



HAL
open science

Technical and organizational innovations in the manufacture of pins

Jean-Louis Peaucelle

► **To cite this version:**

Jean-Louis Peaucelle. Technical and organizational innovations in the manufacture of pins. Innovations - Revue d'économie et de management de l'innovation, 2008, 27, pp.27-44. 10.3917/inno.027.0027 . hal-01404603

HAL Id: hal-01404603

<https://hal.univ-reunion.fr/hal-01404603>

Submitted on 29 Nov 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les innovations techniques et organisationnelles dans la fabrication des épingles

Jean-Louis Peaucelle

Dans la *Richesse des Nations*, Adam Smith évoque la manière dont on fabriquait les épingles à son époque. Dans la décomposition du processus en 18 opérations, il a trouvé le fondement de sa théorie de la division du travail. Sa documentation est formée des textes publiés en France sur le sujet dans le cadre de l'Académie des sciences et l'*Encyclopédie* de Diderot¹. On y trouve des textes et des dessins concernant les techniques de fabrication des épingles en Normandie. Cette description est statique en ce sens qu'elle n'indique aucunement les dates de l'observation, ni celles de l'invention des divers éléments. Curieusement l'innovation est absente de cet effort considérable de description des techniques.

Évidemment, cette technologie a été précédée d'autres manières de faire et il y eut des innovations ultérieures qui ont conduit à une production mécanique. Reconstituer cette histoire de la fabrication des épingles n'offre aucune singularité particulière. De nombreux aspects sont communs avec les autres industries métallurgiques et mécaniques. La reconstitution des innovations autour d'un simple objet commercialisé offre l'avantage de mettre en perspective les innovations par rapport à leur mise en œuvre concrète.

La production d'épingles commence à l'âge du bronze, 2500 ans AVJC. 45 siècles se sont écoulés jusqu'à la mécanisation au XIXe siècle. On distingue cinq périodes technologiques : l'épingle préhistorique en bronze sur laquelle on sait peu de choses, la fibule romaine très répandue et mieux connue, l'épingle fabriquée dans les corporations urbaines depuis le Moyen Âge, celle faite selon le procédé décrit en détail au XVIIIe siècle et enfin l'épingle mécanique du siècle suivant. On présente ci-dessous les technologies utilisées à ces moments repérables et donc les ruptures pour passer des unes aux autres. Cette histoire technologique sur longue période, focalisée sur un produit unique, permet de réfléchir aux conditions et aux formes de l'innovation dans un processus de production. Cela formera la conclusion de ce texte.

1. Les épingles anciennes et les fibules

Dans les tombes préhistoriques, on trouve souvent des épingles en bronze, de formes variées². Elles mesurent de 10 à 30 cm de long et de 2 à 5 mm en épaisseur. Elles servaient à attacher les vêtements. Elles étaient donc des objets usuels, plus chers et plus durables que les tiges de bois ou d'os qu'elles remplaçaient.

La technique de fabrication était probablement celle de tous les objets de bronze de l'époque (2500 ans AVJC) : le coulage dans des moules et le martelage.

¹ Alexandre Delaire, *Encyclopédie*, article « Épingle », tome V, 1755. Henri Louis Duhamel du Monceau, Réaumur et Perronet, 1761, *Art de l'épinglier*. Paris : Saillant et Noyon. Jean-Rodolphe Perronet, 1765, *Encyclopédie*, article « Epinglier ».

² Gilles Gaucher, 1993, *L'âge du bronze en France*. Paris : PUF, Que sais-je ?



Figure 1 Épingle en os datant de l'âge du bronze 2800 ans AV JC, 5,7 cm, Dolmen de la Croix de l'Homme, Vesseaux, in Jean Louis Roudil, 1993, *Les premiers métallurgistes de l'Ardèche*. Privas : conseil général de la culture de l'Ardèche. p. 40

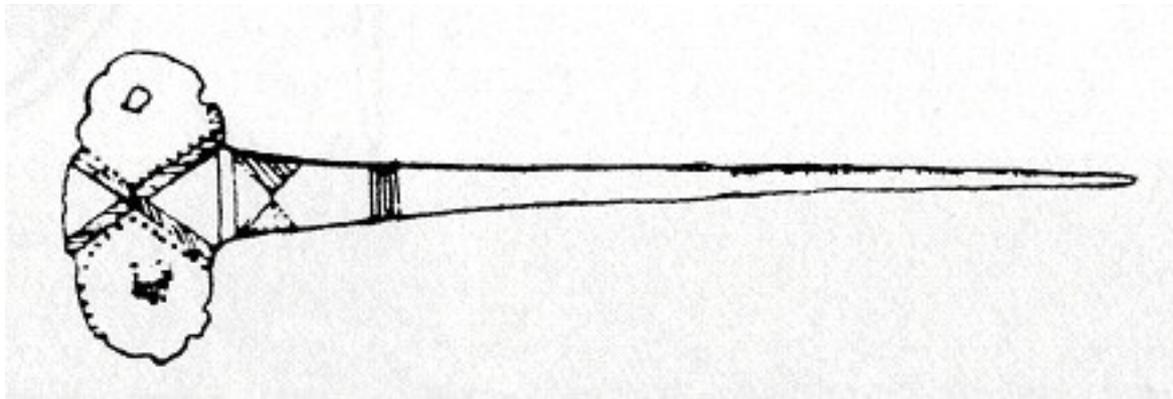


Figure 2 Épingle tréflée en bronze, 2500 ans AV JC, trouvée dans le Jura, citée par P. Millotte, *Catalogue des collections archéologiques de Besançon, Les antiquités de l'âge de bronze*, N° 98.

