INTRODUCTION

Cette étude est animée par l'intention de susciter une prise de conscience du sens des objets techniques. La culture s'est constituée en système de défense contre les techniques; or, cette défense se présente comme une défense de l'homme, supposant que les objets techniques ne contiennent pas de réalité humaine. Nous voudrions montrer que la culture ignore dans la réalité technique une réalité humaine, et que, pour jouer son rôle complet, la culture doit incorporer les êtres techniques sous forme de connaissance et de sens des valeurs. La prise de conscience des modes d'existence des objets techniques doit être effectuée par la pensée philosophique, qui se trouve avoir à remplir dans cette œuvre un devoir analogue à celui qu'elle a joué pour l'abolition de l'esclavage et l'affirmation de la valeur de la personne humaine.

L'opposition dressée entre la culture et la technique, entre l'homme et la machine, est fausse et sans fondement; elle ne recouvre qu'ignorance ou ressentiment. Elle masque derrière un facile humanisme une réalité riche en efforts humains et en forces naturelles, et qui constitue le monde des objets techniques, médiateurs entre la nature et l'homme.

La culture se conduit envers l'objet technique comme l'homme envers l'étranger quand il se laisse emporter par la xénophobie primitive. Le misonéisme orienté contre les machines n'est pas tant haine du nouveau que refus de la réalité étrangère. Or, cet être étranger est encore humain, et la culture complète est ce qui permet de découvrir l'étranger comme humain. De même, la machine est l'étrangère; c'est l'étrangère en laquelle est enfermé de l'humain, méconnu, matérialisé, asservi, mais restant pourtant de l'humain. La plus forte cause d'aliénation dans le monde contemporain réside dans cette méconnaissance de la machine, qui n'est pas une aliénation causée par la machine, mais par la non-connaissanse de sa

nature et de son essence, par son absence du monde des significations, et par son omission dans la table des valeurs et des concepts faisant partie de la culture.

La culture est déséquilibrée parce qu'elle reconnaît certains objets, comme l'objet esthétique, et leur accorde droit de cité dans le monde des significations, tandis qu'elle refoule d'autres objets, et en particulier les objets techniques, dans le monde sans structure de ce qui ne possède pas de significations, mais seulement un usage, une fonction utile. Devant ce refus défensif, prononcé par une culture partielle, les hommes qui connaissent les objets techniques et sentent leur signification cherchent à justifier leur jugement en donnant à l'objet technique le seul statut actuellement valorisé en dehors de celui de l'objet esthétique, celui de l'objet sacré. Alors naît un technicisme intempérant qui n'est qu'une idolâtrie de la machine et, à travers cette idolâtrie, par le moyen d'une identification, une aspiration technocratique au pouvoir inconditionnel. Le désir de puissance consacre la machine comme moyen de suprématie, et fait d'elle le philtre moderne. L'homme qui veut dominer ses semblables suscite la machine androïde. Il abdique alors devant elle et lui délègue son humanité. Il cherche à construire la machine à penser, rêvant de pouvoir construire la machine à vouloir, la machine à vivre, pour rester derrière elle sans angoisse, libéré de tout danger, exempt de tout sentiment de faiblesse, et triomphant médiatement par ce qu'il a inventé. Or, dans ce cas, la machine devenue selon l'imagination ce double de l'homme qu'est le robot, dépourvu d'intériorité, représente de façon bien évidente et inévitable un être purement mythique et imaginaire.

Nous voudrions précisément montrer que le robot n'existe pas, qu'il n'est pas une machine, pas plus qu'une statue n'est un être vivant, mais seulement un produit de l'imagination et de la fabrication fictive, de l'art d'illusion. Pourtant, la notion de la machine qui existe dans la culture actuelle incorpore dans une assez large mesure cette représentation mythique du robot. Un homme cultivé ne se permettrait pas de parler des objets ou des personnages peints sur une toile comme de véritables réalités, ayant une intériorité, une volonté bonne ou mauvaise. Ce même homme parle pourtant des machines qui menacent l'homme comme s'il attribuait à ces objets une âme et une existence séparée, autonome, qui leur confère l'usage de sentiments et d'intentions envers l'homme.

La culture comporte ainsi *deux attitudes contradictoires* envers les objets techniques : d'une part, elle les traite comme de purs

assemblages de matière, dépourvus de vraie signification, et présentant seulement une utilité. D'autre part, elle suppose que ces objets sont aussi des robots et qu'ils sont animés d'*intentions* hostiles envers l'homme, ou représentent pour lui un permanent danger d'agression, d'insurrection. Jugeant bon de conserver le premier caractère, elle veut empêcher la manifestation du second et parle de mettre les machines au service de l'homme, croyant trouver dans la réduction en esclavage un moyen sûr d'empêcher toute rébellion.

En fait, cette contradiction inhérente à la culture provient de l'ambiguïté des idées relatives à l'automatisme, en lesquelles se cache une véritable faute logique. Les idolâtres de la machine présentent en général le degré de perfection d'une machine comme proportionnel au degré d'automatisme. Dépassant ce que l'expérience montre, ils supposent que, par un accroissement et un perfectionnement de l'automatisme on arriverait à réunir et à interconnecter toutes les machines entre elles, de manière à constituer une machine de toutes les machines.

Or, en fait, l'automatisme est un assez bas degré de perfection technique. Pour rendre une machine automatique, il faut sacrifier bien des possibilités de fonctionnement, bien des usages possibles. L'automatisme, et son utilisation sous forme d'organisation industrielle que l'on nomme *automation*, possède une signification économique ou sociale plus qu'une signification technique. Le véritable perfectionnement des machines, celui dont on peut dire qu'il élève le degré de technicité, correspond non pas à un accroissement de l'automatisme, mais au contraire au fait que le fonctionnement d'une machine recèle une certaine marge d'indétermination. C'est cette marge qui permet à la machine d'être sensible à une information extérieure. C'est par cette sensibilité des machines à de l'information qu'un ensemble technique peut se réaliser, bien plus que par une augmentation de l'automatisme. Une machine purement automatique, complètement fermée sur elle-même dans un fonctionnement prédéterminé, ne pourrait donner que des résultats sommaires. La machine qui est douée d'une haute technicité est une machine ouverte, et l'ensemble des machines ouvertes suppose l'homme comme organisateur permanent, comme interprète vivant des machines les unes par rapport aux autres. Loin d'être le surveillant d'une troupe d'esclaves, l'homme est l'organisateur permanent d'une société des objets techniques qui ont besoin de lui comme les musiciens ont besoin du chef d'orchestre. Le chef d'orchestre ne peut diriger les musiciens que parce qu'il joue comme eux, aussi inten-

sément qu'eux tous, le morceau exécuté; il les modère ou les presse, mais est aussi modéré et pressé par eux; en fait, à travers lui, le groupe des musiciens modère et presse chacun d'eux, il est pour chacun la forme mouvante et actuelle du groupe en train d'exister; il est l'interprète mutuel de tous par rapport à tous. Ainsi l'homme a pour fonction d'être le coordinateur et l'inventeur permanent des machines qui sont autour de lui. Il est *parmi* les machines qui opèrent avec lui.

La présence de l'homme aux machines est une invention perpétuée. Ce qui réside dans les machines, c'est de la réalité humaine, du geste humain fixé et cristallisé en structures qui fonctionnent. Ces structures ont besoin d'être soutenues au cours de leur fonctionnement, et la plus grande perfection coïncide avec la plus grande ouverture, avec la plus grande liberté du fonctionnement. Les machines à calculer modernes ne sont pas de purs automates; ce sont des êtres techniques qui, par-dessus leurs automatismes d'addition (ou de décision par fonctionnement de basculeurs élémentaires), possèdent de très vastes possibilités de commutation des circuits, qui permettent de coder le fonctionnement de la machine en restreignant sa marge d'indétermination. C'est grâce à cette marge primitive d'indétermination que la même machine peut extraire des racines cubiques ou traduire un texte simple, composé avec un petit nombre de mots et de tournures, d'une langue en une autre.

C'est encore par l'intermédiaire de cette marge d'indétermination et non par les automatismes que les machines peuvent être groupées en ensembles cohérents, échanger de l'information les unes avec les autres par l'intermédiaire du coordinateur qu'est l'interprète humain. Même quand l'échange d'information est direct entre deux machines (comme entre un oscillateur pilote et un autre oscillateur synchronisé par impulsions) l'homme intervient comme être qui règle la marge d'indétermination afin qu'elle soit adaptée au meilleur échange possible d'information.

Or, on peut se demander quel homme peut réaliser en lui la prise de conscience de la réalité technique, et l'introduire dans la culture. Cette prise de conscience peut difficilement être réalisée par celui qui est attaché à une machine unique par le travail et la fixité des gestes quotidiens; la relation d'usage n'est pas favorable à la prise de conscience, car son recommencement habituel estompe dans la stéréotypie des gestes adaptés la conscience des structures et des fonctionnements. Le fait de gouverner une entreprise utilisant des

machines, où la relation de propriété, n'est pas plus utile que le travail pour cette prise de conscience : il crée des points de vue abstraits sur la machine, jugée pour son prix et les résultats de son fonctionnement plutôt qu'en elle-même. La connaissance scientifique, qui voit dans un objet technique l'application pratique d'une loi théorique, n'est pas non plus au niveau du domaine technique. Cette prise de conscience paraîtrait plutôt pouvoir être le fait de l'ingénieur d'organisation qui serait comme le sociologue et le psychologue des machines, vivant au milieu de cette société d'êtres techniques dont il est la conscience responsable et inventive.

Une véritable prise de conscience des réalités techniques saisies dans leur signification correspond à une pluralité ouverte de techniques. Il ne peut d'ailleurs en aller autrement, car un ensemble technique même peu étendu comprend des machines dont les principes de fonctionnement relèvent de domaines scientifiques très différents. La spécialisation dite technique correspond le plus souvent à des préoccupations extérieures aux objets techniques proprement dits (relations avec le public, forme particulière de commerce), et non à une espèce de schèmes de fonctionnement compris dans les objets techniques; c'est la spécialisation selon des directions extérieures aux techniques qui crée l'étroitesse de vues reprochée aux techniciens par l'homme cultivé qui entend se distinguer d'eux : il s'agit d'une étroitesse d'intentions, de fins, plutôt que d'une étroitesse d'information ou d'intuition des techniques. Très rares sont de nos jours les machines qui ne sont pas en quelque mesure mécaniques, thermiques et électriques à la fois.

Pour redonner à la culture le caractère véritablement général qu'elle a perdu, il faut pouvoir réintroduire en elle la conscience de la nature des machines, de leurs relations mutuelles et de leurs relations avec l'homme, et des valeurs impliquées dans ces relations. Cette prise de conscience nécessite l'existence, à côté du psychologue et du sociologue, du technologue ou *mécanologue*. De plus, les schèmes fondamentaux de causalité et de régulation qui constituent une axiomatique de la technologie doivent être enseignés de façon universelle, comme sont enseignés les fondements de la culture littéraire. L'initiation aux techniques doit être placée sur le même plan que l'éducation scientifique; elle est aussi désintéressée que la pratique des arts, et domine autant les applications pratiques que la physique théorique; elle peut atteindre le même degré d'abstraction et de symbolisation. Un enfant devrait savoir ce qu'est une

auto-régulation ou une réaction positive comme il connaît les théorèmes mathématiques.

