

## TABLE DES MATIERES

Introduction .....	3
1. LA PRÉHISTOIRE. ....	6
Âge éolithique (pierre éclatée) .....	7
Les techniques paléolithiques.....	8
La main, le cerveau ; et l’outil au milieu.....	10
2. LA RÉVOLUTION NÉOLITHIQUE. ....	11
3. LES TECHNIQUES ANTIQUES .....	14
Âge de pierre, âge de bronze, âge de fer. ....	15
La haute antiquité (Mésopotamie, Égypte).....	17
Les mécaniciens grecs. ....	18
Les ingénieurs romains.....	21
Ex. La roue. ....	22
Ex. L’écriture.....	24
4. LES TECHNIQUES MÉDIÉVALES. ....	27
La mutation médiévale (X <sup>e</sup> siècle-XIV <sup>e</sup> siècle). ....	27
La technologie chinoise et la question des « systèmes bloqués ». ....	29
Ex. Les cathédrales.....	32
Ex. Le moulin et le haut-fourneau. ....	32
Ex. Le système bielle-manivelle.....	33
Ex. La poudre noire. ....	34
Ex. L’imprimerie. ....	35
5. LES TECHNIQUES CLASSIQUES (XVI <sup>e</sup> –XVIII <sup>e</sup> ).....	37
Des Ingénieurs de la Renaissance à la révolution scientifique.....	37
Les manufactures (XVII <sup>e</sup> siècle) et Grandes Ecoles (XVIII <sup>e</sup> siècle).....	39
Bilan des techniques en 1700. ....	40
Ex. L’ <i>Encyclopédie</i> , ou <i>Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers</i> . 41	
6. L’INDUSTRIALISATION (XVIII <sup>e</sup> –XX <sup>e</sup> ) .....	43
La révolution industrielle anglaise. ....	45
Ex. Les machines à vapeur. ....	46
Ex. La machinerie textile.....	50

« Industrialisation » plutôt que « révolution industrielle ».....	52
Ex. La lente promotion de l'électricité (XIX <sup>e</sup> -XX <sup>e</sup> siècle).....	53
7. TECHNOSCIENCE (XX <sup>e</sup> -XXI <sup>e</sup> ) .....	56
Puissance technique et crise écologique.....	58
Ex. L'ordinateur.....	59

## **INTRODUCTION**

Commençons donc par un aperçu sur *l'histoire de l'histoire des techniques*. L'histoire s'est écrite dans l'oubli des techniques. Faire l'histoire des techniques est une idée tardive, qui commence au mieux à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle avec **Johann Beckmann**, le père de la « technologie »<sup>1</sup>. Il faut attendre le XIX<sup>e</sup> siècle pour que la technique s'impose à l'attention de tous ; on trouvera dans la seconde moitié du siècle quelques historiens et philosophes des techniques. Mais l'histoire des techniques n'a pas tout de suite eu l'importance qu'elle méritait : les uns parlaient des techniques mais par pour elles-mêmes, ils en parlaient presque malgré eux, les autres parlaient des techniques pour en louer les merveilles, mais ils ne les comprenaient pas, les autres encore s'intéressaient bien à une technique particulière, mais ils faisaient de son histoire une simple succession d'inventions particulières. **Karl Marx**, au XIX<sup>e</sup> siècle, avait déjà compris qu'il était devenu impossible de traiter d'histoire sans faire intervenir les techniques, mais il n'a pas pour autant fait une histoire des techniques. C'est seulement au XX<sup>e</sup> siècle qu'on commence à travailler à une première forme d'intégration de l'histoire des techniques dans une explication historique globale<sup>2</sup>. Dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle, l'histoire des techniques se constitue en discipline, mais la discipline reste encore le fait de « scientifiques » isolés.

Du côté de la France, en 1935, les *Annales* de **Marc Bloch** et de **Lucien Febvre**, en consacrant tout un numéro à l'histoire des techniques, montraient tout l'intérêt qu'on devait y attacher. Marc Bloch, mieux encore que Marx, a montré comment il est possible de *penser une société humaine en partant de l'analyse d'un moulin*. On cite habituellement Lucien Febvre qui, en 1935 donc, écrivait : « L'Histoire des techniques, une de ces nombreuses disciplines qui sont tout entières à créer, ou presque » ; « l'activité technique ne saurait s'isoler des autres activités humaines ». En creux, on lit le débat qui suivra dans la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, entre *l'histoire humaine des techniques* et *l'histoire technique des techniques* : la première insiste sur l'idée d'une technologie comme science *humaine* ; la seconde insiste sur l'idée d'une technologie comme une logique *technique* des techniques. Nous sommes d'accord avec les deux ! Nous sommes d'accord avec **Bertrand Gille** pour affirmer qu'il ne faut pas morceler l'histoire des techniques en histoires de techniques

---

<sup>1</sup> Guide de technologie, 1777.

<sup>2</sup> Exemple : la publication de la thèse de Mantoux sur la révolution industrielle anglaise du XVIII<sup>e</sup> siècle, en 1906 ; puis celle du commandant Lefebvre des Noëttes sur l'attelage et sur le cheval de selle en le mettant en rapport avec l'un des grands tournants de l'histoire, la disparition de l'esclavage.

particulières qui se ferment sur elles-mêmes, et réintégrer cette histoire des techniques dans un ensemble historique plus vaste ; mais nous sommes aussi d'accord avec **Maurice Daumas** pour affirmer que l'intelligence des techniques est à rechercher dans les techniques. Nous disons, avec **André Leroi-Gourhan**, que la technologie est une *science du geste humain* au moyen de ses outils (organes techniques), ou du geste humain extériorisé et reproduit par une technique, avec **André-Georges Haudricourt**, que la technologie est une *science humaine*, ethnologique aussi bien qu'historique, nous disons aussi, avec **Gilbert Simondon**, que pour donner à la technique son histoire, il faut comprendre la *genèse technique d'une technique*, le problème technique dont elle est la résolution concrète<sup>3</sup>.

*Si la technologie est la science de l'activité technique, alors c'est une science humaine.* Est-ce si simple ? Comment, par exemple, comprendre le moteur diesel dans la perspective d'une science humaine ? La seule chose qui nous semble certaine est que si quelque chose comme la « technologie » existe, alors elle doit nécessairement partir de l'histoire des techniques, ou plutôt de la technique comme histoire. D'une manière générale, on conviendra que « dans une métaphysique où l'homme savant se conçoit lui-même comme radicalement extérieur aux objets qu'il observe (y compris l'homme non savant), il n'y a pas de place pour les techniques considérés comme objets de connaissance, il n'y a pas de *technologie* possible »<sup>4</sup>. Bref, **il est tout autant insensé de parler des hommes sans parler des techniques, qu'il est impossible de parler des techniques sans parler des hommes.**

Aujourd'hui, il existe, un peu partout, de très nombreuses histoires des techniques. Nous nous appuyons ici sur certaines d'entre elles, francophones<sup>5</sup>. Ce qui suit est un exposé *partiel* et *partial*, mais qui tente de résumer l'histoire des techniques telle qu'elle est *généralement* racontée. Il s'agit de marquer les *étapes du progrès technique* ; il y en aura sept, mais ce chiffre reste *arbitraire*. Le terme de « progrès » ne désigne pas ici une *valeur*, mais un *processus* de complexification et d'accélération que personne ne peut nier.

---

<sup>3</sup> **N.B.** Il est inutile de retenir tous ces noms propres, il est par contre utile de les lire... et nous conseillons la lecture des auteurs cités, mais ce sont des livres plus sérieux et plus difficiles que ce qui suit...

<sup>4</sup> François SIGAUT, « Préface » dans Haudricourt, *La technologie, science humaine*, p. 16

<sup>5</sup> Cf. Jean BAUDET, *De l'outil à la machine. Histoire des techniques jusqu'en 1800* (t.1) ; *De la machine au système. Histoire des techniques depuis 1800* (t.2) ; Maurice DAUMAS, *Les Grandes étapes du Progrès Technique* ; Pierre DUCASSE, *Histoire des techniques* ; Bertrand GILLE (dir.), *Histoire des techniques* ; Bruno JACOMY, *Une histoire des techniques*.

**Ce qui suit est, en bien des endroits, un « copier-collé » de ces ouvrages.** Il provient aussi d'autres sources, sur papier et sur le web. Il contient aussi, on s'en doute, quelques apports personnels, mais le but était avant tout de proposer une histoire des technique telle qu'on la raconte.



## 1. LA PRÉHISTOIRE.

Pour commencer l'histoire des techniques, soit l'histoire de la relation de l'homme à ses outils, il faut partir de la « préhistoire ». *L'homme se mesure en million d'années, l'histoire en milliers*. La préhistoire est donc plus longue que l'histoire. En outre, l'idée même de préhistoire est bien plus tardive que celle d'histoire<sup>6</sup>.

Autant l'histoire des techniques fut tardive dans l'histoire, autant, dans l'histoire de la préhistoire, la place des techniques fut centrale dès ses débuts, et cela car « *le seul critère d'humanité biologiquement irréfutable est la présence d'outil* »<sup>7</sup>.

Pour comprendre l'origine de la technique et donc de l'homme, nous disposons de trois sources : la paléanthropologie, l'ethnographie et l'éthologie des grands mammifères. Mais il y a aussi une quatrième voie, l'expérimentation technomorphologique<sup>8</sup>. André Leroi-Gourhan est le premier préhistorien à réunir tous ces aspects.

La sortie de l'animalité ou l'invention de l'outil a duré plusieurs millions d'années. C'est il y a dix ou peut-être vingt millions d'années que les Primates (cathariniens<sup>9</sup>) s'engagèrent sur la voie de l'hominisation avec l'utilisation de **proto-outils**<sup>10</sup>. Parler ainsi suppose deux choses : l'héritage de la systématique ou de la classification des espèces (l'homme étant une

---

<sup>6</sup> Pour admettre la préhistoire, il fallait admettre l'idée, propre au XIX<sup>e</sup> siècle, que l'homme n'est pas né comme tel à la Création ; il faudra aussi admettre que ce qu'on appelait l'« homme sauvage » est un homme à part entière.

En 1846, le monde ne contenait qu'un seul paléanthropologue (Boucher de Perthes), cent ans plus tard, les universités du monde entier enseignent la préhistoire.

En 1856, les os de l'homme de Neandertal sont découverts dans une grotte en Allemagne, un représentant du genre Homo, un témoin de la préhistoire. En 1868, à Cro-Magnon, en France, est découvert cinq squelettes préhistoriques de l'espèce homo sapiens. On cherche alors le chaînon manquant entre l'homme et le singe, et ces squelettes sont trop proches de l'homme pour faire office de moyen terme. En 1891, E. Dubois découvre des restes d'hominien sur l'île de Java, qu'il nomme *Pithecantropus* (mi singe mi homme) *erectus*. En 1924, R. Dart découvre un crâne d'hominien, qui semble beaucoup plus ancien que tous les hommes préhistoriques ou antédiluviens découverts jusque là, qu'il baptisera *Australopithecus africanus*. En 1974, on découvre un hominien bien conservé, un *Australopithecus afarensis*, Lucy.

<sup>7</sup> Leroi-Gourhan, *Le Fil du temps, ethnologie et histoire*, 1983, p. 69

<sup>8</sup> Pour reproduire une forme technique, pour reproduire l'outillage humain de nos ancêtres, cela demande toute l'intelligence du technicien qui sait quels sont les gestes à faire.

<sup>9</sup> Nous « venons » des Catarhiniens, c'est-à-dire des singes (marcheurs, comme le chimpanzé et le gorille, et non arboricoles, comme l'orang-outang ou le gibbon) vivant dans la forêt tropicales de l'Ancien Monde (Afrique et Asie) caractérisé par une dentition à 32 dents, et par l'absence de queue préhensile.

<sup>10</sup> Il y a dix ou vingt millions d'années, en Afrique, un catarhinien prend une branche et fait tomber un fruit, ou prend un caillou et écrase un fruit, il jette cette branche et ce caillou, et mange son fruit. D'autres singes l'imiteront, et pendant des millions d'années ils referont le même geste. Le proto-outil, qui se prolonge aujourd'hui chez les grands singes, est un outil immédiatement utilisé et non conservé, un outil sans aménagement, ni intention. Cependant, dès cette prototechnique, la technique prélève et rejette dans l'environnement un élément qui facilite la satisfaction de ses besoins, elle est un effort pour éliminer l'effort.

espèce parmi d'autres) qui commence au XVIII<sup>e</sup> siècle<sup>11</sup>, et l'héritage de la théorie de l'évolution (l'homme, comme toutes les autres espèces, étant le fruit de l'évolution) qui commence au XIX<sup>e</sup> siècle<sup>12</sup>. L'homme actuel (quelle que soit sa race) appartient à **l'espèce sapiens du genre Homo**. Le genre *Homo* appartient à la famille des Hominidés, qui appartient à l'ordre des Primates, classe des Mammifères.

On peut faire commencer l'histoire de la préhistoire en 1836 quand, dans un catalogue de musée danois, Thomsen expose son principe de classification des objets archéologiques : il y a les objets en **fer**, ceux en **bronze**, ceux en **pierre**. Gabriel de Mortillet dans les années 1860, divise **l'âge de pierre** en trois grandes périodes : **l'éolithique** (période de la pierre éclatée), **paléolithique** (époque de la pierre taillée) et le **néolithique** (pierre polie). De la société préhistorique, nous ne savons que ce que les *traces techniques* nous disent. Ces traces sont rares, et elles ne parlent pas d'elles mêmes, pour pouvoir être interprétées comme traces, elles demandent une théorie.

### **Âge éolithique (pierre éclatée)**

Les premiers hommes qui utilisent des outils et les façonnent (et qu'on nomme *Homo habilis*) sont encore dotés d'une intelligence sommaire mais la lignée dont nous sommes issus est déjà bien délimitée. C'est environ il y a **2 500 000** ans. C'est **l'âge éolithique** ou la civilisation du caillou ; c'est l'âge où les Anthropiens développent l'art de la percussion de pierre afin d'obtenir des *chopper* (hachoir) ; le *chopper* est un bloc de pierre (un *nucleus*) que l'enlèvement d'un éclat a transformé en outil. On sélectionne les meilleures pierres et on les utilise à différentes tâches (couper, frapper, percer, etc.). Le système technique basé sur le bois et la pierre simplement éclatée se poursuit pendant quelques millions d'années jusqu'à l'apparition du genre *Homo*, il y a plus de deux millions d'années, qui vivra longtemps au même niveau technique.

Il est certes bien difficile de distinguer une pierre éclatée par le hasard des intempéries d'une pierre éclatée par l'homme ; mais ce qui permet de savoir que nous avons affaire au second cas, ce n'est pas seulement la présence d'os humain à côté, c'est la reconnaissance de

---

<sup>11</sup> C'est **Linné** qui propose une classification hiérarchique de l'espèce / genre / tribus / famille / ordre / classe / embranchements / règnes (végétal/animal). Il classe l'*homo sapiens* dans le règne animal, dans l'embranchement des vertébrés, dans la classe des mammifères, dans l'ordre des primates.

<sup>12</sup> Grosso modo, approximativement, les premières mammifères apparaissent sur Terre il y a 200 millions d'années, et les primates il y a 70 millions d'années. Il y a 5 millions d'années, en Afrique se forme, le genre *Ardipithecus*, puis le genre *Australopithecus* un millions d'années plus tard. Il y a 2,5 millions d'années se forme le genre *Homo* avec *H.habilis* et *H.rudolfensis*... Il y a quelque 100 000 ans, l'évolution du genre *Homo* donne successivement deux espèces : *H.neanderthalensis* et *H.sapiens*. Ce dernier, l'homme de Cro-Magnon devenu l'homme moderne, est vieux de quelque 40 000 ans.

**stéréotypes.** L'outil est d'emblée stéréotypé (sans cela, il n'y aurait d'ailleurs pas de périodisation possible).

**Il faudra près d'un million d'années** pour passer de la pratique fruste de l'Australanthrope, qui ne réalise qu'un seul geste pour transformer le galet en outil élémentaire, à celle de l'Archanthrope qui coordonne de multiples gestes pour aboutir à un outil beaucoup plus complexe. Au-delà d'une évolution de la pratique même, il faut pour le mettre en œuvre, que la forme de l'outil final ait été pensée avant d'être réalisée<sup>13</sup>.

### **Les techniques paléolithiques.**

Du fait sans doute d'une nouvelle espèce, *Homo erectus*, voici une nouvelle innovation technique : la production de **bifaces**<sup>14</sup>. L'humanité passe de l'éolithique au **paléolithique**, de la pierre éclatée à la **Pierre taillée**. Muni de son biface, *Homo erectus* le pithécanthrope, va prospérer. Il devient un chasseur redoutable, et l'aire d'extension des *Homo* atteint l'Afrique du Nord.

Il y a **400 000 ans**, les *Homo* inventent le **feu**. On peut bien parler de l'invention du feu, même si le feu existait avant son invention. L'invention du feu est l'invention de sa capture, de son entretien, de son utilisation, et ultimement et plus difficilement de sa production (frottement du bois). Jusqu'à présent la maîtrise de la nature était « mécanique », l'homme agissait sur son environnement par poussée, percussion, arrachement, découpage, perçage, grattage, écrasement, etc. c'est-à-dire exclusivement par la force musculaire animant ses pieds, ses mains et ses outils. L'invention du feu lui apporte une nouvelle source d'énergie : la chaleur. Le feu lui sert à détruire, mais aussi à chauffer, à éclairer, à cuire, à déformer. L'invention du feu entraîne *ipso facto* l'invention de trois nouvelles techniques : le chauffage, l'éclairage, la cuisine. Le feu ou la fumée déloge peut-être les animaux de leurs abris, il est sûr qu'il loge l'humanité dans son foyer.

Il y a **350 000 ans**. Après l'invention du feu, vint celle de la **technique des lames ou technique levalloisienne**<sup>15</sup>. Elle correspond à un renversement du point de vue du tailleur de pierre, puisque les éclats ne sont plus considérés comme des déchets (pour ne conserver que le nucléus), mais comme des lames potentielles. Les Levalloisiens utilisent comme percuteur un

---

<sup>13</sup> On pensera à cette citation de Marx : « L'abeille surpasse, par la structure de ses cellules de cire, l'habileté de plus d'un architecte. Mais ce qui distingue dès l'abord le plus mauvais architecte de l'abeille la plus experte, c'est qu'il a construit la cellule dans sa tête avant de la construire dans la ruche » (*Le Capital*, Livre I, 3<sup>ème</sup> section, ch. VII, §1)

<sup>14</sup> Ce qui distingue le biface du chopper ce n'est pas seulement que le premier est travaillé de part et d'autre de l'arrête, c'est le geste technique : la percussion n'est alors plus perpendiculaire, mais tangentielle.

<sup>15</sup> On parle de l'innovation technique levalloisienne en référence à la ville (Levallois) où ce type de d'industrie a été découvert en premier lieu.



os, voir un morceau de bois. Véritable menuiserie. Le genre *Homo* a donc finalement construit tout un système technique avant même l'apparition des espèces les plus évoluées (Neanderthal et sapiens). Entre **100 000 et 40 000 ans** avant notre ère, **l'homme de Néanderthal**<sup>16</sup> invente l'industrie moustérienne, c'est-à-dire la technique de Levallois poussé à un haut niveau de qualité, ultime perfectionnement de l'outillage de pierre qui représente un haut degré de technicité. À présent, une technique mûre de débitage des silex autorise la réalisation d'outils très diversifiés (racloirs, pointes, couteaux), issus d'éclats larges et minces et pas seulement du *nucleus* initial. Il ne faut pas moins six groupes d'opérations différentes et des cailloux soigneusement sélectionnés en fonction de leur forme et de leur poids pour fabriquer (en série qui plus est) ces produits complexes. Leroi-Gourhan a particulièrement insisté sur l'importance décisive de cette étape dans l'histoire de l'humanité. On distingue alors trois armes blanches : les armes de poing, les armes d'hast (lance), et les armes de jet. Chaque outil est la *mémoire d'un geste*, de construction et d'utilisation.

Quand la technique a atteint un certain niveau, les préoccupations non strictement biologiques sont apparues. La grande nouveauté est celle de **l'inhumation des morts**, l'invention des morts suppose la conscience de la mort. Il n'y avait certainement pas la technique d'un côté, la mystique de l'autre, mais toute activité importante (cueillette, chasse, allumage du feu, peut-être aussi certaines fabrications) nécessitait probablement des gestes relevant de ce qu'aujourd'hui nous appellerions *magie* incantatoire.

Au stade suivant, **les hommes de Cro-Magnon**, ces Néanthropiens vivant entre – **30 000 et – 10 000**, hériteront d'outils et de techniques déjà très perfectionnés, qu'ils affineront à leur tour pour fabriquer des herminettes, des haches, des couteaux, des perçoirs, toute une panoplie d'outils variés avec lesquels ils travailleront les peaux pour se faire des vêtements, se bâtiront des huttes et des tentes, feront de la vannerie, etc.

Il y a 35 000 ans, en Europe, s'est développé lentement une nouvelle industrie, dite périgordienne, où apparaît quelque chose comme le souci *esthétique*, les fameuses peintures rupestres. Aujourd'hui, où nous faisons la distinction, on peut dire qu'une technique sans art est possible, mais qu'un art sans technique est inconcevable.

---

<sup>16</sup> L'**homme de Neandertal** ou **Néandertalien** est un représentant fossile du genre *Homo* qui a vécu en Europe et en Asie occidentale au Paléolithique moyen, entre environ - 250 000 et - 28 000 ans. Autrefois considéré comme une sous-espèce au sein de l'espèce *Homo sapiens*. Il est à l'origine d'une riche culture matérielle appelée Moustérien, ainsi que des premières préoccupations esthétiques et spirituelles (sépultures).

Vers, **21 000** ans apparaît une nouvelle culture à industrie solutréenne. Les Solutréens inventent le propulseur<sup>17</sup>, c'est-à-dire la première arme de jet composée, et quelque chose comme le premier mécanisme, soit un *système* formé de plusieurs éléments distincts qui coopèrent. Les Solutréens inventent aussi l'aiguille à chas, et donc la couture. Il y a **19 000** ans la culture magdalénienne succède à la culture solutréenne. On arrive au sommet de l'habileté dans la production d'outils en pierre taillée (harpons par exemple).

### **La main, le cerveau ; et l'outil au milieu.**

« La supériorité technique de l'homme réside dans la coordination du cerveau et de la main : d'un cerveau plus apte à permettre des combinaisons multiples, d'une main plus apte à les réaliser, parce qu'elle n'est pas servilement *adaptée* à une seule fonction »<sup>18</sup>.

Le cerveau est tout autant l'instrument de la main que l'inverse. André Leroi-Gourhan a montré que le développement du cerveau est corrélé au développement de la main outillée. C'est « la main qui libère la parole », ce pourquoi le développement de l'homme ne résulte pas directement de celui de son cerveau, car celui-ci « a profité des progrès de l'adaptation locomotrice, au lieu de les provoquer ». « *Station debout, face courte, main libre pendant la locomotion et possession d'outils amovibles sont vraiment les critères fondamentaux de l'humanité* ». Une structure n'évolue jamais seule : « libération manuelle et réduction des contraintes de la voûte crânienne sont deux termes de la même équation mécanique »<sup>19</sup>. La préhension (de la mâchoire à la main) est inséparable de la locomotion (horizontale ou verticale). La main, à la différence de la pince du crabe dont la fonction est la préhension, est une structure qui n'a pas de fonction assignée. La main incarne l'ouverture d'une structure existante à une fonction non préexistante. Dire que la main n'est pas adaptée à telle fonction, mais adaptable à plusieurs fonctions, c'est dire encore trop peu. Car la main n'est pas seulement une structure isolable aux fonctions plurielles, mais l'ouverture d'un monde, en l'occurrence le milieu technique de l'homme, par lequel notre cerveau a pu devenir ce qu'il est aujourd'hui.