Pour attacher leurs toges, les Romains remplacèrent l'épingle par la fibule, broche avec un ardillon, fabriquée en fer puis en cuivre. Les Gaulois fabriquaient ces fibules dans la région de Dinant (Belgique) où on trouvait du minerai de cuivre. La métallurgie du cuivre y a été très active. On la nommait « dinanderie ».

Le point important est la protection contre l'oxydation. Les Romains savaient que les Gaulois utilisaient un procédé spécial³. Mais évidemment ce procédé était secret. Or au XVIIIe siècle les épingles en laiton⁴ étaient étamées dans un bain acide où on les plongeait avec des morceaux d'étain solide.

Par des expériences, on a pu montrer que cette méthode donne un résultat identique à celui des vases de cuivre repoussé, étamés par les Gaulois⁵. Le procédé d'étamage du cuivre par électrolyse spontanée est ainsi extrêmement ancien. On ne sait pas comment il a été découvert. Son intérêt réside dans la finesse de la pellicule déposée (une dizaine de microns) et donc l'économie en termes de consommation d'étain.

³ Maurice Daumas, 1962, *Histoire générale des techniques*, PUF : Paris. Pline l'ancien, *Histoire naturelle*, Livre XXXIV, paragraphes 156, 160, 162.

⁴ Le laiton (jaune) est un alliage de cuivre (rouge) et de zinc. Il était obtenu avec la calamine, mélange de carbonate et de silicate de zinc, extraite de mines locales, notamment à Moresnet, en Belgique actuelle. Le laiton offre de meilleures caractéristiques mécaniques que le cuivre.

⁵ Aimé Thouvenin, 1970, « L'étamage des objets de cuivre et de bronze chez les anciens », *Revue d'histoire des Mines et de la Métallurgie*, tome II, N° 1, 101-109.

Ces indications révèlent une ancienne industrie du cuivre dans l'Empire Romain, située dans la Gaule Belgique, exportant des objets de cuivre et de laiton étamés. Les techniques métallurgiques mises en œuvre dans la fabrication des épingles étaient les mêmes que celles utilisées pour les fibules. Ces savoir-faire ont été conservés localement pendant des siècles.

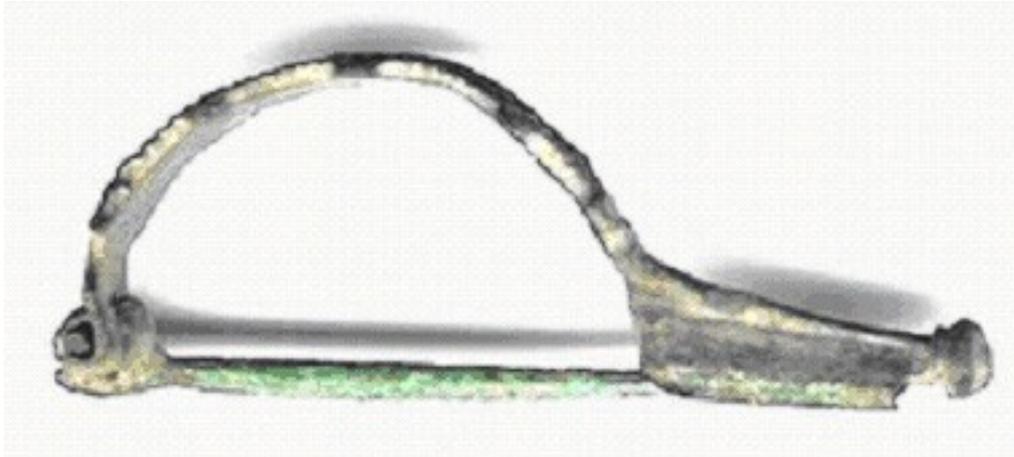


Figure 3 Fibule Aucissa de 5 cm de long

2. Les artisans épingliers dans les villes de cour

Au Moyen Âge, on a réduit la fibule à son élément essentiel, l'ardillon, qui devint l'épingle fine. Elle était faite avec du fil de laiton. La question de la fabrication du fil métallique devient ici essentielle. Au XIV^e siècle, on a inventé la filière à Nuremberg, probablement sur le cuivre avant le fer. La filière est une pièce de métal épaisse qui est fixée solidement. Y ont été faits des trous coniques, ajustables avec un poinçon et un marteau. Le bout du fil était limé. On l'introduisait dans la partie large du trou de la filière. Ce bout ressortait de l'autre côté mais le reste du fil, plus gros, restait coincé. On le tirait à force, avec des pinces, en le graissant. Le fil extrait ainsi avait un diamètre réduit. A chaque passe, la section se réduisait un peu. En répétant cette opération, on obtenait des fils de plus en plus fins. Pour les grosses barres, au début du processus, l'effort était considérable et on utilisait l'énergie d'un moulin à eau. Pour les diamètres plus fins, on tirait avec une pince puis avec un tambour.

L'innovation de la filière a considérablement abaissé le coût du fil. L'Allemagne s'est mise à exporter du fil de fer et du fil de laiton. Cette technique a été conservée secrète pendant longtemps. Elle a diffusé à partir des pays germaniques, vers la Hollande et vers l'Est de la France. Il y eut de très anciennes tréfileries installées sur les cours d'eau du Jura.

