeuvre commencée par les Anciens, scruter beaucoup plus loin qu'ils ne le firent, telle est la lourde tâche que Léonard de Vinci a assumée. Il y ajoutera ses propres découvertes et ses innombrables inventions; il établira les principes et les lois de chacun de leurs éléments primordiaux, en les enfermant, en les synthétisant dans des formules mathématiques inaliénables, inexorables.

De ses devanciers et de ses contemporains, Léonard a étudié et apprécié divers codes, dans lesquels les Italiens Giovanni Fontana (1395-1455), Roberto Valturio (1413-1483), Jacopo Mariano dit le Tàccola (seconde moitié du XVe siècle) et Francesco di Giorgio Martini (1439-1502) traitent de la construction des machines. Il est par contre impossible qu'aient pu parvenir jusqu'à lui les manuscrits des ingénieurs et savants allemands Ulrich Bessnitzer, Augustinus Dachsberg, Konrad Gürtler, Haasenwein, Hans Hartlieb, Hans Hentz, Konrad Kauder, Ludwig von Eybe zum Hartenstein, Konrad Kyeser, Martin Mercz, Philipp Mönch, Hans Schulten, Philipp von Seldenek. Mais qu'il les connût ou qu'il les ignorât, Léonard de Vinci distança considérablement tous ces auteurs sans aucune exception.

En mécanique appliquée, en mécanique pratique, il s'élève indiscutablement au-dessus de ses prédécesseurs et de ses continuateurs. Dans ses dessins de machines, on ne trouve jamais la pesanteur, les complications inutiles et les imperfections qu'accusent les projets de certains d'entre eux. Il domine

de toute sa grandeur aussi bien Végèce, Jérôme Cardan, Jacques Besson, Salomon de Caus, Agostino Ramelli, Fausto Zonca que Bonaiuto Lorini.

Gabriel Séailles a dit que l'esprit de Léonard de Vinci répugne à toute laideur. En effet, l'illustre artiste toscan affirme que dans la machine aussi bien que chez l'être vivant la beauté n'est pas indifférente. La grâce ayant pour lui son équivalent mécanique, il réalise scientifiquement l'élégance et la suprême harmonie. Il conçoit la beauté utilitaire, le beau devant être utile et l'utile devant être beau. Possédant à la fois les dons d'un artiste et d'un savant, d'un architecte et d'un observateur, d'un constructeur et d'un poète, d'un théoricien et d'un praticien, il se différencie totalement des créateurs de son temps. Au XVe siècle, il est l'homme le plus nouveau que l'on puisse imaginer. Il préconise dans son sens le plus absolu, l'avènement d'une civilisation machiniste, l'explotation rationelle des ressources d'énergie fournies par des appareils, le rendement maximum des instruments mécaniques. A ce propos, c'est à partir de Léonard que l'idée de rendement prend ce caractère économique propre à la mécanique actuelle.

La mise au jour des manuscrits du Vinci, précurseur de la mécanique technique, recule les origines de la science moderne de plus d'un siècle. C'est donc bien à tort que Reuleaux, dans son *Introduction à la Cinématique,* nomme le savant et mécanicien allemand Jacques Leupold (1674-1727), dont on a —sous le titre *Theatrum machinarum*— sept traités sur les machines et les sciences mécaniques, comme le premier auteur qui ait décomposé les machines en leurs éléments et examiné ces mécanismes en eux-mêmes. Léonard de Vinci, qui renvoie fréquemment à ses *elementi machinali,* a non seulement —avant Leupold— approfondi séparément chaque cas particulier, mais il a également étudié d'une façon extrêmement détaillée couples cinématiques et organismes mécaniques. Ses dessins nous permettent d'autre part de suivre très exactement la marche intime de sa pensée et de vérifier que l'origine du tracé des plans de machines, de l'épure technique représentant des élé-

ments cinématiques, date de Léonard de Vinci. C'est lui qui a créé l'art de l'ingénieur comme nous l'entendons aujourd'hui. Il suffit de comparer ses projets à ceux des dessinateurs qui l'ont précédé, pour être frappés par l'étendue de ses connaissances, par le contraste fondamental que ses conceptions opposent et par l'exactitude toute nouvelle de ses réalisations. A chaque pièce il donne l'empreinte puissante de son tempérament et de sa personnalité. Il confie chacune de ses idées à la grandeur expressive et agressive de ses méthodes d'élaboration. Il n'est pas un projet qui n'accueille le prestige de sa main gauche miraculeuse. Toutes ses inventions sont pures, car l'exposé graphique illumine parfaitement la vision d'ensemble et les détails de ses machines.

