

## **Intégration, Incorporation, Interface : L'évolution des systèmes techniques**

Frederic Kaplan

La technique est-elle inhumaine ? Les objets techniques semblent évoluer de manière autonome, suivant des dynamiques de recombinaison et d'intégration propres. Mais la technique, en tant que savoir-faire culturellement transmis, est constitutive de ce que nous sommes. Nous incorporons les objets techniques comme des extensions de notre propre corps. Notre mémoire est en grande partie sculptée par eux. Comment concilier ces deux points de vue ? Comment les processus d'incorporation influencent-ils l'évolution technique ? L'étude historique de l'évolution des interfaces nous apportera peut-être quelques éléments de réponses.

### **1. L'évolution propre des objets techniques**

#### **Processus de juxtaposition et d'intégration**

Comme les organismes vivants, les objets techniques sont organisés en étages emboîtés. Un objet technique est souvent constitué d'éléments techniques élémentaires : ressorts et engrenages d'une montre, composants d'un circuit électronique, modules d'un programme informatique, eux-mêmes décomposables en éléments plus primordiaux. Il est également pertinent de considérer que les objets techniques s'organisent sous la forme d'un système au sein duquel ils établissent de multiples relations d'interdépendance, incluant des échanges d'énergie (appareils branchés sur le réseau électrique ou alimentés par des batteries) et d'information (réseaux d'appareils connectés, appareils lecteurs de médias). De l'agencement souple dans un écosystème à l'inclusion fine au sein d'un même dispositif, les objets techniques peuvent donc être plus ou moins intégrés au sein d'un même système.

L'évolution technique procède, comme l'évolution des organismes, par deux processus complémentaires de *juxtaposition* et d'*intégration*<sup>1</sup>. Un nouvel ensemble est d'abord créé en combinant des objets techniques élémentaires. Dans cet agencement, chaque élément technique a des fonctions complémentaires des autres, mais le système complet reste peu intégré. Les éléments techniques regroupés, issus de processus d'évolution indépendants, sont, dans un premier temps, juste *juxtaposés*. Le nouvel objet technique ainsi constitué subit ensuite sa propre trajectoire évolutive en gagnant progressivement en intégration. Chacun des éléments de l'objet multiplie les échanges avec les autres pour former un tout cohérent et unifié. Pour décrire ce processus, Gilbert Simondon utilise le terme de « concrétisation », dans son sens étymologique (i.e. *qui croît ensemble*)<sup>2</sup>.

L'évolution des carrosseries des automobiles constitue un bon exemple de ces processus de juxtaposition et d'intégration. Au fil des générations de voitures, la carrosserie a en effet successivement « intégré » les ailes, les phares, les rétroviseurs et même récemment les pare-chocs pour converger vers les formes « ovoïdes » des voitures récentes<sup>3</sup>.

Plus que deux phases distinctes, juxtaposition et intégration sont des tendances qui sont toujours à l'œuvre dans le processus évolutif des objets. On pourrait considérer que ces deux

<sup>1</sup> Les termes juxtaposition et intégration sont utilisés par Georges Chapouthier pour rendre compte de l'évolution du vivant dans son livre *L'homme, ce singe en mosaïque*, (Odile Jacob., 2001).

<sup>2</sup> Simondon, G (1958). *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier

<sup>3</sup> Jacomy, B. (2002), *L'âge du plip : Chroniques de l'innovation technique*, Seuil, p.157.

forces s'appliquent en parallèle à l'échelle des composants techniques élémentaires (diode d'un circuit électronique, moteur d'un véhicule, etc.) mais aussi au niveau de ces mega-objets que sont les systèmes technologiques. Il n'est pas absurde de considérer que l'écosystème global des technologies de l'information a aujourd'hui une tendance à l'intégration, qui amène chaque objet technologique qui y participe (ordinateur, lecteur de musique, infrastructure de réseau) à multiplier les échanges les uns avec les autres et donc à s'autodéterminer.

Même s'il tend vers l'intégration, l'objet technique n'est jamais totalement intégré comme le montre la persistance d'organes différenciés encore identifiables, présentant encore un certain degré d'autonomie. Ceci peut s'expliquer simplement par le fait que le phénomène d'intégration a lieu à de multiples échelles concurrentes. Dans certain cas, comme par exemple dans l'informatique, l'intégration des composants (microprocesseur, mémoire) a pris le pas sur l'intégration de l'ordinateur lui-même qui reste essentiellement une juxtaposition de composants.

