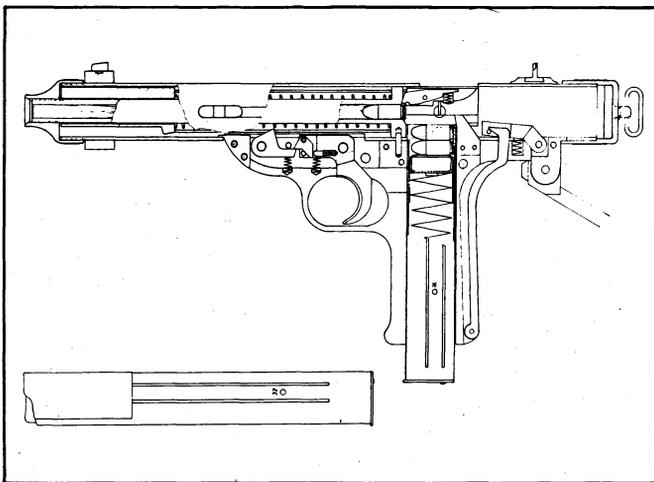


# Yves Deforge.

## Création et déterminisme

---



### *LA MECANIQUE DU GOUT ET LE GOUT DE LA MECANIQUE*

La création d'objets techniques, considérée comme une activité réfléchie qui va de la conception à la réalisation est gouvernée, entre autres, par la résistance des matériaux, au sens le plus trivial de l'expression. Toute transgression (par ignorance ou vanité) des limites qu'elle fixe est sanctionnée, immédiatement ou à terme, par la destruction de l'objet. Icare perd ses ailes, la cathédrale s'écroule sur l'architecte, le canon explose au nez de l'artilleur, le navire se coupe en deux et coule dans l'avant-port.

En l'absence de règles de construction plus générales et plus certaines, la première précaution a été de s'en tenir à la reproduction de modèles éprouvés donnant des garanties de solidité et satisfaisants du point de vue de l'esthétique. La définition de ces modèles par des proportions a permis de créer des objets techniques à partir d'une seule donnée de base : le module, avec tous les aléas que pouvait faire naître (en particulier dans la construction navale) l'application de règles aussi rudimentaires.

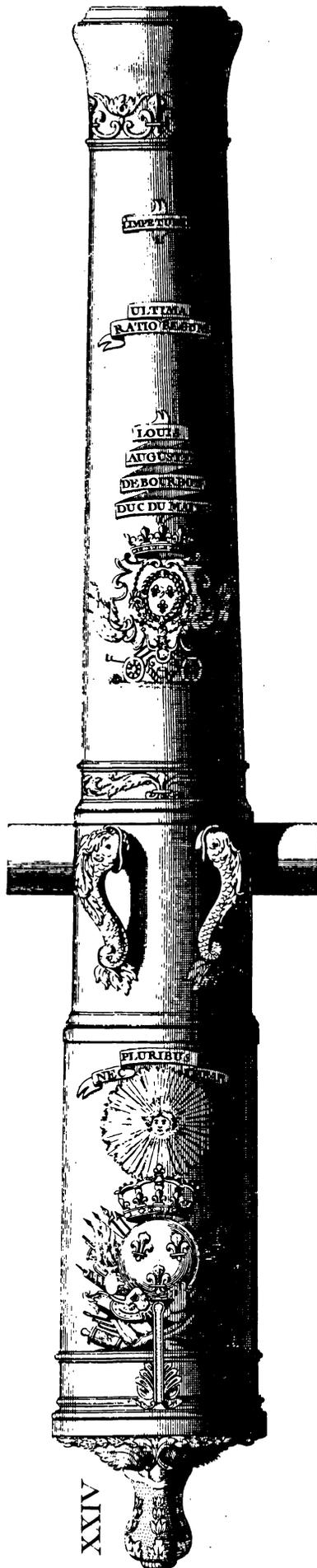
Cette façon de concevoir et de construire est illustrée ici par des exemples relatifs aux constructions en pierre, en bronze et en bois valables jusqu'au début du XIX<sup>e</sup> siècle\*.

Puis vient la période des calculs avec la mécanique appliquée et singulièrement la Résistance des Matériaux qui permet à l'ingénieur-concepteur de créer des objets techniques (je pense surtout aux machines) sans avoir besoin de se référer à des précédents. Les modèles mis à sa disposition prenant de mieux en mieux en compte les différentes relations prévisibles de l'objet :

- . avec lui-même : relations internes; par exemple : frottements et guidages;
- . avec le milieu : relations physiques; par exemple : corrosion;
- . avec ses congénères : relations de machine à machine; par exemple : transmission de force et de mouvement;
- . avec l'utilisateur : relations ergonomiques; par exemple : organisation du poste de travail.

L'ingénieur-concepteur ayant pour tâche de permettre la construction d'objets répondant à des spé-

▲ Pistolet mitrailleur.  
◀ Fonderie en caractères.  
Diderot Encyclopédie.



Fonderie de canons. Diderot Encyclopédie.

cifications fonctionnelles, il y parvient en dessinant l'objet, c'est-à-dire en intégrant dans un super-modèle graphique les données des différents modèles partiels.

Cette façon de concevoir et de construire est illustrée par une rapide présentation de la naissance, au XIX<sup>e</sup> siècle, de la mécanique appliquée\*.

Enfin, de nos jours, la puissance de l'ordinateur favorise la construction de modèles qui permettent de concevoir des objets techniques déductivement. Ce que j'illustrerai par la présentation de deux cas typiques dans lesquels l'intégration «manuelle» que l'ingénieur-concepteur faisait naguère sur la planche à dessin est assumée par des programmes d'ordinateur.

De cela se dégage une constante épistémologique. Les premières constructions réussies jouant le rôle de modèles matériels sont d'abord copiées, puis, par une induction faible, on dégage quelques règles dimensionnelles (proportions) et technologiques (choix des matériaux, disposition des parties). Quand ces modèles inductifs sont susceptibles d'une codification graphique, la création dessinée se substitue partiellement à la création tridimensionnelle directe. Le processus renouvelé plusieurs fois donne des modèles forts ou lois générales. Le même travail, fait à propos de l'activité de l'ingénieur-concepteur quand il conçoit et construit un objet technique, permet de dégager des règles de composition des parties ou de relation entre parties modélisées de ce qui donne des super-modèles d'objets complets dont le caractère fonctionnel fait qu'ils se ressemblent tous dans leur conception et dans leur construction, quelle qu'en soit l'origine.

La normalisation, en découpant dans le continuum des valeurs données par les modèles des paliers et des zones privilégiées contribue encore à la réduction des différences.

La raison d'être profonde de la normalisation est à rapporter à la psychologie de l'homme avec les visées d'unité, d'ordre et de perfection\*.

Tant qu'il y a construction «manuelle» on trouve encore des variantes dans les solutions adoptées pour un même problème défini fonctionnellement. Elles résultent de points de départ différents, d'habitudes et même de tics de l'ingénieur-concepteur qui peut, profitant de l'espace de liberté qui reste entre les parties modélisées, introduire une note d'esthétique personnelle ou propre à la firme pour laquelle il travaille ou à l'époque. Mais quand les contraintes grignotent la marge de liberté jusqu'à enfermer l'objet dans un espace qui est celui de la nécessité, on arrive à un déterminisme tel que les variations par rapport au type fonctionnel ne peuvent plus être que superficielles. Il y a aboutissement d'une lignée par adaptation parfaite à la fonction.

Les objets techniques ainsi conçus et construits sont censés répondre à une esthétique de la nécessité, ce que je rapporterai\* au problème réel que posent les rassemblements de machines dans les ateliers de production qui ne sont souvent que des juxtapositions d'objets disparates par la fonction, les dimensions, la couleur, l'âge et même le style, car il y a un style des machines.

Est-ce peu important du moment que l'on produit? Il y a quand même des hommes qui passent quarante heures par semaine dans ce milieu. Est-ce un

mauvais moment à passer? Va-t-on vers un déterminisme parfait des formes qui fera que toutes les machines du même type, ayant la même fonction, se ressembleront? Ces grands ensembles monotones dont on a déjà des exemples avec les batteries de machines ne sont pas des plus esthétiques et cela ne résout pas le problème des ensembles plurifonctionnels qu'impose l'organisation de la production.

Dès lors, se pose la question de savoir à qui appartient la responsabilité de concevoir les ensembles techniquement, organisationnellement, mais aussi esthétiquement? Jadis le concepteur formé dès les «Ecoles de dessin» avait une double formation d'artiste et d'ingénieur. Aujourd'hui ce n'est plus le cas des ingénieurs-concepteurs formés à l'utilisation de modèles déductifs qui n'intègrent ni l'esthétique des ensembles de machines, ni l'irrationnel des relations hommes-machines. Est-ce un manque dans leur formation ou est-ce trop leur demander et faut-il penser à la formation d'un nouveau profil d'ingénieur: l'ingénieur-concepteur d'ensembles? Question qui dépasse mon sujet mais qui peut être au centre d'un débat sur le «design industriel».

## LES CANONS DE L'ART ET L'ART DES CANONS

### *L'architecture des bâtiments*

Pour Viollet-Leduc<sup>1</sup> les proportions sont des rapports relatifs entre les différentes parties d'un édifice; rapports qui donnent à cet édifice l'« apparence » de la stabilité et l'harmonie des formes.

