



**GILBERT
SIMONDON**
L'INVENTION
DANS LES
TECHNIQUES

Cours et conférences

Édition établie et présentée
par Jean-Yves Chateau

traces écrites

SEUIL

DU MÊME AUTEUR

Deux Leçons sur l'animal et l'homme
Présentation de Jean-Yves Chateau
Ellipses, 2004

Du mode d'existence des objets techniques
Aubier, 2001

L'Individu et sa genèse physico-biologique
J. Millon, 1995

L'Individuation psychique et collective :
à la lumière des notions de forme, information,
potentiel et métastabilité
Aubier, 1989

GILBERT SIMONDON

L'INVENTION DANS LES TECHNIQUES

Cours et conférences

**ÉDITION ÉTABLIE ET PRÉSENTÉE
PAR JEAN-YVES CHATEAU**

ÉDITIONS DU SEUIL
27, rue Jacob, Paris VI^e

2011 FMAN CC8280 § 597

TRACES ÉCRITES

Collection dirigée par
Thierry Marchaisse et Dominique Ségard



Cette collection se veut un lieu éditorial approprié à des cours, conférences et séminaires. Un double principe la singularise et la légitime.

On y trouvera exclusivement des transcriptions d'événements de pensée d'origine orale.

Les traces, écrites ou non (notes, bandes magnétiques, etc.), utilisées comme matériaux de base, seront toujours transcrites telles quelles, au plus près de leur statut initial.

Traces écrites - écho d'une parole donc, et non point écrit; translation d'un espace public à un autre, et non point « publication ».

T.M. et D.S.

ISBN : 2-02-056337-1

© Éditions du Seuil, septembre 2005

Le Code de la propriété intellectuelle interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit, sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants cause, est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L.335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

www.seuil.com

2008 4 012577

SOMMAIRE

PRÉSENTATION PAR JEAN-YVES CHATEAU L'INVENTION DANS LES TECHNIQUES SELON GILBERT SIMONDON

| | |
|----|---|
| 11 | LES TEXTES |
| 13 | L'INVENTION TECHNIQUE ET SES PROBLÈMES |
| | I. Psychologie et technologie de l'invention (l'inventeur, l'invention, l'inventé), 15 |
| | 1.1 <i>Le point de vue psychologique sur l'invention : une psychologie de l'inventeur</i> , 16 |
| | 1.2 <i>Le point de vue technologique sur l'invention : une théorie génétique de l'objet inventé</i> , 19 |
| | 1.3 <i>Analogie, équivalence, réversibilité de l'invention et de la genèse</i> , 22 |
| | 1.4 <i>L'idée d'invention et l'histoire</i> , 27 |
| | II. L'invention et l'histoire des techniques, 30 |
| | 2.1 <i>Le problème général de l'histoire des techniques</i> , 30 |
| | 2.2 <i>Histoire et technique chez Simondon</i> , 36 |
| | 2.2.1 <i>L'essence génétique de l'objet technique</i> , 36 |
| | 2.2.2 <i>La liaison essentielle entre l'invention et le caractère génétique de l'objet technique</i> , 37 |
| | 2.2.3 <i>Changements majeurs et mineurs, discontinus et continus</i> , 38 |
| | 2.2.4 <i>La dimension proprement historique des réalités techniques</i> , 39 |
| | 2.2.5 <i>La loi de relaxation et le temps technique propre</i> , 40 |
| | 2.2.6 <i>Les conditions socio-économiques de l'évolution technique : des « causes extrinsèques »</i> , 43 |
| | 2.2.7 <i>Problèmes d'histoire des techniques</i> , 45 |
| | Notes, 59 |

COURS ET CONFÉRENCES DE GILBERT SIMONDON L'INVENTION ET LE DÉVELOPPEMENT DES TECHNIQUES (1968)

| | |
|----|---|
| 77 | AVANT-PROPOS |
| 83 | PREMIÈRE PARTIE. PLAN GÉNÉRAL POUR L'ÉTUDE DU PROBLÈME DES TECHNIQUES |
| 83 | INTRODUCTION GÉNÉRALE : FONCTIONNALITÉ, INVENTION, ET DEVENIR DES TECHNIQUES |

pprié à des cours,
pe la singularise

ns d'événements

gnétiques, etc.),
toujours trans-
ut initial.

non point écrit;
t, et non point

T.M. et D.S.

ons destinées à une
u partielle faite par
e ses ayants cause,
35-2 et suivants du

86 **MISE EN PLACE DES PRINCIPAUX CONCEPTS**

1. Avant l'outil et l'instrument : les méthodes techniques, 86
2. Outil et instrument, 88
3. *Ustensiles et appareils* : isolement et auto-corrélation entre fonctions, 92
4. Machine-outil et machine, 96
5. Les réseaux techniques, 99

101 **CONCLUSION**

- A. Progrès continus (adaptatifs, relationnels) et discontinus (inventions), 101
- B. *Les modalités normatives* (projet complémentaire d'une étude des problèmes humains des techniques), 103

**DEUXIÈME PARTIE. ÉTUDE DE QUELQUES
TECHNIQUES PRISES EN EXTENSION**

105 **I. INTRODUCTION**

106 **II. EXEMPLE DE LA MINE**

- A. Documents sur le transport dans les mines, 106
- B. L'aérage des mines, 109
- C. L'épuisement des eaux, 110
- D. La descente des ouvriers et l'extraction des matériaux, 112
- E. Conclusion, 113
Planches : figures 1 à 47

127 **III. EXEMPLE DE LA MÉTALLURGIE**

Planches : figures 48a, b, c

129 **IV. EXEMPLE DE L'ARCHITECTURE ET DE LA TECHNIQUE
DE LA CONSTRUCTION**

131 **V. QUATRIÈME EXEMPLE ET CONCLUSION**

**TROISIÈME PARTIE. ÉTUDE DES SOUS-ENSEMBLES
(COMPOSANTS) TECHNIQUES**

135 **I. EXEMPLE DU TRANSFORMATEUR ÉLECTRIQUE**

Planches : figures 49 à 69

141 **II. EXEMPLE DES MACHINES GÉNÉRATRICES D'ÉLECTRICITÉ**

- A. Les premières machines, 141
- B. La seconde étape, 142
- C. L'intégration et la troisième structure, 144
- D. La réversibilité - Générateur ou moteur, 145

EPTS

ues, 86

n entre fonctions, 92

inus (inventions), 101

ne étude des problèmes

UES

112

CHNIQUE

SEMBLES

LECTRICITÉ

| | |
|-----|---|
| 146 | III. EXEMPLE DES MOTEURS ÉLECTRIQUES |
| | A. Les moteurs primitifs, 146 |
| | B. La machine de Gramme, 147 |
| | C. Inconvénient de la machine de Gramme, 148 |
| | D. Le moteur synchrone, 148 |
| | E. Le moteur asynchrone, 149 |
| 151 | IV. CONCLUSION DU PREMIER SEMESTRE EN FORME DE RÉPONSES À DES QUESTIONS |
| | <i>Planches : figures 70 à 97</i> |
| | <i>Planches : figures 98 à 114</i> |
| | QUATRIÈME PARTIE. L'OBJET TECHNIQUE INDIVIDUALISÉ ET LES RÉSEAUX |
| 169 | I. INTRODUCTION |
| 170 | II. OBJETS TECHNIQUES INDIVIDUALISÉS PASSIFS (OU « MACHINES » PASSIVES DE LAFITTE) |
| | A. Degré élémentaire des machines passives, 170 |
| | B. Degré moyen des machines passives, 173 |
| | C. Degré supérieur des machines passives, 175 |
| | 1. L'archaïsme dans la construction, 175 |
| | 2. L'époque moyenne, 177 |
| | 3. Études de Jacques Bernoulli sur la courbe nommée chaînette, 180 |
| | 4. Remarques sur l'emploi de la voûte en architecture : style et technique, 183 |
| | <i>Planches : figures 115 à 131</i> |
| | <i>Planche : figure 122 bis</i> |
| | 5. Formes techniques et formes naturelles, 191 |
| | <i>Planches : figures 131a, b, c</i> |
| 197 | III. OBJETS TECHNIQUES INDIVIDUALISÉS ACTIFS |
| | A. Degré élémentaire des objets techniques actifs, 197 |
| | B. Niveau moyen des machines actives, 206 |
| | <i>Planches : figures 132 à 152</i> |
| | C. Niveau supérieur des machines actives, 214 |
| 221 | IV. LES DISPOSITIFS À INFORMATION (« MACHINES RÉFLEXES » DE LAFITTE) |
| | A. Les machines à information élémentaires, 222 |
| | B. Degré moyen des machines à information : amplificateurs et régulateurs, 223 |
| | C. Niveau supérieur des machines à information, 225 |
| 225 | CONCLUSION GÉNÉRALE |

L'INVENTION DANS LES TECHNIQUES (1971)

- 230 **INTRODUCTION**
- 233 **I. EXEMPLES D'INVENTIONS PRÉ-INDUSTRIELLES
(PRIMAT DE L'ADAPTATION)**
- 240 **II. EXEMPLES D'INVENTIONS INDUSTRIELLES
(PRIMAT DE L'AUTO-CORRÉLATION)**
- 253 **III. EXEMPLES D'INVENTIONS ET DE PERFECTIONNEMENTS
POST-INDUSTRIELS, DE TYPE SCIENTIFIQUE**
- 271 **CONCLUSION**

IMAGINATION ET INVENTION (1965-1966) – EXTRAITS

- 275 **PRÉAMBULE**
- 276 **QUATRIÈME PARTIE: L'INVENTION**
- A. L'invention élémentaire; rôle de l'activité libre dans la découverte des médiations, 276
1. *Les différentes espèces de compatibilité; la conduite élémentaire du détour, 276*
 2. *La médiation instrumentale, 280*
- B. L'invention portant sur les signes et les symboles, 280
- C. L'invention comme production d'un objet créé ou d'une œuvre, 280
1. *La création des objets techniques, 281*
 2. *Autres catégories d'objets créés; particulièrement, l'objet esthétique, 296*
- 296 **CONCLUSION**
- Récapitulation, 296
- Portée de la conception proposée, 298

LA RÉOLUTION DES PROBLÈMES (1974) – EXTRAITS

- 307 **INTRODUCTION**
- 307 **DEUXIÈME PARTIE. LE RECOURS À UNE MÉDIATION,
PARTICULIÈREMENT À LA MÉDIATION INSTRUMENTALE**
- I. Médiations instrumentales simples, 307
 - II. Médiations instrumentales complexes, 310
 1. *Les conditions collectives – sociales, culturelles, économiques – et matérielles de l'invention, 310*
 2. *Les processus mentaux, logiques et intellectuels, correspondant à l'invention, 316*

LES TECHNIQUES

INDUSTRIELLES

INDUSTRIELLES

(ON)

PERFECTIONNEMENTS

SCIENTIFIQUE

INVENTION
DES

dans la découverte

duite élémentaire du détour, 276

s, 280

ou d'une œuvre, 280

nt, l'objet esthétique, 296

PROBLÈMES

MÉDIATION,
INSTRUMENTALE

économiques - et matérielles

pondant à l'invention, 316

INVENTION ET CRÉATIVITÉ (1976) - EXTRAITS

329 INTRODUCTION

331 PREMIÈRE PARTIE. L'INVENTION

Première section : L'invention dans les techniques, 331

1. *Les machines passives*, 331

2. *Les machines actives ou moteurs*, 332

3. *Les machines réflexes*, 332

Deuxième section : L'invention en matière non technique.

Exemple de la philosophie, 332

332 DEUXIÈME PARTIE. LA CRÉATIVITÉ

Première section : La créativité individuelle, 332

1. *Intelligence et créativité*, 332

2. *Caractères de la créativité individuelle*, 337

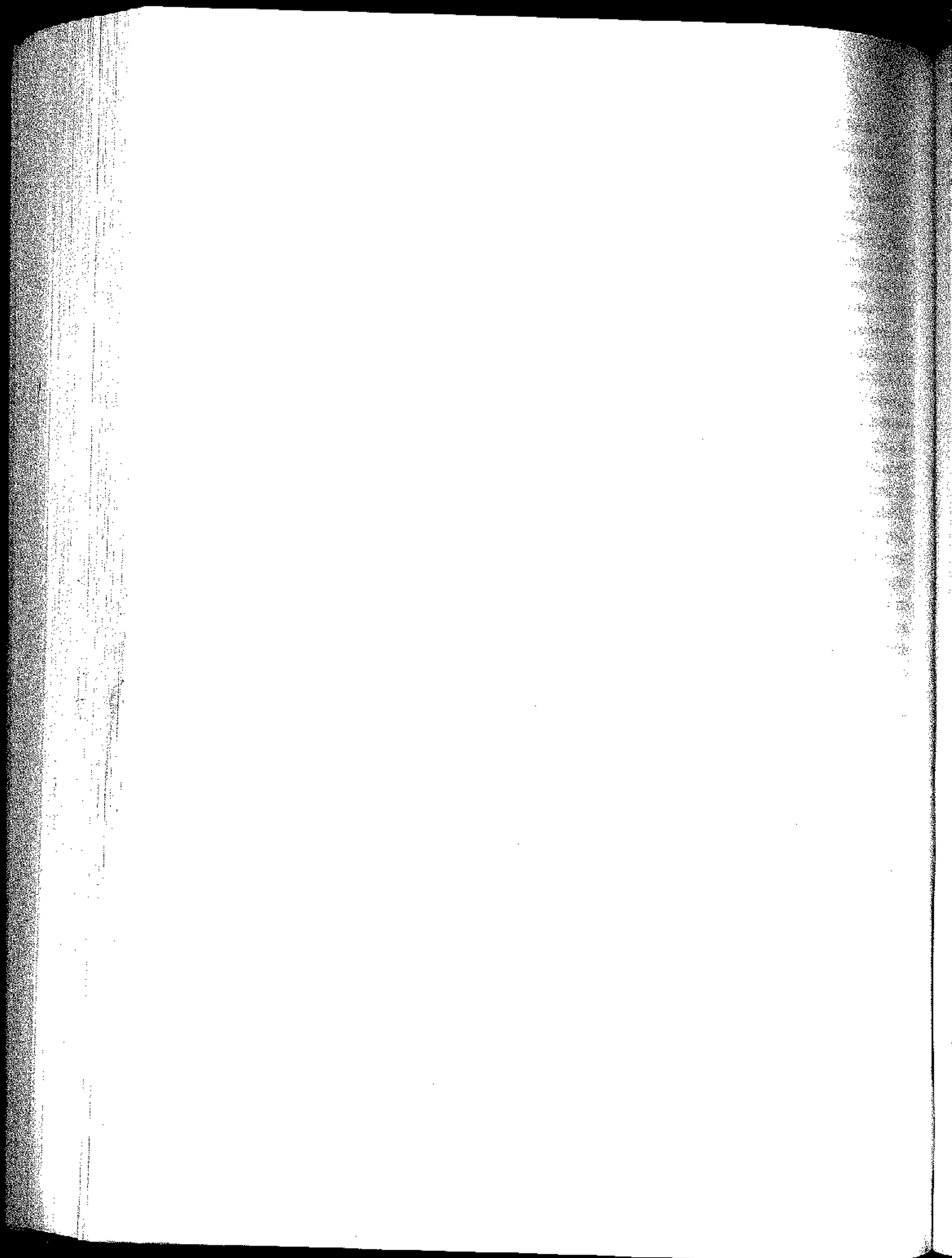
338 CONCLUSION

348 NOTICE BIOGRAPHIQUE

celle des techniques individualisés. La
parce qu'elle montre
organisation. L'analyse
pré-industrielles, a
de différenciation
comme sous l'effet
um quid caractérisa
et s'appliquant aux
processus inverse de
êtres nouveaux s'y
ces deux niveaux,
et celui de l'organe
ait le niveau neutre
individualisés, qui se
niveau que la com-
objets techniques se
de l'observateur,
de défense ou pro-
ages, conversions,
sensorialité, régu-
s raison si elle ne
rents individus ou
interne de l'indi-
à lui-même.

que le progrès de
invention, et non
ts techniques mal
if; même dans la
ntement entre les
tionnelle dans un
e progrès est l'or-
ax, non l'élimina-
s. L'évolution des
interfonctionnalité
ane, par analyse,
intéressant de
rants des proces-
synthèse et à la
duction de réali-
es, récupérables,
mieux à l'évolu-

L'INVENTION DANS LES TECHNIQUES (1971)



Le texte de cette communication, présentée au colloque sur La Mécanologie des 18, 19 et 20 mars 1971, est paru pour la première fois dans le numéro 2 des Cahiers du centre culturel canadien.

Résumé. Il y a deux aspects essentiels de l'invention : l'exigence d'auto-corrélation qui rend le procédé ou l'objet viable, non destructif par rapport à lui-même, et les adaptations terminales, qui lui permettent de s'insérer dans le milieu et d'être dirigé par un opérateur ou par l'information qu'il reçoit ou prélève.

1. Les inventions pré-scientifiques ont développé surtout les adaptations, qu'il s'agisse d'outils, de véhicules, de constructions, de routes; elles ont opéré une réorganisation du milieu permettant ces adaptations; surtout, elles interviennent comme un terme intermédiaire entre l'Homme et le Monde, et prennent une structure passive, aussi indéformable que possible; elles visent à la stabilité, au caractère indéformable donné par l'équilibre stable.

2. Les inventions faites ou complétées avec le secours des sciences ont développé la rigueur de l'auto-corrélation entre les termes extrêmes adaptés au Monde et à l'Homme, éventuellement en remplaçant l'opérateur par un moteur et un système d'automatisme; elles sont fréquemment des systèmes de transformation où l'accent est mis sur l'enchaînement causal et la conservation de l'énergie au cours des transformations, qui est la condition de rendement maximum, en état d'équilibre indifférent.

3. Après le déploiement des sciences, les problèmes de rendement énergétique s'effacent devant la capacité de traiter l'information, impliquant que les machines soient sensibles de manière fidèle à un signal, même s'il est d'un ordre de gran-

leur très inférieur à celui qu'une commande humaine pourrait fournir, à la fois en énergie et en durée. Le principe qui permet l'amplification et la combinaison des signaux est celui de l'équilibre métastable. Ces machines renferment dans leur schéma une relation, étroite entre les adaptations (entrée, sortie) et l'auto-corrélation (amplification et combinaison internes).

INTRODUCTION

Les réalisations techniques apparaissent par invention; elles procèdent d'un être vivant doué d'intelligence et de capacité d'anticipation, de **simulation** (ce mot étant pris au sens que Jacques Monod lui donne); la simulation peut se traduire non seulement par le langage, mais aussi par la production d'un schéma, d'un mode opératoire, ou d'un prototype matériel; **anticipation, simulation, invention** sont des activités mentales, mais ces activités mentales, tout en ayant quelque chose de commun les unes par rapport aux autres, peuvent donner des produits différents selon l'ambiance dans laquelle elles s'exercent, cette ambiance étant essentiellement définie par l'état de la technique et de la science servant de base à l'activité d'invention.

L'aspect mental de l'invention se traduit par une exigence de cohérence qui devient la propriété principale d'**auto-corrélation** de la méthode ou de l'objet technique, représentant le résultat d'une résolution de problème.

L'autre aspect de l'invention technique est l'**adaptation** de l'objet ou de la méthode aux conditions de l'ambiance.

L'équilibre entre ces deux aspects de l'invention est variable, si bien que des inventions rigoureusement auto-corrélées et parfaitement logiques en elles-mêmes peuvent rester inutilisables jusqu'au moment où le développement des conditions d'**ambiance** autorise leur adaptation; inversement, des adaptations précises peuvent rester isolées les unes des autres jusqu'à ce qu'un équipement logique de type scientifique permette d'en faire les termes extrêmes d'une série bien enchaînée.

L'invention technique, **en tant que technique**, est toujours un mixte d'auto-corrélation interne et d'adaptation: l'auto-corrélation lui donne la stabilité; l'adaptation, l'utilité.

Les caractères particuliers du développement des inventions techniques proviennent en partie de cette dualité; une méthode

grande humaine pourrai
ée. Le principe qui per
les signaux est celui de
renferment dans leur
adaptations (entrée
ation et combinaison

nt par invention; elles
ligence et de capacité
ant pris au sens que
peut se traduire non
r la production d'un
prototype matériel;
t des activités men-
ayant quelque chose
res, peuvent donner
dans laquelle elles
ellement définie par
ant de base à l'acti-

it par une exigence
principale d'auto-
nique, représentant

est l'adaptation de
l'ambiance.

ention est variable,
t auto-corrélées et
rent rester inutili-
ent des conditions
sement, des adap-
les des autres jus-
ntifique permette
ien enchaînée.

que, est toujours
aptation: l'auto-
n, l'utilité.

nt des inventions
ité; une méthode

ou un objet technique défini se perfectionnent par la rencontre et l'interaction de la condition interne et de la condition d'ambiance; il est assez rare que les deux conditions soient présentes à la fois et en un même lieu; lorsque cette rencontre s'opère, la floraison d'inventions est rapide; ce fut le cas pour le XVIII^e et le XIX^e siècle en Europe. Au contraire, les besoins d'adaptation ont donné, dans les techniques pré-industrielles, un grand nombre de perfectionnements singuliers qui ont attendu l'époque scientifique et industrielle pour prendre leur essor; de leur côté, les automates des ingénieurs d'Alexandrie n'ont guère quitté la sphère du savoir jusqu'à l'époque industrielle. Les adaptations et les auto-corrélations constituent en quelque sorte des moitiés d'invention en attente; l'invention complète est le produit de leur rassemblement cohérent; chaque moitié de l'invention appelle l'autre non seulement en créant un acquis utilisable, mais en faisant naître un besoin.

L'idée selon laquelle la science féconde les techniques n'est pas historiquement inexacte, mais elle est trop globale: la science féconde les techniques qui se sont déjà développées par un long cheminement d'adaptations, et qui manquaient précisément d'auto-corrélation; il existe aussi des cas où des inventions proches des sciences et bien auto-corrélées (par exemple la pompe aspirante et foulante de Ctésibius) attendent le milieu technique qui leur fournira les adaptations leur permettant de s'intégrer et d'être efficaces (tubulures à haute pression, soupapes précises, opération d'alésage du corps de pompe, besoin de refoulement de l'eau avec de grandes dénivellations dans les mines).

Les besoins pratiques ont contraint l'Homme à améliorer les techniques sans attendre le développement de toutes les sciences; aussi, on peut noter une avance de nombreuses techniques, jusqu'à l'époque industrielle, sur les sciences et sur la métrologie rigoureuse issue des sciences; cette avance est surtout caractérisée par le progrès des adaptations et la relative précarité des auto-corrélations; c'est en partie ce hiatus au cœur des techniques qui a fait ressentir un besoin de sciences, tandis que les parties déjà constituées des techniques offraient aux sciences naissantes non seulement des problèmes théoriques à résoudre (par exemple la limite supérieure de l'élévation des liquides dans les pompes aspirantes), mais encore des moyens d'expérimentation: le besoin d'un complément interne de l'invention déjà adaptée est en fait un appel au savoir scientifique; du progrès rapide réalisé par la constitution de la science répondant à cet appel, il ne faut pas tirer

trop hâtivement la conclusion du primat de la science sur la matière d'invention technique; la science renouvelle très vite une technique lorsqu'elle a seulement à combler le hiatus central de l'auto-corrélation; si les adaptations ne sont pas constituées avant l'étape scientifique, le progrès est moins rapide (cas de la machine à vapeur, partiellement pré-scientifique, et des machines génératrices d'électricité).

Les inventions pré-scientifiques ont développé surtout des adaptations, qu'il s'agisse d'outils, de véhicules, de constructions, de routes; elles ont opéré une réorganisation du milieu permettant ces adaptations, et ont généralement fourni des termes intermédiaires entre l'Homme et le Monde; la logique interne des objets qu'elles ont produits est l'indéformabilité, par primat de l'équilibre stable.

Les inventions contemporaines des sciences ont développé l'auto-corrélation active entre les termes extrêmes déjà adaptés au Monde et à l'Homme; elles sont fréquemment des systèmes de transformation d'une seule ou de plusieurs formes d'énergie, où l'auto-corrélation est fournie par la rigueur de l'enchaînement et la conservation de l'énergie au cours des transformations; leur idéal est la réversibilité des transformations qui est la condition de rendement maximum des moteurs en état d'équilibre indifférent.

Après le grand développement des sciences qui a transformé les inventions pré-scientifiques et en a fait naître d'autres, les problèmes industriels de rendement énergétique se sont effacés, pour une nouvelle catégorie d'inventions, devant la capacité de traiter l'information, impliquant la sensibilité fidèle à des signaux même s'ils sont d'une puissance et d'une durée très inférieures à l'ordre de grandeur de la commande et de la capacité de réception humaine; ces machines renferment dans leur schéma une relation étroite entre les adaptations (entrée et sortie) et l'auto-corrélation interne (amplification fidèle, modulation, combinaisons et opérations); le principe permettant l'amplification et la combinaison des signaux ainsi que le rapport avec l'extérieur est l'équilibre métastable.

Selon cette perspective, il y aurait trois couches d'invention, la première, marquée par le primat des adaptations et de l'équilibre stable, la seconde, par l'importance de l'auto-corrélation et de l'équilibre indifférent, la troisième, par l'usage de l'équilibre métastable qui fournit un schéma universel pour les adaptations, et de l'auto-corrélation.

primat de la science en
ence renouvelée très vite
à combler le hiatus cen-
tions ne sont pas consti-
ogres est moins rapide
ment pré-scientifique, et
s).

développé surtout des
véhicules, de construc-
s'organisation du milieu
généralement fourni des
et le Monde; la logique
s est l'indéformabilité,

sciences ont développé
es extrêmes déjà adap-
fréquemment des sys-
de plusieurs formes
rie par la rigueur de
l'énergie au cours des
ersibilité des transfor-
lement maximum des

ences qui a transformé
ait naître d'autres, les
ergétique se sont effa-
tions, devant la capa-
la sensibilité fidèle à
ce et d'une durée très
mande et de la capa-
renferment dans leur
aptations (entrée et
amplification fidèle,
; le principe permet-
signaux ainsi que le
étastable.

ouches d'invention,
; adaptations et de
ortance de l'auto-
la troisième, par
nit un schéma uni-
rrélation.

I. EXEMPLES D'INVENTIONS PRÉ-INDUSTRIELLES (PRIMAT DE L'ADAPTATION)

Pour l'Antiquité, nous n'avons pas le secours de l'histoire, car cette discipline culturelle s'intéressait plus aux événements militaires et politiques qu'au progrès de ce par quoi l'homme agit sur les choses. D'ailleurs, un grand nombre d'outils, de procédés de construction, de modes opératoires remontent à la préhistoire. Il faut donc utiliser les vestiges et les monuments figurés.

Les outils et les armes ont ceci de commun qu'ils permettent de ne pas agir « à main nue »; ils éloignent de l'objet, homme ou chose, et permettent en une certaine mesure d'agir sur lui tout en se protégeant; ils sont des intermédiaires; sans glaive ou lance, le bouclier ne pourrait trouver place pour s'insérer entre les combattants; sans les pinces et le marteau à long manche, le forgeron ne pourrait ni tenir le fer ni le forger; en outre, ces intermédiaires opèrent des transformations; le glaive est plus meurtrier que le bras qui le porte parce qu'il concentre toute l'énergie du coup sur une très faible surface, et accumule de l'énergie cinétique. La pince, par effet de levier, serre plus fortement le métal que la main ne pourrait le faire, même à travers un gant d'amiante; le marteau de forge applique à une faible surface toute l'énergie des muscles du tronc et des deux bras; avec interposition d'un tranchet, cette accumulation d'énergie permet de couper une barre portée au rouge, au besoin au moyen de plusieurs coups successifs pourvu que le tranchet reste en place. Par le manche, l'outil - ou l'arme - s'adapte au corps humain en action; par le fer, c'est à l'objet que cet intermédiaire s'adapte, avec un effet de sommation, d'accumulation d'énergie qui porte en un seul point et en un seul instant toute l'efficacité d'un geste progressif ou d'une succession de gestes, toute l'énergie progressivement développée. Ce que l'on tient en main est un adaptateur d'impédances et aussi un adaptateur de durées.

Les dédoublements d'outils employés ensemble permettent de meilleures adaptations; un tranchet et un marteau permettent de couper avec plus de précision qu'un unique marteau; le tranchet est posé et maintenu à l'endroit où doit être pratiquée la coupure, pendant que le marteau décrit plus librement et avec moins de précision dans la visée sa trajectoire apportant l'énergie; il en va de même de l'herminette

remplacée par le ciseau à bois, toujours en contact avec le bois et le maillet qui agit sur le ciseau; des deux mains, l'une assure l'adaptation à l'objet (celle qui tient le ciseau), l'autre, l'adaptation au bras qui apporte l'énergie.

De tels dédoublements peuvent d'ailleurs permettre le travail simultané et synergique de plusieurs opérateurs; des monuments figurés de l'Antiquité nous montrent un ouvrier maintenant un bloc de métal sur l'enclume pendant que deux autres frappent alternativement avec leurs marteaux.

Ce perfectionnement de l'outil, allant dans le sens du dédoublement pour améliorer l'adaptation à la chose et l'adaptation à l'opérateur, se retrouve dans le vilebrequin remplaçant la tarière: le vilebrequin peut recevoir des mèches de diamètres différents, qui peuvent être affûtées plus aisément que si elles restaient assujetties à l'ensemble du vilebrequin; la simple disjonction du manche et du «fer» est déjà un progrès dans le sens de la bonne adaptation à l'opérateur et à l'objet, impliquant le plus souvent des matériaux différents de texture et de densité. Mais cette disjonction impose un minimum d'auto-corrélation; l'emmanchement d'une faux est plus délicat que celui d'un marteau; un ciseau à bois doit être fretté pour subir sans dommage les coups répétés du maillet.

Les bâtiments s'insèrent entre l'Homme et le milieu géographique en produisant un microclimat; à l'intérieur, ils sont adaptés à l'Homme par la forme et la disposition des pièces, les escaliers, la différenciation des lieux, la possibilité de chauffage et d'éclairage, l'absence de pluie et de vent; à l'extérieur, ils sont adaptés au milieu, dans le sens de la stabilité de l'équilibre, par leurs fondations, la manière dont leurs matériaux sont reliés entre eux; ils sont aussi adaptés au milieu par leur toiture, dont l'espèce dépend du climat, afin de résister au vent et à la pluie ou à la neige, qui impose une forte pente pour éviter les surcharges en favorisant le glissement. Malgré cette double adaptation à l'intérieur et à l'extérieur, les bâtiments ont une certaine auto-corrélation, car on ne peut concilier n'importe quelle structure d'ensemble, visible de l'extérieur, avec une distribution intérieure définie; ce minimum d'auto-corrélation se traduit par le fait que la présentation extérieure révèle et parfois manifeste la destination du bâtiment, la classe sociale ou la profession de ceux qui l'occupent. Toutefois, cette corrélation n'est pas assez serrée pour interdire reconversions et réemplois. Près de Roche-la-Molière, un chevalement de mine datant du XIX^e siècle a été converti en habitations, les ressources de la mine étant épuisées, seule l'adaptation intérieure a été refaite.

en contact avec le...
des deux mains, l'une...
tient le ciseau), l'autre...
gie.
eurs permettre le tra...
ieurs opérateurs; des...
montrent un ouvrie...
me pendant que deux...
eurs marteaux.
dans le sens du dédou...
a chose et l'adaptation...
requin remplaçant la...
s mèches de diamètres...
s aisément que si elles...
ilebrequin; la simple...
jà un progrès dans le...
ur et à l'objet, impli...
férents de texture et...
un minimum d'auto...
est plus délicat que...
être fretté pour subir...
let.
e et le milieu géogra...
l'intérieur, ils sont...
sposition des pièces...
ix, la possibilité de...
et de vent; à l'exté...
ens de la stabilité de...
re dont leurs maté...
i adaptés au milieu...
limat, afin de résis...
il impose une forte...
isant le glissement...
et à l'extérieur, les...
n, car on ne peut...
semble, visible de...
e définie; ce mini...
it que la presenta...
la destination du...
de ceux qui l'occu...
assez serrée pour...
rès de Roche-la-...
XIX^e siècle a été...
mine étant épu...
ite.

Tous les bâtiments ne sont pas destinés à l'habitation, et ce sont précisément les bâtiments non destinés à l'habitation qui montrent le mieux la tension entre les deux termes extrêmes de l'adaptation. Un **aqueduc** doit, d'une part, maintenir aussi constante que possible la pente du canal qu'il supporte, depuis la source jusqu'au point d'utilisation; d'autre part, il doit traverser les vallées, percer les collines, et passer parfois à faible hauteur dans les plaines sans interrompre la circulation; son adaptation à l'eau qu'il porte se fait par un chenal généralement couvert de grandes dalles et partout de même section, correspondant à un écoulement à vitesse constante, obtenue par une pente également constante; son adaptation au milieu se fait par l'usage des arches (parfois superposées: Tolède, pont du Gard) qui transfèrent au sol tout le poids de la construction, mais n'occupent qu'une faible surface, laissant passer le vent, les cours d'eau, les voies de circulation, au lieu de former une muraille continue et un barrage; la disposition en longueur de l'aqueduc est favorable à cette technique, car les arches n'ont pas besoin d'être contrefortées: elles s'épaulent les unes les autres dans la série quasi indéfinie qu'elles forment. **La voûte**, grâce à cette condition d'existence particulièrement bonne, fournit à l'aqueduc le minimum d'auto-corrélation qui le rend stable - bien qu'il repose seulement sur des piles; dans ses formes contemporaines, le portage à niveau constant (tuyau ou conduite, tablier de pont, trolley des trains) se réalise aussi par voûte, mais par voûte inversée en forme de chaînette, qui n'a besoin que de piles verticales et d'ancrages solides des câbles au moyen de corps-morts pour être stable: dans le cas des lignes à suspension caténaire, l'ancrage des câbles est remplacé par un contre-poids, ce qui permet de neutraliser les effets de la dilatation et d'opérer un réglage fin de l'horizontalité de la ligne.

Jusqu'aux Romains de l'Antiquité, la voûte avait été essentiellement souterraine (Tyrinthe, Étrurie) ou en couple aérienne légère (silos à blé des Égyptiens, tentes et habitations légères des Assyriens); la voûte aérienne monumentale des Romains réalise, vers le haut, une adaptation à une surface continue (tablier de pont, chaussée) et, vers le bas, une adaptation à des fondations discontinues laissant entre elles de vastes passages (cours d'eau, portes des villes, monuments publics); la voûte, en berceau ou en coupole, réalise même la continuité entre les éléments porteurs verticaux et les éléments de couverture, auxquels elle confère l'incombustibilité de la pierre ou du béton. Or, la voûte, souterraine ou prise au sein d'un épais massif de grosses pierres (galeries de

Tyrinthe), est en équilibre stable par rapport au milieu, parce qu'elle échange des poussées avec la terre ou les blocs qui l'enveloppent; il en va autrement de la voûte des monuments se déployant comme une superstructure; elle doit ou bien être très légère et par conséquent très mince, pour que la composante horizontale sur les éléments porteurs soit faible, ou bien être contrefortée, si elle est lourde et ne repose pas sur des éléments porteurs massifs: cette adaptation externe délicate, à la recherche d'un équilibre stable, pour la voûte construite à grande hauteur au-dessus du sol, a été un des éléments primordiaux de la recherche en architecture, au moment où les formes romaines furent reprises à la faveur de la renaissance carolingienne; la technique du contrefortage au moyen de murs boutants ou d'arcs-boutants, parfois à plusieurs volées et extérieurs à l'édifice, montre qu'il n'est pas toujours possible de faire avancer simultanément l'adaptation à l'Homme et l'adaptation au milieu. La voûte, souterraine unique ou aérienne en série, réalisait une adaptation presque parfaite de l'élément porté et de l'élément porteur, ainsi que de l'intérieur et de l'extérieur; la voûte aérienne unique supportée par des murailles minces ou des piliers réalise une très bonne adaptation par rapport à l'intérieur de l'édifice, car elle lui donne une toiture de pierre d'une seule volée, sans aucun pilier à l'intérieur (nef), mais elle ne réalise pas d'elle-même une bonne adaptation au milieu; le manque d'éléments porteurs à l'intérieur doit être compensé par de multiples éléments de butée à l'extérieur, qui doublent presque la surface au sol du monument. Le principal avantage de ce mode de construction est pour l'intérieur, particulièrement dans le cas des églises dont la nef, entièrement dégagée, peut être éclairée de plus par une rangée de vitraux disposés entre les arcs-boutants. Mais l'auto-corrélation complète dans le domaine de la construction n'a pu être atteinte qu'après l'époque industrielle, au moyen d'une alliance de matériaux travaillant l'un à la compression, l'autre à l'extension (béton armé et particulièrement béton précontraint).