La fabrication du fil était le point central du métier de l'épingle. Elles étaient faites au Moyen Âge dans les corporations d'épingliers des grandes villes. Leurs statuts établissaient un monopole de la fabrication du fil de fer et du fil de laiton⁶. Après l'invention

⁶ Etienne Boileau (1200-1270), 1879, *Le livre des métiers : XIII^e siècle*, éd. René de Lespinasse et François Bonnardot. Paris : Imprimerie Nationale. Réédition 1980, Genève : Slatkine. Titre des Espingliers de Paris, article XVI, page 125 : « Que nul mestre ne mestresse dudit mestier ne puisse faire trere fil a autres personnes que a ces du mestier ». Denis-François Secousse, 1734, *Ordonnances des roys de France de la troisième race*, Tome IV. Paris : Imprimerie Royale. Tome IV, 124-128. Statut des épingliers de la Ville de Paris, article 14 : « Il n'y a que ceux du mestier qui puissent tirer le fil de leton ou de fer ».

de la filière, les épingliers urbains achetaient directement les fils de laiton en Allemagne ou en Hollande et les affinaient à grosseur voulue, avant de commencer leurs épingles.

3. Les innovations flamandes

Le territoire des Flandres du Moyen Âge correspond actuellement à la Hollande, la Belgique et le Nord de la France. Dès le Xe siècle, s'y développa une puissante industrie textile, celle des « villes drapières ». L'école de peinture flamande est un signe de la richesse qui s'y accumulait. Les Flamands ne se sont pas seulement inspirés de la peinture d'Italie, ils ont aussi adopté les structures juridiques du capitalisme qui y avaient été inventées : la banque, l'assurance, les taux d'intérêt, la comptabilité en partie double, les associations de capitaux, les bourses, etc⁷.

Ils ont aussi inventé l'assistance institutionnelle aux pauvres, en les faisant travailler dans des ateliers où ils gagnaient un faible salaire, mais ne souffraient plus du chômage⁸. Ces ateliers devaient, dans des délais très courts, mettre au travail une main d'œuvre instable sans formation professionnelle. Pour cela, on rémunérait aux pièces l'exécution de tâches répétitives, faciles à apprendre⁹. Seulement certaines productions pouvaient être organisées ainsi. Parfois ce n'était qu'une partie du processus de production qui était ainsi réalisé. Le reste était fait, comme dans les corporations, par des ouvriers compétents, ayant suivi un apprentissage. Ainsi l'innovation sociale des ateliers pour pauvres a-t-elle conduit à une nouvelle organisation, opposée à celle des corporations artisanales, avec des tâches simples faciles à apprendre. Les deux systèmes pouvaient d'ailleurs coopérer.

Les Flamands ont aussi amélioré les techniques. La marine et les machines en sont les exemples les plus connus. Les Hollandais ont constitué une flotte qui a concurrencé celle des Portugais dans le commerce avec l'Asie. Leurs navires étaient moins chers à construire grâce à des scies actionnées par un moulin à eau pour débiter les troncs d'arbre en long. De plus, le grément facilitait la manœuvre. Moins de marins étaient nécessaires à bord pour hisser ou carguer les voiles¹⁰.

L'avance des Hollandais était aussi reconnue en optique et pour la porcelaine (Delft). Le métier à tricoter les bas de soie vient également des Flandres. Pour l'*Encyclopédie*, Diderot a rédigé la description du métier à bas et l'a illustré par des planches venant d'un dossier de la bibliothèque de Louis XIV¹¹. Les machines elles-mêmes fonctionnaient au pavillon de Madrid, dans le Bois de Boulogne à Paris, pour fournir la Cour. On peut penser que cette machine a été une des prises de la guerre franco-hollandaise du XVIIe siècle. Plusieurs décennies auparavant, les Espagnols, maîtres des Flandres, avaient étonné la Reine d'Angleterre en lui offrant des bas de soie faites par cette machine. "In the time of Edward IV the art of knitting stockings was probably not known in any part of Europe. Their hose were made of common cloth, which may have been one of the causes of their dearness. The first person that wore stockings in England is said to have been Queen Elizabeth. She received them as a present from the Spanish ambassador"¹².

⁷ Rémy Volpi, 2002, *Mille ans de révolutions économiques*. Paris : L'Harmattan.