Cette réforme de la culture, procédant par élargissement et non par destruction, pourrait redonner à la culture actuelle le pouvoir régulateur véritable qu'elle a perdu. Base de significations, de moyens d'expression, de justifications et de formes, une culture établit entre ceux qui la possèdent une communication régulatrice; sortant de la vie du groupe, elle anime les gestes de ceux qui assurent les fonctions de commande, en leur fournissant des normes et des schèmes. Or, avant le grand développement des techniques, la culture incorporait à titre de schèmes, de symboles, de qualités, d'analogies, les principaux types de techniques donnant lieu à une expérience vécue. Au contraire, la culture actuelle est la culture ancienne, incorporant comme schèmes dynamiques l'état des techniques artisanales et agricoles des siècles passés. Et ce sont ces schèmes qui servent de médiateurs entre les groupes et leurs chefs, imposant, à cause de leur inadéquation aux techniques, une distorsion fondamentale. Le pouvoir devient littérature, art d'opinion, plaidoyer sur des vraisemblances, rhétorique. Les fonctions directrices sont fausses parce qu'il n'existe plus entre la réalité gouvernée et les êtres qui gouvernent un code adéquat de relations : la réalité gouvernée comporte des hommes et des machines; le code ne repose que sur l'expérience de l'homme travaillant avec des outils, elle-même affaiblie et lointaine parce que ceux qui emploient ce code ne viennent pas, comme Cincinnatus, de lâcher les mancherons de la charrue. Le symbole s'affaiblit en simple tournure de langage, le réel est absent. Une relation régulatrice de causalité circulaire ne peut s'établir entre l'ensemble de la réalité gouvernée et la fonction d'autorité : l'information n'aboutit plus parce que le code est devenu inadéquat au type d'information qu'il devrait transmettre. Une information qui exprimera l'existence simultanée et corrélative des hommes et des machines doit comporter les schèmes de fonctionnement des machines et les valeurs qu'ils impliquent. Il faut que la culture redevienne générale, alors qu'elle s'est spécialisée et appauvrie. Cette extension de la culture, supprimant une des principales sources d'aliénation, et rétablissant l'information régulatrice, possède une valeur politique et sociale : elle peut donner à l'homme des moyens pour penser son existence et sa situation en fonction de la réalité qui l'entoure. Cette œuvre d'élargissement et d'approfondissement de la culture a aussi un rôle proprement philosophique à jouer car elle conduit à la critique d'un certain nombre de mythes

et de stéréotypes, comme celui du robot, ou des automates parfaits au service d'une humanité paresseuse et comblée.

Pour opérer cette prise de conscience, il est possible de chercher à définir l'objet technique en lui-même, par le processus de concrétisation et de surdétermination fonctionnelle qui lui donne sa consistance au terme d'une évolution, prouvant qu'il ne saurait être considéré comme un pur ustensile. Les modalités de cette genèse permettent de saisir les trois niveaux de l'objet technique, et leur coordination temporelle non dialectique : l'élément, l'individu, l'ensemble.

L'objet technique étant défini par sa genèse, il est possible d'étudier les rapports entre l'objet technique et les autres réalités, en particulier l'homme à l'état adulte et l'enfant.

Enfin, considéré comme objet d'un jugement de valeurs, l'objet technique peut susciter des attitudes très différentes selon qu'il est pris au niveau de l'élément, au niveau de l'individu ou au niveau de l'ensemble. Au niveau de l'élément son perfectionnement n'introduit aucun bouleversement engendrant l'angoisse par conflit avec les habitudes acquises : c'est le climat de l'optimisme du XVIII[e] siècle, introduisant l'idée d'un progrès continu et indéfini, apportant une amélioration constante du sort de l'homme. Au contraire, l'individu technique devient pendant un temps l'adversaire de l'homme, son concurrent, parce que l'homme centralisait en lui l'individualité technique au temps où seuls existaient les outils; la machine prend la place de l'homme parce que l'homme accomplissait une fonction de machine, de porteur d'outils. A cette phase correspond une notion dramatique et passionnée du progrès, devenant viol de la nature, conquête du monde, captation des énergies. Cette volonté de puissance s'exprime à travers la démesure techniciste et technocratique de l'ère de la thermodynamique, qui a une tournure à la fois prophétique et cataclysmale. Enfin, au niveau des ensembles techniques du XX[e] siècle, l'énergétisme thermodynamique est remplacé par la théorie de l'information, dont le contenu normatif est éminemment régulateur et stabilisateur : le développement des techniques apparaît comme une garantie de stabilité. La machine, comme élément de l'ensemble technique, devient ce qui augmente la quantité d'information, ce qui accroît la négentropie, ce qui s'oppose à la dégradation de l'énergie : la machine, œuvre d'organisation, d'information, est, comme la vie et avec la vie, ce qui s'oppose au désordre, au nivellement de toutes choses tendant à priver l'univers de pouvoirs de changement. La machine est ce par quoi

l'homme s'oppose à la mort de l'univers; elle ralentit, comme la vie, la dégradation de l'énergie, et devient stabilisatrice du monde.

Cette modification du regard philosophique sur l'objet technique annonce la possibilité d'une introduction de l'être technique dans la culture : cette intégration, qui n'a pu s'opérer ni au niveau des éléments ni au niveau des individus de manière définitive, le pourra avec plus de chances de stabilité au niveau des ensembles; la réalité technique devenue régulatrice pourra s'intégrer à la culture, régulatrice par essence. Cette intégration ne pouvait se faire que par addition au temps où la technicité résidait dans les éléments, par effraction et révolution au temps où la technicité résidait dans les nouveaux individus techniques; aujourd'hui, la technicité tend à résider dans les ensembles; elle peut alors devenir un fondement de la culture à laquelle elle apportera un pouvoir d'unité et de stabilité, en la rendant adéquate à la réalité qu'elle exprime et qu'elle règle.

PREMIÈRE PARTIE

GENÈSE ET ÉVOLUTION DES OBJETS TECHNIQUES

CHAPITRE PREMIER

GENÈSE DE L'OBJET TECHNIQUE : LE PROCESSUS DE CONCRÉTISATION

I. — Objet technique abstrait et objet technique concret

L'objet technique est soumis à une genèse, mais il est difficile de définir la genèse de chaque objet technique, car l'individualité des objets techniques se modifie au cours de la genèse; on ne peut que difficilement définir les objets techniques par leur appartenance à une espèce technique; les espèces sont faciles à distinguer sommairement, pour l'usage pratique, tant qu'on accepte de saisir l'objet technique par la fin pratique à laquelle il répond; mais il s'agit là d'une spécificité illusoire, car aucune structure fixe ne correspond à un usage défini. Un même résultat peut être obtenu à partir de fonctionnements et de structures très différents : un moteur à vapeur, un moteur à essence, une turbine, un moteur à ressort ou à poids sont tous également des moteurs; pourtant, il y a plus d'analogie réelle entre un moteur à ressort et un arc ou une arbalète qu'entre ce même moteur et un moteur à vapeur; une horloge à poids possède un moteur analogue à un treuil, alors qu'une horloge à entretien électrique est analogue à une sonnette ou à un vibreur. L'usage réunit des structures et des fonctionnements hétérogènes sous des genres et des espèces qui tirent leur signification du rapport entre ce fonctionnement et un autre fonctionnement, celui de l'être humain dans l'action. Donc, ce à quoi on donne un nom unique, comme, par exemple, celui de moteur, peut-être multiple dans l'instant et peut varier dans le temps en changeant d'individualité.

Cependant, au lieu de partir de l'individualité de l'objet technique, ou même de sa spécificité, qui est très instable, pour essayer

de définir les lois de sa genèse dans le cadre de cette individualité ou de cette spécificité, il est préférable de renverser le problème : c'est à partir des critères de la genèse que l'on peut définir l'individualité et la spécificité de l'objet technique : l'objet technique individuel n'est pas telle ou telle chose, donnée *hic et nunc*, mais ce dont il y a genèse (1). L'unité de l'objet technique, son individualité, sa spécificité, sont les caractères de consistance et de convergence de sa genèse. La genèse de l'objet technique fait partie de son être. L'objet technique est ce qui n'est pas antérieur à son devenir, mais présent à chaque étape de ce devenir; l'objet technique un est unité de devenir. Le moteur à essence n'est pas tel ou tel moteur donné dans le temps et dans l'espace, mais le fait qu'il y a une suite, une continuité qui va des premiers moteurs à ceux que nous connaissons et qui sont encore en évolution. A ce titre, comme dans une lignée phylogénétique, un stade défini d'évolution contient en lui des structures et des schèmes dynamiques qui sont au principe d'une évolution des formes. L'être technique évolue par convergence et par adaptation à soi; il s'unifie intérieurement selon un principe de résonance interne. Le moteur d'automobile d'aujourd'hui n'est pas le descendant du moteur de 1910, seulement parce que le moteur de 1910 était celui que construisaient nos ancêtres. Il n'est pas non plus son descendant parce qu'il est plus perfectionné relativement à l'usage; en fait, pour tel ou tel usage, un moteur de 1910 reste supérieur à un moteur de 1956. Par exemple, il peut supporter un échauffement important sans grippage ou coulage, étant construit avec des jeux plus importants et sans alliages fragiles comme le régule; il est plus autonome, possédant un allumage par magnéto.

(1) Selon des modalités déterminées qui distinguent la genèse de l'objet technique de celles des autres types d'objets : objet esthétique, être vivant. Ces modalités spécifiques de la genèse doivent être distinguées d'une spécificité statique que l'on pourrait établir après la genèse en considérant les caractères des divers types d'objets; l'emploi de la méthode génétique a précisément pour objet d'éviter l'usage d'une pensée classificatrice intervenant après la genèse pour répartir la totalité des objets en genres et en espèces convenant au discours. L'évolution passée d'un être technique reste à titre essentiel dans cet être sous forme de technicité. L'être technique, porteur de technicité selon la démarche que nous nommerons analectique, ne peut être l'objet d'une connaissance adéquate que si cette dernière saisit en lui le sens temporel de son évolution; cette connaissance adéquate est la culture technique, distincte du savoir technique qui se borne à saisir dans l'actualité les schèmes isolés du fonctionnement. Les relations qui existent au niveau de la technicité entre un objet technique et un autre étant horizontales aussi bien que verticales, une connaissance qui procède par genre et espèces ne convient pas : nous tenterons d'indiquer en quel sens la relation entre les objets techniques est transductive.

D'anciens moteurs fonctionnent sans défaillance sur des bateaux de pêche, après avoir été pris sur une automobile hors d'usage. C'est par un examen intérieur des régimes de causalité et des formes en tant qu'elles sont adaptées à ces régimes de causalité que le moteur d'automobile actuel est défini comme postérieur au moteur de 1910. Dans un moteur actuel, chaque pièce importante est tellement rattachée aux autres par des échanges réciproques d'énergie qu'elle ne peut pas être autre qu'elle n'est. La forme de la chambre d'explosion, la forme et les dimensions des soupapes, la forme du piston font partie d'un même système dans lequel existent une multitude de causalités réciproques. A telle forme de ces éléments correspond un certain taux de compression, qui exige lui-même un degré déterminé d'avance à l'allumage; la forme de la culasse, le métal dont elle est faite, en relation avec tous les autres éléments du cycle, produisent une certaine température des électrodes de la bougie d'allumage; à son tour, cette température réagit sur les caractéristiques de l'allumage et donc du cycle tout entier. On pourrait dire que le moteur actuel est un moteur concret, alors que le moteur ancien est un moteur abstrait. Dans le moteur ancien, chaque élément intervient à un certain moment dans le cycle, puis est censé ne plus agir sur les autres éléments; les pièces du moteur sont comme des personnes qui travailleraient chacune à leur tour, mais ne se connaîtraient pas les unes les autres.

C'est d'ailleurs bien ainsi que l'on explique dans les classes le fonctionnement des moteurs thermiques, chaque pièce étant isolée des autres comme les traits qui la représentent au tableau noir, dans l'espace géométrique *partes extra partes*. Le moteur ancien est un assemblage logique d'éléments définis par leur fonction complète et unique. Chaque élément peut accomplir au mieux sa fonction propre s'il est comme un instrument parfaitement finalisé, orienté tout entier vers l'accomplissement de cette fonction. Un échange permanent d'énergie entre deux éléments apparaît comme une imperfection, si cet échange ne fait pas partie du fonctionnement théorique; aussi, il existe une forme primitive de l'objet technique, *la forme abstraite*, dans laquelle chaque unité théorique et matérielle est traitée comme un absolu, achevée dans une perfection intrinsèque nécessitant, pour son fonctionnement, d'être constituée en système fermé; l'intégration à l'ensemble offre dans ce cas une série de problèmes à résoudre qui sont dits techniques et qui, en fait, sont des problèmes de compatibilité entre des ensembles déjà donnés.