Les différents véhicules et moyens de transport sont eux aussi des systèmes d'adaptation entre le milieu et la charge mise en mouvement par l'homme ou un animal. La nature du milieu gouverne l'adaptation du moyen assurant le port du fardeau pendant le déplacement; la neige, l'argile humide, le sable pulvérulent sont impropres à l'usage de la roue; ils conviennent mieux aux traîneaux montés sur patins; un sol argileux sec peut convenir au transport de lourdes charges sur traîneau pourvu que l'argile soit convenablement mouillée

port au milieu, parce
re ou les blocs qui
ôte des monuments
elle doit ou bien être
pour que la compo-
s soit faible, ou bien
repose pas sur des
on externe délicate,
la voûte construite
n des éléments pri-
, au moment où les
r de la renaissance
tage au moyen de
à plusieurs volées
t pas toujours pos-
aptation à l'Homme
erraine unique ou
presque parfaite de
si que de l'intérieur
supportée par des
e très bonne adap-
, car elle lui donne
ans aucun pilier à
s d'elle-même une
éments porteurs à
multiples éléments de
surface au sol du
de de construction
le cas des églises
e éclairée de plus
es arcs-boutants.
domaine de la
l'époque indus-
x travaillant l'un
m armé et parti-

nsport sont eux
lieu et la charge
al. La nature du
urant le port du
rgile humide, le
de la roue; ils
? patins; un sol
ourdes charges
lement mouillée

en surface devant le traîneau, ce qui constitue une couche lubrifiante facilitant le glissement et empêchant l'échauffement du traîneau; un bas-relief assyrien montre un colosse en pierre transporté sur un traîneau tiré par des centaines d'hommes; plusieurs ouvriers, montés sur l'avant du traîneau, versent de l'eau. Quand le sol était assez égal et résistant, des rouleaux étaient placés à l'avant du traîneau, puis repris à l'arrière et reportés à l'avant. Sur un bas-relief de la Babylone antique, on voit un énorme bloc de pierre transporté de cette manière; 17 personnes ramènent les rouleaux de l'arrière vers l'avant, pendant que six autres s'efforcent d'agir sur l'arrière du traîneau au moyen d'un très long levier (6 à 8 mètres de long); au moyen de quatre cordes, dont deux doubles, de nombreux ouvriers tirent le traîneau; enfin, des chariots à deux roues possédant huit rais et une jante épaisse sont tirés chacun par deux hommes; ils sont chargés de cordages et de leviers - cela montre que la roue n'était pas utilisée pour les grosses charges, probablement parce qu'elle manquait de solidité et n'offrait pas une surface d'appui au sol suffisante pour éviter l'enlisement dans un sol non aménagé. Sur le même bas-relief, il est intéressant de noter l'adaptation des chariots à la traction humaine; les deux hommes maintiennent le chariot en équilibre horizontal, le dirigent, et le retiennent en descente par un brancard rigide; mais ils le tirent au moyen de cordes passant sur les épaules.

Le patin, le rouleau, la roue sont primitivement des adaptations au sol permettant des usages différents; la roue de véhicule n'a peut-être pas été un système aussi universel qu'on le suppose; elle correspond à un transport relativement léger et rapide sur un sol aménagé, en particulier sur des plaques rocheuses ou des voies pavées; même dans ce cas, une des principales imperfections de la roue est le manque de résistance au point de jonction des rayons et du moyeu, ainsi que l'échauffement dû au frottement; l'usage de l'eau, puis de l'axonge, ne pouvait donner de bons résultats qu'avec des axes métalliques et des moyeux pourvus de coussinets métalliques ou de roulements; le roulement représente une excellente synthèse du procédé des rouleaux et de celui de la roue; en effet, sur un plan de roulement bien dressé, avec des rouleaux parfaitement cylindriques et en matière dure, on obtient un déplacement qui est pratiquement sans frottement, donc sans échauffement: l'adaptation est bonne, mais l'auto-corrélation faible, car les rouleaux s'échappent par-derrière et il faut des opérateurs pour les ramener à l'avant du véhicule: avec la roue, l'adaptation est moins bonne, à cause du

frottement de l'axe contre le moyeu, mais l'auto-corrélation est supérieure, car la roue suit le véhicule sans aide extérieure; le roulement à rouleaux ou à billes consiste à ménager autour du moyeu un second système de roulement; les rouleaux ou les billes, disposés en tambour, se recyclent d'eux-mêmes et fonctionnent, théoriquement, sans frottement, c'est-à-dire sans nécessité impérative de lubrification et sans danger d'échauffement; le seul frottement (minime) qui subsiste est celui des rouleaux ou des billes contre la cage qui les guide; on s'explique ainsi qu'une roue d'automobile puisse fonctionner sur 100 000 kilomètres avec un seul graissage, sans s'échauffer ni prendre un jeu appréciable, malgré la vitesse élevée et les efforts transversaux causés par les virages, alors qu'une roue de char demande, pour une charge du même ordre, un graissage à chaque saison.

En allant plus loin dans le sens de l'adaptation du véhicule au milieu, on trouve des dérivés du roulement à rouleaux avec les véhicules à chenilles, destinés aux terrains sablonneux ou irréguliers; la chenille est une sorte de tapis, articulé ou souple, qui se recycle de lui-même et sur lequel roule le véhicule, reposant sur le sol par une large surface. On trouve aussi une intervention sur le milieu, destinée à permettre l'utilisation des roues à jantes relativement étroites, avec le dallage, le pavage, et même le drainage et la construction du sous-sol en profondeur, doublée par l'évacuation des eaux au moyen de fossés, comme dans le cas des voies romaines; c'est ici la chaussée dans son ensemble qui apporte la rigidité et la large surface nécessaires au transport des fardeaux; des principes analogues se retrouvent dans l'usage du ballast et des traverses permettant de poser les rails des chemins de fer; l'emploi des bandages élastiques en caoutchouc vulcanisé, pleins, alvéolés, à ressorts ou pneumatiques à haute puis à basse pression a réalisé un autre type d'adaptation au milieu par l'intermédiaire des chaussées empierrées, macadamisées ou cimentées: la résistance au glissement dans les virages et au cours du freinage, ainsi que le silence et l'absence de vibrations.

L'adaptation, du côté des hommes ou des animaux, a pris la direction d'un **harnachement** approprié à chaque espèce: traction par l'épaule pour l'homme, par le front et les cornes pour les bœufs, par le collier (et non par le cou) pour le cheval.

Enfin, du côté de la charge et des passagers, c'est **la suspension** qui représente l'adaptation; sur un sol mou (terre, herbe), la suspension n'est pas utile; elle devient nécessaire sur les voies pavées ou dures et irrégulières; depuis le char

mais l'auto-corréction
véhicule sans aide
billes consiste à
système de roulement
pour, se recyclent d'un
sans frottement, sans
lubrification et sans
ment (minime) qui agit
contre la cage qui
d'automobile poussée
avec un seul graissage
appréciable, malgré les
sauts causés par les
vagues, pour une charge
saison.

adaptation du véhicule
roulement à rouler
aux terrains sablon-
neux, sorte de tapis, arti-
ficiel et sur lequel roule
sur une large surface. On
trouve, destinée à per-
mettre des voies
relativement étroites,
pour le freinage et la construc-
tion de l'évacuation des
voies ; le cas des voies
ensemble qui
sont nécessaires au trans-
port se retrouvent
dans les rails se retrouvant
permettant de poser
des sondages élastiques
sur des ressorts ou pneu-
matiques, a réalisé un autre
type de chaussées
pour la résistance au
freinage, ainsi que

matériaux, a pris la
forme d'une espèce : trac-
tion des cornes pour
tirer le cheval.
C'est la sus-
pension molle (terre,
matériau nécessaire
depuis le char

branlant jusqu'aux immenses ressorts en C du carrosse de Louis XVI, un grand progrès a été accompli ; les trains et les automobiles actuels ajoutent à la suspension des **amortisseurs d'oscillations** qui ne sont pas uniquement orientés vers le confort des passagers, mais aussi vers l'adaptation au milieu, en évitant que les phénomènes de résonance n'amènent les roues à être momentanément trop peu chargées pour pouvoir assurer un freinage et un guidage efficaces.

En domaine maritime, il serait possible de retrouver ces deux types d'adaptation, l'une par rapport au milieu (étanchéité, formes hydrodynamiques, stabilité, résistance aux vagues), et l'autre par rapport au fret et aux passagers (dispositifs antitangage, anti-roulis, aérage, dispositifs évitant que la fumée ne retombe sur le pont, aménagement de la lumière, dispositifs de sauvetage).

Remarque : le développement de l'époque industrielle a partiellement fait perdre de vue le caractère symétrique des adaptations pré-industrielles ; ainsi, tandis que les dispositifs de sauvetage d'un bateau sont très développés, même à notre époque, ceux d'un avion sont misérables ; si l'avion traverse des zones maritimes, on trouve sous les sièges des gilets de sauvetage et des sachets de poudre destinés à éloigner les requins ; par contre, dans les avions qui survolent les terres, et qui sont voués à l'écrasement en cas de panne du moteur, il y a bien des issues de secours, mais strictement aucun parachute ni aucune issue permettant de sauter sans risquer d'être happé par l'appareil ; les exercices d'alerte des bateaux n'existent pas sur les avions de ligne ; les avions militaires ont par contre conservé leurs dispositifs de sécurité pour les personnes. La même évolution se marque sur les trains automoteurs ; l'« outil » brise-vitres, ce marteau rouge enfermé dans un coffre vitré, après avoir subi une miniaturisation qui le ramène à la taille d'un petit jouet, tend à disparaître ; le frein à vis, organe de secours, existe peut-être dans chaque wagon, mais il est caché ; le manomètre indiquant la pression de la conduite générale des freins à air comprimé tend lui aussi à disparaître : c'est le statut du voyageur qui change.

II. EXEMPLES D'INVENTIONS INDUSTRIELLES (PRIMAT DE L'AUTO-CORRÉLATION)

La nécessité de l'auto-corrélation est évidente dans les automates de première espèce, tendant à l'auto-suffisance, et dans les moteurs, tendant à l'autarcie; mais l'époque industrielle n'a pas commencé en tous domaines et en tous lieux à la même époque; il a pu exister une pression dans le sens de l'auto-corrélation dans les milieux techniques à haute concentration en opérations et en opérateurs, par suite du manque de place, du caractère artificiel du milieu où il fallait recréer des conditions acceptables de vie, et de la nécessité d'augmenter le rendement par des méthodes rationnelles; l'époque industrielle n'est pas arrivée d'elle-même; elle a été préfacée par des formes de travail qui avaient déjà un mode d'existence industriel, même si elles conservaient faute de mieux, pour certaines opérations, des moyens artisanaux ou, plus généralement, pré-industriels. Ces milieux furent des ferments pour le développement de l'industrie et de la science, des berceaux d'invention, parce que l'auto-corrélation y était une nécessité vitale.

Tel fut **le milieu de la mine**, dans les grandes installations profondes; toutes les conditions nécessaires à la vie et au travail devaient y être obtenues par des moyens techniques: l'aérage, le transport des matériaux, la descente et la remontée des ouvriers, l'épuisement des eaux; la communication entre le fond et le carreau passe nécessairement par des intermédiaires techniques quand la profondeur de l'exploitation dépasse 60 ou 80 mètres; or, le couloir étroit de tous ces intermédiaires techniques est le puits; les diverses fonctions y sont en concurrence; elles ne peuvent s'exercer convenablement qu'en prenant des formes bien délimitées, méthodiques, concentrées, organisées; ici, ce n'est plus l'adaptation libre, aux deux bouts de la chaîne, qui prolifère et se perfectionne, mais le terme intermédiaire obligatoire, concentré, riche en auto-corrélations; autrement dit, le puits de mine est déjà industriel, même si le procédé d'abattage au fond est comparable à celui des carrières et si l'emmagasinage du charbon ou du minéral en surface n'a rien d'industriel.

Pour **l'aérage**, les méthodes « naturelles » indiquées par Agricola (un panneau situé à l'entrée du puits, orienté perpendiculairement au sens du vent, défléchit un courant d'air

...te dans les auto-
suffisance, et dans
époque industrielle
en tous lieux à la
dans le sens de
à haute concen-
suite du manque
il fallait recréer
nécessité d'aug-
mentelles; l'époque
elle a été préfacée
un mode d'exis-
faute de mieux,
sanaux ou, plus
furent des fer-
et de la science,
corrélation y était

des installations
la vie et au tra-
ens techniques;
te et la remon-
communication
ement par des
ur de l'exploita-
roit de tous ces
erses fonctions
ercer convena-
mitées, métho-
us l'adaptation
re et se perfec-
ire, concentré,
uits de mine est
u fond est com-
age du charbon

indiquées par
s, orienté per-
courant d'air

à l'intérieur d'un canal occupant une partie de la section du puits) ne peuvent donner un régime continu ni un régime suffisant pour les grandes profondeurs; le vent change de direction: il faut réorienter le volet; on peut remplacer ce dispositif manuel par un système à quatre canaux dont l'un au moins est toujours bien orienté; on peut employer une girouette; mais le vent peut faiblir et faire défaut; en ce cas, il est nécessaire d'employer le soufflet ou le ventilateur centrifuge actionné par l'homme, par les animaux, ou par un courant d'eau; la surpression est suffisante pour atteindre les grandes profondeurs avec un canal mince ou avec des tuyaux de toile, et l'on arrive ainsi aux installations industrielles où l'air, provenant d'un ventilateur centrifuge à pression élevée, est envoyé au fond par des canalisations dont l'encombrement est à peu près 1/50 de la section du puits, et qui peuvent être voisines des canalisations d'eau, de diverses commandes, des tuyaux d'air comprimé à haute pression, ainsi que des lignes de transmission de l'information.

L'aérage, en faisant appel à une méthode industrielle pouvant employer toutes les espèces d'énergie mécanique ou électrique, a donc réduit de 1/4 à 1/50 de la section du puits l'encombrement causé par cette fonction, et a, de plus, rendu l'aérage indépendant des conditions atmosphériques extérieures; la transition s'est opérée par l'intermédiaire d'un procédé mécanique artificiel remplaçant le procédé naturel (soufflets puis ventilateur centrifuge).

En sens inverse, **l'épuisement des eaux** a d'abord été réalisé par une multitude d'étages de pompes aspirantes et foulantes; ces pompes, à faible hauteur de refoulement, encombraient le puits par la multitude de leviers qui les commandaient à partir de la surface; c'est seulement après 1840 que l'usinage précis des corps de pompe et des clapets a permis à une pompe unique, située au fond, de refouler l'eau jusqu'à la surface par un tuyau de faible section; là encore, la solution industrielle permettait de faire du puits un système de transit intense et concentré, un système de transfert spécialisé dans sa fonction de transfert.

L'évolution du treuil et des bennes va dans le même sens. Le treuil primitif est un cylindre sur lequel s'enroule le câble; la benne monte dans le puits sans guides; elle peut osciller; de plus, l'enroulement de la corde sur le treuil l'oblige à se déplacer longitudinalement; enfin, il faut prendre la benne par l'anse au moment où elle touche le treuil, ce qui est une opération malaisée et dangereuse, accomplie généralement en rabattant un volet qui sert de plancher provisoire sur une

partie de l'orifice du puits, et que l'on relève lorsque la benne est décrochée et écartée. Ici, l'étape décisive du progrès consiste à installer un chevalement portant une ou deux poulies au-dessus de l'orifice du puits; le câble portant la benne ne subit plus de déplacement latéral, car l'emplacement de l'axe de la poulie est invariable; après avoir passé sur la poulie, le câble va s'enrouler sur le treuil, situé sous une toiture à 10 ou 15 mètres du chevalement; dès lors, le treuil, qui joue seulement un rôle énergétique et d'enrouleur de câble, peut être développé en dimensions et en puissance; la longueur du cylindre peut sans inconvénient être accrue; son diamètre peut être augmenté si l'on fait appel à une transmission indirecte et à un manège mis en mouvement par des chevaux, des hommes, ou bien si on emploie un moteur à vapeur ou encore une roue à aubes. Enfin, pour les puits profonds, la précision de l'emplacement de la poulie par rapport au puits permet de juxtaposer et de coupler une benne montante et une benne descendante; des guides (glissières) empêchent toute oscillation des bennes, si bien que l'encombrement du passage réservé aux bennes est réduit au minimum; de ce progrès naît un autre progrès: les deux bennes couplées se font équilibre, en tant que poids mort, et il n'est plus nécessaire d'emmagasiner sur le treuil une grande longueur de câble; quelques tours suffisent pour assurer une traction sans glissement; la majeure partie du câble se trouve toujours en extension rectiligne dans le puits, et il n'y a plus de limite pratique à l'approfondissement du puits, étant donné que la longueur du câble enroulée autour du treuil ou allant des poulies au treuil reste invariable quelle que soit la profondeur du puits. Enfin, si cette solution impose l'usage de guides pour les bennes, elle présente par là même un avantage considérable, surtout lorsqu'il s'agit, au lieu de bennes chargées de matériaux, de cages destinées aux ouvriers: l'existence des guides autorise l'emploi des parachutes automatiques immobilisant les bennes ou cages en cas de rupture du câble.

Le puits de mine, en raison de la haute densité des transferts et des opérations dont il est le lieu nécessaire, s'est technicisé en lui-même et par les annexes dont il a provoqué l'apparition; ce goulot d'étranglement de l'activité a exercé une pression dans le sens des inventions, car il n'a pu continuer à jouer son rôle, dans les installations à grand débit et profondes, que par une définition rigoureuse de l'emplacement de chaque passage (guides des bennes et des câbles, tubulures) et par l'emploi de systèmes de transmission très condensés et sans relais (pompes à haute pression de refoulement, air com-

primé dans des tuyaux métalliques); cet organe central s'est condensé et purifié en tant que lieu de transit, en développant autour de lui les stations nécessaires au maintien de sa fonction précise de transfert; *le moteur du progrès est ici la nécessité d'organiser la compatibilité des fonctions qui empièteraient les unes sur les autres et se gêneraient mutuellement*; le puits a réalisé une concentration organisée de fonctions pures capables de se développer chacune pour elle-même; il a été un modèle pour l'organisation industrielle; certaines inventions (comme la pompe à feu, plus tard moteur à vapeur), nées des exigences de cette haute concentration opératoire, se sont plus tard répandues en dehors de la mine, lorsque l'époque industrielle a étendu le domaine des exigences de la mécanisation.

Tel est, en particulier, le cas du **chemin de fer**. Une galerie de mine est un lieu dont le fond est tantôt boueux et argileux, tantôt rocheux, mais presque toujours irrégulier. Après le transport des matériaux par hottes ou paniers, le premier véhicule adapté à ces hétérogénéités fut un traîneau à roues; sur le sol ferme et résistant, les roues entraient en action, malgré leur faible dépassement; sur sol boueux, elles s'enfonçaient sans faire obstacle, et le fond du traîneau glissait sur la surface humide. Cette solution amphibie avait malgré tout ses limites, dont la principale était la nécessité d'un homme pour chaque traîneau, en raison de l'effort de poussée et du caractère louvoyant du traîneau à roues, qu'il fallait perpétuellement remettre dans la voie correcte.

Le premier perfectionnement fut l'adoption d'un train de deux solives rapprochées; le véhicule correspondant était le « **chien de mine** », sorte de wagonnet dont les roues avant, très rapprochées l'une de l'autre, remplissaient une fonction de sustentation mais surtout de guidage; entre ces deux roues, dans l'axe longitudinal du véhicule, un « **clou de direction** » vertical maintenait le train avant directeur dans une position constante par rapport aux solives entre lesquelles s'insérait le clou directeur. À l'arrière, deux roues plus grandes et plus larges, également assez rapprochées pour reposer entièrement sur les solives, portaient la plus grande partie de la charge. Ce dispositif exigeait encore, en raison de l'étroitesse de la voie de solives nécessitée par l'usage du clou directeur, un ouvrier pour chaque « chien de mine »; il fallait maintenir l'équilibre et éviter que les roues arrière porteuses ne sortent de la voie, le clou directeur n'existant qu'à l'avant. Plus tard, les roues avant et arrière furent munies d'un **boudin** ou **mentonnet** assurant la direction et permettant d'éloigner l'une de

l'autre les deux solives, ce qui assurait automatiquement l'équilibre; chaque train de roues se trouvant ainsi dirigé, chaque véhicule stabilisé, il n'était plus nécessaire d'employer un ouvrier par véhicule: les wagonnets pouvaient être attelés les uns aux autres en trains, avec une traction unique et un frein unique, la traction pouvant être assurée par un animal, puisque la préoccupation du maintien de l'équilibre était superflue. Ce dispositif est transposable en toutes dimensions; **la locomotive** put remplacer le cheval pour les transports en surface; le remplacement des solives par des rails métalliques est un détail important, mais qui ne modifie pas le schéma du chemin de fer, qui fut primitivement un chemin de bois fait de solives à écartement constant, assemblées par des traverses dont le rôle était double: maintenir la constance de l'écartement des rails et augmenter la surface portante, la fondation sur le sol.

Le passage du traîneau amphibie au wagonnet, du wagonnet isolé au train, a été rendu possible par la construction d'une *troisième réalité* qui vient s'interposer entre le véhicule et le sol. Cet intermédiaire, **la voie**, étroite d'abord, à écartement constant ensuite, crée la compatibilité entre le milieu et le véhicule parce qu'elle est un résumé exhaustif des deux réalités qu'elle fait communiquer; la voie, en effet, tient compte des principaux virages, ainsi que du point d'arrivée et du point de départ; mais elle ne tient pas compte des irrégularités singulières du parcours, ici une grosse pierre, plus loin une flaque boueuse: elle intègre toutes ces singularités en unité, et emprunte un tracé aussi régulier que possible entre le point de départ et le point d'arrivée; pour l'établir, on remblaise ou l'on creuse pour poser chacune des traverses; les irrégularités du sol porteur subsistent sous la voie, mais ne sont plus sensibles dans le résumé abstrait du parcours qu'elle constitue; une pente trop raide peut être allongée, donc adoucie; la voie opère une traduction du milieu pour le véhicule, mais il s'agit d'une adaptation, d'une équivalence, plutôt que d'une traduction stricte: elle est le résumé exhaustif du milieu, son enveloppe polie, plutôt que la transposition de toutes ses singularités. Inversement, le véhicule ne communique avec la voie que sous la forme abstraite d'un écartement constant, d'une pression définie, et de frottements des mentonnets dans les virages; avec des roues coniques et une voie inclinée dans les virages, ce frottement n'intervient plus que de manière épisodique, à titre de condition de sécurité en cas de déformation de la voie, d'arrêt dans une courbe, ou de franchissement de la courbe à une vitesse différente de celle qui

avait été prévue au moment de son établissement, ou bien encore de vent latéral, pour un train roulant à l'extérieur.

La voie assure la correspondance, l'adaptation mutuelle du milieu et du train en marche normale; il est alors possible d'utiliser tout l'espace disponible et de faire passer deux trains à quelques décimètres l'un de l'autre, ce qui serait très dangereux avec des véhicules autonomes, même parfaitement dirigés.

La concentration pré-industrielle des fonctions dans un espace limité exige des dédoublements faisant apparaître des lieux précis, des guides matérialisés (guides pour les bennes, tuyaux pour l'air et pour l'eau, rails pour les véhicules) et des stations spécialisées vouées au perfectionnement sans entraves (pompes foulantes, treuils, ventilateurs centrifuges, compresseurs); les tuyaux, les guides, les rails emploient l'espace disponible de manière stricte; à l'extrémité de ces moyens rigoureux de transfert se développent les stations spécialisées.

Une telle concentration, même lorsqu'elle s'effectue à l'époque pré-industrielle, joue un rôle d'amorçage de l'époque industrielle, car les conditions opératoires y sont les mêmes, et les inventions qui s'y élaborent sont transposables; l'époque industrielle, au lieu de conserver dans un lieu clos (la mine, un chantier) les dédoublements fonctionnels et les progrès, les publie, les fait paraître au-dehors, leur donne une dimension qui est à l'échelle d'un pays ou d'un continent, parfois d'un réseau intercontinental; les chemins de fer et les trains à locomotives, au début du XIX^e siècle, existaient dans les mines; leurs voies étaient courtes, car ils servaient seulement à transporter les matières extraites jusqu'au lieu de l'embarquement; ils étaient peu rapides, pour des raisons techniques, mais aussi parce que, sur 10 ou 20 kilomètres, le gain apporté par la vitesse est faible; ce qui compte avant tout, c'est le tonnage transporté et la régularité du fonctionnement. Pour des voyageurs, la vitesse est au contraire un élément important, lorsque la distance franchie dépasse une centaine de kilomètres. L'époque réellement industrielle intervient par la capacité de production régulière qu'elle apporte (par exemple la fabrication des rails, l'imprégnation des traverses) et par l'adaptation aux grandes distances, au milieu géographique, et aux exigences du public. Pour un **train de mine**, la traction pouvait être réalisée par des treuils ou par des locomotives à vitesse de pointe réduite et à faible rendement; pour un **train de voyageurs**, le système de Marc Seguin, du fait

de l'augmentation de rendement, de puissance, de rapidité de mise sous pression qu'il réalise grâce au principe de la chaudière aquatubulaire a été déterminant : il a permis d'atteindre des vitesses dépassant celles des chevaux et a donné à la locomotive une autonomie considérable ; plus tard, le freinage par air comprimé (Westinghouse) a réalisé un second progrès notable pour les trains rapides franchissant de longues étapes (surtout aux États-Unis) ; ces progrès annoncent déjà une étape post-industrielle où la concentration a lieu dans la machine elle-même et fait appel (dans le cas du frein Westinghouse) à des systèmes à information : la dépression produisant le freinage tout au long du train, en utilisant pour chaque voiture l'énergie emmagasinée dans le réservoir de chacune des voitures, est une commande à moyenne distance par un dispositif de relais.

Ce qui caractérise l'époque industrielle, c'est l'usage d'un *terme intermédiaire constituant le résumé exhaustif des deux termes qu'il met en communication ordonnée et fonctionnelle.*

Après la découverte de l'induction par Faraday (1831) naquirent des **alternateurs** de démonstration qui étaient des machines de laboratoire plutôt que des machines industrielles ; ces alternateurs étaient en effet constitués soit d'un inducteur (aimant) tournant devant un induit (bobinage) fixe, soit d'un induit tournant devant un bobinage fixe ; pour augmenter la puissance, on ne pouvait accroître les dimensions de l'un de ces deux appareils, car un tel accroissement aurait porté aussi sur la dimension de l'entrefer, et diminué la variation de flux dans l'induit ; pour augmenter la puissance, il fallait multiplier les inducteurs et les induits ; c'est cette méthode qui a été employée pour la production de courant nécessaire à l'arc électrique des phares marins ; un axe unique peut entraîner une multitude d'induits entourés par des couronnes d'aimants fixes ; cette formule de multiplication des éléments actifs aboutit à des machines assez encombrantes pour une puissance de quelques kilowatts ; elle ne peut convenir à la production de l'énergie électrique pour des usages industriels ; elle représente seulement l'application directe, par déduction, de la science à la technique.

Un premier pas a été fait grâce aux **génératrices de courant continu** ; si les inducteurs sont des électro-aimants, la variation d'induction est plus importante que celle que pourraient causer des aimants et, bien qu'il faille fournir de l'énergie à la génératrice auxiliaire de courant continu, on peut obtenir des machines une puissance de plusieurs dizaines de kilowatts.

Mais le progrès décisif a été obtenu par l'emploi d'un terme intermédiaire entre l'inducteur et l'induit; les bobinages inducteurs et les bobinages induits sont disposés selon un ordre alterné à l'intérieur d'une jante fixe; une jante en matériau non magnétique (cuivre, laiton) porte des masses de fer doux de longueur telle qu'elles couplent un noyau de bobinage inducteur avec un noyau de bobinage induit, et réalisent ensuite le découplage en sens inverse; la jante portant les coupleurs tourne à l'intérieur de celle qui porte les bobinages inducteurs et les bobinages induits; ne comportant aucun isolement ni organe sous tension, la jante intérieure, portant les coupleurs, peut être réalisée avec une grande précision d'usinage, si bien que les entrefers peuvent être extrêmement réduits; sa simplicité et sa construction entièrement métallique la rendent très résistante à la force centrifuge, ce qui autorise la construction d'une machine à grande puissance.

Ce sont les alternateurs de ce type qui ont permis **l'industrialisation à grande échelle de l'électricité**; leur tension de sortie assez élevée - 6 000 à 10 000 volts - permet l'usage d'un unique transformateur élévateur pour envoyer l'énergie dans les lignes à haute tension de grande portée; leur puissance correspond à celle d'une unité de transformation thermique ou hydraulique (centrales thermiques et centrales hydrauliques) de grande dimension. Le goulot d'étranglement, pour l'industrialisation de l'électricité sous forme de réseau, c'était la nécessité d'utiliser le courant sous la différence de potentiel de la génératrice, avec le courant continu dont on ne pouvait abaisser la tension pour l'utilisation; pour de nombreuses raisons, on ne peut guère, dans les maisons, accepter de tensions supérieures à cent ou deux cents volts; or, les contacts du collecteur des génératrices de courant continu s'échauffent quand l'intensité (nombre d'ampères) augmente, les conducteurs aussi s'échauffent, et pour alimenter à basse tension un quartier d'une ville, il faut employer de véritables barres de cuivre dans des souterrains dès que la distance augmente entre le point de production et les points d'utilisation industrielle (par exemple entre une chute d'eau et une usine, entre les stations de production et les locomotives d'une voie ferrée ou d'un réseau métropolitain, entre une centrale à grande puissance et les dizaines de milliers de points d'utilisation dispersés à travers les villes et les villages); là encore, une invention née en milieu industriel sort du milieu industriel (comme ce fut le cas pour les trains) et se propage en réseau à l'extérieur. L'époque industrielle comprend deux phases; au cours de la première, la concentration industrielle opère la

genèse des machines utilisées dans le milieu industriel lui-même; lorsque cette genèse est assez complète, c'est à l'extérieur du milieu industriel que les techniques se propagent. On peut noter qu'une expansion en réseau réalisée avec des techniques incomplètement industrielles introduit une diversité qui, ultérieurement, agit comme frein sur une organisation complètement industrielle; ainsi les plus anciens quartiers des grandes villes sont depuis longtemps alimentés en électricité, mais on trouvait, il y a peu de temps encore, des quartiers alimentés en courant continu; actuellement, une partie importante de Paris ne dispose que de courant alternatif biphasé, et non du secteur triphasé si utile pour un grand nombre d'usages. Dans le même ordre de réalités, on peut se demander si l'écartement des voies ferrées, suffisant pour la largeur des locomotives et des wagons et pour des vitesses modérées, ne risque pas de devenir un goulot d'étranglement pour le développement des vitesses élevées.

L'évolution du **moteur à gaz** est un des aspects majeurs par lesquels l'industrie décentralisée a pu naître de la centralisation industrielle. La production et l'épuration du gaz sont industrielles: elles exigent une installation comprenant des fours, des cornues, des épurateurs, un ou plusieurs gazomètres; c'est ensuite par un réseau ramifié de canalisations que les lieux de consommation sont atteints; il faut aussi que l'usine à gaz soit desservie par une voie ferrée, si le tonnage du charbon traité est important. Sur un réseau de distribution déjà en place pour l'éclairage est venu se brancher le moteur à gaz, conçu comme machine fixe de faible ou moyenne puissance, destinée à alimenter un atelier artisanal, parfois une pompe à eau pour les usages domestiques. Ce rapport du grand au petit, du centralisé au décentralisé, qui caractérise le rapport entre l'usine à gaz et le moteur à gaz, se retrouve entre la raffinerie de pétrole et les moteurs routiers qui en utilisent les produits; simplement, au lieu de rester sous forme gazeuse malaisément transportable, le carburant, sous forme liquide, peut être stocké dans un réservoir d'une cinquantaine de litres assurant une autonomie de 500 kilomètres à un véhicule routier; le moteur d'automobile demande une technique de carburation de l'air un peu plus compliquée que celle du moteur à gaz (vaporisation par rencontre d'un flux d'air aspiré dans le boisseau et d'un mince jet liquide); en fait, c'est plutôt à l'état de brouillard que l'essence mélangée à l'air est introduite dans la chambre de combustion, pour les moteurs à carburant liquide; mais la propagation de l'onde explosive se fait aussi bien dans un mélange liquide-gaz sous forme de brouillard ou même

milieu industriel in-
complète, c'est à l'exte-
ques se propagent. En
réalisée avec des tech-
introduit une diversité
sur une organisation
anciens quartiers des
mentés en électricité.
ore, des quartiers au-
t, une partie impor-
alternatif biphasé, et
un grand nombre
s, on peut se deman-
uffisant pour la lar-
t pour des vitesses
culot d'étranglement
es.
aspects majeurs par
tre de la centralisa-
ration du gaz sont
on comprenant des
ou plusieurs gaze-
de canalisations que
Il faut aussi que
arrée, si le tonnage
eau de distribution
brancher le moteur
ou moyenne puis-
sanal, parfois une
e rapport du grand
caractérise le rap-
se retrouve entre
rs qui en utilisent
ous forme gazeuse
ous forme liquide,
uantaine de litres
un véhicule rou-
chnique de carbu-
e du moteur à gaz
piré dans le bois-
plutôt à l'état de
ntroduite dans la
rburant liquide;
aussi bien dans
illard ou même

solide-gaz (coup de poussier, moteurs à combustible solide) que
dans le mélange de l'air au combustible en phase gazeuse.
Le moteur à gaz était un moteur fixe, reposant sur un bâti,
ayant un lourd volant d'entraînement, et pratiquant l'allumage
par veilleuse et lumière démasquée par un tiroir comparable
à celui des machines à vapeur; certains moteurs à gaz
(machine de Lobereau) étaient aussi imparfaits que les pre-
mières machines à vapeur; mais, malgré leur faible rende-
ment, ils rendaient des services en raison de la possibilité
d'usage très décentralisée, au domicile de l'artisan; ils ratta-
chaient un modeste atelier au centre industriel de production
de l'énergie qui est une usine à gaz; la caractéristique indus-
trielle qui pénétrait ainsi dans les maisons était l'ubiquité de
l'usage possible de l'énergie, à n'importe quel moment et par
n'importe qui. Ce sont précisément ces caractères de diffusion
qui se sont amplifiés avec l'invention du cycle à quatre temps,
augmentant le rendement et diminuant le poids par rapport à
la puissance: d'Otto à Beau de Rochas s'accomplit une trans-
formation des caractéristiques qui fait d'une machine fixe un
moteur pouvant être monté sur un véhicule; l'allumage élec-
trique, dérivé de la machine de Siemens et du principe de
Ruhmkorff, délivre le moteur à explosion de la servitude de la
veilleuse, utilisable en installation fixe, mais peu compatible
avec les secousses que subit un moteur de traction, et encore
moins compatible avec la précompression du mélange d'air et
de vapeurs de carburant. Ce n'est plus seulement l'expansion
d'un réseau industriel, mais la science thermodynamique qui
se manifeste dans le dernier perfectionnement des moteurs à
explosion, l'allumage par injection du carburant dans l'air for-
tement comprimé (système de Diesel).
Le moteur à explosion s'est donc d'abord éloigné du centre
industriel de production de l'énergie en restant dans la même
zone géographique mais en évoluant vers les petites puis-
sances, si bien qu'une seule usine à gaz pouvait alimenter plus
de mille moteurs; ensuite, ce même moteur n'a plus été conçu
comme nécessairement fixe; l'allégement et la diminution de
volume nécessaires à ce changement d'utilisation ont été obte-
nus par l'élévation du régime et la multiplication du nombre
de cylindres, ainsi que par la précompression de l'air carburé;
l'usage sur véhicules a été rendu possible par l'allumage élec-
trique, et par des systèmes de refroidissement adaptés aux
véhicules: radiateur à eau et thermosiphon, radiateur à eau
et pompes, ailettes pour les moteurs d'avion et de motocy-
clette ou même disposition à cylindres rotatifs (Gnome) assu-
rant dans l'air, pour les moteurs d'avion, un refroidissement

solide-gaz (coup de poussier, moteurs à combustible solide) que
dans le mélange de l'air au combustible en phase gazeuse.
Le moteur à gaz était un moteur fixe, reposant sur un bâti,
ayant un lourd volant d'entraînement, et pratiquant l'allumage
par veilleuse et lumière démasquée par un tiroir comparable
à celui des machines à vapeur; certains moteurs à gaz
(machine de Lobereau) étaient aussi imparfaits que les pre-
mières machines à vapeur; mais, malgré leur faible rende-
ment, ils rendaient des services en raison de la possibilité
d'usage très décentralisée, au domicile de l'artisan; ils ratta-
chaient un modeste atelier au centre industriel de production
de l'énergie qui est une usine à gaz; la caractéristique indus-
trielle qui pénétrait ainsi dans les maisons était l'ubiquité de
l'usage possible de l'énergie, à n'importe quel moment et par
n'importe qui. Ce sont précisément ces caractères de diffusion
qui se sont amplifiés avec l'invention du cycle à quatre temps,
augmentant le rendement et diminuant le poids par rapport à
la puissance: d'Otto à Beau de Rochas s'accomplit une trans-
formation des caractéristiques qui fait d'une machine fixe un
moteur pouvant être monté sur un véhicule; l'allumage élec-
trique, dérivé de la machine de Siemens et du principe de
Ruhmkorff, délivre le moteur à explosion de la servitude de la
veilleuse, utilisable en installation fixe, mais peu compatible
avec les secousses que subit un moteur de traction, et encore
moins compatible avec la précompression du mélange d'air et
de vapeurs de carburant. Ce n'est plus seulement l'expansion
d'un réseau industriel, mais la science thermodynamique qui
se manifeste dans le dernier perfectionnement des moteurs à
explosion, l'allumage par injection du carburant dans l'air for-
tement comprimé (système de Diesel).
Le moteur à explosion s'est donc d'abord éloigné du centre
industriel de production de l'énergie en restant dans la même
zone géographique mais en évoluant vers les petites puis-
sances, si bien qu'une seule usine à gaz pouvait alimenter plus
de mille moteurs; ensuite, ce même moteur n'a plus été conçu
comme nécessairement fixe; l'allégement et la diminution de
volume nécessaires à ce changement d'utilisation ont été obte-
nus par l'élévation du régime et la multiplication du nombre
de cylindres, ainsi que par la précompression de l'air carburé;
l'usage sur véhicules a été rendu possible par l'allumage élec-
trique, et par des systèmes de refroidissement adaptés aux
véhicules: radiateur à eau et thermosiphon, radiateur à eau
et pompes, ailettes pour les moteurs d'avion et de motocy-
clette ou même disposition à cylindres rotatifs (Gnome) assu-
rant dans l'air, pour les moteurs d'avion, un refroidissement

très énergique même avant que l'avion ait décollé. Tous ces moteurs sont industriels par leur construction et la préparation du carburant; mais ils ne sont généralement pas industriels de par les conditions de leur utilisation, si l'on prend industrie au sens de « concentration du travail dans une aire où se trouvent des ouvriers, des techniciens, des machines, de la matière ouvrable et de l'énergie »; ils ne sont industriels que par leur construction, parfois leur entretien, et de manière générale par leur alimentation en énergie; un tracteur de labour n'est pas utilisé en zone industrielle.