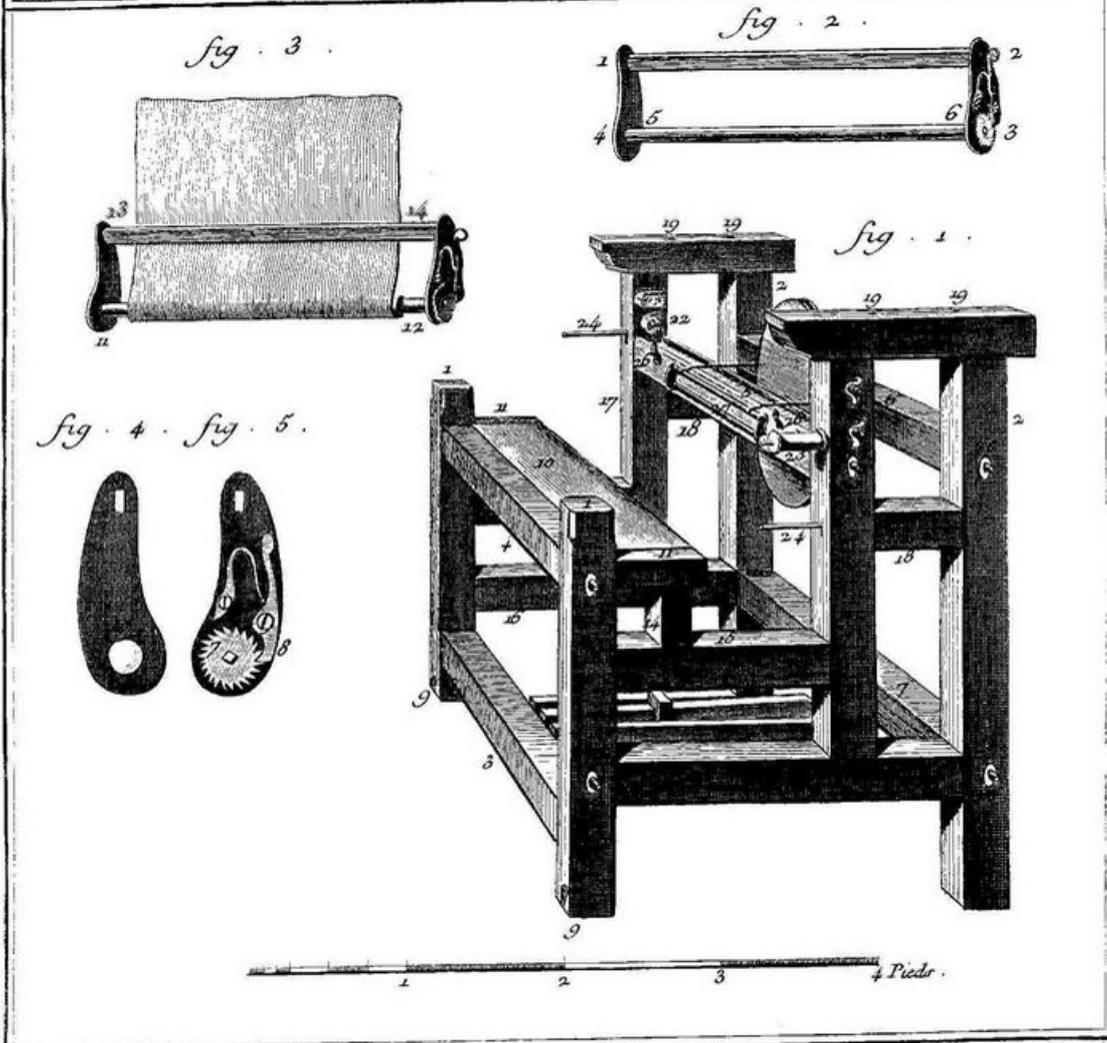
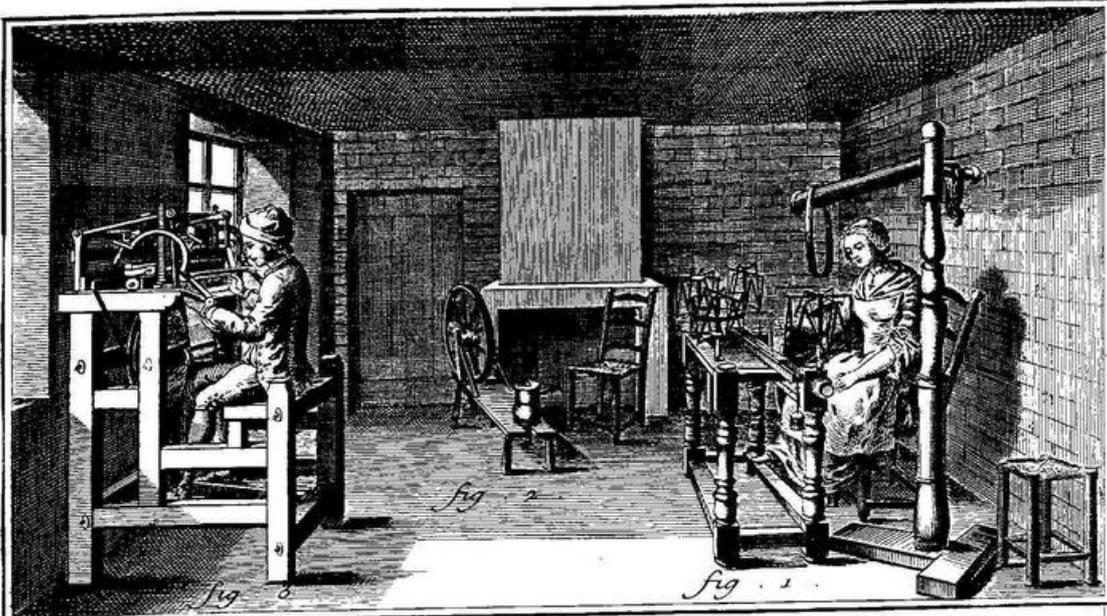
⁸ Élisabeth 1^{ère} a copié en Angleterre cette innovation sociale.

⁹ Le travail des moissons possédait les mêmes caractéristiques. De nombreuses tâches, qu'on apprenait très rapidement, s'y répétaient pour tous les saisonniers embauchés pour une courte période.

¹⁰ Ces innovations furent ensuite reprises par les autres marines. On en trouve trace dans l'actuel vocabulaire français de la marine à voile. Les mots « foc », « quille », « bôme » viennent directement des mots néerlandais « focke », « kiel » et « boom ».

