

La première révolution industrielle, que l'on dit « paléotechnique » selon l'expression de Lewis Mumford (« l'ère de la houille »), est déterminée par l'invention de la machine à vapeur, due à l'Écossais James Watt, à la fin du XVIII^e siècle. Cette machine, qui supposait l'extraction du charbon, a d'abord été employée dans l'industrie textile.

LA RÉVOLUTION TEXTILE

Entrelacer des fibres pour en faire un tissu est l'une des activités les plus anciennes de l'humanité. Cet entrelacement a d'abord été exécuté au doigt, puis très rapidement à l'aide d'un métier.



Les fibres textiles


Jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, les fibres textiles utilisées pour tisser sont végétales : chanvre, lin, coton, laine. Le coton présente de nombreux avantages par rapport à la laine ou au lin :

- Il supporte mieux la traction mécanique.
- Il peut être produit à très bas prix (main-d'œuvre servile dans les plantations aux États-Unis).
- Il peut être cultivé sans entraver le développement des cultures alimentaires comme le blé. En effet, les surfaces consacrées à la culture du coton augmentent au fur et à mesure de la conquête de l'espace américain.
- Enfin, il peut être bouilli, une qualité qui en fait une matière idéale dans l'élaboration des sous-vêtements, parallèlement au développement des normes d'hygiène. Cette qualité du coton offre également des débouchés dans les « pays chauds » colonisés au XIX^e siècle. L'industrie cotonnière accompagne et permet l'apparition de modes saisonnières dans les couches populaires (robes imprimées, indiennes, etc.)

Le domestic system

La répartition des tâches dans l'industrie textile se scinde en 3 étapes :

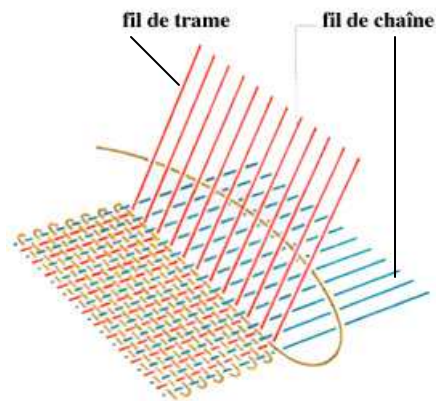
- La préparation de la matière : lavage, battage, cardage et éventuellement teinture.
- Le filage, d'abord au fuseau avant le XII^e siècle, puis au rouet à main puis à pédale. Il a pour but de former des fils par étendage et torsion. Ce travail, lent et fastidieux, est essentiellement féminin et a lieu en milieu rural lorsque les femmes sont libérées des travaux agricoles en hiver. Les fileuses professionnelles peuvent travailler jusqu'à 12 heures par jour et le travail de 10 fileuses n'alimente qu'un seul métier à tisser.

 **1** Rouet à filer avec dévidoir, fin XVIII^e.
Inv. 3934

- Le tissage à partir d'un métier, travail en général réalisé par des hommes spécialisés dans une matière (lin, soie...)

Le tissage


Pour tisser, il faut croiser des fils. Les fils disposés dans le sens de la longueur sont appelés *fils de chaîne* et ceux disposés dans le sens de la largeur, *fils de trame*. Les fils de chaîne sont séparés en deux *nappes* entre lesquelles passe une *navette* chargée de fil de trame.



TRAME. Détail des fils de chaîne et de trame d'un tissu.

L'ensemble de ces fils croisés compose le *tissu*, aussi appelé *toile*. Les fils de chaîne étaient préparés par des fabricants. Le tisserand était chargé de tisser la trame.



 **2** *Métier à tisser sénégalais, modèle du XIX^e.*
Inv. 8549

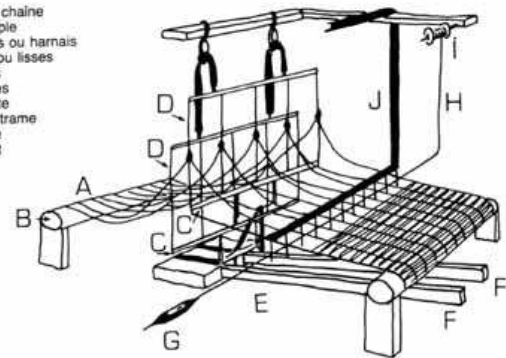
Dans le métier sénégalais, le principe général est combiné avec un décor *espouliné* : le tisserand sélectionne les fils de chaîne à la main et passe des navettes chargées de fils de couleurs variées.