Ces ensembles déjà donnés doivent être maintenus, conservés malgré leurs influences réciproques. Alors apparaissent des structures particulières que l'on peut nommer, pour chaque unité constituante, des structures de défense : la culasse du moteur thermique à combustion interne se hérisse d'ailettes de refroidissement, particulièrement développées dans la région des soupapes, soumise à des échanges thermiques intenses et à des pressions élevées. Ces ailettes de refroidissement, dans les premiers moteurs, sont comme ajoutées de l'extérieur au cylindre et à la culasse théoriques, géométriquement cylindriques; elles ne remplissent qu'une seule fonction, celle du refroidissement. Dans les moteurs récents, ces ailettes jouent en plus un rôle mécanique, s'opposant comme des nervures à une déformation de la culasse sous la poussée des gaz; dans ces conditions, on ne peut plus distinguer l'unité volumétrique (cylindre, culasse) et l'unité de dissipation thermique; si l'on supprimait par sciage ou meulage les ailettes de la culasse d'un moteur à refroidissement par air actuel, l'unité volumétrique constituée par la culasse seule ne serait plus viable, même en tant qu'unité volumétrique : elle se déformerait sous la pression des gaz; l'unité volumétrique et mécanique est devenue coextensive à l'unité de dissipation thermique, car la structure de l'ensemble est bivalente : les ailettes, par rapport aux filets d'air extérieur, constituent une surface de refroidissement par échanges thermiques : ces mêmes ailettes, en tant qu'elles font partie de la culasse, limitent la chambre d'explosion par un contour indéformable employant moins de métal que n'en nécessiterait une coque non nervurée; le développement de cette structure unique n'est pas un compromis, mais une concomitance et une convergence : une culasse nervurée peut être plus mince qu'une culasse lisse avec la même rigidité; or, par ailleurs, une culasse mince autorise des échanges thermiques plus efficaces que ceux qui pourraient s'effectuer à travers une culasse épaisse; la structure bivalente ailette-nervure améliore le refroidissement non pas seulement en augmentant la surface d'échanges thermiques (ce qui est le propre de l'ailette en tant qu'ailette), mais aussi en permettant un amincissement de la culasse (ce qui est le propre de l'ailette en tant que nervure).

Le problème technique est donc plutôt celui de la convergence des fonctions dans une unité structurale que celui d'une recherche de compromis entre des exigences en conflit. Si le conflit subsiste entre les deux aspects de la structure unique, dans le cas envisagé, c'est seulement en tant que la position des nervures correspondant

au maximum de rigidité n'est pas nécessairement celle qui convient au meilleur refroidissement, en facilitant l'écoulement des filets d'air entre les ailettes, lorsque le véhicule est en marche. Dans ce cas, le constructeur peut être obligé de conserver un caractère mixte incomplet : les ailettes-nervures, si elles sont disposées pour le meilleur refroidissement, devront être plus épaisses et plus rigides qu'elles ne le seraient si elles étaient seulement des nervures. Si au contraire elles sont disposées de manière à résoudre parfaitement le problème d'obtention de la rigidité, elles sont d'une surface plus grande, afin de retrouver par un développement de la surface ce que le ralentissement des filets d'air fait perdre dans l'échange thermique; enfin, les ailettes peuvent encore être dans leur structure même un compromis entre les deux formes, ce qui nécessite un développement plus grand que si une seule des fonctions était prise pour fin de la structure. Cette divergence des directions fonctionnelles reste comme un résidu d'abstraction dans l'objet technique, et c'est la réduction progressive de cette marge entre les fonctions des structures plurivalentes qui définit le progrès d'un objet technique; c'est cette convergence qui spécifie l'objet technique, car il n'y a pas, à une époque déterminée, une infinie pluralité de systèmes fonctionnels possibles; les espèces techniques sont en nombre beaucoup plus restreint que les usages auxquels on destine les objets techniques; les besoins humains se diversifient à l'infini, mais les directions de convergence des espèces techniques sont en nombre fini.

L'objet technique existe donc comme type spécifique obtenu au terme d'une série convergente. Cette série va du mode abstrait au mode concret : elle tend vers un état qui ferait de l'être technique un système entièrement cohérent avec lui-même, entièrement unifié.

II. — Conditions de l'évolution technique

Quelles sont les *raisons* de cette convergence qui se manifeste dans l'évolution des structures techniques? — Il existe sans doute un certain nombre de causes extrinsèques, et tout particulièrement celles qui tendent à produire la standardisation des pièces et des organes de rechange. Toutefois, ces causes extrinsèques ne sont pas plus puissantes que celles qui tendent à la multiplication des types, appropriée à l'infinie variété des besoins. Si les objets techniques évoluent vers un petit nombre de types spécifiques, c'est en vertu d'une nécessité interne et non par suite d'influences économiques ou

d'exigences pratiques; ce n'est pas le travail à la chaîne qui produit la standardisation, mais la standardisation intrinsèque qui permet au travail à la chaîne d'exister. Un effort pour découvrir, dans le passage de la production artisanale à la production industrielle, la raison de la formation des types spécifiques d'objets techniques prendrait la conséquence pour la condition; l'industrialisation de la production est rendue possible par la formation des types stables. L'artisanat correspond au stade primitif de l'évolution des objets techniques, c'est-à-dire au stade abstrait; l'industrie correspond au stade concret. Le caractère d'objet *sur mesures* que l'on trouve dans le produit du travail de l'artisan est inessentiel; il résulte de cet autre caractère, essentiel, de l'objet technique abstrait, qui est d'être fondé sur une organisation analytique, laissant toujours la voie libre à des possibles nouveaux; ces possibles sont la manifestation extérieure d'une contingence intérieure. Dans l'affrontement de la cohérence du travail technique et de la cohérence du système des besoins de l'utilisation, c'est la cohérence de l'utilisation qui l'emporte parce que l'objet technique sur mesures est en fait un objet sans mesure intrinsèque; ses normes lui viennent de l'extérieur : il n'a pas encore réalisé sa cohérence interne; il n'est pas un système du nécessaire; il correspond à un système ouvert d'exigences.

Au contraire, au niveau industriel, l'objet a acquis sa cohérence, et c'est le système des besoins qui est moins cohérent que le système de l'objet; les besoins se moulent sur l'objet technique industriel, qui acquiert ainsi le pouvoir de modeler une civilisation. C'est l'utilisation qui devient un ensemble taillé sur les mesures de l'objet technique. Lorsqu'une fantaisie individuelle réclame une automobile sur mesures, le constructeur ne peut mieux faire que de prendre un moteur de série, un châssis de série, et de modifier extérieurement quelques caractères, en ajoutant des détails décoratifs ou des accessoires raccordés extérieurement à l'automobile comme objet technique essentiel : ce sont les aspects inessentiels qui peuvent être faits sur mesure, parce qu'ils sont contingents.

Le type de rapports qui existe entre ces aspects inessentiels et la nature propre du type technique est négatif : plus la voiture doit répondre à des exigences importantes de l'utilisateur, plus ses caractères essentiels sont grevés d'une servitude extérieure; la carrosserie s'alourdit d'accessoires, les formes ne correspondent plus aux structures permettant le meilleur écoulement des filets d'air. Le caractère *sur mesure* n'est pas seulement inessentiel, il va contre l'essence de l'être technique, il est comme un poids mort qu'on lui

impose du dehors. Le centre de gravité de la voiture s'élève, la masse augmente.

Cependant, il ne suffit pas d'affirmer que l'évolution de l'objet technique se fait par un passage d'un ordre analytique à un ordre synthétique conditionnant le passage de la production artisanale à la production industrielle : même si cette évolution est nécessaire, elle n'est pas automatique, et il convient de rechercher les causes de ce mouvement évolutif. Ces causes résident essentiellement dans l'imperfection de l'objet technique abstrait. En raison de son caractère analytique, cet objet emploie plus de matière et demande plus de travail de construction; logiquement plus simple, il est techniquement plus compliqué, car il est fait du rapprochement de plusieurs systèmes complets. Il est plus fragile que l'objet technique concret, car l'isolement relatif de chaque système constituant un sous-ensemble de fonctionnement menace, en cas de non-fonctionnement de ce système, la conservation des autres systèmes. Ainsi, dans un moteur à combustion interne, le refroidissement pourrait être réalisé par un sous-ensemble entièrement autonome; si ce sous-ensemble cesse de fonctionner, le moteur peut être détérioré; si, au contraire, le refroidissement est réalisé par un effet solidaire du fonctionnement d'ensemble, le fonctionnement implique refroidissement; en ce sens, un moteur à refroidissement par air est plus concret qu'un moteur à refroidissement par eau : le rayonnement thermique infrarouge et la convection sont des effets qui ne peuvent pas ne pas se produire; ils sont nécessités par le fonctionnement; le refroidissement par eau est semi-concret : s'il était réalisé entièrement par thermo-siphon *, il serait presque aussi concret que le refroidissement direct par air; mais l'emploi d'une pompe à eau, recevant de l'énergie du moteur par l'intermédiaire d'une courroie de transmission, augmente le caractère d'abstraction de ce type de refroidissement; on peut dire que le refroidissement par eau est concret en tant que système de sécurité (la présence de l'eau permet un refroidissement sommaire pendant quelques minutes grâce à l'énergie calorifique absorbée par la vaporisation, si la transmission du moteur à la pompe est défaillante); mais, dans son fonctionnement normal, ce système est abstrait; un élément d'abstraction subsiste d'ailleurs toujours sous forme d'une possibilité d'absence d'eau dans le circuit de refroidissement. De même, l'allumage par transformateur d'impulsions et batterie d'accumulateurs est plus abstrait que l'allumage par magnéto, lui-même plus abstrait que l'allumage par compression de l'air puis injection du combustible,

pratiqué dans les moteurs Diesel. On peut dire, en ce sens, qu'un moteur à volant magnétique et à refroidissement par air est plus concret qu'un moteur de voiture du type habituel; toutes les pièces y jouent plusieurs rôles; il n'est pas surprenant que le scooter soit le fruit du travail d'un ingénieur spécialiste de l'aviation; alors que l'automobile peut se permettre de conserver des résidus d'abstraction (refroidissement par eau, allumage par batterie et transformateur d'impulsions), l'aviation est obligée de produire les objets techniques les plus concrets, afin d'augmenter la sécurité de fonctionnement et de diminuer le poids mort.