¹¹ Antoine Picon, 1992, « Gestes ouvriers, opérations et processus techniques. La vision du travail des encyclopédistes », *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie*, n° 13, 131-147. Daniel Puymège, 1980, « Les machines dans l'*Encyclopédie* », *Milieus*, n° 3-4, octobre, p. 88-96.

¹² Adam Smith, 1776, *Inquiry into the nature and causes of the Wealth of Nations*. London : Straham & Cadell. Book 1, Chapter 11. Ceci se passa donc avant la mort d'Élisabeth 1^{ère} en 1603.



Goussier del.

Bernard fecit

Metier à faire des Bas

Figure 4 Le métier à bas selon l'Encyclopédie

Les encyclopédistes ont décrit en détail l'outillage pour fabriquer les épingles en Normandie. Ces outils ont été inventés en Flandre. Cette thèse repose sur plusieurs arguments. Premièrement, les mots techniques de l'épinglerie normande ont une origine repérable dans la langue néerlandaise.

Un deuxième argument réside dans les statistiques du commerce extérieur de 1658, fournies par Boreel, l'ambassadeur hollandais auprès de Louis XIV. Les Hollandais importaient quantité d'épingles et de peignes fabriqués en France¹³. Le troisième argument vient de la logique industrielle. Les épingliers normands travaillaient le laiton dans une région où il y a du fer mais pas du tout de cuivre. Toute la matière première devait être importée. Cette industrie de l'épingle, aux origines obscures, paraissait exister de temps immémorial, or elle n'est attestée qu'à partir du XVI^e siècle.

Un quatrième argument vient des environs d'Aix-la-Chapelle. Vers 1800, les habitants s'y souvenaient très bien du fait que leur région avait été industrialisée par des habitants des Pays-Bas fuyant la guerre avec les troupes espagnoles au XVI^e siècle¹⁴. Les industries avaient trouvé un territoire plus sûr en migrant de quelques dizaines de kilomètres vers l'Est. D'autres industries ont pu de la même manière être déplacées en dehors de la zone de troubles, jusqu'en Normandie¹⁵.

La fabrication des épingles a été délocalisée vers des régions de bas salaires, la Normandie, sous le contrôle des opérateurs hollandais qui apportaient la matière première et emportaient la marchandise pour la commercialiser, notamment vers l'Espagne et l'Angleterre. Les ateliers normands dépendaient de leurs commanditaires.

La guerre entre la France et la Hollande (1672-1679) ruina ce commerce qui ne se rétablit pas après le traité de Nimègue. Les Hollandais laissèrent les fabricants normands à leur sort et des négociants locaux les ont remplacés. Ils achetèrent le fil de laiton aux transitaires, spécialistes de l'import-export, à Rouen et à Paris. Ensuite ils s'adressèrent eux-mêmes aux fournisseurs de fil en Allemagne et à Rotterdam. Pour la commercialisation, ils utilisèrent d'abord les marchés locaux. Ils entreprirent ensuite une quasi-contrebande vers la capitale en concurrençant la corporation des épingliers parisiens. Enfin, ils vendirent à longue distance sur tout le territoire français, en Espagne et en Italie, en utilisant le système postal et les messageries pour l'expédition. Ils démarchaient leurs clients par des tournées sur place. Ces négociants pionniers firent rapidement fortune à la fin du XVII^e et au début du XVIII^e siècle. Les gros bénéficiaires résidaient dans la commercialisation que les Hollandais avaient contrôlée.

Après cette guerre, les Anglais ne furent plus approvisionnés en épingles venant de Hollande. Ils purent construire à Gloucester une production, copiée sur le procédé hollandais, donc avec des techniques similaires à celles des Normands. L'espace économique européen des épingles au XVIII^e siècle était partagé en trois zones : anglaise, française incluant l'Espagne et l'Italie, germanique conservée par les Hollandais. Cette répartition résultait des équilibres politiques.

Quelles furent les raisons de ces innovations techniques, économiques et sociales aux Pays-Bas ? On met généralement en avant la liberté économique accordée par les suzerains,

¹³ P.-D. Huet, 1713, *Le grand trésor historique et politique du Commerce des hollandais*, Rouen : Ruault, pp. 108-109. Il semble que, de manière analogue, les Hollandais ont créé une industrie du peigne à Ezy-sur-Eure en apportant des ivoires et des bois d'ébène africains. Après leur retrait, les peignes furent faits en corne et en buis.

¹⁴ Anton Joseph Dorsch, 1804, *Statistique du département de la Roër*. Cologne : Oedenkoven et Thiriart.

¹⁵ La région de L'Aigle (Pays d'Ouche) semble avoir été choisie en fonction de liens instaurés au siècle précédent, lors de l'introduction du haut fourneau (procédé wallon).

les Ducs de Bourgogne, en échange d'une forte contribution financière¹⁶. La communication par les voies d'eau a été aussi un avantage qui se complétait des influences multiples des idées venant des zones germaniques et françaises. Un avantage a pu se constituer du brassage des peuples, frisons, bataves, celtes, tels qu'ils existaient déjà dans la « Gaule Belgique » de César. Les langues non unifiées, wallon, flamand, allemand, patois locaux comme le bruxellois, le portugais ou l'espagnol des juifs réfugiés, n'ont pas été un obstacle à la communication et peut-être cette diversité a-t-elle créé une émulation. La Réforme au XVI^e siècle a créé d'autres clivages. Tous ces éléments ont probablement joué concomitamment. Quoiqu'il en soit, les Flandres, avec la partie devenue indépendante mais aussi avec les territoires restés espagnols et ceux devenus français, ont eu une influence considérable dans les innovations techniques et économiques en Europe, aux temps de l'Ancien Régime français.