La puissance industrielle concentrée peut produire des objets quittant l'aire industrielle quand elle provoque la naissance de la tierce réalité conférant à ces objets une puissance ou des caractéristiques leur permettant d'être alimentés au loin en énergie, et de se suffire à eux-mêmes de manière automatique. Le courant triphasé des alternateurs permet la construction et l'alimentation à grande distance d'un moteur ayant des caractéristiques industrielles comparables à celles d'un gros moteur d'usine, bien qu'il fonctionne dans un atelier de charpentier de village; à la différence d'un moteur de Gramme (machine utilisée en réceptrice), un tel moteur peut fonctionner sans entretien pendant des années, car il ne comporte aucune pièce soumise au frottement, sauf les roulements à rouleaux ou à billes qui maintiennent l'axe en position à l'intérieur du stator; un moteur à essence pourvu d'un allumage électrique est du même type; ici, la tierce réalité est l'adjonction de l'allumage électrique par bobine de Ruhmkorff et de rupteur entraîné par le vilebrequin du moteur, ou par « magnéto », réunissant la génératrice de Siemens, la bobine de Ruhmkorff, et le rupteur, ce qui évite l'emploi d'une batterie, nécessaire dans le système dit « Delco »; cette tierce réalité joue le même rôle, pour le moteur du véhicule auquel il confère l'autonomie, que les rails pour le train - les rails ne font partie ni du milieu ni du train; ils sont l'émanation du monde industriel bien au-delà de la zone de concentration, le prolongement du centre de production métallurgique; l'allumage électrique du moteur à explosion adjoint à un système thermodynamique un procédé appartenant à un autre domaine de la science et de l'industrie. Le monde industriel, ayant développé de manière séparée différents produits et différents dispositifs, autorise des synthèses, à l'opposé des techniques pré-industrielles, qui opèrent avant tout des dédoublements et des perfectionnements de fonctions à partir d'un ensemble très dense.

Les perfectionnements nés de l'époque industrielle consistent soit en une tierce réalité, soit en une synthèse d'éléments

ait décollé. Tous ces
ction et la préparati-
ralement pas indus-
ation, si l'on prend
avail dans une aire
s, des machines, de
ne sont industriels
r entretien, et de
n énergie; un trac-
industrielle.

produire des objets
que la naissance de
e puissance ou des
imentés au loin en
nière automatique.
t la construction et
r ayant des caracté-
s d'un gros moteur
e de charpentier de
nme (machine utili-
donner sans entre-
orte aucune pièce
s à rouleaux ou à
l'intérieur du sta-
age électrique est
jonction de l'allu-
ff et de rupteur
par « magnéto »,
ne de Ruhmkorff,
terie, nécessaire
lité joue le même
fère l'autonomie,
artie ni du milieu
industriel bien au-
ment du centre de
que du moteur à
lique un procédé
et de l'industrie.
ière séparée dif-
torise des syn-
lles, qui opèrent
tionnements de

industrielle consis-
hèse d'éléments

appartenant à des ordres distincts de phénomènes et pourtant rassemblés en une même unité fonctionnelle constituant un microcosme technique, comme dans le cas du moteur thermique et de l'allumage électrique; **le moteur à explosion** se distingue de **la machine à vapeur**, partiellement pré-industrielle en ce que, dans la machine à vapeur, les maillons chargés d'effectuer les étapes successives de la transformation en chaîne sont distincts les uns des autres; le foyer est toujours allumé, la chaudière toujours sous pression, le moteur toujours dévolu à la transformation thermodynamique par établissement d'une communication entre source chaude et source froide par l'intermédiaire du piston en déplacement. Cette pluralité ordonnée tend à devenir moins étalée quand le dispositif se perfectionne: pour la machine à vapeur, la chaudière aquatubulaire réalise l'incorporation de la majeure partie du foyer à la chaudière; la chaudière enveloppe le foyer proprement dit, et ce foyer se prolonge à travers la chaudière par les tubes de fumée; l'échappement de la vapeur, après passage dans les cylindres, vient activer la combustion en entraînant activement les gaz brûlés, ce qui augmente le tirage, permet l'usage de courtes cheminées, et constitue de plus un dispositif auto-régulateur; plus il y a de vapeur consommée par le moteur, plus la combustion est vive, si bien que l'énergie produite dans le premier maillon de la chaîne (le foyer) varie de manière proportionnelle à l'énergie absorbée par le dernier maillon (le moteur). Quand on passe du moteur à vapeur au moteur à combustion interne, les différentes parties de la transformation thermodynamique ne se font plus en des lieux séparés, mais dans le même lieu soumis à l'alternance des phases du cycle; la rapidité du cycle permet de revenir à des systèmes plus proches des machines à vapeur primitives; le haut du cylindre d'un moteur à combustion interne est tantôt une pompe qui évacue les produits de la combustion, tantôt une pompe qui aspire de l'air pur (Diesel) ou un mélange d'air et de carburant en brouillard, tantôt un lieu où s'effectue la compression, tantôt enfin le lieu où s'effectue l'ensemble de la transformation thermodynamique (combustion en détente). Le régime est tellement élevé que les échanges de température avec le piston et le cylindre demeurent faibles au cours d'un cycle - le foyer ou la chaudière peuvent sans inconvénient être dans le cylindre; la régulation n'est pas perdue pour autant: l'aspiration, se faisant à chaque cycle, augmente avec la fréquence (régime de rotation); or, l'aspiration d'air commande la montée du combustible et son expulsion du gicleur dans la colonne d'air

entrant dans le cylindre. La régulation externe existe aussi (« accélérateur »).

Pour certaines applications demandant une faible masse et une construction compacte et simple (moteurs de vélomoteur), l'expansion industrielle n'a été possible que par un *renoncement partiel à la disjonction des opérations préparatoires*, tel est **le moteur à deux temps**, supprimant les soupapes et remplaçant leurs fonctions par un transfert entre carter et cylindre (le piston agissant comme le tiroir des machines à vapeur); en ce cas, les deux faces du piston sont actives, et le carter, aussi étanche que possible, joue un rôle actif dans le fonctionnement; le rendement total est diminué par cette extrême concentration (qui impose l'utilisation d'un mélange d'huile et d'essence, au lieu de l'huile pure et de l'essence pure du moteur à quatre temps); le fonctionnement est moins souple (les bas régimes sont irréguliers), mais le moteur est robuste et de petite taille et peut équiper des bicyclettes à moteur auxiliaire, des tondeuses à gazon, des scies à moteur. En certains autres cas, la concentration pluri-fonctionnelle n'est pas recherchée pour la simplification qu'elle procure, au détriment du rendement, mais au contraire pour un *accomplissement plus parfait des différentes fonctions* (**moteur Diesel, groupe bulbe et turbine Guimbal** des usines à basse chute, **moteurs à réaction** et **statoréacteur** de Leduc). Cet aboutissement extrême de la méthode industrielle peut aller si loin que les adaptations, caractéristiques des perfectionnements pré-industriels, s'en trouvent brisées; un moteur Diesel véritable n'est pas facile à mettre en route à la main, en raison de son taux de compression très élevé; les moteurs à réaction, dont le rendement est bon à vitesse élevée, sont loin d'être parfaits aux bas régimes et à la pression atmosphérique correspondant à 0 mètre d'altitude; pour lancer les moteurs d'un Boeing, il faut un équipement au sol important (batteries ou génératrices de courant); un Boeing dont les moteurs sont arrêtés, sur un aérodrome de fortune dépourvu d'équipement, est en panne. Quant au statoréacteur, il est le plus simple et le plus perfectionné des moteurs thermiques, mais il ne peut permettre à un avion de décoller, car son rendement ne devient intéressant que vers 1 000 kilomètres à l'heure. La perfection, à la fois industrielle et technique en même temps que scientifique, s'éloigne parfois des adaptations qui subsistent pour des machines moins parfaites¹; un avion à moteur à piston, du

1. Il est probable qu'aucun avion à grande vitesse ne serait apte à la pratique de la méthode de Jaeger: atterrir à contre-pente après avoir ralenti et cabré l'avion.

externe existe aussi
une faible masse et
eurs de vélomoteur)
que par un renonce
s préparatoires; tal
es soupapes et rem
ert entre carter et
oir des machines à
n sont actives, et le
n rôle actif dans le
diminué par cette
ation d'un mélange
et de l'essence pure
nement est moins
mais le moteur est
r des bicyclettes à
es soies à moteur...
pluri-fonctionnelle
qu'elle procure, au
e pour un accom-
fonctions (moteur
es usines à basse
r de Leduc). Cet
rielle peut aller si
des perfectionne-
un moteur Diesel
à la main, en rat-
s moteurs à réac-
élevées, sont loin
n atmosphérique
icer les moteurs
ortant (batteries
es moteurs sont
u d'équipement,
plus simple et le
s il ne peut per-
ient ne devient
. La perfection,
ps que scienti-
ubsistent pour
ur à piston, du

à la pratique de la
cabré l'avion.

type DC3 ou DC4, peut arriver à tenir l'air avec un seul moteur et parfois même à se poser sur un terrain de fortune; sur une piste trop courte, il peut freiner énergiquement dès qu'il a touché le sol au moyen des hélices à pas variable inversibles; ces avantages sont très atténués sur les avions à réaction qui nécessitent un réseau sans défaillance d'aérodromes parfaitement équipés: ces productions restent industrielles dans leurs conditions d'utilisation, mais les conditions sont rigoureuses.

III. EXEMPLES D'INVENTIONS ET DE PERFECTIONNEMENTS POST-INDUSTRIELS, DE TYPE SCIENTIFIQUE

Les inventions dirigées par une science déjà constituée ou en train de se constituer ne se manifestent ni par des adaptations ni par des enchaînements de fonctions allant jusqu'à créer un réseau ou des machines dans lesquels chacun des organes est pluri-fonctionnel et soumis à un cycle: le principe n'est plus l'équilibre stable ou l'équilibre indifférent, mais *l'équilibre métastable*; l'impératif majeur n'est ni l'adaptation aux termes extrêmes ni le rendement dans les maillons intermédiaires des transformations, nécessitant parfois une tierce réalité pour que le rendement au cours des transformations soit meilleur. L'essentiel est maintenant *la fidélité du transfert de l'information*, soit entre les différents organes d'une station, soit à très longue distance; cela impose l'absence de distorsions causées par les transformations, et aussi l'absence d'introduction de signaux parasites; le rendement énergétique est sacrifié à la rigueur de la *proportionnalité entre les signaux d'entrées et les grandeurs de sortie*, qu'il s'agisse d'un transducteur ou d'un amplificateur, ou même d'une machine à calculer. Le trait commun des objets techniques employant des schèmes scientifiques n'est pas qu'ils traitent des énergies faibles, mais qu'ils donnent la première place aux processus de transfert et de combinaison des signaux et qu'ils peuvent opérer des changements d'ordre de grandeur et de l'énergie porteuse de ces signaux; comme les systèmes pré-industriels, ils comportent des adaptations (entrée et sortie); comme les systèmes industriels, ils opèrent des enchaînements de transformations et comportent des spécialisations de fonctions; mais, de plus, ils comportent des *modulateurs* qui jouent un rôle essentiel et font usage de l'équilibre métastable; ce sont des machines à *déclenchement* qui utilisent des triggers. Ces

machines peuvent également employer des *systèmes de codage et de décodage*, selon le type d'énergie porteuse utilisée.

Le premier **télégraphe électrique** et le premier **téléphone** étaient bien des machines à information, mais leur débit (pour le télégraphe) et leur portée (pour le téléphone de Bell) étaient limités par le fait que le transfert d'information ne s'accompagnait pas d'une amplification ; lors de l'établissement réussi du premier câble trans-océanique, c'est au moyen d'un galvanomètre à miroir de Thomson que l'on contrôlera, dans l'atelier de l'électricité du Great Eastern, le fonctionnement du câble aboutissant à Valentia en Irlande, posé en 1865 et rompu (1^{er} septembre 1866) ; l'absence de stations d'amplification intermédiaires et l'énorme capacité du câble, qu'il fallait charger et décharger d'un signe à l'autre, imposaient une cadence de transmission peu élevée. **Le téléphone de Graham Bell** (10 mars 1876, Boston), dit téléphone magnétique, est une petite machine industrielle ; le microphone (plaque métallique disposée devant un électro-aimant polarisé) transforme l'énergie acoustique en énergie électrique ; à l'autre bout de la ligne, un appareil semblable opérait la transformation inverse ; chacun des appareils pouvait être utilisé comme microphone ou comme écouteur, cette réversibilité montre qu'il s'agit d'une simple transformation et non d'une modulation par relais : l'appareil n'employait aucune autre source d'énergie que la voix ; sa portée n'excédait pas quelques kilomètres ; les téléphones magnétiques existent encore de nos jours ; ils peuvent servir à construire de bons interphones, mais leur portée, même avec les meilleurs matériaux et des cornets exponentiels terminés par une chambre de compression, n'a guère augmenté. Par contre, **le microphone de Hughes**, qui est un véritable relais, non réversible, alimenté par une pile, permet une amplification : de grandes distances peuvent être franchies ; si la ligne est trop longue, on peut la fractionner en terminant chaque section par un écouteur dont la membrane agit sur un second microphone ; chaque station d'amplification fournit de l'énergie continue à l'état potentiel dans les piles. Grâce à ce procédé de relais amplificateurs en cascade, il existait aux États-Unis des lignes à très longue distance n'employant aucun amplificateur à lampe triode (renseignement fourni par Norbert Wiener au cours du Colloque sur le concept d'information dans la science contemporaine, Royaumont, en juillet 1962).

La radiotélégraphie et la radiodiffusion sont également des inventions étroitement liées aux sciences ; elles ne sont pas liées à un besoin urgent, à l'existence d'un goulot d'étrangle-

s systèmes de codage
orteuse utilisée.

premier **téléphone**
mais leur débit (pour
phone de Bell) étaient
formation ne s'accom-
établissement réussi
i moyen d'un galva-
ntrôlera, dans l'ate-
fonctionnement du
, posé en 1865 et
stations d'amplifi-
du câble, qu'il fal-
tre, imposaient une

téléphone de Graham

ne magnétique, est
phone (plaque métal-
polarisé) transforme
à l'autre bout de la
la transformation
tre utilisé comme
versibilité montre
non d'une modula-
cune autre source
pas quelques kilo-
ent encore de nos
bons interphones,
matériaux et des
mbre de compres-
le microphone de
versible, alimenté
grandes distances
longue, on peut la
un écouteur dont
; chaque station
à l'état potentiel
amplificateurs en
à très longue dis-
ampe triode (pen-
cours du Colloque
e contemporaine,

ont également des
elles ne sont pas
goulot d'étrangle-

ment dans un chantier ou dans une installation déjà existante.

Faraday, après la découverte de l'induction (1831), avait admis l'existence d'ondes transmettant l'énergie électrique; en 1845, il avait remarqué la polarisation rotatoire magnétique de la lumière; en 1865, Maxwell avait trouvé les symboles et le système d'équations permettant d'exprimer les conceptions de Faraday grâce à un seul et même système d'équations s'appliquant aux phénomènes lumineux et aux phénomènes électromagnétiques; les ondes lumineuses sont aussi des ondes électriques, considérées dans une bande de fréquences bien déterminée. Plusieurs expérimentateurs continuèrent le travail de Faraday, Hughes et Looge en Angleterre, Thomson et Dolbear aux États-Unis, Von Bezold et Hertz en Allemagne, ce dernier étant l'élève de Helmholtz; en 1861, Berend et Wilhelm Feddersen arrivèrent à produire des oscillations électriques en utilisant comme source d'énergie une bouteille de Leyde. En 1885, Hertz produisit des oscillations électriques avec deux conducteurs rectilignes de longueur égale terminés, près de la coupure, par deux boules entre lesquelles éclatait une étincelle électrique; le condensateur constitué par les deux boules était chargé par une bobine Ruhmkorff; l'étincelle établissait un régime oscillant (charges et décharges rapidement alternées); un courant alternatif à très haute fréquence circulait dans les deux conducteurs; pour augmenter ce courant, il était possible de placer des capacités terminales aux extrémités du doublet. Dans ces conditions, les ondes électromagnétiques émises (ondes amorties) étaient assez puissantes pour qu'il soit possible de les détecter au moyen d'un résonateur accordé (cercle de laiton interrompu par une très mince coupure où éclataient des étincelles).

Après l'invention du microphone de Hughes, Thémistocle Calzecchi-Onesti utilisa de la limaille pour voir si les ondes électromagnétiques de Hertz ne modifieraient pas la résistance de la limaille; effectivement, la limaille soumise aux ondes hertziennes était rendue plus conductrice; c'est le principe du détecteur ou cohéreur de Branly. En 1895, Alexandre Popov (qui avait travaillé sur les perturbations électriques causées par les orages au moyen d'une antenne verticale) alimenta une antenne avec l'oscillateur de Hertz monté entre une antenne verticale et la terre; il fut capable de transmettre en code télégraphique, et de détecter au moyen d'un cohéreur à limaille servant de relais à un récepteur de télégraphe le message suivant: « Heinrich Hertz. »

En 1896, la phase pratique de l'invention commence: Guglielme Marconi, conseillé par Righi, monte un émetteur à

éclateur de Hertz et un récepteur à antenne de Popov agissant sur un appareil Morse : il transmet un message à plusieurs centaines de mètres, en mai 1896, et prend un brevet le 2 juin ; en juillet 1896, ses messages franchissent la Tamise et portent à 14 kilomètres en mai 1897 ; alors intervient la « Wireless Telegraph and Signal Company » ; lord Kelvin transmet le premier radiogramme commercial. En 1900, Marconi utilise le travail d'Olivier Lodge et fait breveter le principe de l'accord entre la fréquence de résonance de l'antenne émettrice et de l'antenne réceptrice, qui fournit un couplage beaucoup plus serré que celui qu'on obtient avec des antennes de longueur quelconque, et évite les brouillages lorsque plusieurs émetteurs fonctionnent à la fois, tout en augmentant, pour une puissance donnée, la distance utile de réception : c'est le principe de la syntonie.

On voit donc que, si la majeure partie de cette première mise en place des télécommunications par ondes hertziennes a suivi de près la science, elle n'a pas manqué d'inventions à peu près purement techniques, qui n'étaient pas déduites de connaissances scientifiques. Ce qui a été apporté par la science, c'est avant tout le principe de la propagation des ondes électromagnétiques (théorie électromagnétique de la lumière par Maxwell), qui épanouit en théorie générale la découverte de Faraday ; Hertz était aussi homme de science ; il a soumis les ondes que produisait son éclateur-oscillateur aux conditions de propagation auxquelles on soumettait la lumière, et a retrouvé la réflexion, la réfraction ; mais c'étaient là des expériences de laboratoire, donnant une faible portée ; l'adjonction de l'antenne de Popov a permis aux oscillations, ou plutôt aux ondes électromagnétiques, de sortir du laboratoire pour se propager dans le milieu extérieur ; cela ne donnait, d'ailleurs, qu'un émetteur ; pour une transmission, il faut aussi un récepteur sensible ; là, l'antenne et un circuit accordé résonnant ne suffisaient pas ; il fallait détecter le courant à haute fréquence inaudible qui se formait par induction dans l'antenne ; ici intervient le travail de Calzecchi-Onesti, plus technique que scientifique ; si un microphone à limaille est un modulateur que le son peut actionner en faisant varier la résistance de la limaille, pourquoi le courant à haute fréquence ne pourrait-il pas, comme les ondes sonores mécaniques, agir sur ce modulateur ? Une telle analogie n'est pas à proprement parler scientifique ; en somme, c'est surtout l'émetteur qui est issu de la science. Le principe du rayonnement des antennes (fils dans lesquels circulent des charges électriques) étant connu, d'autres types

antenne de Popov agissant
et un message à plusieurs
6, et prend un brevet le
es franchissent la Tamise
1897; alors intervient la
pany»; lord Kelvin trans-
ercial. En 1900, Marconi
ait breveter le principe de
nance de l'antenne émet-
fournit un couplage beau-
ent avec des antennes de
uillages lorsque plusieurs
out en augmentant, pour
tile de réception: c'est le
partie de cette première
as par ondes hertziennes
s manqué d'inventions à
l'étaient pas déduites de
a été apporté par la
de la propagation des
électromagnétique de la
en théorie générale la
ussi homme de science;
son éclateur-oscillateur
uelles on soumettait la
n, la réfraction; mais
bratoire, donnant une
ne de Popov a permis
électromagnétiques, de
er dans le milieu exté-
un émetteur; pour une
eur sensible; là, l'an-
ne suffisaient pas; il
uence inaudible qui se
ci intervient le travail
ue scientifique; si un
teur que le son peut
se de la limaille, pour-
ourrait-il pas, comme
ce modulateur? Une
arler scientifique; en
issu de la science. Le
fils dans lesquels cir-
onnu, d'autres types

d'émetteurs ont été créés; le Danois Waldemer Poulsen a mis au point l'émetteur à ondes entretenues, utilisant un arc électrique spécial pour l'entretien du circuit oscillant, et le Canadien Reginald Fessenden a utilisé l'alternateur industriel multipolaire pour produire des courants alternatifs à haute fréquence prêts à être envoyés dans l'antenne; ce type d'émetteur n'emploie donc plus, pour créer le courant alternatif à haute fréquence, les oscillations électriques d'un circuit comprenant un condensateur et une self-inductance. De tels émetteurs existent encore de nos jours (seuls les émetteurs à ondes amorties sont interdits à cause de leur excessive largeur de bande): un émetteur de type Fessenden a longtemps subsisté, à cause de sa robustesse, comme émetteur de sécurité; un émetteur de type Poulsen a bien longtemps équipé la station de Pointe-à-Pitre; ces émetteurs de radiotélégraphie sont puissants et stables. En ce qui concerne strictement la radiotélégraphie, les émetteurs à grande puissance ont existé avant les récepteurs sensibles; peut-être faut-il voir là l'effet de la préexistence d'une théorie scientifique (les quatre équations de Maxwell, la résonance électrique) qui a permis de progresser selon une direction définie, en sachant d'avance que n'importe quel générateur de courant alternatif à haute fréquence pourrait alimenter une antenne dont la fréquence propre (fréquence de résonance) était la même que celle du générateur; peut-être aussi la préexistence des machines industrielles (alternateurs) a-t-elle permis une rapide adaptation de ces machines à la production d'une fréquence élevée; c'est bien le montage de Hertz qui a permis de déceler expérimentalement l'existence des ondes électromagnétiques et d'effectuer, avec adjonction d'antennes, les premières transmissions; mais ce montage à ondes amorties interdit maintenant pour les usages courants, et conservé seulement comme base de l'émetteur de sauvegarde des navires de commerce, en raison de sa robustesse, ne pouvait pas facilement dépasser une puissance de quelques centaines de watts, malgré le perfectionnement apporté par Marconi, employant des électrodes tournantes au lieu de l'éclateur fixe de Hertz (l'ordre de grandeur de la puissance des émetteurs de sauvegarde à étincelles pour les navires est donné par le règlement, qui exige 120 watts au moins). Les procédés de Poulsen et Fessenden permettent d'atteindre sans difficulté 10 kilowatts; le procédé de Fessenden est limité vers les fréquences hautes par la difficulté de construction de l'alternateur, mais il ne connaît pratiquement pas de limites de puissance, si bien que les émetteurs à ondes

longues de puissance élevée existent depuis longtemps. Ils présentent des caractéristiques scientifiques et industrielles

Les récepteurs, par contre, à cause de la difficulté qu'il y avait à étudier scientifiquement le phénomène de conduction asymétrique du courant, ont connu de nombreuses transformations; en 1902, Marconi a mis en service un détecteur magnétique; en 1906, les Américains Pickard et Dunwoody ont employé le détecteur à galène et la réception au son. Mais, en ce domaine, le pas le plus important a été franchi par Ambrose Fleming qui, en 1904, utilisant l'effet Richardson, a mis au point **la diode à cathode chaude**; ce tube électronique à vide constitue un détecteur à propriétés constantes, utilisé à partir de 1906 par Fessenden; toutefois, il manquait encore au récepteur la capacité d'amplifier le courant de haute fréquence et de basse fréquence avant et après détection; en 1907, Lee de Forest invente **la triode**, capable de remplir cette fonction de manière stable, et également capable d'opérer la détection avec une amplification considérable, grâce au montage à réaction positive; enfin, la triode permet d'écouter par réception au son un émetteur fonctionnant en ondes entretenues pures, si la réaction de la triode détectrice est poussée un peu au-dessus de la limite d'auto-entretien des oscillations locales; les inventions suivantes (oscillateur local pour changement de fréquence du récepteur super-hétérodyne; oscillateur de battement pour réception au son des ondes entretenues pures, agissant sur la fréquence intermédiaire avant détection) ont eu surtout pour effet de pousser à ses dernières limites la sensibilité - aux environs de 1 microvolt - et surtout d'éliminer le réglage délicat de l'étage détecteur à réaction, qui se trouve éliminé complètement des récepteurs destinés au grand public pour l'écoute de la radiodiffusion. Il faut signaler que le récepteur super-hétérodyne va dans le sens de la stabilité et de la constance du fonctionnement, par séparation des fonctions, étage par étage, alors qu'un tube détecteur à réaction est très sensible à la variation de l'une de ses conditions de fonctionnement: tension anodique, intensité du courant de chauffage de la cathode, donc de l'émission électronique de la cathode, et polarisation de la grille de commande, sans parler du taux de réaction, qui doit être réglable pour situer le fonctionnement juste au-dessus ou juste au-dessous du point d'auto-amorçage de l'auto-oscillation, selon qu'il s'agit de recevoir des ondes entretenues modulées ou des ondes entretenues pures; dans ce dernier cas, il faut que le montage récepteur auto-oscille afin de produire un battement

stent depuis longtemps; les
scientifiques et industrielles

cause de la difficulté qu'il y
a eu pour le phénomène de conduction

de nombreuses transformateurs
en service un détecteur

ainsi Pickard et Dunwoody
pour la réception au son. Mais,

portant a été franchi par
Richardson, en utilisant l'effet

Richardson; ce tube électronique
possède des propriétés constantes, utilisé

quelquefois, il manquait encore
pour le courant de haute fréquence

avant et après détection; en
utilisant un tube capable de remplir cette

fonction, capable d'opérer la
détention, grâce au montage

permet d'écouter par
l'intermédiaire d'ondes entretenues

de détection est poussée
l'entretien des oscillations

(oscillateur local pour
le récepteur super-hétérodyne;

la réception au son des ondes
à fréquence intermédiaire

l'effet de pousser à ses
limites environs de 1 microvolt-

de l'étage détecteur à
l'intermédiaire des récepteurs

de la radiodiffusion. Il
s'agit d'un hétérodyne va dans le

du fonctionnement, par
l'intermédiaire, alors qu'un tube

la variation de l'une de
l'intensité anodique, intensité

de l'émission élec-
trique de la grille de com-

qui doit être réglable
au-dessus ou juste au-

de l'auto-oscillation, selon
les ondes modulées ou des

en cas, il faut que le
produire un battement

audible avec les ondes entretenues pures de l'émetteur reçues
sous forme de trains à fréquence inaudible dans l'antenne; il
se produit donc, dans la détectrice à réaction positive, un
entrecroisement de fonctions qui obligent à ajuster avec pré-
cision les différents éléments du régime de fonctionnement:
potentiomètre de réglage de la température de la cathode, cou-
plage variable entre l'antenne et le circuit résonnant de grille
de commande, éventuellement couplage variable entre le cir-
cuit résonnant de l'anode et le circuit d'entretien des oscilla-
tions qui peut être confondu avec le circuit résonnant
d'entrée. En passant du récepteur à réaction au super-
hétérodyne, le montage a évolué dans le sens de la séparation
des fonctions, réglables de manière indépendante; au lieu de
demander la sélectivité de la réception à l'effet de réaction
positive, il la trouve dans la multiplication des circuits réson-
nants d'accord d'antenne et surtout de moyenne fréquence
(nommée aussi fréquence intermédiaire); pour produire un
son audible en ondes entretenues pures, il s'adresse à un oscil-
lateur séparé agissant sur la fréquence intermédiaire; enfin,
la réception à niveau quasi constant est obtenue par réaction
négative agissant sur les étages à fréquence intermédiaire et
diminuant leur pente pour les émissions fortes par accroisse-
ment de la polarisation négative de grille. Un tel récepteur, où
toutes les fonctions sont séparées les unes des autres et auto-
matisées (ligne de polarisation agissant par polarisation négative
sur les étages amplificateurs de fréquence intermédiaire dite
ligne « anti-fading »), est un récepteur commercial, destiné
à des utilisateurs souhaitant obtenir aisément une récep-
tion sans retouche ni réglages délicats; il a recours à une
commande unique pour l'accord d'antenne (syntonisation),
l'amplification, lorsqu'elle existe, du courant d'antenne dans
l'étage dit de haute fréquence accordée, et la variation de fré-
quence de l'oscillateur local, qui permet de recevoir un seul
émetteur: celui dont la fréquence, augmentée ou diminuée de
la valeur de la fréquence de l'oscillateur local, est égale à la
fréquence fixe transmise par les étages de fréquence inter-
médiaire, assurant à la fois amplification et sélectivité, avant
la détection et l'amplification de basse fréquence dont la sor-
tie actionne le haut-parleur. Un tel récepteur est surabondant
en coefficient total d'amplification; il ne peut recevoir, à cause
des commandes groupées, que des bandes prédéterminées de
fréquences; il n'opère qu'imparfaitement la réjection de la fré-
quence image, due à la production simultanée de la fréquence
somme et de la fréquence différence par l'étage changeur
de fréquence, alors qu'une seule de ces deux fréquences est

destinée à passer par les circuits accordés de l'amplificateur de fréquence intermédiaire, dite généralement « moyenne fréquence » en France. Or, *malgré sa complexité, c'est ce type de récepteur qui s'est imposé*, en raison de la simplicité de ses organes de commande; l'amateur a cédé la place à l'utilisateur profane, tandis que se créait, à côté du récepteur commercial, le récepteur professionnel de trafic, également de type superhétérodyne, mais possédant des dispositifs de réglage fin, comme le condensateur d'appoint d'antenne, la sélectivité variable, et l'oscillateur local de battement, agissant sur l'un des étages de fréquence intermédiaire pour l'écoute des ondes entretenues pures.

Corrélativement, **le tube à vide, triode ou tétrode puis penthode**, permettait de construire, à côté des émetteurs radiotélégraphiques, des émetteurs de radiodiffusion dans lesquels la puissance d'antenne, au lieu d'être modulée par tout ou rien au moyen d'une clef de Morse (interrupteur), pouvait être modulée par des courants phoniques ou musicaux convenablement amplifiés en puissance; l'auto-entretien d'un maître-pilote oscillateur à quartz piézo-électrique apportait plus de stabilité que le montage auto-oscillant des premiers émetteurs. Un oscillateur à quartz en enceinte thermostatée donne un étalon de fréquence stable à moins d'un millionième; par l'enchaînement des étages d'amplification, le maître-oscillateur à quartz (qui est d'ailleurs l'unique élément auto-oscillant d'un émetteur) peut stabiliser une puissance d'émission de plusieurs centaines de kilowatts, alors qu'on lui emprunte seulement quelques centièmes de watt.

Les progrès en puissance, stabilité et sensibilité des systèmes d'émission et de réception de radiotélégraphie et de radiodiffusion ne se sont pas effectués comme ceux des machines industrielles (par exemple le moteur à explosion) par pluri-fonctionnalité et surdétermination fonctionnelle de chaque élément, mais plutôt par différenciation, dédoublement, séparation. C'est pourquoi il n'y a pas une seule « bonne forme » unique de la disposition des éléments d'un tout, ni un regroupement comme celui qui caractérise le moteur à explosion, où le haut du cylindre joue, au cours du même cycle, quatre rôles complètement différents; un récepteur de voiture ou d'avion peut être divisé en plusieurs blocs reliés par des câbles blindés; dans l'un s'opèrent la préamplification de haute fréquence et le changement de fréquence, dans l'autre, l'amplification de fréquence intermédiaire et la détection par diode, dans le troisième, l'amplification de basse fréquence; le

ordés de l'amplificateur
alement « moyenne fré-
plexité, c'est ce type de
de la simplicité de ses
à la place à l'utilisateur
récepteur commercial,
alement de type super-
positifs de réglage fin,
antenne, la sélectivité
ent, agissant sur l'un
our l'écoute des ondes

ou **tétrode** puis pen-
des émetteurs radio-
ffusion dans lesquels
modulée par tout ou
errupteur), pouvait
ou musicaux conve-
auto-entretien d'un
électrique apportait
cillant des premiers
ceinte thermostatée
ns d'un millionième;
fication, le maître-
nique élément auto-
er une puissance
atts, alors qu'on lui
e watt.

sensibilité des sys-
iotelegraphie et de
comme ceux des
oteur à explosion)
on fonctionnelle de
ociation, dédouble-
s, une seule « bonne
ts d'un tout, ni un
le moteur à explo-
s du même cycle,
cepteur de voiture
blocs reliés par
éamplification de
nce, dans l'autre,
t la détection par
sse fréquence; le

haut-parleur peut encore occuper un emplacement différent. Une station de radiodiffusion peut avoir son studio au cœur d'une ville et son émetteur au-delà de la banlieue, à plus de 20 kilomètres, et parfois à 150 kilomètres (cas de France-Inter). Les studios recherchent la concentration urbaine, tandis que les émetteurs et les centres de réception recherchent des lieux géographiques déterminés, en général loin des villes et, pour les centres de réception, des zones industrielles. Les récepteurs et les émetteurs sont déjà en eux-mêmes des réseaux: ils ne perdent rien à l'éloignement de leurs blocs fonctionnels les uns par rapport aux autres; ils y gagnent même l'absence de couplages intempestifs entre les différents éléments: dans un récepteur, les vibrations mécaniques transmises par le haut-parleur peuvent affecter les condensateurs variables et produire l'effet Larsen; dans un émetteur, les ondes hertziennes provenant de l'antenne sont captées par le câble du microphone et peuvent causer, si les blindages ne sont pas assez parfaits, des courants induits qui amorcent une auto-oscillation de tout l'ensemble; les dispositifs de redressement du courant d'alimentation peuvent eux aussi être une source de perturbation. Dans la technique de radar (*radio detecting and ranging*), il faut des dispositifs spéciaux pour protéger le récepteur pendant les « tops » d'émission, qui atteignent une puissance instantanée très élevée, alors qu'il y a avantage à utiliser la même antenne successivement pour l'émission des tops et la réception des échos; ces remarques s'appliquent encore plus directement aux montages à diodes cristallines et à transistors, qu'une brève surtension peut détruire plus facilement qu'un tube à vide; tout couplage entre l'entrée et la sortie doit être prohibé.

Avec les objets techniques nés des découvertes scientifiques, on assiste à l'invention d'**ensembles** qui sont déjà en eux-mêmes de type composite, *mettant en jeu des phénomènes appartenant à des chapitres très différents du savoir*; cette hétérogénéité fondamentale, remplaçant la relative homogénéité des machines industrielles, fait que chaque objet est lui-même en une certaine mesure un *réseau*; dès lors, il ne possède pas une structure rigoureusement déterminée pour l'ensemble; réseau en lui-même, il n'a aucune difficulté à devenir un point nodal pour des réseaux plus vastes, ou à être réparti en plusieurs sous-ensembles séparés les uns des autres mais interconnectés; par exemple, pour les télécommunications lointaines par ondes hertziennes, le fading est un phénomène très gênant; l'irrégularité mouvante des réflexions d'ondes courtes entre la surface conductrice (terre,

océans) et les couches de l'ionosphère fait qu'une antenne réceptrice reçoit, d'une minute à l'autre, une quantité d'énergie pouvant fluctuer entre 1 et 20, et même tomber au-dessous du niveau du bruit de fond; le seul remède connu à ce jour consiste à transmettre simultanément sur plusieurs fréquences et, pour chaque fréquence, à recevoir en plusieurs points assez distants les uns des autres pour que le fading ait peu de chances de provoquer une extinction dans toutes les bandes et en tous les points de réception (ce type de réception en plusieurs lieux interconnectés se nomme «réception diversité»). Autrement dit, on constitue un réseau de réception qui fonctionne tant qu'un seul des points d'un seul des canaux reçoit convenablement l'onde émise sur plusieurs fréquences.

En matière de **télévision**, il y a loin des expériences de laboratoire aux réalisations pour le public; cependant, malgré l'éloignement, le couplage entre un récepteur et la caméra à travers les différents étages du centre de prise de vues, l'émetteur, les faisceaux hertziens, puis l'émetteur terminal, est encore plus serré et plus complexe que pour la radiodiffusion; il s'agit d'un véritable réseau, car le centre d'émission contient les deux bases de temps, horizontale et verticale (lignes et images), qui vont d'une part gouverner les caméras et d'autre part, par leurs signaux transmis sous forme de tops de synchronisation, gouverner le balayage horizontal et le balayage vertical des récepteurs; les signaux de vidéo fréquence et les tops de synchronisation modulent l'onde hertzienne «image»; une autre onde hertzienne distincte est porteuse des signaux du son; ce qui a été dit de la radiodiffusion se retrouve donc dans le cas de la télévision, avec, en plus, des transmissions par faisceaux hertziens étroits utilisant les hyper-fréquences, seul procédé actuellement connu pour propager d'un point à un autre des signaux occupant une aussi large bande que la vidéo fréquence et les signaux à front raide de la synchronisation; si la même fréquence porteuse peut convoyer à la fois les deux types de signaux de synchronisation et la vidéo fréquence, c'est parce que la synchronisation intervient de façon invisible pendant les retours du spot (retour d'une fin de ligne au début de la suivante et du bas de l'image au haut de l'image); dans le système français, ces signaux sont situés dans l'infrarouge, correspondant aux 3/10 de la tension maximum; les différents degrés de gris occupent les 7/10 supérieurs, le blanc pur correspondant à 10/10.