Il existe donc une convergence de contraintes économiques (diminution de la quantité de matière première, de travail, et de la consommation d'énergie pendant l'utilisation) et d'exigences proprement techniques : l'objet ne doit pas être auto-destructif, il doit se maintenir en fonctionnement stable le plus longtemps possible. De ces deux types de causes, économiques et proprement techniques, il semble que ce soient les secondes qui prédominent dans l'évolution technique; en effet, les causes économiques existent dans tous les domaines; or, ce sont surtout les domaines où les conditions techniques l'emportent sur les conditions économiques (aviation, matériel de guerre) qui sont le lieu des progrès les plus actifs. Les causes économiques, en effet, ne sont pas pures; elles interfèrent avec un réseau diffus de motivations et de préférences qui les atténuent ou même les renversent (goût du luxe, désir de la nouveauté très apparente chez les utilisateurs, propagande commerciale), si bien que certaines tendances à la complication se font jour dans les domaines où l'objet technique est connu à travers des mythes sociaux ou des mouvements d'opinion et non apprécié en lui-même; ainsi, certains constructeurs d'automobiles présentent comme un perfectionnement l'emploi d'un automatisme surabondant dans les accessoires, ou un recours systématique à la servocommande * même quand la commande directe n'excède nullement la force physique du conducteur : certains vont même jusqu'à trouver un argument de vente et une preuve de supériorité dans la suppression de moyens directs comme la mise en route de secours à la manivelle, ce qui, en fait, consiste à rendre le fonctionnement plus analytique en le subordonnant à l'emploi de l'énergie électrique disponible dans les batteries d'accumulateurs; techniquement, il y a là une complication, alors que le constructeur présente cette suppression comme une simplification montrant le caractère moderne de la voiture, et rejetant dans le passé l'image stéréotypée, affectivement désagréable, du départ

difficile. Une nuance de ridicule est ainsi projetée sur les autres voitures — celles qui conservent une manivelle — car elles se trouvent en quelque manière démodées, rejetées dans le passé par un artifice de présentation. L'automobile, objet technique chargé d'inférences psychiques et sociales, ne convient pas au progrès technique : les progrès de l'automobile viennent des domaines voisins, comme l'aviation, la marine, les camions de transport.

L'évolution spécifique des objets techniques ne se fait pas de manière absolument continue, ni non plus de manière complètement discontinue; elle comporte des paliers qui sont définis par le fait qu'ils réalisent des systèmes successifs de cohérence; entre les paliers qui marquent une réorganisation structurale, une évolution de type continu peut exister; elle est due à des perfectionnements de détail résultant de l'expérience de l'usage, et à la production de matières premières ou de dispositifs annexes mieux adaptés; ainsi, pendant trente ans, le moteur d'automobile s'est amélioré par l'emploi de métaux mieux adaptés aux conditions d'utilisation, par l'élévation du taux de compression résultant des recherches sur les carburants, et par l'étude de la forme particulière des culasses et des têtes de piston en rapport avec le phénomène de détonation *. Le problème qui consiste à produire la combustion en évitant la détonation ne peut être résolu que par un travail de type scientifique sur la propagation de l'onde explosive au sein d'un mélange carburé, à différentes pressions, à différentes températures, avec des volumes divers et à partir de points d'allumage déterminés. Mais cet effort ne conduit pas directement lui-même aux applications : le travail expérimental reste à accomplir, et il y a une technicité propre de ce cheminement dans le perfectionnnement. Les réformes de structure qui permettent à l'objet technique de se spécifier constituent ce qu'il y a d'essentiel dans le devenir de cet objet; même si les sciences n'avançaient pas pendant un certain temps, le progrès de l'objet technique vers la spécificité pourrait continuer à s'accomplir; le principe de ce progrès est en effet la manière dont l'objet se cause et se conditionne lui-même dans son fonctionnement et dans les réactions de son fonctionnement sur l'utilisation; l'objet technique, issu d'un travail abstrait d'organisation de sous-ensembles, est le théâtre d'un certain nombre de relations de causalité réciproque.

Ce sont ces relations qui font que, à partir de certaines limites dans les conditions d'utilisation, l'objet trouve à l'intérieur de son propre fonctionnement des obstacles : *c'est dans les incompatibi-*

lités naissant de la saturation progressive du système de sous-ensembles que réside le jeu de limites dont le franchissement constitue un progrès (1); mais à cause de sa nature même, ce franchissement ne peut se faire que par un bond, par une modification de la répartition interne des fonctions, un réarrangement de leur système; ce qui était obstacle doit devenir moyen de réalisation. Tel est le cas de l'évolution du tube électronique, dont le type le plus courant est la lampe de radio. Ce sont les obstacles intérieurs s'opposant au bon fonctionnement de la triode qui ont causé les réformes de structure au terme desquelles se trouvent les séries actuelles de lampes. Un des phénomènes les plus gênants de la triode était la capacité mutuelle importante dans le système formé par la grille de commande et l'anode; cette capacité créait en effet un couplage capacitif entre ces deux électrodes, et on ne pouvait augmenter notablement la dimension de ces électrodes sans risquer de voir s'amorcer une auto-oscillation; on devait compenser ce couplage interne inévitable par des procédés externes de montage, en particulier par le neutrodynage, que l'on pratiquait en utilisant un montage à lampes symétriques, avec liaison croisée anodes-grilles.

Pour résoudre la difficulté au lieu de la tourner, on fit intervenir à l'intérieur de la triode, entre la grille de commande et l'anode, un blindage électrostatique; or, cette adjonction n'apporte pas seulement l'avantage que procure un écran électrique. L'écran ne peut remplir seulement la fonction de découplage à laquelle il était destiné : placé dans l'espace compris entre la grille et l'anode, il intervient par sa différence de potentiel (par rapport à la grille et par rapport à l'anode) comme grille par rapport à l'anode et comme anode par rapport à la grille. Il faut qu'il soit porté à un potentiel supérieur à celui de la grille et inférieur à celui de l'anode; sans cette condition, aucun électron ne passe ou bien les électrons se portent sur l'écran et non sur l'anode. L'écran intervient donc sur les électons en transit entre grille et anode; il est lui-même une grille et une anode; ces deux fonctions conjuguées ne sont pas intentionnellement obtenues; elles s'imposent d'elles-mêmes par surcroît, en raison du caractère de système que présente l'objet technique. Pour que l'écran puisse être introduit dans la triode sans perturber son fonctionnement il faut qu'il remplisse, en même temps que a fonction électrostatique, des fonctions relatives aux électrons

(1) Ce sont les conditions d'individuation d'un système.

en transit. Considéré comme un simple blindage électrostatique, il pourrait être porté à une tension quelconque pourvu que cette tension soit continue; mais il perturberait alors le fonctionnement dynamique de la triode. Il devient nécessairement grille accélératrice du flux d'électrons, et joue un rôle positif dans le fonctionnement dynamique : il accroît notablement la résistance interne, et par conséquent le coefficient d'amplification, s'il est porté à une tension déterminée, définie par la position exacte qu'il occupe dans l'espace grille-anode. La tétrode n'est plus seulement alors une triode sans couplage électrostatique entre l'anode et la grille de commande; la tétrode est un tube électronique à grande pente, avec lequel on peut obtenir une amplification en tension de l'ordre de 200, au lieu de 30 à 50 pour la triode.

Cette découverte entraînait cependant un inconvénient : dans la tétrode, le phénomène d'émission secondaire d'électrons par l'anode devenait gênant, et tendait à renvoyer en sens inverse sur l'écran tous les électrons provenant de la cathode et qui avaient franchi la grille de commande (électrons primaires); Tellegen introduisit alors un nouvel écran entre le premier écran et l'anode : cette grille, à larges mailles, portée à un potentiel négatif par rapport à l'anode et à l'écran (généralement le potentiel de la cathode ou un potentiel encore plus négatif) ne gêne pas l'arrivée sur l'anode des électrons accélérés venant de la cathode, mais se comporte comme une grille de commande polarisée négativement et empêche le retour en sens inverse des électrons secondaires. La penthode est ainsi l'aboutissement de la tétrode, en ce sens qu'elle comporte une grille de commande supplémentaire à potentiel fixe qui complète le schème dynamique de fonctionnement; toutefois, le même effet d'irréversibilité peut être obtenu par la concentration du flux d'électrons en faisceaux; si les barreaux de la grille-écran accélératrice sont placés dans l'ombre électrique des barreaux de la grille de commande, le phénomène d'émission secondaire devient très réduit. De plus, la variation de capacité en cours de fonctionnement entre la cathode et la grille-écran devient très faible (0,2 pF au lieu de 1,8 pF), ce qui supprime pratiquement tout glissement de fréquence lorsque le tube est utilisé dans un montage générateur d'oscillations. On pourrait dire en conséquence que le schème de fonctionnement de la tétrode n'est pas parfaitement complet par lui-même, si l'on conçoit l'écran comme un simple blindage électrostatique, c'est-à-dire comme une enceinte portée à une tension continue quelconque; une telle définition serait trop large, trop ouverte; elle nécessite l'in-

corporation fonctionnelle multiple de l'écran au tube électronique, ce qui se fait en réduisant la marge d'indétermination de la tension continue à appliquer à l'écran (pour qu'il soit accélérateur) et de sa position dans l'espace grille-anode; une première réduction consiste à préciser que la tension continue devra être intermédiaire entre la tension de grille et la tension d'anode; on obtient alors une structure qui est stable relativement à l'accélération des électrons primaires, mais qui reste encore indéterminée relativement au trajet des électrons secondaires issus de l'anode; cette structure est encore trop ouverte, trop abstraite; elle peut être fermée, de manière à correspondre à un fonctionnement nécessaire et stable, soit au moyen d'une structure supplémentaire — la grille suppresseuse ou troisième grille —, soit par une précision plus grande apportée à la disposition de la grille-écran relativement aux autres éléments, et qui consiste à aligner ses barreaux avec ceux de la grille de commande. Il est à remarquer que l'adjonction d'une troisième grille équivaut à l'adjonction d'un degré de détermination plus grand à la disposition de la grille-écran : il y a réversibilité entre le caractère fonctionnel de la détermination des structures déjà existantes par leur causalité réciproque et le caractère fonctionnel d'une structure supplémentaire; fermer par une détermination supplémentaire le système de causalité réciproque des structures déjà existantes équivaut à ajouter une structure nouvelle, spécialisée dans l'accomplissement d'une fonction déterminée. Il existe dans l'objet technique une réversibilité de la fonction et de la structure; une surdétermination du système des structures dans le régime de leur fonctionnement rend l'objet technique plus concret en stabilisant le fonctionnement sans ajouter une structure nouvelle. Une tétrode à faisceaux dirigés équivaut à une penthode; elle lui est même supérieure dans la fonction d'amplificatrice de puissance des fréquences acoustiques, en raison du taux plus bas de distorsion qu'elle produit. L'adjonction d'une structure supplémentaire n'est un véritable progrès pour l'objet technique que si cette structure s'incorpore concrètement à l'ensemble des schèmes dynamiques de fonctionnement; pour cette raison, nous dirons que la tétrode à faisceaux dirigés est plus concrète que la penthode.

On ne doit pas confondre une augmentation du caractère concret de l'objet technique avec un élargissement des possibilités de l'objet technique par complication de sa structure; ainsi, une lampe bigrille (qui permet une action séparée sur deux grilles de commande indépendantes l'une de l'autre dans un unique espace cathode-anode)

n'est pas plus concrète qu'une triode; elle est du même ordre que la triode, et pourrait être remplacée par deux triodes indépendantes dont on réunirait extérieurement les cathodes et les anodes tout en laissant les grilles de commande indépendantes. Par contre, la tétrode à faisceaux dirigés est plus évoluée que la triode de Lee de Forest, parce qu'elle réalise le développement, le perfectionnement du schème primitif de la modulation d'un flux d'électrons par des champs électriques fixes ou variables.

La triode primitive comporte davantage d'indétermination que les tubes électroniques modernes, parce que les interactions entre les éléments structuraux au cours du fonctionnement ne sont pas définies, sauf pour une seule d'entre elles, à savoir la fonction modulatrice du champ électrique créé par la grille de commande. Les précisions et fermetures successives apportées à ce système *transforment en fonctions stables* les inconvénients apparaissant d'eux-mêmes lors du fonctionnement : dans la nécessité de la polarisation négative de la grille pour parer à l'échauffement et à l'émission secondaire est contenue la possibilité de dédoublement de la grille primitive en grille de commande et grille accélératrice; dans un tube qui possède une grille accélératrice, la polarisation négative de la grille de commande peut être réduite à quelques volts, 1 volt dans certains cas; la grille de commande devient presque uniquement une grille de commande : sa fonction est plus efficace, la pente du tube augmente. La grille de commande se rapproche de la cathode; au contraire, la seconde grille, l'écran, s'en éloigne et s'établit à peu près à égale distance de l'anode et de la cathode. En même temps, le fonctionnement devient plus strict; le système dynamique se ferme comme une axiomatique se sature. On pouvait régler la pente des premières triodes par variation potentiométrique de la tension de chauffage de la cathode, agissant sur la densité du flux d'électrons; cette possibilité n'est plus guère utilisable avec les penthodes à grande pente, dont les caractéristiques seraient profondément altérées par une variation importante de la tension de chauffage.