Frederic Kaplan 10/28/08 8:15 AM

Supprimé :

### Evolution et sélection des lignées technologiques.

Les objets techniques évoluent sous forme de lignées et sont soumis à des processus de sélection et à des régimes de reproduction différenciés. Ces processus de sélection s'appliquent en parallèle à différentes échelles depuis les composants élémentaires jusqu'aux écosystèmes eux-mêmes. Les critères qui régissent la sélection et la diffusion des techniques sont complexes et encore peu connus. La plupart des innovations techniques semblent se diffuser selon une courbe en « S » schématiquement composées de trois régions.

Dans une première période de gestation, un nouvel ensemble technique est constitué par juxtaposition d'éléments techniques existants ou en cours de développement, encore caractérisés par un faible degré d'intégration. Les éléments techniques utilisés sont eux-mêmes issus de lignées technologiques indépendantes les unes des autres et potentiellement très anciennes. C'est en général à cette période qu'un « inventeur » est historiquement identifié, mais il n'est lui-même que le maillon d'une longue chaîne d'innovations. Par exemple, en 1930, Vannevar Bush construit le premier ordinateur sous la forme d'une immense machine combinant différents composants électriques et mécaniques. Dans la période précédant la seconde guerre mondiale, ce type d'ordinateur n'a cessé de croître par juxtaposition jusqu'à compter 2000 tubes cathodiques et 150 moteurs électriques. Un processus d'intégration se développe en parallèle conduisant au remplacement des éléments électromécaniques par des transistors et des circuits intégrés. A partir de 1958, l'ordinateur est prêt à se diffuser dans des écosystèmes plus ouverts que celui du laboratoire de recherche.

Dans une deuxième période de maturation, l'objet technique peut donc se diffuser tout en continuant à se transformer par juxtaposition et intégration. À partir d'un certain degré de diffusion, la technique atteint un *point de rupture* à partir duquel elle commence à être adoptée massivement grâce à une dynamique d'auto-renforcement. Cette accélération dans la diffusion conduit d'une part à une intégration plus forte de l'objet technique et d'autre part à l'émergence de nouveaux systèmes centrés sur l'objet technique diffusé ou sur une de ses parties. Dès le début des années 60, les ordinateurs commencent à équiper un nombre croissant de bureaux. En 1971, la compagnie Intel réussit pour la première fois à placer tous les transistors d'un processeur sur un seul circuit intégré, donnant ainsi naissance au microprocesseur. Cette miniaturisation permet d'augmenter les fréquences de fonctionnement (les distances entre les composants sont réduites), de réduire les coûts et de construire des

ordinateurs bien plus petits : les micro-ordinateurs. C'est la naissance de l'ordinateur personnel qui quitte l'écosystème de l'entreprise pour pénétrer dans l'univers domestique. Connectés entre eux d'abord localement, puis sous formes de réseaux mondialisés, les ordinateurs donnent naissance à un nouvel écosystème comprenant des infrastructures de communication et des logiciels qui à leur tour peuvent constituer de nouvelles lignées techniques.

Dans une dernière phase de saturation, certaines lignées techniques se stabilisent ou régressent. Deux raisons peuvent conduire à cette saturation. L'objet technique intégré peut s'approcher de limites physiques indépensables (par exemple la loi de la thermodynamique pour les moteurs). Cependant, le plus souvent, il est remplacé par une autre lignée technique plus adaptée à un écosystème donné. La précision des horloges mécaniques n'a cessé de croître pendant six siècles, pourtant dans les années 1920, l'apparition des montres à quartz a rendu obsolète cette lignée technologique, au moins en ce qui concerne les mesures de précision.

L'histoire de l'imprimerie, de l'aviation ou de la machine à vapeur peut aussi être décrite à partir de processus de juxtaposition et d'intégration et selon ces phases de gestation, maturation et saturation. Le rôle des hommes dans ces évolutions est à la fois primordial et indirect. Pendant certaines périodes, certaines qualités technologiques jugées désirables progressent de manière exponentielle. Par exemple entre 1400 et 1920, la précision des horloges mécaniques a doublé en moyenne tous les 45 ans. Entre 1884 et 1965, le record de vitesse dans les airs a été multiplié par deux tous les 17 ans. Plus proche de nous, la loi de Moore prédit que le nombre maximal de transistors sur un microprocesseur double en moyenne en un peu moins que deux ans. Même s'il faut les considérer au sein d'un contexte socioculturel global qui fixe ce qui est désirable et ce qui ne l'est pas, ces progrès résultent essentiellement des dynamiques intrinsèques de l'évolution et de la diffusion des techniques. Aussi paradoxal que cela puisse paraître, l'adaptation à l'homme semble souvent secondaire dans ces processus. Le clavier Dvorak inventé en 1932, dont l'organisation est optimisée pour la vitesse d'écriture n'a jamais réussi à détrôner le clavier QWERTY, créé en 1873, qui lui est pourtant bien inférieur.