---

<sup>17</sup> Tige en os ou en ivoire qui possède un crochet à une extrémité ; la base d'une sagaie est placée dans ce crochet.

<sup>18</sup> Ducassé, pp.7-8

<sup>19</sup> Leroi-Gourhan, *Le Geste et la parole*, t. I, *Technique et langage*, Paris, Albin Michel, 1964

## 2. LA RÉVOLUTION NÉOLITHIQUE.

En contraste avec le Paléolithique, au cours duquel plus d'une espèce d'hominidé existait, seule l'une d'entre elle (*Homo sapiens*) parvint au Néolithique<sup>20</sup>.

La dénommée « **révolution néolithique** »<sup>21</sup> fut la première **révolution agricole**, c'est-à-dire la transition de tribus de chasseurs-cueilleurs vers l'agriculture, l'élevage et la sédentarisation qui se joua, plus ou moins, à partir du **VIII<sup>e</sup> millénaire avant Jésus-Christ**. Le lien entre agriculture et sédentarisation a été et est encore largement discuté : la question est de savoir si la sédentarisation a été la cause ou la conséquence de l'agriculture. Convenons simplement que l'invention des techniques agro-pastorales, c'est-à-dire de la **maîtrise et le contrôle des ressources alimentaires**, est corrélative d'autres développements, *techniques* (polissage de la pierre, poterie et céramique, construction en dur, métallurgie), mais aussi *sociopolitiques* (sédentarisation, division du travail, expansion démographique, etc.). La révolution néolithique nomme ainsi, plus largement, la naissance, sur plusieurs millénaires, de la fixation au sol, de la **société urbaine**<sup>22</sup> (celle-ci construisant son milieu par des techniques agricoles – comme l'irrigation –), et nomme, ultimement, une *accélération radicale* dans le rythme d'acquisition des techniques. En simplifiant, on dira que la principale différence entre une société de chasseur-cueilleurs et une société agricole-pastorale, est que la première consomme au fur et à mesure de ses besoins, tandis que la seconde fait des *réserves*, des *prévisions*, des *stocks* (or, le stockage est un fait indissolublement technique et social). La sédentarisation, cette profonde révolution dans le rapport des hommes à l'*espace*, est donc liée à une révision radicale de leur rapport au *temps*.

---

<sup>20</sup> La période de transition entre le paléolithique et le néolithique se nomme mésolithique.

<sup>21</sup> L'invention de l'agriculture a été baptisée néolithique car elle commence à l'âge de la pierre polie ; mais c'est bien d'une révolution agricole et alimentaire qu'il s'agit, et la maîtrise de la pierre polie n'est qu'une invention subséquente.

On doit le terme de « révolution néolithique » à Gordon Childe dans *La naissance de la civilisation*, 1936. Selon lui, la révolution agricole est la cause d'une révolution politique (le surplus fournit par l'agriculture et l'élevage aurait permis la naissance d'une classe de non-producteurs, prêtre et guerriers, indispensables renforts du pouvoir politique gérant cet excédent). Aujourd'hui, cette vision des choses est largement nuancée, voire contestée. On remet en cause par exemple, l'idée même d'une causalité purement *technique* de la néolithisation. L'alternative culturaliste peut s'appuyer par exemple sur les travaux de Marshall Sahlins (*Age de pierre, âge d'abondance*, 1976). Celle-ci élimine les facteurs externes (limitation des ressources, pression de la population, changement climatique) et privilégie les facteurs internes (facteurs culturels, facteur symbolique plutôt que matériel) pour rendre compte de la néolithisation. Bref, il y a plusieurs théories en concurrence (mais qui ne s'excluent pas mutuellement) quant aux facteurs qui poussèrent les populations à passer à l'agriculture : théories géographiques, démographiques, sociologiques ou religieuses, évolutives, etc.

Quoiqu'il en soit cette transition n'est pas brutale : chasse, pêche et cueillette seront longtemps encore pratiquées simultanément avec l'élevage et l'agriculture.

<sup>22</sup> La première ville connue, c'est-à-dire un ensemble de dizaines de maisons, est Jéricho, fondée en 7800 avant notre ère dans la vallée du Jourdain.

À la question **quand ?**, la réponse est il y a environ **10 000 ans**. À la question **où ?**, la réponse est moins claire<sup>23</sup>. Il est sûr en tout cas que la question du **lieu** est importante, car elle implique celle du **milieu** (biogéographique). La révolution néolithique n'aurait pas pu naître n'importe où ; et si elle s'est développée au Proche-Orient ou en Asie antérieure c'est qu'il y avait là un **milieu favorable (Croissant fertile)**<sup>24</sup>. Mais le néolithique voit naître bien d'autres foyers de civilisations.

L'homme, c'est la culture ou la domestication de plante et d'animaux. C'est d'abord la culture de **céréales** qui a entraîné le processus de néolithisation<sup>25</sup>. C'est ensuite la culture de l'**animal**. Il semble que les animaux aient d'abord été domestiqués pour leur viande. Ce qu'on a pu nommer la « **révolution des produits secondaires** » survint quand les néolithiques prirent conscience que les animaux, morts et vivant, pouvaient fournir plusieurs autres produits utiles. Cela inclut notamment : des peaux et du cuir (à partir d'animaux sauvages) ; du fumier pour les sols (à partir de tous les animaux domestiques) ; la laine (fournie par les moutons, lamas et chèvres angora) ; le lait (fourni par les chèvres, vaches, yaks, brebis et chameaux) ; la force de traction (des bœufs, onagres, ânes, chevaux et chameaux)

En creusant le sol et en inventant l'architecture, les Kébariens découvrent une nouvelle sorte de matériaux : la **terre**. Certes depuis longtemps l'homme préhistorique savait fouiller la terre, mais le Kébarien invente le **terrassment**. En creusant le sol il rencontre un matériau mou : l'**argile**. Vers – 8000, les Natoufiens inventent l'urbanisation et la céramique.

La révolution néolithique est une **révolution technique** : diversité des matériaux et développement de nouvelles techniques, comme par exemple, de nouvelles *armes* (le système arc-flèche), de nouvelles techniques de *navigation* (la pirogue monoxyle) et de nouvelles *techniques d'entrelacement* (la « découverte » de nouvelles fibres animales et végétales, de

<sup>23</sup> Les plus anciens développements connus semblent avoir eu lieu au Proche Orient, 10 000 ans av. J.-C. ou peut-être plus tôt. Il semble que l'élevage et l'agriculture ait été inventé séparément, l'agriculture probablement en Israël, et l'élevage sur les piémonts du Zagros. Il est à peu près certains que les Amérindiens ou les Chinois ont inventé la domestication des plantes indépendamment des néolithiques de Jéricho (Cisjordanie). Et, les données archéologiques, géographiques et botaniques, indiquent d'autres endroits de domestications de plantes.

<sup>24</sup> Le croissant fertile, paradis terrestre aux confins de trois zones biogéographiques, abondant en céréales, a une pointe dans la Vallée du Nil et l'autre à l'embouchure des fleuves du Tigre et de l'Euphrate. Alors que s'érigent les premières cités irakiennes et que la métallurgie y est maîtrisée, beaucoup d'autres zones, dont l'Europe occidentale et septentrionale, en sont encore au système technique du mésolithique et ignorent l'agriculture ; d'autres enfin connaissent à peine l'usage du feu. Mais cet état néolithique de la civilisation, né au Proche Orient, va se répandre dans toutes les directions, plus ou moins rapidement (*i.e* plus ou moins lentement). Il atteindra d'abord les vallées de grands fleuves (Nil, Tigre, Euphrate, Indus mais aussi Danube) ; vers l'ouest, par la vallée du Danube ou, au contraire par les rivages de la Méditerranée, puis atteindra les limites de l'Europe, France ou Grande-Bretagne. Il est sûr que notre position géographique, notre milieu à nous autres européens, fut déterminant pour notre progrès technologique (cf. Jared Diamond, *Guns, Germs, and Steel*, traduit en français par *De l'inégalité parmi les sociétés*).

<sup>25</sup> Il existe trois grands systèmes alimentaires qui sont aussi bien trois grandes régions alimentaires encore pertinentes aujourd'hui : maïs-haricot, riz-soja et blé-pois.

nouvelles plantes aux tiges minces et flexibles, permet le développement de la vannerie et du tissage). La révolution néolithique est corrélativement une **révolution sociale** : développement de travaux collectifs, spécialisation plus poussée avec l'apparition de métiers spécialisés. Il est important de comprendre que la révolution néolithique qui est essentiellement celle de l'agriculture et de l'élevage, c'est-à-dire qui concerne d'abord les ressources alimentaires, s'accompagne de tout un « **système technique** » qui éclate vraiment dans toutes les directions. Pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, il apparaît **des matériaux et des objets qui n'ont pas d'équivalents dans la nature**. Une pierre taillée reste une pierre, une branche taillée en épieu reste du bois et une branche. Un bouclier en fibres de palmier, une flèche à pointe perçante, un bol en céramique, un métier à tisser, sont, d'une certaine manière, des objets absolus.

### **3. LES TECHNIQUES ANTIQUES**

Désormais nous sommes dans des cités et des villages, où la division sociale du travail et le langage participe d'un système composé d'hommes et d'objets. À la **fin du IV<sup>e</sup> millénaire, et durant le III<sup>e</sup> millénaire av JC**, commence véritablement **l'histoire des civilisations**, celle du croissant fertile (les Mésopotamiens et les Egyptiens) puis celle asiatique (celle de l'Indus et de la Chine). Dès lors que la technique se fait civilisation, histoire des **monuments construits et des documents écrits**, elle devient indissolublement symbolique et matérielle.

Autour du III<sup>e</sup> et du II<sup>e</sup> millénaire avant JC, des techniques essentielles s'imposent durablement. Le premier groupement d'habitats en durs, de demeures ou de « maisons » date du VII<sup>e</sup> millénaire, et les premières **cités** connues du IV<sup>e</sup> millénaire. Dès 6000 ans avant notre ère apparaissent des figurines d'**argile** cuite. La **céramique** primitive verra le jour au cours des millénaires suivant, en même temps que le **plâtre**. L'**araire** n'apparaîtra que vers la fin du III<sup>e</sup> millénaire, de même que la **roue**. À la même époque, les techniques du feu – celle du potier et du chaudière, celle de la **métallurgie** – prospèrent, ainsi que les techniques d'entrecroisements de fils, ancêtre des **métiers à tisser**. Vers 1800 av JC, l'homme invente la métallurgie du **fer** et la **cavalerie** militaire, vers 1700 av JC l'homme invente le **verre**. Bref, le monde antique possède de nombreuses techniques qui nous sont encore familières.

*Cette liste éparse et chronologique n'a évidemment que peu de sens. Par exemple, on ne peut pas dire, à propos des techniques du feu, que le plâtre et la céramique, puis le cuivre et l'or, puis le bronze, puis le fer, se suivent comme une température en hausse. Les techniques du feu sont aussi bien les techniques de la roue (tour du potier). Dès l'antiquité se pose un problème qui aujourd'hui est quasiment insurmontable : comment faire une histoire des techniques sans se contenter de les énumérer ?*

L'Occident, vous le savez, prend racine entre la lente mort du monde grec puis la lente naissance du monde judéo-chrétien, via l'empire romain. Du point de vue de l'histoire des techniques, tout commence aussi véritablement avec le monde grec. Si la civilisation grecque, d'Athènes à Alexandrie en passant par Syracuse, est fondamentale c'est bien parce qu'elle invente une **technologie**, c'est-à-dire une certaine tradition écrite de mécanicien qui se transmettent des savoirs-faires. Les Barbares, ces peuples sans écriture, sont souvent considérés comme pauvres en techniques (plus propres à voler celle des autres, qu'à inventer les leurs), ils sont, sans aucun doute dénué, de toute « technologie ». Nos ancêtres les Gaulois

étaient des Barbares, mais on leur crédite l'invention du tonneau pour le transport du vin ! Le tonneau mis du temps, mais il parvint à se substituer à l'amphore...

### **Âge de pierre, âge de bronze, âge de fer.**

Il est facile d'imaginer *pourquoi* l'humanité fut intéressée par ces pierres qui brillent au polissage, ces pierres plastiques qui se déforment sans se briser et maintiennent leur cohésion, ces pierres que l'on nomme aujourd'hui « métal »<sup>26</sup>. Il est plus dur d'imaginer *comment* la métallurgie donna naissance au métal.

Les métaux comme le cuivre, puis l'or, l'argent et l'électrum sont utilisés dès le Néolithique (à la période dite Chalcolithique), parallèlement à l'utilisation de la pierre. Pendant cette période, les métaux sont utilisés à partir de leur forme native par martelage à froid ou à chaud de pépites, pour réaliser des petits objets généralement d'apparat. Le cuivre natif étant rare, les hommes travaillèrent des minerais de plus en plus pauvres en cuivre natif, et ils s'aperçurent que le fait de faire chauffer des minerais permettait non seulement d'extraire le cuivre par fusion, mais aussi de « transformer » le minerai en métal.

*La caractéristique première de l'âge du bronze, qui succède à l'âge de pierre, n'est donc pas l'utilisation des métaux mais la découverte et le développement de la **métallurgie**.* La métallurgie se définit comme un traitement thermique permettant l'extraction de métaux à partir de minerai. Elle nécessite un savoir-faire parfait de l'art du feu, acquis avec la cuisson de la céramique. Pour extraire un métal d'un minerai, il faut la maîtrise de fours à haute température. Le façonnage des outils lithiques, la confection du tissage ou la fabrication de la poterie ne nécessitent que des produits et des compétences qui relèvent d'une économie locale. Ce ne sera plus le cas avec la métallurgie.

C'est en Anatolie qu'il faut chercher les premiers objets en **cuivre** fondu au VII<sup>e</sup> millénaire av. J.-C. Le plus ancien foyer métallurgique européen se trouve dans les Balkans vers 3500 av. J.-C. pour s'étendre à l'ensemble de la péninsule euro-asiatique vers 2000 av. J.-C. Si la première métallurgie du cuivre ne s'est développée que dans les zones disposant de gisements de cuivre, l'âge du bronze se développe dans des régions dépourvues de minerais de cuivre ou d'étain, c'est le cas de la Mésopotamie (Sumer et Ur).

---

<sup>26</sup> Le mot **metal**, vient du latin, qui vient du grec, *metallon*, qui signifie **mine**, c'est-à-dire cavité creusée. Cependant ni les néolithiques, ni les grandes civilisations de la Haute Antiquité, ni même les Grecs n'eurent l'idée de métal, ni celle de métallurgie. C'est Aristote qui un des premiers comprend que l'or, l'argent, le cuivre, le plomb, l'étain, le fer et le mercure forment une famille, caractérisée par la fusibilité, le brillant, la densité, la malléabilité.

En Mésopotamie, vers – 3200, les métallurgistes font une découverte importante. Ils constatent qu'en réduisant un minerai de cuivre en présence de cassitérite (un minerai d'étain), le métal obtenu, de couleur brune, est à la fois plus facile à mouler que le cuivre et surtout plus dur et plus résistant : c'est le **bronze**. Sa fusion suivie du moulage permet une mise en œuvre impossible avec les matériaux pierreux. Il rivalise avec la pierre mieux que le cuivre et permet de confectionner des outils tout à fait efficaces, comme cette nouvelle arme : le **long couteau** (l'ancêtre des sabres et des épées, irréalisable en pierre). L'âge de bronze commence donc en Mésopotamie à la fin du IV<sup>e</sup> millénaire, mais la diffusion de la technique de bronze sera relativement lente (en Égée vers 2400 ans, en Italie vers 1500 ans), peut-être parce que ceux qui la possédait ont tout fait pour éviter le « transfert de technique ».

Les **bas fourneaux** naissent un peu avant **l'Âge du fer** qui commence vers - 1000. Le fer fondant à beaucoup plus haute température que le cuivre, la réduction du minerai dans les bas fourneaux était imparfaite. Les premiers à utiliser le fer furent les Hittites. Cependant, il faudra des siècles pour que la production de fer dur ou acier soit reproductible, et alors on entrera véritablement dans l'âge de fer.

Dans toute l'Antiquité seuls quelques métaux furent utilisés et pour certains seulement travaillés. N'étaient connus que sept métaux : l'or, le mercure, le plomb, l'argent, le fer, le cuivre et l'étain.

Il ne faut pas s'y méprendre, l'âge de pierre ne signifie pas que seule la pierre était travaillée (l'outillage de pierre s'accompagne du travail d'autres matériaux, comme le bois ou l'os, puisque l'outil lui-même agençait différents matériaux). Symétriquement, l'outillage de pierre ne disparaît pas à l'âge de bronze, il se perfectionne même en relation à celui-ci. Les âges de la technique ne s'effacent pas au fil des ans... Les limites historiques des différents âges techniques varient considérablement selon les régions considérées ; les âges de la technique ne naissent pas au même moment ni ne connaissent le même rythme<sup>27</sup>. Mais l'âge de bronze (alliage de cuivre et d'étain) ne peut apparaître qu'après le controversé âge de cuivre, comme l'âge de fer (nécessitant une température – 1500 °C – plus élevée) après l'âge de bronze. Pourtant, les âges de la technique ne suivent pas toujours la même lignée (on peut, par exemple, passer directement de l'âge de pierre à l'âge de fer, comme les Nok en Afrique).

Pourquoi, dans la Haute Antiquité les Mycéniens sont encore à l'âge de bronze, et les Doriens sont à l'âge de fer ? Pourquoi donc cette grande civilisation urbaine de l'Indus

---

<sup>27</sup> Pour un tableau synoptique, cf. :

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Tableau\\_synoptique\\_des\\_principales\\_cultures\\_pr%C3%A9historiques\\_du\\_Vieux\\_Monde](http://fr.wikipedia.org/wiki/Tableau_synoptique_des_principales_cultures_pr%C3%A9historiques_du_Vieux_Monde)



disparaît assez brutalement autour de 1800 av JC ? Il est sûr que pour aborder des questions aussi lourdes que le blocage ou l'évolution, l'extermination ou l'extinction d'une civilisation, on ne peut pas ne pas faire intervenir quelque chose comme une « *écologie des techniques* ».

### **La haute antiquité (Mésopotamie, Égypte).**

Les Mésopotamiens et Égyptiens développent, le long du Tigre, de l'Euphrate et du Nil, des systèmes techniques élaborés. Ceux-ci sont spécialement caractérisés par un développement étonnant des **techniques de construction** et par une maîtrise déjà poussée des **techniques du feu** : métallurgie, céramique, verrerie. Ce qui caractérise les techniques antiques ce sont peut-être le développement des **travaux collectifs**<sup>28</sup>. Ils sont de 3 sortes : **travaux agricoles, travaux militaires, travaux de construction**.

Pour ne prendre que le dernier exemple, les techniques de construction, comme toute technique, peuvent être lues de deux sortes, du point de vue des objets ou du point de vue des sujets : *pour parler des techniques de constructions égyptiennes faut-il parler du marteau à manche, du pic de mineur, du soufflet à outres, ou de l'esclavage de masse et la naissance de l'architecte-ingénieur des travaux publics ?*

Ni les Mésopotamiens, ni les Égyptiens, ni les autres peuples de l'Antiquité, n'auront l'idée du *progrès technique*. Depuis le III<sup>e</sup> millénaire jusqu'à la période grecque, le système technique évolue fort peu. Les Égyptiens adoptent le bronze (inventé en Mésopotamie), apprennent plus tard l'usage du fer, améliorent leur armement. Mais dans l'ensemble, le système technique égyptien – comme d'ailleurs aussi le système mésopotamien – semble être, selon l'avis des historiens, un **système figé**<sup>29</sup>. La brillante civilisation égyptienne que nous admirons tant, de Khéops avec la grande pyramide de Gizeh jusqu'à Toutankhamon, a été, pendant de nombreux siècles, une civilisation de l'âge de pierre. Les techniques de construction des Égyptiens sont esclavagistes, elles ignorent le machinisme et reposent essentiellement sur le coin, le levier, le plan incliné, des blocs de pierre glissant sur la boue du Nil, et des milliers d'esclaves.

Si nous ne devons retenir une invention, nous noterons l'invention de la **brique**. Avec la brique, il y a dissociation entre la production des éléments de construction et la construction

---

<sup>28</sup> On a pu qualifier, de naissance des **travaux publics**, l'édification au néolithique (dans un but essentiellement mystique) d'imposants menhirs ou mégalithes, qui montrent la capacité des sociétés néolithiques, **encore à l'âge de pierre**, de coordonner l'activité d'un nombre important d'ouvriers.

<sup>29</sup> Leur système technique semble se développer rapidement en quelques siècles autour de l'époque de Narmer, ensuite, pendant des dizaines de siècles il n'y a plus d'évolutions notables. En particulier, la construction des pyramides est presque parfaite du premier coup, puis, après seulement quelques siècles, curieusement ce type de construction est abandonné.

proprement dite, ne serait-ce que parce qu'il faut attendre que ces parallélépipèdes d'argile durcissent au soleil ou dans un four avant d'être acheminés en superposés.

### Les mécaniciens grecs.

Dès la fin du VII<sup>e</sup> siècle, et façon encore plus nette au VI<sup>e</sup> siècle, une **pensée rationnelle** se développe en Grèce, ce que nous nommons d'ordinaire « philosophie » et qui questionne la physique, l'éthique, et le politique.

Entre l'époque d'Homère et l'époque d'Archimède, l'idée de technique semble bouleversée : de la magie et de l'exploit on est passé à la raison et la mesure. La *technique se libère du magique* en même temps que se précise la fonction des artisans dans la cité. La technique de surnaturelle devient naturelle (cette distinction elle-même est grecque).

Faire du bon vin ou de la bonne huile, édifier un temple en marbre rose, creuser un puits pour alimenter ses bêtes, mais aussi soulager les souffrances corporelles... tout cela est du domaine technique. Comment ne pas mentionner l'œuvre d'Hippocrate de Cos, qui au V<sup>e</sup> siècle, chassant toute explication surnaturelle, a voulu faire de l'art de soulager les souffrances une technologie des « humeurs » qu'on nomme **médecine**.

De l'art des Grecs, on retient généralement leur **céramique**, raffinée, qui était à l'époque, une véritable industrie (exportation massive<sup>30</sup>). Cependant, du point de vue de l'histoire des techniques, la civilisation Grecque est surtout celle qui donne naissance à ce qu'on pourrait appeler des **mécaniciens**, des hommes amateurs et constructeurs de machines mécaniques. C'est en Grèce que paraissent les premiers traités techniques. C'est probablement en 366 avant notre ère qu'est paru le plus ancien traité technique grec qui soit parvenu jusqu'à nous, un discours sur une technique spécialisée, à savoir un traité militaire de prise et de défense des villes. C'est indéniablement dans le monde grec que *la technique devient clairement une source de logos*, que naît donc quelque chose comme une **technologie**. Il nous suffit de penser à **Archimède**, ce grand ingénieur et géomètre qui exerça à Syracuse au III<sup>e</sup> siècle avant JC. Archimède représente l'ingénieur convoité, source de puissance<sup>31</sup> ; il est aussi le premier à relier nettement **technique et mathématique**, en tant que fondateur de la statique (étude de l'équilibre des corps) et de l'hydrostatique.

---

<sup>30</sup> Avec le papyrus égyptien et bien sûr les métaux, les vases grecs seront les produits techniques les plus commercialisés dans l'Antiquité.