4. Les innovations des techniques de la fabrication des épingles

Le procédé décrit par les encyclopédistes, celui évoqué par Adam Smith, a apporté de nombreuses innovations par rapport à la production dans les ateliers urbains, avec un ou deux ouvriers autour du maître. Il y eut ensuite d'autres innovations qui ont amélioré légèrement ce processus classique, puis il y eut la vraie rupture, avec la mécanisation.

4.1. Le procédé classique

Le procédé utilisé à L'Aigle en Normandie a été décrit en détail par les encyclopédistes¹⁷. Il innove par les outils adaptés à chaque étape de la fabrication. Ces outils ont été décrits avec l'ouvrier les manipulant. Les observateurs du XVIII^e siècle ont ainsi inventé le concept d'« opération », qu'on nommerait aujourd'hui « poste de travail ». La description des 14 (ou 18) opérations fait croire à une spécialisation des ouvriers comme s'ils travaillaient à la chaîne. Cela aurait été impossible parce que les temps opératoires étaient très différents. En fait, tous travaillaient sur des lots et étaient plus ou moins polyvalents selon la taille de l'atelier. Les textes donnent l'impression d'une « division du travail », en fait, ils sont muets sur la répartition des opérations entre les ouvriers.

Voici les innovations techniques de ce processus par rapport aux épingliers urbains :

- fil de dimension très exacte grâce à des calibres,
- fil très fin grâce au tréfilage en le lui communiquant la force de traction par un tambour,
- définition de la taille des épingles par des numéros et, pour les respecter sans difficulté, des boîtes de dimension y correspondant,
- regroupement en lots d'un grand nombre d'épingles pour exécuter rapidement certaines opérations comme couper, étamer, etc. Pour empointer, on opère sur plusieurs dizaines d'épingles en même temps. En empointant les épingles avant qu'elles aient une tête, les épingles sont bien parallèles et le lot est plus important. Auparavant, les artisans urbains empointaient après la pose de la tête et prenaient moins d'épingles à la fois.
- outillage spécialisé pour chaque opération¹⁸ ; notamment la machine à entêter simplifiait le délicat travail de martèlement de la tête sur le corps de l'épingle,

¹⁶ Maurice Aymard (direction), 1977, *Dutch capitalism and world capitalism, Capitalisme hollandais et capitalisme mondial*. Cambridge : Cambridge University Press & Paris : Editions de la MSH.

¹⁷ Jean-Louis Peucelle, 2007, *Adam Smith et la division du travail, La naissance d'une idée fausse*, Paris : L'Harmattan. Ces techniques anciennes sont visibles au syndicat d'initiative de Rugles, au Folk Museum de Gloucester, au Deutsches Drahtmuseum à Altena, dans la Historische Fabrikanlage à Iserlohn, au musée du peigne à Ezy-sur-Eure.

¹⁸ L'opération se définit d'ailleurs comme le travail effectué avec chaque outil, se répétant en passant d'un lot de matières à un autre.

- étamage par le procédé connu très anciennement par les métallurgistes du cuivre¹⁹,
- présentation des épingles commercialisées en les fichant sur des papiers.

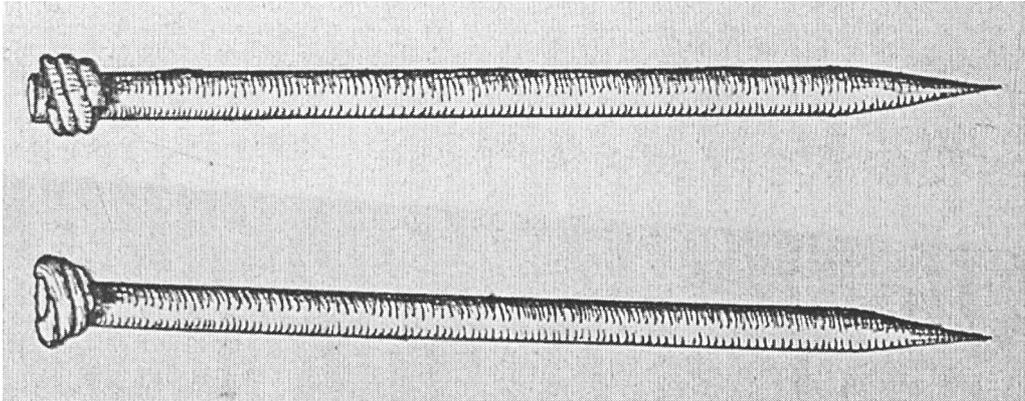


Figure 5 La tête de l'épingle avant entêtage et après (Folk Museum de Gloucester)

À ces innovations techniques se sont ajoutés des innovations sociales :

- faire travailler des ouvrières à domicile ou des adolescents dans les « ateliers des pauvres », en les rémunérant très faiblement pour réaliser deux opérations correspondant à 50% du temps, l'entêtage et le boutage des épingles sur les papiers,
- tenir les ouvriers en les rémunérant aux pièces,
- conserver le pilotage du processus d'une part en fournissant les machines à domicile et les matières premières, d'autre part en conservant dans un atelier certaines opérations essentielles,
- enlever les produits et se réserver l'exclusivité de la commercialisation.