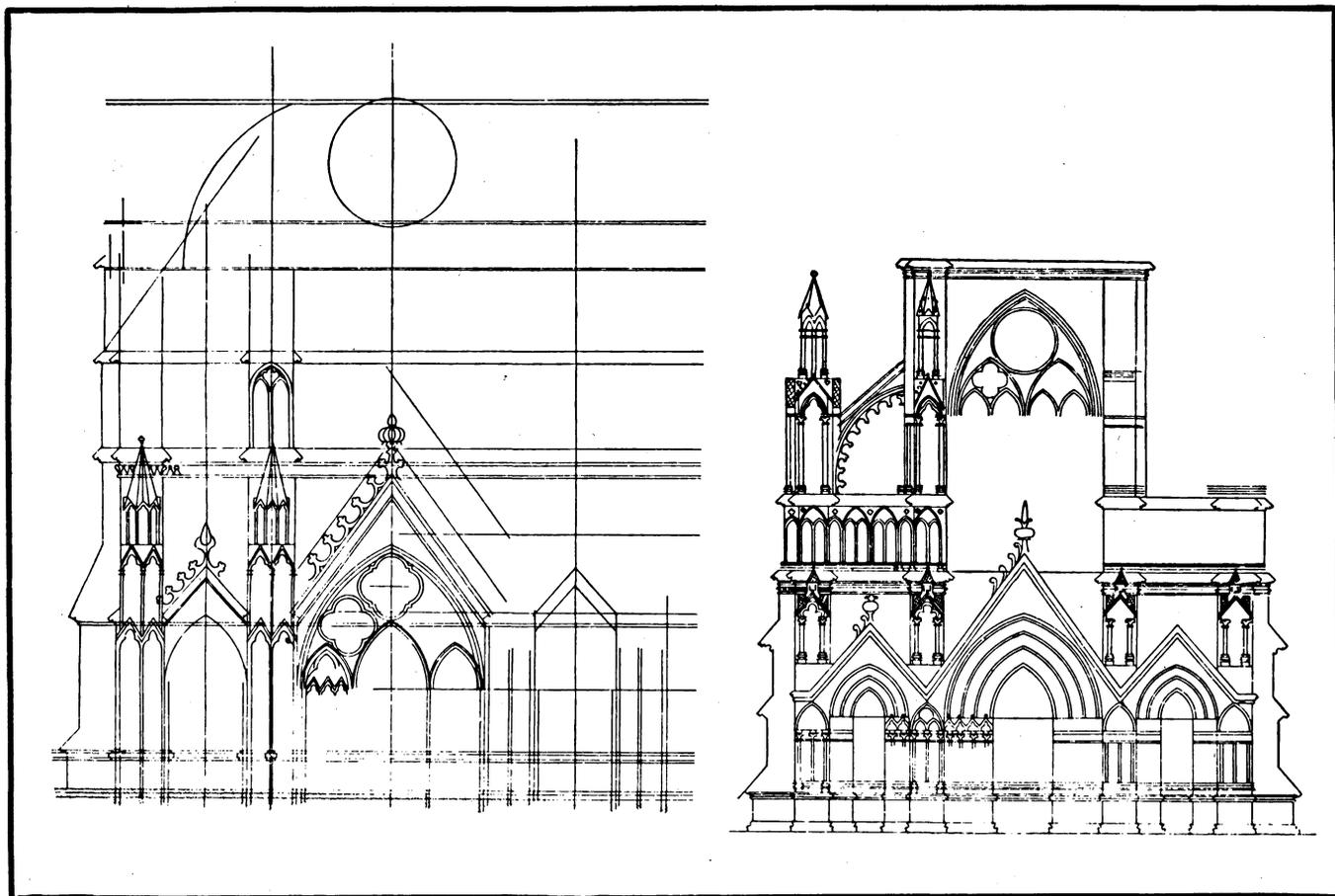
On sait que s'est développée autour de ces proportions toute une mythologie avec le triangle égyptien restituant approximativement le nombre d'or, l'eurythmie des Grecs, les intervalles musicaux en architecture cistercienne, etc.

La raison d'être des proportions me semble reposer sur les deux considérations suivantes :

- A défaut de règles technologiques de construction, les proportions donnaient des constructions présentant quelque assurance quant à la stabilité et la résistance et, de surcroît, des architectures ayant un style reproductible.

- A défaut d'un étalon de mesure bien établi, il fallait se donner au début de la construction une dimension de référence arbitraire, d'où le module.

Elévations partielles de la façade, projets, cathédrale de Reims, (1250), d'après Du Colombier, les chantiers, 2<sup>e</sup> éd.



Ces deux considérations éclairent les problèmes du choix des formes et des dimensions dans la construction des édifices.

Aurès<sup>2</sup>, étudiant les sources des modules chez Vitruve, en voit trois.

La première serait tout simplement la longueur d'une pierre, celle du linteau reposant sur les deux colonnes centrales d'un édifice à péristyle; autrement l'écartement d'axe en axe de deux colonnes. Plus tard, le style ayant changé, on prendra, à défaut du linteau, une dimension caractéristique : la largeur de la nef pour les cathédrales par exemple, avec des subdivisions pour les autres dimensions. Les proportions entre largeur de la nef et hauteur passent de 2,56 (Cluny, fin du XI<sup>e</sup> siècle) à 3,5 (Beauvais, 1247). On est alors à l'extrême limite du possible, mécaniquement parlant, et, dans la plupart des cas, ce sont les arcs-boutants qui sauveront la construction.

La seconde serait le rayon des colonnes. C'est le module classique qui est encore préconisé de nos jours. «Pour construire un ordre de hauteur donnée, il faut diviser cette hauteur en dix-neuf parties égales, en donner quatre au piédestal, douze à la colonne et trois à l'entablement. Ce sont les proportions que Vignole a marquées, d'après les observations qu'il a faites scrupuleusement dans les plus beaux édifices antiques<sup>3</sup>.»

La troisième repose sur le modèle humain. L'idée qu'une filiation puisse exister entre l'homme, ses créations et Dieu par le truchement des proportions du corps humain a longtemps agité les esprits. Dürer, véritablement obsédé par le problème des proportions, s'adresse d'abord aux peintres dans son «traité des proportions» (1528), mais aussi aux orfèvres, aux sculpteurs, aux tailleurs de pierre, aux menuisiers et à tous ceux qui se servent de la mesure.

Cette démarche, débarrassée de ce qu'elle a de mystique, n'est pas éloignée de notre attitude fonctionnelle quand les constructions sont faites pour l'homme (Modulor de Le Corbusier). Le module sera donc la dimensions de base, toise, pied, pouce pour le modèle humain; linteau, rayon de la colonne, longueur de la virga, longueur du pendule ou dix-millionième partie du quart de méridien terrestre pour les références non anthropomorphiques\*.

A partir des propositions et du module, il était possible de dessiner plan et élévation du bâtiment en inscrivant les formes dans des constructions graphiques simples, faciles à reporter au naturel et à contrôler sur le terrain.

### *Le bronze : cloches et canons*

L'art campanaire, avec les formes des cloches, illustre bien le rôle des proportions et du module tels qu'ils viennent d'être présentés. Il faut savoir, à propos des cloches, que la tonalité est essentiellement fonction de la masse et accessoirement du profil. Une cloche de 1800 et de 1,417 de diamètre à la base, au profil «normal», donne comme son fondamental un do dièse (ou ré bémol). Très tôt une recherche tâtonnante semble avoir fixé les proportions des diverses parties d'une

cloche pour obtenir une sonorité convenable. Dans ces conditions, il devenait possible de concevoir un modèle dont toutes les valeurs découleraient d'une seule. La première échelle de proportions que nous ayons est celle de G. Bonoccorso (1450), le module et l'épaisseur du métal à l'endroit où le battant frappe la cloche.

Ce modèle s'est perpétué à travers les siècles, sans changement. Ceci est explicable par le fait que les cloches ainsi construites sont probablement très proches du modèle théorique\*. On voit que, dans ce cas, l'esthétique est celle du fonctionnel. Les variantes ne pouvant jouer que sur des détails décoratifs.

Dans la fabrication des canons en bronze, domaine où les effets d'une mauvaise construction étaient particulièrement désagréables, le dimensionnement ne pouvait que tenir rigoureusement compte de l'expérience. Jusqu'au début du XIX<sup>e</sup> siècle, c'est le diamètre du boulet et le calibre de la pièce, divisés en «parties», qui donnent les valeurs relatives de toutes les autres formes des pièces d'artillerie. Etant entendu que pour des raisons évidentes d'interchangeabilité le diamètre d'un boulet-type devait servir de référence à tous les autres.

### *Le bois : la construction navale*

Si les modèles de la marine en bois, jusqu'au début du XIX<sup>e</sup> siècle, paraissent nombreux, ils répondent tous à quelques règles de proportions nées de l'expérience : rapport entre la surface de la voilure et celle de la maîtresse section transversale, rapport entre la hauteur et la largeur du barrot, etc. Pour les navires armés, le point de départ était le nombre de canons. Les dimensions des affûts étant fixées par des tables et les espacements entre affûts par les servitudes, la longueur utile des batteries pouvait être calculée et, dès lors, tout le reste du navire par le jeu des proportions, s'en trouvait déterminé.

Les tracés étaient eux-mêmes des tracés proportionnels simples, souvent en trois temps, au compas, ce qui faisait dire à quelques malveillants que pour être charpentier de marine il suffisait de savoir compter jusqu'à trois.

Dans son «Ordonnance aux Intendants des Arsenaux» (1679), Colbert écrit : «L'intention du Roy est qu'il soit fait, en chaque arsenal, des modèles en petit d'un des vaisseaux de chacun des cinq rangs dans lesquels les mesures seront réduites au 1/12 de toutes leurs proportions et mesures; et il faudra que ces modèles soient faits avec autant d'exactitude et justesse qu'ils servent perpétuellement pour les mesures et proportions à tous les vaisseaux qui seront construits dans l'avenir; il sera nécessaire aussi de faire de pareils modèles pour les frégates et pour tous les autres bastiments dont on se sert...»

De toute évidence Colbert voulait, en faisant comparer les meilleurs tracés des constructeurs français et étrangers, obtenir des modèles éprouvés et amorcer un processus inductif dont P. Hoste utilisera les résultats dans sa «théorie de la construction des vaisseaux» (1697)<sup>4</sup>.



## LA RECHERCHE DES LIMITES

### Prémices

Le comportement des matériaux a donné lieu à réflexion et même à expérimentation dès l'Antiquité. Dans des « Problèmes de mécanique » d'Aristote on trouve des questions sur le comportement des poutres en bois. Questions encore posées au Moyen Âge. L'esprit toujours en éveil de Léonard de Vinci le fit s'intéresser à la résistance des murs, des voûtes, des piliers et même du fil de fer. Il fit, ou recommanda, des expériences d'où puissent se dégager des règles.