### **Comparaison entre les objets techniques et les organismes vivants**

Ainsi, l'évolution des objets techniques présente de nombreuses similarités avec l'évolution des organismes vivants : organisation en lignée évolutive et écosystèmes emboîtés, degré variable d'intégration, sélection multi-échelle, processus d'intégration et de juxtaposition, diffusion exponentielle, courbe en « S » ... Néanmoins, il semble évident que l'objet technique, précisément parce qu'il est fabriqué par l'homme et non pas engendré par des dynamiques aveugles, peut bénéficier d'un mécanisme d'accroissement de complexité sans commune mesure avec l'évolution biologique. A partir des lignées techniques de son époque, l'homme combine des agencements nouveaux dans la mesure où les composants techniques en mosaïque, partiellement intégrés au sein d'un même dispositif, sont autant d'« organes » réutilisables dans des contextes inédits.

L'étendue de cette combinatoire est dépendante de la diffusion des objets et savoir techniques caractéristiques d'un milieu et d'une époque donnée. L'encyclopédisme du XVIIIe siècle a conduit à transformer les techniques artisanales caractérisées par des savoir-faire secrets et une diffusion limitée géographiquement en un savoir public, utilisable par tous. Au XIXe et XXe siècle, la transformation de la technique en technologie, l'industrialisation, la

standardisation et la mondialisation des échanges, n'ont cessé d'étendre le champ du jeu des possibles techniques. Aujourd'hui, l'ère numérique, qui assure la description, la reproduction et le partage globalisé, donne à la technique dans son ensemble un potentiel évolutif sans précédent. Alors que l'évolution biologique reste cantonnée dans des temporalités lentes, les objets techniques sont aujourd'hui au cœur de dynamiques intenses de recombinaison, de diffusion et de sélection donnant naissance chaque jour à des nouveaux agencements, susceptibles de bouleverser profondément la structure des milieux que nous habitons.

## 2. Les processus d'incorporation

### Notre peau n'est pas la limite de notre corps.

Lorsque nous interagissons avec des dispositifs techniques, notre corps s'étend, se déforme. Le bâton, le marteau, le stylo, la fourchette, l'éplucheur, la raquette, l'épée prolongent notre main pour se trouver, après un peu d'habitude, intégralement intégrés à notre enveloppe corporelle. Sans y penser, nous nous baissions un peu plus lorsque nous portons un chapeau, changeons notre démarche lorsque nous portons des pantoufles ou des talons aiguilles.

Nous sommes la voiture que nous sommes en train de conduire. Il nous aura fallu de longues heures de corps à corps avec cette machine pour nous habituer à son maniement. Au début c'était un corps étranger, hostile et résistant. Mais une fois cet apprentissage réussi, la voiture est comme une seconde peau. Nous avons intégré le volume de sa carrosserie, sa vitesse de freinage et d'accélération. A partir d'un certain point, conduire devient aussi naturel que marcher, une activité inconsciente<sup>4</sup>.

Notre enveloppe corporelle est donc extensible, étirable, changeante. Nous l'étendons au marteau que nous saisissons le temps de planter un clou, puis une fois l'opération terminée l'outil redevient un objet extérieur, à portée de main, mais séparé. Notre schéma corporel n'est pas un modèle de notre corps, c'est un espace à géométrie variable. A chaque instant, nous sommes *le point de vitesse maximale*, l'extrémité du bâton, la pointe de l'épée, l'icône de la souris. Cette avec cette extrémité active que nous agissons, mais aussi que nous sentons, mesurons, éprouvons.

Ce processus d'*incorporation*, encore mal compris et relativement peu étudié, est fondamental. Vivre c'est se métamorphoser en permanence.