Il n'y a pourtant qu'une seule antenne et un seul câble de descente pour chaque récepteur, mais, peu après les amplifi-

fait qu'une antenne
une quantité d'éner-
ne tomber au-dessous
ède connu à ce jour
sur plusieurs fré-
recevoir en plusieurs
pour que le fading ait
tion dans toutes les
(ce type de réception
me «réception diver-
seau de réception qui
un seul des canaux
lusieurs fréquences.

expériences de labo-
cependant, malgré
teur et la caméra à
de prise de vues,
l'émetteur terminal,
e pour la radiodiffu-
le centre d'émission
horizontale et verticale
gouverner les caméras
s sous forme de tops
ge horizontal et le
gnaux de vidéofré-
ndulent l'onde hert-
enne distincte est
dit de la radiodiffu-
sion, avec, en plus,
étroits utilisant les
nt connu pour pro-
occupant une aussi
naux à front raide
nce porteuse peut
x de synchronisa-
a synchronisation
retours du spot
vante et du bas de
ème français, ces
ondant aux 3/10
s de gris occupent
lant à 10/10.
un seul câble de
après les amplifi-

cateurs accordés de l'entrée et l'étage changeur de fréquence, interviennent des aiguillages successifs distribuant l'information à des organes indépendants les uns des autres. La première bifurcation intervient dans l'amplificateur de fréquence intermédiaire; à partir d'un certain point, deux chaînes parallèles, l'une à bande passante étroite, pour le son, l'autre à bande large, pour la vision et la synchronisation, réglées sur des fréquences différentes, acheminent séparément les signaux; la chaîne de fréquence intermédiaire «son» se termine par une détection, puis par une préamplification de basse fréquence et une amplification de puissance, comme dans un récepteur de radiodiffusion. La chaîne de fréquence intermédiaire «image» se termine par un étage séparateur à seuil qui envoie dans l'amplificateur de vidéofréquence (commandant l'intensité du flux électronique du tube à rayons cathodiques) les tensions comprises entre 3/10 et 10/10 de la tension totale, grâce à un montage à seuil; les deux tensions de synchronisation sont dédoublées par intégrateurs et différentiateurs, et envoyées sur l'entrée de synchronisation des bases de temps qui produisent le balayage, le schéma du récepteur est donc un arbre; l'antenne, le câble, le transformateur d'entrée adaptateur d'impédances, le préamplificateur de haute fréquence à circuits accordés par noyaux et condensateur, enfin l'étage changeur de fréquence, sont un tronc unique; le premier étage de l'amplificateur de fréquence intermédiaire peut également être unique; ensuite on trouve deux voies, celle du son, qui se prolonge jusqu'au haut-parleur, et celle de l'image, qui se dédouble en signaux de synchronisation et vidéofréquence; la vidéofréquence aboutit, par un étage amplificateur réglable, à la commande du faisceau (électrode de Wehnelt ou action sur le potentiel de cathode); après l'étage séparateur, les signaux horizontaux et verticaux sont eux-mêmes séparés et agissent sur les bases de temps qu'ils synchronisent de manière séparée; ce sont donc, en tout, quatre voies qui proviennent du tronc unique de l'entrée, accordable sur l'un des dix ou douze couples de fréquences porteuses provenant des émetteurs pouvant être reçues à l'endroit où se trouve le récepteur.

En laissant de côté la transmission du son, qui est, pour l'émission, complètement indépendante de tout ce qui concerne la vision, on peut considérer l'émission comme la concentration, sur une fréquence porteuse unique, des deux signaux de synchronisation et de vidéofréquence: le récepteur opère les deux dédoublements nécessaires pour restituer la vidéofréquence et les deux types de signaux de synchronisation à

l'arrivée. La pluralité des fonctions au point d'émission est donc condensée de manière à être transmise par un canal unique; elle est ensuite, à l'arrivée, restituée dans sa pluralité grâce à un décodage répondant aux caractéristiques du codage de l'émission; cet accord du codage et du décodage constitue un standard; un récepteur ne peut fonctionner qu'en recevant un émetteur du même standard (modulation positive ou négative, durée et fréquence des signaux de synchronisation, écart de la porteuse son et de la porteuse image, type de modulation, en amplitude ou en fréquence).

Le schéma de **la relation entre un émetteur et des récepteurs** prend globalement la forme d'une étoile à multiples bras dont l'émetteur occupe le centre; mais cette représentation est assez conventionnelle et globale; elle ne correspond qu'à l'émetteur de radiodiffusion ou de télévision destiné à diffuser un programme dans une région; des émetteurs et récepteurs de télécommunications (émissions dirigées) correspondraient plutôt à des centres éloignés couplés par des échanges d'énergie, comme deux gares par la voie ferrée. Le schéma global de l'étoile rayonnante peut se résoudre en une multitude de schémas de centres couplés, l'un des centres étant commun à tous les schémas. Et si l'on pénètre à l'intérieur de l'un des centres, qu'il soit d'émission ou de réception, on trouve une structure d'arbre, le tronc étant vers l'extérieur, les branches vers l'intérieur; un émetteur rassemble et fait converger l'information venant de plusieurs studios, ou bien de plusieurs voitures de reportage, de plusieurs bandes magnétiques: il centralise des canaux dans sa régie; la même prise de vues se fait avec plusieurs caméras dont les signaux peuvent être sélectionnés, ceux d'une seule caméra étant retenus pour une séquence, ou présentés simultanément grâce à des surimpressions, des fondus enchaînés, ou bien grâce à un fractionnement de la surface totale de l'image; le choix de l'information « envoyée sur l'antenne » à chaque instant suppose une structure en arbre des canaux qui apportent l'information; et ces canaux ne sont pas seulement coexistants; ils reçoivent de la régie, de manière centrifuge, les signaux de synchronisation assurant un balayage unique pour toutes les sources d'information; sauf cas particuliers (enregistrements sur rubans magnétiques, liaisons en duplex avec un réseau étranger impliquant une conversion de standards), la vidéo-fréquence reçue de manière centripète des diverses branches arrive au tronc selon des normes de balayage uniques, provenant du tronc et allant aux branches de manière centrifuge;

du point d'émission est transmise par un canal constituée dans sa plura- x caractéristiques du odage et du décodage peut fonctionner qu'en d (modulation positive naux de synchronisa- rieuse image, type de ce).

teur et des récepteurs

à multiples bras dont e représentation est ne correspond qu'à on destiné à diffuser teurs et récepteurs s) correspondraient des échanges d'éner- Le schéma global de e multitude de sché- tant commun à tous rieur de l'un des ion, on trouve une rieur, les branches et fait converger u bien de plusieurs s magnétiques: il e prise de vues se aux peuvent être retenus pour une ace à des surim- grâce à un frac- ge; le choix de que instant sup- apportent l'infor- coexistants; ils , les signaux de e pour toutes les enregistrements avec un réseau ards), la vidéo- erses branches e uniques, pro- ère centrifuge;

c'est la condition pour que les images soient miscibles partiellement ou totalement; la structure d'un émetteur est donc bien une structure en arbre, centripète pour l'information, se dirigeant des branches vers le tronc, et centrifuge pour les signaux de synchronisation, émanant d'un tronc unique et se propageant dans toutes les branches.

Dans **le récepteur**, l'information arrive par le tronc unique de l'antenne et emprunte ensuite des parcours séparés selon qu'il s'agit du son, des deux espèces de signaux, ou de la vidéofréquence; chaque espèce de signaux agit sur un organe pouvant être asservi: amplificateur du son, amplificateur de vidéofréquence, multivibrateur (relaxateur) des lignes, et multivibrateur (relaxateur) des images; la synthèse ne se fait que dans les dispositifs de sortie et du point de vue de l'utilisateur, car il n'y a pas de couplage interne entre la chaîne du son, la base de temps des lignes, la base de temps des images, et la vidéofréquence. Le récepteur est construit en arbre comme l'émetteur, mais le sens de l'information va du tronc aux branches, et il ne possède pas lui-même de source d'information; il n'a pas une double circulation dans ses branches; le fait qu'il possède un oscillateur local de changement de fréquence ne doit pas être assimilé à l'existence d'une source d'information, car cet oscillateur n'émet de rayonnement que par ses imperfections, et sert seulement à obtenir la syntonie, l'accord avec l'émetteur; les bases de temps sont douées de fonctionnement spontané en l'absence de tout signal extérieur, mais cette propriété correspond seulement au fait qu'elles reçoivent l'impulsion de synchronisation pendant une faible fraction de leur cycle, à chaque cycle, et assurent pendant tout le reste du temps un balayage linéaire ainsi que l'alimentation en très haute tension, fournie par les brefs retours du balayage des lignes; ce dernier dispositif n'est pas obligatoire; la très haute tension peut être fournie de manière séparée; le fait qu'elle soit prélevée sur le transformateur des lignes réalise seulement un dispositif de sécurité; si la base de temps des lignes vient à cesser de fonctionner, la concentration de toute l'énergie du faisceau d'électrons accélérés sur un même point du tube à rayons cathodiques pourrait endommager l'écran ou même le perforer; il est donc utile que les bases de temps fonctionnent en l'absence de toute réception, et qu'un arrêt de la base de temps des lignes provoque la disparition quasi instantanée de la très haute tension.

La principale caractéristique des réseaux des machines à information est qu'ils sont, partiellement au moins, irréver-

sibles, tandis que les réseaux industriels sont réversibles, un chemin de fer peut être parcouru dans les deux sens (ce qui permet l'installation des lignes à voie unique). Une ligne de transport d'énergie électrique peut également être parcourue dans les deux sens : les lignes à haute tension d'interconnexion sont précisément employées pour égaliser la production et la consommation dans les diverses régions au moyen de compensations ; il suffit qu'une nuée sombre passe au-dessus d'une agglomération importante pour que la consommation soit, d'une minute à l'autre, nettement supérieure à la normale, lorsque le phénomène se produit de jour, c'est-à-dire pendant les heures où les usines consomment le plus d'énergie ; le réseau des lignes d'interconnexion intervient aussi pour compenser les fluctuations de la production ; à la fonte des neiges, les usines hydroélectriques de telle ou telle région peuvent donner leur maximum de puissance. Les bennes ou cages guidées dans un puits de mine peuvent alternativement monter et descendre dans les mêmes guides. Certes, cet usage réversible des réseaux industriels implique un minimum d'information transmise (téléphone et signaux pour la circulation des trains « montants » et « descendants » sur une ligne à voie unique, synchronisation du réseau électrique, messages transmis par courants de haute fréquence sur les lignes à haute tension), mais l'information ne joue, dans ces conditions, qu'un rôle d'auxiliaire. La réversibilité, pour les réseaux industriels, joue un rôle essentiel d'équilibre, et d'équilibre actuel, dans le sens de la synchronie ; c'est une des préoccupations de tous les réseaux de transports d'assurer une bonne rotation du matériel, c'est-à-dire de ne pas risquer un retour à vide après un aller chargé de fret. Dans quelques cas particuliers (téléphérique de Lyon), la préoccupation d'équilibre indifférent et la nécessité de réversibilité ont été harmonieusement conciliées ; les voitures sont tractées par câble au moyen d'un treuil et d'une machine motrice à la station supérieure ; les poids morts des deux voitures, l'une montante, l'autre descendante, s'équilibrent. La précision du fonctionnement du treuil est suffisante pour que les voitures s'arrêtent bien en face des quais, à la station intermédiaire.

Dans les réseaux adaptés au transport de l'information, la réversibilité existe bien pour les organes passifs ou les canaux de transmission ; un circuit téléphonique fonctionne dans les deux sens ; un radar utilise la réversibilité en émettant un top à très haute puissance pendant une faible partie du cycle, puis en recevant les différents échos hertziens pendant tout le reste du cycle, grâce à un rigoureux découpage temporel qui

sont réversibles; un
es deux sens (ce qui
nique). Une ligne de
ment être parcourue
tension d'intercon-
galiser la production
s au moyen de com-
re passe au-dessus
e la consommation
upérieure à la nor-
our, c'est-à-dire pen-
t le plus d'énergie;
ervient aussi pour
on; à la fonte des
lle ou telle région
nce. Les bennes ou
nt alternativement
s. Certes, cet usage
que un minimum
aux pour la circu-
ts » sur une ligne à
ctrique, messages
e sur les lignes à
ans ces conditions,
pour les réseaux
re, et d'équilibre
une des préoccu-
assurer une bonne
risquer un retour
quelques cas parti-
ation d'équilibre
t été harmonieu-
es par câble au
à la station supé-
l'une montante,
n du fonctionne-
tures s'arrêtent
aire.

l'information, la
fs ou les canaux
tionne dans les
émettant un top
le du cycle, puis
pendant tout le
ge temporel qui

bloque le récepteur pendant l'émission; les sondeurs iono-
sphériques agissent de même; mais, précisément, le radar,
grâce à un dispositif précis de commutation, est alternative-
ment émetteur et récepteur sur chacun des canaux que
découpe la directivité de son antenne. *En matière d'informa-
tion, la réversibilité implique une alternance de fonctions*; elle
reste essentiellement asymétrique; c'est le passage de la
réversibilité à l'irréversibilité qui fait la différence essentielle
entre le téléphone de Bell et celui de Hughes; le téléphone de
Bell est une machine industrielle de petite taille; celui de
Hughes est un dispositif à relais amplificateur dans lequel le
microphone et l'écouteur sont complètement différents; dès
qu'un amplificateur est inséré dans une ligne, il la rend irré-
versible (à moins que l'on n'emploie des fréquences porteuses
différentes) et fait dépendre son fonctionnement d'une éner-
gie potentielle disponible au point d'amplification, le relais exi-
geant un équilibre de type métastable, ce qui est le *principe de
l'irréversibilité*: l'entrée commande le passage de l'énergie
vers la sortie, tandis que l'état de la sortie ne convoie pas
l'énergie vers l'entrée, tout au moins avec amplification.

L'emploi de l'électricité, surtout sous forme d'électrons
libres dans le vide ou en transit dans les semi-conducteurs,
permet de fabriquer des **relais** fonctionnant pratiquement
sans inertie (plusieurs millions de fois par seconde), ce qui
autorise un débit d'information très élevé, employé particu-
lièrement en télévision; toutefois, l'irréversibilité et la
construction de relais, pour un fonctionnement lent, n'exigent
pas l'usage de l'électricité; il existe des relais à fluides (air
comprimé, eau, vapeur) capables de commander avec une
rapidité suffisante des freins ou la mise en position correcte
d'un gouvernail de navire; un robinet, une valve sont des
relais; une **forme particulière de relais, non électrique**, a été
mise au point pour la marine: un jet d'eau sous pression tra-
verse en permanence un boisseau présentant deux issues;
normalement, quand il n'est pas dévié, le jet d'eau s'échappe
en totalité par l'une des deux issues: son énergie est perdue;
mais un ajutage perpendiculaire au jet d'eau principal permet
de la faire dévier au moyen d'un petit jet d'eau constituant
l'entrée d'information (ou commande); le jet d'eau porteur
d'énergie est alors plus ou moins fortement dévié vers la
seconde issue, qui est la sortie efficace, commandant un
moteur, un effecteur; la quantité d'eau sous pression s'échap-
pant par la sortie efficace est proportionnelle à la force exer-
cée par le jet d'eau de commande; cette valve est donc un
amplificateur d'un type particulier puisqu'il ne fait pas appel

à une réserve d'énergie potentielle, mais seulement à une veine liquide possédant une énergie cinétique constante qui peut être, selon la commande, soit dissipée, soit utilisée dans un effecteur : comme il ne possède aucun organe mécanique, il présente une inertie faible, et peut pourtant moduler une énergie considérable avec un seul étage.

L'irréversibilité des relais (pas d'action de la sortie sur l'entrée) permet de les monter en cascade de manière à obtenir une amplification considérable ; l'amplification mesurée entre la première entrée et la dernière sortie est égale au produit des amplifications réalisées par chacun des étages ; avec trois étages de pentodes, on peut obtenir une amplification en tension de plus de 1 million ; cette extrême facilité d'amplification a joué un grand rôle dans le développement des télécommunications et de la diffusion hertzienne (radiodiffusion, télévision) ; en effet, l'énergie émise de manière non dirigée par une antenne, même avec une puissance de plusieurs centaines de kilowatts, ne donne qu'une induction très faible à quelques centaines de kilomètres ; le courant induit dans l'antenne réceptrice peut à peine être détecté et utilisé dans un écouteur ; il ne pourrait synchroniser directement des bases de temps ou moduler efficacement l'intensité du faisceau d'un tube à rayons cathodiques ; il faut que les signaux, grâce aux relais (tubes triodes ou pentodes, transistors), passent de quelques dizaines de microvolts à quelques dizaines de volts. Or, pour **les usages des télécommunications, de la radiodiffusion, de la télévision, du radar**, ces amplifications (et éventuellement, blocages et déblocages, commutations, synchronisations) doivent s'effectuer en un temps plus court que le temps physiologique des correspondants ou observateurs ; les techniques de l'information demandent deux changements d'ordre de grandeur : l'un, pour l'amplitude des signaux, est réalisé par les amplificateurs, qui peuvent avoir sans difficulté un gain de 1 million ; l'autre, pour l'analyse, le codage, la transmission et la recomposition en temps du signal. Quand deux interlocuteurs communiquent par-dessus l'océan, il faut que l'ensemble des systèmes de transmission fonctionnent assez vite (y compris les codages, transmissions et décodages) pour que la simultanéité pratique soit conservée, sans intervalle anormal entre les questions et les réponses ; or, tous les temps de transit s'ajoutent, qu'il s'agisse du transit dans les lignes ou du transit des électrons dans le vide des tubes amplificateurs, ou encore du temps de propagation des ondes hertziennes ; l'électricité et l'électronique, ainsi que les ondes hertziennes, per-

mettent des fonctionnements et propagations assez rapides pour qu'on puisse les considérer comme pratiquement en temps, sans attente sensiblement plus grande que lorsque deux interlocuteurs conversent par voie acoustique à quelques mètres l'un de l'autre. Cette caractéristique existe pour la télévision aussi bien que pour le téléphone; les réseaux irréversibles sont aussi les réseaux simultanés, parce qu'ils accomplissent des millions d'opérations en 1/10 de seconde; si l'analyse complète d'une image de télévision et sa restitution sur le récepteur demandaient plus de 1/25 de seconde, la continuité du mouvement cinématographique (effet stroboscopique) ne pourrait pas être convenablement rendue: le temps technique serait trop long par rapport au temps humain.

Or, cette analyse demande entre 500 000 et 700 000 changements possibles de valeurs de la vidéofréquence ou des transmissions des signaux de synchronisation; il faut donc que le temps de fonctionnement de tous les circuits et relais permette la transmission de fréquences au moins égales à $500\ 000 \times 25$ hertz, et d'une fréquence supérieure si l'on désire que les impulsions à front raide soient correctement transmises. Toutes les causes de réduction de cette bande passante rendent l'image moins détaillée dans sa définition horizontale, par contre la synchronisation des lignes et des images, relevant de signaux transmis à des fréquences moindres, reste stable malgré d'importantes réductions de la bande passante.

*Capacité d'amplification, rapidité du changement d'état des relais amplificateurs et des organes de transmission, telles sont les deux conditions principales de la transmission et du traitement de l'information (ne serait-ce que par codage et décodage) qui caractérisent les **machines à information communiquant les unes avec les autres en réseau**, à la différence des machines industrielles, dont le rendement maximum correspond à l'équilibre indifférent, c'est-à-dire à la tendance à l'immobilité; c'est l'état métastable des relais qui apporte aux machines à information leur rapidité de fonctionnement.*

Cette rapidité de fonctionnement dans la transmission de l'information et l'amplification des signaux peut être utilisée (en dehors des télécommunications et des usages qui en dérivent) pour l'**auto-régulation des systèmes mécaniques ou thermodynamiques**, par réaction négative (contre-réaction) ou pour l'auto-oscillation, par réaction positive; en ce sens, l'information s'applique aux systèmes énergétiques déjà constitués en leur apportant une meilleure régulation. Le régu-

lateur centrifuge de Watt est parfaitement efficace, mais il n'agit de manière bien adaptée que lorsque la modification de la charge est lente; une modification brusque (courroie qui tombe, scie qui se bloque), plus rapide que la descente ou l'élévation des masses centrifuges du régulateur, provoque l'emballement ou l'arrêt du moteur à vapeur; l'augmentation de son coefficient d'amplification avec conservation de l'inertie peut provoquer des oscillations (critère de Nyquist); on observe un semblable phénomène sur les régulateurs de tension des génératrices d'électricité par modification (contrôle) de l'excitation; dans certaines conditions de charge faible, au lieu d'être stabilisée en tension, la génératrice oscille lentement entre 100 et 200 volts de tension de sortie; la principale raison de ces phénomènes est la lenteur de l'action efficace du régulateur; si la voie de feed-back est au contraire pourvue d'un capteur et d'un amplificateur très rapides, on n'observe pas ces oscillations lentes entre le plein régime et le régime réduit, lorsque le feed-back est négatif (contre-réaction); par contre, en utilisant un déphasage convenable, on peut faire auto-osciller à peu près toutes les machines qui ont une entrée d'énergie variable (c'est le cas d'une génératrice de courant, car l'énergie qu'elle reçoit de la courroie qui l'entraîne dépend de son état excité ou non excité).

Cependant, l'usage principal des régulateurs à grande vitesse de fonction n'est pas d'améliorer les machines industrielles mais de permettre **le fonctionnement en temps des machines adaptées aux vitesses élevées**: les dispositifs automatiques de correction du tir contre avions doivent, à partir du moment où l'avion est repéré par un faisceau de radar ou par un projecteur, prévoir l'endroit où il sera quand un obus sera susceptible de l'atteindre. Cette prévision tient compte de la vitesse de l'avion, de sa distance, de sa trajectoire, ainsi que de la vitesse et de la trajectoire de l'obus; c'est donc un calcul qu'il faut faire à partir d'un certain nombre de données; la durée de ce calcul, exécuté par un homme, serait tellement longue que le résultat obtenu ne s'appliquerait plus aux données ayant servi à résoudre le problème, parce que l'avion se serait notablement déplacé et aurait pu changer de cap; au contraire, si le calcul est fait par un ensemble de relais, le résultat pourra apparaître avant que les données du problème ne soient périmées; le même travail de calcul, exécuté au moyen d'organes mécaniques, arriverait lui aussi trop tard; le principal avantage des **machines à calculer électroniques** est leur rapidité de fonctionnement, permettant d'obtenir un résultat encore utilisable parce que les « machines méca-

niques», même les plus rapides, se déplacent lentement et changent de régime lentement (accélération, ralentissement, changement de cap) si on compare leur fonctionnement à celui des machines électroniques. Les machines à calculer possèdent certes d'autres usages, mais leur développement considérable vient surtout de la nécessité d'exécuter des calculs en temps, sans retard appréciable par rapport à l'action qui se déroule selon un temps dont l'ordre de grandeur reste mécanique, c'est-à-dire peu rapide par rapport aux fonctionnements électriques et électroniques. Les machines à calculer restent efficaces pour calculer les corrections de trajectoires à apporter aux vaisseaux spatiaux, malgré la vitesse à laquelle ils se déplacent, très élevée mais encore d'un ordre de grandeur mécanique; leur efficacité est complétée par la rapidité de transmission des données (à la vitesse de la lumière) entre un vaisseau spatial et la Terre; pour cet usage, on peut dire que des machines travaillant en temps peuvent avoir, en partie au moins, leur entrée sur la Lune, leurs organes de calcul et leurs organes de mémoire sur la Terre, et leur sortie, leurs effecteurs, à nouveau sur la Lune, sans délai prohibitif par le fait des transmissions, ou par la durée du fonctionnement nécessaire du calcul.

Dans d'autres cas, un analyseur du rythme cardiaque des malades hospitalisés a le temps de déclencher l'alarme en salle de garde assez tôt pour que le traitement intervienne avant l'asphyxie du cerveau.

CONCLUSION. IL Y A UN SENS GÉNÉRAL DE L'ÉVOLUTION DES TECHNIQUES

Les premières inventions avaient pour but d'assurer des adaptations, de construire des dispositifs invariables, dont la valeur essentielle était la stabilité, s'opposant aux événements aléatoires et aux variations du cours de la nature.

Le deuxième groupe d'inventions, délaissant l'immobilité des structures, l'invariance que produisent la stabilité de l'équilibre et la fermeté des adaptations, s'est attaché à développer toutes les formes d'équilibre réversible, permettant avec un bon rendement les transformations de l'énergie; l'époque industrielle est aussi l'époque des moteurs, parce qu'ils sont des systèmes de transformation avec équivalence et quasi

réversibles; ce fut alors la conquête de l'énergie fournie par la nature, alors que jusque-là elle était fournie par l'homme et les animaux.

Enfin, le troisième groupe d'inventions, délaissant l'inertie des moteurs, s'occupe principalement de la transmission des signaux et de leur amplification, ainsi que de leurs combinaisons en forme de calculs; de cette manière, grâce à une rapidité supérieure de prévision et de diffusion de l'information, une nouvelle sorte d'adaptations surgit, les événements aléatoires et les variations du cours de la nature, au lieu d'être seulement arrêtés par la stabilité des constructions humaines, sont prévus et annoncés; ils ne sont plus tout à fait des événements; un cyclone décelé par les satellites, annoncé par radio, peut être rendu moins meurtrier par la mise en œuvre des moyens industriels.

de l'énergie fournie par
ait fournie par l'homme

ons, délaissant l'inertie
de la transmission des
que de leurs combina
ière, grâce à une rapi
sion de l'information
les événements aléa
nature, au lieu d'être
structions humaines
is tout à fait des évé
tellites, annoncé par
par la mise en œuvre

IMAGINATION ET INVENTION

(1965-1966)

(Extraits)

PRÉAMBULE

Ce cours présente une théorie : les aspects de l'image mentale, qui ont fourni matière aux discussions et aux études déjà publiées, ne correspondent pas à différentes espèces de réalités, mais à des étapes d'une activité unique soumise à un processus de développement.

L'image mentale est comme un sous-ensemble relativement indépendant à l'intérieur de l'être vivant sujet : à sa naissance, l'image est un faisceau de tendances motrices, anticipation à long terme de l'expérience de l'objet ; au cours de l'interaction entre l'organisme et le milieu, elle devient système d'accueil des signaux incidents et permet à l'activité perceptivo-motrice de s'exercer selon un mode progressif. Enfin, lorsque le sujet est à nouveau séparé de l'objet, l'image, enrichie des apports cognitifs et intégrant la résonance affectivo-émotive de l'expérience, devient symbole. De l'univers de symboles intérieurement organisé, tendant à la saturation, peut surgir l'invention, qui est la mise en jeu d'un système dimensionnel plus puissant, capable d'intégrer plus d'images complètes selon le mode de la compatibilité synergique. Après l'invention, quatrième phase du devenir des images, le cycle recommence, par une nouvelle anticipation de la rencontre de l'objet, qui peut être sa production.

Selon cette théorie du cycle de l'image, imagination reproductrice et invention ne sont ni des réalités séparées ni des termes opposés, mais des phases successives d'un unique processus de genèse comparable en son déroulement aux autres processus de genèse que le monde vivant nous présente (phylogenèse et ontogenèse).

[...]

QUATRIÈME PARTIE : L'INVENTION

A. L'invention élémentaire ; rôle de l'activité libre dans la découverte des médiations

1. Les différentes espèces de compatibilité ; la conduite élémentaire du détour

À quelle situation correspond l'invention ? À un problème, c'est-à-dire l'interruption par un obstacle, par une discontinuité jouant le rôle d'un barrage, d'un accomplissement opératoire continu dans son projet. Est problématique la situation qui dualise l'action, la tronçonne en la séparant en segments, soit parce qu'il manque un moyen terme, soit parce que la réalisation d'une partie de l'action détruit une autre partie également nécessaire ; hiatus et incompatibilité sont les deux modes problématiques fondamentaux ; ils se ramènent à l'unité sous l'espèce d'un défaut d'adaptation intrinsèque de l'action à elle-même dans ses différentes séquences et dans les sous-ensembles qu'elles impliquent ; les solutions apparaissent comme des restitutions de continuité autorisant la progressivité des modes opératoires, selon un cheminement antérieurement invisible dans la structure de la réalité donnée. L'invention est l'apparition de la compatibilité extrinsèque entre le milieu et l'organisme, et de la compatibilité intrinsèque entre les sous-ensembles de l'action. Le détour, la fabrication d'un instrument, l'association de plusieurs opérateurs sont différents moyens de rétablir la compatibilité intrinsèque et extrinsèque. Quand le problème est résolu, la dimension de l'acte final du résultat englobe dans ses caractères dimensionnels le régime opératoire qui l'a produit ; par exemple, selon le thème d'une fable classique, le rocher qui a roulé au milieu d'un chemin encaissé arrête successivement plusieurs voyageurs, car il est trop lourd pour un seul homme, mais il est aisément mis de côté par tous les voyageurs unissant leurs efforts ; le problème, ici, est insoluble selon les données de départ, qui font du chemin le lieu de passage de plusieurs itinéraires individuels sans couplage mutuel ; par contre, le groupe des voyageurs existe virtuellement selon le résultat, car c'est au même instant qu'ils peuvent tous reprendre leur voyage, bien qu'ils soient arrivés devant l'obstacle à des moments différents, déterminés par chaque voyage particulier. Le couplage des efforts, visible dans l'unité du résultat, régresse vers l'acte de résolution et vers l'invention ; déjà,

ivité libre

la conduite

À un problème, par une discontinuité opératoire qui la situation en segments, soit parce que la partie ne autre partie sont les deux se ramènent à l'intrinsèque de forces et dans les ns apparaissent la progressivement antérieure réalité donnée. té extrinsèque atibilité intrinsèque détour, la fabrication des opérateurs lité intrinsèque a dimension de caractères dimensionnés par exemple, qui a roulé au ment plusieurs comme, mais il unissant leurs es données de plusieurs itinéraires par contre, le on le résultat, reprendre leur obstacle à des voyage particulier du résultat, invention; déjà,

dans les conditions du problème se manifestent négativement les lignes possibles d'une solution; l'accumulation de gens arrêtés par le rocher les uns après les autres constitue progressivement une simultanéité des attentes et des besoins, donc la tension vers une simultanéité des départs quand l'obstacle sera levé; la simultanéité virtuelle des départs imaginés régresse vers la simultanéité des efforts, en laquelle gît la solution. L'anticipation et la prévision ne suffisent pas, car chaque voyageur est parfaitement capable d'imaginer tout seul comment il continuerait à marcher si le rocher était déplacé; il faut encore que cette anticipation revienne vers le présent en modifiant la structure et les conditions de l'opération actuelle; dans le cas choisi, c'est l'anticipation collective qui modifie chacune des actions individuelles en construisant le système de la synergie.

Il s'effectue ainsi un retour structurant du contenu de l'anticipation sur la formule de l'action présente; il s'agit là d'un retour d'information, ou plutôt d'un retour d'organisation dont la source est l'ordre de grandeur du résultat, le régime de l'opération pensée comme achevée et complète. L'invention établit un certain type d'action en retour, d'alimentation récurrente (*feed-back*) qui va du régime du résultat complet à l'organisation des moyens et des sous-ensembles selon un mode de compatibilité. Dans l'exemple du rocher, l'organisation de la compatibilité sous la forme de la synergie revient à mettre en balance la force de chacun des voyageurs avec une fraction du rocher à déplacer; comme le rocher n'est pas divisible, cette mise en balance ne peut avoir lieu que si le tout du rocher est poussé au même instant par tous les voyageurs. La racine de la solution est la communication entre deux ordres de grandeur, celui du résultat (le chemin ouvert pour tous) et celui de l'événement-problème (un barrage sur le passage de chacun), dont les données se trouvent modifiées: dans la nouvelle perspective du résultat collectif (et non plus individuel), l'opération devient le déplacement par chaque voyageur d'une fraction du rocher; or, le résultat collectif est compatible avec le résultat individuel, le chemin étant ouvert à chacun quand il est ouvert au groupe; de même, l'action individuelle de pousser est compatible avec la somme des actions des autres individus grâce à la simultanéité additive des poussées parallèles; c'est cette compatibilité intrinsèque qui rend possible la compatibilité extrinsèque du rapport entre la force d'un homme et le poids d'une fraction de rocher.

Dans un cas semblable, l'invention est facilitée par le fait que les sujets sont en même temps des opérateurs virtuels;

l'interruption de l'action causée par l'événement-problème amorce le passage à l'ordre de grandeur du résultat, qui est celui de la compatibilité: les différentes interruptions des voyages primitivement indépendants créent la collectivité des voyageurs arrêtés, réalisant ainsi par un effet négatif le champ dans lequel peut se déployer l'action compatible; l'association par communauté d'intentions au sein d'un groupe homogène est un cas privilégié, car il ne demande pas de médiation instrumentale ni de division du travail. Dès que le problème ne peut trouver sa solution que dans un ordre de grandeur très différent de celui de l'individu et du geste élémentaire par la taille ou la complexité, le recours à des médiations hétérogènes est nécessaire, et la tâche d'invention portant sur ces médiations, est plus considérable; mais l'invention conserve sa place fonctionnelle de système de transfert entre des ordres différents; les machines simples, comme le levier, le treuil de carrier, ou même le plan incliné, le cabestan, manifestent dans leur structure la fonction de transfert essentielle que ces dispositifs matérialisent. Avec un treuil ou un palan, un opérateur unique, à chacun de ses gestes, agit comme s'il déplaçait une infime fraction de la charge, compatible avec ses forces; en fait, il déplace toute la charge indivisible, mais sur un trajet infime. L'invention consiste en ce cas, tout en respectant le principe de la conservation du travail, à faire varier les deux facteurs, intensité de la force et déplacement, de manière à les adapter aux capacités de l'organisme de l'opérateur. Le problème est résolu quand une communication est établie entre le système d'action du sujet pour qui se pose le problème et le régime de réalité du résultat; le sujet fait partie de l'ordre de réalité en lequel le problème est posé; il ne fait pas partie de celui du résultat imaginé; l'invention est la découverte de médiation entre ces deux ordres, médiation grâce à laquelle le système d'action du sujet peut avoir prise sur la production du résultat par une action ordonnée.

Pour les problèmes de déplacement des fardeaux (il y a problème quand le système d'action et les forces corporelles ne sont pas directement efficaces), les inventions les plus élémentaires consistent en l'usage d'un médiateur adaptatif qui relie le régime du résultat aux aptitudes de l'opérateur; ainsi, pour transporter un liquide, le corps humain est inefficace; il faut un solide intermédiaire, outre ou tonneau qui est, par rapport au liquide, comme une enveloppe, et, par rapport à l'organisme humain, comme un solide manipulable; il en va de même pour les corps pulvérulents ou les petits objets, qu'il faut mettre dans un sac, ou mieux dans une besace, bien

ent problème
sultat, qui est
ruptions des
collectivité des
fet négatif le
patible; l'asso-
d'un groupe
ande pas de
il. Dès que le
un ordre de
du geste élé-
à des média-
d'invention,
mais l'inven-
de transfert
es, comme le
s, le cabestan,
ansfert essen-
un treuil ou
s gestes, agit
arge, compa-
charge indivi-
ste en ce cas,
du travail, à
e et déplace-
l'organisme
communica-
pour qui se
; le sujet fait
t posé; il ne
ention est la
, médiation
avoir prise
née.

(il y a pro-
porelles ne
es plus élé-
aptatif qui
teur; ainsi,
efficace; il
ui est, par
rapport à
il en va de
objets, qu'il
sace, bien

appropriée au portage sur l'épaule. Quand c'est le volume du fardeau qui crée le problème, l'objet médiateur est une barre, un plateau, comme dans le portage des grandes pièces de gibier. Enfin, quand le problème vient de la disproportion de la force de l'opérateur et de la masse du fardeau, l'objet médiateur entre dans la catégorie générale des adaptateurs d'impédance, dont quelques cas concrets ont été cités plus haut. Ces différentes médiations ont une essence commune comme système d'adaptation; les molécules de liquide ou les grains de poudre sont d'un ordre de grandeur qui ne les rend pas efficacement manipulables par le corps humain sans un objet qui les rassemble par milliards; les fardeaux solides, s'ils ne peuvent être divisés, sont manipulés par l'intermédiaire de machines qui réalisent l'adaptation des forces; dans les deux cas, l'organisme de l'opérateur, en agissant sur l'objet intermédiaire, opère comme s'il s'adressait à un objet solide d'un ordre de grandeur homogène au sien, et de caractéristiques physico-chimiques compatibles avec la conservation de l'organisme (température moyenne, prises non coupantes, composition ni toxique ni corrosive...). Des objets intermédiaires sont nécessaires pour sauvegarder l'intégrité du corps dès que l'objet est fortement hétérogène par rapport à l'organisme selon l'une de ses caractéristiques (température extrême, acidité, causticité, toxicité).

Par l'invention, la compatibilité intrinsèque de l'organisme s'étend à une situation qui, primitivement, comme problème, ne réalise pas cette compatibilité; mais il existe différents niveaux de découverte de la médiation réalisant la compatibilité; si la médiation consiste seulement en un mode opératoire modifié ou supplémentaire, elle est moins complexe que si elle fait intervenir un objet intermédiaire dont la sélection et l'usage demandent des modes opératoires médiats; le détour par l'instrument, en effet, n'est pas seulement un détour opératoire; il suppose aussi un détour cognitif, une subordination de la chaîne actionale de sélection ou fabrication de l'objet à la poursuite du but, avec substitution temporaire de l'objet-instrument à l'objet-but; un cas intermédiaire entre l'invention de détour et la médiation instrumentale est l'usage, comme objets intermédiaires, d'animaux ou plus généralement d'êtres vivants, qu'il n'est pas nécessaire de construire, mais seulement de choisir, de capturer, de dresser, de développer. La classe considérable des animaux domestiques et des plantes cultivées a été sans doute une des premières dépositaires de l'activité inventive de l'espèce humaine, en un temps où les

instruments étaient encore peu nombreux et rudimentaires. Cette catégorie de l'être vivant modifié, conservant sa spontanéité et son pouvoir d'auto-reproduction, est comparable à un objet intermédiaire aux multiples propriétés; le dressage est l'institution d'un détour de comportement, chez l'animal, mais c'est l'homme qui est bénéficiaire de ce détour. [...]