Galilée ignorant les recherches de Léonard de Vinci estime, dans ses « Discours et démonstrations mathématiques au sujet de deux nouvelles sciences » qu'il est le premier à s'occuper de ces recherches tout à fait spéciales. Malgré cela, alors que la physique théorique progresse, ce qu'on peut appeler la technologie de construction reste empirique. On ne maîtrisera que bien plus tard, au XVII<sup>e</sup> siècle, la notion de force et de composition des forces; plus tard encore, la résistance des matériaux qui ne débouchera sur des applications pratiques qu'au cours de la première moitié du XIX<sup>e</sup> siècle.

### Formalisation

Dans un ouvrage publié en 1845 mais conçu très antérieurement à cette date, V. Leblanc introduit quelques considérations sur les dimensions que l'expérience conduit à donner à certaines pièces de machines (boulons, vis, rivets, clavettes) ou parties de machines. Ses tableaux de dimensions sont caractéristiques d'une approche inductive.

Malgré son titre la « Théorie de la mécanique usuelle » de J.-A. Brognis (1821)<sup>5</sup> participe du même esprit. Le chapitre deuxième, consacré à la résistance des matériaux, commence ainsi: « de nombreux prédécesseurs... ont fait des expériences pour déterminer la résistance des matériaux, voici les principaux résultats qu'on déduit de ces expériences. Résistance horizontale: la résistance horizontale est en raison inverse de la distance d'appuis et raison directe de la largeur et du carré de l'épaisseur verticale (si c'est un parallélépipède) ou du cube du diamètre si c'est un cylindre », etc. Ce type de présentation est significatif car il marque le passage de résultats expérimentaux dispersés à un modèle verbal induit (et non pas déduit comme l'écrit Brognis).

Les études dynamiques sont encore très peu développées. Dans les premières machines à vapeur le problème du frottement et par conséquent de la lubrification est négligé. Il est vrai que les mouvements relatifs sont lents et les jeux si importants qu'ils mettent en échec tout essai de formalisation. Mais la technique évoluant, la nécessité de mieux maîtriser les phénomènes dynamiques se fait impérative. C'est au général A. Morin que l'on attribue la première étude systématique du frottement, suivie en 1833-1835 par la publication des trois volumes de ses « Nouvelles expériences sur le frottement ».

Morin publie en 1838 un « Aide-mémoire de

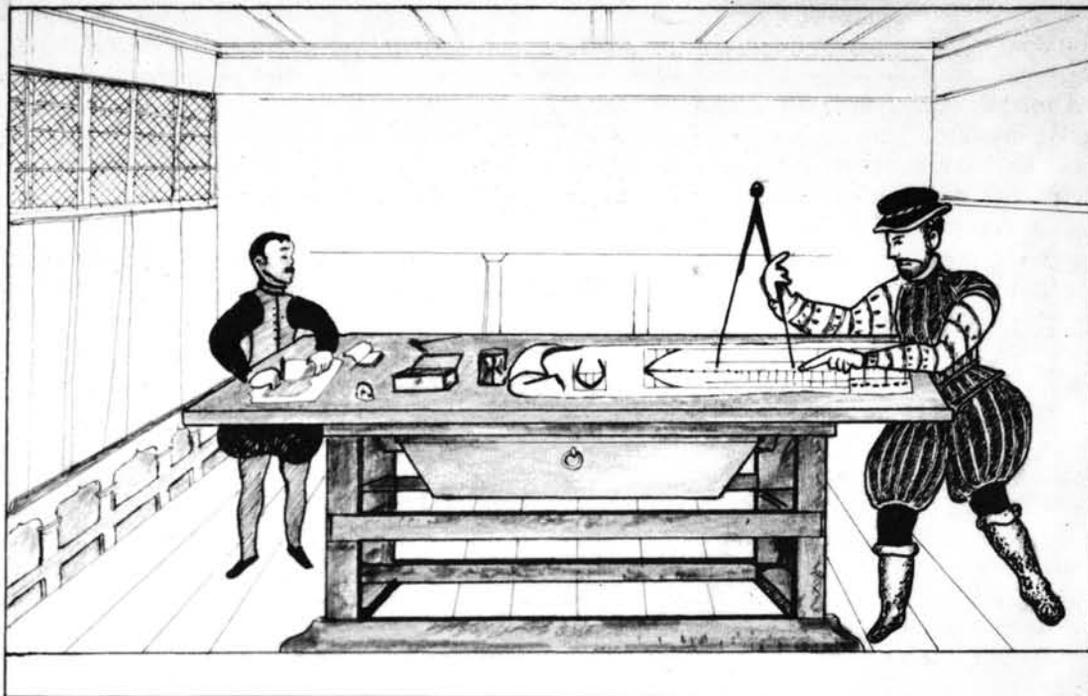
mécanique pratique<sup>6</sup> », « excellent outil de travail pour les dessinateurs de construction mécanique ». Mais surtout, Morin enseigne, à partir de 1839, la mécanique appliquée au Conservatoire des Arts et Métiers. Le plan de son cours de résistance des matériaux est le suivant: après avoir renvoyé aux travaux de Poncelet (1829) pour la théorie, il traite de trois grands titres: extension, flexion, torsion. Les sollicitations composées ne sont pas abordées. La méthode d'exposé est la même pour chaque sujet. Après avoir rappelé les expériences pratiques d'un certain nombre de ses contemporains « habiles ingénieurs » (la référence la plus ancienne se rapporte à Hooke pour la proportionnalité des déformations aux efforts), Morin en tire une « loi expérimentale » qu'il contrôle en l'appliquant à des constructions connues. Par exemple, pour l'extension, il expose et discute une dizaine d'expériences. Les résultats sont consignés dans des tables de résistance à la rupture et des valeurs limites d'emploi. Il compare ensuite les dimensions données par les tables à celles de machines où se trouvent des pièces travaillant en extension (comme les colonnes d'une presse à fourrage). Il n'est pas fait allusion à l'usage possible de coefficients de sécurité mais Morin remarque que le manque d'homogénéité des fontes et aciers est cause d'incertitudes.

En 1865, Armengaud l'Aîné publie « Le Vignole des mécaniciens<sup>7</sup> » essai sur la construction des machines qui se veut être un ouvrage pratique, s'appuyant sur les « théories générales de la mécanique physique, maintenant mieux connue à travers les travaux de Yung, Coriolis, Poncelet, Lamé », etc. C'est-à-dire qu'il y a une volonté de substituer à l'induction expérimentale des résultats déductifs tempérés par la pratique.

Dans son « Nouveau cours raisonné de dessin industriel appliqué principalement à la mécanique et à l'architecture » (1848), Armengaud marque très clairement le renversement d'approche dans la conception des objets:

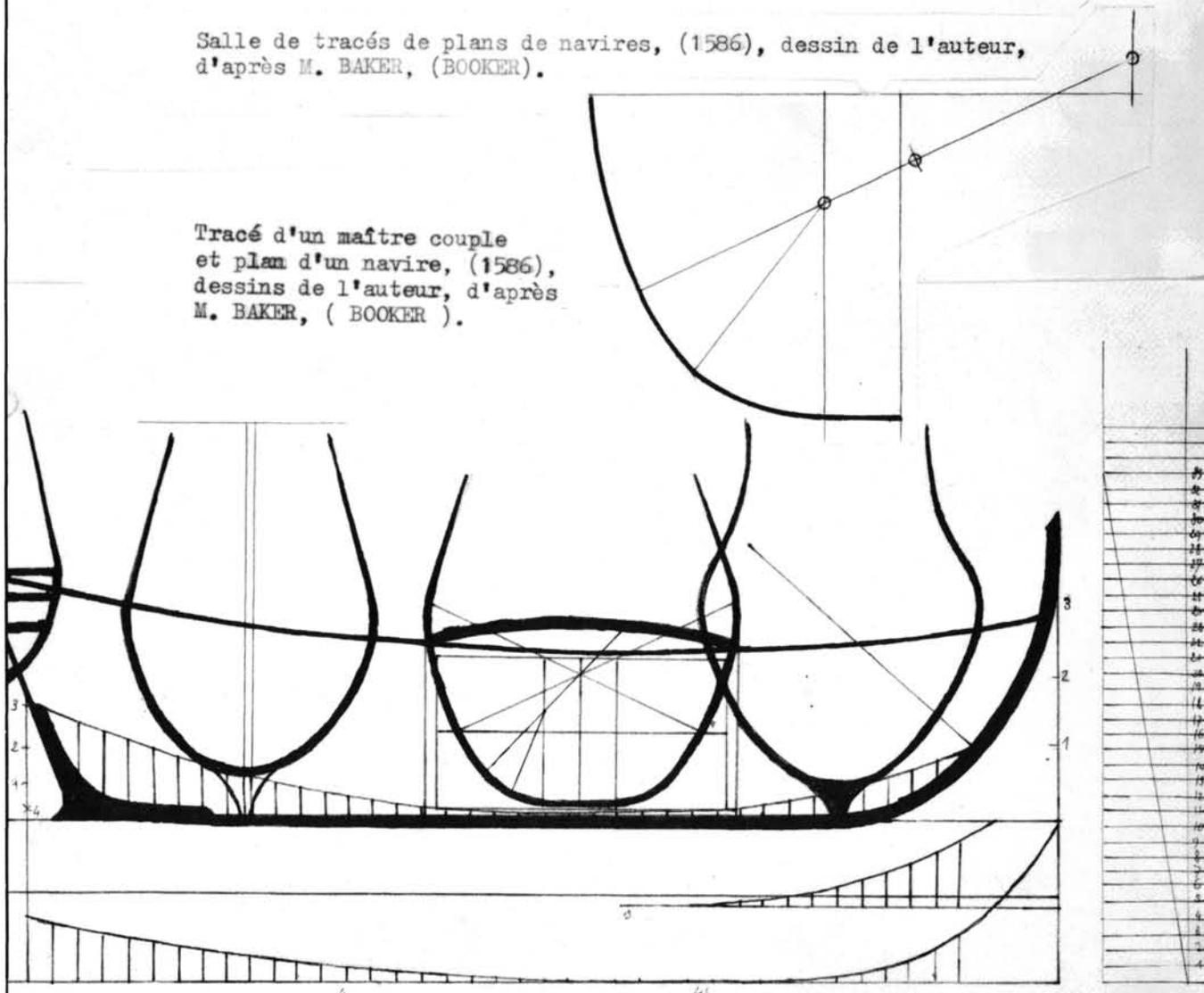
*Le dessin ... « bien compris et considéré du point de vue industriel, ne se borne pas à dresser correctement avec des lignes tracées à l'aide des équerres et du compas, les contours des objets existants, mais ayant pour but la représentation exacte, complète et raisonnée des outils, machines et appareils divers à l'état idéal ou d'exécution, il embrasse l'agencement et la combinaison des organes entre eux, ainsi que leur disposition intérieure et le jeu de toutes les parties actives. Pour parvenir à exécuter une machine à vapeur, par exemple, sans avoir recours à aucun modèle, il est indispensable, après avoir calculé les dimensions des principaux agents, de les combiner entre eux de telle sorte qu'ils occupent des positions relatives, propres à remplir parfaitement les conditions voulues »...*

Fils de mécanicien, mécanicien lui-même, professeur à l'Académie industrielle de Berlin, l'Allemand F. Reuleaux connaît une très grande audience dans son pays. En 1870, il publie un ouvrage de construction mécanique rigoureux et cohérent<sup>8</sup>. Pour prendre l'exemple du tourillon pour lequel trente ans plus tôt Leblanc ne pouvait donner qu'une « table des valeurs généralement adoptées » Reuleaux, utilisant les



Salle de tracés de plans de navires, (1586), dessin de l'auteur, d'après M. BAKER, (BOOKER).