Certes, il paraît contradictoire d'affirmer que l'évolution de l'objet technique obéit à la fois à un processus de différenciation (la grille de commande de la triode se divise en trois grilles dans la penthode) et à un processus de concrétisation, chaque élément structural remplissant plusieurs fonctions au lieu d'une seule; mais en fait ces deux processus sont liés l'un à l'autre; la différenciation est possible parce que cette différenciation permet d'intégrer au fonctionnement

d'ensemble, de manière consciente et calculée en vue d'un résultat nécessaire, des effets corrélatifs du fonctionnement global et qui étaient tant bien que mal corrigés par des palliatifs séparés de l'accomplissement de la fonction principale.

Un même type d'évolution se remarque dans le passage du tube de Crookes au tube de Coolidge; le premier n'est pas seulement moins efficace que le second; il est aussi moins stable dans son fonctionnement, et plus complexe; en effet, le tube de Crookes utilise la tension cathode-anode pour dissocier des molécules ou atomes de gaz monoatomiques en ions positifs et électrons, puis pour accélérer ces électrons et leur communiquer une énergie cinétique importante avant le choc contre l'anticathode; au contraire, dans le tube de Coolidge, la fonction de production des électrons est dissociée de celle de l'accélération des électrons déjà produits; la production est réalisée par effet thermoélectronique (dit abusivement thermoïonique, sans doute parce qu'il remplace la production d'électrons par ionisation), et l'accélération a lieu ultérieurement; les fonctions se trouvent ainsi purifiées par leur dissociation, et les structures correspondantes sont à la fois plus distinctes et plus riches; la cathode chaude du tube de Coolidge est plus riche du point de vue de la structure et de la fonction que la cathode froide du tube de Crookes; pourtant, elle est aussi parfaitement une cathode, envisagée du point de vue électrostatique; elle l'est même davantage, puisqu'elle comprend un lieu assez étroitement localisé de naissance des thermoélectrons, et que la forme de la surface de la cathode entourant le filament détermine un gradient électrostatique qui permet de focaliser les électrons en un étroit faisceau tombant sur l'anode (de quelques millimètres carrés dans les tubes courants); au contraire, le tube de Crookes ne comporte pas de lieu assez étroitement défini de naissance des électrons pour qu'il soit possible de focaliser très efficacement le faisceau, et d'obtenir ainsi une source de rayons X se rapprochant de la ponctualité idéale.

Par ailleurs, la présence du gaz ionisable dans le tube de Crookes n'offrait pas seulement l'inconvénient de l'instabilité (durcissement du tube par fixation des molécules sur les électrodes; nécessité de ménager des écluses pour réintroduire du gaz dans le tube); cette présence du gaz apportait aussi un inconvénient essentiel : les molécules de gaz offraient un obstacle aux électrons déjà produits en cours d'accélération dans le champ électrique entre cathode et anode; cet inconvénient offre un exemple typique des caractères

d'antagonisme fonctionnel dans les processus d'un objet technique abstrait : le même gaz qui est nécessaire pour produire les électrons à accélérer est un obstacle à leur accélération. C'est cet antagonisme qui disparaît dans le tube de Coolidge, qui est un tube à vide poussé. Il disparaît par le fait que les groupes de fonctions synergiques sont distribués à des structures définies; chaque structure gagne à cette redistribution une plus grande richesse fonctionnelle et une plus parfaite précision structurale; c'est le cas pour la cathode qui, au lieu d'être une simple calotte sphérique ou hémisphérique de métal quelconque, devient un ensemble formé d'une cuvette parabolique au foyer de laquelle se trouve un filament producteur de thermoélectrons; l'anode, qui, dans le tube de Crookes, occupait une position quelconque par rapport à la cathode, se confond géométriquement avec l'ancienne anticathode; la nouvelle anode-anticathode joue les deux rôles synergiques de productrice d'une différence de potentiel par rapport à la cathode (rôle d'anode) et d'obstacle contre lequel frappent les électrons accélérés par la chute de potentiel, transformant leur énergie cinétique en énergie lumineuse de très courte longueur d'onde.

Ces deux fonctions sont synergiques parce que c'est après avoir subi toute la chute de potentiel du champ électrique que les électrons ont acquis le maximum d'énergie cinétique; c'est donc à la fois à ce moment et à cet endroit qu'il est possible d'en retirer la plus grande quantité d'énergie électromagnétique en les arrêtant brusquement. La nouvelle anode-anticathode joue enfin un rôle dans l'évacuation de la chaleur produite (en raison du mauvais rendement de la transformation d'énergie cinétique des électrons en énergie électromagnétique, environ 1 %), et cette nouvelle fonction est remplie en parfaite concordance avec les deux précédentes : une dalle de métal difficilement fusible, comme du tungstène, est encastrée dans le barreau massif de cuivre scié en biseau qui forme l'anode-anticathode, au point d'impact du faisceau d'électrons; la chaleur développée sur cette dalle est conduite à l'extérieur du tube par le barreau de cuivre, développé extérieurement en ailettes de refroidissement.

Il y a synergie des trois fonctions, car les caractéristiques électriques du barreau de cuivre bon conducteur de l'électricité vont de pair avec les caractéristiques thermiques de ce même barreau bon conducteur de la chaleur; par ailleurs, la section en biseau du barreau de cuivre convient également à la fonction de cible-obstacle (anticathode), à celle d'accélération des électrons (anode) et à celle

d'évacuation de la chaleur produite. On peut dire, dans ces conditions, que le tube de Coolidge est un tube de Crookes à la fois simplifié et concrétisé, dans lequel chaque structure remplit des fonctions plus nombreuses, mais synergiques. L'imperfection du tube de Crookes, son caractère abstrait et artisanal, nécessitant de fréquentes retouches dans le fonctionnement, provenaient de l'antagonisme des fonctions remplies par le gaz raréfié; c'est ce gaz qui est supprimé dans le tube de Coolidge. Sa structure floue correspondant à l'ionisation est entièrement remplacée par la nouvelle caractéristique thermoélectronique de la cathode, parfaitement nette.

Ainsi, ces deux exemples tendent à montrer que la différenciation va dans le même sens que la condensation de fonctions multiples sur la même structure, parce que la différenciation des structures au sein du système des causalités réciproques permet de supprimer (en les intégrant au fonctionnement) des effets secondaires qui étaient jadis des obstacles. La spécialisation de chaque structure est une spécialisation d'unité fonctionnelle synthétique positive, libérée des effets secondaires non recherchés qui amortissent ce fonctionnement; l'objet technique progresse par redistribution intérieure des fonctions en unités compatibles, remplaçant le hasard ou l'antagonisme de la répartition primitive; la spécialisation ne se fait pas *fonction par fonction*, mais *synergie par synergie*; c'est le groupe synergique de fonctions et non la fonction unique qui constitue le véritable sous-ensemble dans l'objet technique. C'est à cause de cette recherche des synergies que la concrétisation de l'objet technique peut se traduire par un aspect de simplification; l'objet technique concret est celui qui n'est plus en lutte avec lui-même, celui dans lequel aucun effet secondaire ne nuit au fonctionnement de l'ensemble ou n'est laissé en dehors de ce fonctionnement. De cette manière et pour cette raison, dans l'objet technique devenu concret, une fonction peut-être remplie par plusieurs structures associées synergiquement, alors que dans l'objet technique primitif et abstrait chaque structure est chargée de remplir une fonction définie, et généralement une seule. L'essence de la concrétisation de l'objet technique est l'organisation des sous-ensembles fonctionnels dans le fonctionnement total; en partant de ce principe, on peut comprendre en quel sens s'opère la redistribution des fonctions dans le réseau des différentes structures, aussi bien dans l'objet technique abstrait que dans l'objet technique concret : chaque structure remplit plusieurs fonctions; mais dans l'objet technique abstrait, elle ne remplit qu'une seule fonction essentielle et positive, intégrée au fonctionnement de l'ensemble; dans l'objet technique concret, toutes les fonctions que remplit la structure sont positives, essentielles, et intégrées au fonctionnement d'ensemble; les conséquences marginales du fonctionnement, éliminées ou atténuées par des correctifs dans l'objet abstrait, deviennent des étapes ou des aspects positifs dans l'objet concret; le schème de fonctionnement incorpore les aspects marginaux; les conséquences qui étaient sans intérêt ou nuisibles deviennent des chaînons du fonctionnement.

Ce progrès suppose que chaque structure soit consciemment affectée par le constructeur des caractères qui correspondent à toutes les composantes de son fonctionnement, comme si l'objet artificiel ne différait en rien d'un système physique étudié sous tous les aspects connaissables des échanges d'énergie, des transformations physiques et chimiques; chaque pièce, dans l'objet concret, n'est plus seulement ce qui a pour essence de correspondre à l'accomplissement d'une fonction voulue par le constructeur, mais une partie d'un système où s'exercent une multitude de forces et se produisent des effets indépendants de l'intention fabricatrice. L'objet technique concret est un système physico-chimique dans lequel les actions mutuelles s'exercent selon toutes les lois des sciences. La finalité de l'intention technique ne peut atteindre sa perfection dans la construction de l'objet que si elle s'identifie à la connaissance scientifique universelle. Il faut bien préciser que cette dernière connaissance doit être universelle, car le fait que l'objet technique appartient à la classe factice des objets répondant à tel besoin humain défini ne limite et ne définit en rien le type d'actions physico-chimiques qui peuvent s'exercer dans cet objet ou entre cet objet et le monde extérieur. La différence entre l'objet technique et le système physico-chimique étudié comme objet ne réside que dans l'imperfection des sciences; les connaissances scientifiques qui servent de guide pour prévoir l'universalité des actions mutuelles s'exerçant dans le système technique restent affectées d'une certaine imperfection; elles ne permettent pas de prévoir absolument tous les effets avec une rigoureuse précision; c'est pourquoi il subsiste une certaine distance entre le système des intentions techniques correspondant à une finalité définie et le système scientifique de la connaissance des interactions causales qui réalisent cette fin; l'objet technique n'est jamais complètement connu; pour cette raison même, il n'est jamais non plus complètement concret, si ce n'est

par une rencontre très rare du hasard. La distribution ultime des fonctions aux structures et le calcul exact des structures ne pourraient se faire que si la connaissance scientifique de tous les phénomènes susceptibles d'exister dans l'objet technique était complètement acquise; comme ce n'est pas le cas, il subsiste une certaine différence entre le schème technique de l'objet (comportant la représentation d'une finalité humaine) et le tableau scientifique des phénomènes dont il est le siège (ne comportant que des schèmes de causalité efficiente, mutuelle ou récurrente).