2. La médiation instrumentale

Le recrutement d'un objet appartenant primitivement au milieu extérieur et son emploi comme instrument ont été considérés depuis longtemps, particulièrement chez les philosophes et les moralistes, comme une manifestation propre de l'intelligence humaine, d'où le nom d'*Homo faber* choisi pour désigner notre espèce. [...]

Pourtant, l'usage des instruments se trouve chez les espèces animales, dans des conditions qui tantôt indiquent une activité stéréotypée, tantôt sont plus rares et paraissent bien devoir être attribuées à une invention individuelle. [...]

B. L'invention portant sur les signes et les symboles

[...]

C. L'invention comme production d'un objet créé ou d'une œuvre

Le processus d'invention se formalise le plus parfaitement quand il produit un objet détachable ou une œuvre indépendante du sujet, transmissible, pouvant être mise en commun, constituant le support d'une relation de participation cumulative. Sans vouloir nier la possibilité théorique ou l'existence actuelle de cultures dans certaines espèces animales, on peut noter que la principale limite de ces cultures réside dans la pauvreté des moyens de transmission successive, faute d'un objet constitué comme détachable des êtres vivants qui l'ont produit, mais pourtant interprétable par d'autres êtres vivants qui le réutilisent en prenant pour point de départ le résultat de l'effort terminal de leurs prédécesseurs. Autrement dit, ce n'est pas tant la capacité de spontanéité organi-

x et rudimentaires
conservant sa spon-
a, est comparable à
propriétés; le dressage
ment, chez l'animal.
ce détour. [...]

primitivement au
instrument ont été
ment chez les philo-
estation propre de
faber choisi pour

ve chez les espèces
iquent une activité
issent bien devoir
[...]

Objet créé

us parfaitement
œuvre indépen-
ise en commun,
ipation cumula-
e ou l'existence
imales, on peut
réside dans la
ive, faute d'un
vants qui l'ont
d'autres êtres
nt de départ le
sseurs. Autre-
tanéité organi-

atrice qui manque aux sociétés animales que le pouvoir de création d'objets, si l'on entend par création la constitution d'une chose pouvant exister et avoir un sens de manière indépendante de l'activité du vivant qui l'a faite. La création d'objets permet le progrès, qui est un tissu d'inventions prenant appui les unes sur les autres, les plus récentes englobant les précédentes. L'organisation d'un nid ou d'un territoire s'efface avec le couple ou le groupe qui l'a constitué; tout au moins, c'est dans les formes les plus élémentaires que la conservation de l'objet constitué ou sécrété par les générations précédentes est la plus efficace comme support organisé des générations suivantes (coraux, humus des forêts); ces effets de causalité cumulative ne réapparaissent guère ensuite, de manière nette et décisive, qu'avec l'espèce humaine et sous forme d'objets créés ayant un sens pour une culture. Il n'y a pas de progrès assuré tant que la culture, d'une part, et la production d'objets, d'autre part, restent indépendantes l'une de l'autre; l'objet créé est précisément un élément du réel organisé comme détachable parce qu'il a été produit selon un code contenu dans une culture qui permet de l'utiliser loin du lieu et du temps de sa création.

Le caractère d'universalité et d'intemporalité de l'objet créé est susceptible de se manifester à des degrés plus ou moins élevés, car les cultures se modifient avec les sociétés, chaque objet et chaque œuvre ont à une époque donnée une aire de diffusion limitée; cependant, il existe dans l'objet créé une universalité et une éternité virtuelles, correspondant au sentiment intérieur du sujet créateur qui pense produire un «*ktêma es aei*», «*chose acquise pour toujours*», selon l'expression de Thucydide, ou déclarant comme le poète latin: «*non omnis moriar*», «*je ne mourrai pas tout entier*». Cette virtualité consiste en une possibilité permanente de réincorporation à des œuvres ou à des créations ultérieures sous forme de schème ou d'élément, même si l'individualité de l'objet n'est pas conservée au cours des inventions successives.

Le processus de création d'objets apparaît en divers domaines, mais il est particulièrement net, au moins pour nos civilisations, dans le domaine des techniques et dans celui des arts.

1. La création des objets techniques

La continuité du créé, avec sa double dimension d'universalité spatiale et d'éternité temporelle, n'apparaît nettement que si l'on fait abstraction de la destination d'utilité des objets techniques; une définition par l'utilité, selon les catégories des

besoins, est inadéquate et inessentielle, parce qu'elle attire l'attention sur ce par quoi de tels objets sont des prothèses de l'organisme humain ; or, c'est précisément sous ce rapport que l'universalité et l'intemporalité sont le plus directement entravées, dans la mesure où ce qui s'adapte à l'être humain court le risque de devenir un moyen de manifestation et d'être recruté comme phanères supplémentaires. Un grand nombre d'objets techniques sont habillés en objets de manifestation, ce qui leur ajoute des significations locales et transitoires qui surchargent le contenu technique, le dissimulent, et parfois lui imposent une distorsion. En prenant comme exemple l'automobile dite « de tourisme » (bien que ce mot n'ait plus grand sens par rapport à la majorité des usages actuels), on trouve différentes couches qui vont de l'objet de manifestation (à l'extérieur) à l'objet technique à peu près purement créé (dans les parties peu visibles ou inconnues de la majorité des utilisateurs, les engrenages, la transmission, la génératrice d'électricité) ; la couche intermédiaire de réalité, mi-technique et mi-langage, est aussi celle des organes partiellement visibles et descriptibles, comme le moteur, qui affiche sa cylindrée, son taux de compression, le nombre de paliers, et les solutions employées pour les circuits (filtre d'huile, etc.) ; il y eut l'époque des moteurs à grand nombre de cylindres en ligne, puis les moteurs à cylindres en V, d'autres en « flat-twin », depuis peu le moteur incliné, sans parler de l'incorporation, fréquente en Italie, de la mesure de la cylindrée à la dénomination du type ou de la série.

Les variations de la couche externe sont à la fois infinies en nombre et assez limitées, parce qu'elles sont continues, sans saut nécessairement imposé par la nature des choses ; tous les coloris, toutes les modifications de formes sont possibles, comme dans le domaine du vêtement ; toutefois, ces modifications sont limitées par la compatibilité avec l'emploi, tout comme celles du vêtement se trouvent limitées par la forme du corps, la nécessité de ménager une relative liberté de mouvements et de conserver une suffisante utilité ; s'il y a création dans le domaine de la couche externe de manifestation, c'est comme invention d'une compatibilité entre l'automobile de tourisme et d'autres productions techniques (par exemple la carrosserie unique pour voitures de type commercial et pour « breaks » de type familial) ou entre l'automobile et d'autres catégories d'objets, selon un style défini de lignes et de volumes, qui n'est pas non plus sans influence sur le vêtement (angles vifs ou formes arrondies et amples, tendance vers les grandes ou les petites dimensions) ; cette esthétique

parce qu'elle attire
sont des prothèses de
et sous ce rapport que
directement entra-
à l'être humain court
manifestation et d'être
es. Un grand nombre
de manifestation, ce
transitoires qui sur-
ulent, et parfois lui
comme exemple l'auto-
mot n'ait plus grand
actuels), on trouve
de manifestation (à
purement créé (dans
la majorité des utili-
la génératrice d'élec-
té, mi-technique et
partiellement visibles
che sa cylindrée, son
ers, et les solutions
ile, etc.); il y eut
cylindres en ligne,
tres en «flat-twin»,
de l'incorporation,
indrée à la dénomi-

à la fois infinies en
ont continues, sans
les choses; tous les
es sont possibles,
fois, ces modifica-
avec l'emploi, tout
itées par la forme
ive liberté de mou-
lité; s'il y a créa-
de manifestation,
entre l'automobile
ues (par exemple
pe commercial et
l'automobile et
léfini de lignes et
ience sur le vête-
amples, tendance
cette esthétique

des objets créés, qui les fait apparaître comme le produit d'une époque et d'une civilisation, est plus une sémantique qu'une esthétique; elle se manifeste simultanément dans un très grand nombre de catégories de la production, et est déjà plus profonde que la simple manifestation externe; elle enregistre et incorpore aux objets un certain mode de communication entre l'homme et les choses, en explorant à chaque moment les possibilités les plus récentes, comme s'il fallait que l'homme trouve en chaque objet une occasion d'explorer l'effet des plus récentes découvertes, participant ainsi, dans la mesure où il le peut, à toute l'activité contemporaine, selon une norme d'actualité. Par là, on quitte la couche de manifestation externe de la réalité technique pour passer à la couche intermédiaire de la communication avec l'utilisateur, discontinue, plus réservée, s'adressant partiellement au connaisseur.

Cette sémantique de l'actualité du créé se traduisait, dans l'automobile de 1935, par l'emploi visible d'alliages légers ou d'aluminium ayant un sens fonctionnel dans la construction aéronautique, au moment où la toile était remplacée par des surfaces métalliques; au même moment, on trouve les alliages légers dans les appareils médicaux, dans les agrandisseurs photographiques, dans un très grand nombre d'appareils ménagers, et jusque dans l'ameublement (boutons de porte, poignées). L'utilité du choix de l'aluminium en petites quantités, par exemple pour un tableau de bord d'automobile, est à peu près nulle, car l'ensemble est ainsi allégé de manière infime; mais l'apparition de ce métal au point clef qu'est le tableau de bord permet à l'automobile de parler, dans la communication avec son conducteur, le langage de l'avion; à ce moment, en raison du caractère «pilote» de l'aviation progressant à pas de géant, l'aluminium était un métal plus «technique» que les autres; après la Seconde Guerre mondiale, on vit sur l'automobile de tourisme une prolifération d'automatismes mineurs et d'asservissements ayant une utilité dans la marine et l'aviation, où les masses à mouvoir dépassent la force d'un homme, et où les instruments de bord sont nécessaires. L'emploi d'un matériau manifestant l'actualité ne reflète d'ailleurs pas seulement, au sein d'une technique définie, le prestige d'une technique triomphante en laquelle le matériau a une utilité fonctionnelle; cet emploi correspond aussi à la transposition en tous domaines d'une tendance qui s'est affirmée dans un secteur si général qu'il institue des apprentissages durables et fait rayonner des normes perceptives et opératoires; la maison à

vastes surfaces vitrées a imposé à l'automobile ses grandes glaces presque planes, comparables à des baies, victorieuses de l'aérodynamisme des formes; comme le placard intégré aux murailles, le coffre à bagages de l'automobile, jadis rapporté à la carrosserie de l'extérieur, fait maintenant partie de l'ensemble et reçoit un grand développement. Chaque objet créé participe ainsi à l'activité contemporaine de création selon des modalités générales unifiant les solutions et les alignant, soit sur les techniques de pointe, soit sur les réalisations dont l'usage constant impose des normes communes à l'ensemble d'une population, par exemple l'habitation moderne. Cette communication entre les couches moyennes des objets créés fait qu'il existe à chaque moment non pas seulement des collections parallèles des objets créés répartis selon les catégories d'usage, mais un monde des objets créés, une création.

Toutefois, dans la couche interne et la couche moyenne, il ne s'agit encore que d'une organisation de compatibilité extrinsèque, comparable aux règles d'une langue tendant à devenir une *koiné*. Au contraire, l'organisation de la couche interne et proprement technique fait de l'objet créé le produit d'une véritable invention qui le formalise concrètement en lui donnant les caractères d'un organisme, par la recherche des conditions d'une compatibilité intrinsèque; il ne s'agit plus ici d'un acte de manifestation ni d'une relation sémantique avec l'univers des techniques en voie de progrès, mais d'une adéquation directe et immédiate entre l'acte d'invention et l'objet créé; l'objet créé est un réel institué par l'invention, en son essence; cette essence est première et peut exister sans manifestation ni expression.

La manifestation (couche externe) et l'expression (couche moyenne) ne pourraient exister si elles n'étaient portées par la couche interne, noyau de technicité productive et résistante, sur laquelle les couches externe et moyenne se développent en parasites, avec une importance variable selon les circonstances sociales et psycho-sociales. Les situations de danger, de difficulté extrême, de guerre, réalisent un décapage de l'inessentiel faisant apparaître l'objet inventé à l'état fondamental; la version primitive d'une invention est aussi plus « sauvage » que la production ultérieure à grande diffusion; la réaction des couches externes sur l'objet inventé peut en certains cas causer une régression, comme cela s'est produit récemment dans le domaine de la photographie, où l'on voit se généraliser l'usage d'appareils dont les caractéristiques optiques sont très en dessous des possibilités actuelles

mobile ses grandes
baies, victorieuses
le placard intégré
tomobile, jadis rap-
maintenant partie
ment. Chaque objet
oraine de création
olutions et les ali-
soit sur les réalisa-
normes communes
emple l'habitation
couches moyennes
e moment non pas
jets créés répartis
de des objets créés,

che moyenne, il ne
mpatibilité extrin-
tendant à devenir
a couche interne et
produit d'une véri-
ent en lui donnant
che des conditions
plus ici d'un acte
que avec l'univers
d'une adéquation
on et l'objet créé;
a, en son essence;
ans manifestation

pression (couche
aient portées par
ductive et résis-
oyenne se déve-
variable selon les
es situations de
alisent un déca-
t inventé à l'état
ention est aussi
à grande diffu-
jet inventé peut
e cela s'est pro-
graphie, où l'on
les caractéris-
bilités actuelles

de production, mais qui possèdent en revanche quelques auto-
matismes assez limités, permettant d'éviter de grosses
erreurs sur les temps d'exposition, et ouvrant sans appren-
tissage l'usage de la photographie à un large public ignorant
tout de l'optique et de la photométrie. En s'éloignant du lieu
et du moment de l'invention, l'objet technique peut d'ailleurs
subir un clivage selon les différentes couches, qui prennent
une importance différente selon les usages et les milieux
sociaux; ainsi, la photographie s'est d'abord développée chez
les amateurs savants et les professionnels, sachant non seu-
lement utiliser correctement un appareil de prises de vue,
mais aussi développer et tirer les éléments sensibles; un pre-
mier clivage s'est produit quand la grande majorité des ama-
teurs a abandonné à des artisans le soin de développer et
tirer les pellicules; à ce moment, l'appareil d'amateur est
devenu un appareil à pellicules roulées, faciles à transporter
et à expédier, alors que l'appareil professionnel conservait le
système de la plaque sensible sur support de verre ou en
planche-film. La troisième dichotomie s'est produite avec le
lancement industriel du développement et du tirage qui ne
permet plus le contrôle ni l'adaptation unitaire de chaque
tirage aux écarts du temps d'exposition, surtout pour les
vues en couleurs qui tolèrent peu d'erreurs; c'est à cette
industrialisation que correspondent les appareils de prise de
vue utilisant des chargeurs fermés, avec une optique très élé-
mentaire et un réglage automatique de l'ouverture du dia-
phragme, sans mise au point de distance. L'ancien appareil
d'amateur n'a pas disparu, mais il s'est spécialisé dans la
fonction de reportage en se perfectionnant. Ces deux dichoto-
mies successives ont donné une tripartition finale au terme
de laquelle on trouve, pour la couche purement technique, la
chambre photographique équipée de plan-film, dans les
emplois scientifiques, géographiques, et la prise de vue pro-
fessionnelle; la couche intermédiaire, correspondant à la pré-
dominance de l'expression, se concrétise par les appareils de
reportage, pourvus de tous les réglages optiques et photomé-
triques; enfin, la couche externe de manifestation s'exprime
dans la grande diffusion des appareils simplifiés mais auto-
matisés et fermés. On peut noter que cette tripartition cor-
respond à des fonctions nettement séparées de l'usage de la
photographie par les différents opérateurs; la chambre pho-
tographique est dans les mains d'un homme dont la fonction
essentielle, au moment où il opère, est de prendre une photo-
graphie; l'appareil de reportage appartient à un journaliste
qui prend des photographies à l'occasion d'une enquête ou

d'un voyage; la prise de vue a une valeur professionnelle, mais de manière auxiliaire; enfin, les appareils à grande diffusion correspondent à une fonction de loisir, dont ils sont une manifestation, et à laquelle ils se trouvent négativement adaptés par le fait que leurs automatismes n'ont pas d'étendue suffisante pour s'appliquer à des conditions éloignées de celles d'un jour lumineux et de sujets situés à plusieurs mètres de l'opérateur.

L'objet technique comme produit de l'invention se caractérise de manière essentielle par son caractère organique, que l'on pourrait nommer aussi une auto-corrélation structurale et fonctionnelle, s'opposant à la divergence de l'évolution adaptative qui spécialise le produit selon les catégories d'utilisateurs. Particulièrement, dans l'exemple qui a été choisi, le soubassement de la photographie comme invention ne doit pas être cherché seulement dans l'appareil de prises de vue, mais dans la compatibilité entre cette réduction de chambre noire que sont un appareil et une surface chimique photosensible; les chambres noires et les produits photo-chimiques tels que le bitume de Judée étaient connus avant l'invention de la photographie; l'invention a consisté à faire travailler directement et automatiquement la lumière sur une matière photo-sensible à l'intérieur d'une petite chambre noire formant une image réelle des objets; les différents perfectionnements successifs ont apporté les conditions d'une compatibilité plus parfaite entre le phénomène photo-chimique et le phénomène d'optique physique, surtout par la découverte d'une préparation conservant longtemps sa sensibilité après la fabrication, et conservant également sans altération l'effet de la lumière après exposition sous forme d'image latente jusqu'au développement; la compatibilité réside dans la mise en suspens de l'activité chimique du matériau sensible entre la fabrication et le développement, ce qui permet d'insérer la prise de vue dans cet intervalle temporel. Et, en reprenant les spécialisations divergentes selon différentes couches, on peut voir que l'usage donnant la première place à la couche la plus essentielle est aussi celui qui maintient le degré le plus élevé de compatibilité entre les processus optiques et les processus chimiques: avec un appareil professionnel utilisant des plaques ou du plan-film, et même avec les plus perfectionnés des appareils de reportage, il est possible de passer au développement vue par vue. Le système Polaroid Land, qui permet le développement et le tirage quelques secondes ou dizaines de secondes après la prise de vue, apporte une compatibilité temporelle et locale entre les

deux processus dont l'interaction constitue la photographie comme invention; or, ce système met en œuvre un appareil comparable à une chambre photographique professionnelle, au moins en ce qui concerne le grand format employé et le dispositif du soufflet. L'appareil Polaroid Land, au lieu de continuer l'évolution divergente qui écarte l'aspect de manifestation et l'aspect d'expression de la chambre photographique fondamentale, rassemble en unité ces faisceaux divergents et couvre toute l'étendue des emplois possibles, depuis l'usage professionnel jusqu'à celui des loisirs, en passant par le reportage ou les emplois analogues, comme la mise en place des personnages avant une prise de vue cinématographique, avec rétroaction des photographies sur l'attitude des acteurs. Cette nouvelle vague d'invention en matière de photographie augmente à ce point la compatibilité entre le processus physique et le processus chimique qu'elle rend possible la rétroaction à l'intérieur de la prise de vue, une première photographie servant à améliorer le cadrage, la disposition des sujets et le réglage optique de la photographie suivante. Naturellement, l'invention du dispositif Polaroid Land est un fruit de l'industrialisation très poussée; mais, selon un effet courant en matière technologique, cette véritable invention, qui porte sur l'essentiel, et qui apporte un progrès majeur, restitue certains des aspects de l'activité des amateurs, en particulier la décentralisation extrême de l'activité d'exécution, et l'indépendance opératoire complète par rapport à un univers industriel concentrationnaire. Dans cette même mesure, le franchissement d'un échelon de progrès essentiel a le pouvoir de faire reconverger en unité de base les différentes branches d'une technique primitivement unique, que des progrès mineurs d'adaptation sociale ou économique avaient superficiellement différenciée.

D'autres exemples pourraient être pris, s'il s'agissait d'étudier en eux-mêmes les faits d'évolution des objets techniques; mais il importe avant tout de noter pour la présente étude le fait que l'invention ou un progrès majeur revenant sur un dispositif déjà inventé pour le perfectionner est un acte instituant une compatibilité entre des processus primitivement incompatibles; pour la photographie, il s'agit du processus physique de formation d'image réelle et du processus photochimique, compatibilisés par le phénomène de l'image latente; cette compatibilité appartient à la catégorie des états d'équilibre, autorisant la succession temporelle des phases par la mise en suspens d'une activité. En d'autres cas, la compatibilité est d'ordre topologique; telle est l'invention de Marc

Seguin qui a créé la chaudière tubulaire propre à la production d'énergie thermique à poste mobile (locomotives, navires, locomobiles). À poste fixe, pour augmenter le rendement du rapport foyer/chaudière, la surface de chauffe avait été accrue par l'adjonction de bouilleurs extérieurs au corps cylindrique de la chaudière; ce dispositif aurait naturellement pu être généralisé, car on pourrait imaginer de faire proliférer les bouilleurs autour du corps de la chaudière; mais ce dispositif ne peut être appliqué, en particulier, à un véhicule terrestre, à cause de son grand poids et de son encombrement, ainsi que de sa fragilité, et de la nécessité d'un bâti réfractaire pour canaliser la flamme autour des bouilleurs. Marc Seguin a rendu compatibles la chaudière simplement cylindrique et une multitude de bouilleurs en inversant le schéma des bouilleurs et en les mettant dans la chaudière, ce qui non seulement accroît la surface de chauffe, mais aussi diminue la masse d'eau à échauffer; l'inversion du schéma des bouilleurs consiste en ce que ce n'est plus l'eau qui est dedans et les gaz chauds au-dehors, mais les gaz dans des tubes traversant la chaudière parallèlement à son axe et l'eau autour de ces tubes. De cette manière, l'entourage réfractaire est supprimé, le foyer envoyant directement la flamme et les gaz chauds dans les tubes traversant la chaudière; ces tubes deviennent ainsi pluri-fonctionnels, car ils acheminent l'air chaud, d'une part, et servent d'autre part à l'échange thermique; il n'y a rien d'autre que ces tubes entre le foyer et la boîte à fumée, situés aux deux extrémités de la chaudière. De manière presque paradoxale, l'enveloppe extérieure de la chaudière peut être calorifugée, tout l'échange thermique étant condensé à l'intérieur. Le caractère pluri-fonctionnel se complète par le fait que le foyer, plus réduit, effectue seulement une part de la combustion, qui se prolonge à l'intérieur des tubes, tout le long de la chaudière, lorsqu'on emploie des charbons fournissant beaucoup de gaz; ainsi, l'invention apporte une vague de condensations, de concrétisations qui simplifient l'objet en chargeant chaque structure d'une pluralité de fonctions; non seulement les fonctions anciennes sont conservées et mieux accomplies, mais la concrétisation apporte en plus des propriétés nouvelles, des fonctions complémentaires qui n'avaient pas été recherchées, et qu'on pourrait nommer « fonctions surabondantes », constituant la classe d'un véritable avènement de possibilités venant s'ajouter aux propriétés attendues de l'objet. Par cet aspect amplifiant, l'invention est occasion de découverte en matière technique, car les propriétés de l'objet dépassent l'attente; il serait partiellement faux de dire que

e propre à la produc
Locomotives, navires
nter le rendement du
de chauffe avait été
rieurs au corps cylin
ait naturellement pu
er de faire proliférer
dière; mais ce dispo
r, à un véhicule ter
son encombrement,
d'un bâti réfractaire
illeurs. Marc Seguin
ment cylindrique et
ant le schéma des
ière, ce qui non seu-
is aussi diminue la
héma des bouilleurs
st dedans et les gaz
tubes traversant la
eau autour de ces
taire est supprimé,
et les gaz chauds
s tubes deviennent
l'air chaud, d'une
hermique; il n'y a
la boîte à fumée,
ière. De manière
e de la chaudière
ue étant condensé
se complète par le
nent une part de
les tubes, tout le
charbons fournis-
rte une vague de
lifient l'objet en
e fonctions; non
rvées et mieux
n plus des pro-
es qui n'avaient
«fonctions sur-
ble avènement
s attendues de
est occasion de
étés de l'objet
x de dire que

l'invention est faite pour atteindre un but, réaliser un effet entièrement prévisible d'avance; l'invention est réalisée à l'occasion d'un problème; mais les effets d'une invention dépassent la résolution du problème, grâce à la surabondance d'efficacité de l'objet créé quand il est réellement inventé, et ne constituent pas seulement une organisation limitée et consciente de moyens en vue d'une fin parfaitement connue avant réalisation. Il y a dans la véritable invention un saut, un pouvoir amplifiant qui dépassent la simple finalité et la recherche limitée d'une adaptation. Les fonctions surabondantes peuvent parfois être secondaires, simplement utiles comme adjuvantes; elles peuvent aussi devenir primordiales, si bien que la découverte l'emporte sur l'intention initiale; comme exemple de fonction seulement adjuvante, on peut prendre, à l'occasion du cas déjà évoqué, le fait que la paroi externe d'une chaudière tubulaire peut remplacer un châssis, en raison de sa grande rigidité et de sa forme géométrique parfaitement rectiligne que ne surcharge plus aucune adjonction de bouilleur; cette aptitude a été utilisée dans les locomobiles, ce qui apporte un allègement et un gain de place. Par contre, lorsque Lee de Forest a introduit une grille de commande entre cathode et anode dans la valve primitive à effet thermoélectronique, il n'a pas seulement rendu réglable le flux électronique, ce qui fournit un interrupteur à une infinité d'états intermédiaires entre la fermeture totale et la pleine ouverture: la triode à vide est devenue en quelques années la pièce centrale de l'amplificateur pour courants téléphoniques, dans la bande des fréquences musicales, puis elle a manifesté ses très remarquables propriétés pour les fréquences correspondant aux ondes hertziennes; non seulement dans les montages amplificateurs ou oscillateurs, mais dans les fonctions modulatrices et détectrices. Une nouvelle vague de propriétés du tube électronique s'est manifestée avec l'introduction (à des fins d'isolement électrostatique) d'une grille-écran entre la grille de commande et l'anode; la grille-écran, en accomplissant sa fonction d'écran électrostatique, produit en plus un effet accélérateur du flux d'électrons, augmentant la résistance interne du tube et rendant le flux à peu près indépendant de la tension instantanée d'anode; l'introduction d'une troisième grille, tout près de l'anode, comme supprimeur d'émission secondaire, ne remplit pas seulement cette fonction de barrage à sens unique, mais apporte en outre une possibilité de modulation par voie électronique; chaque invention, au lieu de se borner à résoudre un problème, apporte le gain d'une surabondance fonctionnelle (un exemple plus récent est

fourni par la turbine Guimbal, incluse avec l'alternateur dans la conduite forcée).

Il n'est d'ailleurs pas du tout nécessaire, pour décrire les caractères principaux de l'invention comme formalisation, de prendre exclusivement des exemples dans les objets techniques du monde industriel; l'objet technique industriel fait partie de la catégorie plus générale des objets artificiels qui représentent en divers domaines les réussites d'une formalisation conduisant à la surabondance fonctionnelle. Si l'on prend, par exemple, la voûte comme procédé de construction, on s'aperçoit du caractère pluri-fonctionnel des divers éléments, intervenant d'une part comme maillon d'un transfert de forces de compression et d'autre part comme partie d'une surface de couverture; chaque pierre est partiellement toiture et muraille, et même la clef de voûte reçoit et transmet les forces provenant des autres éléments; cette communication des forces fixe les uns contre les autres les éléments par le seul fait de leur taille en tronc de pyramide, sans nécessité de cheville ou de ciment; la pesanteur, qui crée la difficulté et pose le problème de l'équilibre, est employée comme moyen de cohésion de l'édifice terminé; la pesanteur est intégrée à la voûte, elle travaille dans l'édifice; une partie de voûte serait, prise seule, en déséquilibre; toutes les parties d'une voûte, prises ensemble, se font mutuellement équilibre, si bien que non seulement l'ensemble est en équilibre, sans élément plan pouvant fléchir, comme les poutres, mais que, de plus, les déséquilibres compensés apportent des forces qui rapprochent les unes des autres les différentes parties de l'édifice, principalement vers le haut: cette surabondance fonctionnelle permet d'employer la voûte pour porter une autre voûte au-dessus d'elle, avec superposition de plusieurs étages, comme on le voit dans le pont du Gard. Les forces développées dans l'ensemble formalisé et pluri-fonctionnel qu'est la voûte dépassent son ordre de grandeur; la résolution du problème par formalisation crée un objet artificiel possédant des propriétés qui dépassent le problème. La véritable invention dépasse son but; l'intention initiale de résoudre un problème n'est qu'une amorce, une mise en mouvement; le progrès est essentiel à l'invention constituant un objet créé parce que l'objet, en possédant des propriétés nouvelles en plus de celles qui résolvent le problème, amène un dépassement des conditions qui étaient celles de la position du problème.

l'alternateur dans
pour décrire les
formalisation, de
les objets tech-
que industriel fait
objets artificiels qui
des d'une formali-
tionnelle. Si l'on
de construction,
des divers élé-
on d'un transfert
me partie d'une
partiellement toi-
çoit et transmet
ette communica-
es les éléments
pyramide, sans
eur, qui crée la
e, est employée
é; la pesanteur
difice; une par-
bre; toutes les
t mutuellement
ble est en équi-
ne les poutres,
apportent des
les différentes
ut: cette sur-
la voûte pour
superposition
pont du Gard.
alisé et pluri-
de grandeur;
crée un objet
t le problème.
on initiale de
mise en mou-
onstituant un
ropriétés nou-
e, amène un
e la position

Si l'invention était seulement l'organisation d'un donné, sans création d'un objet, cette incorporation à l'univers des choses productibles d'une surabondance d'être n'aurait pas lieu, car l'organisation se limiterait à la résolution du problème; mais dès qu'apparaît un objet séparé, les contraintes de cet objet impliquent un plus long détour, une mesure plus large qui réalise une incorporation de réalité, à la manière dont procède l'évolution vitale selon Lamarck, incorporant aux organismes des propriétés qui étaient laissées aux effets aléatoires du milieu, et qui deviennent dans des organismes plus complexes l'objet de fonctions régulières.

Cet enjambement amplifiant dépassant les conditions du problème est nécessité, dans la création d'objets par invention, par les obstacles que suscite une organisation limitée à une finalité directe et stricte; ainsi, lorsqu'on a voulu remplacer la construction en pierres par du béton, on s'est heurté à des effets négatifs qui empêchaient le remplacement direct, non amplifiant (possibilité de fissures, jeu de la dilatation, mauvaise résistance des blocs aux efforts de traction); il a fallu armer le béton en lui adjoignant des barres métalliques; ces éléments élastiques, travaillant en traction, jouaient au mieux leur rôle s'ils restaient perpétuellement en traction, d'où résulte la technique du béton non seulement armé mais précontraint, réalisant l'enjambement amplifiant caractéristique de l'objet inventé: le béton précontraint permet de réaliser non seulement ce que l'on aurait pu construire en pierres, mais aussi des poutres et des porte-à-faux que seuls le bois ou le métal auraient permis de réaliser, avec le gain de raccords homogènes à l'ensemble de la construction, et avec le bénéfice de l'identité des coefficients de dilatation; le bâtiment en béton précontraint dépasse celui qui aurait été possible en pierre, bois ou fer. Un effet secondaire nocif dont il faut bien tenir compte dans la recherche de compatibilité exigée par la formalisation de l'objet créé (auto-corrélation structurale et fonctionnelle), d'abord limité par des palliatifs, devient ensuite une partie positive du fonctionnement d'ensemble. Ainsi, dans les tubes électroniques, l'émission secondaire d'électrons par l'anode a d'abord été un inconvénient, limité par l'emploi de la troisième grille (suppresseur) dans la structure penthode; ensuite, cet effet a été positivement incorporé au fonctionnement d'ensemble dans la cellule dite photo-multiplicateur, où l'effet d'émission secondaire est systématiquement provoqué en cascade, de dynode en dynode, pour provoquer l'amplification d'un faible flux initial de photo-électrons. L'objet créé, pour être complé-

tement organisé, doit être plus complexe et plus riche que ne le suppose le projet strict de résolution de problème; il possède alors des propriétés nouvelles qui permettent de résoudre, par surabondance d'être, d'autres problèmes. Il incorpore, involontairement, d'autres effets de l'univers, car il n'existe généralement pas de solution parfaitement sur mesure à un problème particulier.

L'incorporation dans un ensemble qui est logiquement mais aussi réellement et matériellement formalisé, comme un organisme, d'effets non recherchés par l'intention finalisée de résolution du problème par organisation conduit à un dépassement des conditions du problème en puissance et en universalité d'application. Cet accroissement est comparable à une *plus-value fonctionnelle* due au travail des réalités naturelles incorporées à l'objet créé pour qu'il soit entièrement compatible avec lui-même; de cette manière, par la nécessité du progrès des techniques, le groupe des objets créés incorpore de plus en plus de réalité naturelle. Une vue superficielle, non dialectique, pourrait faire croire que la technique capitalise une somme toujours plus grande de réalités naturelles, appauvrissant l'univers de ces réalités; mais, en fait, le groupe des objets créés, incorporant toujours plus d'effets «sauvages», est de moins en moins arbitraire, de moins en moins artificiel en chacun de ses éléments; la nature se recrée comme formalisation nécessitante et concrétisation à l'intérieur de l'univers des techniques. Plus les techniques se font objet, plus elles tendent à faire passer la nature dans le créé; l'évolution progressive des techniques, grâce à la plus-value amplificatrice de chaque invention constituant un objet, fait passer les effets naturels dans le monde des techniques, ce qui a pour résultat le fait que les techniques, progressivement, se naturalisent.

L'invention créatrice d'objets est ainsi la dernière phase d'un processus dialectique qui passe par la perception; la perception correspond à la phase en laquelle l'effet dépend du milieu, se produit devant le sujet; par la plus-value de l'invention, l'effet entre dans le système de l'objet créé; l'invention tient compte de la nature comme supplément nécessaire à la simple finalité pratique et anthropocentrique, qui opérerait seulement, selon la voie la plus courte, une organisation; ce supplément, nécessaire pour que l'objet créé soit compatible avec lui-même, opère un recrutement imprévu dans le projet de résolution du problème, et amène une solution plus grande que le problème. Le progrès, au sens majeur du terme, est la conséquence des actes d'invention; il va au-delà des perfec-

est plus riche que ne
le problème; il pos-
sède qui permettent de
résoudre d'autres problèmes. Il
s'agit de l'univers, car
il est parfaitement sur-

logiquement mais
pas, comme un orga-
nisme finalisé de
nature, conduit à un dépass-
sement et en un
sens comparable à
celles des réalités natu-
relles soit entièrement
par la nécessité
des objets créés incor-
porés. Une vue superfici-
elle de la technique
des réalités natu-
relles; mais, en fait,
des plus d'effets
naturels, de moins en
moins, de nature se recrée
à l'inté-
rieur des techniques se font
dans le créé;
à la plus-value
de l'objet, fait pas-
sage, ce qui a
progressivement, se

dernière phase
de la perception; la per-
ception dépend du
niveau de l'inven-
tion; l'invention
est nécessaire à la
technique qui opérerait
l'organisation; ce
niveau est compatible
dans le projet
à la plus grande
mesure, est la
des perfec-

tionnements visés par l'inventeur, et de ses intentions, parce que, selon l'expression de Teilhard de Chardin, «les pièces sont plus grandes que la maison» que l'on voulait construire. L'invention complète la perception non seulement parce qu'elle réalise en objet ce que la perception saisit, mais aussi parce qu'elle ajoute des effets aux conditions primitives au lieu de sélectionner des effets pour une prise d'information, comme fait la perception, qui choisit parmi les possibles offerts par la situation. Pour cette raison, les inventions créatrices d'objets, grâce à ce recrutement d'effets, apportent à la découverte scientifique des données que l'observation perceptive ne peut extraire du réel.

Par ailleurs, cet effet d'amplification par recrutement d'effets naturels dans l'invention technique a des conséquences pratiques et sociales parallèles aux conséquences théoriques. Le mécanisme de la plus-value économique que Marx a décrit dans *Le Capital* exprime dans le monde du travail humain une des conséquences de la mise en œuvre des inventions techniques ayant permis la révolution industrielle; cela signifie que le travail des opérateurs ouvriers était incorporé dans le schéma des inventions, et était recruté comme un effet naturel; mais l'effet d'amplification ne se limite pas au domaine du travail des opérateurs; il est seulement visible de manière privilégiée dans ce domaine qui est un cas particulier touchant de près la société humaine. L'évolution dialectique amplifiante n'est pas non plus seulement humaine, sociale et politique; elle caractérise tout le domaine des objets créés par invention, non seulement dans leur rapport avec la société humaine, mais aussi dans leur rapport avec la nature; par l'intermédiaire des objets créés, c'est le rapport de l'homme à la nature qui est soumis à un processus d'évolution dialectique amplifiante dont le fondement actif est dans l'invention, exprimant efficacement le cycle de l'image, par l'expansion hors de l'individu de la phase terminale d'invention créatrice.