En Europe, le tisseur utilise plus volontiers des métiers à bâti en bois. Il est assis sur un banc. Des pédales, les marches, actionnent la levée des fils de chaîne enfilés dans des mailles rassemblées sur des cadres appelés *lisses*. La navette est lancée entre la nappe des fils entrouverts. Le tisseur ramène ensuite le battant, sorte de peigne, et tasse le tissu.

LE TISSAGE ET LA TOILE


Le tissage

- A : Fils de chaîne
- B : Ensouple
- C : Cadres ou harnais
- D : Lices ou lisses
- E : Lames
- F : Pédales
- G : Navette
- H : Fil de trame
- I : Bobine
- J : Battant



En 1741, Jacques Vaucanson, célèbre dans toutes les cours d'Europe pour ses automates, est nommé inspecteur des manufactures de soie dans le royaume de France. Il commence alors une tournée d'inspection des établissements et imagine des machines qui améliorent le moulinage de la soie et le tissage des tissus façonnés grâce à des dispositifs mécaniques.



 **3** *Métier à tisser les façonnés de Vaucanson, 1748.* Inv. 17

Le métier de Vaucanson combine plusieurs de ses recherches : la programmation, la reproduction du mouvement humain et un système ingénieux de navette. Cette dernière, entièrement métallique, est saisie alternativement par des bras munis de pinces, fixés chacun sur un chariot de bois. La mécanique, le chasse-navette et le battant sont entraînés par des cames. Le

tissu s'enroule régulièrement grâce à une vis sans fin.

Véritable automate à tisser, le métier de Vaucanson est entièrement mis en mouvement, grâce à l'énergie d'une roue hydraulique, par une simple manivelle et peut ainsi se substituer radicalement aux gestes du tisseur.

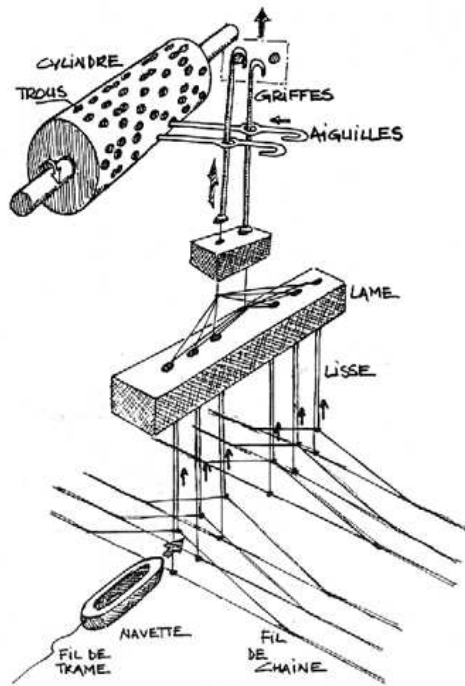




Schéma de fonctionnement du métier à tisser de Vaucanson

Le métier de Vaucanson resta à l'état de prototype à cause du système des corporations et du fait que l'investissement n'était pas rentable pour les marchands au XVIII^e siècle (95 % de la population était rurale et il n'y avait pas de nouveaux marchés pour amortir la dépense).

Sans descendance directe, la mécanique de Vaucanson inspira tout de même d'autres inventeurs. En 1801, Joseph-Marie Jacquard, étudiant aux arts et métiers, eut l'idée de combiner l'entraînement automatique du cylindre, imaginé par Vaucanson pour son métier à tisser les façonnés, au papier perforé de Basile Bouchon et aux cartons perforés de Jean Philippe Falcon. Cette nouvelle mécanique, placée au-dessus du métier, lit

sur cartons perforés la programmation du dessin à exécuter sur le tissu de soie. Les lacs¹, reliées aux fils de chaîne, sont levées par des crochets sélectionnés par des aiguilles selon que celles-ci rencontrent ou non les perforations du carton. Chaque coup du métier fait tourner le prisme de la mécanique et présente un nouveau carton. Le tisseur commande lui-même l'opération et se passe ainsi du tireur de lacs qui tirait les cordes sur le côté du métier.