<sup>31</sup> **Anecdote.** Le siège de Syracuse par les romains fut long et difficile, entre autres parce que les machines de guerre d'Archimède étaient redoutables. Lorsque la ville fut finalement prise par le général Marcellus, les soldats pénétrèrent dans les maisons pour y trouver du butin ; l'un d'eux trouva un vieillard occupé à dessiner sans comprendre qu'il s'agissait du grand ingénieur-mathématicien en train de résoudre un problème de géométrie : le soldat assassine Archimède. Quand Marcellus l'apprendra, il regrettera vivement ce geste qui tua celui dont les machines le mirent en échec. Désormais, pensait-il, il s'agira de *préserver tous les ingénieurs*.

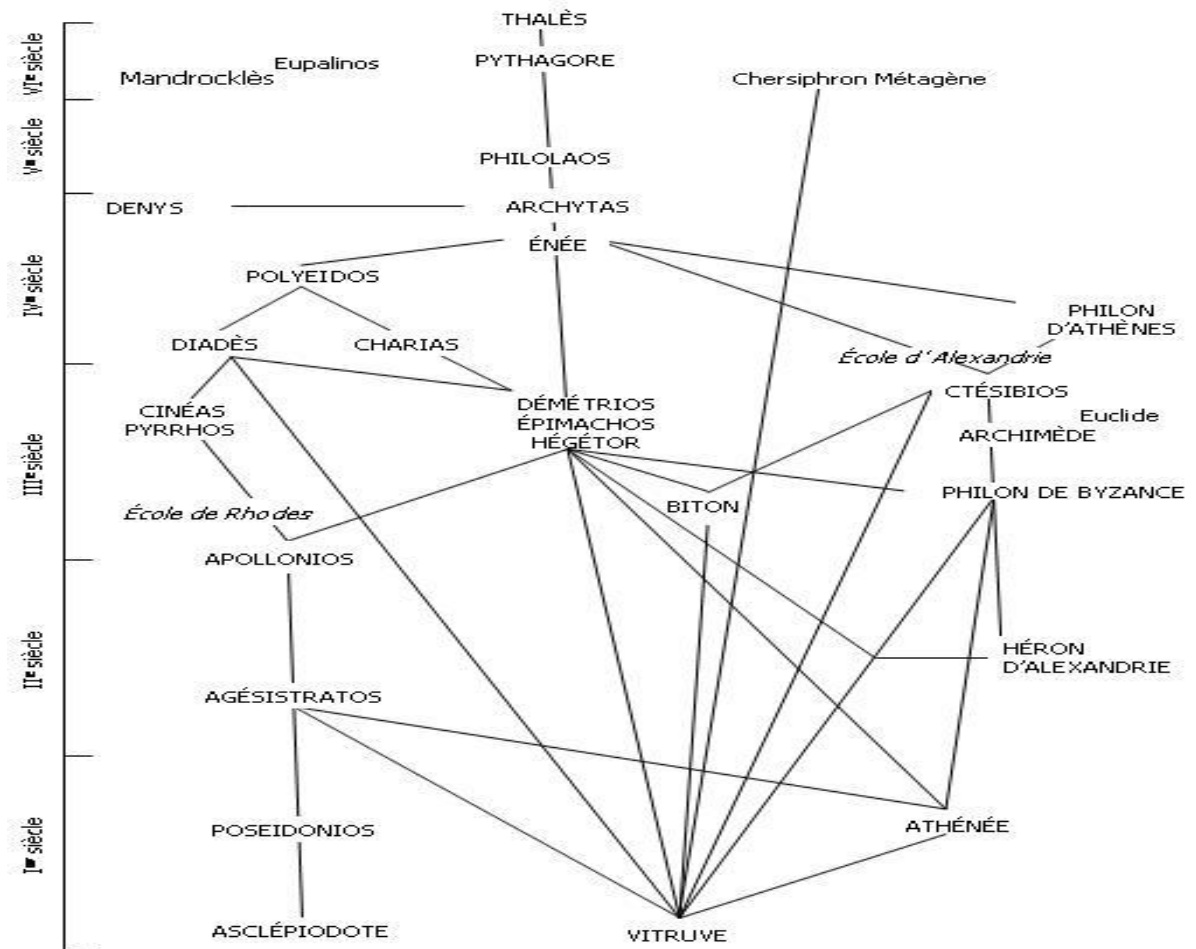
Quelques informations sélectionnées : au VI<sup>e</sup> siècle, Théodore de Samos invente le **niveau** ; au V<sup>e</sup> Archytas de Tarente invente la **poulie** (dont Archimède développera, c'est le cas de le dire, toute la portée !) ; au III<sup>e</sup>, Ctésibios d'Alexandrie invente le système **cylindre-piston** et les **automates à contrepoids** ; au I<sup>er</sup>, Héron d'Alexandrie invente son célèbre **éolipyle** (mécanisme qui transforme la chaleur, via la vapeur, en mouvement)... Après Héron d'Alexandrie, les historiens parlent d'un blocage de la technique grecque. Mais, il y a blocage *de notre point de vue*, car le complexe technique des Anciens était adapté aux besoins et aux modes de vie des Anciens. La technique ne se développe pas toute seule ; elle dépend de l'organisation sociale – la réciproque est vraie, puisque l'organisation sociale est loin d'être indifférente à l'histoire des techniques. La liste d'inventions précédente est suspecte, elle énumère des inventions qui ont eu un impact sur la société (la poulie) avec d'autres qui n'en ont eu aucun (l'éolipyle), elle fait comme si nous savions à chaque fois qui et quand a inventé quoi (ce qui est loin d'être le cas, puisque qu'une invention est bien souvent collective, puisque les sources historiques sont rares et parfois fallacieuses), elle omet d'autres inventions fondamentales, comme la **pompe aspirante et foulante** ou bien encore la **vis**. Les Anciens surent utilisés la vis comme élément d'assemblage, comme élément d'engrenage et de transmission de mouvements<sup>32</sup>, mais ils l'utilisèrent surtout comme moyen de pression. On le voit *l'invention d'un procédé mécanique, comme la vis, c'est bien plus que l'invention d'un objet*. La vis d'Archimède, qui est un instrument pour élever l'eau, n'a rien à voir avec la vis qui suppose l'écrou. Un procédé mécanique n'évolue pas seul : la poulie sans le treuil, n'aurait jamais pu donner les premières grues (vers le milieu du – I<sup>er</sup> millénaire). On n' imagine pas à quel point il fut difficile de passer du levier à la poulie, ou du chadouf au puits (*la roue élévatrice n'a dû apparaître que plus de deux millénaires après le chadouf*, ce système de balancier que l'homme utilisait pour puiser l'eau).

Il y aurait tant à dire sur ces **mécaniciens grecs de l'École d'Alexandrie** ; il faudrait questionner leurs liens avec les ingénieurs de la Renaissance. Le développement des machines simples (levier, roue, poulie, coin, plan incliné, vis, engrenage, treuil) est accompagné d'une étude de la transmission comme de la transformation du mouvement (chaînes cinématiques). Ces mécaniciens ne séparent pas, contrairement aux philosophes, la science pure des problèmes matériels. La mécanique des Anciens fut tout autant d'ordre technique que physique, on dirait aujourd'hui tout autant utilitaire que théorique. Or comme le montre le cas d'Héron d'Alexandrie, le rôle théorique accordé à la technique n'est pourtant pas exclusive

---

<sup>32</sup> Ex. avec une meule *horizontale* peut-être mue par l'action du courant d'une rivière sur une roue *verticale*





### Les ingénieurs romains.

1000 ans séparent la guerre de Troie de la conquête de la Grèce par Rome, et à peu près 1000 ans séparent la fondation de Rome de sa prise définitive par les Barbares.

Quand vous pensez au système technique des Grecs et au système technique des Romains, vous pensez probablement *grosso modo* au même système technique. Vous n'avez pas tout à fait tort. Que le verre brille à Rome non à Athènes, ne change pas fondamentalement la donne. Deux innovations majeures cependant : le « ciment romain »<sup>33</sup> et les fameuses **routes** romaines. Les ingénieurs romains sont plutôt des ingénieurs de travaux publics (ou « ingénieurs des ponts et chaussées », pourrait-on dire aujourd'hui), que des mécaniciens. Les

<sup>33</sup> Les Egyptiens qui connaissaient la chaux (obtenue par calcination des pierres calcaires) avaient pu observer que celle-ci, délayée dans de l'eau, forme un **mortier**. Les romains ont perfectionné de manière notable cette technique du mortier.

ingénieurs romains sont tout autant des administrateurs qui excellent dans les techniques de **contrôle** de l'espace et des hommes.

À première vue donc le bilan romain est moins brillant que le bilan grec. Les Romains ont admirablement perfectionnées les techniques Grecques, mais n'ont pas inventé de nouvelles techniques. À mieux y regarder, les Romains ont cependant innové en inventant un nouvel usage des techniques : leur génie est celui de l'organisation, des techniques d'organisation. *Ex.* Les armements restent *grosso modo* les mêmes qu'il y a mille ans, mais l'organisation militaire est bouleversée.

Qu'est-ce que l'ingénieur de Rome ? Pour le savoir, le meilleur moyen (le seul ?) est de se reporter à Vitruve et son *De architectura*. C'est la plus importante somme sur la technologie des Anciens.

Frontin et son *De aquae ductu*, invoque Vitruve sur la question de la standardisation des aqueducs. À propos des tuyaux d'irrigation il écrit : « *Tout calibre est déterminé par son diamètre ou par son périmètre ou par la mesure de sa section, toutes grandeurs qui définissent aussi sa capacité d'absorption* ». Ce texte expose deux constituants fondamentaux de la technique : la **métrologie**, la technique des mesures, qui suppose la rationalisation, puisqu'elle compare des grandeurs de même nature<sup>34</sup>, et la **normalisation**, qui est l'instauration d'une norme, comme par exemple, le fait que tous les fabricants dimensionnent leurs tuyaux de la même manière. Désormais, la technique a son *calibre* et ses *étalons* de mesure.

### **Ex. La roue.**

On situe généralement l'invention de la **roue** vers 3500 avant J-C, à Sumer en basse Mésopotamie, bien que rien ne soit certain, puisque les premières roues étaient pleines et en pierre, et d'une seule pièce ou bien en bois et de plusieurs pièces. La roue est restée largement inconnue. Les roues à rayons et à jantes, plus légères, seraient apparues environ 2000 ans av. J-C. Ces roues étaient solidaires de l'**essieu** constituant un axe reliant deux roues situées de part et d'autre de la caisse. Lorsqu'il y a identité de problème technique alors on peut parler d'une même lignée dans l'évolution technologique. Par exemple, pour réduire le frottement entre l'axe et le châssis reposant sur lui, divers procédés ont été mis au point, dont notamment

---

<sup>34</sup> Ceci suppose de savoir quelles sont les grandeurs de même nature : il n'y a aucun sens à exprimer la longueur d'une corde en gramme, ou le poids d'un objet en litres. Toute mesure suppose un étalon.

Il n'y a pas de *théorie* de la mesure sans théorie des erreurs ou incertitudes de mesure ; il faudra attendre le XVII<sup>e</sup> siècle pour l'énoncer clairement, car ceci demande la notion de précision. Une mesure doit être exacte *et* précise ; car *une mesure peut être inexacte et précise, comme elle peut être imprécise et exacte*.

un trou dans un madrier faisant office de membrure, ce trou étant garni de galets lubrifiés avec de l'huile. Comme il y a identité de problème on peut dire que cette technique est l'ancêtre du roulement à billes comment faire une liaison mécanique rotative fiable avec le minimum de frottement ?

Il semblerait que l'histoire de la roue ne soit *pas* celle du passage progressif du rouleau, à la roue pleine (un tronc débité en disque), à la roue à rayon. L'utilisation de rouleaux de bois pour le déplacement de masses pesantes date de la fin du Néolithique. La roue à rayon date probablement du – III<sup>e</sup> millénaire, quant à l'utilisation la plus précoce d'un disque de bois, elle n'apparaît que vers le milieu du II<sup>e</sup> millénaire avec le tour de potier. Un millénaire plus tard la poulie, cette innovation subtile basée sur une application des lois, non encore formulée, de la statique, est une autre adaptation d'un disque plein.

La roue comme moyen de transport suppose un centre par lequel passe l'axe de rotation. Elle suppose de vouloir porter des charges et de diminuer les forces de friction. La roue cependant ne présente pas toujours un intérêt plus grand que les transports à dos d'homme ou d'animal. La roue suppose les **routes**. La fameuse route romaine a été vraiment une innovation. Sa résistance tenait à une infrastructure aux couches successives solidement imbriquées, au dallage de surface bombé pour l'écoulement des eaux, aux ornières creusées pour guider les roues des véhicules ; sa vocation était avant tout d'établir les communications administratives et militaires (pas d'Empire romain sans route romaine). Par contre, le char romain (à deux roues) était rapide mais ne permettait pas de transporter de lourdes charges (il faudra pour cela, bien plus tard, modifier la technique de l'attelage du cheval).

Lorsqu'on pense à la roue il ne faut pas se limiter au moyen de transport. La **roue dentée** est peut-être une invention aussi radicale que la roue à rayon, d'autant plus lorsque, couplée, elle forme un **engrenage**. Inutile de dire aussi l'importance de la **roue à aube**, comportant des cuillères ou palettes, utilisé dans les moulins à eau ainsi que dans les anciens bateaux à vapeur. Il n'y a pas *lignée* entre ces différentes roues, elles n'accouchent pas les unes des autres.

On cite souvent l'Amérique précolombienne car, bien que l'usage de la roue y ait été inconnu, on y a retrouvé des objets en forme de roue et considérés comme des jouets (datés de – 1500 av. J-C). Quelques jouets donc, mais aucuns engins utilisant la roue. Ce paradoxe est retenu comme exemple par Alain Gras pour illustrer le refus d'engagement dans des trajectoires technologiques données bien qu'accessibles en termes de faisabilité. Il est utilisé par Bertrand Gille pour montrer ce qu'est qu'un système technique : la roue demandent des routes, les routes demandent des véhicules, les véhicules demandent du bétail, le bétail

demande attelages, les attelages du métal. Le véhicule terrestre suppose nécessairement d'autres techniques ; en particulier celle de l'élevage, les véhicules à traction humaine ne pouvant être que d'usage très limité, celles aussi de certaines métallurgies pour renforcer les parties les plus exposées du véhicule (essieux, bandage des roues, etc.). L'Amérique n'a pas connu ces techniques associées qui ont donné naissance aux véhicules à roues. Sans véhicules à roue, l'Amérique ne fut pas amenée à imaginer d'autres utilisations (poulie et treuil, tour de potier, etc.). « Le passage du jouet au véhicule à roue, écrit Gille, n'était pas aussi simple que quelques uns le laissent supposer. La notion de système technique prend encore ici toute sa valeur. Ce manque technique ou le défaut de certaines techniques bloquait en quelque sorte les techniques acquises à un niveau relativement bas ».

Concluons avec Bruno Jacomy :

« La roue, depuis la plus lointaine Antiquité, puis le moulin, depuis le Moyen Âge, ont joué, dans le progrès technique, un rôle qui ne peut être traduit en chiffres par des volumes des puissances ou un nombre de machines. En fait, la culture technique moderne s'est bâtie progressivement tout au long des dix siècles qui ont précédé la révolution industrielle, une culture fondamentalement fondée sur la roue, le mouvement rotatif, le volant. Toute la mécanique du XIX<sup>e</sup> siècle va y puiser ses sources et l'on pressent le bouleversement qui aura dû s'accomplir dans l'esprit des ingénieurs du XVIII<sup>e</sup> siècle pour imaginer une machine à vapeur fondée sur le mouvement alternatif »<sup>35</sup>

### **Ex. L'écriture.**

Faire l'histoire de l'écriture puis de la linguistique excède largement ce travail ; ici il s'agit juste d'un aperçu sur les origines des différentes écritures et de leurs différents supports. On se doute bien que la question de l'écriture et de son support garde toute sa pertinence aujourd'hui à l'ère ou un nouveau langage (binaire) et un nouveau support (silicium) gouverne notre monde.

Après l'invention de l'écriture on quitte la préhistoire pour rentrer dans l'histoire (ce que l'on situe à la fin du IV<sup>e</sup> ou au début du III<sup>e</sup> millénaire, donc il y a grosso modo **5 300 ans**). C'est vraisemblablement dans une des cités summeriennes, à la fin du IV<sup>e</sup> millénaire, que l'écriture est inventée ; mais autour du III<sup>e</sup> millénaire, elle est apparue sous des formes différentes dans au moins cinq ou six foyers de civilisations maîtrisant de longue date l'agriculture et en plein développement urbain.

Les hommes dès lors ne laissent plus seulement derrière eux des ossements ou des *monuments*, mais des écrits ou des *documents*. Pour avoir une idée de la **lenteur de diffusion** de certaines techniques, rappelons que l'écriture a été inventée en Mésopotamie il y a plus de 5 000 ans, mais qu'elle ne sera connue dans les régions actuellement françaises qu'en 50

---

<sup>35</sup> Jacomy, p. 186



avant notre ère, avec l'incursion en Gaule de Jules César. Il a donc fallu quelques trois mille ans pour que cette découverte faite au bord du Golfe Persique atteigne nos régions.

L'invention de l'écriture c'est *ipso facto* l'invention de la comptabilité (inventaires et termes contractuels sur de l'**argile**, en guise de document inaltérable). On dit généralement qu'avant de devenir un outil au service de la langue, l'écriture aurait été un simple système d'enregistrement (des boules d'argile nommé **calculi**), une sorte d'aide mémoire à l'usage de quelques scribes dont la seule préoccupation était de conserver la trace d'opérations comptables toujours plus nombreuses et plus complexes, inhérentes à la gestion des premiers grands centres urbains<sup>36</sup>. Cependant, l'idée d'un glissement d'une *écriture de choses* vers une *écriture de mots* est aussi contestée. Venant de Mésopotamie ou inventée sur place, l'écriture aussi existe chez les Egyptiens. Mais leur système, contrairement aux cunéiformes devenus exclusivement phonétiques (un signe = un son), est hybride, il comporte encore des idéogrammes (un signe = une chose). Ce sont les célèbres hiéroglyphes. De l'**écriture pictographique** à l'**écriture alphabétique**, il y a un long chemin, où les signes se font plus rares et le système de signes plus abstraits<sup>37</sup>.

Les scribes égyptiens inventent un nouveau *support* pour l'écriture : le **papyrus**, c'est-à-dire un assemblage de lamelles finement découpées dans des tiges de roseau. Le papyrus constitue un net progrès par rapport aux tablettes d'argiles, de par sa légèreté et la possibilité d'obtenir de très grandes surfaces d'écriture. En outre, le pinceau trempé dans une suspension du noir de fumée et autres pigments mis dans de l'eau, il est possible de dessiner et de colorier. L'**encre** n'est pas une invention égyptienne, puisqu'elle était déjà connue des

---

<sup>36</sup> Les transactions entre contrées éloignées nécessitèrent la mise en place de contrats. Ces contrats étaient des boules creuses de glaise enfermant des **calculi**, des petites formes en argile (glaise) symbolisant des nombres sous trois aspects (sphères, cônes, cylindres) auxquels étaient additionnées des formes conventionnelles pour désigner les choses échangées. En cas de contestation, la boule sèche sur laquelle on avait apposé son sceau pour contrôle était brisée, et la quantité de calculi et la livraison étaient comparées. Ces transactions devenant de plus en plus complexes, le système de calculi fut conservé mais, pour se souvenir de la teneur du contrat, en sus des sceaux, des signes furent dessinés sur l'extérieur de la boule de glaise encore fraîche, afin d'indiquer le contenu de cette boule, tant en quantité (le nombre) qu'en qualité (les choses contractées).

<sup>37</sup> On peut schématiser cette évolution ainsi :

- invention du langage (paléolithique) : les choses représentées par des sons.
- invention de l'écriture **pictographique** (néolithique) : les choses représentées à la fois par des sons et par des dessins;
- diversification régionale : hiéroglyphes (Égypte), cunéiformes (Mésopotamie).
- invention de l'écriture **phonétique** (Mésopotamie) : les choses représentées par des séquences de signes, chaque signe représentant un son, une syllabe.
- invention de l'écriture alphabétique (Phénicie) : les choses représentées par des mots, chaque mot étant, d'une part, représenté par une séquence de son (représentation acoustique) et d'autre part, représenté par une suite de dessins-lettres (représentation graphique) : l'écriture comporte une vingtaine de lettres. Les grandes inventions techniques ne viennent pas toujours des Grands empires, ainsi de l'invention de l'écriture alphabétique.

Magdaléniens (peintures rupestres). D'une manière générale, le support fut le bois, la pierre ou l'argile pour les textes courts, le papyrus pour les textes longs. Au III<sup>e</sup> siècle, probablement à Pergame, l'homme mis au point l'utilisation de peaux, parfaitement épilées et tannées d'une manière particulièrement soignées, comme support de l'écriture. C'est l'invention du **parchemin**. Plus solide que le papyrus, double face, réutilisable (palimpseste). Les Romains utilisaient, pour leurs notes personnelles, des petites plaques de bois revêtues de cire qu'un stylet pouvait facilement entamer. C'était plus commode que le rouleau de parchemin ou de papyrus qu'il fallait maintenir déroulé au bon endroit, mais trop fragile pour être utilisé pour la conservation de textes. C'est, pense-t-on, au début de l'Empire romain que l'idée vint de rassembler des feuilles de papyrus ou de parchemin en les liant par le côté gauche (comme on le faisait quand on assemblait plusieurs tablettes de cire) : le **codex** devenait un concurrent du **volumen** (nom latin du livre sous forme de rouleau). L'invention du *codex* est vraiment importante parce qu'elle va modifier les conditions de la lecture et de l'écriture, c'est-à-dire les opérations fondamentales du savoir et de la transmission du savoir. Avec le *codex* on peut consulter plusieurs texte à la fois, les comparer et les annoter, il est en outre plus compact, moins fragile, dont plus aisément transportable. Néanmoins pour des raisons « culturelles », l'utilisation du codex ne se généralisera qu'à la fin de l'Empire romain. Les écrivains étaient en effet habitués au *volumen* et n'étaient que peu disposés à changer leurs habitudes, un peu comme nos écrivains contemporains qui écrivent encore à la plume à l'époque du traitement électronique des textes. On attribue généralement aux sectes religieuses, très nombreuses, la popularisation du *codex* ; idéal pour conserver les écritures saintes et pour les dissimuler si besoin. A la fin du IV<sup>e</sup> siècle, son usage était généralisé.

Les Chinois n'ont utilisé ni les tablettes d'argile ni le papyrus mais ont laissé des traces écrites dès le III<sup>e</sup> siècle av. J-C sur des chaudrons de fonte ou de bronze et sur des papiers faits de matériaux variés : bambou, soie, végétaux divers. Le papier à base d'écorce de mûrier, se répandra peu à peu dans toute la Chine, puis sera transmis à partir du VIII<sup>e</sup> siècle par le Moyen-Orient (on raconte qu'un Chinois prisonnier par les Arabes dû en livrer le secret), pour atteindre Nuremberg en 1390.

Au cours de la chrétienté, les moines eurent une fonction mnémotechnique essentielle, celle de **copiste**, qui fut progressivement « remplacée » par l'imprimerie.

#### **4. LES TECHNIQUES MÉDIÉVALES.**

Pour être schématique, on perçoit généralement le début de ce qu'on nomme le Moyen Âge comme la lente désintégration de l'empire romain, la ruine de son monde (économique, artistique, philosophique). Pourtant, dans ce recul général, l'ensemble des acquis techniques semble avoir le mieux résisté.