La recherche complète des applications de cette conception de l'objet technique créé par invention dépasserait une étude de psychologie «générale», car non seulement les conséquences mais aussi les conditions de la genèse d'une invention impliquent des contenus collectifs et des aspects historiques, avec la manière particulière dont le savoir et le pouvoir se transmettent sous forme d'objets constitués ou de procédés de production, et avec l'exigence des conditions d'accueil, qui ne sont pas seulement économiques mais culturelles (voir *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier, 1958). Leroi-Gourhan a étudié les phénomènes de dif-

fusion, de transmission, de transposition des techniques dans le cadre de l'ethnologie, avec des phénomènes complexes comme ceux qui se produisent lorsqu'une population est mise en présence d'objets manifestant un développement plus avancé que le sien (outils de métal importés dans un pays qui emploie des outils de pierre) dans les ouvrages intitulés *L'Homme et la Matière* et *Milieus et Techniques*. À ce point de vue, nos sociétés voient se poser le problème du rapport d'information récurrente entre le producteur et le consommateur, qui est en fait un utilisateur-opérateur et non pas un consommateur, lorsqu'il s'agit d'objets techniques; une étude complète de marché, en ce domaine, doit comporter l'étude des voies de diffusion d'une invention, car un objet technique véhicule avec lui une information implicite et explicite sur ses conditions d'emploi et sur le choix des modèles; inversement, la mise au point des caractéristiques d'un modèle par le constructeur est une étude de compatibilité non seulement intrinsèque mais aussi extrinsèque, puisqu'elle implique l'adaptation de l'objet à un système d'usages virtuels qui ne correspondent pas du tout à un concept univoque; ainsi, dans le monde rural français de la petite propriété, de la polyculture, de l'élevage, la production efficace de machines agricoles s'est longtemps heurtée à un manque d'adaptation des machines aux fonctions réelles pour le travail; ces machines, et particulièrement les tracteurs, étaient conçues à partir d'un emploi idéal en régions planes de monocultures sur de grandes surfaces continues, parce que ces régions avaient franchi les premières le seuil économique de l'accès au machinisme industriel; le tracteur agricole a été réinventé après 1950, en France, pour les régions de polyculture et de petite ou moyenne propriété, et sa diffusion a été rapide, ce qui montre qu'il ne s'agissait pas, pour l'essentiel, de préjugés à vaincre ou de conditions économiques à attendre; sous sa nouvelle forme, le tracteur n'est plus seulement agricole (fait pour remorquer une charrue), mais il devient à la fois un générateur de force motrice à poste fixe, un tracteur routier monté sur pneumatiques et pouvant rouler vite, et un porteur universel d'outils alimentés directement en énergie mécanique par le moteur, ce qui crée une compatibilité étroite de l'effet de remorquage et de l'effet de source d'énergie: l'invention du mode intrinsèque de compatibilité entre ces deux effets a rendu possible la compatibilité extrinsèque par adaptation du tracteur multifonctionnel à une gamme continue d'usages entre l'emploi comme tracteur et l'emploi comme moteur, en passant par l'emploi comme tracteur et

techniques dans
complexes
relation est mise
ppement plus
ns un pays qui
pages intitulés
es. À ce point
ne du rapport
et le consom-
et non pas un
es; une étude
porter l'étude
objet technique
explicite sur
èles; inverse-
n modèle par
on seulement
elle implique
rtuels qui ne
; ainsi, dans
de la poly-
achines agri-
aptation des
es machines,
es à partir
ures sur de
ons avaient
l'accès au
é réinventé
ulture et de
é rapide, ce
il, de préju-
ndre; sous
ent agricole
nt à la fois
acteur rou-
vite, et un
en énergie
lité étroite
d'énergie:
entre ces
sèque par
me conti-
l'emploi
acteur et

moteur. Une étude analogue pourrait être faite sur le marché de l'automobile en France; l'échec de certains modèles (Frégate de Renault) ne tient pas à des défauts techniques, mais à un défaut de connaissance des compatibilités extrinsèques nécessaires, en particulier de la double destination (transport des personnes et des choses); le succès du modèle 4L répond au contraire à une bonne étude de la pluralité des besoins. Plus généralement, le perfectionnement d'un objet technique dans le sens de la concrétisation et de l'élévation du niveau de la compatibilité interne produit une adaptabilité externe que l'on désigne en Amérique par l'adjectif « versatile » et que l'on peut comparer à la flexibilité, au sens que prend ce terme en psychologie. Or, la pluri-fonctionnalité d'usage correspond à l'une des fonctions essentielles de l'invention comme créatrice de compatibilité; le fait que l'invention soit créatrice d'objets joue ici un rôle essentiel, car l'objet peut être une synthèse réelle, alors que les concepts d'usage et de finalité, univoques et limités, restent abstraits, et permettent d'organiser la production d'une chose en vue d'une fin préétablie, mais non de créer l'objet comme matérialisation d'une image, spectre continu reliant des termes extrêmes comme le tracteur et le moteur, l'automobile devant transporter des personnes et l'automobile devant transporter des marchandises. L'objet peut totaliser et condenser les prises d'information exprimant les besoins, les désirs, les attentes; la circulation récurrente d'information entre la production et l'utilisation virtuelle fait communiquer directement l'image et l'objet créé, permettant l'invention compatibilisante, alors qu'une définition conceptuelle selon la finalité réalise seulement une abstraction unifonctionnelle, et élude l'invention. Pour la même raison, une étude purement économique de la genèse et de l'emploi des objets techniques est insuffisante, parce qu'elle ne tient pas compte de leur mode d'existence, qui est de résulter d'une invention condensant en un objet un faisceau d'informations contenues dans la réalité d'une image parvenue au terme de son devenir.

Il ne s'agit pas naturellement de réduire toutes les techniques à des productions d'objets; de nombreuses techniques ont consisté et consistent encore en découvertes de procédés, c'est-à-dire en organisation d'une action efficace, selon le postulat de la praxéologie; toutefois, c'est quand la technique rencontre l'objet et le façonne qu'elle se constitue comme réalité spécifique et indépendante, pouvant dépasser les barrières temporelles et culturelles. De l'immense Empire romain qui fut un chef-d'œuvre d'organisation en de multiples domaines,

ce qui est parvenu jusqu'à nous et agit encore, c'est ce qui a été créé comme objet, aqueducs, voies, ponts, demeures. Si tous les chemins mènent à Rome, c'est parce que les Romains de l'Antiquité ont inventé la construction des routes comme objets stables, concrétisant la technique des communications, des voyages rapides, du commerce, des transports, et formalisant toute l'étendue de l'image d'un pouvoir dont le siège était à Rome mais qui tirait sa subsistance des provinces, par la circulation continue des choses et des êtres humains. Ce réseau d'objets a survécu à l'Empire, parce qu'il dépassait par l'invention la finalité particulière de chacun des actes, et incorporait une nature.

2. Autres catégories d'objets créés ; particulièrement, l'objet esthétique

[...]

CONCLUSION

Récapitulation

Les trois premières parties du cours étudient la genèse de l'image à travers les étapes du cycle direct de la croissance, du développement et de la saturation d'un élément sous-individuel de l'activité mentale considéré, *mutatis mutandis*, comme un organisme ou un organe au sein d'un organisme plus vaste. La dernière veut montrer comment, lorsque le point de saturation de cet élément est atteint (point de saturation qui dépend des capacités d'organisation de l'information possédées par chaque être vivant), il s'opère, au cours d'un processus critique globalement désigné sous le nom d'invention quand ses résultats sont positifs, un changement de structure qui est aussi un changement d'ordre de grandeur, par l'établissement d'une réciprocité entre les éléments sous-individuels (images à l'état de symboles) et les lignes directrices d'un sur-ensemble qui, au cours des trois étapes précédentes, n'existait pas à l'état d'actualité, mais seulement sous forme de contraintes, de limites, ou de sources d'information extérieures à l'être vivant. Cela signifie que l'invention, induite par un besoin de compatibilité interne, s'opère et s'exprime dans la position d'un système

core, c'est ce qui a
onts, demeures. Si
ce que les Romains
des routes comme
s communications,
nsports, et forma-
voir dont le siège
des provinces, par
êtres humains. Ce
qu'il dépassait par
un des actes, et

nt la genèse de
e la croissance,
élément sous-
tatis mutandis,
l'un organisme
ent, lorsque le
(point de satu-
a de l'informa-
père, au cours
sous le nom
n changement
rdre de gran-
e les éléments
et les lignes
es des trois
tualité, mais
nites, ou de
t. Cela signi-
compatibilité
l'un système

organisé incluant comme sous-ensemble l'être vivant par lequel elle advient.

Formellement comparable à un changement de milieu (le désir de changer de milieu est d'ailleurs l'un des substituts de l'invention manquée), l'invention se distingue des images qui la précèdent par le fait qu'elle opère un changement d'ordre de grandeur; elle ne reste pas dans l'être vivant, comme une part de l'équipement mental, mais enjambe les limites spatio-temporelles du vivant pour se raccorder au milieu qu'elle organise. La tendance à dépasser l'individu sujet qui s'actualise dans l'invention est d'ailleurs virtuellement contenue dans les trois stades antérieurs du cycle de l'image; la projection amplifiante de la tendance motrice, avant l'expérience de l'objet, est une hypothèse implicite de déploiement dans le monde; les classes perceptives qui servent de système subjectif d'accueil à l'information incidente postulent une application universelle; enfin, le lieu symbolique des images-souvenirs, s'il exprime, dans le sens centripète, l'attachement du sujet aux situations ayant constitué son histoire, prépare aussi et surtout l'usage de réversibilité qui le convertit en voie d'accès vers les choses. À aucun des trois stades de sa genèse, l'image mentale n'est limitée par le sujet individuel qui la porte.

C'est cette relative extériorité qui se réalise dans l'invention par la position d'objets créés servant d'organiseurs au milieu. Un objet créé n'est pas une image matérialisée et posée arbitrairement dans le monde comme un objet parmi des objets, pour surcharger la nature d'un supplément d'artifice; il est, par son origine, et reste, par sa fonction, un système de couplage entre le vivant et son milieu, un point double en lequel le monde subjectif et le monde objectif communiquent. Dans les espèces sociales, ce point est un point triple, car il devient une voie de relations entre les individus, organisant leurs fonctions réciproques. En ce cas, le point triple est aussi organisateur social.

Pour ces raisons, le système des objets créés, dans la double perspective de la relation avec une nature tendant, par l'œuvre de ce système, à devenir le sur-ensemble organisé des territoires compatibles, et de la relation avec le social, sur-ensemble de fonctions organisables en synergie, constitue l'enveloppe de l'individu.

Portée de la conception proposée

Il convient de préciser d'abord le caractère relatif de l'objet créé ; l'objet créé est en fait un point du milieu réorganisé par l'activité orientée d'un organisme. On ne peut opposer ni l'opération constructive humaine à la pratique animale ni la fabrication d'instruments, plus petits que l'organisme et portés par lui, à la mise en place de routes, de chemins, de remises, de limites à l'intérieur d'un territoire servant de milieu à l'organisme, donc plus grand que lui. L'outil et l'instrument font, comme les chemins et les protections, partie de l'enveloppe de l'individu et médient son rapport avec le milieu. C'est *topologiquement* qu'il faut caractériser cette relation. Instrument, outil ou structure particulière d'un territoire, l'objet porteur du résultat d'une activité d'invention a reçu un supplément de cohérence, de continuité, de compatibilité intrinsèque et aussi de compatibilité avec le reste non élaboré du milieu et avec l'organisme. Ces deux compatibilités externes, avec le milieu « sauvage » et avec l'individu vivant, sont le résultat de la compatibilité intrinsèque qui permet à un même objet d'accomplir une pluralité simultanée de fonctions. Une voie de passage, pour exister selon la compatibilité interne, doit être douée de cohérence et de stabilité en tant qu'objet physique (impermeabilité, répartition égale des charges sur le terrain...) et la recherche de cette compatibilité interne est ce qui apparaît en premier lieu comme le but de l'invention consciente et volontaire : il peut exister plusieurs formules de compatibilité selon les matériaux employés ; la voie romaine est fondée sur le système de rigidité des assises ; elle est fondée comme un édifice ; les routes actuelles sont, bien plutôt, des ensembles relativement élastiques mais qui doivent être très imperméables et parfaitement drainés ; leur formule est la continuité souple de la bande de surface, beaucoup plus que la résistance bloc par bloc des assises. En vieillissant, la route romaine se dénivelle dalle par dalle tandis que la route contemporaine se déséquilibre en longues ondulations ou en plis. La compatibilité externe par rapport au sujet se résume dans la viabilité pour un mode de parcours et d'opération défini (traction par chevaux qui proscrit les fortes pentes mais autorise les virages, portage à dos de mulet, véhicules rapides à moteur...) : c'est la caractéristique d'adaptation à l'être vivant, directe ou à travers une médiation plus petite (véhicule). La compatibilité externe par rapport au milieu en général est faite du tracé de

caractère relatif de l'objet
milieu réorganisé par
peut opposer ni l'opé-
e animale ni la fabri-
rganisme et portés par
emins, de remises, de
ant de milieu à l'orga-
et l'instrument font,
rtie de l'enveloppe de
le milieu. C'est topo-
relation. Instrument,
toire, l'objet porteur
çu un supplément de
é intrinsèque et aussi
ré du milieu et avec
ernes, avec le milieu
le résultat de la com-
me objet d'accomplir
ne voie de passage,
e, doit être douée de
t physique (imper-
ur le terrain...) et la
t ce qui apparaît en
consciente et volon-
compatibilité selon
t fondée sur le sys-
comme un édifice;
sembles relative-
imperméables et
ntinuité souple de
sistance bloc par
aine se dénivelle
rairie se déséqui-
La compatibilité
la viabilité pour
raction par che-
oise les virages,
noteur...): c'est
t, directe ou à
a compatibilité
ite du tracé de

la route, selon le relief et la composition des terrains, selon même les possibilités d'avalanche, de glissements de terrain...; la route, en tant que chaussée, développe autour d'elle, pour se raccorder au milieu sauvage, des médiations supplémentaires telles que ponts, viaducs, tunnels, haies d'arbres, dispositifs contre les avalanches, plantations préventives, parfois à de grandes distances, comme des postes avancés. La compatibilité interne qui fait de la route une construction consistante apparaît ainsi comme un système de transfert dans les deux sens entre l'être vivant et le milieu; quand elle est établie, elle permet à l'individu de se mouvoir à travers le milieu d'une manière continue; mais, inversement, elle permet aussi la conservation et l'amélioration des défenses, des sécurités, des ouvrages d'art. Ce caractère auto-constituant de l'objet créé est tellement fort que l'invention est généralement une manière de supposer le problème résolu par un biais non tautologique; si la route était déjà faite, il ne serait pas difficile d'en construire une autre à quelques mètres, grâce au transport aisé des machines, des hommes, des matériaux; la solution consiste à faire équivaloir à ce « problème résolu » une gradation d'opérations qui se rendent possibles les unes les autres jusqu'à l'achèvement: nivellement, empièchement de base, etc., jusqu'à la dernière couche de revêtement pour laquelle le travail du profileur demande déjà une chaussée parfaitement nivelée. L'objet créé est cumulativement organisé par des opérations liées de manière cohérente, rapprochant l'ordre de grandeur du milieu « sauvage » de celui de l'opérateur individuel. La catégorie du créé est donc plus large que celle de l'invention, car elle commence à exister dès qu'il y a un effet cumulatif et cohérent d'organisation de rapports entre l'individu et le milieu, faisant exister un mode de médiation intermédiaire; mais elle peut aussi intégrer des inventions, à cause du caractère de cohérence interne, de compatibilité multiple de l'objet créé, qui se développe au mieux quand on peut utiliser la méthode du « problème résolu ». Le progrès de l'objet créé consiste en un développement de la compatibilité intrinsèque de l'objet qui étend la portée du couplage entre le milieu et l'être vivant: tel est, par exemple, le développement de tous les objets créés que sont les moyens de communication d'origine humaine, dérivés des voies de passage naturelles jadis employées, mais tendant de plus en plus vers des modes internes de compatibilité qui permettent une pénétration plus étendue et plus universelle du milieu naturel. Ce n'est pas chaque objet créé qu'il faut considérer à part des autres, mais l'univers de médiation

qu'ils forment et en lequel chacun sert partiellement de moyen aux autres.

Si l'on considère l'objet créé comme un médiateur du rapport entre les êtres vivants et le milieu, il est moins malaisé de trouver le lien entre l'invention dans les espèces animales et chez l'homme; en effet, l'usage d'instruments est assez rare chez les animaux; mais rien n'oblige à considérer la construction et la fabrication des instruments comme l'occasion principale de l'invention; l'instrument et l'outil ne sont qu'un relais de la création d'objets, une médiation de plus entre l'objet créé et l'être vivant qui le crée. Comme un très grand nombre d'animaux sont pourvus soit d'organes spécialisés, soit de modes opératoires eux-mêmes très spécialisés, en rapport avec l'usage de ces organes, la médiation instrumentale n'est pas nécessaire, en raison de cette préadaptation. Il existe un rapport direct des modes opératoires et des organes à l'activité créatrice d'objets, comme la construction d'un nid ou le fouissage d'un terrier, et plus généralement la constitution d'un territoire. L'objet créé existe dès qu'une activité définie surdétermine le monde naturel et lui confère une topologie qui exprime la présence des êtres vivants selon un mode sélectif de conduites. Le simple marquage olfactif ou visuel constitue déjà un bornage cohérent, lui-même en rapport avec les emplacements fonctionnellement rattachés aux autres activités (repos, emmagasinage de la nourriture, retraite...). Du même coup, le marquage a un sens pour les relations sociales intra-spécifiques ou inter-spécifiques. Les objets créés plus concrets et plus complets, comme les nids, les terriers, sont également des nœuds de relations intra-spécifiques et inter-spécifiques, ainsi que des médiateurs de relations entre les êtres vivants et le milieu. En certains cas, l'objet créé est hautement pluri-fonctionnel, comme la termitière qui, en plus de toutes les fonctions du nid poussées à un degré élevé (thermorégulation), est une voie d'accès aux objets sur lesquels les termites travaillent. L'objet créé est d'abord le monde comme réalité organisée en territoire; il est aussi l'enveloppe des existences concrètes individuelles, de manière si étroite que pour certaines espèces il se confond presque avec l'organisme, comme chez les coraux. Le cœnosarque est-il objet créé ou organisme? On saisit ici la continuité entre les fonctions de croissance et l'activité de création, genre dont l'invention est une espèce; croissance et invention convergent dans la production du réseau des objets créés.

On ne saurait nier pourtant qu'il existe une différence, au moins de degré, entre les capacités actuelles de production

d'objets créés chez l'homme et chez les mieux doués des animaux sous ce rapport. Une des raisons principales de cette différence réside dans la multiplication des médiations qui existent chez l'homme entre l'objet créé et la nature, d'une part, et entre l'objet créé et l'opérateur, d'autre part; le réseau des moyens d'accès dans les deux sens, de la nature vers l'homme et de l'homme vers la nature, est indéfiniment anastomosé et comporte une multitude de relais; aussi les ordres de grandeur mis ainsi en communication et en interaction sont-ils beaucoup plus importants que dans le règne animal, même dans les meilleurs cas (sociétés de termites), où l'activité de l'opérateur ne peut disposer d'un enchaînement complexe de médiations. Le seul biais par lequel un équivalent de la pluralité humaine de médiations se déploie dans les espèces animales est la spécialisation anatomo-physiologique des individus travaillant en coopération ou l'enchaînement des spécialisations successives des individus au cours de leur vie (Abeilles): par là se retrouvent la pluralité des phases de développement, le caractère de cycle organisé que l'on voit à l'œuvre dans le devenir de l'image mentale tendant vers l'invention.

Selon cette perspective fournie par l'analyse de l'objet créé, l'étude de l'image mentale pourrait devenir un cas particulier de l'étude d'un ensemble plus vaste de phénomènes; c'est par la phase finale d'invention que le cycle de l'image mentale révélerait son appartenance à la catégorie générale des processus d'auto-organisation de l'activité, dont un des aspects majeurs est dans la société humaine l'organisation du travail. On comprendrait pourquoi, guidée à son origine par la ligne des tendances motrices projetant la rencontre des objets, l'image mentale se charge d'information extéroceptive puis se formalise en symboles du réel avant de pouvoir servir de base à l'invention organisatrice. En ce sens, à côté des cas exceptionnels où une réorganisation spectaculaire et de grande envergure se propage à travers une société et fait date, il existe un tissu continu de réorganisations implicites, intriquées dans le travail, qui ne sont pas généralisées, ne se propagent pas en dehors du champ d'application pour lequel elles ont été faites; or, ces réorganisations mineures sont aussi des inventions, et un effort d'inventions distribuées au cours d'une tâche, chacune étant trop minime pour pouvoir se propager à l'extérieur de la situation, peut être aussi important qu'un acte d'invention massé qui réorganise d'un coup une situation et toutes les situations analogues. Tel est en particulier le cas de l'activité animale de création d'objets, ajustant dans le détail et en cours

d'exécution les tâches à elles-mêmes et au milieu ; tel est aussi le cas de la production artisanale. Chaque tâche comporte un certain nombre d'actes d'organisation ; si la portée de chacun de ces actes est inférieure à la dimension de la tâche, l'objet créé reste essentiellement dépendant des conditions particulières de son insertion dans le milieu, de sa destination, des moyens concrets de sa réalisation ; les inventions ne se manifestent pas en dehors de l'opérateur, qui peut les répéter à l'occasion de tâches analogues, mais non les formaliser comme un absolu ; c'est le cas de l'activité animale ou de type artisanal, en lesquelles l'invention est distribuée au long de l'exécution. Si au contraire l'acte d'invention est massé, couvrant plusieurs tâches, il se formalise en invention détachable des conditions d'exécution, comme dans le travail industriel. Enfin, un cas particulier remarquable est celui de l'adéquation dimensionnelle entre une œuvre et une invention organisatrice : l'objet créé est tout entier organisé en un seul acte, sans résidu ni zone floue, mais cet acte ne déborde pas en dehors des limites de l'objet créé, qui reste ainsi particulier et unique : c'est l'objet d'art, intermédiaire stable entre la facture artisanale et l'opération industrielle comme objet complètement organisé, et à ce titre absolu, mais pourtant singulier. Dans l'objet artisanal, l'invention reste à l'intérieur des limites de l'exécution, opérant des raccords partiels d'organisation ; dans l'objet industriel, l'invention dépasse l'exécution ; dans l'objet d'art, invention et exécution sont contemporaines l'une de l'autre et de même dimension.

L'étude de l'image mentale et de l'invention nous conduit ainsi à la *praxéologie*, « science des formes les plus universelles et des principes les plus élevés de l'action dans l'ensemble des êtres vivants », selon la définition donnée en 1890 par Alfred Espinas dans l'article intitulé « Les origines de la technologie », paru dans la *Revue philosophique de la France et de l'étranger*. La praxéologie, avec les recherches de Sloutsky, puis de Bogdanov (*Tactologie*, Moscou, 1922), s'est développée dans le sens de l'économie et de l'organisation de l'activité humaine. Hostelet a également confirmé cette tendance vers l'étude de l'activité humaine, ainsi que Thadée Pszczolowski (*Les Principes de l'action efficace*, Varsovie, 1960, cité par Kotarbinski dans *Les Origines de la praxéologie*, Académie polonaise des Sciences, centre scientifique de Paris, 1965). Mais on est en droit de penser qu'après avoir séparé l'Homme des animaux et l'action utile de l'action en général, la praxéologie pourrait devenir une praxéologie générale, incorporant l'étude des formes les plus élémentaires de

l'activité, ce qui serait d'ailleurs assez conforme aux autres recherches d'Espinas. À ce moment, le cycle de l'image mentale progressant vers l'invention apparaîtrait peut-être comme un degré élevé de l'activité de l'être vivant considéré, même dans les formes les plus primitives, comme un système auto-cinétique en interaction avec un milieu. Le caractère auto-cinétique, qui se manifeste par l'initiative motrice dans les formes les moins élevées, se traduit, chez les formes à système nerveux complexe, par la spontanéité de fonctionnement qui amorce, avant la rencontre de l'objet, le cycle de l'image, et qui s'achève dans l'invention.

(Fin du cours sur *L'Imagination et l'Invention*, 1965-1966)

LA RÉOLUTION DES PROBLÈMES

(1974)

(Extraits)

INTRODUCTION

Cette étude vise à noter ce qu'il y a de commun dans tous les problèmes, d'une part, et à esquisser une hiérarchie des différents problèmes, d'autre part. Une définition commune, au moins comme point de départ, peut être prise dans le caractère de finalité des conduites; un problème existe dès qu'une conduite finalisée rencontre un obstacle à sa réalisation. Une hiérarchie simple se dégage du processus mis en œuvre pour tenter d'arriver au but :

- 1) un simple *changement de stratégie*, par exemple locomotrice, dépourvue de plan, ou avec un plan (détour);
- 2) le *recours à une médiation*, par exemple *instrumentale*;
- 3) l'usage de *symboles* représentant les données du problème, et d'*opérations*.

[...]

DEUXIÈME PARTIE. LE RECOURS À UNE MÉDIATION, PARTICULIÈREMENT À LA MÉDIATION INSTRUMENTALE

Chapitre 1. Médiations instrumentales simples

Le recours à une médiation instrumentale simple est peu fréquent chez les Animaux; le problème de la ficelle est très difficile à résoudre pour des Oiseaux et des Mammifères inférieurs. Il est résolu, au contraire, par des enfants très jeunes (test de Gesell); en un premier temps, l'enfant regarde les objets qu'il convoite mais qui demeurent hors de sa portée; plus âgé, il saisit la ficelle qui est à sa portée et ramène ainsi les objets.

Le problème de la ficelle diagonale de Koehler est résolu

sans hésitation par les Singes; les Chiens et les Chats échouent généralement devant ce problème.

Le problème de la ficelle diagonale a été compliqué par Guillaume et Meyerson au moyen d'une ficelle auxiliaire: il y a ici deux intermédiaires entre l'être vivant et l'objet, et une liaison indirecte entre l'objet et l'être vivant tenant la ficelle; les Singes inférieurs (Macaque, Atèle, Capucin) échouent dans l'utilisation de cette liaison indirecte tandis que le Chimpanzé y réussit.

La même distinction entre singes inférieurs et singes supérieurs existe dans l'utilisation d'un bâton; cependant, il arrive que les Singes inférieurs résolvent le problème si le bâton est près de l'appât; les Singes supérieurs n'ont pas besoin de cette coexistence de l'appât et du bâton dans le champ de vision, mais seulement d'une utilisation du bâton dans leur expérience antérieure. Le mot « bâton » correspond d'ailleurs à une catégorie d'instruments permettant de prolonger le bras (planchette, bâton, tout objet rigide et allongé, etc.).

Le détour avec instrument est un problème qui présente l'appât dans une boîte ouverte d'un seul côté, opposé à la cage; seuls l'Orang-outang et le Chimpanzé arrivent à faire sortir l'appât de la boîte en le repoussant, puis à le rapprocher.

Le problème de l'équerre, de Guillaume et Meyerson, propose un appât que l'on peut attirer au moyen d'une équerre retenue par une ficelle.

Certains problèmes supposent la *préparation d'instruments*; ils ne conviennent qu'aux Singes supérieurs (entasser des caisses, enfler des bambous plus ou moins gros les uns dans les autres). La préparation d'instruments apparaît par contre assez tôt chez l'espèce humaine, et bénéficie de la transmission d'un individu à l'autre. W.N. et L.A. Kellog ont comparé un jeune Chimpanzé à leur enfant en bas âge relativement à diverses situations demandant l'usage d'un instrument (par exemple un râteau pour attirer une pomme). Si la pomme était déjà à l'intérieur du râteau, le problème était résolu d'emblée par les deux sujets; si la pomme était en dehors de la surface balayée par le râteau ramené, il fallait à peu près 300 essais à chacun des sujets pour découvrir la valeur instrumentale du râteau.

Les « *problem-boxes* » ou « *puzzle-boxes* » de E.L. Thorndike donnent des résultats semblables; quand le problème a été résolu, l'apprentissage complet est presque complètement acquis; sur la courbe d'apprentissage se manifeste une chute brusque des tâtonnements.

Guillaume et Meyerson ont étudié la manipulation d'objets sur des Chimpanzés de seize mois à deux ans; l'apprentis-

iens et les Chats
e.

été compliqué par
elle auxiliaire : il y
nt et l'objet, et une
nt tenant la ficelle ;
in) échouent dans
s que le Chimpanzé

rs et singes supé-
ependant, il arrive
me si le bâton est
pas besoin de cette
champ de vision,
dans leur expé-
d d'ailleurs à une
rolonger le bras
gé, etc.).

me qui présente
côté, opposé à la
rivent à faire sor-
à le rapprocher.
t Meyerson, pro-
en d'une équerre

n d'instruments ;
s (entasser des
os les uns dans
rait par contre
la transmission
mparé un jeune
ent à diverses
par exemple un
e était déjà à
emblée par les
urface balayée
ssais à chacun
ale du râteau.

L. Thorndike
oblème a été
complètement
ste une chute

ation d'objets
l'apprentis-

sage des multiples usages du bâton se fait de manière progressive ; on remarque des usages tels que levier, cuiller, instrument de pêche, intermédiaire pour éloigner les Lézards. Les Singes inférieurs, généralement, n'utilisent le bâton qu'à la manière d'un jouet, et non, spontanément, comme un outil ou un instrument.

Harlow et Wayne estiment que la tendance à manipuler et à examiner des objets et des instruments est chez les Singes une motivation intrinsèque suffisante pour produire un apprentissage préalable à une résolution de problème. Romanes avait déjà observé sur un Capucin de l'Amérique du Sud « cet infatigable esprit d'investigation ».

Piéron rapporte, dans la *Psychologie zoologique*, une observation des Pecham sur une Guêpe qui utiliserait un petit caillou rond pour damer une surface de sol, au-dessus de son nid (*Ammophila urnaria*).

On cite de même *Oecophylla smaragdina* (Formicidés) qui fabrique son nid au moyen de deux feuilles rapprochées ; la larve joue un rôle instrumental de navette pour coudre les feuilles ; en même temps, le fil sécrété par la larve reste en place et maintient les feuilles de caféier bord à bord ; *Oecophylla longinoda* agit de même.

Comme l'utilisation d'instruments est considérée comme manifestant une activité intellectuelle, la recherche de ces conduites chez les Insectes a été partiellement subordonnée à l'idée suivante : les Insectes ont pour ainsi dire des instruments et des outils dans la conformation même de leurs membres (Arthropodes) ; ils possèdent un squelette extérieur prédéterminant leur système d'action dans les voies stéréotypées des comportements héréditaires. Les Vertébrés au contraire ont un squelette interne qui leur permet des conduites plus souples, mais ne les protège pas ; les Arthropodes étaient donc, au XIX^e siècle, considérés comme régis par les lois fixes de l'« instinct », tandis que les conduites intelligentes étaient réservées aux Vertébrés. Actuellement, bien que la capacité de résoudre des problèmes soit plus généralement rencontrée chez les Vertébrés, rien ne permet d'exclure a priori des actes d'invention chez les Arthropodes ; leur cerveau est enveloppé, comme tous les organes sauf certains organes des sens, dans l'armure de chitine délimitant la tête. Mais cette disposition générale se retrouve chez les Vertébrés ; le squelette interne devient externe pour l'encéphale. La différence résiderait plutôt dans le fait que l'on trouve des sociétés très considérables chez les Arthropodes, ce qui ajoute un déterminisme à la conduite, si la découverte d'une médiation instrumentale - ou tout autre

acte d'invention - demande des conditions individuelles de genèse ou une déviance dans les espèces supérieures. En conclusion, on ne peut déclarer que les Arthropodes sont incapables de résoudre des problèmes de médiation; on peut seulement dire que leur équipement et leur système d'action se prêtent moins bien, en principe, à l'activité d'invention.

La médiation instrumentale a été considérée par Andrée Tétry comme pouvant être constituée par l'adaptation d'un organe à sa fonction dans l'ouvrage intitulé *Les Outils chez les êtres vivants* (Paris, Gallimard). Cet ouvrage, très concret et très érudit, comporte des chapitres tels que « Les flotteurs; les organes électriques; les organes lumineux ». Il ne s'occupe pas directement de l'invention, mais montre comment des Arthropodes peuvent effectuer des actions complexes; l'ouvrage suppose que « c'est la Nature qui a effectué les choix »; voir de la page 292 à la fin de l'ouvrage.

Chapitre II. Médiations instrumentales complexes

Temporairement chez les Animaux, plus durablement chez l'Homme, il peut être fait appel à des objets du monde extérieur servant de médiateurs. L'outil simplement emprunté à l'entourage doit généralement être perfectionné. Le choix d'un objet comme médiateur indique l'*insight*.

(1. Les conditions collectives - sociales, culturelles, économiques - et matérielles de l'invention¹)

Mais l'objet antérieurement préparé, avant l'occasion de l'usage, correspond à une première dichotomie entre l'état de besoin ou d'urgence et l'état de sécurité au cours duquel les facultés mentales et les capacités d'élaboration opèrent sous un régime motivationnel plus soutenu et surtout plus égal à lui-même. Autrement dit, un véritable outil ou bien une arme sont des objets élaborés avant l'action consommatoire; sans doute, ils correspondent à un besoin, mais à un **besoin** qui n'est pas strictement urgent au moment de la fabrication.

Les Vertébrés supérieurs sont, comme les Hommes, capables de se servir d'armes et d'outils; mais, si l'on veut observer des distinctions, il ne convient pas de voir seulement le degré

¹ Les sous-titres entre parenthèses sont tirés du texte mais introduits par l'éditeur, de même que l'utilisation de l'italique et du gras.

de perfection du résultat; il faut estimer aussi le temps consacré à l'outil ou à l'arme, avant et après son usage. C'est l'allongement de la chaîne d'actes préparateurs et d'actes conservateurs ou réparateurs qui permet de mesurer complètement la chaîne de la médiation instrumentale.

Dans les comportements humains, nous *saisissons des chaînes de transformation et de conservation*; le travail du silex ou de l'obsidienne demande la collecte des matériaux, puis l'organisation d'un chantier où les postes de travail sont distincts. Pour l'outil ou l'arme de métal, la mine, puis la métallurgie précèdent la fusion et le travail du métal avant l'apparition, par moulage ou forgeage, de la forme définitive de l'objet. Les outils ou les armes de fer ou d'acier doivent être affûtés et graissés avant ou après usage pour leur conservation.

Enfin, la fabrication d'un outil ou d'une arme demande l'entrée en jeu d'autres outils, qui ont la propriété décisive d'être polyvalents.

Quand l'enclume et le marteau de forge, les pinces, le tranchet sont prêts, ils conviennent à la production d'un grand nombre d'outils et d'armes. C'est à partir de là, quand une technique entière d'élaboration est prête (comme la métallurgie du fer), que des inventions sont possibles.

Car le problème de la médiation complexe n'est pas seulement celui de l'usage, mais aussi celui de la préparation; cette préparation a un pouvoir amplificateur, car elle implique la mise en jeu de chaînons opératoires dont les bases sont généralisantes, permettant de nombreuses variations des objets fabriqués. La condition de possibilité d'une invention nouvelle n'est pas seulement la main et le cerveau, mais la condition de possibilité de la réalisation, c'est-à-dire *la conservation de tout ce qui a servi à une production antérieure, tant dans la matérialité que par la culture* enfermant les représentations relatives à la production, et le savoir-faire nécessaire.

C'est au niveau de cette **conservation amplifiante des modes de production et des cultures** que se situe le vrai départ entre la résolution des problèmes par médiation technique selon le mode animal et selon le mode humain. Les techniques humaines peuvent progresser parce que le médiateur, même simple par sa forme et son fonctionnement, fait partie d'une famille de possibles, au terme d'un processus de fabrication dont les bases restent disponibles.

Mais il existe une *seconde condition de la genèse amplifiante* des médiateurs de tous ordres dans l'espèce humaine: **la coexistence des modes de travail opérant sur divers matériaux**, par exemple le métal et le bois; le métal est employé

au mieux pour l'outil ou l'arme, tandis que le bois opère en transmettant les forces, généralement comme un levier ; alors apparaît le problème de l'emmanchement, qui peut se résoudre de différentes manières : à jonc, à douille, à œil, et renforcé ou non par des ligatures, selon les caractères du métal et du bois, et aussi selon les possibilités de la fabrication et le degré de rareté du bois et du métal. On peut admettre ici un effet de l'expérience, les ruptures en cours d'usage dénotant les forces dominantes.

C'est à partir de la masse conservée des moyens de production que, dans l'espèce humaine, les différents groupes ont une capacité d'invention. Une forge, premier aspect de la chaîne métallurgique, peut au début viser la fabrication des socs de charrue ou seulement des points d'araire. Mais la même forge peut servir à produire des armes ou des outils nouveaux. Et ici l'invention intervient quand **le filtre social** la laisse passer.

En matière de construction, la partie faible est la toiture ; aussi voyons-nous un grand nombre d'essais pour résoudre ce problème, en particulier en faisant de la toiture un prolongement des murs. La forme la plus parfaite de la voûte est la chaînette, que l'on voit dans les tombeaux de l'antique Tyrinthe mais ce style architectural ne s'est pas transmis. Les Romains ont construit avec des voûtes en plein cintre ou en arc surbaissé leurs monuments ; l'art roman et l'art gothique ont employé des tracés de voûte dont aucun n'était parfait. C'est seulement au xvii^e siècle (1691) que Jacques Bernoulli a déterminé le véritable tracé et l'équation de cette courbe, qui est la seule capable, dans la construction des ouvrages d'art, de porter des charges considérables sans se rompre. Pourtant, jusqu'à l'époque contemporaine, elle n'a guère été utilisée autrement que pour la construction des égouts, des ponts suspendus ou des caténaires.

Or, il est singulier qu'un procédé de construction, convenant aussi bien à la technique des pierres sèches (casemates de Tyrinthe, bories de Gorde) qu'à celle du métal ou du bois n'ait presque jamais trouvé un emploi à la mesure de ses qualités ; il s'agit sans doute d'un refus quasi universel de l'invention, ce type de voûte ne donnant jamais un raccordement perpendiculaire au plan de sol ou parallèle à celui des murs.

L'obstacle à l'invention s'est assez manifesté devant l'extension du chemin de fer en France pour que l'on comprenne que l'invention ne peut s'étendre et se développer que dans un

milieu lui offrant une dissimulation initiale, et évitant l'effet de la résistance au changement; l'industrie du XIX^e siècle a été un milieu assez perméable pour les inventions, auxquelles elle a évité, avant la construction du prototype, l'impossible épreuve de la critique collective; l'architecture est un lieu de forte résistance à la nouveauté (technique ou morphologique), parce qu'elle existe sur plans avant de devenir réalité. L'invention dans les ouvrages écrits suit à peu près les mêmes lois; conférences préalables puis édition, éventuellement avec patronage, dans une collection.