  **4** Métier à tisser à mécanique Jacquard, vers 1810. Inv. 7641

Le filage

L'invention en 1733 par John Kay de la navette volante bouleverse le rythme de production et entraîne une hausse de la productivité de plus de 30 %, ce qui conduit à une « faim de fil ». C'est pourquoi les grands progrès techniques du XVIII^e siècle concernent d'abord le filage et sa *mécanisation*, une étape clé de la révolution industrielle en Angleterre.

Plusieurs inventeurs s'attèlent à la mise au point de machines permettant un filage plus rapide. La *spinning-jenny* de James Hargreaves, appelée « Jenny » du nom de sa fille, est une machine à filer actionnée

¹ Même origine que lacets, prononcé « la ». Cordelettes qui servent à soulever des ensembles de fils de chaîne pour permettre le passage de la navette.



par une pédale qui fait tourner huit fuseaux en même temps.

En 1769, Richard Arkwright invente le *waterframe*, une machine à filer actionnée par un moulin à eau.

L'invention la plus révolutionnaire est celle de Samuel Crompton, la *mule-jenny*, qui combine les avantages de la *spinning-jenny* et ceux du *waterframe*, permettant à un seul fileur de tordre et d'allonger les fils en même temps. La *mule-jenny* met une trentaine de bobines en mouvement simultanément : les mèches de coton brut sont écrasées et étirées par des cylindres dans le râtelier (partie fixe) et les fils s'enroulent autour du chariot (partie mobile). Le mouvement du chariot est entraîné par le moulin à eau dont l'énergie est transmise au métier par poulie. Un ouvrier peut faire varier l'épaisseur du fil en modulant la vitesse de la machine à l'aide d'un volant. Au final, le fil produit est très fin et très solide.

Ces machines anglaises sont importées et copiées en Europe et aux États-Unis dès les années 1780. Le prix du fil ne tarde pas à baisser. En France, l'Alsace et la Normandie sont des régions où se développent bon nombre d'industries textiles.



 **5**  *Mule-jenny pour le coton, fin XVIII^e.*
Inv. 184

En 1787, la machine à vapeur est introduite dans les filatures et fait fonctionner toutes les machines, mais il faut attendre les années 1820 pour que la *mule-jenny* s'automatise (cf. plus loin, le *self-acting*).


LA MÉTALLURGIE

En Europe, la fabrication du fer est apparue en 1700 avant J.-C. Depuis les Hittites jusqu'à la fin du Moyen Âge, son élaboration reste la même : on chauffe ensemble des couches alternées de minerai de fer et de bois (ou de charbon de bois) jusqu'à obtenir une masse de métal pâteuse qu'il faut ensuite marteler à chaud pour la débarrasser de ses impuretés et obtenir ainsi du fer brut, prêt à être forgé.

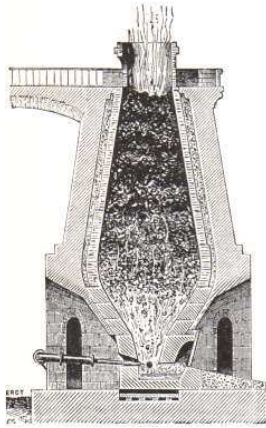
La *forge* est installée à quelques pas du foyer où s'élabore le métal. D'abord simple trou conique dans le sol, le foyer se transforme en un four, appelé le *bas-fourneau*. Le métal obtenu, rare et coûteux, est alors réservé à la fabrication d'armes et de quelques outils. L'affinage se fait au marteau (décarburation).

Au XIII^e siècle, l'apparition de martinets, actionnés par la force hydraulique, permet d'obtenir des pièces de plus grande taille.