Tracé d'un maître couple et plan d'un navire, (1586), dessins de l'auteur, d'après M. BAKER, (BOOKER).



résultats de son étude théorique sur la flexion simple, les applique au calcul d'un tourillon frontal. De l'équation d'équarrissage découle une série de formules pratiques auxquelles on donne encore parfois le nom de Formules de Reuleaux.

Signe d'une hésitation sur la conception des objets techniques, Reuleaux utilise encore dans ce cas les proportions et les modules. Il précise : « les dimensions des diverses parties de chaque organe (...) sont toutes exprimées en fonction d'un module spécial qui a été déterminé dans chaque cas par les résultats de l'examen d'un grand nombre d'organes du même genre reconnus d'une exécution satisfaisante ».

## LA CONCEPTION ASSISTEE

### Les recueils de modèles

Les recueils de modèles graphiques dont l'intérêt pour l'artisanat est attesté par les noms de Jousse, Marot, Vignole, Roubo, toujours en honneur de nos jours, connaissent aussi un grand succès, au cours du XIX<sup>e</sup> siècle, surtout en ce qui concerne les machines-outils.

A défaut de modèles théoriques, les modèles graphiques d'éléments de machines et de machines complètes donnent une idée de la « bonne forme » et de la bonne solution puisqu'il s'agit de machines réalisées par des mécaniciens réputés.

La collection des dessins de machines du Conservatoire des Arts et Métiers est constituée par trois ensembles. Le « Portefeuille de Vaucanson » contient 2000 à 3000 dessins exécutés avant la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. La collection principale est constituée par 8 à 10 000 dessins exécutés entre 1800 et 1850 par les dessinateurs du Conservatoire dont la fonction était de faire les dessins des machines déposées. Le Conservatoire des Arts et Métiers détient aussi une collection complète des « Atlas de la marine » (1855-1930), soit 112 volumes 60 x 90 cm renfermant chacun une vingtaine de dessins relatifs aux machineries des navires de guerre.

Armengaud l'Aîné, qui faisait partie de l'équipe des dessinateurs du Conservatoire, est exemplaire d'un effort pour créer les conditions d'une science des ensembles mécaniques en commençant par rassembler et classer les modèles graphiques de ces ensembles. De 1848 à 1970, il publie sous le titre de « Publication industrielle », 36 tomes de planches de « machines-outils et appareils les plus perfectionnés et les plus récents employés dans les différentes branches de l'industrie française et étrangère » et il n'est pas le seul à œuvrer dans ce sens; le « Bulletin de société d'Encouragement à l'industrie nationale », le « Journal des Mines », les « Annales des Arts et Manufactures » sont remplis de modèles graphiques les plus divers.

Il est possible que cette boulimie de modèles graphiques ait été freinée, à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, par des questions de propriété industrielle. Dans l'un des premiers grands « Atlas de la marine », on peut lire ceci à propos des machines exposées à l'Exposition Universelle de 1855 :

*Les règlements du Palais de l'Industrie s'opposant au dessin et au relèvement des objets exposés, les planches du présent atlas ne donnent pour la plupart que de simples croquis exécutés de souvenir en s'aidant de prospectus distribués par les exposants.*

Ce qui montre que ces expositions étaient très suivies et source d'inspiration et même, il faut le reconnaître après avoir vu l'atlas en question, de copies plus ou moins déguisées.

De nos jours encore, il n'est pas rare de conjuguer, dans les bureaux d'études, l'usage du catalogue de modèles, la consultation des brevets et la mécanique appliquée.

### La conception assistée par ordinateur

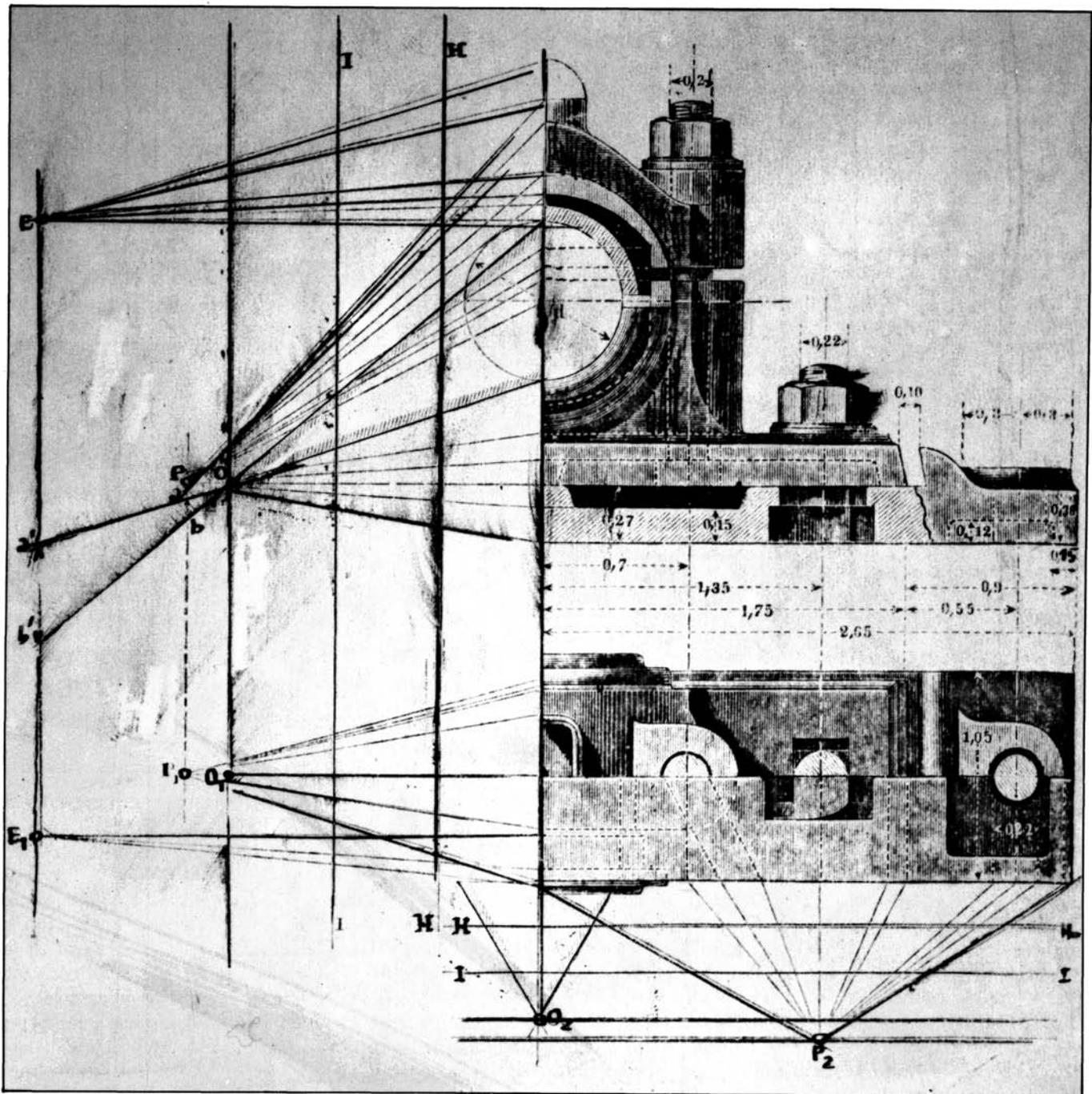
Un premier cas est celui de la conception d'un objet technique pour lequel on a un modèle complet conduisant à une solution unique et dont l'exploitation ne nécessite pas de décision logique et d'itération. Dans ce cas, le modèle étant introduit dans l'ordinateur sous forme d'un programme de calcul, il suffit de fournir les données du problème pour obtenir les informations de sortie nécessaires au concepteur sur une feuille de papier, sur un écran ou sur une table traçante.

Tels sont les programmes de calcul et de dessin de pièces mécaniques, d'ensembles isolés (comme des boîtes de vitesse), de poutres et de charpentes (comme des ponts métalliques); les dessins de circuits électroniques, les dessins de câblage et de tuyautage, l'élaboration de schémas d'organigrammes, etc.

L'ordinateur peut aussi, en plus des informations propres à la conception, sortir les informations relatives à la fabrication, c'est-à-dire faire le travail du technicien des méthodes. Il suffit que l'ordinateur ait en mémoire, comme l'avait le technicien des méthodes, l'algorithme des opérations (et les modèles afférents) relatives à la fabrication de l'objet dans des conditions données.

Enfin l'ordinateur peut commander directement la machine à fabriquer l'objet, sans intermédiaire graphique, ni intervention humaine. L'objet est entièrement déterminé dès lors que la demande a été formulée.