Pourtant, mise à part l'excellente métallurgie héritée de nos ancêtres les barbares sans écriture, peut-on parler de changement de système technique entre César et Charlemagne ? Il semblerait que non. Du point de vue de notre histoire, il faudra attendre le X<sup>e</sup> siècle pour que s'opère un changement technique notable, qui s'épanouira lentement jusqu'à la Renaissance.

##### **La mutation médiévale (X<sup>e</sup> siècle-XIV<sup>e</sup> siècle).**

Au X<sup>e</sup> siècle, après pestes et invasions, l'Europe du nord des Alpes et du Danube, se retrouve peu peuplée. Ce n'est qu'ensuite que le Moyen-Age connaîtra un essor démographique et urbain, aussi bien que commercial. On peut le faire reposer sur un nouveau mode d'exploitation agricole dans l'expansion de l'Europe médiévale qui repose sur **trois innovations majeures** : **1) la substitution de la charrue à l'araire<sup>38</sup>**. Nouveau type de charrue bénéficiant de trois perfectionnements essentiels : le coutre, long couteau plat coupant la terre verticalement, le soc plat, qui coupe horizontalement la terre et les racines en profondeur, et le versoir qui retourne la terre sur le côté. Moindre fatigue et plus grande fertilisation des sols. En revanche, le poids et la puissance de cette charrue moderne nécessitent le recours à des attelages pouvant atteindre huit bœufs, et donc la mise en commun du travail par plusieurs paysans. Marc Bloch a vu, dans ce changement technique, la cause essentielle d'un important changement politique : la constitution de communautés paysannes dans l'Europe du Nord<sup>39</sup>. **2) l'utilisation du cheval avec l'attelage moderne**. a) importation des races de chevaux des barbares du Danube. Même force, mais deux fois plus rapide qu'un bœuf. Remise en question des distances. b) ferrure des chevaux, indispensable dans les régions humides. c) et surtout mise au point de l'attelage moderne caractérisé par le collier d'épaule, la bricole et la disposition en file des animaux. **3) la mise en place de l'assolement triennal** qui remplace l'assolement biennal traditionnel. Gain de productivité d'environ 50%.

<sup>38</sup> Araire. Adaptation du bâton à fourir originel à la traction animale, l'attelage de bœufs principalement. Plus adapté aux terres sèches.

<sup>39</sup> De l'avènement de la charrue à versoir découlerait l'opposition entre les régions situées au sud de la Loire et des Alpes, aux structures sociales plus individualistes à cause de l'utilisation de l'araire, et celles du nord, où la charrue à versoir était en usage. Cette hypothèse viendrait expliquer en partie la séparation entre les moulins communautaires à roue verticale du Nord et les rouets familiaux du Sud.

Augmentation d'un tiers de la surface cultivée. Fournit avoine nécessaire à l'élevage des chevaux.

Au XII<sup>e</sup> siècle les techniques se développent et la vie économique prend son essor. Les Arabes ont apporté le moulin à vent, le papier, les techniques alchimiques. La fin du siècle voit l'invention de la boussole.

Ainsi Jean Guimpel, a pu écrire *La révolution industrielle du Moyen-Age*. A-t-il raison de parler de « révolution industrielle » ? Il y a certes une multiplication explosive de techniques connues depuis l'Antiquité (moulins hydrauliques), mais il n'y a pas exactement de « révolution » dans les techniques existantes (il n'y a pas de changements notables, par exemple, dans les techniques militaires<sup>40</sup>). Et encore moins peut-on utiliser le terme « industriel », puisqu'on reste dans un **système artisanal** qui produit en fonction des besoins immédiats et non dans un **système industriel** qui produit en fonction d'une demande future<sup>41</sup>. Avec le XIV<sup>e</sup> siècle, par contre, à propos des quatre inventions, ou plus exactement séries d'inventions, que sont **l'artillerie pyrotechnique, l'horloge à poids, la caravelle** (la navigation au long cours), **et l'imprimerie**, les historiens s'accordent par contre à parler d'une certaine « révolution ».

Les Grecs ont porté la **petite mécanique** et les mécanismes complexes de transmission du mouvement à un stade pratique et théorique très avancé. Les Romains ont perfectionné la **grande mécanique**, les machines de construction (leviers, treuils, cabestans, roues à cage d'écureuil) et les machines de guerre (catapultes, balistes, etc.). Les liens unissant au fil du temps la grosse mécanique (celle des moulins et des machines) et la petite mécanique (celle des automates et horloges) restent problématique. Est-ce l'horloger ou le constructeur de moulins qui crée le tour, qui inventera la machine à vapeur ? Deux mondes semblent évoluer parallèlement : l'horloger reste un artisan, membre d'une corporation strictement réglementée et peu ouverte aux transferts, tandis que le constructeur de moulins semble préfigurer l'ingénieur civil du XIX<sup>e</sup> siècle. Ce qui est sûr c'est qu'à partir du XIII<sup>e</sup> siècle, la petite et la grande mécanique prennent à nouveau leur essor, après plusieurs siècles de sommeil : c'est

---

<sup>40</sup> Le trébuchet, c'est-à-dire l'artillerie à contrepoids, est certes plus efficace que l'artillerie névro-balistique des Grecs et des Romains, mais le principe est le même (utiliser le mouvement d'une machine en bois pour lancer des projectiles inertes), et le gain en efficacité n'est pas vraiment spectaculaire. La cotte de mailles est plus efficace que la cuirasse de fer des Romains ou que la cuirasse de bronze des Grecs. Mais ici encore, le gain en efficacité est tout relatif.

<sup>41</sup> Ce qui la distingue l'industrie de l'artisanat, c'est d'abord l'idée de projet. Un artisan fabrique sa production au fur et à mesure de la demande. Si on lui commande une table, il fabrique une table. Un industriel fabrique en vue d'une demande future. Il anticipe les besoins du marché. Ce qui le conduit à produire non pas une table, mais une dizaine de tables – ce que faisaient déjà les grecs qui avaient une véritable industrie céramique. Cette idée de production avant même que ne se manifeste la demande est tout à fait étrangère à la mentalité du Moyen Âge.

l'époque des origines de l'**horloge mécanique** d'une part, et de la remise en force du **moulin hydraulique** d'autre part, accompagné d'un nouvel intérêt pour les techniques de transmission de puissance.

« Le Moyen Âge s'achève. Dix siècles pour reconstruire le système technique des Grecs et des Romains, et finalement quelque dizaine d'années pour le dépasser. Car c'est cela le Moyen Âge : un système technique basé sur les pierres et l'eau (sur les pierres comme matériaux et sur l'eau comme source d'énergie). Un système technique qui se substitue à celui des Anciens, basé également sur les pierres, mais où la source d'énergie, depuis les australopithèques jusqu'aux Romains, était uniquement ou presque, la force musculaire des hommes.

Bien sûr il y avait des animaux (mais nous avons vu que le cheval ne donnera toute sa force qu'avec trois inventions médiévales : le fer pour protéger le sabot, l'étrier et le collier d'épaule). Bien sûr que les Égyptiens déjà utilisaient l'énergie éolienne pour naviguer sur le Nil. Bien sûr aussi le servage du Moyen Âge n'est qu'une forme édulcorée de l'esclavage antique. Mais notre schéma reste valable : pendant des millions d'années (rappelons que le paléolithique a duré des millions d'années), l'homme ne dispose que de sa propre force. Au Moyen Âge, il a, en plus, des moulins, surtout à eau (mais aussi dans certaines régions à vent).

Quant aux pierres, c'est d'elle que l'on tire les outils et les armes. Le bois est évidemment un matériau important, et divers produits animaux ou végétaux sont bien utiles – térébenthine, pastel, d'autres pigments et, bien sûr, les produits alimentaires. Mais c'est bien la pierre, dont on commence, grâce surtout aux alchimistes, à mesurer l'étonnante diversité, qui est, qui reste, la ressource de base pour toute construction, d'habitations, de lieux de culte ou de lieux protégés contre les invasions, mais aussi de tous ces objets de plus en plus divers, en bronze, en fer, en fonte...

Le Moyen Âge a extrait du sol des milliers et des milliers de tonnes de pierres les plus diverses, les a taillées, les a soumises au feu et à l'action du charbon de bois, en a tiré l'huile de vitriol, des pigments imitant l'or, du fer et de l'acier, un explosif, surtout, qui « changera la face du monde ».

À partir du Moyen Âge, aussi, l'histoire des techniques devint l'histoire de l'Europe Occidentale »<sup>42</sup>.

### **La technologie chinoise et la question des « systèmes bloqués ».**

À n'en pas douter, si nous étions Chinois, nous aurions fait une autre histoire des techniques. Les Chinois ont une technologie précoce<sup>43</sup> et sont, d'une manière générale, **techniquement en avance sur l'Occident**<sup>44</sup>. Le procédé d'obtention de la fonte et de l'acier, le système bielle manivelle, la boussole, le papier, l'imprimerie, tout cela aurait été inventé par les Chinois bien avant les Européens. Deux autres questions se posent inéluctablement dès lors qu'on aborde l'histoire des techniques chinoises : a) la **question du transfert technologique** (en l'occurrence qu'est-ce que l'Occident doit à la Chine ?<sup>45</sup>) ; b) la question

<sup>42</sup> Baudet, De l'outil à la machine, Histoire des techniques jusqu'en 1800, pp. 158-159

<sup>43</sup> C'est une des caractéristiques des civilisations techniciennes avancées de s'être constitué leur propre technologie. Les Chinois, comme les Grecs autrefois, ont constitué leur « technologie ». Mais la technologie chinoise, à la différence de la technologie grecque, est une technologie sans la science. C'est du moins ce qu'on dit ici, puisque la science semble être une invention occidentale.

<sup>44</sup> D'une manière générale pourtant, à l'époque antique, la Chine en est plus ou moins au même niveau que l'Europe occidentale. Il semble que ce soit autour de l'ère chrétienne que les techniques chinoises aient pris une certaine avance sur une civilisation européenne techniquement figée.

<sup>45</sup> La **question du transfert des techniques** reste une question très épineuse. Est-ce que la boussole, le gouvernail d'étambot et la poudre à canon ont pu transiter de l'Extrême-Orient vers l'Occident ? Peut-être. Est-ce que le moulin à eau, les techniques métallurgiques ou l'imprimerie ont pris le même chemin ? Il semblerait que non. Pas de réponse générale, à chaque technique son histoire. Il y a certes des faits incontestables : le papier nous est venu d'Extrême-Orient. Pour l'attelage moderne, malgré les efforts linguistiques d'Haudricourt, la chose nous est moins certaine. Quant à la poudre à canon, rien n'est moins sûr : la filiation, depuis les flèches

du **blocage de la technique chinoise** qui ne connaîtra pas l'essor que l'Occident connaîtra à la fin de l'époque médiévale<sup>46</sup>. À l'époque médiévale, le système technique chinois était plus ancien ; il fut relativement stable. Le **système technique chinois** est composé de **bois** (dont le bambou) d'**eau** et de **fer**, le tout articulant des outils, des machines (soufflets, norias, roues hydrauliques), et des bâtiments (dont des merveilleux ponts).

Bruno Jacomy prend justement l'exemple des norias pour aborder le problème d'une **technologie** – d'irrigation – **appropriée** depuis deux millénaires. Les norias représentent des systèmes techniques qui ne peuvent pas se perfectionner<sup>47</sup>. Toute tentative de « modernisation » forcée fait preuve d'une « inculture technique » qui conduit à greffer les éléments d'un système technique sur un autre (aujourd'hui, vendre nos technologies à un pays en voie de développement c'est souvent le rendre dépendant d'un système technique auquel il ne participe pas).

Pourquoi l'évolution technique d'une civilisation se bloque-t-elle ? On peut tenter de l'expliquer par son isolement par rapport à l'extérieur, son fractionnement intérieur, sa structure sociale trop rigide, son absence de système d'écriture, son faible système de communication, on peut tenter de l'expliquer par l'absence d'une technique qui bloque l'épanouissement des autres, on peut aussi dire qu'elle n'a pas ressenti le besoin d'évoluer techniquement, etc.

À propos de la Chine, l'historien des technique Bertrand Gille parle de « **système bloqué** ». Ce qui est bloqué est l'évolution des techniques. On suppose alors que la technique évolue en passant d'un système à un autre système, et non à l'intérieur d'un même système. Elle peut évoluer à l'intérieur d'un même système, mais jusqu'à un certain point. Ensuite,

---

enflammées jusqu'aux fusées incendiaires (« feu grégeois ») et au feu d'artifice pour arriver à l'artillerie n'est pas facile à étudier. Le cas de la boussole reste emblématique, puisque si elle a été inventée au III<sup>e</sup> siècle par les Chinois, c'est d'abord dans un cadre sacré, et ensuite simultanément inventée, en Orient et en Occident, au XII<sup>e</sup> siècle, utilisé pour les techniques de navigation. Si la brouette semble être apparue plus tôt en Chine c'est d'abord parce qu'elle semble être indispensable pour l'alimentation des hauts fourneaux. L'article sur la brouette de Gille montre la difficulté qu'il y a à traiter une telle question avec le peu de sources que nous avons. Il montre aussi le parti pris de l'auteur. Quant au moulin à eau, il est sûr qu'il n'a pas été transféré à partir des norias chinoises, bien plus vieilles.

La question du transfert marche dans les deux sens, on se demande par exemple si la roue fut certainement un emprunt aux civilisations occidentales (on peut se demander aussi pourquoi les chinois n'inventèrent pas l'avant-train mobile des chariots).

Dans toutes ces questions de transfert, le rôle joué par les Arabes est central.

<sup>46</sup> Les historiens s'accordent enfin sur un arrêt (autour du XV<sup>e</sup> siècle) de la technique chinoise. L'arrêt est bien entendu ici une notion toute relative.

<sup>47</sup> « Si la noria, arrivée à un tel stade de perfection ne pouvait bénéficier de progrès extérieurs, certains moulins horizontaux ont pu voir leur rendement augmenter par l'adoption de pales en cuiller et d'ajustage appropriés ».

pour évoluer l'homme doit adopter un nouveau système technique, qui peut cohabiter avec l'ancien, mais qui s'en détache.

« Le titre de ce chapitre [Les systèmes bloqués] est, à la vérité, ambigu. D'autant plus ambigu qu'il s'applique à trois civilisations éloignées les unes des autres, l'Amérique précolombienne, la Chine et le monde musulman. En fait nous avons connu déjà des systèmes bloqués : celui des Égyptiens par exemple, et on a dit la même chose du système technique des Grecs. Et que penser de certaines populations dites primitives qui sont restées au stade de la pierre ?

À partir du XII<sup>e</sup> siècle l'Occident européen, et lui seul, connaît des mutations successives de son système technique, révolution industrielle du Moyen Âge, pour reprendre le titre d'un ouvrage récent, révolution technique de la Renaissance, révolution technique du XVIII<sup>e</sup> siècle, celle de la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, celle que nous connaissons aujourd'hui. C'est là plutôt que se situe le vrai problème.

L'étude, rapide, de ces trois civilisations pourrait cependant nous apporter en quelque sorte l'envers de ce problème »<sup>48</sup>.

L'envers du problème, selon Bertrand Gille est celui du blocage technique. Ou bien le blocage est interne, c'est-à-dire purement technique ; ou bien il est externe, c'est-à-dire il est du à la cohérence ou non avec les autres systèmes (sociaux, économiques). À propos de la Chine par exemple, qui n'a pas connu le progrès technique de l'Occident à la Renaissance, Bertrand Gille n'exclut pas la seconde hypothèse<sup>49</sup>, mais insiste plutôt sur la première :

Dire que les grandes inventions, celles-là mêmes qui marqueraient l'avance de la Chine sur l'Occident, l'imprimerie, la poudre à canon, la boussole, n'eurent qu'une faible répercussion dans le monde chinois est la manifestation exacte de ce que nous voulons signaler. Des techniques dites aujourd'hui de pointe ne peuvent s'insérer dans un système technique global que dans la mesure où il existe une certaine cohérence entre les techniques. Le retard des autres techniques bloquait nécessairement les inventions les plus avancées.

L'imprimerie est née en Occident d'un prodigieux mouvement intellectuel, la boussole n'a pris son importance qu'avec le développement des techniques de navigation et la traversée de l'Atlantique, la poudre à canon avec l'apparition d'une véritable artillerie, qui suppose maintes autres techniques.

Un autre exemple canonique de systèmes bloqués est celui des **civilisations précolombiennes**, qui ont vécu avec des « manques » techniques évidents<sup>50</sup>. Il en est des

---

<sup>48</sup> Gille, p. 441

<sup>49</sup> Une technique est toujours appuyée de façon ou d'une autre sur une science, or Needham a souligné la stagnation de la pensée scientifique chinoise (relativement à l'Occident). On peut aussi invoquer la féodalité bureaucratique, la puissante administration, les fortes corporations, qui figent dans les traditions et coupent de l'extérieur. Par contraste : l'économie occidentale, capitaliste, manufacturière et mercantile renversa tous les principes antérieurement admis et permettra un démarrage technique que la civilisation chinoise ne pouvait connaître.

<sup>50</sup> **a)** Peu ou pas d'élevage ; **b)** Peu ou pas de métallurgie (NB. Il est strictement impossible de déceler une ou des causes à cet état de fait : des hommes, dans certaines régions, ont découvert le moyen de réduire les minerais ailleurs non. La grande déficience est celle du fer. Ni le cuivre, ni le bronze, à plus forte raison l'or ou l'argent n'ont la dureté nécessaire pour la fabrication des outils) ; **c)** Comme nous l'avons déjà signalé, à Vera Cruz, au Mexique, avant le VIII<sup>e</sup> siècle, des jouets d'enfant, en particulier des chiens en bois, étaient montés sur quatre roues tournant autour de deux essieux. Malgré cela, la roue n'a jamais été utilisée pas les civilisations de l'Amérique précolombienne. On en voit tout de suite les conséquences importantes : ni poulie, ni treuil ou machine élévatoire, ni tour, de quelque sorte qu'il peut être, ni véhicule terrestre, ni, à plus forte raison, tout ce

Précolombiens, comme autrefois des Egyptiens : les grandes pyramides ne sont pas nécessairement la preuve d'une technologie développée. Symétriquement, une civilisation n'a pas besoin de techniques très poussées pour être brillante. Les civilisations précolombiennes connurent des arts remarquables qui peuvent tromper sur les autres aspects de cette civilisation, en particulier le niveau technique.

Cette question des systèmes bloqués est une véritable question, il faut la considérer comme telle : comme un problème, non comme une théorie. Le débat reste ouvert : pourquoi ce ne sont pas les Chinois qui ont construit un métier à filer efficace alors même que le modèle primitif était décrit par Wang Chen ?

### **Ex. Les cathédrales.**

Attelage du cheval, chariot à avant train mobile, développement des voies de communication, tout cela participent des cathédrales, *ces premiers grands chantiers modernes*. En l'espace de trois siècles, de 1050 à 1350<sup>51</sup>, la France a extrait plusieurs millions de tonnes de pierre pour édifier 80 cathédrales, 500 grandes églises et quelques dizaines de milliers d'église paroissienne. Les méthodes constructives, en sommeil depuis l'Antiquité, reprennent vie. Toutes les techniques et tous les métiers qui lui sont liés se réorganisent : exploitation de carrières, taille de pierres, fabrication de briques, mécanismes de levage, fabrication du verre, etc. D'un point de vue strictement technique les cathédrales ne constituent pas une avancée aussi importante que le développement des moulins hydrauliques ou de l'agriculture, certains disent même qu'elles furent improductives (accaparant l'essentiel des efforts et des talents). Mais *les cathédrales accompagnèrent la transformation des métiers* : les artisans locaux devinrent des ingénieurs itinérants ; ce qui favorisa les échanges et transferts techniques.

### **Ex. Le moulin et le haut-fourneau.**

L'époque médiévale reste centrée autour de l'eau, comme moyen de transport<sup>52</sup>, et comme source d'énergie. Sans moulin, l'eau n'est pas une énergie.

---

qu'on a pu tirer de la roue : la vis, le volant, les engrenages, la démultiplication, l'exploitation de l'énergie hydraulique ou éolienne. Il faut donc cesser de considérer comme naturel l'emploi d'une technique donnée.

<sup>51</sup> La Guerre de cents ans (1337-1453) achève de mettre un terme à la construction des cathédrales, et les cathédrales de Beauvais et d'Amiens, seront difficilement achevées dans les siècles suivants.

<sup>52</sup> Les voies romaines, qui formaient un réseau étendu et bien entretenu, sont depuis longtemps laissées à l'abandon lorsque, vers le X<sup>e</sup> s, le cheval et l'attelage par collier d'épaule modifient la notion même de distance. Les transports terrestres restent cependant, durant trois siècles environ, réservés aux personnes ainsi qu'aux marchandises de poids moyen. Les matériaux de construction sont alors plutôt acheminés par les nombreuses voies navigables. L'exploitation de l'eau se fait sous ses diverses formes : irrigation, navigation, énergie. Ce n'est pas par hasard que les Pays-Bas et l'Italie, connus pour leurs réseaux de digues et de canaux, pour leurs



L'expansion du moulin à eau dès le X<sup>e</sup> siècle n'est pas due à une innovation technique majeure. [...] Il s'agit en fait de la conjonction de facteurs aussi divers que :

- les changements dans l'agriculture : importation et culture de nouvelles catégories de blés nécessitant la substitution de la meule au pilon
- l'exploitation des forêts et donc la demande en scieries mécanisées
- les progrès de la métallurgie et de la demande en fer, et donc en forges hydrauliques
- le rôle des cisterciens qui ont mené une véritable politique de mécanisation dans les centaines de monastères qu'ils créèrent à travers toute l'Europe.
- l'évolution du système féodal : pénurie de main-d'œuvre due à la disparition des équipes d'esclaves dans les grandes villes (hypothèse à prendre avec prudence)
- la première urbanisation du XI<sup>e</sup> siècle et l'exploitation de l'eau à tous les niveaux : énergie, hygiène, transport... ;
- le réchauffement climatique de la fin du XII<sup>e</sup> siècle qui augmente notablement les rendements céréaliers<sup>53</sup>.

Parallèlement à l'essor du moulin, l'essor économique que connaît l'Occident au cours du XII<sup>e</sup> siècle, induit une demande croissante. Or (cela tombe bien !), c'est à la même époque qu'en augmentant la hauteur des foyers, on invente la méthode indirecte en sidérurgie<sup>54</sup>.

En Occident les moulins servirent d'abord à moudre le grain ; en Chine, ils servirent d'abord à actionner les soufflets des hauts fourneaux. Le Moyen Âge Occidentale n'invente pas le moulin à eau, il n'invente pas non plus l'eau comme énergie, mais il invente son exploitation à grand échelle. Utilisée dans un premier temps pour consacrer le minerai, puis au XIII<sup>e</sup> siècle pour actionner le martinet, l'énergie hydraulique est enfin utilisée pour mettre en mouvement les soufflets, préalablement manuels. Comme cela s'est produit plus de dix siècles auparavant en Chine, la méthode indirecte n'a pu voir le jour qu'avec l'expansion du moulin hydraulique, par un mouvement d'influence réciproque<sup>55</sup>. *Le moulin et le haut-fourneau forment donc un ensemble technique.* En Europe, il faudra donc attendre les années 1450, pour que l'utilisation de moulins à eau assurant le soufflage permette d'atteindre de plus hautes températures, et permette donc de réaliser la première coulée de fonte avec un haut-fourneau. C'est la base de la sidérurgie moderne qui connaît son plus fort développement à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, et sans laquelle la révolution industrielle n'aurait pas été possible.