Les Hollandais ont donc proposé aux Normands de se mettre à l'épinglerie. Les fêrons du Pays d'Ouche y ont trouvé un remède à la crise de l'activité, subie depuis le XVe siècle où la technologie des hauts fourneaux (procédé wallon) avait remplacé les techniques sidérurgiques traditionnelles²⁰.

4.2. Les améliorations du procédé classique

Les administrateurs napoléoniens ont rendu compte du procédé qui avait été conservé en Hollande²¹. Au XVIIIe siècle, il avait aussi été adopté par les Anglais, à Gloucester. Il existait donc trois zones de production en Europe. Les différences entre elles indiquent des innovations locales. En voici quelques-unes :

- les accouvoirs. La machine à entêter fonctionne avec les deux mains et un pied. L'équilibre des ouvrières n'est pas bien assuré. Les Normands ajoutèrent des accouvoirs pour améliorer le confort et la productivité.
- la cisaille à pied. Le fil n'était jamais coupé épingle après épingle. On constituait des bottes d'une centaine de fils. Pour couper ces bottes, les ouvriers manipulaient de grands ciseaux avec une forte poigne. Les Anglais eurent l'idée de faire couper les

¹⁹ Les épingliers des villes semblent avoir argenté leurs épingles en les frottant avec une pâte de chlorure d'argent (argenture au bouchon). L'étamage était moins cher.

²⁰ Jean-François Belhoste, Yannick Lecherbonnier, Mathieu Arnoux, Danielle Arribet, Brian Awty, Michel Rioult, 1991, *La métallurgie normande XIIe-XVIIe siècles, la révolution du haut-fourneau*. Paris : L'inventaire N°14.

²¹ Toutes les Flandres et la rive gauche du Rhin ont été annexées après leur conquête par les armées françaises de la Révolution. Jacques Peuchet et P.G. Chanlaire, 1807, *Description topographique et statistique de la France*. Paris : Chanlaire, Cabany et Courcier. Armand-Gaston Camus, 1803, *Voyage fait dans les départements nouvellement réunis et dans les départements du Bas-Rhin, du Nord, du Pas-de-Calais et de la Somme, à la fin de l'an X*, Paris : Baudoin.

femmes avec une cisaille au pied²². Moins d'effort, moins de temps, et un opérateur moins bien rémunéré. De plus, un poste spécialisé était supprimé.

- la meule à empointer. Les épingles étaient empointées successivement sur deux meules rainurées en acier, l'une grossière, l'autre fine. Ces meules étaient mues par un tourneur. Donc, faire les pointes correspondait à deux opérations, chacune mobilisant deux hommes. En Angleterre, cette étape a été améliorée. Les deux meules ont été montées sur le même axe et l'empointeur lui-même les faisait tourner par un pédalier. L'empointeur ne se saisissait qu'une fois de la poignée d'épingles, au lieu de deux fois, et le poste du tourneur était supprimé.
- le peigne pour bouter les épingles. Les épingles étaient présentées sur des papiers. Le boutage se faisait épingle après épingle. Les Anglais inventèrent un peigne permettant de saisir vingt épingles à la fois et de les présenter en position devant les trous du papier.
- l'ébarbage. Les épingles pénètrent les tissus. Elles ne doivent comporter aucune excroissance qui risquerait de couper les fibres textiles. Après leur fabrication, on supprime les « barbes » éventuelles en frottant longtemps les épingles les unes contre les autres. Les épingles étaient ainsi mises dans des sacs de peau et secouées par deux hommes, puis un seul ouvrier secoua, le sac étant fixé à un poteau. Enfin, on a mis les épingles dans un petit tonneau qu'on tournait, le frottoir, qui a aussi été utilisé pour diverses pièces de quincaillerie.



Figure 6 Frottoir présenté au musée de la forge à Francheville (27160, France)

²² Charles Babbage, 1832, *On the economy of machinery and manufactures*. London : Knight. Réédité en 1993. London : Routledge. Traduit en 1833, *Traité sur l'économie des machines et des manufactures*. Paris : Bachelier.

- les tailles d'épingles. Il y avait des petites épingles pour tenir des mouchoirs, de plus grosses pour retrousser les jupes lors des travaux salissants, de très grosses pour tenir les jambières. Elles se nommaient « rosettes », « busque », « à la Reyne », « demoiselles », « camion », « bizette », « houseaux », « drapières ». La taille exacte correspondait de manière floue avec ces dénominations. Les Hollandais ont apporté une innovation considérable en créant des numéros pour les tailles d'épingles. Une référence précise paraissait possible. Les épingliers de Normandie avaient des tailles du numéro 1 jusqu'à 36. Mais la normalisation a évolué au cours du temps. L'épingle correspondant à un numéro donné devenait de plus en plus petite, plus mince et plus légère, de 1 à 2% par an²³. La standardisation était évolutive et les inspecteurs du commerce de Versailles n'ont pas réussi à imposer des normes figées. Des tailles fixes étaient nécessaires comme repère des acheteurs. Mais toute règle génère une petite tricherie. Par accumulation, on observe une tendance de long terme. Les épingles s'amenuisaient.
- l'étamage du fer. Le Pays d'Ouche était expert en sidérurgie. On chercha vite à y faire des épingles en fer. Mais l'étamage en solution aqueuse ne fonctionne pas sur le fer. On trempait les épingles de fer dans un mélange d'étain et de plomb en fusion. L'étain fond à 232°, le plomb à 327°, mais le mélange avec 63% d'étain fond à 185°, température peu élevée par rapport aux 1500° nécessaires pour faire fondre le fer. Au XIXe siècle, en Normandie, on a innové pour étamer les épingles en fer. On a utilisé une solution de chlorure d'étain, en présence de morceaux de zinc. Des brevets ont été déposés, le procédé fut copié, des procès ont lieu²⁴. Les inventeurs furent déboutés au titre qu'il ne s'agissait pas d'une découverte mais du résultat d'expériences, anciennes et publiques²⁵. Les industriels de L'Aigle avaient retrouvé des connaissances acquises des dizaines d'années auparavant. Ils l'ignoraient faute d'une bonne formation en chimie. Ce conflit est très intéressant car il illustre une séparation entre la science établie, qui découvre mais ne sait pas à quoi cela pourrait s'appliquer et l'industrie qui ignore ces résultats et réinvente.
- l'entête. Poser la tête de l'épingle occupe un tiers du temps de production, en prenant les épingles unes à unes. Les améliorations sur cette opération se sont fait, dans deux directions différentes. En Allemagne, à partir de 1804, Laurenz Jecker a fixé une goutte de laiton fondu, en trempant dans le bain en fusion le bout d'une soixantaine d'épingles²⁶. En Angleterre, on a conçu d'abord de frapper la tête en un seul coup, au lieu de six²⁷. Puis on imagina de faire la tête par repoussage du corps, en le tenant fortement dans le "wellclose square" (brevet Hunt de 1817). Cette solution a considérablement amélioré le processus et elle s'est avérée prometteuse grâce à la mécanisation.