Il n'existe pas, avant Léonard de Vinci, d'exemples de techniciens ou de constructeurs qui se soient attachés à créer et à dessiner des machines en les décomposant dans leurs organes élémentaires, en les analysant dans leurs détails, en les calculant par rapport aux divers genres de résistances, en les considérant dans leurs fonctions réelles. Dans la composition d'une machine, Léonard conçoit d'abord l'idée générale (qu'il esquisse en quelques traits rapides), puis il passe aux détails pour examiner, l'un après l'autre, les différents éléments de l'organisme. Ensuite, il groupe autour du croquis les rouages et toutes les parties du mécanisme, dont il varie l'agencement et la disposition et qui'il accompagne de notes et de calculs. Ce n'est qu'alors qu'il arrête le projet de l'appareil par des lignes précises, dans sa forme définitive, et qu'il présente machine et éléments mécaniques en perspective, parfois relevés de sépia.

Pour faciliter la compréhension et la lecture de l'épure, il dessine souvent des détails en section, donne des vues en plan, en coupe verticale, ou adopte le système de la transposition des plans, qui offre l'avantage de mettre bien en évidence la représentation du mécanisme et de l'ensemble général.

Par un fragment de lettre adressée à Julien de Médicis, qu'on peut lire dans le *Codex Atlanticus,* nous apprenons que Léonard de Vinci montait encore des modèles en bois (comme les architectes) avant que d'entreprendre la réalisation défini-

tive d'une machine dont la construction était prévue en fer. Nous tenons donc la preuve qu'en ingénieur consommé Léonard traduisait ses avant-projets en plans d'exécution et en tracés de détails d'atelier dûment cotés, qu'il accompagnait d'ailleurs —dans certains cas— d'une maquette en réduction ou d'une reproduction grandeur nature de l'ensemble ou des organismes principaux de la machine. Ces pièces étaient ensuite remises aux artisans et aux ouvriers travaillant sous sa direction, car, par une annotation manuscrite de sa main du premier novembre 1493, nous savons que le Vinci avait des collaborateurs. A Milan, le 10 juillet, Maestro Tomaso Masini, dit Zoroastre, artisan spécialisé dans les ouvrages en bois, lui fabriqua —écrit-il— six lampes; alors qu'un certain Jules, mécanicien germanique s'occupant de travaux de précision, lui construisit des ressorts le 15 juillet, un martinet d'usine ou un cric du 18 juillet au 15 août et deux serrures qui furent terminées le 20 août. A Rome, son atelier et son laboratoire du Belvédère, composés de plusieurs locaux ou sections, étaient fréquentés par des élèves qui, pour son compte et d'après ses instructions, étudiaient surtout des problèmes de mathématique, d'optique et de mécanique, et par des artisans allemands qualifiés travaillant avec lui à la réalisation de ses mécanismes et de ses machines.

Les dessins et les détails des deux établis à traction pour tréfiler et profiler des barres et des tiges métalliques et des dogues de canons, qui figurent dans le *Codex Atlanticus,* nous offrent un échantillon caractéristique du mode personnel que le Vinci avait introduit pour dresser des plans d'ingénieur-mécanicien. Ces figures nous permettent également de nous représenter comment il concevait ses projets, sa *scienza strumentale over machinale,* qu'il a définie *nobilissima e sopra tutte l'altre utilissima. La science de la mécanique,* a-t-il écrit dans le "*Manuscrit Mz*", *est de toutes la plus noble et la plus utile, car c'est selon ses lois que tous les corps animés qui ont le mouvement font toutes leurs opérations; ces mouvements naissent du centre de leur gravité qui est placé au milieu, en dehors de poids inégaux, à quoi s'ajoutent les muscles, et aussi leviers et contre-leviers.*

De ces établis à tréfiler, Léonard de Vinci a en effet dessiné les principaux éléments. Au moyen de figures précises, il a montré que ces machines sont actionnées par une roue hydraulique horizontale qui, au moyen d'une vis sans fin engrenant deux roues dentées, met en mouvement et la roue du cylindre de pression et la roue de traction de la barre (système qu'il appliquera également à divers types de laminoirs pour lames et bandes de plomb ou de cuivre). Il a présenté la chaîne des rouages flanqués de leurs calculs, le cylindre ou rouleau profilé ou *ruota circundata dalla elica composta,* les gabarits de la filière, le détail de la vis sans fin; alors que le projet d'ensemble est complété par une ample notice descriptive donnant les indications nécessaires relatives au travail, aux opérations successives à accomplir, à la construction de toutes les pièces du mécanisme, à la détermination de la puissance requise pour la production du mouvement, au fonctionnement de la machine. Puis il renvoie au traité *delli elementi machinali* qu'il avait composé, auquel il fait souvent allusion et qu'il rappelle constamment dans ses codes et ses manuscrits. Ce *Traité des éléments des machines,* de Léonard de Vinci, qui devait être comme le barème de ses inventions, n'est malheureusement pas parvenu jusqu'à nous. Avec ses calculs fondamentaux, il a disparu dans la tourmente des vicissitudes humaines. Nous ne possédons que la numération de ses chapitres et de ses théorèmes. Malgré cette perte irréparable, il nous reste cependant la certitude que Léonard a non seulement exécuté une grande partie des machines qu'il a dessinées, mais qu'il les fit fonctionner et les utilisa.