### Notre mémoire n'est pas dans notre tête.

Notre mémoire est dehors, distribuée dans l'environnement qui nous entoure, protégée sur la paroi des grottes, consignée sur des tablettes, des peaux d'animaux, des livres imprimés ou aujourd'hui des supports numériques : une mémoire jamais directe mais toujours structurée et accessible par l'intermédiaire de dispositifs techniques. Nos souvenirs, ce que nous pensons nous rappeler, n'est que l'internalisation de ces représentations extérieures. Nous nous souvenons d'un poème, d'un numéro, d'une liste, d'un plan. Parfois nous mettons longtemps à retrouver l'information, et restons démunis avec le nom d'une ville juste « sur le bout de la langue ». Nous devons pianoter le mouvement des doigts pour nous rappeler le code d'entrée

<sup>4</sup> Warnier, J-P. (1999) *Construire la culture matérielle : l'homme qui pensait avec ses doigts*, Puf.

d'une porte. Parfois, souvent même, il est plus rapide et efficace de retrouver l'information, grâce à un agenda numérique ou un moteur de recherche capable en quelques secondes de parcourir des bases de données immenses.

Les personnes qui souffrent de la maladie d'Alzheimer tentent de compenser leurs pertes de mémoire par des environnements extrêmement structurés au sein desquels chaque objet fait office de dispositif mnémotechnique. Détruire ou transformer cet environnement qu'ils ont construit, c'est littéralement les amputer d'une partie d'eux mêmes. Dans une certaine mesure, nous sommes tous des malades d'Alzheimer : une grande partie de nous-même est là, dehors, dans les objets qui nous entourent. C'est pour cela que les déménagements peuvent parfois être si perturbants. Il faut nous défaire des gestes routiniers, des postures habituelles, des chemins que nous pouvons parcourir les yeux fermés et tout reconstruire ailleurs. Changer notre environnement, c'est nous changer.

Nous avons toujours été, nous sommes donc, des « cyborgs » faisant toujours appel à des prothèses extérieures pour agir, penser, créer et nous définir. Dans l'instant, « notre corps est où l'action a lieu » pour reprendre l'expression de Merleau-Ponty. Il change, s'étend et se réduit, se métamorphose en permanence. Dans la durée, l'histoire de nos interactions augmentées par nos prothèses définit ce que nous sommes, une narration qui elle-même est une construction technique. Rien ne laisse à penser que ce processus pourrait se ralentir.

### 3. L'évolution des interfaces

Allons-nous vers un monde de machines où l'homme n'aurait plus sa place ? Cette question n'est peut-être pas absurde lorsque l'on constate l'accélération exponentielle de la complexité de notre environnement technique (sans commune mesure avec l'évolution biologique), la multiplication des échanges entre machines et les progrès récents vers des machines de plus en plus autonomes. Il ne fait pas de doute que nous sommes aujourd'hui intégrés dans un système technique globalisé. Certes ce système est construit, entretenu et modifié par des hommes mais une grande partie de son fonctionnement est déjà aujourd'hui automatique. Pour comprendre ce processus évolutif, il peut être utile de se tourner vers des exemples qui malgré leur ancienneté illustrent les mêmes tendances techniques.

Vers 1750, Jacques de Vaucanson crée une machine, un métier à tisser entièrement automatique. La machine combine plusieurs technologies clés de son époque, un savant ensemble de cames, de cliquets, de bielles et d'engrenages et plusieurs innovations majeures comme un carton perforé amovible pour charger des « programmes » de dessin. Pour fonctionner, elle n'a besoin que d'une simple manivelle, ne laissant au tisserand que le soin de produire l'énergie mécanique. Selon ses propres commentaires : « C'est une machine avec laquelle un cheval, un bœuf ou un âne font des étoffes plus belles et plus parfaite que les plus habiles ouvriers en soye »<sup>5</sup>.

Par bien des aspects, le métier à tisser de Vaucanson est une innovation majeure ; pourtant il ne connaîtra pas le succès industriel. Son trop grand automatisme n'est pas accepté socialement. Il y aura de nombreuses manifestations au cours desquelles des ouvriers du textile en colère vont jusqu'à jeter des pierres sur l'ingénieur grenoblois. L'invention implique en effet des changements majeurs dans l'organisation du métier de tisserand. Ce nouveau dispositif doit se substituer intégralement aux machines existantes et il bouleverse les

<sup>5</sup> Jacomy, B. (2002), L'age de plip : Chroniques de l'innovation technologique, Seuil

compétences nécessaires pour exécuter le travail. En poussant très loin l'automatisme, Vaucanson réduit le tisserand à une simple source d'énergie.

Cinquante ans plus tard, Jacquard connaîtra, lui, un grand succès commercial avec une machine plus souple d'utilisation et surtout plus facilement « greffable » sur les métiers existants. Comparée à la solution intégrée de Vaucanson, la mécanique de Jacquard est complexe et coûteuse, mais elle donne plus de place à l'homme dans le contrôle du processus de tissage. C'est lui qui reste aux commandes.