La concrétisation des objets techniques est conditionnée par le rétrécissement de l'intervalle qui sépare les sciences des techniques; la phase artisanale primitive est caractérisée par une faible corrélation entre sciences et techniques, alors que la phase industrielle est caractérisée par une corrélation élevée. La construction d'un objet technique déterminé peut devenir industrielle lorsque cet objet est devenu concret, ce qui signifie qu'il est connu d'une manière à peu près identique selon l'intention constructive et selon le regard scientifique. Ainsi s'explique le fait que certains objets ont pu être construits de manière industrielle bien avant d'autres; un treuil, un palan, des moufles, une presse hydraulique sont des objets techniques dans lesquels les phénomènes de frottement, d'électrisation, d'induction électrodynamique, d'échanges thermiques et chimiques peuvent être négligés dans la majorité des cas sans entraîner une destruction de l'objet ou un mauvais fonctionnement; la mécanique rationnelle classique permet de connaître scientifiquement les phénomènes principaux qui caractérisent le fonctionnement de ces objets nommés machines simples : par contre, il eût été impossible de construire industriellement au XVII[e] siècle une pompe centrifuge à gaz ou un moteur thermique. Le premier moteur thermique industriellement construit, celui de Newcommen, n'utilisait que la dépression, parce que le phénomène de condensation d'une vapeur sous l'influence du refroidissement était scientifiquement connu. De même, les machines électrostatiques sont restées artisanales presque jusqu'à nos jours, parce que les phénomènes de production et de transport des charges par diélectriques, puis d'écoulement de ces charges par effet Corona, connus qualitativement depuis le XVIII[e] siècle au moins, n'avaient pas fait l'objet d'études scientifiques très rigoureuses; après la machine de Wimshurst, le générateur Van de Graaf lui-même conserve quelque chose d'artisanal, malgré ses grandes dimensions et sa puissance élevée.

III. — Rythme du progrès technique; perfectionnement continu et mineur, perfectionnement discontinu et majeur

C'est donc essentiellement la découverte des synergies fonctionnelles qui caractérise le progrès dans le développement de l'objet technique. Il convient alors de se demander si cette découverte se fait d'un seul coup ou de manière continue. En tant que réorganisation des structures intervenant dans le fonctionnement, elle se fait de manière brusque, mais peut comporter plusieurs étapes successives; ainsi, le tube de Coolidge ne pouvait être conçu avant la découverte par Fleming de la production d'électrons par un métal chauffé; mais le tube de Coolidge à anode-anticathode statique n'est pas nécessairement la dernière version du tube producteur de rayons X ou de rayons Gamma. Il peut être amélioré et approprié à des usages plus particuliers. Par exemple, un perfectionnement important, permettant d'obtenir une source de rayons X plus proche du point géométrique idéal, a consisté à employer une anode en forme de plateau massif monté sur un axe, dans le tube : ce plateau peut être mis en mouvement par un champ magnétique qu'un inducteur placé à l'extérieur du tube crée, et par rapport auquel le plateau est un rotor comportant un induit; la région d'impact des électrons devient une ligne circulaire près du bord du plateau de cuivre, et offre donc des possibilités très vastes de dissipation thermique; toutefois, de manière statique et géométrique, le lieu où l'impact se produit est fixe par rapport à la cathode et au tube : le faisceau de rayons X provient donc d'un foyer géométriquement fixe, bien que l'anticathode défile à grande vitesse en ce point fixe. Les tubes à anode tournante permettent d'accroître la puissance sans augmenter la dimension de la région d'impact, ou de réduire la dimension de la région d'impact sans diminuer la puissance; or, cette anode tournante remplit aussi parfaitement qu'une anode fixe les fonctions d'accélération et d'arrêt des électrons; elle remplit mieux la fonction d'évacuation de la chaleur, ce qui permet d'améliorer les caractéristiques optiques du tube pour une puissance déterminée.

Doit-on alors considérer l'invention de l'anode tournante comme apportant au tube de Coolidge une concrétisation structurale ? — Non, car elle a surtout pour rôle de diminuer un inconvénient qui n'a pu être converti en un aspect positif du fonctionnement d'ensemble. L'inconvénient du tube de Coolidge, l'aspect résiduel d'an-

tagonisme qui subsiste dans son fonctionnement est son mauvais rendement dans la conversion de l'énergie cinétique en rayonnement électromagnétique; sans doute, ce mauvais rendement ne constitue pas un antagonisme direct entre les fonctions, mais il se convertit pratiquement en un antagonisme réel; si la température de fusion de la dalle en tungstène et du barreau de cuivre était infiniment élevée, on pourrait concentrer très finement un faisceau très puissant d'électrons très rapides; mais comme en fait on atteint assez rapidement la température de fusion du tungstène, on se trouve limité par ce mauvais rendement qui fait apparaître une grosse quantité de chaleur, et il faut se résoudre à sacrifier la finesse du faisceau ou la densité du flux d'électrons ou la vitesse des électrons, ce qui revient à sacrifier la ponctualité de la source de rayons X, la quantité d'énergie électromagnétique rayonnée ou la pénétration des rayons X obtenus. Si l'on pouvait découvrir un moyen pour augmenter le rendement de la transformation d'énergie qui s'opère sur la dalle de l'anticathode, on améliorerait toutes les caractéristiques du tube de Coolidge, en supprimant ou diminuant le plus important des antagonismes qui subsistent dans ce fonctionnement. (L'antagonisme qui consiste en ce que le faisceau ne peut être rigoureusement concentré parce que les électrons se repoussent mutuellement puisqu'ils sont affectés de charges électriques de même signe est beaucoup plus faible; on pourrait le compenser au moyen de dispositifs de concentration comparables à ceux des oscilloscopes cathodiques ou des lentilles électrostatiques ou des électromagnétiques des miscroscopes électroniques.) L'anode tournante permet de réduire les conséquences de l'antagonisme entre la finesse et la puissance, entre les caractéristiques optiques et les caractéristiques électroniques.

Il existe donc deux types de perfectionnements : ceux qui modifient la répartition des fonctions, augmentant de manière essentielle la synergie du fonctionnement, et ceux qui, sans modifier cette répartition, diminuent les conséquences néfastes des antagonismes résiduels; un système plus régulier de graissage dans un moteur, l'utilisation de paliers auto-lubrifiants, l'emploi de métaux plus résistants ou d'assemblages plus solides sont de cet ordre de perfectionnements mineurs. Ainsi, dans les tubes électroniques, la découverte du pouvoir émissif élevé de certains oxydes ou de métaux comme le thorium a permis de construire des cathodes à oxydes qui fonctionnent à température plus basse et absorbent moins d'énergie de chauffage pour une même densité du flux électronique. Quoique ce

perfectionnement soit important dans la pratique, il reste mineur, et ne s'adapte bien qu'à certains types de tubes électroniques, en raison de la relative fragilité du revêtement d'oxydes. L'anode tournante du tube de Coolidge à grande puissance est encore un perfectionnement mineur; elle remplace provisoirement un perfectionnement majeur qui consisterait en la découverte d'une transformation d'énergie à rendement élevé, permettant d'abaisser à quelques centaines de watts la puissance employée à accélérer les électrons, alors qu'elle est actuellement de plusieurs kilowatts dans les tubes de radiographie.

En ce sens, on peut dire que les perfectionnements mineurs nuisent aux perfectionnements majeurs, car ils peuvent masquer les véritables imperfections d'un objet technique, en compensant par des artifices inessentiels, incomplètement intégrés au fonctionnement d'ensemble, les véritabes antagonismes; les dangers tenant à l'abstraction se manifestent à nouveau avec les perfectionnements mineurs; ainsi, le tube de Coolidge à anode tournante est moins concret que le tube à refroidissement statique par barreau de cuivre et ailettes dans l'air; si, pour une raison quelconque, la rotation de l'anode s'arrête pendant le fonctionnement du tube, le point de l'anode qui reçoit le faisceau concentré d'électrons entre presque instantanément en fusion et tout le tube se trouve détérioré; ce caractère analytique du fonctionnement nécessite alors une nouvelle espèce de correctifs, les systèmes de sécurité par conditionnement d'un fonctionnement au moyen d'un autre fonctionnement; dans le cas analysé, il faut que le générateur de tension anodique ne puisse fonctionner que si l'anode est déjà en train de tourner; un relais subordonne la mise sous tension du transformateur fournissant la tension anodique au passage du courant dans l'inducteur du moteur de l'anode; mais cette subordination ne réduit pas complètement la distance analytique introduite par le dispositif de l'anode tournante; le courant peut passer dans l'inducteur sans que l'anode tourne effectivement, par suite, par exemple, d'une détérioration des axes; le relais peut aussi rester enclenché même si l'inducteur n'est pas sous tension.

Une complication et un perfectionnement extrêmes des systèmes annexes de sécurité ou de compensation ne peuvent que tendre vers un équivalent du concret dans l'objet technique sans l'atteindre ni même le préparer, parce que la voie empruntée n'est pas celle de la concrétisation. La voie des perfectionnements mineurs est celle des détours, utiles dans certains cas pour l'utilisation pra-

tique, mais ne faisant guère évoluer l'objet technique. Dissimulant l'essence schématique véritable de chaque objet technique sous un amoncellement de palliatifs complexes, les perfectionnements mineurs entretiennent une fausse conscience du progrès continu des objets techniques, diminuant la valeur et le sentiment d'urgence des transformations essentielles. Pour cette raison, les perfectionnements mineurs continus ne présentent aucune frontière tranchée par rapport à ce faux renouvellement que le commerce exige pour pouvoir présenter un objet récent comme supérieur aux plus anciens. Les perfectionnements mineurs peuvent être si peu essentiels qu'ils se laissent recouvrir par le rythme cyclique de formes que la mode surimpose aux lignes essentielles des objets d'usage.

Il ne suffit donc pas de dire que l'objet technique est ce dont il y a genèse spécifique procédant de l'abstrait au concret; il faut encore préciser que cette genèse s'accomplit par des perfectionnements essentiels, discontinus, qui font que le schème interne de l'objet technique se modifie par bonds et non selon une ligne continue. Cela ne signifie pas que le développement de l'objet technique se fasse au hasard et en dehors de tout sens assignable; au contraire, ce sont les perfectionnements mineurs qui s'accomplissent dans une certaine mesure au hasard, surchargeant par leur prolifération incoordonnée les lignes pures de l'objet technique essentiel. Les véritables étapes de perfectionnement de l'objet technique se font par mutations, mais par mutations orientées : le tube de Crookes contient en puissance le tube de Coolidge, car l'intention qui s'organise et se stabilise en se purifiant dans le tube de Coolidge préexistait dans le tube de Crookes, à l'état confus mais réel. Bien des objets techniques abandonnés sont des inventions inachevées qui restent comme une virtualité ouverte et pourront être reprises, prolongées dans un autre domaine, selon leur intention profonde, leur essence technique.

IV. — Origines absolues d'une lignée technique

Comme toute évolution, celle des objets techniques pose le problème des origines absolues : à quel terme premier peut-on faire remonter la naissance d'une réalité technique spécifique ? Avant la penthode et la tétrode, il y avait la triode de Lee de Forest; avant la triode de Lee de Forest, il y avait la diode. Mais qu'y avait-il

avant la diode ? La diode est-elle une origine absolue ? Pas complètement; certes, l'émission thermoélectronique n'était pas connue, mais des phénomènes de transport de charges dans l'espace par un champ électrique étaient connus depuis longtemps : l'électrolyse était connue depuis un siècle, et l'ionisation des gaz depuis plusieurs décades; l'émission thermoïonique est nécessaire à la diode en tant que schème technique, parce que la diode ne serait pas une diode s'il existait une réversibilité du transport des charges électriques; cette réversibilité n'existe pas dans les conditions normales, parce que l'une des électrodes est chaude, et par conséquent émissive, et l'autre froide, et par conséquent non émissive; ce qui fait que la diode est essentiellement une diode, une valve à deux routes, c'est que l'électrode chaude peut être presque indifféremment cathode ou anode, tandis que l'électrode froide ne peut être qu'anode, puisqu'elle ne peut émettre des électrons; elle peut seulement en attirer, si elle est positive, mais non en émettre, même si elle est négative par rapport à une autre électrode. Cela fait que, si l'on applique des tensions externes aux électrodes, un courant passera à cause de l'effet thermoélectronique si la cathode est négative par rapport à l'anode, tandis qu'aucun courant ne passera si l'électrode chaude est positive par rapport à l'électrode froide. C'est cette découverte d'une condition de dissymétrie fonctionnelle entre les électrodes qui constitue la diode, et non à proprement parler celle du transport de charges électriques à travers le vide par le moyen d'un champ électrique : les expériences d'ionisation des gaz monoatomiques avaient déjà montré que des électrons libres peuvent se déplacer dans un champ électrique; mais ce phénomène est réversible, non polarisé; si on retourne le tube à gaz raréfié, la colonne positive et les anneaux lumineux changent de côté par rapport au tube mais restent du même côté par rapport au sens du courant venant du générateur. La diode est faite de l'association de ce phénomène réversible de transport de charges électriques par un champ et de la condition d'irréversibilité créée par le fait que la production des charges électriques transportables est production d'une seule espèce de charges électriques (uniquement négatives) et par une seule des deux électrodes, l'électrode chaude; la diode est un tube à vide dans lequel existent une électrode chaude et une électrode froide, entre lesquelles on crée un champ électrique. Il y a bien là un *commencement absolu*, résidant dans l'association de cette condition d'irréversibilité des électrodes et de ce phénomène de transport des charges électriques à travers le vide : c'est une

essence technique qui est créée. La diode est une conductance asymétrique.