Un second cas est celui où l'objet est défini par plusieurs modèles. On est alors devant un problème qui peut être assimilé, généralement, à un système mathématique où il y aurait plus d'inconnues que d'équations. « Manuellement » le concepteur parvient à une solution par ajustements successifs sur la planche à dessin. C'est ce que fait l'ordinateur grâce à un programme d'itérations. Après avoir fixé les critères d'optimisation, on donne des valeurs arbitraires aux inconnues en surnombre pour arriver à un système résolvable. A la première itération, certaines conditions vont être remplies mais d'autres ne le seront pas puisque les valeurs sont arbitraires. En comparant l'effet sur les unes et sur les autres, de nouvelles valeurs sont prises autant de fois qu'il faut pour que, s'il n'y a pas impossibilité, chaque paramètre évolue vers une valeur compatible avec des équations des différentes conditions et avec les critères d'optimisation. Pour simplifier le programme, on peut choisir comme témoins de la convergence deux ou trois grandeurs significatives.



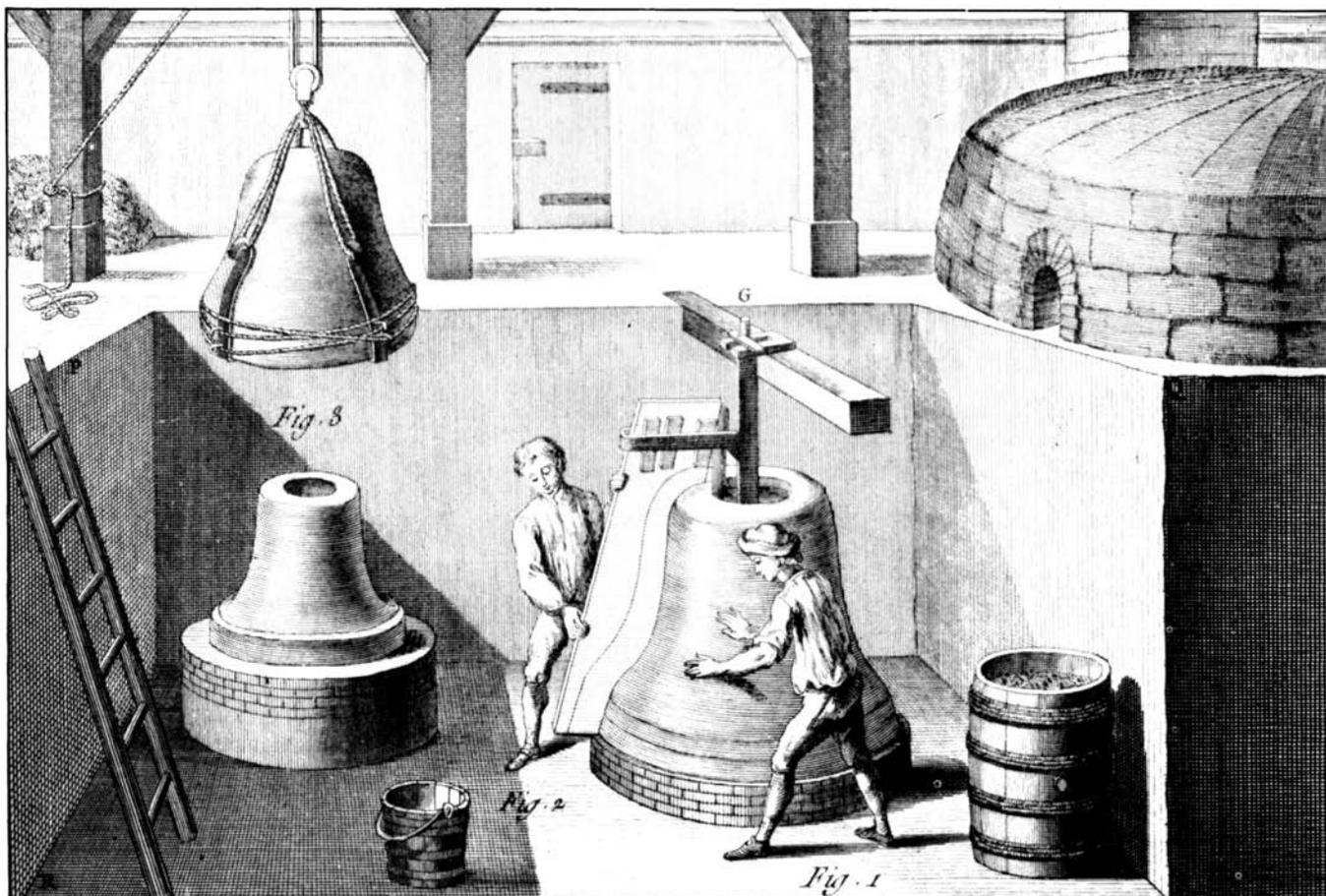
*Echelle de proportions pour les paliers horizontaux.*

La détermination des dimensions des paliers peut se faire avec avantage au moyen d'une épure. Nous donnons ici, comme exemple, celle qui se rapporte au cas des paliers horizontaux (1).

Les pôles  $O$ ,  $O'$ , et  $O''$  correspondent aux diamètres  $d$  des tourillons, et les pôles  $P$ ,  $P'$  et  $P''$  aux dimensions qui sont rapportées au module  $d' = 10 + 1,15d$ ; ce module  $d'$  devient égal à 0, pour  $d = (-10) : 1,15 = -8^{\text{mm}},7$ . La position du pôle  $P$  se trouve, dès lors, déterminée par la condition qu'en menant par ce point une verticale, la longueur  $ab$  comprise entre les rayons  $Oa$  et  $Ob$  soit égale à  $-8^{\text{mm}},7$ . Les intersections des rayons menés par les points  $O$  et  $P$  avec les ordonnées I, II, ... fournissent les valeurs correspondantes des diamètres et des autres éléments, à l'exception, toutefois, des dimensions des coussinets qui exigent un pôle spécial, puisqu'elles sont rapportées à un module différent. Ce module, qui est  $e = 3 + 7/100 d$ , devient nul pour  $d = (-3.100) : 7 = -43^{\text{mm}}$ . Les pôles  $E$  et  $E'$  cherchés se trouvent, par suite, sur la ligne verticale dont la partie  $a'b'$ , comprise entre les rayons  $Oa'$  et  $Ob'$ , a une longueur égale à  $43^{\text{mm}}$ . Pour le réservoir d'huile placé sur le chapeau, la dimension est  $10 + 0,25 d' = 10 + 0,25. 10 + 0,25. 1,15d = 12,5 + 0,29d$ , ce qui revient à  $4,17 (3 + 0,07d) = 4,17e$ . Le point  $E$  peut donc également être utilisé comme pôle pour les dimensions du réservoir à huile.

(1) La maison Escher-Wyss, de Zurich, fait usage, pour les paliers, d'une épure très bien disposée; cette épure, bien qu'établie dans l'hypothèse de la proportionnalité géométrique de toutes les dimensions et ne possédant, par suite, qu'un seul pôle, rend cependant de très bons services.

Méthode des échelles de proportions, F. REULEAUX,  
le constructeur, (1881), pp. 281-282.



Fonte des cloches. Diderot Encyclopédie.

Malgré tout, les valeurs trouvées peuvent être encore incompatibles avec les impératifs technologiques d'où la nécessité d'introduire en bonne place dans le programme des points de décisions logiques qui relancent la recherche jusqu'à son aboutissement. Aboutissement qui peut être comme dans le cas précédent la production de documents graphiques ou numériques ou la commande des machines qui réaliseront les éléments de l'ensemble.

### **DIALECTIQUES DE LA NORMALISATION**

Le sens profond de la normalisation est à rechercher dans trois visées : l'unité, l'ordre et le parfait qui ont donné trois grandes catégories de normes : les normes d'unification, les normes de qualité, les normes fonctionnelles.

Les normes d'unification résultent d'une entente entre parties pour adopter un référentiel commun : une liste de termes, un tableau de nombres, un système de représentation, un code de signalisation, etc. Les normes d'unification sont justifiées par leurs effets : la communication est améliorée et la limitation de la variété des produits permet de réaliser des économies.

Plus profondément ces normes sont la manifestation d'une opposition à la diversité inquiétante des formes et des langages, suspectés d'être d'origine maligne comme en témoigne le mythe de Badel. Avec l'unification le simple s'oppose au complexe, l'ordre au désordre.

On peut rapprocher les intentions des normes d'unification de la recherche, aux XVI<sup>e</sup> et XVII<sup>e</sup> siècles,

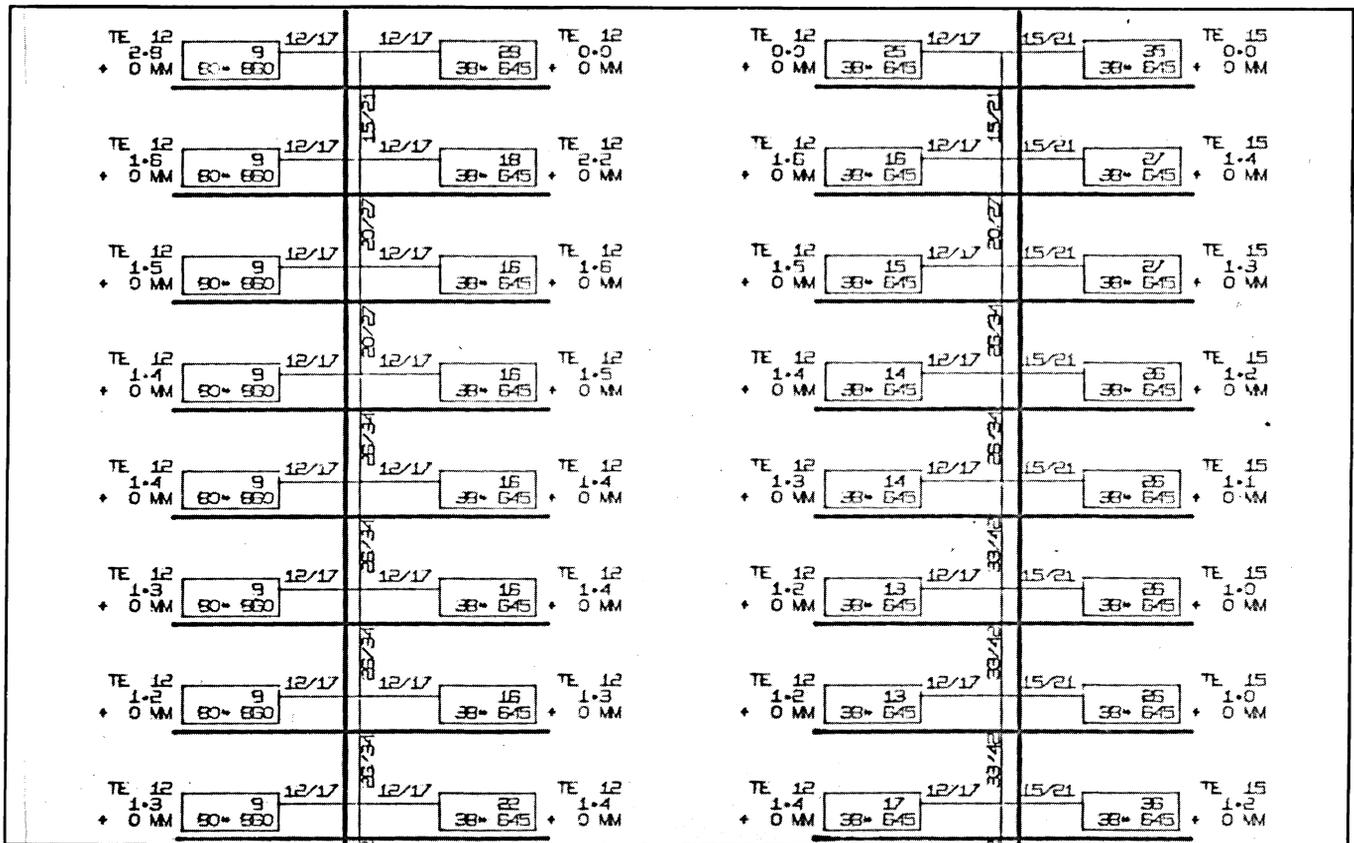
d'un langage universel et de celles, au XVIII<sup>e</sup> siècle, d'un étalon de mesure « universel, perpétuel et invariable ».