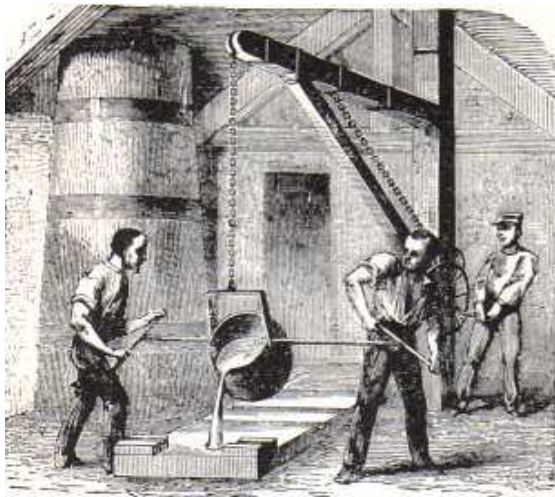
 **6** *Bocard, XVIII^e. Inv. 2704*

À la Renaissance, l'invention du *haut-fourneau* permet d'augmenter la cadence de production du métal car la température y est plus élevée (1500°C) que dans le *bas-fourneau*. Haut de 4 à 6 mètres, le *haut-fourneau* est une espèce de tour solide, qu'on remplit de minerai de fer par en haut. Au fur et à mesure que le minerai fond, il tombe dans le réservoir situé en dessous du *haut-fourneau*. Une fois allumé, le *haut-fourneau* est rempli jour et nuit sans interruption, jusqu'à ce que ses murs usés se fendent et éclatent.



Haut-fourneau

La fonte², obtenue dans le haut-fourneau, se prête à la fabrication de toutes sortes d'objets : marmites, boulets de canons, chenets, tuyaux en fonte. Ce sont souvent des objets moulés, car la fonte est un métal cassant, qui ne peut se laminier, c'est-à-dire s'étirer en plaques ou profilés comme le fer. Pour retrouver les qualités du fer, il faut retirer à la fonte une partie du carbone excédentaire par l'affinage des gueuses³ recueillies en bas du fourneau (au creuset). C'est le processus qu'on appelle la *méthode indirecte*.



Ouvrier coulant la fonte dans un moule

L'utilisation de soufflets de forge reliés à aussi à des roues hydrauliques accélère le travail. Ainsi, il est possible de fabriquer de la fonte en grande quantité.

² Alliage de fer riche en carbone, issu de la fonte de minerai de fer dans un haut-fourneau.

³ Lingots de fonte de première fusion.

Au XVIII^e siècle, une nouvelle vague de progrès de la métallurgie a lieu, en raison du changement du charbon utilisé. L'invention d'un procédé de distillation de la *houille*⁴ (par Abraham Darby I en 1735) permet d'obtenir le *coke*. L'utilisation de la houille, au lieu du charbon de bois, accroît très nettement la quantité de fonte produite dans le haut-fourneau et met un frein à la destruction des forêts anglaises. Désormais, le charbon est surtout le charbon de terre, celui qu'on « jardine » dans les mines. Son extraction devient au même moment plus facile grâce à la machine à vapeur, qui permet d'extraire l'eau des galeries et donc d'aller creuser plus profond.

Comme pour l'industrie textile, on assiste à un enchaînement des inventions : une innovation comme le coke entraîne un nouveau besoin auquel remédie une nouvelle découverte. Comment affiner la fonte à un rythme aussi rapide que celui auquel elle est maintenant produite par le haut-fourneau ?

En 1783, l'anglais Henri Cort invente une technique, le *puddlage*, qui permet de transformer la fonte en fer. Ce procédé consiste à décarburer la fonte dans un four à réverbère à cheminée carrée. Dans un premier temps, la gueuse de fonte - réchauffée dans le foyer d'affinerie - se transforme en une pâte de fer ou *loupe*. Ensuite, sous les coups du marteau, la loupe décarburée prend peu à peu la consistance d'une barre de fer. Ce lingot est ensuite transformé en barres ou en fils.