### **Ex. Le système bielle-manivelle.**

Le **système bielle-manivelle** est un modèle de mécanisme qui doit son nom aux deux pièces qui le caractérisent, et qui permet la transformation d'un mouvement de rotation continue en un mouvement alternatif de rotation ou de translation, et réciproquement. Il apparaît à l'aube de la Renaissance et constitue une innovation de rupture qui vient s'ajouter

---

ports et leur commerce, qui dominent alors l'Europe (XIII<sup>e</sup>). Les marines méditerranéenne et nordique se distinguent tant par leur forme que par les techniques d'assemblage des coques et les moyens de propulsion.

<sup>53</sup> Bruno Jacomy, p. 179-180.

<sup>54</sup> Elle est dite indirecte car elle procède en deux temps : tout d'abord produire de la fonte dans un haut fourneau, ensuite transformer cette fonte en fer ou en acier par décarburation.

<sup>55</sup> Bruno Jacomy, p. 165-166.

aux chaînes cinématiques simples héritées des mécaniciens grecs. C'est l'exemple parfait de l'invention *tardive*. Autant la mise au point de l'horloge mécanique peut sembler précoce, autant celle du système bielle-manivelle nous apparaît étonnamment en retard. La transformation du mouvement circulaire continu en mouvement linéaire alternatif, et l'inverse, n'existe pas dans le monde antique occidental. Comment des hommes capables d'édifier des cathédrales et des digues, de construire machine et horloges peuvent-ils ignorer la manivelle ? « Historiquement et psychologiquement la manivelle reste une énigme »<sup>56</sup>.

C'est seulement aux XI<sup>e</sup> et XII<sup>e</sup> siècle que sont recensées les premières représentations de manivelles. De même qu'elle met en mouvement le moulin à bras, elle permet au joueur de vielle d'actionner sa roue. L'adoption d'une bielle demandera encore plus de deux siècles (fin du XIV<sup>e</sup> s). L'assimilation de cet ensemble par la pensée technique demandera beaucoup de temps. Rien ne semble moins naturel en effet que cette transformation de mouvement, d'autant que les deux points morts paraissent longtemps des obstacles infranchissables, et que les frottements occasionnés par ce mécanisme complexe ne sont pas maîtrisés. Ce n'est qu'avec l'adjonction d'un collant régulateur que le système bielle-manivelle trouvera sa pleine expansion. Le **rouet** en est à cet égard l'application type associant la pédale, la bielle, la manivelle et le volant. Personne ne sait vraiment qui et comment on a inventé le rouet, on sait juste qu'il est tardif (on le suppose de la fin du XV<sup>e</sup> siècle).

Le système bielle-manivelle a ainsi permis l'apparition d'un mécanisme d'un genre nouveau, d'abord de petite taille avec les machines à pédales qui libèrent la main de l'ouvrier (le tour, la meule, le rouet). L'interdiction de ce dernier, longtemps inscrite dans les règlements de corporations, montre combien cette innovation était pertinente parce que déstabilisante. Viendront ensuite des machines de plus grande taille actionnées par les roues des moulins, comme la scie hydraulique (Francesco di Giorgio Martini), la pompe aspirante et foulante (XVI<sup>e</sup> s.) ou encore le marteau hydraulique qui permet de forger des pièces de grande dimension.

Ce système, apparemment triviale, cache donc de vrais problèmes techniques : après plus d'un siècle d'existence, le moteur thermique n'a pu trouver d'autre alternative pour la variation de volume dans la chambre de combustion. Le bielle-manivelle tournera donc encore un peu...

### **Ex. La poudre noire.**

Le médecin alchimiste du début de la dynastie Tang (VII<sup>e</sup> siècle), Sung Simiao décrit déjà comment il a obtenu un mélange explosif en cherchant à confectionner l'élixir d'immortalité.

---

<sup>56</sup> Lynn White Jr. *Technologie médiévale et Transformations sociales*, p. 119

Il explique que si l'on mélange des sulfures et du charbon de bois au salpêtre, on peut obtenir une combustion violente en y mettant le feu.

La découverte de la poudre noire est une chose, l'invention de la poudre à canon en est une autre. Entre la découverte d'un explosif et son utilisation maîtrisée, la voie est longue. Entre les feux d'artifice et l'artillerie, ce n'est pas seulement l'usage d'une même technique qui change, car une même technique dans deux ensembles techniques différents n'est plus tout à fait une même technique. La discussion est encore ouverte de savoir si les Arabes héritèrent de la poudre à canon ou l'inventèrent de leur côté de manière parallèle à la Chine. La filiation n'est en tout cas pas facile.

Pour Jean Baudet, la poudre noire (pour canon) représente la toute première fois depuis l'invention de l'outil (*i.e* depuis la naissance de l'humanité) où la technique effectue une novation absolue : « l'explosion de la poudre noire est un phénomène qui n'a aucun équivalent dans la nature. Aucun. Le feu grégeois n'était encore qu'un feu intense, dont l'extinction était très difficile, mais c'était un feu, comme celui allumé par un orage en saison sèche. Il n'y a pas dans la nature d'explosion semblable à celle de la poudre ! Ceci va faire naître chez les ingénieurs l'idée que la nature peut être non seulement imitée mais dépassée. L'idée de pouvoir s'affranchir même des contraintes naturelles va se développer. Bientôt. Nous verrons que la Renaissance, c'est aussi l'époque du docteur Faust »<sup>57</sup>.

### **Ex. L'imprimerie.**

Il paraît difficile d'admettre comme on l'a fait, que l'imprimerie dérive du **cachet**, car cet objet est connu depuis longtemps dans d'autres civilisations qui ne créèrent par l'imprimerie. Il n'est pas sûr non plus que la **xylographie** (planche en bois), puis la **typographie** (caractères mobiles en argile puis en métal en Corée en 1603) asiatique, puisse être considéré comme l'ancêtre de l'imprimerie, telle que nous la connaissons en Occident depuis plus de cinq siècles. L'imprimerie chinoise chemine vers l'Ouest pour atteindre l'Égypte vers la fin du Moyen Âge, mais sera bloqué par l'Islam qui refusait l'usage de l'imprimerie pour les écrits sacrés, et s'arrêtera donc aux portes de l'Occident. Celui-ci redécouvrira de son côté la technique de l'impression par caractères métalliques mobiles en Allemagne au milieu du XV<sup>e</sup> siècle, et le perfectionna rapidement, ce que ne firent pas les Chinois avant l'âge classique.

L'imprimerie est une des grandes découvertes attribuées à l'Extrême Orient, mais reste à savoir pourquoi cette découverte ne fut pas là-bas, révolutionnaire. L'imprimerie est un

---

<sup>57</sup> Baudet, 140-141. L'auteur, a précédemment affirmé le caractère « naturel » des autres techniques qui semblent « évidentes » comme la roue. Mais cette manière de parler est tout à fait contestable : si le vent est naturel, le moulin à vent ne l'est pas, on ne passe pas « évidemment » de l'un à l'autre.

exemple type de la distinction entre *invention* d'une technique et *innovation* d'une technique. L'innovation suppose d'en faire bénéficier plus d'un. L'invention, attribuée à Gutenberg, de la véritable imprimerie, née en Europe vers le milieu du XV<sup>e</sup> siècle est celle de **caractères métalliques** composés avec un **alliage** particulier, d'une méthode pour les **assemblages** de ces différents caractères, d'une **encre** appropriée et de la **presse**.

Remarquons bien que l'imprimerie, comme la caravelle, comme l'horloge mécanique, comme l'artillerie à poudre, est une **organisation technique**, c'est-à-dire un ensemble de plusieurs idées, qui sont aussi bien, en l'occurrence, plusieurs objets : poudre et canon, poids et foliot, gouvernail d'étambot et multiplication mâts, caractères métalliques et presse.

Si la poudre à canon (qui en détruisant les châteaux forts participa lentement à la fin de la structure féodale) et l'imprimerie (qui en « démocratisant » lentement le savoir participa lentement à dix siècles de monopoles de l'Eglise) n'ont pas eu d'effets dans leurs pays d'invention (la Chine), c'est bien que la technologie ne transforme pas automatiquement la société. L'idée que l'on se fait de la technique est tout aussi déterminante que la capacité technique proprement dite, c'est bien elle qui, en l'occurrence, suscite ou non l'évolution d'une possibilité technique.

## **5. LES TECHNIQUES CLASSIQUES (XVI<sup>E</sup>-XVIII<sup>E</sup>)**

Cette étape est une transition, dont on ne saura jamais si on doit la lire comme la fin d'une époque ou comme le commencement d'une nouvelle. Cette étape bénéficie de tous les acquis technologiques du Moyen Âge et prépare la voie à l'industrialisation de l'étape suivante. Cette époque est partagée entre *Renaissance des Ingénieurs* et *Naissance de la science moderne*. Cette étape pose une question qui est toujours d'actualité : *quels sont les rapports de la science et de la technique ?*

### **Des Ingénieurs de la Renaissance à la révolution scientifique.**

La Renaissance n'est pas tant une renaissance des techniques, qu'une renaissance des arts. D'un point de vue technique, le XVI<sup>e</sup> siècle est la conséquence de la période d'innovations qui s'ouvre au XII-XIII<sup>e</sup> siècle.

Cependant, une figure nouvelle apparaît, celle de l'ingénieur de la Renaissance qui ne tranche pas entre les arts mécaniques et les arts libéraux, entre le technicien et l'artiste. L'art du dessin conduit au design technologique. Au XV<sup>e</sup> siècle, l'artiste ne s'est pas encore émancipé du technicien, l'architecte n'est pas encore émancipé de l'ingénieur.

À l'origine simple contremaître dont le rôle est de diriger la main d'œuvre, l'ingénieur est devenu un spécialiste capable de concevoir ; et dont le savoir est autant d'ordre mathématique que magique (la magie est alors la production d'effets ; contrairement à la sorcellerie, il n'y a pas d'élément surnaturel dans la « magie naturelle », soit dans la technologie). La révolution scientifique est d'abord une révolution d'ingénieur, mais l'ingénieur s'il est d'abord un manuel, est devenu un intellectuel, comme l'avocat, le médecin, l'enseignant ou le clerc.

C'est en 1500 que César Borgia, à Florence, engage un ingénieur pour s'occuper de divers travaux : **Léonard De Vinci**. Léonard, chacun le sait, est un grand artiste, est-il pour autant un grand ingénieur ? Est-il pour autant un grand savant ? Toutes nuances faites, Bertrand Gille a répondu non à la première question, Alexandre Koyré, non à la seconde. On a pu donc tempérer le mythe, mais Léonard reste un des ingénieurs-artiste les plus emblématiques de la Renaissance, du moins dans ses *projets*. On pourra évoquer aussi Simon Stévin (et son premier engin automobile ou char à voile, par exemple), ou bien Francesco di Giorgio Martini (et sa turbine hydraulique). Les titres des livres donnent le ton : la représentation de la machine oscille entre théâtre des merveilles et ingéniosité mathématique. J.Besson, *Theatrum instrumentorum et machinarum mathematici ingeniosissimi*, 1578. A. Ramelli, *Le diverse et*

*artificiose machine, nelle quali si contengono varii et industriosi movimenti, degui di grandissima speculacione*, 1588.

Si le **XVII<sup>e</sup> siècle** n'a pas fait d'invention technique vraiment majeure, il a tout de même à son actif le début de deux *aventures techniciennes qui ne prendront tout leur sens que bien plus tard* : celle du **calcul automatique**<sup>58</sup>, et donc de l'informatique, et celle de la **machine à vapeur**, et donc de la maîtrise de l'énergie. Mais ni les débuts du calcul mécanique, ni ceux de l'utilisation effective de la vapeur ne furent spectaculaires, ils furent presque ignorés des contemporains. Le XVII<sup>e</sup> siècle est un siècle où les **techniques de l'information ou du savoir** connaissent une réelle mutation, avec le projet de lier mathématique et écriture (projet de Leibniz d'une langue universelle), avec surtout l'invention du périodique scientifique, et plus encore avec l'idée que l'instrument donne des informations (quantifiées).

La première moitié du XVII<sup>e</sup> siècle est l'instigatrice de la révolution scientifique. On peut la résumer en trois noms propres. L'anglais **Francis Bacon** (1561-1626), père de la méthode expérimentale qui réhabilite les « *arts mécaniques* » ; l'italien **Galileo Galilei**, dit Galilée (1564-1642), père de la physique-mathématique avec sa loi de la chute des corps ; le français **René Descartes** (1596-1650), père de la philosophie mécaniste. On cite toujours les mêmes phrases : Galilée affirmant que la nature est écrite en langage mathématique, Descartes affirmant que la science, via la technique, nous rendra maître et possesseur de la nature<sup>59</sup>.

Il est sûr que l'ajustage technique a joué un grand rôle dans la révolution scientifique, mais on ne peut pas dire pour autant qu'elle en est la cause<sup>60</sup>. Accordons à Alexandre Koyré que ce

<sup>58</sup> La machine à calculer est inventée par Schickard en 1623. Près de vingt ans plus tard, sans doute indépendamment, Blaise Pascal fabrique une machine à additionner et soustraire par le moyen d'engrenages, qui sera commercialisée sous le nom de Pascaline.

<sup>59</sup> « Mais, sitôt que j'ai eu acquis quelques notions générales touchant la physique, et que, commençant à les éprouver en diverses difficultés particulières, j'ai remarqué jusques où elles peuvent conduire, et combien elles diffèrent des principes dont on s'est servi jusques à présent, j'ai cru que je ne pouvois les tenir cachées sans pécher grandement contre la loi qui nous oblige à procurer autant qu'il est en nous le bien général de tous les hommes : car elles m'ont fait voir qu'il est possible de parvenir à des connoissances qui soient fort utiles à la vie; et qu'au lieu de cette philosophie spéculative qu'on enseigne dans les écoles, on en peut trouver une pratique, par laquelle, connoissant la force et les actions du feu, de l'eau, de l'air, des astres, des cieux, et de tous les autres corps qui nous environnent, aussi distinctement que nous connoissons les divers métiers de nos artisans, nous les pourrions employer en même façon à tous les usages auxquels ils sont propres, et ainsi *nous rendre comme maîtres et possesseurs de la nature*. Ce qui n'est pas seulement à désirer pour l'invention d'une infinité d'artifices, qui feroient qu'on jouiroit sans aucune peine des fruits de la terre et de toutes les commodités qui s'y trouvent, mais principalement aussi pour la conservation de la santé, laquelle est sans doute le premier bien et le fondement de tous les autres biens de cette vie ; car même l'esprit dépend si fort du tempérament et de la disposition des organes du corps, que, s'il est possible de trouver quelque moyen qui rende communément les hommes plus sages et plus habiles qu'ils n'ont été jusques ici, je crois que c'est dans la médecine qu'on doit le chercher. » DESCARTES, *Discours de la méthode*, Sixième partie

<sup>60</sup> La citation suivante est donc à prendre avec précaution : « C'est parce que le développement technique a entraîné l'usage du métal non plus seulement pour des objets simples (hache, épée, cuirasse...) mais pour des objets complexes (pompe aspirante et foulante, roue dentée, mise à feu avec platine, chien et bassinet, serrurerie, etc.) que l'ajustage, puis l'instrumentation, puis la mathématisation apparaissent au XVI<sup>e</sup> siècle » Baudet, p. 164

n'est pas le télescope qui est à l'origine de la révolution copernicienne ; *la révolution scientifique* du XVII<sup>e</sup> siècle (Galilée, Descartes, Newton) *n'est pas une révolution technologique*. Cependant, si la science n'est pas la technique, leur histoire se nourrissent l'une de l'autre, et se croisent parfois au point de ne plus pouvoir se distinguer l'une et l'autre. On discutera encore longtemps de savoir si Galilée constitue le dernier grand ingénieur dans la lignée d'Archimède ou le premier grand scientifique dans la lignée de Newton. Sans s'entendre sur la prééminence de l'une et de l'autre, on admet que la physique moderne est à la fois une affaire de mathématique *et* de pratiques expérimentales.

Descartes avait compris l'essentiel : tout ce qui est artificiel est aussi bien naturel ; autrement dit, les lois de l'horloge sont les lois de la nature. En quelque sorte, le grand mécanicien français **Jacques de Vaucanson** et son projet d'un homme artificiel prolonge le projet cartésien. Ces célèbres **automates** ont explicitement pour but de connaître le vivant, son canard qui « mange » est la réalisation concrète d'un biomécanisme : faire pour connaître, simuler pour comprendre.

« **Mesure** » est le mot-clé de la révolution scientifique, et de l'évolution désormais continue du progrès technique. Les ingénieurs de la Renaissance apportent à la science l'instrumentation. Auparavant, on utilisait les moyens métrologiques pour les besoins du commerce (à l'exception des astronomes), autrement dit, *les Anciens ne mesuraient pas pour connaître le monde*. Petit à petit, connaître le monde, ne consista plus à lire des livres, mais à soumettre directement le monde à la question en mesurant et en expérimentant.

### **Les manufactures (XVII<sup>e</sup> siècle) et Grandes Ecoles (XVIII<sup>e</sup> siècle).**

Ici, le mot « **manufacture** » (du latin *manufactura*, « fait à la main ») est d'abord un symbole ; il symbolise le moment où l'« artisan » se fait « ouvrier », où les corps de « métiers » se font « industrie ».

Les corps de métier, dont les règlements limitaient le nombre de compagnons et d'apprentis, fixaient précisément le domaine et les procédés d'activité, furent élargis à des établissements industriels et commerciaux à statut de droit public. Le rassemblement de moyens de production par l'association d'ouvriers n'est certes pas nouveau, mais c'est bien au XVII<sup>e</sup> siècle que la manufacture se développe. Sous l'impulsion de Colbert, de plus en plus d'établissements s'ouvrent, encouragés par les pouvoirs publics, pour la production en grande quantité de certains produits destinés principalement aux besoins de l'Etat ; il y a donc une *organisation rationnelle de la production sur le plan national*. Colbert est un importateur de technique, ainsi de la manufacture des glaces de Saint-Gobain permettant la diffusion de la

**vitre**, à partir des techniques des verriers de Venise. Colbert institue en 1669 la fonction d'Inspecteur des manufactures chargé de vérifier si les manufactures respectent les règles établies par l'autorité, qui assureront un double rôle de contrôle et de transmission de l'information technique. Cette date marque une étape importante.

On peut parler des ingénieurs de la Renaissance, mais ce n'est véritablement que dans la seconde moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle qu'une classe d'ingénieurs voit le jour avec la naissance d'un savoir proprement technique enseigné dans les Grandes Ecoles. Les premières ont été créées par l'État au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle, dans le but de fournir les cadres techniques et militaires des grands corps de l'État : Armée, Mines, Eaux et forêts, Administration centrale, Ponts et chaussées, Agriculture, Ports et arsenaux, Science vétérinaire, etc. En 1794 : création de trois grandes écoles : l'École centrale des travaux publics, rebaptisée École polytechnique, 1795 ; l'École normale et le Conservatoire national des arts et métiers.

### **Bilan des techniques en 1700.**

Les **techniques de construction** n'ont pas subi de changement important depuis l'Antiquité. Les matériaux sont toujours le bois, la pierre, la brique. Le travail est manuel, les matériaux étant extraits, débités, transportés et positionnés à main d'homme. Un certain machinisme existe toutefois, et s'est particulièrement développé depuis les constructeurs de cathédrales au Moyen Âge (engins de levage, brouettes, scies hydrauliques). L'organisation du territoire (routes, canaux) n'est pas non plus fondamentalement différente de celle des Romains. Par contre, dans les **techniques de transport**, les choses ont bien changé, sur terre et sur mer. Certes un cavalier ne se déplace pas plus vite en 1701 qu'au temps de Jules César, mais le transport des voyageurs et des marchandises est sans commune mesure du fait, entre autres, du progrès des techniques d'attelages. De même, du point de vue des transports maritimes, les capacités de navigation hauturière du XVIII<sup>e</sup> siècle (pouvant transporter des milliers de tonneaux ou des centaines de canons et pouvant désormais s'orienter en pleine mer) sont sans commune mesure avec les caravelles du Moyen Âge ou les galères grecques et médiévales. C'est l'époque de la conquête du monde ou, au sens propre, de la globalisation (circumnavigation).

Les **techniques de l'agriculture et de l'élevage** n'ont pas fondamentalement changé depuis le néolithique, sauf sur deux points. L'outillage aratoire, en fer, est plus perfectionné. Les espèces cultivées sont plus variées, du fait de l'introduction de plantes provenant des Indes (tomates, maïs, manioc, haricot, etc.). Dans le domaine des **matériaux**, la liste des métaux connus et de leurs alliages s'allongent. La production du fer s'est considérablement



améliorée par le procédé indirect (haut fourneau). La « chymie » qui succède à l'alchimie participera de l'augmentation constante des substances non métalliques. L'**extraction** minière a progressé grâce au **machinisme** (treuils pour la remontée des produits extraits, machines hydrauliques pour le concassage des minerais, etc.).

C'est du point de vue des **techniques de l'énergie** que le changement fut considérable. Jusqu'au X<sup>e</sup> siècle, donc pendant des millions d'années, l'homme ne connaît que deux sources d'énergie : la force musculaire de l'homme et celle des animaux. Entre le X<sup>e</sup> et le XVII<sup>e</sup> siècle, s'y ajoutent l'eau et le vent des moulins. Enfin à l'extrême fin du XVII<sup>e</sup> une nouvelle source d'énergie apparaît mais dont on ne soupçonne pas encore toutes les possibilités : le feu, c'est-à-dire en réalité le bois et le charbon de terre. Jusqu'au X<sup>e</sup>, les productions exigeant de l'énergie (moudre du grain pour faire la farine, scier du bois pour faire des planches, forger du fer pour fabriquer des épées, tisser des fils pour faire des toiles) pouvaient être localisées n'importe où puisque des hommes (esclaves, puis serfs) fournissaient l'énergie nécessaire. Entre le X<sup>e</sup> et le XVII<sup>e</sup>, elles devront être proches d'un cours d'eau au débit suffisamment abondant et régulier, ou devront se situer dans une région aux vents fréquents. Au XVII<sup>e</sup> siècle, l'énergie hydraulique et les manèges à cheval restent les sources d'énergie les plus courantes<sup>61</sup>. Désormais, elles devront se situer à portée d'une source abondante de bois ou de charbon.

### **Ex. L'Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers.**

En 1751 parurent les deux premiers tomes de l'*Encyclopédie*<sup>62</sup> dont Diderot a défini l'enjeu :

Le but d'une encyclopédie est de rassembler les connaissances éparses sur la surface de la terre; d'en exposer le système général aux hommes avec qui nous vivons, et de le transmettre aux hommes qui viendront après nous; afin que les travaux des siècles passés n'aient pas été inutiles pour les siècles qui succéderont; que nos neveux devenant plus instruits, deviennent en même temps plus vertueux et plus heureux; et que nous ne mourions pas sans avoir bien mérité du genre humain.

L'*Encyclopédie*, on le voit, c'est typiquement l'esprit des Lumières.