Cependant, on doit remarquer que cette essence est plus large que la définition de la valve de Fleming; on a découvert plusieurs autres procédés pour créer une conductance asymétrique; le contact de la galène et d'un métal, celui du cuivre et de l'oxyde de cuivre, celui du sélénuim et d'un autre métal, du germanium et d'une pointe de tungstène, du silicium cristallisé et d'une pointe de métal sont des conductances asymétriques. Enfin, on peut considérer une cellule photoélectrique comme une diode, car les photoélectrons se conduisent comme les thermoélectrons dans le vide de la cellule (dans le cas de la cellule à vide, et aussi dans celui de la cellule à gaz, mais le phénomène est compliqué par l'émission d'électrons secondaires s'ajoutant aux photoélectrons). Faut-il donc réserver le nom de diode à la valve de Fleming ? Techniquement, la valve de Fleming peut-être remplacée dans plusieurs applications par des diodes au germanium (pour les faibles intensités et les fréquences élevées) ou par des redresseurs au sélénium ou au cuproxyde, pour les applications de basse fréquence et de grande intensité. Mais l'usage ne fournit pas de bons critères : on peut aussi remplacer la valve de Fleming par un convertisseur * tournant, qui est un objet technique utilisant un schème essentiel tout à fait différent de celui de la diode. En fait, la diode thermoélectronique constitue un genre défini, qui a son existence historique; au-dessus de ce genre existe un *schème pur de fonctionnement* qui est transposable en d'autres structures, par exemple en celles des conducteurs imparfaits ou semi-conducteurs; le schème de fonctionnement est le même, à tel point que, sur un schéma théorique on peut indiquer une diode par un signe (conductance asymétrique :) qui ne préjuge pas du type de diode employé, et laisse toute liberté au constructeur. Mais le schéma technique pur définit un type d'existence de l'objet technique, saisi dans sa fonction idéale, qui est différent de la réalité du type historique; historiquement, la diode de Fleming est plus proche de la triode de Lee de Forest que du redresseur à germanium, à cuproxyde ou à sélénium et fer qui sont pourtant indiqués par les mêmes symboles schématiques et remplissent dans certains cas les mêmes fonctions, au point d'être substituables à la diode de Fleming. C'est que toute l'essence de la valve de Fleming n'est pas contenue dans son caractère de conductance asymétrique; elle est aussi ce qui produit et transporte ce flux d'électrons ralentis-

sables, accélérables, déviables, pouvant être dispersés ou concentrés, repoussés ou attirés; l'objet technique n'existe pas seulement par le résultat de son fonctionnement dans les dispositifs extérieurs (une conductance asymétrique), mais par les phénomènes dont il est le siège en lui-même : c'est par là qu'il possède une *fécondité*, une *non-saturation* qui lui donne une postérité.

On peut considérer l'objet technique primitif comme un système non saturé : les perfectionnements ultérieurs qu'il reçoit interviennent comme des progrès de ce système vers la saturation; de l'extérieur, il est possible de croire que l'objet technique s'altère et change de structure au lieu de se perfectionner. Mais on pourrait dire que l'objet technique évolue en engendrant une famille : l'objet primitif est ancêtre de cette famille. On pourrait nommer une telle évolution *évolution technique naturelle.* En ce sens, le moteur à gaz est ancêtre du moteur à essence et du moteur Diesel; le tube de Crookes est ancêtre du tube de Coolidge; la diode est ancêtre de la triode et des autres tubes à électrodes multiples.

A l'origine de chacune de ces séries, il y a un acte défini d'invention; le moteur à gaz sort, en un certain sens, de la machine à vapeur; la disposition de son cylindre, de son piston, de son système de transmission, de sa distribution par tiroir et lumières est analogue à celle de la machine à vapeur; mais il sort de la machine à vapeur comme la diode sort du tube à décharge dans les gaz par ionisation : il a fallu en plus un phénomène nouveau, un schème qui n'existait ni dans la machine à vapeur, ni dans le tube à décharge : dans la machine à vapeur, la chaudière productrice de gaz sous pression et la source chaude étaient à l'extérieur du cylindre; dans le moteur à gaz, c'est le cylindre lui-même, en tant que chambre d'explosion, qui devient chaudière et foyer : la combustion a lieu à l'intérieur du cylindre, c'est une combustion interne; dans le tube à décharge, les électrodes étaient indifférentes, la conductance restant symétrique; la découverte de l'effet thermoélectronique permet de faire un tube analogue au tube à décharge dans lequel les électrodes sont polarisées, ce qui rend la conductance asymétrique. Le début d'une lignée d'objets techniques est marqué par cet acte synthétique d'invention constitutif d'une *essence technique.*

L'essence technique se reconnaît au fait qu'elle reste stable à travers la lignée évolutive, et non seulement stable, mais encore productrice de structures et de fonctions par développement interne et saturation progressive; c'est ainsi que l'essence technique du moteur

à combustion interne a pu devenir celle du moteur Diesel, par une concrétisation supplémentaire du fonctionnement : dans le moteur à carburation préalable, l'échauffement du mélange carburé dans le cylindre au moment de la compression est inessentiel ou même nuisible, puisqu'il risque de produire la détonation au lieu de produire la déflagration (combustion à onde explosive progressive), ce qui limite le taux de compression admissible pour un type donné de carburant; au contraire, cet échauffement dû à la compression devient essentiel et positif dans le moteur de Diesel, puisque c'est lui qui produit le début de la déflagration; ce caractère positif du rôle de la compression est obtenu au moyen d'une détermination plus précise du moment où la carburation doit intervenir dans le cycle : dans le moteur à carburation préalable, la carburation peut se faire à un moment indéterminé avant l'introduction du mélange carburé dans le cylindre; dans le moteur Diesel, la carburation doit se faire après introduction et compression de l'air pur, sans vapeurs de carburant, au moment où le piston passe au point mort haut, car cette introduction provoque le début de la déflagration (début du temps moteur dans le cycle) et ne peut le provoquer que si elle a lieu au moment où l'air atteint sa plus haute température, en fin de compression; l'introduction du carburant dans l'air (carburation) est donc beaucoup plus chargée de signification fonctionnelle dans le moteur Diesel que dans le moteur à essence; elle est intégrée dans un système plus saturé, plus rigoureux, et qui laisse moins de liberté au constructeur, moins de tolérance à l'utilisateur. La triode est aussi un système plus saturé que la diode; dans la diode, la conductance asymétrique est limitée seulement par l'émission thermoélectronique : lorsqu'on élève la tension cathode-anode, le courant interne augmente de plus en plus pour une température déterminée de la cathode, mais atteint un certain plafond (courant de saturation) qui correspond au fait que tous les électrons émis par la cathode sont captés par l'anode. On ne peut donc régler le courant traversant la diode qu'en faisant varier la tension anodique; au contraire, la triode est un système dans lequel on peut faire varier de manière continue le courant traversant l'espace anode-cathode sans faire varier la tension anode-cathode; la propriété primitive (variation du courant en fonction directe de la tension anode-cathode) subsiste, mais se trouve doublée par une seconde possibilité de variation, celle que détermine la tension de la grille de commande; la fonction de variation, qui adhérait primitivement à la tension d'anode, devient une propriété individualisée,

libre et définie, qui ajoute un élément au système et par conséquent le sature, puisque le régime des causalités comporte une composante de plus; au cours de l'évolution de l'objet technique cette saturation du système par ségrégation des fonctions s'accentue; dans la penthode, le courant qui traverse l'espace cathode-anode devient indépendant de la tension d'anode pour des valeurs de la tension d'anode comprises entre un minimum très bas et un maximum élevé défini par la possibilité de dissipation thermique; cette caractéristique est assez stable pour permettre l'utilisation d'une penthode comme résistance de charge des oscillateurs de relaxation devant produire des dents de scie linéaires pour les tensions de déviation horizontales des oscillographes à rayons cathodiques; dans ce cas, la tension d'écran, la tension de grille de commande et la tension de troisième grille (suppresseur) sont maintenues fixes. Dans la triode au contraire, pour une tension donnée de la grille de commande, le courant anodique varie en fonction de la tension d'anode : en ce sens, la triode est encore assimilable à une diode, tandis que la penthode, en régime dynamique, ne l'est plus; cette différence est due au fait que, dans la triode, l'anode joue encore un rôle ambivalent d'électrode captant les électrons (rôle dynamique) et d'électrode créant un champ électrique (rôle statique); au contraire, dans la tétrode ou la penthode, le maintien du champ électrique, réglant le flux d'électrons, est assuré par la grille-écran, qui joue le rôle d'une anode électrostatique; l'anode-plaque ne conserve que le rôle de captatrice d'électrons; pour cette raison, la pente de la penthode peut être beaucoup plus grande que celle de la triode, parce que la fonction de maintien du champ électrostatique d'accélération est assurée sans variation ni fléchissement (l'écran est à un potentiel fixe), même quand la tension d'anode baisse lorsque le courant augmente, à cause de l'insertion d'une résistance de charge dans le circuit anodique. On peut dire que la tétrode et la penthode éliminent l'antagonisme qui existe dans la triode entre la fonction d'accélération des électrons par l'anode et la fonction de captation des charges électriques véhiculées par les électrons accélérés par la même anode, fonction qui entraîne une chute du potentiel anodique lorsqu'une résistance de charge est insérée, et diminue l'accélération des électrons. La grille-écran, de ce point de vue, doit être considérée comme une anode électrostatique à tension fixe.

On voit donc que la tétrode et la penthode sont bien issues d'un développement par saturation et concrétisation synergique du

schème de la triode primitive. La grille-écran concentre sur elle toutes les fonctions relatives au champ électrostatique, qui correspondent à la conservation d'un potentiel fixe; la grille de commande et l'anode ne conservent que les fonctions relatives à un potentiel variable, qu'elles peuvent alors remplir dans une plus large mesure (en cours de fonctionnement, l'anode d'une penthode montée en amplificatrice de tension peut être portée à des potentiels variant de 30 à 300 volts en régime dynamique); la grille de commande capte moins d'électrons que dans une triode, ce qui permet de traiter l'impédance d'entrée comme très élevée : la grille de commande devient plus purement grille de commande et se trouve délivrée du courant continu créé par la captation des électrons; elle est, plus rigoureusement, une structure électrostatique. On peut ainsi considérer la penthode et la tétrode comme des descendants directs de la triode, puisqu'elles réalisent le développement de son schème technique interne par réduction des incompatibilités au moyen d'une redistribution des fonctions en sous-ensembles synergiques. C'est la sous-jacence et la stabilité du schème concret d'invention organisatrice dans les développements successifs qui fonde l'unité et la distinction d'une lignée technique.