⁴ Autrement dit charbon, combustible minéral fossile solide, provenant des végétaux ayant subi une transformation lui conférant un grand pouvoir calorifique.

Le puddlage maintient la fonte et la source de chaleur séparées. Aucune impureté ne vient donc au contact de la fonte en fusion. Au XVIII^e siècle, l'ouvrier brasse directement la fonte liquide, ce qui est très dangereux ! Même avec des ouvriers expérimentés, les accidents sont fréquents.

Pénible et coûteux en énergie, le puddlage est la seule technique qui permet au XVIII^e siècle d'obtenir un métal utilisable en architecture à un prix accessible.


Le travail du métal par martelage n'est alors plus suffisant pour traiter d'aussi grandes quantités de fer. Ceci favorise la mise au point du laminage par étirages successifs de la fonte entre des rouleaux tournant en sens inverse.



 **7**  Train de laminoir avec cylindres dégrossisseurs et laminoirs à tôle, vers 1840. Modèle réduit. Inv. 4050

Les différentes cages du laminoir servent d'abord au dégrossissage, puis au laminage des barres, plates ou cannelées, ou des tôles. Le développement du chemin de fer, de la navigation à vapeur et de la construction métallique à partir des années 1840 assure aux fers, aux profilés et aux tôles laminées un énorme débouché.

Il faut toutefois attendre 1861 pour que, grâce au convertisseur de l'ingénieur anglais Henry Bessemer, on puisse produire de l'acier en grandes quantités. Cette dernière invention introduit la seconde phase de la révolution industrielle : la pleine exploitation des potentialités de la sidérurgie.

 **8** Maquette de l'atelier Bessemer, vers 1860. Inv. 13489 ; Maquette du haut-fourneau de Trignac. Inv. 12639 ; Maquette du four à puddler. Inv. 4051.

LA RÉVOLUTION TEXTILE (SUITE)


Les mécaniciens anglais Dobson et Barlow sont les concepteurs de nombreuses machines textiles. Leur métier renvideur assure l'étirage et la torsion de la mèche de coton avant de renvider le fil sur une bobine. Jusqu'au milieu du XIX^e siècle, l'industrie anglaise détient dans le secteur des filés une avance technologique indéniable.

Le chariot se déplace sans l'intervention d'un ouvrier pour le repousser, comme c'était le cas pour la mule-jenny. Un dispositif de leviers et de contrepoids savamment réglé assure le déplacement très régulier du chariot. Le métier renvide le fil sur une broche, en l'étirant et en lui donnant sa torsion principale. Une étape suivante, le retordage, assure un assemblage par une torsion supplémentaire et donne au fil la grosseur désirée.

Les métiers, garnis de centaines de bobines, tournent dans un vacarme assourdissant et occupent des étages entiers de filatures. Dans une atmosphère insalubre, femmes et enfants s'activent à la surveillance de milliers de broches et de bobines. Ils réparent les fils cassés, sans arrêter la mécanique.

À la fin du XIX^e siècle, Dobson et Barlow se spécialisent dans la construction et l'équipement de filatures clé en main dans le monde entier.



 **9** Métier renvideur, dit « self-acting », 1862.
Inv. 7175


LA MACHINE À VAPEUR DE WATT

Avec la machine à vapeur de James Watt, vers 1780, apparaît un nouveau moteur, le moteur universel, qui va transformer l'industrie. Introduite dans les manufactures, elle distribue aux machines une énergie moins aléatoire et plus puissante que celle de l'eau, du vent ou celle fournie par les animaux.

Pour condenser la vapeur, créer du vide, il faut refroidir le cylindre ; la vapeur envoyée ensuite pour faire remonter le piston arrive dans un cylindre froid, elle perd donc une grande partie de son énergie calorifique. Watt a l'idée de séparer le chaud du froid et de réaliser la condensation de la vapeur dans un *condenseur séparé*. Il diminue ainsi de moitié la consommation de combustible.