Et si l'on se demande pourquoi certains siècles ont été fertiles en invention, on doit songer aux **conditions positives ou négatives d'accueil et de réalisation des inventions viables**, très particulièrement dans le domaine de la médiation instrumentale.

Les inventions techniques qui ont réussi plus facilement sont celles qui ont trouvé un **milieu favorable**, par exemple la mine au XVIII^e et au XIX^e siècle. La voie ferrée a été découverte avant le train que nous connaissons parce que, autour du puits, il fallait transporter le produit de la mine et des sous-produits, généralement sous forme de pierres, ce qui faisait une aire restreinte à haute densité de circulation. Tout encombrement de l'orifice du puits se traduisait par une baisse de rendement, à cause du goulot d'étranglement que constituait l'afflux de matériaux arrivant sur quelques mètres carrés; le transport à bras avait un débit trop faible; l'aménagement de chaussées pour charrettes convenait mal à cause de la grande humidité (le charbon, le minerai remontaient souvent ruisselants d'eau). Par contre, les voies pour brouettes étaient faites de larges planches portant en creux, au centre, un chemin de roulement qui guidait la roue. De telles voies, même sur un sol détrempe et inégal, assuraient un roulement régulier, pour la brouette, et un chemin sec et plat pour les *berwettresses* qui les poussaient; la ligne de solives sur laquelle roulait un wagonnet était également employée. Plus tard, la roue à boudins adaptée à un fardier tiré par son cheval constitue le railway, quand les solives de roulement sont en saillie, et le tramway quand les solives sont au ras du sol, le boudin de la roue passant dans un creux. Dans les deux cas, l'écartement convenable des solives est maintenu par des traverses, et l'augmentation des charges amène à recouvrir d'un fer cornier ou à construire entièrement en fer ces voies, qui deviennent alors des voies ferrées.

À la même époque, l'épuisement de l'eau dans les mines a d'abord conduit à une solution onéreuse: un étage de

pompes aspirantes puis les pompes à feu ont fait leur apparition; enfin la machine à vapeur fixe, reposant sur un bâti, a actionné les pompes dans les mines jusqu'à la fin du XIX^e siècle.

La locomotive, s'il avait fallu avant les premiers essais construire des voies à travers le territoire, n'aurait peut-être jamais pu s'imposer, en raison de la faible vitesse et du faible rendement des premières qui furent construites. Mais, là encore, la mine fut un milieu privilégié, surtout en Angleterre. Pour une mine, une tonne de charbon en plus ou en moins n'est rien, lorsqu'il s'agit de transporter un convoi de charbon ou de déblais. La vitesse compte peu aussi, pourvu qu'elle soit au moins égale à celle des chevaux. Sortis de la mine, la locomotive et le train acquièrent leur indépendance, par exemple en abaissant le centre de gravité de la chaudière et en augmentant le rendement de cette dernière au moyen du principe dit « chaudière tubulaire », qui prend la place des chaudières à bouilleurs employées sur les navires; la flamme et les gaz chauds issus du foyer, au lieu de lécher extérieurement les différents organes de la chaudière, traversent l'eau par des « tubes à fumée », ou bien, dans le système aquatubulaire, entrent en contact avec des tuyaux multiples, remplis d'eau à chauffer. Dans les deux cas, la surface de chauffe est considérablement augmentée par rapport aux premières chaudières en un seul bloc ou en trois blocs (systèmes « à bouilleurs »). Pour une puissance définie, le générateur de vapeur (chaaudière) devient plus petit et plus léger, son centre de gravité s'abaisse, le bâti disparaît; les conditions pour la traction et le freinage rapides sont maintenant données; il ne reste, pour aboutir aux trains contemporains, qu'à obtenir la répartition quasi instantanée du freinage tout au long de la rame de voitures; c'est ce que procure, avec l'usage de l'air comprimé et de la valve à trois voies, le système dit Westinghouse, du nom de son inventeur (1872).

Cette affirmation relative aux *conditions de naissance d'un dispositif technique* ne cherche pas à effacer l'énumération des *conditions collectives, sociales, économiques de la résolution d'un problème*.

Mais les conditions classiquement énumérées sont trop larges; elles permettent qu'une invention, grâce à un même degré de développement dans plusieurs pays, apparaisse simultanément en plusieurs lieux; mais elles n'empêchent pas **la réalité nécessaire du foyer d'inventions**, comme la mine pour le train; elles permettent seulement, lorsque le train, en vertu de conditions économiques définies, peut se développer

en réseau, qu'il le fasse en plusieurs pays à la fois; la chaudière tubulaire est donnée, en France, comme une invention de Marc Seguin. Mais on constate, en Angleterre, que la première chaudière tubulaire ayant fonctionné est la *Fusée* de Stephenson, en 1827. Peut-on parler de *réinvention* ou de *transmission d'information*? Il faudrait des sources historiques très précises et non nationales pour pouvoir répondre à la question. En fait, il arrive souvent que les inventions se fassent à peu près en même temps, et les applications aussi. L'application correspondant à l'invention de Seguin date de 1832 en France.

Pour les inventions n'ayant pas eu de foyer les débuts furent beaucoup plus délicats; l'adaptation de la machine à vapeur (du type Watt) était parfaitement possible en matière de traction routière ou fluviale, voire maritime.

Ni Joseph Cugnot, ni William Murdock, ni Olivier Evans et Trevithick ne purent faire accepter leurs fardiers ou autobus à vapeur; le bateau à vapeur, avec Denis Papin, puis d'Auxiron, puis Jouffroy, ne put franchir l'obstacle humain; la même invention connut également l'échec avec Stanhope puis John Fitch; le premier inventeur qui réussit fut Fulton, sur l'Hudson (10 octobre 1807), avec le navire à vapeur *Clermont*; ensuite vient, dans le courant du XIX^e siècle, une longue lutte, pour la traversée de l'Atlantique, entre la voile et la vapeur; cette lutte fut principalement économique, le combustible demandant une place importante qui, sur les voiliers, était libre pour le fret. La lutte se déclara en faveur de la vapeur à partir de 1870, grâce à l'hélice, moins encombrante et moins fragile que les roues à aubes, tout en donnant en plus un meilleur rendement; corrélativement, les moteurs à cylindres et pistons étaient remplacés, dans les usages puissants de la vapeur, par des turbines. Or, l'hélice était une invention déjà ancienne (Charles Dallery, Amiens, 1803, puis Souvage, de Boulogne-sur-Mer, 1832); ce fut seulement Johan Ericsson qui, en 1837, réussit à faire naviguer un bateau à vapeur muni d'une hélice. La turbine, de son côté, venant comme les roues à aubes de l'exploitation des chutes d'eau, évite l'emploi du mouvement alternatif des bielles et manivelles et remplace ce dispositif par un organe compact qui réalise, en cas de bonne adaptation, un rendement meilleur, malgré la nécessité d'une démultiplication; elle « concrétise » le moteur à vapeur.

On peut donc noter que, tout en restant *liées aux conditions économiques*, les inventions sont *favorisées* par l'existence d'un *milieu d'origine* où elles sont *rentables* et qui leur permet

des essais riches en perfectionnements alors que les conditions plus générales ne sont pas encore favorables. Ce milieu exerce un appel à l'invention, parce qu'il est semblable à un petit réseau.

Un autre exemple pouvant être présenté est celui du moteur à combustion interne de Diesel; ce moteur a ceci de particulier qu'il comprime de l'air pur jusqu'à une pression élevée, puis reçoit en haut de course, au moment où l'air est échauffé par la compression, une injection à très haute pression de combustible, généralement du mazout purifié; l'onde de combustion suit le piston dans sa course; il n'est pas nécessaire que le combustible soit volatil à la température du stockage. De plus, la pression initiale élevée de l'air donne à un tel moteur un rendement supérieur à ceux qui compriment un mélange déjà fait d'air et de vapeur d'essence: si la pression est élevée en bout de course, on obtient une combustion à régime explosif et non une déflagration progressive, ce qui détériore le moteur et nuit au rendement, la détonation donnant une pression moins régulière, au long de la détente, que la déflagration.

Or, les moteurs Diesel n'auraient pu naître sans l'expérience préalable du moteur à gaz, des moteurs à essence avec leurs différents carburateurs, et en général de tous les moteurs thermiques, avec les principes scientifiques de leur rendement; le moteur de Diesel correspond sans doute à la plus grande différence pratiquement utilisée entre source chaude et source froide; il ne peut être concurrencé que par certaines unités de chaudières à haute pression et de turbines, sur les navires ou dans les centrales électriques.

La réussite du moteur de Diesel est une réussite terminale, d'après les approximations successives; on peut la comparer aux groupes-bulbes des usines de basse chute exploitant les faibles différences de hauteur d'eau — la turbine Guimbal par exemple. Ces inventions sont concrétisantes, elles créent des synthèses compactes, où chaque partie fonctionnelle dépend du tout et donc aussi de chacune des autres parties.

(2. Les processus mentaux, logiques et intellectuels, correspondant à l'invention)

Il serait, à ce moment de la réflexion et des exemples présentés, nécessaire de se demander en quoi consiste une invention, tout au moins une invention créatrice d'un lien instrumental et d'une médiation.

Il ne s'agit pas d'une seule chaîne de déduction, mais d'une pluralité de tensions vers l'accomplissement de fonctions

grâce à l'état créé par leur *accomplissement simultané*; il existe un *état analytique* de l'invention avant l'application, puis un *état synthétique* de l'invention post-industrielle.

Les processus mentaux logiques ne sont sans doute pas les mêmes, lorsqu'il s'agit de passer d'un état pré-industriel des techniques à un état plus industriel, que lorsqu'il s'agit de synthétiser en unité compacte des éléments antérieurement séparés; on réaliserait ainsi des inventions d'analyse et des inventions de synthèse; or, la réalité des deux types d'invention existe.

(Analyse) *L'invention primitive par analyse* demande que les fonctions soient clairement pensées à part: une flèche, d'une seule pièce de bois, mais durcie à une extrémité, peut être améliorée si elle est pensée comme la réunion d'une pointe de flèche et du corps de la flèche; en effet, la pointe peut être préparée à part, taillée dans un autre matériau (obsidienne, métal); mais il faut alors trouver un raccord efficace entre bois et pointe (collage avec emboîtement, etc.).

Les vraies inventions analytiques s'opèrent à un stade des techniques qui n'est pas strictement primaire. L'encombrement du puits de mine avait déjà engendré des inventions, citées plus haut, quand, surtout au XVIII^e siècle, l'écartement des principaux postes par rapport à l'orifice du puits a été rendu possible. Principalement, avec les puits profonds, l'enroulement du câble sur le cylindre du treuil ne pouvait être conservé; une dissociation était nécessaire entre la fonction de traction ou de retenue du câble par le treuil et la fonction de mise en réserve du câble pour la benne au point haut. La traction du câble et un certain nombre d'autres fonctions absorbant de l'énergie ne peuvent être accomplis que par des moteurs à vapeur, mais ces moteurs peuvent être éloignés des chaudières, qui, interconnectées, deviennent un centre de production de l'énergie selon un mode continu permettant l'entretien et les réparations. *Pratiquement, les analyses réelles de grande envergure préparent des synthèses ultérieures*, parce qu'elles créent de vastes unités homogènes encore améliorables, et recombinaisons les unes aux autres; le perfectionnement des chaudières a permis, après séparation de la chaudière d'avec le moteur, un retour de la chaudière vers le moteur transformé: chaudière à haute pression, moteur à détente multiple, principalement sous forme de plusieurs turbines étagées.

La capacité de rendre une invention possible vient de l'analyse puis de la recombinaison en synthèse de la base matérielle.

Nous avons cité la mine comme grande source d'inventions depuis deux siècles au moins; elle a d'abord donné *des inventions par analyse*, en spécialisant les voies de transport en surface et au fond, les voies et les moyens de l'aérage, les dispositifs de remontée des matériaux et du personnel, la circulation de l'air comprimé, de l'électricité, de la téléphonie et des divers signaux. Puis *une deuxième vague d'inventions par analyse* est venue avec le changement d'ordre de grandeur et le transport de l'énergie à distance qui s'est produit après 1850; à ce moment, les diverses fonctions de la mine se sont éloignées du puits et se sont développées comme de véritables industries séparées, reliées les unes aux autres en réseau d'hétérogénéité; ainsi, une grande exploitation a besoin d'une sécurité absolue relativement à l'alimentation en énergie électrique; elle doit pouvoir remplacer le réseau défaillant en un temps très court: d'où l'emploi de groupes électrogènes pouvant être mis en route en très peu de temps, ou même d'une véritable station centrale d'énergie électrique, séparée en plusieurs unités de production permettant d'approprier consommation et production, et permettant aussi entretien et réparations sans arrêter l'entreprise.

Ce second type d'analyse permet d'avoir des *systèmes de transfert* entre la dimension de la production et la dimension des machines ou outils d'utilisation. L'air comprimé peut être employé au moyen du système cylindre-piston, ou bien au moyen de turbines; de même, l'électricité peut être employée au moyen d'électro-aimants, ou bien de moteurs. Le système de transfert, lorsqu'il est nécessaire, peut consister en un simple détendeur ou en un transformateur d'isolement et d'adaptation.

La capacité analytique des grandes installations a permis aux inventions scientifiques de se développer en trouvant non seulement un *domaine d'application*, mais un *domaine amplifiant*. C'est le cas du transformateur, de l'alternateur, de la dynamo, de la magnéto au XIX^e siècle. Sans la dimension industrielle, l'alternateur et la dynamo auraient pu rester des appareils pour travaux pratiques de physique. Ce qui fait d'eux des inventions, c'est le fait qu'ils ne sont *pas seulement des applications*, mais *des êtres ayant un schéma défini*, les rendant compatibles avec eux-mêmes lorsqu'ils passent du statut de petit objet aux éléments bien visibles, colorés de teintes différentes selon la fonction, au rang d'objet industriel. De l'objet industriel à l'objet d'usage courant, la redescente est possible avec une bonne proportionnalité des dimensions. La résolution du problème se fait plus facilement sur un *analogue ou modèle*

pour lequel le problème existe avec acuité; les alternateurs d'automobile ne seraient certainement pas aussi compacts et robustes s'ils étaient seulement des pièces d'automobile; en fait, les problèmes posés par la position mutuelle et l'isolement des circuits des alternateurs industriels ont été résolus à grande échelle il y a plus de cent ans: la résolution du problème a été une répartition correcte du rotor et du stator, en mettant le moins possible en mouvement des pièces porteuses de tension électrique.

La dichotomie précédente correspond à un classement ayant valeur d'invention nouvelle et résolvant un problème: quand on augmente la puissance d'un alternateur, on le rend fragile, car on augmente les vibrations de pièces soumises à une tension élevée; il est donc très important d'éliminer les pièces électriques en rotation; la dernière version est essentiellement une jante métallique portant des coupleurs magnétiques en fer ouvrant et fermant des circuits entre des pièces fixes comportant des éléments du circuit électrique de débit extérieur. Tout ce qui est électrique est fixe; seuls les éléments magnétiques peuvent être mobiles; or, ces derniers éléments sont moins fragiles que les éléments électriques: ils ne comportent pas d'isolement.

Cet exposé ne tend vers aucune théorie dogmatique; il prétend seulement dire qu'un grand nombre de dichotomies opérées nécessairement en milieu industriel afin d'éviter des nuisances industrielles réciproques à cause des dimensions ou des vitesses élevées à certains organes (exemple: dans l'alternateur) constituent des inventions nouvelles et pouvant être transposées à l'échelle inférieure. Une résolution de problème demandant un changement du schéma de l'objet ou de l'opération reste rarement enfermée dans un milieu où il a pu faire ses preuves; il y a quelque chose d'universel dans la résolution des problèmes qui autorise la propagation du schéma de base.

L'essentiel de l'invention technique est qu'elle est transposable (moyennant, éventuellement, des simplifications ou adaptations) d'un ordre de grandeur à un autre; parfois même, l'invention intervient pour que cette transposition puisse s'opérer. Quand la répartition des organes d'une machine a été faite de manière telle que le passage à l'ordre de grandeur supérieur soit possible, le passage à l'ordre de grandeur inférieur est également possible (alternateur pour éolienne ou pour jouet).

Dans un grand nombre de cas d'invention technique, on voit la création rigoureuse d'une dichotomie servir de principe à

un mouvement de pensée comparable au « supposons le problème résolu » des mathématiciens.

Ainsi, les turbines Guimbal supposent le problème résolu en mettant la turbine et l'alternateur dans la conduite. L'alternateur serait, sous cette forme, rapidement détruit par l'eau; aussi bien, l'alternateur est enfermé dans une coque remplie d'huile sous pression, comportant des joints pour l'entrée d'énergie mécanique provenant de la turbine, et pour les sorties de conducteurs. La coque est reliée en outre à un tuyau aboutissant à un réservoir situé au-dessus du mur du barrage: tant qu'il y a de l'huile dans ce réservoir, l'eau ne peut entrer dans l'alternateur. Les fuites lubrifient l'entrée d'énergie mécanique. Or, le « supposons le problème résolu » s'applique à ce cas; la réduction de dimensions imposée à l'alternateur est possible, parce que le brassage de l'huile par les pièces mobiles permet un refroidissement énergique de toutes les pièces à l'intérieur de la coque de l'alternateur; en dernier lieu, la chaleur est évacuée dans l'eau de la conduite forcée à travers la coque remplie d'huile renfermant l'alternateur. Une invention du type de celle de Guimbal sépare d'abord radicalement « ce qui est dans l'huile » et « ce qui est dans l'eau ». Après cette dichotomie de base, les communications sont rétablies de manière orientée: la coque de l'alternateur cède de la chaleur à l'eau de la canalisation; le joint laisse fuir une faible quantité d'huile dans l'eau de la conduite. C'est la purification, la définition de fonction ou de faisceaux de fonctions de chacun des constituants de l'objet technique qui donne une formule pouvant être multipliée ou réduite selon les circonstances.

L'amplification ou la réduction ne sont d'ailleurs possibles que jusqu'à un certain degré. Les groupes-bulbes des usines de basse chute peuvent fonctionner pour 25 cm de hauteur de chute, en modèles réduits. Par contre, les trains électriques en réduction sont très rarement bâtis sur la même formule que les trains réels, parce qu'aucun personnage ne les habite pour les conduire. Ils ne conservent leur formule que pour l'ingénieur qui peut être tantôt voyageur, tantôt conducteur, tantôt constructeur, dans le train véritable, et qui conserve plusieurs de ces fonctions par rapport au train réduit.

À proprement parler, l'amplification ou la réduction des médiateurs techniques sont possibles quand leur formule complète a été comprise.

L'industrialisation apporte un besoin de séparation des composants à l'intérieur d'une même machine, parce qu'elle a besoin de grandeurs élevées; les fonctions ne peuvent interférer entre elles, sauf de manière réglée et précise.

(Synthèse) L'activité d'invention, si elle restait purement analytique, refléterait non seulement des conditions industrielles de production, mais encore des conditions industrielles d'usage. Or, l'usage a ses exigences qui demandent, pour atteindre un but défini, un objet fabriqué complet et en lequel différents fonctionnements doivent être compatibles et même synergiques: chaque partie baigne dans un « milieu intérieur » constitué par le fonctionnement lui-même; il n'y a pas de manière nécessaire un seul organe par fonction ni une seule fonction par organe. L'introduction d'un élément nouveau réagit sur la manière d'être de la totalité, mais doit se conformer aux nouvelles lois de la totalité résultante; l'invention apparaît alors comme la création d'un groupe au sein duquel peuvent s'opérer des réductions du nombre des composants, grâce à un régime plus strict du fonctionnement, de la dimension et de l'emplacement des composants.

Par exemple, le moteur à essence peut être dépourvu du refroidissement par eau, ce qui supprime le radiateur et la pompe de circulation d'eau; mais il faut alors disposer les cylindres pour qu'ils reçoivent un vif courant d'air froid; ces cylindres à ailettes bénéficient d'un renfort mécanique permettant de les alléger, pourvu qu'ils soient faits d'un métal très conducteur; la culasse et même le carter sont en ce cas pourvus eux-mêmes d'ailettes contribuant au refroidissement; mais le fonctionnement est plus strict, car le « volant thermique » constitué par la réserve d'eau avec l'énergie nécessaire à la vaporisation n'existe plus.

Un autre exemple est fourni en électronique par le passage des tubes (ou « lampes ») triodes aux tétrodes ou pentodes. Un défaut des tubes triodes est que rien ne s'interpose entre l'électrode de commande (grille) et l'anode; un couplage existe entre la grille et l'anode. Pour supprimer ce couplage électrostatique, un écran a été introduit entre la grille de commande et l'anode; cette électrode à potentiel fixe supprime le couplage, mais réagit sur l'écoulement du flux d'électrons; si l'écran est porté au potentiel de la grille de commande, il empêche l'attraction des électrons par l'anode; s'il est porté au potentiel de l'anode, il capte lui-même une part importante du flux, et nuit au fonctionnement. La différence de potentiel de l'écran par rapport aux autres électrodes doit être judicieusement déterminée en fonction du gradient de potentiel existant entre les autres électrodes; sauf pour des usages spéciaux, l'introduction de l'écran n'est possible que si le potentiel de l'écran est plus élevé que celui de la grille et moins

élevé que celui de l'anode. L'ensemble fonctionne alors comme une triade sans couplage interne, avec un avantage supplémentaire : l'écran accélère les électrons, ce qui augmente le rapport d'amplification entre l'entrée et la sortie.

Plus généralement, presque toutes les machines ou tous les autres objets techniques possédant des régulateurs et un retour d'information de l'entrée sur la sortie comportent un *schéma de synthèse*; le régulateur, par son insertion, modifie le fonctionnement et *doit être mentalement présent à l'inventeur*; il en est de même pour les asservissements. Les efforts d'industrialisation ont donné un très grand nombre d'exemples polyvalents qui peuvent donner par synthèse différents fonctionnements; mais les synthèses qui les rapprochent sont elles-mêmes des inventions, parce que le rassemblement de composants donne des propriétés nouvelles par rapport à celles des composants non couplés.

Cette possibilité de *changer d'ordre de grandeur tout en conservant la formule complète des médiateurs techniques* permet d'inventer un grand nombre d'objets qui sont aussi bien des jouets que des « objets scientifiques », et possèdent un schéma pur; les dimensions n'ont rien à voir avec les fonctions réelles; ainsi, l'usage des transistors permet des montages qui, sous forme de jouets ou d'appareils de démonstration pour les sciences, sont les mêmes que les appareils scientifiques et techniques; ils sont seulement, en général, moins puissants ou moins précis, selon la qualité des composants employés et selon la taille ou le mode d'alimentation en énergie. Cette possibilité de construire des appareils ayant un sens technique donne en particulier de vrais jouets, ce qui est relativement nouveau. Les anciens jouets pouvaient être de très belles réalisations, attachantes pour leurs utilisateurs mais fausses, parce que le principe de l'objet réel n'était pas conservé; ainsi, le train électrique est plus vrai que le train à vapeur, car il est possible de munir le train électrique de vrais moteurs électriques, tandis que le train à vapeur reçoit généralement un moteur à ressort, ce qui est une sorte de mensonge pour l'utilisateur; l'invention possible s'est muée en régression vers un automate simulant un train.

(Transfert, transduction) Analyse et synthèse apparaissent comme deux mouvements partiellement complémentaires, mais avec une antériorité, domaine par domaine, de l'analyse par rapport à la synthèse en matière d'invention ou perfectionnement de l'analyse par rapport à la synthèse. Cette analyse et cette synthèse se manifestent dans les objets constitués

par invention technique. Mais on ne peut conclure que des processus mentaux, des activités intellectuelles analytiques et synthétiques s'attachent à chaque catégorie d'invention. L'étude psychologique de l'invention reste assez largement à faire.

L'activité intellectuelle qui semble le plus largement impliquée dans l'invention est le *transfert*.

Quand il s'agit d'éloigner d'un point encombré (comme le puits de mine) une fonction ou plusieurs, la condition à la fois réelle et intellectuelle est la permanence de la fonction jointe à un dispositif d'éloignement. Dans le cas choisi, la permanence de la fonction est liée à la continuité du câble, et non à la proximité du treuil; le treuil peut même être divisé en une partie assurant la traction et une autre mettant le câble en réserve; le dispositif d'éloignement consiste en un système de renvoi dégageant le puits, le chevalement porteur d'une poulie de renvoi. Il s'accomplit deux transferts en sens inverse, celui du câble vers le treuil et celui du treuil vers le puits sans encombrer l'orifice, donc en faisant un détour grâce à la poulie de renvoi du chevalement. Ces deux transferts inverses et complémentaires peuvent d'ailleurs être couplés, par l'adjonction d'une seconde cage, ce qui permet à la presque totalité du câble de rester dans le puits, une petite longueur seulement étant retenue par le treuil; en ce cas, le double transfert est complet et l'invention a atteint son degré le plus élevé de perfection en logeant le câble dans le puits lui-même.

De semblables transferts ont lieu quand il s'agit de synthétiser des fonctions et de rapprocher des organes chargés de plusieurs fonctions. Ainsi, dans un moteur à essence, le cylindre et le piston changent de fonction au cours du cycle; après l'échappement, une nouvelle aspiration se fait dans la perspective de la prochaine compression et de la détente; les opérations sont les mêmes que dans l'ensemble chaudière-moteur, mais pas dans les mêmes lieux; la succession des fonctions, qui constitue un premier transfert, est rendue possible par un deuxième transfert, mécanique et non thermodynamique, celui des engrenages réducteurs, des cames, des poussoirs, des soupapes d'admission et d'échappement. C'est ce transfert mécanique de phase en phase qui rend possible le transfert thermodynamique des quatre « temps » du moteur, de type volumétrique et chimique. À ces deux transferts est adjoint celui de la magnéto ou de l'allumeur dit Delco, et de plus celui de l'aspiration d'air et de l'admission d'essence, qui sont des liens entre les deux transferts de base.

L'activité intellectuelle de l'inventeur (Beau de Rochas) a donc tenu compte de manière compatible de ces quatre chaînes

opératoires, chaque moment de l'une tendant vers l'un des moments de chacune des autres.

Par *transfert*, nous voudrions entendre un mode d'activité qui fait appel simultanément à l'induction et à la déduction; la présence de la déduction consiste en l'existence d'une nécessité logique et matérielle, d'un certain nombre de conditions qui doivent être remplies pour que l'ensemble fonctionne; cette déduction découle d'une axiomatique, partout présente en chacune des chaînes. L'induction provient de toutes les réalités déjà connues qui, dans l'objet inventé, se partagent une même fonction: les fonctions traversent un ensemble de composants sans que l'un d'eux soit premier.

Peut-être serait-il nécessaire de faire apparaître un mot nouveau, « *transduction* », pour désigner cette activité qui n'est ni une *déduction* ni une *induction*, mais un mixte simultané des deux activités. Mais la perspective de cet exposé n'étant pas une réforme de la logique, il est possible de conserver le vocabulaire classique tout en montrant que la « logique » de l'invention est, dans un grand nombre de cas sinon toujours, un *emploi simultané de déduction et d'induction*. Toutefois, le mot de *transfert* suffit quand il s'agit de faire comprendre une invention devenue complète et renfermant un état d'équilibre possible. Telles sont les machines simples de Descartes où se font équilibre le travail moteur et le travail résistant: dans la poulie, par exemple, un premier enchaînement de transferts va du fardeau à la main ou au treuil, en se conservant, malgré le renvoi d'angle de la poulie; un second enchaînement, égal au premier et de sens inverse, va de la main ou du treuil vers le fardeau; la machine est considérée comme étant en état d'équilibre ou effectuant des mouvements extrêmement lents. Le travail moteur est égal au travail résistant quand on ne peut accorder de privilège au côté moteur et au côté résistant; les deux chaînes de transfert coexistent et sont équivalentes. Les schémas du treuil, du palan, des moufles, peuvent être ainsi envisagés à l'état de réversibilité.

Or, toutes ces machines existaient avant la formulation de la loi de conservation du travail; mais elles ne pouvaient être accompagnées que de formules d'explication trop vagues (du type « rien ne se perd, rien ne se crée ») et non de la désignation précise de ce qui se conserve en se transformant: « c'est la même chose de faire faire un pouce de chemin à cinq livres d'eau que cinq pouces de chemin à une livre d'eau », selon la formule de Pascal. Avec cette formule, l'ingénieur sait quel rapport il doit prévoir entre les rayons des manivelles et celui

du tambour du treuil pour qu'une charge définie puisse être élevée par deux hommes.

La pensée relative aux médiateurs techniques fruits de l'invention a ceci de particulier qu'elle peut procéder de plusieurs travaux successifs pour atteindre sa perfection, ou bien être à peu près parfaite dès la première formulation; ainsi le joint de cardan a été perfectionné par la mise en série de deux joints et par leur renforcement, mais pas en son principe lui-même.

[...]

vers l'un des
mode d'action
la déduction
de ces genres
de conditions
le fonctionnement
tout présente
toutes les res
partagent une
semble de son
raître un mot
e activité qui
n mixte simul
de cet exposé
st possible de
ontrant que la
ombre de ces
ion et d'induc
nd il s'agit de
lète et renfer
les machines
vail moteur et
e, un premier
a main ou au
gle de la pou
er et de sens
e fardeau; la
d'équilibre ou
ts. Le travail
ne peut accor
tant; les deux
valentes. Les
ent être ainsi
ormulation de
ouvaient être
pp vagues (du
de la désigna
rmant: « c'est
n à cinq livres
eau », selon la
teur sait quel
velles et celui

INVENTION
ET CRÉATIVITÉ

(1976)

(Extraits)

INTRODUCTION

L'invention est un remaniement des structures et des fonctions, prenant généralement, dans l'histoire, une forme dialectique par la succession de trois étapes, qui commence par une phase syncrétique, se poursuit par une phase analytique, et se termine par une phase synthétique; l'invention est essentiellement un remaniement de structures et de fonctions par enchaînement dans le temps. Elle est le fait d'hommes qui peuvent ne pas se connaître, mais sont au moins reliés par des objets, comme un monument ou une machine.

La créativité met en jeu soit l'individu, soit un groupe de cinq à dix personnes qui ont pour consigne de produire beaucoup d'idées en levant ce frein qu'est l'esprit critique; d'autres extrairont les idées à retenir de l'ensemble de ce qui a été produit; la quantité est ici nécessaire, alors que la qualité est primordiale pour l'invention, qui demande parfois l'effort persévérant d'une vie entière.

Pour que l'étude soit complètement équilibrée, il faudrait une étude de la découverte, moteur des sciences; la découverte peut être faite par un seul homme, mais elle reflète l'état d'un « corpus » à un moment déterminé, si bien que la même découverte peut être faite en plusieurs lieux pratiquement au même moment. Ce caractère devrait conduire à la placer entre l'invention et la créativité, s'il fallait étudier par ordre la fonction du nouveau chez l'homme.

En raison de son caractère semestriel, ce cours se limitera à l'examen des principaux caractères de l'invention d'abord, de la créativité ensuite; l'invention sera étudiée d'abord dans les techniques, ensuite dans un type de pensée extérieure aux

techniques; la créativité sera étudiée d'abord comme activité individuelle, ensuite comme activité de groupe.

Après une tentative de définition conceptuelle et verbale, nous allons présenter une définition au moyen de cas exemplaires de l'invention et de la créativité.

Exemple des principales phases de l'invention de la chaudière

Le sens général des inventions successives concernant les chaudières se marque par une augmentation de la surface de chauffe, c'est-à-dire par un meilleur couplage foyer-chaudière, et par une réduction du volume de la chaudière, permettant l'emploi des hautes pressions.

De manière plus particulière, on constate d'abord l'emploi de chaudières massives, d'un seul bloc, cylindriques comme chez Denis Papin, ou cylindro-coniques comme chez Cugnot. À partir de ces chaudières, l'augmentation de la surface de chauffe se fait par adjonction de bouilleurs extérieurs, avec des supports en brique obligeant les gaz chauds à circuler autour des bouilleurs, puis autour de la chaudière elle-même. La rupture de cette première lignée évolutive se fait avec Marc Seguin, qui supprime tout bouilleur, et fait circuler les gaz chauds à l'intérieur de tubes traversant une chaudière cylindrique, verticale ou horizontale; l'extérieur peut être calorifugé, car il ne reçoit plus la flamme: c'est la phase synthétique, où foyer et chaudière sont unis aussi étroitement que possible, ce qui diminue d'autant le volume d'eau et donc le poids de la chaudière. Les chaudières à bouilleurs représentaient la phase analytique de l'invention, avec un nombre indéterminé de bouilleurs; les chaudières simples, du type Papin ou Cugnot, étaient de type syncrétique (corps de la chaudière enserré par les gaz chauds et les flammes); elles pouvaient être mobiles (Cugnot) ou fixes. Les chaudières à bouilleurs sont de type fixe, en raison de la nécessité d'un bâti pour convoier les gaz chauds.

Plus récemment, on a constaté la résurgence de chaudières en contact avec la flamme par l'extérieur: chaudières à tubes pendants pour automobiles ou chaudières tournantes pour avions; ces chaudières sont à grande surface, soit par développement du corps de chauffe (chaudière Serpollet), soit par mouvement.

L'exemple de la créativité est fourni par celui des adaptations qui sont, sinon simultanées, tout au moins relativement complémentaires et synergiques. Héron d'Alexandrie avait inventé l'éolipyle, qui était une petite turbine à réaction, et qui

comme activité
e.
elle et verbale,
an de cas exem-

concernant les
le la surface de
oyer-chaudière,
re, permettant

d'abord l'emploi
driques comme
e chez Cugnot.
e la surface de
térieurs, avec
uds à circuler
ère elle-même.
e se fait avec
ait circuler les
une chaudière
eur peut être
la phase syn-
si étroitement
d'eau et donc
illeurs repré-
ec un nombre
ples, du type
(corps de la
mmes); elles
chaudières à
écessité d'un

e chaudières
ières à tubes
nantes pour
oit par déve-
let), soit par

des adapta-
relativement
ndrie avait
ction, et qui

est resté des siècles sans véritable utilité, jusqu'au XIX^e et au XX^e siècle où l'on a su réaliser l'adaptation entre la pression de la vapeur et sa vitesse, nécessaire pour produire un bon rendement. Actuellement, il existe une grande diversité de turbines à vapeur, qui utilisent toutes l'un ou l'autre des deux principes de base : l'action ou la réaction, et parfois les deux principes partiellement. La turbine est dite à action (Laval, Curtis, Rateau, Zoellé) quand la vapeur agit uniquement par sa force vive sur les aubes d'une roue mobile. La turbine est à réaction (Parsons, Brown-Boveri) quand la vapeur agit par sa pression dans les aubes de la roue et entraîne la partie mobile tant par sa force vive que par la puissance de son expansion. Si le chemin parcouru par la vapeur est parallèle à l'axe, la turbine est axiale; s'il lui est perpendiculaire, radiale.

Cette profusion de formes et d'adaptations de la turbine à vapeur fait que l'on se trouve devant l'équivalent d'un foisonnement pour ainsi dire sans limites, comme après une séance de brainstorming; c'est en fonction de critères internes (rendement) mais surtout, également, externes que l'utilisateur doit faire son choix; les critères de choix peuvent être le prix de la construction, la souplesse de marche, la puissance de pointe, la puissance à bas régime, le bruit émis, la taille. En matière de turbines à vapeur, il n'y a pas une unique invention qui serait la conclusion de toutes les autres (phase synthétique), mais une pluralité de systèmes tous viables, restant à adapter au cas précis de l'utilisation, par un travail relevant de la créativité.

Ce travail étudiera d'abord l'invention, ensuite la créativité.

L'invention elle-même sera envisagée d'abord dans les techniques, ensuite dans une autre matière, dont l'étude sera moins développée que celle des techniques.

PREMIÈRE PARTIE. L'INVENTION

Première section : l'invention dans les techniques

Nous emploierons la classification de Jacques Lafitte, qui répartit en trois groupes les produits de la technique :

1. Les machines passives, comme les constructions et monuments, qui posent des problèmes de composition des forces, de résistance des matériaux, de travail en extension et en compression.

2. Les machines actives ou moteurs, de toutes catégories.

3. Les machines réflexes, c'est-à-dire les machines à information, où la réalité importante n'est plus l'énergie, souvent très faible, mais ce que nous nommons aujourd'hui information, avec les qualités de fidélité et linéarité du fonctionnement.

[...]

[Note de l'éditeur. Les développements contenus dans cette première section (p. 1-25) correspondent d'assez près à ceux que l'on peut trouver en d'autres lieux, notamment dans le Cours de 1968-1969.]

Deuxième section : l'invention en matière non technique. Exemple de la philosophie

[...]

[Note de l'éditeur. Cette seconde section (p. 26-34), dont nous ne donnons ici que le titre, présente, dans la philosophie grecque, les physiologues ioniens (Thalès, Anaximandre, Anaximène) et l'école pythagoricienne, puis Socrate et Platon, et enfin Aristote et les stoïciens, comme des moments pouvant correspondre aux trois phases d'invention (synchrétique, analytique, synthétique) que l'on observe dans le développement des techniques.]

DEUXIÈME PARTIE : LA CRÉATIVITÉ

Première section : la créativité individuelle

1. Intelligence et créativité

L'invention, processus rare et souvent aléatoire, peut être étudiée par ses traces plus que par l'observation psychologique au sens habituel du terme. L'expérience, par contre, s'applique à la créativité dont le processus est plus régulier, plus continu, et peut être en relation avec les processus individuels ou collectifs, en particulier avec les processus individuels désignés sous le terme général d'intelligence ou de processus intellectuels.