Les innovations de l'*Encyclopédie* par rapport aux autres grands Dictionnaires universels de son temps se marquent essentiellement sur quatre plans : **1)** Entreprise collective, elle fait appel aux savants spécialisés, donc aux savoirs vivants et non plus seulement aux compilations livresques ; **2)** elle est un dictionnaire, certes, mais raisonné. Chaque article est, en principe, accompagné de la « branche » de savoir dont il relève, permettant ainsi d'obvier à l'arbitraire de l'ordre alphabétique par une lisibilité transversale renforcée par le système des

<sup>61</sup> Comme l'illustre la spectaculaire machine de Marly (1684), ce complexe de 14 roues hydrauliques animant 221 pompes ravitaillant Versailles en eau

<sup>62</sup> L'ouvrage, prévu pour constituer dix volumes, atteindra, à son achèvement, 28 volumes - 17 de discours et 11 de planches - et aura demandé plus de 25 ans de travail.

renvois entre articles (qu'on a pu qualifier comme l'ancêtre de l'*hypertexte*) ; **3)** elle **intègre les « arts mécaniques »** (et non pas seulement les « arts libéraux ») dans le cercle des connaissances : la description des arts et des métiers, impulsée par Diderot, unit l'inventaire des procédés de fabrication, des inventions techniques à la divulgation des secrets d'ateliers. Loin de se limiter à un glossaire de termes techniques, elle inclut une collection sans précédent de définitions; elle témoigne, entre autres, de l'extraordinaire effort de Diderot pour penser une « langue des arts », devenant ainsi - citons Jacques Proust – « le premier homme de lettres qui ait considéré la technologie comme une partie de la littérature » ; **4)** elle offre 11 volumes de planches, relais indispensable à la description des métiers.

« Parmi les 2 900 planches gravées qu'elle renferme, les deux tiers des machines représentées sont mues par la force musculaire – celle de l'homme et du cheval essentiellement –, le tiers restant se référant aux énergies « naturelles » –, le vent et l'eau. Plus de la moitié de ces machines fonctionnent à l'énergie humaine : rouets, tours, cabestans, treuils, roues à échelons, etc. Cette remarque préliminaire n'a pour simple but que de mettre en garde le lecteur sur l'importance qu'on peut être amené à donner à certaines machines ou techniques qui, pour être des étapes importantes dans l'histoire des techniques, ne sont parfois que des phénomènes isolés dont on se gardera de faire des généralisations hâtives. C'est le cas, notamment, de la machine à vapeur au XVIII<sup>e</sup> siècle, dont l'importance est capitale en regard de la suite de l'histoire, mais dont le nombre d'exemplaires, en France, ne dépasse pas quelques dizaines avant 1800 »<sup>63</sup>

---

<sup>63</sup> Jacomy, 211.

## 6. L'INDUSTRIALISATION (XVIII<sup>E</sup> -XX<sup>E</sup>)

Il ne suffit pas d'une « invention » pour passer d'une technologie préindustrielle à une technologie industrielle ; il faut changer de mode de pensée. S'il y a une idée qui pourrait caractériser l'époque intellectuelle qui va des Salons des Lumières aux Expositions Universelles de la Belle Époque ce serait peut-être celle de **Progrès**. L'idée de progrès était telle, qu'il fut même une époque, celle du scientisme (~1860-1890), où l'on pensait qu'il avait atteint son terme : l'opinion éclairée ne fut pas très éloignée de croire qu'il serait difficile d'aller au-delà de l'état que l'on connaissait alors dans le progrès technique<sup>64</sup>.

Il ne faut pas penser qu'une invention est toujours de l'ordre matériel : la division du travail et la reproductibilité du geste mécanisé sont par exemple indissociables du productivisme industriel. La révolution industrielle n'est pas seulement une révolution technologique qui, pour dire vite, passerait du bois au fer (comme si les charpentiers et menuisiers prenaient aux serruriers et aux horlogers, à la fois leur précision et leur matériau), c'est aussi une révolution économique qui change de mode de production. Depuis les fameuses épingles au XVIII<sup>e</sup> siècle, et plus encore au XIX<sup>e</sup> siècle, la fabrication se fait **en série**. Ce qui est important à partir de la fin du XVIII<sup>e</sup> ce n'est pas tant telle ou telle machine, ce n'est pas tant telle invention qui bouleverse les fabrications chimiques ou métallurgiques, c'est l'idée de rationalité appliquée au domaine économique. L'industrialisation n'est pas seulement l'apparition de nombreuses machines, ni la disponibilité d'une nouvelle forme d'énergie, c'est les **économies d'échelle** et donc la **production de masse**. La révolution industrielle ne fut pas seulement la conséquence de la machine à vapeur ou du haut fourneau à coke, car pour que ces techniques se réalisent, il fallait d'abord penser ce que ces machines rendent possibles. Cela aurait pu arriver au Moyen Âge si cela n'avait été qu'une affaire de nouvelles machines, mais il fallait d'abord l'instrumentation des ingénieurs de la Renaissance, le rationalisme de la science moderne, et les démonstrations d'amélioration de productivité (Thomas Newcomen, John Kay)

Ces précautions prises, on dira, comme à l'ordinaire, que la révolution industrielle est l'explosion de l'**industrie textile**, l'évolution des procédés de **production sidérurgique**, l'exploitation de plus en plus intensive d'une **nouvelle source d'énergie** (la vapeur),

---

<sup>64</sup> En 1887, le directeur du bureau des brevets de New York démissionne parce qu'il n'y a plus rien à inventer ! En cette même année, le très laïc ministre de l'Instruction publique, le chimiste Marcellin Berthelot affirme « Pour la science, le monde est désormais sans mystère » !

l'innovation de la **mécanique du fer** et le perfectionnement ou la création des **machines-outils** métalliques, enfin, on pourrait ajouter la naissance de l'industrie chimique<sup>65</sup>. On ne comprend rien à une telle énumération si on la comprend chronologiquement, ce qu'il faut comprendre c'est le renforcement mutuel de toutes ces innovations (par exemple, l'expansion des transports, sur mer puis sur terre, est tout autant la *cause* que la *conséquence* de la révolution industrielle) On se trompe quand on fait seulement de la révolution industrielle le produit d'une nouvelle invention (la machine à vapeur), car les machines-outils fondamentales, le développement des laminoirs, des grandes forges, le travail de la fonte malléable, sont, *si on les considère séparément*, antérieures à la révolution industrielle : la révolution industrielle de la fin du XVIII<sup>e</sup> est donc celle de leur nouvelle *synthèse*.

L'expression de « **révolution industrielle** » fut créée au XIX<sup>e</sup> siècle. Tous les historiens s'accordent à parler de « révolution industrielle », mais tous ne s'accordent pas sur son interprétation. Une chose semble certaine, l'Angleterre semble en être l'instigatrice. La révolution industrielle commence véritablement au XVIII<sup>e</sup> siècle et ne s'épanouit véritablement qu'au XIX<sup>e</sup> siècle : elle commence à la **fin du XVIII<sup>e</sup>** siècle dans l'**Angleterre** ; puis, plus tardivement, en Belgique, en France, en Allemagne, aux Etats-Unis, au Japon, en Russie, durant le XIX<sup>e</sup> siècle.

Le phénomène nouveau apparu au cours du XII<sup>e</sup> siècle était l'importance des cours d'eau comme énergie motrice, besoin qui, nous l'avons vu, n'existait pratiquement pas dans l'Antiquité, même chez les Romains qui connaissaient pourtant le moulin à eau. La nouveauté de la révolution industrielle en matière énergétique est le rôle des « transmetteurs » d'énergie, intercalant une couche supplémentaire entre la source et l'utilisation.

Jusqu'à la moitié du XIX<sup>e</sup> siècle environ, les unités de production, qu'il s'agisse du simple moulin à grain, de la forge ou de l'usine textile, restent en majorité concentrées près des rivières. Le changement se produira progressivement à l'intérieur des usines, par l'arrivée successive de la vapeur, de l'eau sous pression, puis de l'air comprimé comme moyens de transmission de la force motrice. C'est l'électricité qui créera une mutation radicale dans la distribution de l'énergie à l'aube du XX<sup>e</sup> siècle. Avec elle, l'énergie peut être transmise à de grandes distances, et être utilisée avec une souplesse jamais atteinte. Certes, cela ne se fera pas en un jour : il faudra régler le délicat problème des pertes en ligne, qui ne sera résolu véritablement qu'avec l'invention des transformateurs statiques dans les années 1880. Toutefois, c'est tout le système technique de notre siècle qui se verra progressivement modifié avec l'avènement de notre siècle qui se verra profondément modifié avec l'avènement de la distribution de l'électricité. Les réseaux, un des éléments prépondérants de notre système technique contemporain, sont nés avec l'électricité, et sont aujourd'hui à tels points répandus que l'homme a perdu une grande part de son autonomie. Le paysan de l'Ancien Régime pouvait encore vivre en relative autarcie, l'homme d'aujourd'hui est intimement dépendant des réseaux d'énergie et de communication qui dépassent largement l'échelle même d'un pays<sup>66</sup>.

On résumera la différence ainsi :

– **Système technique préindustriel : SOURCES** (eau, bois, animal) → **UTILISATION** (moulins, forges, textiles, papier...)

<sup>65</sup> Acide sulfurique et soude à la fin du XVIII<sup>e</sup> et le celluloïd à la fin du XIX<sup>e</sup>.

<sup>66</sup> Jacomy, p. 256-258.

– **Système technique industriel : SOURCES** (eau, houille, pétrole, gaz, nucléaire) → **TRANSMETTEURS** (vapeur, eau, air comprimé, électricité) → **UTILISATION** (moteurs, machines, usines, véhicules...)

### **La révolution industrielle anglaise.**

La révolution industrielle anglaise fut la première, la plus rapide, mais ne se fit pas du jour au lendemain. Les mutations commenceront à se manifester au cours du XVIII<sup>e</sup> siècle pour devenir plus profonde et *toutes solidaires les unes des autres*. Chaque technique renforçant les autres et chacune s'entraînant dans une course au toujours plus (ce qu'on nomme « profit » ou « croissance »). La révolution industrielle anglaise fut l'interdépendance de multiples facteurs : une **réforme de l'agriculture**<sup>67</sup>, une explosion de l'industrie du **textile**<sup>68</sup>, une exploitation des **moteurs à vapeurs**, un développement constant des **techniques sidérurgiques** et de **l'exploitation charbonnière**, une construction de plus en plus sophistiquée des **machines outils**.

*Le couple premier de l'industrie est celui du **charbon** et du **fer**, la **vapeur** viendra ensuite s'introduire entre les deux.* Tout cela forme système : **charbon-vapeur-fer**. Les techniques du charbon (de terre) sont directement à l'origine de la coke et de la fonte, elles contribuèrent aussi indirectement aux premiers rails<sup>69</sup>, au premier gaz d'éclairage<sup>70</sup>, et surtout aux machines à vapeur puisque celles-ci furent d'abord conçues pour aider le mineur.

Au début du XIX<sup>e</sup> siècle, l'industriel John Cockerill (1790-1840) parcourait l'Europe pour installer des machines à vapeur dans les hauts fourneaux, mais aussi dans les usines de textile<sup>71</sup>.

---

<sup>67</sup> Cette réforme est politico-juridique : passage des *open fields* aux *enclosures*. Deux conséquences : l'une économique, la substitution de l'élevage intensif à la culture extensive ; l'autre sociale, la disparition de la majorité des petits propriétaires et des ruraux qui ne trouvaient leur ressource principale que grâce aux pâtures. Exode rural.

<sup>68</sup> À titre d'exemple, entre 1701 et 1802 l'importation anglaise de coton brut passa de un à plus de soixante milliers de livres ; en sens inverse, l'exportation des produits de coton manufacturés passa de 360 000 à 7 800 000 de 1780 à 1802.

<sup>69</sup> On avait besoin de transporter plus rapidement le charbon et le minerai de fer extrait des mines, on inventa donc le « chemin de fer » (avant la locomotive). En 1804, Richard Trevithick mit au point la première locomotive sur rails pour tracter les wagonnets de charbon dans les houillères, mais il faudra attendre 1825, pour que les frères Stephenson créent une locomotive capable de tracter un train de 90 tonnes et de 70 m de long.

<sup>70</sup> Quand on distille le charbon pour fabriquer du coke, on obtient un gaz capable de brûler en produisant une flamme vive, presque blanche; c'est le « **gaz de houille** ». À partir de cette découverte le français Lebon et l'anglais Murdoch développèrent l'éclairage au gaz. Ce fut le début de l'éclairage des villes et des ateliers avec les becs de gaz (après 1815).

<sup>71</sup> Un des événements essentiels de l'histoire de la machinerie textile repose sur son utilisation de la vapeur, via la machine mise au point par Watt entre 1765 et 1785, qui contribue à accroître la concentration, dans la manufacture, autour de la source d'énergie.

### Ex. Les machines à vapeur.

Les mécaniciens Grecs firent des recherches importantes, mais ils ne furent pas non plus les précurseurs en toutes choses. Il est abusif de faire de l'éolipyle d'Héron l'ancêtre de la machine à vapeur. Pourquoi ? Car entre Héron et Watt, il n'y a pas de commune mesure. Il est abusif de faire des mécaniciens Grecs de la régulation automatique, même si l'écoulement de l'eau ou la chute d'un poids pouvait servir à l'occasion de régulateur. Il faut se méfaire du **mythe du précurseur**. Car il ne suffit pas d'inventer une technique pour modifier un système technique ; car, bien souvent, l'idée technique semble pareille, alors qu'elle est en réalité différente. Si l'arbre à cames a été entrevu par les mécaniciens grecs pour la construction de leurs automates, le système n'a été utilisé pour mouvoir des outils qu'aux premiers siècles du Moyen Âge, précisément à l'époque du début de la diffusion du moteur hydraulique. Le savoir-faire n'implique pas le faire, puisque le faire suppose un système technique.

*Les machines à vapeur supposent le développement industriel de la sidérurgie qui suppose lui-même les machines à vapeur.* Le développement de la sidérurgie au XVIII<sup>e</sup> siècle a suivi un chemin parallèle à celui de l'industrie textile, et a conduit la vieille industrie du fer à une transformation radicale. L'industrie textile s'est bâtie autour de deux principales phases : la filature et le tissage [cf. « machinerie textile »]. L'industrie sidérurgique, depuis le Moyen Âge, se décompose elle aussi en deux étapes principales : la fonderie, qui produit de la fonte à partir du minerai de fer, et la forge, qui transforme la fonte en fer par affinage. 1) La première innovation importante, en 1709, est l'utilisation du coke à la place du charbon de bois dans le haut fourneau<sup>72</sup> ; 2) comme dans le cas du textile, ce fut la seconde étape qui freina le développement de l'ensemble, pour exploiter le surplus de fonte produite il fallut que soit mis au point un nouveau procédé d'affinage dans les années 1780 (qui consistait d'une part à décarburer la fonte dans les fours à puddler, et d'autre part à étirer le métal dans les laminoirs après cinglage). Ces deux étapes illustrent deux points essentiels de l'histoire des techniques : la première est un exemple parmi tant d'autres d'une **importation d'une technique venue de l'extérieur** -en l'occurrence Darby transféra la coke de la brasserie à la fabrication de la fonte) ; la seconde est un exemple parmi tant d'autres d'une **découverte simultanée** qui

---

<sup>72</sup> La technique de la métallurgie fut liée, jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle, à l'usage du charbon de bois, et son développement entraînait partout la déforestation. C'est en Angleterre, où la houille s'offrait si facilement, qu'apparurent les premiers procédés d'utilisation du charbon de terre. En 1709, Abraham Darby utilisa la technique de purification du charbon de terre: en chauffant du charbon sans flamme, les impuretés se dégagent sous forme de fumées et de goudron et l'on obtient du carbone pur, c'est à dire du « **coke** ». Ainsi naît une nouvelle technique : dans les hauts fourneaux, on utilise maintenant le coke pour faire fondre le minerai de fer, on obtient de la fonte, c'est à dire un alliage de fer et de carbone. Cependant, un siècle entier s'est écoulé avant que disparaissent complètement les fourneaux au charbon de bois, et l'extraction de minerai n'a décollé vraiment qu'à partir des années 1780 (2,5 Mt à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, plus de 50 Mt en 1850).

illustrent bien en quoi la psychologie de l'inventeur est soumise au système technique et à la logique de son temps (en l'occurrence découverte simultanée par Cort et Onion). À la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, l'ensemble technique de la sidérurgie s'est déjà profondément modifié et l'eau, précédemment nécessaire pour actionner les soufflets, n'est plus indispensable. La houille sert de combustible à la fois la réduction et pour l'alimentation de la machine à vapeur actionnant les soufflets. Dès lors, l'industrie sidérurgique n'est plus liée à la proximité géographique d'une rivière et peut s'implanter près des mines. L'important est de comprendre le **cycle métallurgique** : produire du fer pour fabriquer des machines métalliques qui participent de la production du fer, etc.

Le contexte de la machine à vapeur est d'abord un contexte où *science et technique se donnent la main* (d'Otto de Guericke à Sadi Carnot). C'est au XVII<sup>e</sup> siècle que cette technique de la vapeur se développe avec le français Denis Papin et l'anglais Thomas Savery<sup>73</sup>. Ces machines étaient des machines outils qui ne pouvaient pas se passer de l'homme pour fonctionner, et qui ne fonctionnèrent d'ailleurs pas si bien : « Papin réalise en 1707 une machine atmosphérique fort sommaire comportant un piston flottant, et destinée à alimenter en eau un réservoir pour les jets d'eau du jardin de Cassel. La machine ne fonctionne, hélas, qu'à l'état de maquette, et non en situation réelle, contrairement à celle que Savery venait de mettre au point en 1698 et destinée à pomper l'eau dans les mines. Cette « amie du mineur » comme l'appela son inventeur ne possédait aucun piston et utilisait le principe du vide créé par la condensation de la vapeur pour aspirer l'eau du fond et la rejeter en surface par un jeu de soupapes. L'une comme l'autre de ces machines n'eurent qu'une existence éphémère, de nombreux problèmes n'étant pas encore résolus à cette époque, tant du domaine de la science – pression élevées, condensation... – que celui de la technique – résistance à la chaleur et à la pression des canalisations, usinage des pistons et cylindres, étanchéité... »<sup>74</sup>.

---

<sup>73</sup>Denis Papin, en s'intéressant aux possibilités motrices de la vapeur d'eau, invente en 1679 la marmite à pression et la soupape de sécurité (marmite munie d'une soupape qui libère la vapeur quand c'est nécessaire, sans intervention humaine, c'est-à-dire automatiquement). Cf. *Nouvelle manière pour lever l'eau par la force du feu* (1707). L'objectif de Papin était d'élever de l'eau afin d'utiliser celle-ci pour animer une roue hydraulique. Par le moyen de sa machine, écrit Papin, « un homme pourrait produire autant que cinquante »... Nous entrons dans l'ère du machinisme.

Thomas Savery (1650 - 1715) eu l'idée de produire la vapeur dans un vase séparé qui constituait la chaudière et de pousser l'eau directement avec la vapeur contrairement à Papin qui utilisait pour cela un piston. Le principe est simple : injecter de la vapeur dans une enceinte ; dans un 2<sup>ème</sup> temps, y injecter de l'eau, ce qui condense la vapeur et produit un vide relatif. Ce vide aspire, par une canalisation prévue à cet effet et munie d'une soupape de retenue, l'eau que l'on désire élever. La machine à feu de Savery (contrairement à celle de Papin qui était conçue pour animer une roue hydraulique et donc fournir du travail) est donc en réalité une pompe à feu.

<sup>74</sup> Jacomy, 221

Quand le XVIII<sup>e</sup> siècle commence, les Anglais sont très préoccupés par l'exploitation de leurs mines de charbon (sur le continent les réserves forestières suffisent). Quand on creuse sous la nappe phréatique, la mine est inondée. Il faut donc pomper l'eau, ce qui nécessite une énergie considérable. Des manèges à chevaux sont installés pour actionner les pompes. À la limite de la rentabilité...En 1712, **Thomas Newcomen** apporte des modifications essentielles à la pompe à feu de Savery. Dans le cas de la machine de Newcomen, la pression de l'air extérieur est à l'origine de la force motrice du système. C'est pour cela qu'on l'appelle « machine atmosphérique ». Les machines atmosphériques étaient utilisées dans les mines pour l'évacuation des eaux et dans la distribution de l'eau dans les villes. La machine de Newcomen fut une réussite technique, elle remplaça rapidement la machine de Savery, et vers 1770 l'Angleterre en avait installé plus de 500. Nous sommes au milieu du XVIII<sup>e</sup> avec une machine transformant la chaleur de combustion du charbon en mouvement alternatif, et servant à l'exhaure des mines à creuser toujours plus profond, et la disponibilité du charbon de terre augmente donc. La machine de Newcomen posait encore le même problème de rendement et de continuité dans le mouvement ; au bout de quelques cycles de fonctionnement les machines s'arrêtaient. Il fallait les arrêter et les remettre en marche. « Ces premières machines atmosphériques n'utilisaient pas la pression de la vapeur dans le cycle moteur, mais l'action de la pression de l'air sur le piston lors de la phase de condensation. Celle-ci étant créée par un jet d'eau froide sur le piston, on se rend compte des pertes inhérentes au système de par les constants refroidissements et chauffages de la partie cylindre-piston. [...] Pour en faire une machine motrice on procède en deux temps : la pompe à feu élève l'eau dans un réservoir supérieur et sa chute actionne une roue hydraulique. Jusqu'aux premières années de la machine de Watt, on assistera à cette greffe de la nouveauté sur la tradition »<sup>75</sup>.

Afin d'améliorer la puissance et la régularité de sa machine à vapeur, **James Watt** eu l'idée de transformer ces machines « à simple effet » par des machines « à double effet » et d'y apporter certaines de ses inventions : le volant<sup>76</sup>, le régulateur à boules<sup>77</sup>, le tiroir de

---

<sup>75</sup> Jacomy, 222-223.

<sup>76</sup> Le volant a pour but de réguler la vitesse de fonctionnement de la machine. Si la machine tourne trop vite, le volant se met en rotation plus rapidement et accumule ainsi une partie de l'énergie. Les frottements étant réduits, le volant poursuit son mouvement. Il peut restituer à la machine son énergie cinétique, si sa vitesse de fonctionnement vient à diminuer. Le volant ne suffit pas à réaliser à lui seul une vitesse uniforme de la machine. Il peut même acquérir une vitesse trop élevée si la machine tourne à vide. C'est pour cela que Watt rajouta à sa machine un régulateur.

<sup>77</sup> Le régulateur, « flyball governor » en anglais est un dispositif permettant à la machine de régler elle-même sa vitesse de rotation. Cet appareil se compose de deux boules métalliques soutenues par deux tiges articulées autour d'un point fixe au sommet de l'appareil. Deux autres tiges reliées aux points sont fixées au collet. Ce collet peut s'élever ou s'abaisser le long de l'axe vertical. Quand la machine fonctionne au bon régime l'écartement des



distribution de la vapeur<sup>78</sup>, le balancier avec son parallélogramme articulé<sup>79</sup>, et le condenseur externe<sup>80</sup>. Le génie de la machine de Watt n'est pas seulement dans son **condenseur**, mais consiste en ceci qu'elle est **autorégulée**, grâce à son volant et surtout à son **régulateur à boules**<sup>81</sup>.