Dans la machine de Newcomen (1712), le seul coup moteur était celui du piston vers le bas, la vapeur n'étant injectée que dans la partie inférieure du cylindre. Watt, se rappelant qu'un piston a deux faces, imagine d'injecter de la vapeur alternativement sur les deux faces. Chaque coup devient moteur, et le *rendement* est alors *doublé*.



 **10** Machine à vapeur de Watt, fin du XVIII^e siècle. Inv. 4063

LES TRANSPORTS



Au cours de la première moitié du XIX^e siècle, la machine à vapeur a entraîné un changement radical dans les transports. Notons que les historiens préfèrent parler d'*amélioration* plutôt que de révolution.

Vers 1760, plusieurs savants pensent à utiliser la vapeur pour actionner des roues de voiture.

L'ingénieur militaire français Nicolas Joseph Cugnot applique pour la première fois la machine à vapeur au déplacement d'un véhicule. Cette expérience marque le point de départ de la lente motorisation des transports, qui cesseront peu à peu de dépendre des forces naturelles aux XIX^e et XX^e siècles.

Un fardier est un chariot pour lourdes charges, telles les pièces d'artillerie. Celui de Cugnot dispose de trois roues et d'une chaudière à haute pression placée à l'avant de la roue motrice. Celle-ci est actionnée par deux pistons et peut pivoter autour d'un axe vertical manipulé à l'aide d'un guidon. L'engin dispose d'une marche arrière et peut transporter une charge de 5 tonnes à 4 km/h. Mais il n'a pas de véritable frein et sa chaudière devait s'épuiser rapidement. En fait, cette première automobile est abandonnée sans avoir jamais fonctionné car elle est sans réelle utilité compte tenu de l'état des routes de l'époque, incapables de supporter son poids !



 **11**  Fardier à vapeur de Nicolas Joseph Cugnot, 1770. Inv. 106

Au début du XIX^e siècle, les rails en bois sont remplacés par des rails en fonte. En 1804, Richard Trevithick fait rouler un véhicule à vapeur sur les rails en fer que l'on utilise dans les mines. Cette première locomotive est améliorée par d'autres ingénieurs anglais, notamment George Stephenson, qui réalise des chemins de fer à usage public. Son fils Robert applique à la locomotive *Rocket* de l'atelier Stephenson la chaudière à tubes de fumée inventée en France par Marc Seguin. La victoire de la *Rocket* lors du concours de locomotives de Rainhill le 6 octobre 1829 assure aux engins des Stephenson une large diffusion commerciale. Ils construisent les premières voies ferrées ouvertes au public et fixent un écartement des rails de 1,435 m, une norme qui s'impose par la suite dans la plupart des pays.

Les locomotives de série, dans les années 1830, sont des locomotives anglaises à deux essieux moteurs (type 020), le plus souvent fabriquées par Stephenson ou sous sa licence. Ces petites locomotives de huit à dix tonnes peuvent remorquer un train de cinquante tonnes à 30 km/h.



 **12**  Locomotive Stephenson. Inv. 4044

Le chemin de fer amorce la plus grande révolution dans les transports terrestres depuis l'invention de la roue, réduisant en un demi-siècle les coûts au sixième de leur valeur durant l'ère de la diligence.

On assiste peu après au développement de réseaux ferrés qui bouleversent la gestion et la perception de l'espace. En France, en 1842, l'ingénieur des travaux publics Legrand élabore pour le roi Louis Philippe le plan de développement du réseau en étoile.

Au même moment, la flotte maritime mondiale passe de 5 à 50 millions de tonneaux : pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, on peut transporter à travers les océans un fret pondéreux (céréales et matières premières industrielles).

Rédaction : C. Maillé-Virole, professeur agrégée d'histoire et de géographie (Académie de Paris) et V. Perez

Photos : © Musée des arts et métiers/Cnam, S. Pelly, P. Faligot

Illustrations : S. Picard

Sources : Jean Rosmorduc, *Chronologie des sciences et des techniques*, Paris, CDRP, 1997, 46 p. ; Flash Museum et cartels du Musée des arts et métiers ;

Encyclopédie Universalis en ligne <http://www.universalis-edu.com/> ; *L'album du Musée des arts et métiers*, cédérom, CNAM