Langage, temps, longueur, poids, formes, dimensions; l'action de l'homme s'inscrit dans un univers précis et borné. Pour E. Lhoste, directeur général de l'Association française de normalisation en 1938 : « normaliser, c'est faire en sorte que l'ordre soit le même dans toutes les entreprises, que l'ordre du producteur soit celui de l'usager; c'est cet ordre, ou mieux cette normalisation qui constitue le progrès ».

Les normes de qualité sont la réplique qualitative des normes d'unification. Elles participent d'une dialectique du parfait et de l'imparfait, comme les normes d'unification participaient de la dialectique de l'ordre et du désordre. Les normes de qualité distribuent les objets dans des classes par exemple, la classe des appareils électriques, les classes des machines d'après les précisions obtenues dans l'exécution de pièces-témoins et les classes de vis et boulons. Ces normes sont surtout destinées à permettre la création d'ensembles cohérents du point de vue de la qualité générale et de la longévité.

Bien que cette appellation n'existe pas dans la nomenclature de la normalisation, on peut appeler « normes fonctionnelles », les normes qui définissent l'objet technique ou la gamme d'objets, les plus adaptés à la fonction, à l'exclusion des autres. Généralement, ces objets sont couverts par un label garantissant la qualité fonctionnelle. Par exemple : NF, USE, APEL, ATG pour les appareils domestiques à gaz.

Très judicieuses, les normes fonctionnelles définissent les critères de choix fonctionnels indépendamment des solutions constructives adoptées pour



Calcul et dessin automatique d'une installation de radiateurs dans un immeuble (dessin partiel), document COSTIC, SAINT-REMY-LES-CHEVREUSE, client SANIT, Cherbourg, octobre 1971.

remplir les fonctions; mais il n'y a pas loin entre les bons résultats à des tests fonctionnels et la meilleure solution technique. D'où le sentiment chez les ingénieurs-concepteurs que s'il y a plusieurs solutions au même problème posé en termes fonctionnels, il y en a toujours une meilleure que les autres. Dès lors, le travail de l'ingénieur-concepteur consiste :

- « à rechercher les solutions les meilleures par référence à l'optimum visé;
- à formuler les solutions retenues sous forme de règles auxquelles chacun puisse se référer;
- à provoquer ainsi la répétition volontaire de ces solutions, chaque fois que le problème correspondant se pose. »

Le dialogue entre créativité et déterminisme se transforme ici en dialogue entre le bien et le moins bien.

## L'ESTHETIQUE ET LES ENSEMBLES

### L'esthétique fonctionnelle

Y a-t-il une esthétique de la fonctionnalité? La meilleure solution technique à la fonction donne-t-elle aussi la plus belle forme? « Oui » répond P. Valéry dans un dialogue entre Phèdre et Socrate.

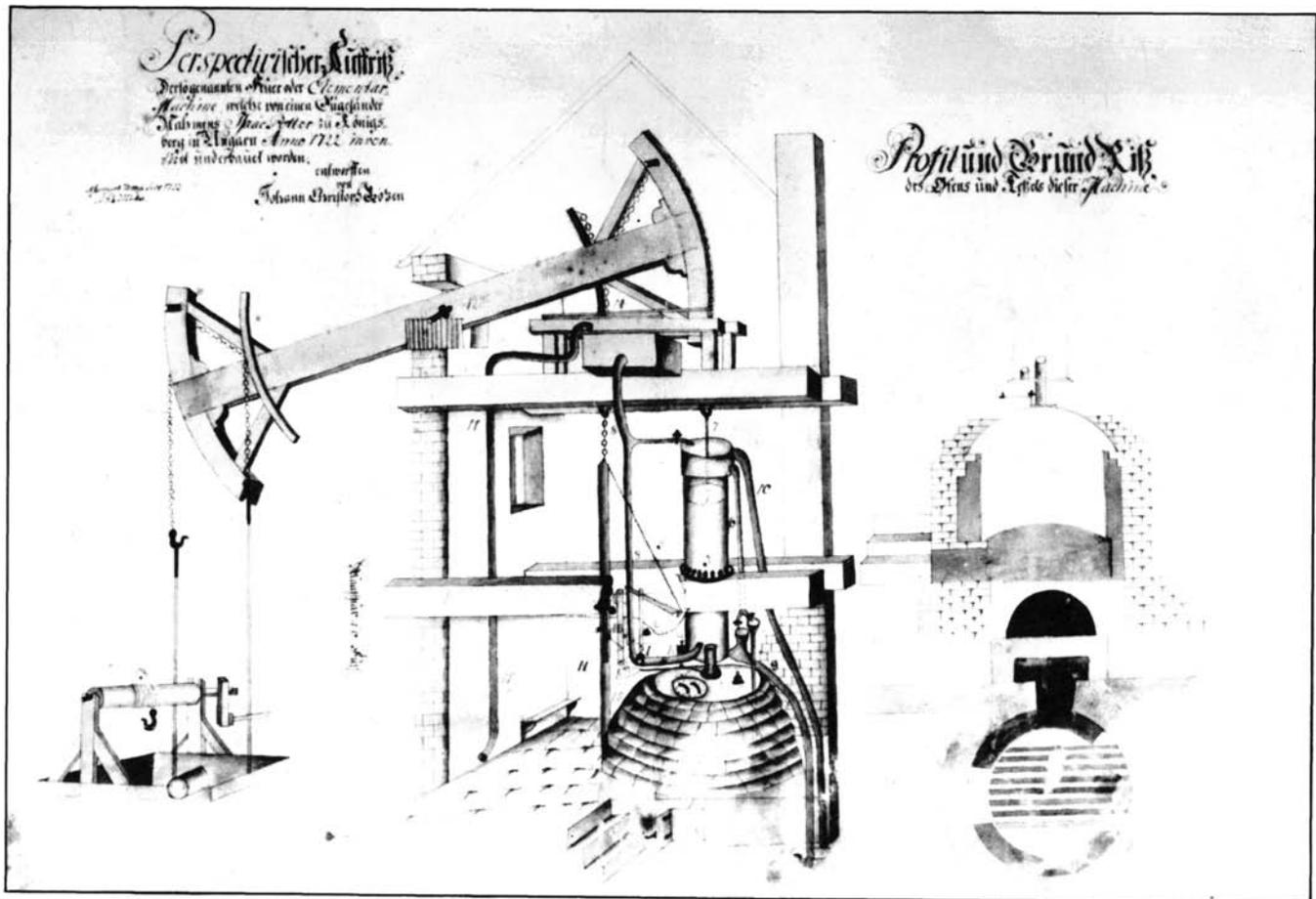
Phèdre : *Il me semble parfois qu'une impression de beauté naît de l'exactitude et qu'une sorte de volupté est engendrée par la conformité presque*

*miraculeuse d'un objet avec la fonction qu'il doit remplir. Il arrive que la perfection de cette aptitude existe en nos âmes, le sentiment d'une parenté entre le Beau et le Nécessaire... Il y a des outils admirables, étrangement clairs et nets comme des ossements, et comme eux, qui attendent des actes et des forces, et rien de plus.*

Socrate : *Ils se sont fait d'eux-mêmes, en quelque sorte; l'ouvrage séculaire a trouvé nécessairement la meilleure forme. La pratique innombrable rejoint un jour l'idéal et s'y arrête. Les milliers d'essais de milliers d'hommes convergent lentement vers la figure la plus économique et la plus sûre.*

Dans un monde statique et pauvre en objets, la permanence des relations et leur faible densité ont pu en effet laisser penser que la beauté naissait de la stricte adaptation de l'objet à la fonction : le panier à fumier est beau car il est approprié à sa fonction, écrit Xénophon, et une cuillère de figuier est belle car elle est utile, répète Alain.

Il en va de même de tous les objets simples, comme les outils pour travailler la terre ou pour cuisiner, pour lesquels les relations avec le milieu et l'utilisateur ne changent guère, d'où un équilibre, celui auquel pensait P. Valéry. Mais à partir d'une certaine densité, les objets entrent en relation entre eux. Comme les meubles dans une pièce. La pièce, salle de contrôle, la salle des machines. L'atelier, l'usine sont alors des contenants et les objets techniques qu'ils renferment sont les composants d'un ensemble qu'il faudrait penser comme un tout.



Machine atmosphérique de Newcomen (1722), dessin de 1735, photo D.M. Munich, n° 278.