---

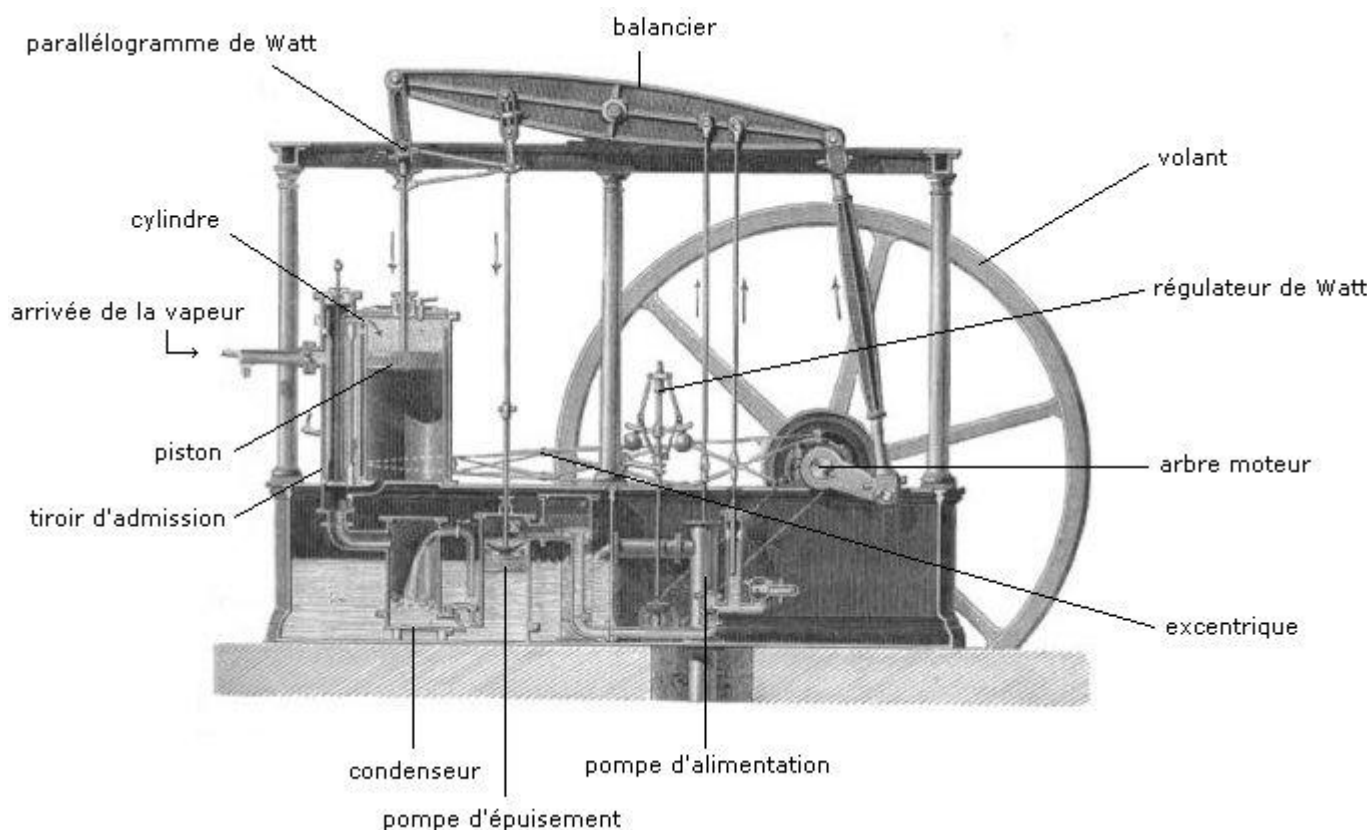
boules permet à la fourchette d'être horizontale. Si la vitesse est trop élevée, les boules s'éloignent de l'axe entraînant le collet vers le haut et la fourchette pivote autour de l'axe et appuie sur la valve. Si la vitesse de fonctionnement est trop faible, les boules se rapprochent de l'axe, le collet s'abaisse et la fourchette pivote autour de l'axe et relève la valve. La fourchette est reliée à une valve d'admission de la vapeur provenant de la chaudière. Ainsi quand la machine tourne trop vite la quantité de vapeur diminue et inversement dans le cas contraire.

<sup>78</sup> Afin que la vapeur puisse agir de part et d'autre du piston, un excentrique est relié d'un côté à l'arbre moteur et de l'autre à un tiroir d'admission de la vapeur qui est ainsi animé d'un mouvement alternatif. La distribution de la vapeur par ce tiroir consiste à faire circuler la vapeur qui vient de la chaudière grâce au mouvement de va-et-vient d'une pièce mobile du tiroir. Pendant que la « nouvelle » vapeur rentre d'un côté du piston, « l'ancienne » est évacuée vers le condenseur.

<sup>79</sup> Le balancier est un dispositif ingénieux qui permet de transformer le mouvement de translation du piston en un mouvement de rotation pour faire tourner, par exemple, un arbre moteur.

<sup>80</sup> Watt remarqua que l'eau injectée dans le cylindre pour recondenser la vapeur, refroidissait considérablement les parois de celui-ci. Il eut pour idée d'utiliser un condenseur externe. La vapeur arrive par un tuyau latéral et passe dans le cylindre puis est refroidie par injection d'eau froide dans un condenseur placé en-dessous du cylindre. Ce condenseur baigne dans de l'eau froide qui est recyclée quand elle s'est trop réchauffée grâce à une pompe d'épuisement. L'apport en eau provenant d'un puits ou d'une rivière est assuré par une pompe d'alimentation.

<sup>81</sup> Cette mécanique de régulation a des antécédents, mais n'est véritablement comprise comme tel qu'à partir de Watt : Un « apport essentiel du moulin à la mécanique est l'idée de régulation, déjà présente dans le baille-blé – système qui règle le débit d'arrivée du grain en fonction de la vitesse de rotation de la roue – et le régulateur à boule, dont Francesco di Giorgio nous laisse un dessin, et qui fut employé sur un certain nombre d'installations à partir du XV<sup>e</sup> siècle environ. Mais nous devons rester prudents sur la notion de rétroaction. Le régulateur à boules, tel que le mettra définitivement au point Watt vers 1782, utilise bien le principe de rétroaction : quand la vitesse du mécanisme augmente, les boules s'écartent et, grâce à une tringlerie, actionnant la fermeture de l'arrivée de vapeur, créant de ce fait une boucle entre la sortie et l'entrée de la machine. Dans le régulateur médiéval, seule intervient la notion d'énergie cinétique qui tend à freiner le mouvement par un effet de volant d'inertie. L'idée est en germe, un pas important est franchi, mais attribuer à la Renaissance l'idée de rétroaction est abusif » Jacomy, p. 185



La machine à vapeur, en tant que telle, ne crée pas une révolution industrielle. C'est le *mariage de l'ingénieur et de l'entrepreneur* qui fait une industrie. C'est en 1769 que Watt déposa un **brevet** pour sa nouvelle machine à vapeur. Il s'associa à l'industriel **Boulton** pour la fabriquer à grande échelle.

### Ex. La machinerie textile.

La production de textile requiert trois tâches séquentielles : l'apprêt, le filage et le tissage. Toutes ces étapes furent mécanisées dès le XVIII<sup>e</sup> siècle<sup>82</sup>. Le XIX<sup>e</sup> siècle perfectionnera ce mécanisme.

La machine à tisser donne un exemple frappant de productivité accrue grâce à la mécanisation. Elle est aussi l'exemple parfait des conflits sociaux qui découlent de cette mécanisation ; elle accompagne l'histoire des **briseurs de machines**<sup>83</sup>. De la révolte des luddistes où des centaines de métiers à tisser furent détruits en Angleterre en 1811-1812, à la révolte des Canuts à Lyon en 1831, ce qui est en jeu c'est bien le conflit du travailleur et du

<sup>82</sup> En 1733, John Kay conçoit la « navette volante », qui améliore considérablement la dernière phase : un seul ouvrier est nécessaire pour construire de larges étoffes, alors qu'il en fallait deux auparavant. Les tisserands perçoivent cette invention comme une menace pour leur emploi et brûlent la maison de l'inventeur en 1753. La navette volante de Kay préfigure l'industrie textile : les deux premières étapes de la production doivent pouvoir s'adapter à la vitesse de la dernière et c'est toute la production textile qui est ainsi bouleversée. L'étape du filage suivra (surtout avec Samuel Crompton), suivie rapidement par celle de l'apprêt.

<sup>83</sup> Cf. Nicolas Chevassus-au-Louis, *Les Briseurs de machine. De Ned Ludd à José Bové*, Seuil, 2006

machinisme. Si les ouvriers détruisent les machines, ce n'est pas par archaïsme, mais au nom d'un travail humain déqualifié.

**Joseph Marie Jacquard**, en 1801, s'inspire de plusieurs inventions mises au point avant lui (sa machine combine les techniques des aiguilles de Bouchon, les cartes perforées de Falcon et du cylindre de Vaucanson). Les **cartes perforées** en bois (plus tard, en fer blanc) dont la disposition des trous détermine la forme complexe du motif final, permettent à un seul ouvrier de manipuler le métier, là où il en fallait plusieurs auparavant. Malgré des vives protestations de la part des ouvriers (une machine de Jacquard sera brûlée en 1806 sur la place des exécutions), le métier Jacquard s'impose peu à peu dans le monde de l'industrie textile, à tel point qu'en 1812, on en dénombrait près de 11 000 sur le territoire français.

La machine à tisser de Jacquard est étrangement toujours citée comme l'ancêtre de l'ordinateur. C'est que la principale marque d'un ordinateur est sa **programmabilité**. Or, la machine à tisser de Jacquard perfectionne non seulement l'automatisme, mais use de la programmabilité avec ses cartes perforées. La *machine analytique* de Charles Babbage (1833), ce **calculateur mécanique programmable**, s'inspire directement du procédé du métier Jacquard. Ada Lovelace, la collaboratrice de Babbage, qui créa une série de « programmes » (suite de cartes perforées) pour cette machine, écrira en 1842 : « *la machine analytique tissera des motifs algébriques comme les métiers de Jacquard tissent des fleurs et des feuilles* ». Ce qu'aujourd'hui nous appelons « programme informatique » n'est finalement qu'un « patron de calcul » analogue à ceux de la machine analytique de Babbage<sup>84</sup>. La machine d'Herman Hollerith (1884), à l'origine de l'*International Business Machine* ou *IBM*, utilisera encore des cartes perforées, mais dans le but désormais de traiter de l'information (recensement de la population américaine).

La machine à coudre date aussi du XIX<sup>e</sup> siècle. Il fallut d'abord que Barthélémy Thimonnier dans les années 1820 eut l'idée de ne pas de ne pas imiter la couture à la main mais plutôt de trouver un point qui soit facilement réalisable par une machine. Mais là encore la machine ne s'imposa pas facilement, et si elle se perfectionna ensuite aux États-Unis elle fut le jouet d'une guerre judiciaire entre Elias Howe et Isaac Merrit Singer qui se disputèrent le brevet.

---

<sup>84</sup> Une telle affirmation doit être prise avec précaution, car l'idée d'ordinateur n'était pas encore possible. Ni Babbage ni Lovelace n'ont su exploiter *Les lois de la pensée* (1854) de Georges Boole – qui démontra, pour faire simple, que tout processus logique peut être décomposé en une suite d'opérations (ET-OU-NON) présentant deux états possibles (0/1) –, pas plus donc qu'ils n'ont su faire aboutir l'idée de programme pour machine universelle ou machine de Turing (1936).

### « Industrialisation » plutôt que « révolution industrielle ».

L'utilisation scientifique de l'expression « révolution industrielle » est toutefois contestée par des historiens comme Fernand Braudel qui préfère parler d'« **industrialisation** », pour accentuer le caractère progressif du phénomène. Nous aussi nous parlons d'industrialisation plutôt que de « révolution industrielle », car, nous sommes les héritiers permanents de cette révolution en marche, parce qu'il faudrait parler des « révolutions industrielles ». Il y a certes des périodes de récession, mais depuis le XIX<sup>e</sup> siècle, l'humanité, européenne d'abord, mondiale ensuite, n'a cessé de s'industrialiser. Si nous parlons des industrialisations, c'est seulement pour faire comprendre qu'aucune branche de la production n'échappe désormais au procédé industriel. Tout est industrie.

S'il y a plusieurs « révolutions industrielles » : où débute la seconde, où débute la troisième ? Dira-t-on, par exemple, que la période allant *grosso modo* de 1880 à la fin des années 1920 est la « seconde révolution industrielle ». On peut bien le dire, mais ces dates sont alors problématiques. Certes, la **fin du XIX<sup>e</sup> siècle** connaît de nouvelles sources énergétiques, l'**électricité** (comme mode de distribution de l'énergie) et le **moteur à explosion** (comme mode de transformation d'un combustible – le pétrole – en énergie), mobilisent autour d'elles la dynamique de l'innovation et les effets d'entraînement. Parallèlement, cette période correspond à la confirmation de la « grande usine » comme modèle d'organisation productive, à l'approfondissement de la division du travail et au tournant taylorien des sociétés occidentales aux alentours de la première guerre mondiale, *mais s'agit-il d'une révolution ou d'une continuité dans l'industrialisation* ? La seconde révolution industrielle est-elle celle de la fée électricité accompagnant une nouvelle révolution énergétique, est-elle celle du secteur chimique accompagnant une nouvelle révolution agricole<sup>85</sup>, est-elle celle du pétrole accompagnant une nouvelle révolution dans les transports<sup>86</sup> ? La révolution de l'automobile

---

<sup>85</sup> Les domaines d'application de l'industrie chimique s'étendent démesurément dans le dernier quart du XIX<sup>e</sup> siècle, avant même qu'elle n'entre dans l'ère du pétrole. La mise au point de procédés nouveaux multiplie les capacités de production de la chimie de base (acides sulfurique et nitrique, soude Solvay, ammoniac) et ses débouchés possibles : engrais azotés, explosifs (avec un boom décisif en 1914-1918), consommations intermédiaires industrielles, etc. La chimie organique s'affirme comme une branche de première importance. Les colorants dérivés du benzène sont mis au point expérimentalement vers 1850-1860; des firmes lancent ensuite de grands programmes de recherches sur les couleurs de synthèse (notamment la couleur indigo, mise sur le marché en 1897) et, mettant fin à la dépendance du secteur textile par rapport aux plantes tinctoriales, s'ouvrent d'immenses débouchés. Les matières plastiques connaissent un premier développement - surtout comme substituts à des matériaux en situation de pénurie - avant de trouver leur usage propre (ainsi le Celluloïd, inventé en 1870, avec l'industrie de la photo et du cinéma, ou la Bakélite). **Depuis, la chimie ne cesse de créer de nouvelles molécules, de nouveau matériau.**

<sup>86</sup> Le pétrole, avant de provoquer une véritable révolution des transports (et de l'organisation du travail donc), est d'abord raffiné (vers le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle aux Etats-Unis) pour l'huile d'éclairage, puis pour ses autres dérivés (goudrons, solvants, essence).

est-elle l'invention d'un moteur<sup>87</sup> ou celle d'une organisation du travail (taylorisme et fordisme)?<sup>88</sup> Si la seconde révolution industrielle est tout cela à la fois, on voit à quel point il est difficile d'en dater le début et la fin. La sidérurgie est un bon exemple d'une branche technologique qui ne cesse de se développer : *une révolution qui dure durant deux siècles est-elle encore une révolution*<sup>89</sup> ?

L'industrie change de modes énergétiques mais l'industrie ne cesse d'avancer, et tout nouveau mode énergétique n'efface pas les précédents. Il y a bien entendu des phases à l'industrie : le début du XIX<sup>e</sup> siècle voit la prépondérance du textile (coton) et du charbon, le milieu du siècle voit celui des chemins de fer et de la sidérurgie, la fin du siècle celui des chimies lourdes, de l'électricité, du pétrole, des industries navales, automobiles et militaires... Il y a des phases, mais les industries ne fonctionnent pas à vase clos, elles sont *étanches les unes aux autres*.

### **Ex. La lente promotion de l'électricité (XIX<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> siècle).**

Les lampes à base de graisses animales et d'huiles végétales ont éclairé la vie des hommes tout au long de leur histoire. L'origine de la bougie reste obscure, il est certain qu'elle est la principale source d'éclairage artificiel en Europe au Moyen Âge. Avec les lampes à gaz, l'éclairage proviendra encore de l'éclat de flammes. Il faudra attendre la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, pour que l'électricité fasse figure de nouvelle source énergétique. Aujourd'hui l'électricité est

---

<sup>87</sup> Après la mise au point du moteur à explosion à quatre temps par les ingénieurs allemands Otto et Daimler (entre 1865 et 1885) et son application à l'automobile, plusieurs améliorations technologiques viennent compléter la fiabilité et le confort de la voiture à essence : pneumatiques à chambre à air (entre 1900 et 1920), système de freinage, boîte de vitesses synchronisée (après 1929).

<sup>88</sup> Alors que l'Europe en reste à des structures dispersées et à une grande variété de modèles, la première standardisation du produit automobile et la première production de masse sont réalisées aux Etats-Unis, chez Ford, peu avant 1913. *Le but de Ford était que ces ouvriers consomment ce qu'ils produisent*. Tributaire des travaux de Frederick W. Taylor commencés en 1905 et publiés en 1911 (*The Principles of Scientific Management*), cette expérience pionnière affecte le rendement du travail humain (parcellisation des tâches, chronométrage des gestes visant à maximiser leur efficacité, introduction de la chaîne de montage), la répartition des pouvoirs dans l'entreprise et les relations de l'industrie avec ses marchés. Par la standardisation, la diminution des coûts et la banalisation du produit, l'offre suscite et entretient la demande, comme l'avait démontré l'*American manufacturing system* dans la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle pour certains biens de consommation (chaussures, montres, rasoirs). À la suite de cette première standardisation interviennent, dans l'entreprise, l'essor des services commerciaux, du démarchage, de la publicité et, dans les sociétés de l'entre-deux-guerres, celui du secteur tertiaire.

<sup>89</sup> La déjà vieille sidérurgie, à la fin des années 1870, s'accompagne elle aussi d'innovations (convertisseur Bessemer, accélérant la décarburation de la fonte, qui remplace peu à peu le puddlage; procédé Thomas-Gilchrist de déphosphorisation du fer); le résultat le plus sensible est la diminution considérable du prix de revient des aciers, tandis que les progrès de la métallographie engagent la sidérurgie dans l'ère des alliages (au tungstène ou au chrome, expérimentés dès les années 1860) et des aciers spéciaux, grâce aux applications de l'électricité (four à arc, électrolyse). Bref, tout concourt à alimenter une demande à la fois plus abondante et plus variée à mesure que s'élargissent les débouchés de la métallurgie: bâtiment, avec l'essor de la construction en hauteur aux Etats-Unis (premiers gratte-ciel à infrastructure métallique à partir de 1890), construction navale (la marine à vapeur prend définitivement le pas sur les clipper - déjà construits en grande partie en fer - au milieu des années 1880), bientôt automobile (années 1900) et aéronautique (pendant et après la guerre de 1914-1918).

partout, tellement évidente qu'on ne la voit plus. Comme d'habitude pour s'apercevoir de l'importance de l'électricité, il faut supposer son absence : imaginez une coupure totale et mondiale ne serait-ce que pendant une minute, et bien, n'en doutez pas, ce serait une crise *catastrophique* pire que tout ce que vous pouvez imaginer.

Il ne s'agit pas ici de faire l'histoire de l'électricité<sup>90</sup>. Celle-ci serait bien trop complexe pour être exposée en si peu de lignes. Contentons-nous de quelques remarques : la première est qu'il existe mille histoires de l'électricité possible, selon que l'on insiste sur tel ou tel acteur, selon que l'on insiste sur l'électricité animale, l'électrochimie ou l'électromagnétisme, etc. La seconde est que l'histoire de l'électricité, qui est aussi bien l'histoire de l'électromagnétisme, est une histoire qui relève de l'histoire des sciences autant que de l'histoire des techniques. Les scientifiques, même lorsqu'ils sont de grands expérimentateurs, à l'exemple de Faraday, ne soupçonnaient pas les impacts techniques de leurs découvertes<sup>91</sup>.

L'électricité, au terme d'un long processus de découvertes scientifiques (pile de Volta en 1800<sup>92</sup>, théorie de l'électromagnétisme à partir des années 1820<sup>93</sup>) et d'inventions d'autodidactes (dynamo de Gramme, 1871<sup>94</sup> ; lampe d'Edison, 1879<sup>95</sup>), devient la base d'un nouveau système technique affectant aussi bien la vie quotidienne que les données du travail industriel. Les retombées industrielles de l'électricité devaient se révéler plus importantes encore, après que furent résolus les problèmes de transport du courant (mise au point du

---

<sup>90</sup> Pour les curieux, un des meilleurs sites en ligne est : [www.ampere.cnrs.fr/](http://www.ampere.cnrs.fr/)

<sup>91</sup> Un soir à l'issue d'une de ses conférences publiques, exposant sa machine qui engendrait de l'électricité via un champ magnétique (dynamo de Faraday), une dame demanda à Faraday « Monsieur, vos travaux sur l'électricité sont des plus intéressants. Mais à quoi servent-ils ? » Faraday lui répondit imperturbablement : « Madame, c'est comme si vous me demandiez quelle est l'utilité de l'un nouveau-né. Je n'en ai aucune idée ! ». Et il ajouta ironiquement : « Une chose est certaine, en tout cas : quoi qu'il arrive, le gouvernement ne manquera pas de le taxer ! ».

<sup>92</sup> La pile de Volta est la première source de courant continu.

<sup>93</sup> Les travaux des physiciens du début du XIX<sup>e</sup> siècle, Oerstedt, Ampère, Faraday mirent très tôt en évidence les phénomènes fondamentaux de l'électromagnétisme, 1820-1830.

<sup>94</sup> Le paradoxe de l'histoire de l'électricité industrielle c'est qu'à une époque où travaillaient un grand nombre de physiciens hautement qualifiés la solution définitive fut trouvée par un praticien autodidacte : Zénobe Gramme (celui-ci travailla sur ce problème à partir de 1863, mais son succès devint public en 1871).

<sup>95</sup> L'introduction du système d'éclairage électrique par l'inventeur américain Thomas Edison (1847-1931) change la situation de fond en comble. Thomas Edison est une figure mythique surnommé « inventeur de l'invention » (plus d'un millier de brevets déferlèrent de son laboratoire de Melon Park, dans le New Jersey, où il avait établi la première usine à invention du monde). Cependant, il ne fut pas l'inventeur de la lampe électrique elle-même, comme on le croit souvent à tort. Celle-ci avait fait son apparition des décennies avant même que l'Américain ne se fût penché sur le problème (1801, Sir Humphry Davy ; 1860, Sir Joseph Swan). Le génie d'Edison est d'avoir compris que les lampes électriques ne seraient jamais utiles en elles-mêmes, mais qu'il fallait les intégrer à un système complet qui rendrait l'éclairage électrique pratique et désirable. Il prit conscience qu'une lampe ne serait utile et facile à utiliser que si elle était reliée à des stations génératrices d'électricité et à un réseau de distribution de cette dernière. Les générateurs d'électricité avaient fait leur apparition dès les années 1830. Les filaments furent d'abord en carbone, puis en bambou, puis à partir de 1912 et jusqu'à nos jours, en tungstène. Malgré des avancées technologiques certaines, la lampe à incandescence comporte néanmoins une limite fondamentale : une grande partie de l'énergie électrique dépensée est dilapidée en chaleur plutôt qu'en lumière visible.

transformateur vers 1890; premières lignes à haute tension en 1908): *le lien entre gisements énergétiques et localisations industrielles se distendait définitivement*. Le **moteur électrique**, commode et réversible (c'est-à-dire capable de produire de l'énergie mécanique à partir d'une alimentation électrique, et inversement), ouvrait la possibilité d'une alimentation individuelle de chaque machine fonctionnant dans une usine, là où auparavant tout était relié à la machine à vapeur centrale par un système de transmission complexe (engrenages, poulies, courroies) et coûteux (pertes par frottements). Outre les économies de matériel et le gain en sécurité, l'électricité donnait une liberté nouvelle pour *rationaliser l'organisation spatiale des usines* de façon strictement conforme à la succession des étapes de la fabrication. Autrement dit, la *taylorisation du travail et les chaînes de montage sont en grande partie filles de l'électricité*. Cette vague d'innovations fut financée, la plupart du temps, par l'initiative privée, de grandes firmes allemandes et américaines, comme Siemens ou Westinghouse, exploitant à leur profit une intense compétition entre les inventeurs, et aussi, de plus en plus, entre des équipes de chercheurs mobilisés sur des objectifs précis. Elle fut étroitement liée, via les transports urbains (tramways) et l'éclairage, au mouvement d'urbanisation. On a donc bien affaire à la fondation d'un **système technique global** (à propos duquel il convient de souligner les décalages nationaux).