Cet exemple illustre les forces complémentaires qui régissent l'évolution technique. Il existe d'abord une tendance vers l'intégration que nous pouvons appeler processus d'autonomisation. Dans l'exemple du métier à tisser de Vaucanson, le geste du tisserand est mécanisé sous la forme d'une machine presque entièrement autonome, si ce n'est pour la partie énergétique. Les progrès récents vers des machines capables d'apprendre, puis capables de choisir ce qu'elles apprennent, sont des illustrations récentes de cette même dynamique.

*Tendance vers l'autonomie : Toute lignée technique tend vers l'intégration et l'autonomie sous la forme d'un système fermé, qui n'a plus besoin de l'homme pour fonctionner.*

Alors que les systèmes techniques tendent vers l'autonomie et l'intégration, leur acceptation sociale et leur diffusion dépendent fortement du type d'interface de contrôle qu'ils offrent à l'humain et de leur relation d'interdépendance avec les dispositifs techniques déjà présents.

*Tendance vers la symbiose: Toute lignée technique doit pour se diffuser multiplier les interfaces avec le milieu technique et humain au sein duquel elle se développe.*

Ainsi, l'existence de lignées techniques anciennes auxquelles il faut s'adapter ralentit l'émergence de lignées techniques innovantes et les facteurs d'acceptation humains, généralement conservateurs et caractérisés par une évolution lente, contrarient et réorientent aussi la dynamique technique exponentielle. D'une certaine manière, le processus de symbiose n'est qu'un processus d'intégration à une échelle supérieure, celle de l'écosystème technique et humain dans lequel la lignée va prendre place.

Alors que les milieux techniques évoluent en permanence, l'humain lui ne change (presque) pas. La tendance vers la symbiose conduit donc à des machines de plus en plus proches de l'homme, un processus qui vient directement compenser la tendance vers l'autonomie. L'évolution des interfaces de l'ordinateur personnel est révélatrice de ce point. L'ordinateur tel qu'il apparaît au milieu du XXe siècle peut être considéré comme l'aboutissement d'une longue lignée technique incorporant la calculatrice de Pascal, les métiers à tisser des automaticiens, la machine de Babbage, chaque étape établissant un pas supplémentaire vers une machine toujours plus autonome. Alors que les progrès vers l'autonomie continuent d'avancer dans la seconde moitié du XXe siècle, les progrès des interfaces vont transformer le contrôle de cette machine d'un genre nouveau, la rendant plus proche de l'homme.

Pour interagir avec les premiers ordinateurs, il fallait connaître beaucoup d'électronique. L'apparition des premiers langages de programmation (langage machine, FORTRAN, Algol, Cobol, Simula, etc.) permet dès les années 1950 d'utiliser son savoir-faire syntaxique et symbolique pour interagir avec la machine. Dans les années 80, l'association de l'interface graphique, de nouveaux outils d'interaction comme la souris et des nouvelles métaphores comme le bureau permet de progresser vers une interaction qui quitte le domaine symbolique

pour faire appel à un savoir faire relevant de la manipulation, de la mémoire visuelle et du geste. Depuis une dizaine d'année, de nouvelles interfaces gestuelles, en réalité virtuelles ou augmentées, encore plus proches du corps et de savoir-faire sensori-moteurs primordiaux, font leur apparition.

Dans les technologies les plus récentes, autonomie et symbiose tentent de trouver un juste équilibre. Les avions de ligne les plus récents sont des systèmes essentiellement autonomes, mais dont le pilote garde un contrôle efficace. Les limites de l'autonomie et du contrôle varient selon les cas. Dans un Boeing 747-400, le pilote peut outrepasser les limites imposées par la machine, pas dans un airbus. Dans les deux cas, le pilote ne fait que tenir les rênes d'un système en grande partie autonome.

L'évolution des techniques nous montre ainsi comment dans l'histoire la tendance des machines vers l'autonomie est compensée par la tendance vers la symbiose. Les machines ne sont donc pas prêtes à remplacer les hommes, mais plutôt à développer avec eux des interfaces toujours plus intimes. La technique est à fois profondément inhumaine et facteur principal d'humanisation. Elle évolue selon ses propres lois, mais si les interfaces ne suivent pas, son évolution s'arrête. A l'échelle supérieure de l'écosystème technique, cette symbiose avec l'homme n'est sans doute que l'illustration des processus de juxtaposition et d'intégration. Toute lignée technique doit pour se diffuser multiplier les interfaces avec son milieu et dans de nombreux cas, l'homme fait effectivement partie de ce « milieu ».