La concrétisation donne à l'objet technique une place intermédiaire entre l'objet naturel et la représentation scientifique. L'objet technique abstrait, c'est-à-dire primitif, est très loin de constituer un système naturel; il est la traduction en matière d'un ensemble de notions et de principes scientifiques séparés les uns des autres en profondeur, et rattachés seulement par leurs conséquences qui sont convergentes pour la production d'un effet recherché. Cet objet technique primitif n'est pas un système naturel, physique; il est la traduction physique d'un système intellectuel. Pour cette raison, il est une application ou un faisceau d'applications; il vient après le savoir, et ne peut rien apprendre; il ne peut être examiné inductivement comme un objet naturel, car il est précisément artificiel.

Au contraire, l'objet technique concret, c'est-à-dire évolué, se rapproche du mode d'existence des objets naturels, il tend vers la cohérence interne, vers la fermeture du système des causes et des effets qui s'exercent circulairement à l'intérieur de son enceinte, et de plus il incorpore une partie du monde naturel qui intervient comme condition de fonctionnement, et fait ainsi partie du système des causes et des effets. Cet objet, en évoluant, perd son caractère d'artificialité : l'artificialité essentielle d'un objet réside dans le fait que l'homme doit intervenir pour maintenir cet objet dans

l'existence en le protégeant contre le monde naturel, en lui donnant un statut à part d'existence. L'artificialité n'est pas une caractéristique dénotant l'origine fabriquée de l'objet par opposition à la spontanéité productrice de la nature : l'artificialité est ce qui est intérieur à l'action artificialisante de l'homme, que cette action intervienne sur un objet naturel ou sur un objet entièrement fabriqué; une fleur obtenue en serre chaude et qui ne donne que des pétales (fleur double), sans pouvoir engendrer un fruit, est la fleur d'une plante artificialisée : l'homme a détourné les fonctions de cette plante de leur accomplissement cohérent, si bien qu'elle ne peut plus se reproduire que par des procédés tels que le greffage, exigeant intervention humaine. L'artificialisation d'un objet naturel donne des résultats opposés à ceux de la concrétisation technique : la plante artificialisée ne peut exister que dans ce laboratoire pour végétaux qu'est une serre, avec son système complexe de régulations thermiques et hydrauliques. Le système primitivement cohérent des fonctionnements biologiques s'est ouvert en fonctions indépendantes les unes des autres, rattachées seulement par les soins du jardinier; la floraison est devenue une floraison pure, détachée, anomique; la plante fleurit jusqu'à épuisement, sans produire de graines. Elle perd ses capacités initiales de résistance au froid, à la sécheresse, à l'insolation; les régulations de l'objet primitivement naturel deviennent les régulations artificielles de la serre. L'artificialisation est un processus d'abstraction dans l'objet artificialisé.

Au contraire, par la concrétisation technique, l'objet, primitivement artificiel, devient de plus en plus semblable à l'objet naturel. Cet objet avait besoin, au début, d'un milieu régulateur extérieur, le laboratoire ou l'atelier, parfois l'usine; peu à peu, quand il gagne en concrétisation, il devient capable de se passer du milieu artificiel, car sa cohérence interne s'accroît, sa systématique fonctionnelle se ferme en s'organisant. L'objet concrétisé est comparable à l'objet spontanément produit; il se libère du laboratoire associé originel, et l'incorpore dynamiquement à lui dans le jeu de ses fonctions; c'est sa relation aux autres objets, techniques ou naturels, qui devient régulatrice et permet l'auto-entretien des conditions du fonctionnement; cet objet n'est plus isolé; il s'associe à d'autres objets, ou se suffit à lui-même, alors qu'au début il était isolé et hétéronome.

Les conséquences de cette concrétisation ne sont pas seulement humaines et économiques (par exemple en autorisant la décentralisation), elles sont aussi intellectuelles : le mode d'existence de

l'objet technique concrétisé étant analogue à celui des objets naturels spontanément produits, on peut légitimement les considérer comme les objets naturels, c'est-à-dire les soumettre à une étude inductive. Ils ne sont plus seulement des applications de certains principes scientifiques antérieurs. En tant qu'ils existent, ils prouvent la viabilité et la stabilité d'une certaine structure qui a le même statut qu'une structure naturelle, bien qu'elle puisse être schématiquement différente de toutes les structures naturelles. L'étude des schèmes de fonctionnement des objets techniques concrets présente une valeur scientifique, car ces objets ne sont pas déduits d'un seul principe; ils sont le témoignage d'un certain mode de fonctionnement et de compatibilité qui existe en fait et a été construit avant d'avoir été prévu : cette compatibilité n'était pas contenue dans chacun des principes scientifiques séparés qui ont servi à construire l'objet; elle a été découverte empiriquement; de la constatation de cette compatibilité, on peut remonter vers les sciences séparées pour poser le problème de la corrélation de leurs principes et fonder une science des corrélations et des transformations qui serait une technologie générale ou mécanologie.

Mais pour que cette technologie générale ait un sens, il faut éviter de la faire reposer sur une assimilation abusive de l'objet technique à l'objet naturel et particulièrement au vivant. Les analogies ou plutôt les ressemblances extérieures doivent être rigoureusement bannies : elles ne possèdent pas de signification et ne peuvent qu'égarer. La méditation sur les automates est dangereuse car elle risque de se borner à une étude des caractères extérieurs et opère ainsi une assimilation abusive. Seuls comptent les échanges d'énergie et d'information dans l'objet technique ou entre l'objet technique et son milieu; les conduites extérieures vues par un spectateur ne sont pas des objets d'étude scientifique. Il ne faut même pas fonder une science séparée qui étudierait les mécanismes de régulation et de commande dans les automates construits pour être des automates : la technologie doit envisager l'universalité des objets techniques. En ce sens, la Cybernétique est insuffisante : elle a le mérite immense d'être la première étude inductive des objets techniques, et de se présenter comme une étude du domaine intermédiaire entre les sciences spécialisées; mais elle a trop spécialisé son domaine d'investigation, car elle est partie de l'étude d'un certain nombre d'objets techniques; elle a accepté au point de départ ce que la technologie doit refuser : une classification des objets techniques opérée par des critères établis selon

les genres et les espèces. Il n'y a pas une *espèce* des automates; il n'y a que les objets techniques, qui possèdent une organisation fonctionnelle réalisant divers degrés d'automatisme.

Ce qui risque de rendre le travail de la Cybernétique partiellement inefficace comme étude interscientifique (telle est pourtant la fin que Norbert Wiener assigne à sa recherche), c'est le postulat initial de l'identité des êtres vivants et des objets techniques autorégulés. Or, on peut dire seulement que les objets techniques tendent vers la concrétisation, tandis que les objets naturels tels que les êtres vivants sont concrets dès le début. Il ne faut pas confondre la tendance à la concrétisation avec le statut d'existence entièrement concrète. Tout objet technique possède en quelque mesure des aspects d'abstraction résiduelle; on ne doit pas opérer le passage à la limite et parler des objets techniques comme s'ils étaient des objets naturels. Les objets techniques doivent être étudiés dans leur évolution pour qu'on puisse en dégager le processus de concrétisation en tant que tendance; mais il ne faut pas isoler le dernier produit de l'évolution technique pour le déclarer entièrement concret; il est plus concret que les précédents, mais il est encore artificiel. Au lieu de considérer une classe d'êtres techniques, les automates, il faut suivre les lignes de concrétisation à travers l'évolution temporelle des objets techniques; c'est selon cette voie seulement que le rapprochement entre être vivant et objet technique a une signification véritable, hors de toute mythologie. Sans la finalité pensée et réalisée par le vivant, la causalité physique ne pourrait seule produire une concrétisation positive et efficace.

CHAPITRE II

ÉVOLUTION DE LA RÉALITÉ TECHNIQUE; ÉLÉMENT, INDIVIDU, ENSEMBLE

I. — Hypertélie et auto-conditionnement dans l'évolution technique

L'évolution des objets techniques manifeste des phénomènes d'hypertélie qui donnent à chaque objet technique une spécialisation exagérée et le désadaptent par rapport à un changement même léger survenant dans les conditions d'utilisation ou de fabrication; le schème qui constitue l'essence de l'objet technique peut en effet s'adapter de deux manières : il peut s'adapter d'abord aux *conditions matérielles et humaines* de sa production; chaque objet peut utiliser au mieux les caractères électriques, mécaniques, ou encore chimiques des matériaux qui le constituent; il peut s'adapter ensuite *à la tâche* pour laquelle il est fait : ainsi, un pneumatique bon pour l'usage dans un pays froid pourra ne pas convenir à un pays chaud, et inversement; un avion fait pour les hautes altitudes pourra être gêné par la nécessité temporaire de fonctionner à basse altitude, et en particulier pour atterrir et décoller. Le moteur à réaction, qui est supérieur en raison même de son principe de propulsion au moteur à hélice pour les très hautes altitudes devient d'un emploi difficile à très basse altitude; la grande vitesse atteinte par un avion à réaction devient un caractère assez paralysant lorsqu'il s'agit de prendre contact avec le sol; la réduction de la surface portante, allant de pair avec l'usage du moteur à réaction, oblige à atterrir à très grande vitesse (presque la vitesse de croisière d'un avion à hélice), ce qui nécessite une piste d'atterrissage très longue.

Les premiers avions, qui pouvaient atterrir en pleine campagne étaient moins suradaptés fonctionnellement que les avions modernes. La suradaptation fonctionnelle va si loin qu'elle aboutit à certains schèmes voisins de ceux qui, en biologie, s'étagent entre la

symbiose et le parasitisme : certains petits avions très rapides ne peuvent aisément décoller que s'ils sont portés par un plus gros qui les largue en vol; d'autres utilisent des fusées pour augmenter la poussée ascensionnelle. Le planeur de transport lui-même est un objet technique hypertélique; il n'est plus qu'un cargo de l'air ou plutôt une péniche de l'air sans remorqueur, tout différent en cela du véritable planeur qui peut, après un léger lancement, en utilisant les courants aériens, tenir l'air par ses propres moyens. Le planeur autonome est adapté très finement au vol sans moteur, alors que le planeur de transport n'est qu'une des deux parties asymétriques d'une totalité technique dont l'autre moitié est le remorqueur; de son côté, le remorqueur se désadapte, car il est incapable d'emporter à lui seul une charge correspondant à sa puissance.

On peut donc dire qu'il existe deux types d'hypertélie : l'une qui correspond à une adaptation fine à des conditions définies, sans fractionnement de l'objet technique et sans perte d'autonomie, l'autre qui correspond à un fractionnement de l'objet technique, comme dans le cas de la division d'un être primitif unique en remorqueur et remorqué. Le premier cas conserve l'autonomie de l'objet, alors que le second la sacrifie. Un cas mixte d'hypertélie est celui qui correspond à une adaptation au milieu telle que l'objet nécessite une certaine espèce de milieu pour pouvoir fonctionner convenablement, parce qu'il est couplé énergétiquement au milieu; le cas est presque identique à celui de la division en remorqueur et remorqué; par exemple, une horloge synchronisée par le secteur perd toute capacité de fonctionnement si on la transporte d'Amérique en France, à cause de la différence de fréquence (60 Hertz et 50 Hertz); un moteur électrique nécessite un secteur ou une génératrice; un moteur synchrone monophasé est plus finement adapté à un milieu déterminé qu'un moteur universel; dans ce milieu, il offre un fonctionnement plus satisfaisant, mais hors de ce milieu il perd toute valeur. Un moteur triphasé synchrone est encore plus finement adapté qu'un moteur monophasé au fonctionnement sur un type déterminé de secteur, mais en dehors de ce secteur il ne peut plus être utilisé; moyennant cette limitation, il offre un fonctionnement encore plus satisfaisant que celui d'un moteur monophasé (régime plus régulier, haut rendement, très faible usure, faibles pertes dans les lignes de raccordement).

Cette adaptation au milieu technique est, dans certains cas, primordiale; ainsi, l'utilisation du courant alternatif triphasé donne