### La conception des ensembles

Les créateurs des époques pré-industrielles, lorsqu'ils concevaient, dessinaient, construisaient des édifices, des moulins, des navires ou même des canons avaient à tenir compte de relations qui étaient des relations avec le milieu naturel. Les relations entre objets se limitaient à des relations de ressemblance ou de similitude.

Cela est assez bien montré par les innombrables « théâtres des machines » du XVII<sup>e</sup> siècle, où l'objet représenté l'est comme une individualité unique, enchâssée dans un milieu particulier qui agit sur elle et qu'elle modifie : le flanc d'une colline, le bord d'une rivière, le creux d'une mine. L'important est que l'ensemble objet-milieu soit cohérent et pour cela on habille l'objet, on le décore avant qu'il n'entre en scène.

Avec les machines à feu, le créateur se trouve en difficulté. Comment intégrer au milieu ces objets si fortement divergents ? Si le « digesteur » de Papin (1680 environ) était une sorte de marmite, donc assimilable à du familier, sa machine de 1707 est monstrueuse : ventre ballonné et intestins grêles. On est loin des divines proportions, de l'harmonie des formes et du module humain.

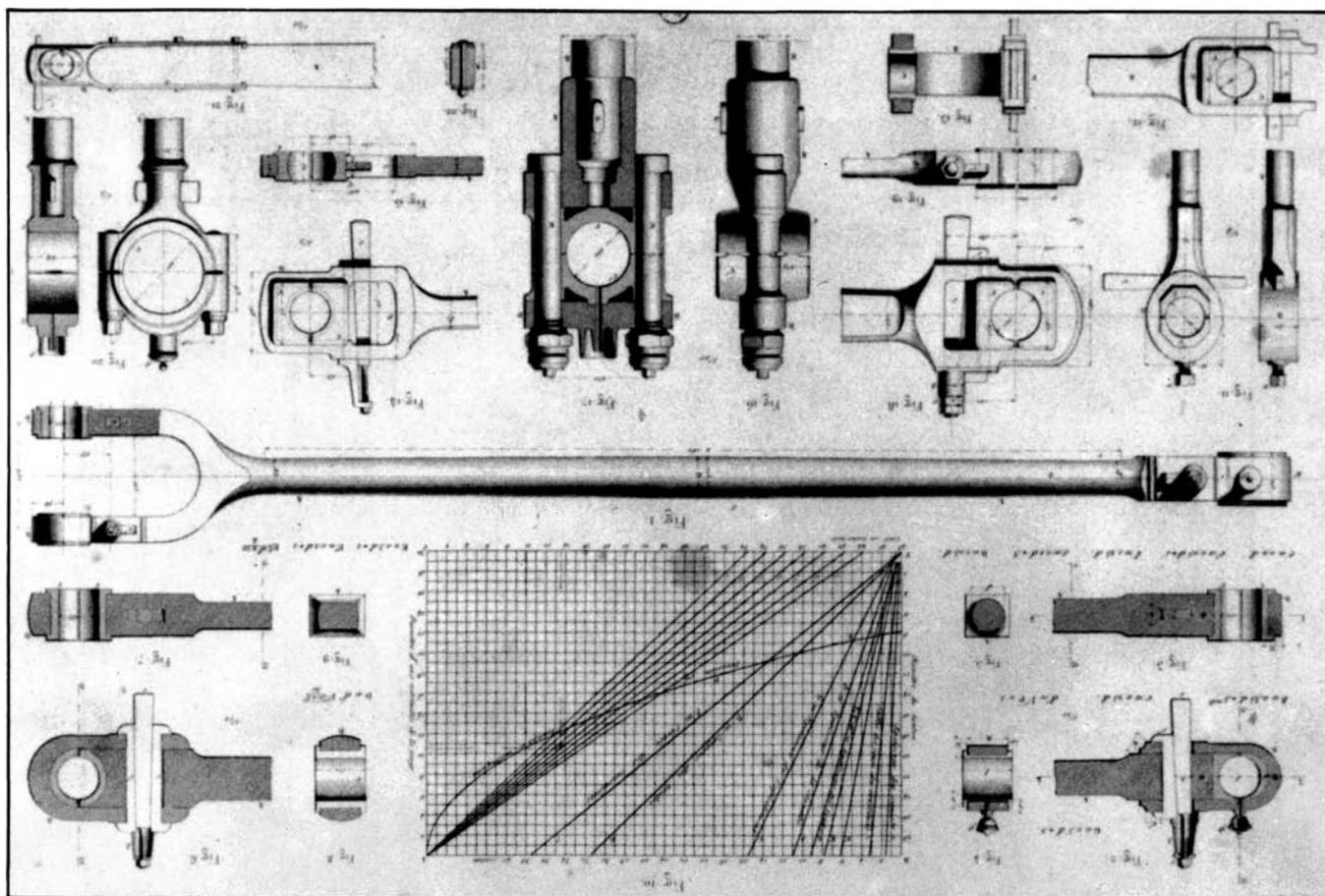
Fait plus grave, ces machines à feu, comme celle de Savery (1677) qui ressemble à un assemblage contre nature de conduites romaines et d'alambics piriforme; ou celle de Potter (1725) avec ses chaînes grinçantes, sont destinées à l'épuisement des eaux dans les mines. Monde souterrain qui fait peur.

Pour masquer ce que les machines à feu et les machines à vapeur ont d'insolite ou de grotesque, on leur donne des formes rassurantes. Chaque fois que possible on les enferme dans des bâtiments d'aspect anodin.

Avec la prolifération des machines, à partir du XIX<sup>e</sup> siècle, à la mise à la disposition du créateur et du constructeur de l'outil de travail qu'est la Résistance des Matériaux s'ajoute une « réflexion sur la composition des machines » à laquelle les noms précédemment cités sont attachés. Mais il s'agit d'une réflexion sur la composition interne et sur les relations mécaniques entre parties : transmission et transformation de mouvement, guidage, frottements.

La conception des machines en tant qu'ensembles de parties et la mise en relation des machines entre elles n'est pas évoquée. Les machines s'imposent par leurs dimensions, par leur efficacité et par leur puissance. Elles se juxtaposent dans les halls industriels où les peintres de l'époque (dessinateurs ou écrivains) les découvrent avec effarement. Certains essaient de défendre, en la noyant dans une brume rougeâtre, l'esthétique des grues et des ports, des ateliers et des gares.

On peut s'étonner aujourd'hui en voyant, hors de l'environnement proche pour lequel elles avaient été conçues, la presse à imprimer de Clymer (1829), décorée comme un meuble Empire, avec appliques en bronze et aigle impérial; la presse à monnaie de Hartmann (1838), audacieux mélange de gothique et de mauresque; la machine à vapeur de Sulzer (1865) avec son bâti grec ou cette autre, tout en gothique flamboyant (10). Il s'agit



Proportions et constructions des bielles Arrengaud, Le vignole (1865), pl. 23.

pourtant d'une tentative intéressante de quelques ingénieurs-concepteurs isolés qui ont essayé, avec plus ou moins de bonheur, de donner un style à leurs créations; non pas par un habillage pudique ou par une réduction du style à la fonctionnalité pure et simple, mais en s'inspirant de l'architecture et de ses proportions. L'usage de la fonte pour les bâtis favorisait, il est vrai, de telles recherches.

Quelques réalisations d'ensembles plus récentes comme les salles de brassage des grandes brasseries (1920-1930), les salles des alternateurs des grands barrages, les salles de contrôle montrent ce qu'on peut faire quand le contenant et le contenu sont conçus en même temps et par la même équipe ou quand, l'objet technique étant majoritaire, on construit autour de lui, dans le même style.

Cependant les conditions économiques et techniques de production des objets font que ces cas sont rares.

Les stylistes des firmes automobiles, utilisant tout l'espace de liberté que leur laisse le déterminisme des contraintes imposées par la technique et le commercial, donnent à leur création un style, classique ou original.

La publicité nous présente les voitures dans un cadre qui les met en valeur : virage à vive allure, arrêt au bord d'une rivière ou dans une forêt, randonnée dans un désert... Mais quand ces mêmes voitures sont rassemblées sur le parking d'un super-marché un jour d'affluence c'est une juxtaposition incohérente de couleurs, de formes, de dimensions, d'états, de véhicules qui n'ont pas été pensés pour former des ensembles

esthétiques.

Cela ne veut pas dire que la réponse fonctionnelle, (plus la normalisation) : « petite voiture, quatre places, cinq portes, pour la ville et la route » qu'on trouve très semblable dans toutes ces gammes des constructeurs soit la meilleure réponse ou la seule. Elle présente même le danger inverse du précédent, celui d'une informité généralisée par pré-détermination totale.