Les premiers réseaux d'éclairage public (à partir de 1880 aux Etats-Unis) et de distribution firent de la «fée électricité» le symbole de toute une époque, célébré par les expositions universelles de la fin du siècle. Ce n'est véritablement que dans la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle que l'électricité envahit les ménages (ce qu'on nomme justement l'électroménager). Songeons que pour une « simple » machine à laver, il faut que chaque ménage soit branché sur un triple réseau (eau, gaz, électricité). L'électricité n'a jamais eu que deux usages : *distribuer de l'énergie et transporter de l'information*. Ce second usage ouvre ce qu'on nomme parfois la troisième révolution industrielle ; cependant, le télégraphe (Télégraphie Sans Fil ou TSF, 1895) étant contemporain de la seconde révolution industrielle, nous sommes bien obligé d'admettre qu'une telle dénomination est plus problématique qu'heuristique). Au cours de cette préhistoire des télécommunications, l'idée de transmettre l'information sans support matériel a été définitivement acquise, mais le véritable démarrage de l'électronique n'interviendra qu'avec l'utilisation des tubes électroniques (triode, 1906 ; transistor, dans les années 50).

## **7. TECHNOSCIENCE (XX<sup>E</sup>-XXI<sup>E</sup>)**

**NB.** Vous trouverez des compléments à la « technoscience » dans l'autre document « Philosophie des techniques ».

Cette dernière étape n'en est pas vraiment une, puisque selon ce qui a été dit précédemment nous ne sommes pas sortis du processus d'industrialisation propre au XIX<sup>e</sup> siècle. Il est d'ailleurs peu probable que nous en sortions un jour. La naissance des matériaux la naissance des matériaux **plastiques** et **composites**, la lente promotion de l'électricité, puis de l'**électronique**, puis de l'**informatique**, tout cela s'inscrit dans le processus d'industrialisation qui a désormais deux siècles (souvenez-vous, que deux siècles, du point de vue de l'histoire de l'humanité, équivaut à moins d'une seconde, du point de vue de votre histoire individuelle). *Nous maîtrisons désormais la vitesse de la lumière, mais nous ne maîtrisons pas la vitesse d'expansion de la technique.*

La seule source d'énergie nouvelle mise en œuvre à la fin du XX<sup>e</sup> siècle est l'**énergie nucléaire** qui est aujourd'hui la plus grosse fournisseuse d'électricité. Avec la fission nucléaire, ici encore et plus que jamais, nous retrouvons le **mariage de la guerre avec la technique**, ainsi que **l'imbrication de la technique avec la science**. Le **projet Manhattan** restera l'emblème de ce mariage et de cette imbrication<sup>96</sup>. À chaque époque il existe un foyer scientifique qui modèle et attire tous les autres<sup>97</sup>, or ce que l'on appelle aujourd'hui la « technoscience » semble issu d'un lieu (les Etats-Unis) et d'un temps (la Seconde guerre mondiale). C'est un modèle local qui tend à devenir global, à la faveur d'une compétition généralisée dont la langue et les règles du jeu sont fixées par les États-Unis, c'est la consécration du modèle militaro-industriel. Aujourd'hui, science et technique avancent systématiquement main dans la main, d'où l'usage désormais banal du terme de **technoscience** qui combine en un seul terme deux visées différentes : *cognitive et technique*. Le terme de « technoscience » dit cependant plus que ce constat car il cache un jugement de valeur, ou du moins une inquiétude morale qui s'ancre toute entière dans le projet Manhattan et le traumatisme qui s'ensuivit. Certains virent dans cette tragédie l'exemple même de la *prostitution de la science* à la puissance technique, et à travers elle, à la guerre. D'autres,

---

<sup>96</sup> La mobilisation de physiciens atomistes hors pair avec des chimistes, des mathématicien, des ingénieurs et techniciens débouchant en deux ans sur la production d'une bombe atomique opérationnelle

<sup>97</sup> Ce fut l'Italie à la Renaissance, l'Angleterre au XVII<sup>e</sup> siècle, la France dans la seconde moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle, l'Allemagne à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, et les Etats-Unis au XX<sup>e</sup> siècle.



remarquèrent qu'en termes de productivité industrielle, le projet Manhattan fut une réussite : on s'efforça donc à maintenir la *mobilisation et la logique de guerre en temps de paix*.

L'humanité est définitivement transformée par sa puissance technique. Elle peut se détruire elle-même ainsi que la Terre qui l'abrite ; elle peut aussi s'extraire de celle-ci, l'observer depuis la lune comme on observe un objet. Ici n'est pas le lieu de rentrer dans ce qu'on nomme science-fiction (et qu'on pourrait tout aussi bien nommer technique-fiction) ; considérez simplement ceci qu'aucun de nous, pas même Philip K. Dick, n'a suffisamment d'imagination pour imaginer la technique de demain : *nul ne sait ce que l'homme peut*. Et, comme je vous l'ai souvent répété, *l'homme peut plus qu'il ne sait* ; c'est d'ailleurs ce qui inquiète<sup>98</sup>.

Certains parlent aujourd'hui de la société post-industrielle du XXI<sup>e</sup> siècle nous pensons au contraire (avec l'association *Ars Industrialis*<sup>99</sup>) que nous vivons à une époque **hyperindustrielle** (la culture, l'information, l'image sont devenues une industrie, l'industrie de service reste une industrie). Après les industries de transformation de la matière, nous vivons à présent au milieu des industries de l'esprit où il ne s'agit plus d'exploiter les ressources naturelles, mais d'une part le temps de cerveau disponible et d'autre part les données que nous sommes en tant qu'utilisateurs des industries psychotechnologiques. Nous vivons dans un monde industriel et qui sera de plus en plus industriel, *il ne s'agit donc pas de chercher des limites à l'industrie, mais de la penser autrement*. L'idée que nous serions dans une société post-industrielle repose sur une faiblesse analytique fondamentale et une image très fautive de ce qu'est l'industrie : les machines, la fumée, la transformation des matières premières, etc. Or l'industrie ce n'est pas du tout cela, c'est la standardisation, les économies d'échelle, la calculabilité appliquée à tous les *procès* : il y a de l'industrie dans tous les domaines, dans le voyage, dans l'affectif, ou dans le domaine cognitif. Il n'y a donc pas de société « post-industrielle », au contraire, tout est de plus en plus industriel. Simplement, ce ne sont plus seulement l'exploitation des énergies naturelles et la transformation des matières premières qui sont industrielles : c'est la cognition, c'est le façonnage des comportements individuels, c'est la culture commune.

---

<sup>98</sup> Pour certains, la technoscience n'est pas un progrès, mais un retour à une situation archaïque : lorsque les ingénieurs se débrouillaient très bien pour fabriquer des moulins à eau sans connaître les lois fondamentales de la physique. En effet, on développe de plus en plus de techniques sans pour autant avoir des bases scientifiques sûres. Les nanotechnologies semblent à ce titre emblématiques.

<sup>99</sup> Cette association, à laquelle je participe, a été fondée par **Bernard Stiegler**, professeur à l'UTC. Pour les curieux, je renvoie au site [www.arsindustrialis.fr](http://www.arsindustrialis.fr).

### **Puissance technique et crise écologique.**

Ici l'hypothèse est que ce n'est pas tant la technique contemporaine qui a fondamentalement changé de nature, que la perception que l'on se fait de la technique. Pour dire vite, elle n'inspire plus confiance ; sa puissance est maléfique, plutôt que bénéfique.

La crise écologique semble s'inscrire dans cette optique : nous avons perdu le contrôle de la technique industrielle ; or celle-ci détruit notre milieu et menace la vie en son ensemble. Deux dates peuvent symboliser cette crise – mais il y en aurait tant d'autres – : 1) Le rapport du dit Club de Rome, *Halte à la croissance*, 1970, sur lequel nous ne dirons rien (le titre suffit à en exposer l'idée : la croissance infinie dans un monde aux ressources finies est tout simplement impossible) ; et 2) L'**Appel d'Heidelberg**, 1992. Cet appel s'énonça comme suit : « Nous soussignés, membres de la communauté scientifique internationale, (...) exprimons la volonté de contribuer pleinement à la préservation de notre héritage commun, la Terre. Toutefois, nous nous inquiétons d'assister, à l'aube du XXI<sup>e</sup> siècle, à l'émergence d'une idéologie irrationnelle qui s'oppose au progrès scientifique et industriel et nuit au développement économique et social. Nous affirmons que l'état de nature, parfois idéalisé par ceux qui se réfèrent au passé, n'existe pas et n'a probablement jamais existé depuis l'apparition de l'homme dans la biosphère, dans la mesure où l'humanité a toujours progressé en mettant la nature à son service et non l'inverse ». Ce texte, contestable, cherche simplement à vous montrer la tension qu'il existe entre technoscience d'une part et écologiste d'autre part. Symétriquement, nul n'ignore que les revendications écologiques sont profondément critiques de la rationalité scientifique et technicienne (le paradoxe est qu'aujourd'hui, elles font de plus en plus appel aux experts, ingénieurs et techniciens pour faire valoir leur critique<sup>100</sup>)

---

<sup>100</sup> « Contrairement à ce que faisaient semblant de redouter les signataires de l'appel d'Heidelberg, les mouvements sociaux revendiquant l'écologie n'ont pas assuré la victoire de la subjectivité sur la raison. Ils ont tout au contraire mis en avant la part non négligeable d'irrationalité contenue dans les savoirs scientifiques. Cette irrationalité se présente sous la forme de cinq traits principaux : 1) le silence continu de la plupart des scientifiques sur les limites de leurs savoirs, 2) la négation de tout statut social de la science qui existerait hors des systèmes sociaux qui la supportent, 3) la confusion entre risques maîtrisables à une échelle de laboratoire et risque non maîtrisables en grandeur réelle, 4) l'étendue des incertitudes en termes de connaissances qui excluent l'existence en tous domaines de critères valides de décision politique, 5) Enfin le refus *a priori* de tout contrôle démocratique. Aujourd'hui une partie non négligeable des communautés scientifiques s'efforce de prendre en compte ces questionnements et sort de la crispation scientiste jusque là dominante. En vingt ans de lutte et de revendications, l'écologie militante a renforcé dans beaucoup de domaines la demande de connaissance scientifique. Elle a revalorisé les savoirs techniques en tant que définisseurs de solutions et d'applications concrètes. Enfin, elle a promu des procédures de décision, telles l'étude d'impact et l'enquête publique, dans lesquelles les avis d'experts, professionnels ou collectifs, l'emportent sur la confrontation démocratique des intérêts ». (Lascoumes, p. 301)

Pour dire vite, il existe une triple **crise** dans la manière dont la société perçoit les **R&D** (ou RDTS, *Recherche et développement Technoscientifique*). **1) Au nom de quoi ?** Dans quel but ? C'est ici la *crise de la mission de la technoscience face à la marchandisation de la connaissance*. La R&D est économiquement dépendante, donc elle risque de devenir idéologiquement soumise. Affirmation des normes marchandes dans la production et la validation des savoirs. Mise en concurrence mondiale des systèmes de recherches nationaux et exhortation à la compétitivité des chercheurs. Montée de nouvelles formes d'appropriation des savoirs et du vivant (problème très important du *brevetage du vivant*). **2) Au nom de qui ?** C'est la crise des experts (*cf.* les affaires récentes : amiante, vache folle, sang contaminé, etc.), ou pour parler comme les politiciens, la « crise de gouvernance face aux nouvelles aspirations et pratiques sociétales ». C'est, plus précisément, un *doute sur la capacité de la science à contrôler ses propres découvertes*. Désormais la science ne peut plus être contrôlée par les scientifiques seulement. La relation savoir / pouvoir est remodelée. Le problème est toujours le même : une démocratie technique sans éducation technique est un doux mythe. **3) Au détriment de quoi ?** Crise de confiance dans un monde fini où le progrès ne va plus de soi, où les effets secondaires ne sont plus secondaires. Pour l'écologisme ambiant, la R&D connaît une borne, une clôture : la biosphère. C'est, en dernière instance, parce que la R&D menace la vie, qu'elle doit être contrôlée et pour certains limitée.

### **Ex. L'ordinateur.**

On parle aujourd'hui de « productique » ; ce néologisme illustrant la nouvelle organisation de la production autour de l'ordinateur, ou plutôt des réseaux informatiques. L'ordinateur est tout sauf un simple moyen technique au service d'une humanité qui serait inchangée : c'est une révolution globale, de ce qu'on nomme « humanité », de ce qu'on nomme « penser », de ce qu'on nomme « travailler », etc.

Cette histoire de l'ordinateur se base sur un article de Pierre Lévy<sup>101</sup> ; elle est bien entendu trop rapide et incomplète. Dans cet article, Pierre Lévy remet en question l'idée que l'ordinateur serait le résultat direct de la guerre<sup>102</sup>, et surtout, il invite à se **défaire du mythe du précurseur ou du fondateur**.

Trois noms propres sont généralement invoqués dans toute histoire de l'ordinateur :

<sup>101</sup> « L'invention de l'ordinateur », dans Michel Serres (dir.), *Éléments d'histoire des sciences*, Paris, Larousse.

<sup>102</sup> La guerre ne fabriqua pas de manière simple l'invention des ordinateurs (l'arme atomique fut construite sans le secours d'aucun ordinateur), mais l'accroissement considérable des sommes allouées à la recherche et au développement et les grandes concentrations de chercheurs au service de vaste projet pour la construction de radars perfectionnés ont joué un rôle indéniablement positif dans l'apparition des calculatrices électroniques.

**Charles Babbage** (1792-1871). Il est le père de la conception de deux machines à calculer, la machine à différence et la machine analytique (la première ne fut jamais construite, la seconde fut construite mais jamais intégralement). La machine analytique qui s'inspire très largement celle de Jacquard<sup>103</sup> et de l'idée de « manufactures à logarithmes » du baron de Prony<sup>104</sup>, est nouvelle en ce qu'elle dissocie pour la première fois les fonctions de calcul et de mémoire et prévoit surtout un fonctionnement commandé par des programmes, codés sur des cartes perforées. Mais, il ne s'agit pas pour Babbage de construire un cerveau mécanique, ni même de réaliser une machine universelle capable de réaliser n'importe quel traitement d'information de manière automatique, son objectif était avant tout de construire des tables nautiques, astronomiques et mathématiques exactes. L'*Analytical Engine* appartient à l'atmosphère industrielle du XIX<sup>e</sup> siècle : de Babbage devait être un énorme instrument de comput et d'impression, mue par la vapeur, dans les mains d'une personne spécialisée. On a l'habitude de définir l'ordinateur comme une calculatrice électronique programmable à programme enregistré ; or l'enregistrement de programme ne devient un avantage technique que lorsque l'on dispose d'une très grande vitesse de calcul, donc seulement depuis l'apparition des machines électroniques. L'ordinateur en tant que tel était donc proprement impensable pour Babbage et sa collaboratrice Lovelace.

**Alan Turing** (1912-1954). Mathématicien et logicien anglais qui publia en 1936, un article sur un problème complexe de logique mathématique, qui contient la description d'un automate abstrait, une machine logique généralement nommée « machine universelle », capable d'effectuer tous les calculs imaginables<sup>105</sup>. D'un point de vue purement formel et en se limitant à la question de la calculabilité, la machine universelle décrite dans cet article est l'équivalent logique exact de l'ordinateur, quoiqu'elle le précède d'une dizaine d'années. On y trouve, en particulier, les notions de programme enregistré, de calculs sur les programmes, et de généralité maximale qu'on chercherait en vain dans l'œuvre de Babbage. Mais l'ordinateur n'est pas la simple incarnation de cette machine abstraite, car ce n'est qu'après avoir vu fonctionner pendant la guerre des calculatrices électroniques ultrarapides (toujours le facteur vitesse !) que Turing en vint à donner un tout autre sens à la machine universelle. La machine universelle n'a d'ailleurs inspiré aucun constructeur d'automates concret. Le domaine où elle était apparue était trop loin des problèmes rencontrés par les concepteurs de

<sup>103</sup> Comme nous l'avons déjà signalé (cf. « machineries textiles »)

<sup>104</sup> Au tournant du XVIII-XIX<sup>e</sup> siècle, celui-ci mis au point une véritable usine à calculer des tables mathématiques en appliquant les plus stricts principes de la division du travail humain. Babbage substitua des additionneurs mécaniques, déjà d'usage courant, aux additionneurs humains.

<sup>105</sup> Le but de Turing était de montrer l'existence de problèmes insolubles par la machine universelle, donc insolubles par quelque méthode que ce soit.

calculatrices de verre et de métal pour qu'ils la détournent à leur profit. Après coup, mais seulement après coup, une histoire d'inspiration logiciste put nommer Turing comme un des fondateurs de l'informatique. Les *fondements*, de type théorique, doivent être distingués des *fondations*, qui sont d'ordre génétique. Ces fondations, par exemple, doivent beaucoup à Flowers, un ingénieur des postes, qui avait conçu avant la guerre un des premiers circuits de communication téléphonique utilisant la lampe à vide (on pourrait en citer beaucoup d'autres). Les emprunts latéraux à d'autres domaines sont tout aussi importants que le calcul proprement dit : compteurs Geiger, circuits téléphoniques, radars n'appartiennent pourtant pas aux « racines » habituellement évoquées de l'« arbre généalogique » informatique. Les travaux de Turing ne sont pas plus « à l'origine » ou « à la racine » des ordinateurs que ceux des spécialistes du téléphone ou des inventeurs du radar.

**John von Neumann** (1901-1957). Mathématicien, rédacteur des plans de l'EDVAC (*Electronic Discrete Variable Automatic Calculator*)<sup>106</sup>. En se désignant comme le père de l'ordinateur, il inscrit celui-ci comme le fils de la théorie *des automates* qui traite non seulement d'objets logico-mathématiques et de machines électroniques mais encore du système nerveux des êtres vivants (contexte cybernétique). Il fait de l'ordinateur le fils des mathématiques, plutôt que de l'ingénierie. L'architecture de von Neumann<sup>107</sup> n'était pourtant pas de von Neumann<sup>108</sup>.

*L'hésitation de l'historien sur l'identité des inventeurs (ingénieurs ou mathématiciens ?) traduit l'ambiguïté du statut de l'informatique aujourd'hui (est-ce une science ou une*

---

<sup>106</sup> L'EDVAC fait suite à l'ENIAC (*Electronic Numerical Integrator and Computer*) qui était une machines les plus complexes jamais construites (19 000 tubes à vide interconnectés suivant un plan labyrinthique), mais sa logique n'était plus la même. Jusqu'alors la tâche de concevoir une nouvelle machine à calculer se présentait à peu près de la manière suivante : *étant donné tel ou tel type de calcul à effectuer, quel dispositif matériel pourra l'exécuter le plus efficacement ?* Eckert, Mauchly et von Neumann posèrent une question nouvelle : *quelle machine sera capable de lire, d'interpréter et d'exécuter n'importe quel programme ?*

L'EDVAC possédait cent fois plus de mémoire interne que l'ENIAC, mais dix fois moins d'éléments de commutation. L'enregistrement des instructions dans la mémoire interne de la machine rendait théoriquement possible l'automodification du programme pendant son propre déroulement et, en particulier, le changement automatique des adresses des nombres sur lesquels opéraient les instructions. L'idée de traiter des instructions comme des données était tellement bizarre, contre-intuitive, que même Von Neumann n'imagina pas immédiatement d'autre intérêt pratique que l'accélération des calculs à l'enregistrement du programme. Ainsi l'ordinateur, en tant que support de logiciel, ou machine universelle, n'a quasiment jamais été visé comme telle.

<sup>107</sup> L'**architecture de von Neumann** décompose l'ordinateur en 4 parties distinctes : 1) **L'unité arithmétique et logique** (UAL ou ALU en anglais), unité de traitement ou de calcul dont le rôle est d'effectuer les opérations de base ; 2) **L'unité de contrôle**, chargée du séquençage des opérations et des communications entre les différents organes de la machine ; 3) **La mémoire** qui contient à la fois les données et le programme dira à l'unité de contrôle quels calculs faire sur ces données. Elle se divise entre mémoire volatile (programmes et données en cours de fonctionnement) et mémoire permanente (programmes et données de base de la machine) ; 4) **Les dispositifs d'entrée-sortie**, qui permettent à l'ordinateur de communiquer avec son environnement.

<sup>108</sup> Le concept de programme enregistré ainsi que de nombreuses autres idées originales qui figurent dans les plans de l'EDVAC furent formulés pour la première fois par John Eckert et John Presper Mauchly, les deux principaux animateurs de l'équipe de la Moore School.

*technique* ?). Choisir Babbage comme précurseur, Turing ou von Neumann comme fondateurs, c'est opter pour la science. Mais ce dernier choix ne rend peut-être pas compte de l'efficacité des ordinateurs, car structures logiques et architectures internes seraient restées pratiquement inefficaces si certains matériaux et dispositifs physiques n'avaient permis d'atteindre une vitesse de l'ordre de la milliseconde pour effectuer une grosse multiplication. La question de la vitesse de ou de la durée des opérations quoiqu'elle ne soit pas pertinente d'un point de vue logique devient cruciale lorsqu'il s'agit de construire effectivement une machine à calculer programmable. Symétriquement, on ne peut pas faire de l'histoire de l'informatique la simple succession de machines mécaniques, puis électromécaniques, puis électroniques (tube à vide d'abord, puis transistor ensuite, puis circuit imprimé enfin), car cette vision simple fait bon marché de certaines dimensions de l'informatique telles que les langages de programmation, les logiciels ou les dispositifs de communication entre les machines et leurs utilisateurs ; pour ne pas parler de ses usages sociaux). En 1976, IBM n'a pas donné le même sens qu'Apple au microprocesseur, il ne l'a pas enrôlé dans le même réseau d'alliances. Cet exemple nous suggère que l'explication en termes de « causes » (ici, une nouvelle étape dans la densification des circuits imprimés comme cause du *Portable Computer*) manque parfois de pertinence en histoire des techniques.

Dès sa naissance, l'ordinateur fut sujet à controverse : soit il était considéré comme une invention technique industrielle et devait alors être soumis au brevet commercial ; soit il était considéré comme découverte scientifique et devait alors être considéré comme un bien commun. Cette controverse est plus que jamais d'actualité à l'ère technoscientifique : aujourd'hui, la connaissance scientifique, comme un brevet technique, semble devenue un bien appropriable.

Concluons avec Pierre Lévy : « L'invention technique se révèle comme grouillement désordonné de bricolages, réemplois, stabilisations précaires d'agencements opératoires. Parmi toutes ces agglomérations de dispositifs hétéroclites et d'idées disparates, certaines, souvent pour des raisons contingentes, seront utilisées par le plus grand nombre et s'établiront dans la durée. Elles passeront alors pour des objets techniques homogènes, cohérents et manifesteront comme naturellement leur évidence fonctionnelle. L'ordinateur, par exemple, semble aujourd'hui l'exemplaire terrestre d'une idée platonicienne éternelle [le rêve de construire une machine intelligente]... Captures, détournements et réinterprétations contrastent avec les idées d'algorithme ou de mécanisme prédéterminé qui sont associées, à juste titre, à l'informatique. Mais l'histoire de l'informatique ne s'identifie en rien à la réalisation d'un

plan, d'un programme ou d'un rêve, ce rêve fut-il celui de Leibniz, de Babbage ou de Turing, et cela précisément parce qu'elle est une histoire ».