Bien que l'on en ait peu parlé, l'influence de Léonard de Vinci sur l'oeuvre entière des plus grands ingénieurs-mécaniciens du XVIe et du XVIIe siècles fut énorme. En effet, comme on a pu observer récemment, les *sopate* de pompes, les *currolotti* et les roues excentriques dans les *sopracoperte* ou recouvrements capsulaires des pompes de Ramelli, ne sont —respectivement— que les valves coniques dessinées dans les manuscrits de l'Institut de France, les *curi* ou *bilichi* (rouleaux) et les *mantici senza corame* du Vinci. De même, l'éventoir à fumée et la roue

à cric de Jérôme Cardan; les chariots coulissants et les tours de Jacques Besson; les ouvreaux, les souffleries, les jeux de manivelles, les fuseaux, les presses à estamper, les brimbales pour trombes hydrauliques et les machines-outils de Fausto Zonca; la ceinture de sauvetage, la roue pour le tordage des cordes et les ponts à charpente parabolique du Dalmate Fausto Veranzio de Sébénico (1551-1617), ne sont que des dérivations plus ou moins directes d'applications mécaniques léonardesques. Le Vinci reste infiniment supérieur à tous les chercheurs qui ont reçu en héritage la rechesse de ses idées, car, avant et mieux qu'aucun d'entre eux, il a pénétré l'essence même de l'esprit de la machine.

Le nombre et la varieté des machines et des véhicules sortis du cerveau de Léonard sont si grands, qu'on a peine à le croire. S'il avait pu se garantir des usurpateurs, en s'assurant les brevets de ses inventions, la nation italienne entière en aurait vécu largement. Ses divers codes nous montrent qu'il s'occupa inlassablement et toujours des problèmes du machinisme: aussi bien dans la période de jeunesse agissante et de maturité du contrat milanais-sforzesque de 1483-1499, qu'au temps de sa vie errante (1500-1516). Jusqu'à la fin et dans toutes les branches de la technique, il inventa et dessina des machines, dont plusieurs furent mises en service longtemps aprés sa mort. Son oeuvre d'ingénieur représente, indubitablement, l'acte décisif de la genèse des appareils mécaniques modernes. Celui qui avait conçu, par l'entremise du vol instrumental humain, la conquête du troisième élément, devait nécessairement s'intéresser au plus haut degré au thème des transports terrestres et de l'autolocomotion, où il allait pouvoir apliquer —pour réduire la résistance des forces passives— les lois du frottement et de la la traction dont il était le découvreur. Dans la construction des véhicules et des machines, il sera ainsi le premier à prendre en considération l'importance de l'attrition et à en observer l'influence sur leurs mécanismes. Avec Léonard de Vinci, le principe de force appliquée à la mécanique atteint enfin toute son envergure.

Comme la nature, a écrit Séailles, varie les organes de la

locomotion sur un même type, l'ingénieur dispose de certains organes primitifs qu'il modifie pour en diversifier les effets. Léonard étudie donc les moyens généraux de transmettre le mouvement, d'en changer la direction, d'en produire l'intermittence, en tenant compte du poids et de l'attrition qui limitent le rendement des engins mécaniques. Pour cela, dans le domaine de la cinématique et de la traction, il met au point des roues d'engrenage, leur mode d'emboîtement, la forme de leurs dents. Il construit des pivots, des gonds, des roues entourées d'hélices composées, des dentures pour roues à axes obliques, des couronnes à redents trapézoïdaux, des dentures pour roues coniques, des jeux divers de manivelles, des conduites rectilignes et cylindriques, de nombreuses transmissions à corde, courroie, câble ou chaîne, des assemblages de mouvements à rouleaux. Rien ne devant lui échapper, il s'entoure, par conséquent, des données les plus sûres pour ses constructions mécaniques.

Léonard de Vinci ayant poussé fort loin sa maîtrise dans l'art de bâtir les machines, il attribuait forcément une grande importance au choix des matériaux. Ses écrits mentionnent le fer, l'étain, le cuivre, le bronze, le bois, le cuir, le plomb, le verre, le laiton, l'airain et l'acier, comme ils indiquent les moyens d'exécuter les meilleures soudures. S'aidant de ses découvertes sur le frottement glissant et l'attrition roulante, et de l'organisation de leurs lois, afin de diminuer l'usure des pivots et des roues et la résistance à la traction, il créa des véhicules pouvant être manoeuvrés facilement, en plaçant leur axe à l'intersection des roues et en exploitant un système de refroidissement de la chaleur que les pôles développent par frottement.

En considérant la machine comme productrice d'énergie qu'elle transforme, Léonard de Vinci a été le premier à introduire dans tous ses mécanismes la notion liminaire du rendement absolu, propre à la science moderne. Avec ses *elementi machinali,* il avait tout prévu pour tirer des machines leur énergie motrice entière.

ALBERTO SARTORIS