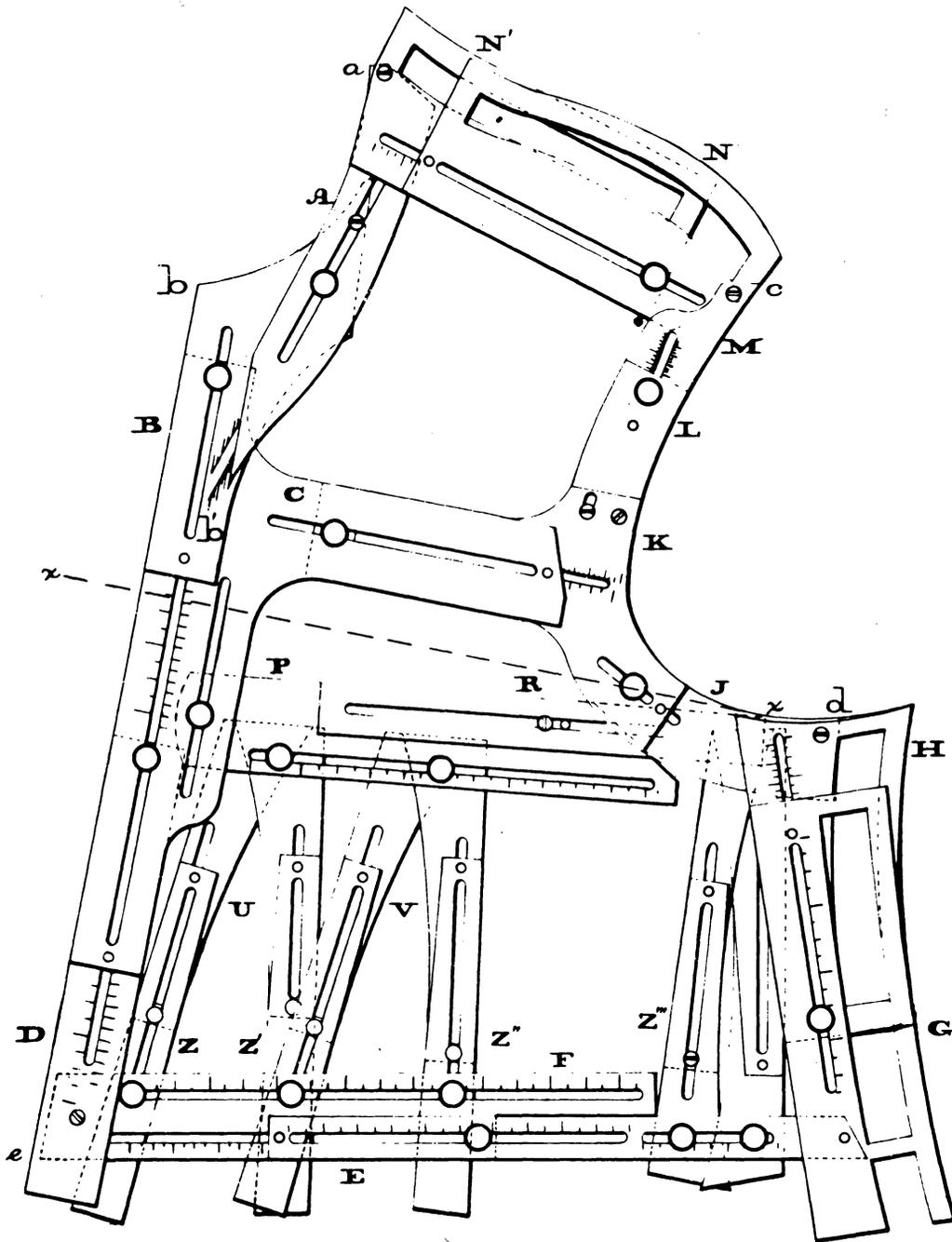
C'est à peu près ce qui se passe avec les équipements de cuisine, les chaînes de haute-fidélité qui ne se distinguent que par la couleur et la qualité des composants (donc le prix).

Dans les téléviseurs, la plupart des composants pour plusieurs marques sortent de la même usine et sont mis dans des « ébénisteries » dont la forme est conditionnée par le contenu, ce qui donne des boîtes très semblables et tellement fonctionnelles qu'on suggérerait presque, pour finir de meubler la pièce, d'acheter le mobilier, fonctionnel lui aussi, qui va avec si des commerçants avisés ne proposaient des « meubles-télé » façon Louis XV ou imitation laque de Chine.

Il en va de même pour les machines dans les ateliers que pour les voitures. Les nécessités de la production qui conduisent à rassembler des machines suivant un plan d'implantation déterminé, la réutilisation de machines déjà existantes, la diversité des constructeurs spécialisés auxquels on doit faire appel, font que les vues d'ensemble des ateliers de fabricant évoquent celles de quelque gigantesque capharnaüm. A ce propos, j'ai remarqué que dans les ateliers de mécanique de précision, les ensembles donnent moins

A. McDOWELL.  
Adjustable Pattern-Plates for Drafting Garments.  
No. 213,436 Patented Mar. 18, 1879.

Fig. 1.



213,436. ADJUSTABLE PATTERN PLATES FOR DRAFTING GARMENTS. A. McDowell.  
Philadelphia, Pa. Filed May 18, 1878.

1. An adjustable pattern for drafting the front of an upper garment, composed of the plates A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, N, N', substantially as described and shown.

2. An adjustable pattern for drafting the back of an upper garment, composed of the plates A', B', C', D', E', F', G', H', J', K', L', M', N', N', substantially as described and shown.

3. An adjustable pattern for drafting the side body of an upper garment, composed of the plates K, L, M, N, N', P, R, S, substantially as described and shown.

4. The upper plates, P, R, and lower plates, E, F, in combination with the dart plates U, V, Z, Z', Z'', substantially as and for the purpose set forth.

5. A variable extension pattern composed of the several slotted plates A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, N, N', P, R, S, G, H, J, K, L, M, N, P, R, S, with projecting portions for screws, substantially as described, and forming a complete pattern for drafting an upper garment.

Witnesses:

*Ro. P. Grant,*

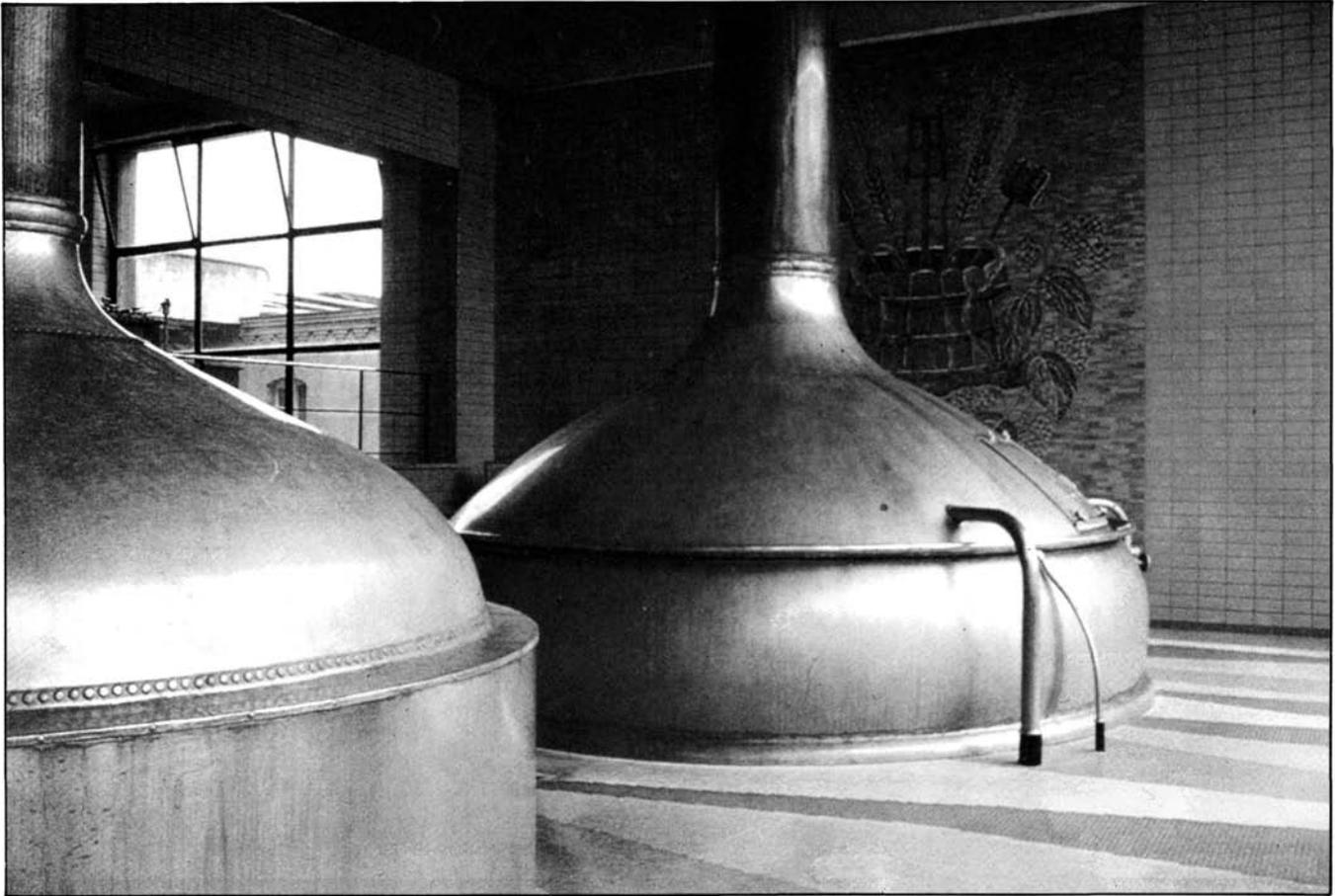
*W. F. Fischer*

Inventor:

*Ro. McDowell,*

*John A. Diersheim*

ATTORNEY.



- ▲ Salle de brassage (1930?), photo J. Haag.
- ◀ Patron de couturière réglable pour la confection, U.S.A. 1879.

l'impression d'incohérence, ce qui me fait penser qu'il doit y avoir des dimensions relatives et des dimensions par rapport à l'homme — c'est-à-dire des proportions et des modules — qu'il faudrait retrouver par le même mouvement que celui qui a donné naissance à la mécanique appliquée et que j'exposais au début de cette étude.

Cette recherche qui utiliserait le passé et le présent pour préparer l'avenir donnerait une signification symbolique à la fonction d'ingénieur-concepteur d'ensembles.

### BIBLIOGRAPHIE

1. VIOLLET-LE-DUC: Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI<sup>e</sup> auXVI<sup>e</sup> siècle, Paris, Morel, 1858 (10 tomes).

2. AURES: Théorie du module déduite du texte de Vitruve, Nîmes, 1862.

3. F.P.R.: Abrégé de géométrie appliquée au dessin linéaire (texte et atlas), Tours, Mame, 1872.

4. HOSTE (P.) S.J.: Théorie de la construction des vaisseaux, 1697.

5. BORGNIIS (J.A.): Théorie de la mécanique usuelle, Paris, Bachelier, 1821.

6. MORIN (A.): Aide-mémoire de la mécanique pratique (Résistance des matériaux), Paris, Hachette, 5 tomes, 1853 (pour le tome IV).

7. ARMENGAUD (l'Ainé): Le Vignole des mécaniciens, essai sur la construction des machines, étude des éléments qui la constituent. Type et proportion des organes, etc. (texte et atlas), Paris, Morel, 1865 (1<sup>re</sup> éd.).

8. REULEAUX (F.): Cinématique (principes fondamentaux d'une théorie des machines), traduit par Debize, Paris, Savy, 1877.

9. COLLECTIF: Cinquante ans de normes françaises, 1920-1970, AFNOR, 1970.

10. DEFORGE (Y.): Le graphisme technique, Paris, H. Champion, 1976.