L'intelligence instrumentale a fait l'objet de plusieurs études chez les animaux; la créativité serait la flexibilité de cette

catégories.
ines à infor-
gie, souvent
hui informa-
t fonctionne-

is dans cette
s près à ceux
nent dans le

28-34), dont
a philosophie
naximandre,
ate et Platon,
oments pou-
(synchrétique,
le développe-

re, peut être
on psycholo-
par contre,
tus régulier,
cessus indi-
essus indivi-
ence ou de

eurs études
ité de cette

intelligence, permettant de faire jouer un rôle instrumental à des objets ou matériaux inhabituels. Une Guêpe a été observée en train de pilonner et damer la fermeture de son terrier au moyen d'une petite pierre; si les pierres font défaut, une écaille de pin peut être employée; mais le mécanisme de l'action paraît bien être un schème héréditaire faisant partie du patrimoine spécifique: l'utilisation d'une pierre n'est pas davantage préformée que celle d'une écaille de pin, si bien qu'on ne peut pas affirmer que l'usage de l'écaille remplace celui de la pierre. La Guêpe choisit ce que le milieu met à sa disposition et qui correspond au schème héréditaire; toutes les Guêpes d'un même biotope agissent de manière semblable.

On a observé de même les procédés par lesquels des animaux, et particulièrement des Singes supérieurs, arrivent à atteindre un fruit hors de leur portée; ici, c'est généralement le bâton qui entre en jeu pour tirer à proximité de la cage l'objet hors de portée; si le bâton est donné tout fait et assez long, le problème de la médiation est résolu sans hésitation; si, par contre, des segments trop courts en eux-mêmes sont donnés, avec une douille creuse à l'un des bouts, le succès dépend beaucoup des aptitudes du sujet et surtout de ses manipulations antérieures à l'expérience. Particulièrement, si le sujet a déjà eu l'occasion, sans but, d'emmancher des bâtons comme les scions d'une canne à pêche les uns dans les autres, il cherche d'emblée, sous l'effet du besoin actuel, à faire tenir les uns au bout des autres les segments qu'on lui donne. Il est capable alors d'amincir en les rongant les extrémités non pourvues de douilles, pour qu'elles pénètrent à force dans les douilles et forment ainsi un bâton prolongé. Ce travail d'amincissement montre bien une certaine créativité, car le sujet peut n'avoir jamais eu l'occasion d'agir ainsi, et il faut qu'il ait compris que le segment peut être adapté à la nécessité d'être de dimension appropriée à l'introduction dans la douille qui sert de raccord rigide. Toute créativité n'est donc pas absente du comportement animal.

Un des problèmes les plus intéressants à ce sujet est celui du détour. Un grillage rectiligne de dimension finie suffit à empêcher longtemps une Poule d'atteindre un appât placé de l'autre côté. Elle effectue des va-et-vient sur peu d'étendue, comme si elle cherchait une issue dans le grillage, et tente d'introduire sa tête entre les mailles. Puis il arrive qu'elle accomplisse le détour après s'être désintéressée de l'appât qu'elle voyait et qu'elle tentait vainement d'atteindre par le plus court chemin. Un Chien fait d'emblée le détour. Un Chat, placé à l'entrée extérieure d'un labyrinthe transparent en spirale, où l'appât

est au centre, progresse régulièrement vers l'appât. Par contre, si, avec le même labyrinthe, l'animal part du centre pour aller vers un appât situé à l'extérieur, il est bloqué à chaque tour de spire, à l'endroit où il est le plus près de l'objet à atteindre, et ne peut continuer sa progression, parce qu'il s'éloignerait de l'objet, de plus en plus à chaque tour. Comme dans le cas de la Poule, le Chat est bloqué par la condition du plus court chemin, qui n'existe pas lorsque la spirale est parcourue de l'extérieur vers l'intérieur, l'animal se rapprochant alors progressivement du but. Dans le détour, la créativité de la conduite suppose une vue représentative de la situation au lieu d'une vue segmentaire à chacun des instants de l'exécution. Le détour est une conduite indirecte remplaçant la marche directe au but; cette conduite indirecte se rapproche de la médiation instrumentale.

Il est malaisé de comparer l'aptitude des différentes espèces à effectuer un détour. Un jaguar en captivité est fort peu doué pour cette conduite, alors que, dans son milieu naturel, il est capable d'effectuer de longs détours pour capturer sa proie sans se laisser éventer et l'inciter à fuir par une approche directe, sans précautions.

Un dispositif simple permettant de détecter le degré de créativité chez un animal ou un jeune enfant est celui de la ficelle comme intermédiaire; un objet intéressant est à une distance trop grande du sujet pour qu'il puisse le saisir, mais une ficelle attachée à l'objet passe à portée du sujet. Un Singe supérieur adulte est capable de résoudre immédiatement le problème en saisissant la ficelle et en la tirant; un jeune enfant, soumis à l'épreuve de Gesell, ne réussit pas, s'il est trop jeune ou retardé dans son développement. L'épreuve consiste en ce que l'enfant, placé dans une grande chaise qui lui laisse les bras libres mais l'empêche de se déplacer, a devant lui un anneau coloré suspendu à un fil passant près des mains de l'enfant; si l'enfant a un âge suffisant et est assez développé, il saisit le fil et le tire en ramenant l'anneau. Dans le cas contraire, il tend ses mains vers l'anneau pour essayer de le saisir vainement, car l'anneau est hors de sa portée. Ce test est employé parmi d'autres pour évaluer le degré de développement des jeunes enfants. Il est indépendant du degré de maîtrise de la locomotion; le fil peut être saisi efficacement même en préhension palmaire. C'est bien une épreuve d'intelligence ou de créativité, car il faut que le sujet saisisse la relation entre le fil et l'anneau.

Ainsi, il est possible d'apprécier à des degrés très élémentaires le niveau de créativité d'un sujet, si on accepte de ne

l'appât. Par
art du centre
est bloqué à
près de l'objet
n, parce qu'il
tour. Comme
à condition du
spirale est par-
e rapprochant
à créativité de
à situation au
ts de l'exécu-
remplaçant le
se rapproche

rentes espèces
fort peu doué
naturel, il est
turer sa proie
une approche

degré de créa-
lui de la ficelle
à une distance
mais une ficelle
ingé supérieur
le problème en
fant, soumis à
trop jeune ou
siste en ce que
laisse les bras
lui un anneau
s de l'enfant;
doppé, il saisit
s contraire, il
e saisir vaine-
st est employé
oppement des
maîtrise de la
même en pré-
elligence ou de
ation entre le

très élémén-
accepte de ne

pas opérer, aux niveaux les moins élevés, de distinction entre intelligence et créativité.

Chez l'adulte, la différence entre intelligence et créativité se manifeste de manière plus nette. L'intelligence peut être présentée comme une aptitude générale à résoudre les problèmes, tandis que l'intelligence créative se manifeste non pas en tous les problèmes, mais dans ceux où la solution est rendue possible par la sélection d'un cas particulier ou par celle d'une médiation unique particulièrement rapide et efficace, parmi plusieurs possibles.

Soit d'abord le problème suivant: tenir une corde, attachée à un mur mais courte, et en même temps un pendule suspendu au plafond de la salle, à une distance du mur portant la corde telle qu'il soit impossible de prendre la corde d'une main et le pendule de l'autre. La solution consiste, après un essai montrant l'impossibilité d'une solution statique, à lancer le pendule dans le plan passant par la corde et la verticale au point d'attache du pendule; dès lors, si l'oscillation a une amplitude suffisante, il est possible de prendre la corde d'une main et de saisir au vol le pendule par la main restée libre. Le problème a été résolu en faisant intervenir un terme médiateur, l'oscillation, contenue dans les propriétés du pendule, mais absente des données perceptives du matériel présenté. Il a donc fallu que le sujet fasse appel à un cas particulier de l'activité ou des propriétés non évidentes du matériel présenté. Cette adjonction manifeste une intelligence créative qui ne se borne pas à un constat de la situation avec les propriétés données, mais ajoute une médiation fournie par des propriétés latentes.

Lors de la dernière séance de cours, le professeur, voulant couper la ficelle liant un paquet de textes photocopiés, demanda un couteau aux étudiants proches de la chaire; personne n'en avait. Mais une étudiante proposa un briquet à gaz qui, au bout de quelques secondes de chauffage, eut raison de la ficelle. Cette étudiante a fait preuve de créativité, car elle n'a pas limité les propriétés du briquet à l'allumage d'une cigarette; elle a vu dans la flamme du briquet une propriété qui ne fait pas partie de l'usage général de cet instrument de fumeur, et a dégagé une propriété nouvelle jouant un rôle médiateur et instrumental dans la situation imprévue. Il ne s'agit pas, au sens rigoureux du terme, d'une invention nouvelle, car un tel emploi de la flamme a eu lieu au cours d'expériences de physique où il fallait libérer une masse sans lui communiquer la moindre impulsion, par exemple pour étudier la loi de la chute des corps. Mais il s'agit bien d'une conduite créative.

Un autre cas est fourni par une expérience où le sujet doit éteindre huit bougies allumées en soufflant seulement quatre fois, au moyen d'un tube. Le sujet peut arriver au résultat cherché en alignant l'axe du tube et deux des bougies; le souffle, dirigé par le tube, éteint les deux bougies d'un seul coup. L'idée d'alignement par deux des bougies n'est pas impliquée par la situation qui présente, sur une table, les bougies en désordre; il faut que le sujet crée sa stratégie et opère mentalement l'alignement sur lequel elle repose.

Un dernier cas un peu plus complexe est celui où l'on fournit au sujet une scie, des planches, des pointes, un marteau et une boîte d'allumettes. La consigne est de fixer au mur la bougie allumée. Il existe naturellement une solution directement induite par le matériel donné: construire un support fait de deux morceaux de planche assemblés perpendiculairement, enfoncer une pointe verticale à travers la tablette horizontale, fixer la bougie sur la pointe, après avoir cloué au mur la planche verticale, et allumer la bougie. Toutefois, cette solution logique n'est pas considérée comme bonne par l'expérimentateur; la solution créative consiste en ce cas à fixer au mur la boîte d'allumettes, puis à allumer la bougie et à la renverser pour faire couler sur la boîte quelques gouttes de bougie fondue, et à faire adhérer la bougie à ces gouttes en la maintenant jusqu'à solidification, conduite qui fait preuve de créativité parce qu'elle exige que le sujet saisisse dans la boîte d'allumettes un support possible, et dans la bougie une source possible de matière adhésive.

En fait, on peut n'être pas d'accord avec une telle interprétation. La construction d'un support en bois est à long terme une solution plus sérieuse que celle de l'usage de la boîte d'allumettes; quand la bougie sera usée, il y aura difficulté à la décoller sans endommager un support aussi fragile, ce qui n'est pas le cas du support en bois cloué. Par ailleurs, les possibilités de fixation sur la pointe du support en bois débordent le cas de la bougie européenne en acide stéarique; une chandelle en cire ne peut être collée, car les gouttes en fusion restent longtemps à l'état pâteux: le collage ne prend pas, alors que la pointe tient toute espèce de cierge ou de chandelle. Une telle expérience et l'attente de l'expérimentateur montrent assez bien la différence entre créativité et invention. La conduite créative se borne à extraire des objets donnés leurs propriétés non explicites; elle remplace des usages habituels par des fonctions virtuelles et inhabituelles. L'invention véritable demande la construction d'un objet nouveau qui fait défaut, et qui doit être imaginé avant d'exister de manière

où le sujet doit
lement quatre
er au résultat
es bougies; le
gies d'un seul
l'est pas impli-
le, les bougies
tégie et opère
e.

li où l'on four-
un marteau et
au mur la bou-
n directement
upport fait de
diculairement,
lette horizon-
loué au mur la
ols, cette solu-
e par l'expéri-
cas à fixer au
gle et à la ren-
gouttes de bou-
gouttes en la
fait preuve de
e dans la boîte
gie une source

telle interpré-
à long terme
ge de la boîte
ra difficulté à
fragile, ce qui
leurs, les pos-
ois débordent
e; une chan-
es en fusion
e prend pas,
de chandelle.
ntateur mon-
invention. La
donnés leurs
ges habituels
vention véri-
eau qui fait
de manière

fonctionnelle. Comme, dans le cas rapporté, la technique du collage par fusion est généralement connue d'avance, tandis que celle d'un support en bois ne l'est pas, et que les matériaux ou les outils la suggèrent sans la définir, il faut être prudent dans la conclusion relative aux aptitudes intellectuelles du sujet. En fait, il existe des cas où la solution adoptée est un simple artifice de bricoleur faisant preuve d'ingéniosité et de promptitude; il existe aussi des cas où le sujet accepte de faire le détour par la construction d'un objet nouveau demandant une activité d'invention. Si l'on veut véritablement rendre compte de la situation, il faut dire que le sujet créatif a été sensible au fait que l'étalage d'outils était un piège, et que l'expérimentateur devait probablement attendre une opération plus facile et plus rapide. Ce sujet débrouillard a saisi les nuances du « set »; ses aptitudes intellectuelles sont en partie faites de capacité de communication implicite; il est mieux socialisé que l'inventeur.

2. Caractères de la créativité individuelle

Nous venons de remarquer un des caractères de la créativité individuelle: la sensibilité aux normes de la situation et aux probabilités d'attente des personnages représentatifs. Le vecteur collectif de la créativité existe en effet, et fournit à l'individu créatif des normes, une direction, des thèmes. La pensée créative reflète la culture; ainsi, dans la littérature des États-Unis d'Amérique, on trouve l'exemple de nombreux systèmes, fruits de la créativité, qui portent l'empreinte culturelle du souci d'économie.

Osborn cite avec admiration le cas d'un ingénieur convié à participer à l'établissement d'une machine à emballer les pneumatiques. Plusieurs ingénieurs avaient déjà exposé leurs principes lorsque ce personnage créatif prit la parole pour dire: « Est-il vraiment nécessaire d'emballer les pneumatiques? » Cette intervention fut jugée hautement créative; elle délaissait les normes du petit groupe d'ingénieurs, orientés vers le perfectionnement des machines à emballer, et suivait les normes de la nouvelle culture américaine, éprise de simplification et d'économie. [...]

[Note de l'éditeur. Nous ne donnons pas davantage des longues analyses concernant la créativité, qui contiennent de nombreuses anecdotes très drôles, que G. Simondon rapporte souvent avec humour, mais qui semblent à ses yeux avoir une valeur surtout illustrative et assez peu théorique.]

CONCLUSION

Le postulat de ce cours est qu'il existe une distinction de base entre l'invention et la créativité. L'invention repose sur un processus intellectuel qui se déploie par étapes distinctes, la première étant syncrétique, la seconde analytique, la troisième synthétique. La créativité donne au contraire en masse cinquante ou cent idées qu'il faut ensuite sélectionner pour extraire celles qui sont pertinentes.

Y aurait-il à chercher un critère quantitatif dans le nombre de sujets ayant participé à une invention ou à une « création » ? Non, à notre avis, car certaines inventions complètes, comme par exemple une locomotive à vapeur, totalisent dans leur organisation achevée les inventions successives d'un nombre de chercheurs au moins égal à celui des personnes qui participent à un groupe de pensée créative. Pour la locomotive, il faudrait citer Seguin, Cugnot, Stephenson, Watt, Giffard, Papin, et bien d'autres qui, tel Westinghouse pour les freins, n'ont pas seulement trouvé un principe, mais ont découvert des perfectionnements majeurs faisant de la locomotive un engin à fiabilité élevée, lui ont conféré son pouvoir d'expansion et ont assuré une universalité d'emploi. Ce qui est essentiel à l'invention, c'est l'étalement dans le temps des phases de l'invention, avec des périodes d'essai matériel ou de progrès dans les sciences, qui autorisent une nouvelle phase de l'invention. L'invention est donc discontinue et successive; elle s'inscrit dans l'histoire, même quand il s'agit de l'invention non technique. Ainsi, les étapes fondamentales de la philosophie ancienne ne sont guère dissociables des modes successifs de gouvernement des cités. C'est pourquoi il a paru délicat d'introduire dans une lignée unique et dialectique les Écoles de Démocrite et de Pyrrhon.

Il serait intéressant de se demander s'il existe des domaines plus particulièrement destinés à l'invention, et d'autres à la créativité. Aucun critère intrinsèque ne permet de l'affirmer. Mais il existe un important critère extrinsèque: celui de l'urgence de la solution, qui n'est pas suffisant, mais nécessaire pour qu'une question fasse l'objet d'une réunion créative. Il ne semble pas, jusqu'à ce jour, que la philosophie ait fait l'objet de réunions créatives; les conférences suivies de discussion ont une tournure qui ne permet pas de les confondre avec une réunion créative. En philosophie comme dans les techniques, ce qui se rapproche le plus de séances de créativité, ce sont les

séminaires ou les discussions entre élèves, particulièrement dans les Grandes Écoles. Mais elles sont plus proprement un exercice pédagogique, où chaque individu se sent le devoir de tenir un rôle, qu'un exercice proprement dit de pensée créative; on peut dire que la créativité sert d'exercice à la tendance à l'invention, mais qu'elle ne remplace pas l'invention proprement dite. En domaine philosophique, même aux époques où la pensée est peu inventive, aucune structure n'en peut juger et ne possède de moyens pour stimuler cette pensée inventive, sauf peut-être dans l'Université ou dans différentes Académies. Dans les techniques, le besoin d'invention peut être décelé; ainsi, nous savons depuis des décennies qu'il faudrait un accumulateur électrique plus léger et plus petit que les accumulateurs actuels, acides ou alcalins. Mais le problème de l'accumulation d'énergie n'est pas résolu. Serait-il utile d'organiser un brainstorming sur les accumulateurs? En fait, le type d'urgence des techniques n'est pas le même que celui des affaires; il n'est pas une question de vie ou de mort d'une institution. S'il faut une source d'énergie électrique pour un vaisseau spatial, on installe des piles, aussi légères que possible, et un accumulateur qu'une pile solaire recharge. On arrive ainsi à remplacer par d'autres moyens un accumulateur léger à grande capacité, qui n'existe pas. L'urgence en matière de ventes et de relations avec le public est au contraire dépourvue de remplacement possible sans faire oeuvre d'imagination créatrice: si l'on ne peut plus faire vivre une firme en fabriquant tel produit, il faut en fabriquer un autre; l'imagination créatrice est au premier plan parce que c'est le produit vendable qui est l'inconnue, ou bien la manière de le présenter, plutôt que la façon de le fabriquer. La capacité de fabriquer existe; c'est à elle qu'il faut fournir des objets à produire; ainsi, quand l'industrie automobile s'est mise à remplacer la dynamo par l'alternateur, il a fallu remplacer la gamme de fabrication de Ducellier par une gamme comportant les alternateurs de divers types et de diverses puissances dont les constructeurs ont besoin pour équiper leurs installations; le problème à résoudre n'était pas celui du schème technique de l'alternateur, existant depuis longtemps, mais celui de sa forme et de ses dimensions, compatibles avec l'existence proche d'un moteur à combustion interne dont le régime varie et qui émet de l'air chaud, alors que l'alternateur ne doit pas s'échauffer au-delà d'une température définie; la régulation de l'alternateur demande en outre des diodes à effet Zener et des diodes de redressement dont un montage à dynamo est exempt. C'est presque tout l'équipement générateur d'électri-

_____ cité à bord du véhicule qui doit être repensé; ce travail peut
_____ être fait par un bureau d'études employant éventuellement le
_____ brainstorming, parce que les données (inventions de base)
_____ sont déjà fournies par l'état des techniques, mais demandent
_____ une adaptation aux conditions particulières de l'automobile,
_____ impliquant un nouveau « cahier des charges » de chacun des
_____ constructeurs-clients. Un tel travail d'adaptation se décompose
_____ en plusieurs sous-problèmes, dont certains peuvent bénéficier
_____ d'inventions (encastrement des diodes dans le bâti de l'alter-
_____ nateur servant de refroidisseur) et d'autres peuvent être
_____ résolus par la pensée créative, surtout lorsqu'il s'agit d'adap-
_____ tations en formes et dimensions.

_____ Ce dernier genre de problèmes peut faire appel à l'invention,
_____ mais cette dernière est généralement trop lente et ne peut faire
_____ face à la rapide reconversion d'une industrie devant faire face
_____ à l'accroissement d'une nouvelle demande; le problème posé
_____ est souvent pratique ou pragmatique; il revient à rendre
_____ l'entreprise capable de fabriquer, d'éprouver et de rendre
_____ commercialisable en quelques mois un produit qui est nouveau,
_____ non dans son principe, mais par son adoption brusque dans un
_____ domaine où il ne jouait jusqu'à ce jour à peu près aucun rôle.
_____ À côté de celui de l'alternateur, on pourrait prendre pour
_____ exemple, toujours dans la branche de l'automobile, celui de
_____ l'allumage électronique, qui est prêt en tant qu'invention,
_____ mais nécessitera des adaptations si certains constructeurs
_____ veulent l'employer en grande série.

_____ Les conditions de l'invention et celles de la créativité ne sont
_____ donc pas les mêmes, sinon par leur fondement psychologique,
_____ tout au moins par les conditions temporelles de leur exercice.
_____ Les conditions les meilleures sont réalisées quand la créativité
_____ vient avant l'invention, comme exercice de formation, ou
_____ après, comme travail d'adaptation et de passage à la réalité
_____ pratique strictement actuelle. L'invention demande des condi-
_____ tions de loisir plus larges que la créativité, méthode rapide qui
_____ ne produit pas toujours du nouveau au sens strict du terme,
_____ mais facilite des choix entre plusieurs solutions possibles.
_____ Corrélativement, la créativité ne demande pas uniquement des
_____ spécialistes, alors que l'invention se produit en général parmi
_____ les membres de spécialités assez définies. On a insisté sur le
_____ fait que Zénobe Gramme était ouvrier; mais, ce qui importe,
_____ c'est qu'il était électricien et a inventé une machine élec-
_____ trique: il faisait partie du groupe d'initiés.

_____ Enfin, la méthode de ce cours peut être discutable: nous
_____ nous sommes adressés aux traces laissées par l'invention et

travail peut
tellement le
as de base)
demandent
automobile,
chacun des
décompose
t bénéficier
i de l'alter-
uvent être
agit d'adap-

l'invention,
e peut faire
t faire face
blème posé
; à rendre
de rendre
st nouveau,
ue dans un
tucun rôle.
ndre pour
e, celui de
invention,
structeurs

ité ne sont
hologique,
exercice.
créativité
ation, ou
la réalité
les condi-
apide qui
tu terme,
possibles.
ment des
al parmi
té sur le
importe,
ne élec-

e : nous
ntion et

à la méthodologie de la créativité plutôt qu'à un essai de définition psychologique de l'invention et de la création. Ainsi, nous analysons le processus d'invention d'après les principales étapes du développement des doctrines philosophiques dans l'Antiquité ou d'après les étapes les plus nettes de la locomotion à vapeur. C'est que le second postulat de ce cours est l'affirmation qu'il peut y avoir des processus psychiques transindividuels, passant d'un sujet à un autre de génération en génération, transmis par des documents écrits, des graphiques, ou par les objets eux-mêmes, sous forme de monuments, de moteurs, de machines à information. La transmission peut se faire aussi par les exemples vivants (de maître à disciple). Ce que l'invention réalise par étapes dans le temps, la créativité peut le réaliser par échanges dans l'instant. Rien, dans les méthodes actuelles, ne peut permettre de mettre au jour en détail les processus psychiques impliqués, car il existe une psychologie sociale et une psychologie de l'individu, mais les processus de la pensée transductive, qui passe de l'un à l'autre tout en laissant à chacun sa nature individuelle propre, restent à constituer. On ne peut définir l'invention par la simple fonction de l'individu, ni la créativité comme un simple effet de groupe, car l'invention et la créativité demandent généralement une succession reconnaissable de phases et un ensemble énumérable de conduites des membres d'un groupe en relation effective d'interaction.

C'est pourquoi nous avons voulu nous tenir avant tout au plan de la description des phases, pour l'invention, et à celui de la conduite des groupes, pour la créativité. Le travail reste ainsi incomplet, principalement en ce qui concerne l'analyse psychologique de la communication.

Mais mieux vaut peut-être laisser subsister une lacune, en la désignant, que de la combler par une hypothèse à fondement incertain. C'est sans doute là qu'il faut chercher la raison principale qui a incité l'Université à être prudente envers un mode de pensée qui ne se laisse directement appréhender par aucune méthode connue.

Pour être complète, cette étude ne doit pas seulement, pour des raisons de commodité, envisager le rapport entre l'invention et la créativité; si nous avons bénéficié d'un cours complet d'une année, nous aurions fait figurer de manière directe la découverte parmi les fonctions du nouveau. La découverte serait la fonction du nouveau dans les sciences. Souvent proche de l'invention, comme ce fut le cas pour les relations entre les inventions de la machine à vapeur et les découvertes de la thermodynamique, elle peut en être très éloignée, comme

ce fut le cas pour les premières découvertes des mathématiques et les premiers pas de l'architecture : les architectes avaient leur monde particulier de rapports et de correspondances, ignorant pendant des siècles la seule courbe parfaite pour construire une voûte, jusqu'à ce qu'un mathématicien, Jacques Bernoulli, redécouvre sa véritable forme et ses propriétés. Les découvertes sont encore plus éloignées de la créativité, car elles ont entre elles un enchaînement dans le temps qui les rapproche du progrès des techniques, et qui suppose un acquis préalable, alors que la créativité suppose des esprits neufs par rapport au thème d'idéation qui leur est proposé.

Ce qui rapproche les découvertes contemporaines de la créativité, c'est qu'elles se produisent de plus en plus souvent au sein d'équipes, qui peuvent se réunir de temps à autre pour des séances de brainstorming, mais qui sont continues dans le temps et dont les membres se connaissent les uns les autres. Cette communauté va si loin que plusieurs découvertes peuvent être faites en même temps par des équipes différentes. Avant même qu'il se forme de véritables équipes scientifiques, comme le « groupe Bourbaki » en mathématiques, il a existé des échanges d'idées entre les savants d'une même époque, comme le permet l'abondante correspondance du père Mersenne avec toute l'Europe scientifique au XVII^e siècle. Ce qui est nouveau dans la découverte, c'est qu'elle est faite véritablement en commun, par une équipe qui porte un nom, un signe parfois, pour conserver l'anonymat des individus.

Qu'est la découverte en elle-même ? Si nous prenons le cas de celle qu'on nomme la théorie électromagnétique de la lumière, qui est l'œuvre de Maxwell, on trouve que Maxwell a essayé d'écrire un système groupant les équations connues sur la lumière et les autres formes d'action à distance en électrostatique et électrodynamique ; or, il fallait ajouter un terme pour que le système soit complet ; ce terme, provisoirement appelé « courant de déplacement », correspondait aux ondes électromagnétiques plus tard effectivement produites par Hertz. Dans le cas de Maxwell, la découverte amène à un degré supérieur d'unité trois équations, la loi de l'induction de Faraday, la formule de l'inexistence des pôles magnétiques isolés, la loi des actions électrostatiques exprimée par le théorème de Gauss, inchangées, en ajoutant le théorème d'Ampère sur les relations entre les champs magnétiques et les courants, complété d'une façon essentielle par l'addition au courant de conduction du « courant de déplacement ». Cette découverte se situe dans le cadre de la science théorique, où certaines réalités sont connues avant d'être produites. Il

NOTICE BIOGRAPHIQUE

Gilbert Simondon est né le 2 octobre 1924 à Saint-Étienne et décédé à Palaiseau le 7 février 1989. Il fit ses études secondaires au lycée de Saint-Étienne. Il prépara ensuite, dans la khâgne du lycée du Parc de Lyon, où il fut élève, en philosophie, de Jean Lacroix, le concours d'entrée à l'École normale supérieure de la rue d'Ulm. Admis en 1944, il suivit à Paris l'enseignement de Martial Guérault, Maurice Merleau-Ponty, Jean Hyppolite, Georges Canguilhem, Jean-Toussaint Desanti. Reçu à l'agrégation de philosophie en 1948, il fut nommé au lycée Descartes de Tours, où il enseigna de 1948 à 1955. En plus de l'enseignement de sa discipline, il assurait celui de la physique dans la classe de philosophie, et créa un cours et un atelier de technologie (où fut construit entre autres un récepteur de télévision).

Après ces sept années d'enseignement au lycée de Tours, Gilbert Simondon devint enseignant à la faculté des lettres et des sciences humaines de Poitiers (1955-1963), assistant d'abord, puis, ayant soutenu sa thèse en 1958, professeur, tout en assurant également un enseignement à l'université de Lyon. En 1963, il fut nommé professeur à la Sorbonne puis à l'université Paris-V, où il dirigea l'enseignement de psychologie générale et fonda le laboratoire de psychologie générale et technologie (1963-1983). Durant cette période, il fut invité plusieurs fois à donner un enseignement dans les ENS de la rue d'Ulm, de Saint-Cloud et de Fontenay.

Gilbert Simondon a été sensible très tôt aux problèmes techniques aussi bien qu'humains posés par le développement du machinisme dans le monde industriel et dans le monde agricole, au contact desquels il a grandi, mais aussi aux conflits entre les représentations et les valeurs de la culture et des

humanités classiques et celles qui sont liées aux sciences et aux techniques. En porte la marque son premier ouvrage publié, *Du mode d'existence des objets techniques* (1958), qui fut sa thèse complémentaire de doctorat, soutenue la même année. « 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 » (p. 9). La publication de cet ouvrage intervient à une époque où les problèmes du développement de la technique font, depuis vingt à trente ans déjà, l'objet de recherches, de réflexions, de polémiques, intenses (pour ne parler que de quelques-unes des publications françaises: J. Lafitte, L. Febvre, G. Lombroso, A. Siegfried, P.M. Schuhl, A. Koyré, S. Weil, G. Bernanos, G. Marcel, A. Leroi-Gourhan, G. Friedmann, J. Fourastié, J. Ellul, etc.). Le livre suscita naturellement quelques réactions d'incompréhension ou d'hostilité, mais il fut aussi salué comme ouvrant une voie nouvelle à la philosophie par sa proposition de rééquilibrage de la culture générale au moyen de la reconnaissance de la place et de la dignité de l'objet technique en son sein (voir, par exemple, l'article de Jean Lacroix dans *Le Monde* du 26 février 1959). Il fut accueilli avec grand intérêt également dans les milieux de l'enseignement technique: en 1966, Yves Deforge l'interroge sur le sujet au nom de l'Institut pédagogique national (*Dix Entretiens sur la technologie*) et rédige une thèse de troisième cycle selon ses perspectives (*Genèse des produits techniques*). En 1968, c'est Jean Le Moyne qui enregistre pour la télévision canadienne un long *Entretien sur la mécanique*. La même année, Jean-Louis Maunoury, dans un livre d'économie politique, dont l'influence fut elle-même grande sur la compréhension de l'innovation industrielle (*La Genèse des innovations*, PUF, préfacé par Raymond Barre, professeur à l'Institut des sciences politiques), se réfère à ses analyses comme incontournables. La même année encore, Jean Baudrillard, brillant essayiste, dont la perspective est pourtant notablement différente, dans *Le Système des objets*, cite *Du mode d'existence des objets techniques* de façon révérencieuse et, reproduisant pas moins de deux pages entières de l'analyse du moteur à essence, juge à la fin: « Cette analyse est

x sciences et
nier ouvrage
s (1958), qui
nue la même
susciter une
s. La culture
s techniques;
de l'homme,
nt pas de réa-
culture ignore
et que, pour
rer les êtres
des valeurs »
à une époque
nique font,
cherches, de
e parler que
: J. Lafitte,
hl, A. Koyré,
an, G. Fried-
ita naturelle-
u d'hostilité,
nouvelle à la
de la culture
place et de la
par exemple,
évrier 1959).
ns les milieux
eforge l'inter-
ique national
thèse de troi-
roduits tech-
giste pour la
écanologie. La
e d'économie
e sur la com-
èse des inno-
professeur à
ses analyses
ncore, Jean
ive est pour-
es objets, cite
on révéren-
s entières de
e analyse est

essentielle » (p. 12). Toujours en cette année 1968, Georges Canguilhem demande à Gilbert Simondon de faire, dans le cadre de la préparation à l'agrégation de philosophie, le célèbre cours sur *L'Invention et le Développement des techniques* (qui sera donné à la Sorbonne et dans les ENS de la rue d'Ulm et de Saint-Cloud). Depuis la publication de son ouvrage de 1958, au moins autant chez les spécialistes de technologie que chez les philosophes généralistes, et même chez ceux qui ne partagent pas la totalité de ses positions théoriques, Simondon est devenu incontournable.

Sa thèse principale de doctorat, *L'Individuation à la lumière des notions de forme et d'information*, fut publiée en 1964, en partie seulement (*L'Individu et sa genèse physico-biologique*) aux PUF, dans la collection « Épiméthée ». La troisième partie, *L'Individuation psychique et collective*, ne fut publiée que beaucoup plus tard, en 1989, chez Aubier. *Du mode d'existence des objets techniques* présentait dans sa troisième partie une fresque large, montrant la genèse des grandes formes du rapport de l'homme au monde et de la culture (que sont la magie, la religion, la technique, l'art, la science, la morale et la philosophie); la thèse principale se présente comme une investigation, dont l'ampleur ontologique autant qu'épistémologique correspond à celle des grands systèmes et des « sommes » de la tradition, à travers tous les niveaux de réalité et notamment les grands ordres ordinairement distingués, faisant apparaître entre eux constamment, à partir des notions d'individuation et d'individu, continuité et différence: « L'intention de cette étude est donc d'étudier les formes, modes et degrés de l'individuation pour replacer l'individu dans l'être selon les trois niveaux physique, vital, psychique et psycho-social » (p. 22). Ses travaux doctoraux valurent à leur auteur la médaille de bronze du CNRS. Pourtant, les délais et les détours qui furent imposés pour la publication de la deuxième partie de la thèse témoignent sans doute d'un étonnement et d'une certaine incompréhension devant l'ampleur, la puissance et l'originalité de la pensée qui s'y trouve. Cependant, dès la publication de la première partie (en 1964), tous ne s'y trompèrent pas, tel Gilles Deleuze, qui, avant de s'y référer lui-même dans sa propre thèse, *Différence et Répétition*, parue en 1968, écrivit en 1966, dans la *Revue philosophique de la France et de l'étranger*, un article élogieux pour signaler l'importance et l'intérêt de l'ouvrage: « Peu de livres font autant sentir à quel point un philosophe peut à la fois prendre son inspiration dans l'actualité de la science, et

_____ pourtant rejoindre les grands problèmes classiques en les
_____ transformant, en les renouvelant. Les nouveaux concepts éta-
_____ blis par Gilbert Simondon nous semblent d'une extrême impor-
_____ tance ; leur richesse et leur originalité frappent ou influencent
_____ le lecteur. Et ce que Gilbert Simondon élabore, c'est toute une
_____ ontologie [...] ».

_____ Il est tout à fait frappant de noter que depuis une date cor-
_____ respondant à la réédition de sa petite thèse et à l'édition de la
_____ seconde partie de sa grande thèse, mais aussi malheureusement
_____ à sa propre disparition, l'intérêt très vif pour sa pensée
_____ a commencé de se manifester de la part de lecteurs et de cher-
_____ cheurs de plus en plus nombreux, souvent relativement
_____ jeunes, aux orientations très différentes, se manifestant dans
_____ des colloques, des articles, des ouvrages collectifs ou indivi-
_____ duels, des travaux doctoraux.

ssiques en les
r concepts éta-
xtrême impor-
ou influencent
est toute une

une date cor-
l'édition de la
malheureuse-
our sa pensée
rs et de cher-
relativement
ifestant dans
tifs ou indivi-

TABLE

| | |
|-----|---|
| 11 | PRÉSENTATION PAR JEAN-YVES CHATEAU L'INVENTION DANS LES TECHNIQUES SELON GILBERT SIMONDON |
| 75 | COURS ET CONFÉRENCES DE GILBERT SIMONDON L'INVENTION ET LE DÉVELOPPEMENT DES TECHNIQUES (1968) |
| 227 | L'INVENTION DANS LES TECHNIQUES (1971) |
| 273 | IMAGINATION ET INVENTION (1965-1966) - EXTRAITS |
| 305 | LA RÉOLUTION DES PROBLÈMES (1974) - EXTRAITS |
| 327 | INVENTION ET CRÉATIVITÉ (1976) - EXTRAITS |
| 345 | NOTICE BIOGRAPHIQUE |

RÉALISATION : CURSIVES À PARIS
IMPRESSION : NORMANDIE ROTO IMPRESSION S.A.S. À LONRAI
DÉPÔT LÉGAL : SEPTEMBRE 2005. N° 86337 (05-1938)

La pensée de Simondon, dont Canguilhem ou Deleuze reconnurent l'importance voire l'influence, suscite depuis quelques années un regain d'intérêt. Le célèbre Cours de 1968, *L'Invention et le Développement des techniques*, que nous publions ici, ainsi que d'autres qui le complètent, enrichit considérablement par des illustrations et des perspectives historiques larges les analyses de l'ouvrage de 1958, *Du mode d'existence des objets techniques*. Il étudie l'objet technique à la fois du point de vue de sa structure et de sa fonction et du point de vue de sa genèse et de son invention.

Il est possible ainsi de situer la technique par rapport au développement et à l'histoire de l'humanité et, en même temps, de faire apparaître son autonomie de principe par rapport à ses causes socio-économiques « extrinsèques », voire son indépendance, à certaines époques, à l'égard de la science : ce n'est pas une simple application de la science. C'est l'invention qui assure l'autonomie de l'objet technique : « Les réalisations techniques apparaissent par invention » (1971). Cet énoncé est à prendre comme une thèse forte, qui exige notamment que l'on ne confonde pas l'invention avec la créativité ni la découverte, et qu'on l'étudie comme une *résolution de problème*. L'étude de cette « fonction du nouveau » est décisive pour comprendre le développement et l'histoire des techniques.

Gilbert Simondon (1924-1989) est surtout connu pour ses deux thèses soutenues en 1958. Sa thèse complémentaire : *Du mode d'existence des objets techniques* (Aubier, 1958). Sa thèse principale est parue en deux fois : *L'Individu et sa genèse physico-biologique* (PUF, 1964) ; *L'Individuation psychique et collective* (Aubier, 1989).

SLUB DRESDEN



3 2129555