²³ Après des dizaines d'années de réglementation étatique des tailles et des prix, les boulangers ont obtenu la liberté dans leur commerce et actuellement ils suivent la même tendance.

²⁴ Jean-Augustin Barral, 1855, *Étamage des épingles, examen d'un rapport d'expert (affaire Hurel-Masson contre Roseleur et Boucher)*. Paris : Ducassois. Octave Lesueur, 1857, *Étamage par voie humide, procédés Alfred Roseleur et E. Boucher. Procès en contrefaçon. A. Tailfer et Cie demandeurs. Lefebvre et Vivien défendeurs*. Paris : Wittersheim.

²⁵ Notamment du suédois Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), des français Antoine Becquerel (1788-1878) et Henri de Ruolz (1811-1887).

²⁶ Carl Ganser, 1922, *Die Wirkungen der französischen Herrschaft, Gesetzgebung und Verwaltung auf das Aachener Wirtschaftsleben*, Thèse de l'université de Tübingen (Allemagne). Jecker avait travaillé en Angleterre dans une épinglerie et il avait rapporté les diverses améliorations qui y avaient été faites.

²⁷ Brevet Bundy de 1809. Peter Barlow, 1836, *A treatise on the manufactures and machinery of Great Britain*. London : Baldwin and Cradock.

4.3. La mécanisation.

En 1824, l'Américain Lemuel W. Wright déposa le brevet anglais de la machine à faire des épingles, mue par une force extérieure. En entrée, une bobine de fil et en sortie, des épingles avec une tête. La machine travaille épingle après épingle en réalisant successivement les opérations suivantes : dévider la quantité de fil nécessaire, le redresser, le couper, l'empointer, repousser la tête. L'épingle est terminée si on a utilisé un métal inoxydable. S'il faut étamer, on le fait dans un bain électrolytique.

Le succès n'est pas venu tout de suite. La machine ne suffit pas à elle seule à surclasser la production manuelle. Il faut qu'elle ne soit pas trop onéreuse, en achat et en entretien. Il faut disposer de mécaniciens capables de l'entretenir et la réparer. Il faut que ses pannes ne soient pas trop fréquentes. La mécanisation exige une compétence technique qui se transfère plus difficilement que les matériels eux-mêmes. Les premiers industriels utilisant la machine de Wright à Londres ont abandonné. Le brevet a alors été repris par Daniel Foote-Taylen et les machines semblent avoir mieux fonctionné dans la région épinglière de Gloucester où la production manuelle y a progressivement disparu. Aux États-Unis, John Ireland Howe (1793-1865) fit de nouvelles innovations à partir de 1830, ses machines ont produit des épingles en quantité à partir des années 1840²⁸. Il n'y avait jamais eu de production manuelle aux États-Unis.

Les machines étrangères ont été achetées par les industriels de Normandie. Mais jusque vers 1890, la production manuelle y a subsisté, avec à des rémunérations extrêmement basses. La mécanisation a définitivement gagné quand les industriels ont eux-mêmes conçu les machines²⁹.

5. Conclusion

À l'issue de cette liste d'innovations dans cette toute petite industrie, aucune théorie nouvelle n'émerge. Tout au plus, peut-on faire quelques remarques générales sur l'ombre qui obscurcit souvent les processus d'innovation, sur les transferts technologiques entre productions, sur la diffusion des innovations portée essentiellement par les hommes, sur les conditions favorisant l'innovation, sur la direction générale d'une réduction du prix par l'augmentation de la productivité physique. Commençons par insister sur les étapes du processus d'innovation.

5.1. Changement, évaluation, adoption, diffusion

L'innovation n'est pas provoquée par tout changement dans le processus de production. À un moment particulier, un changement est essayé, évalué puis adopté s'il est bénéfique. Ensuite d'autres le copient et il se transmet dans les divers lieux de production. C'est l'ensemble de ce processus qui constitue l'innovation. En se focalisant sur les techniques de production, on voit les différentes étapes, avec parfois une incomplétude.

Il existe ainsi des changements avortés. Ils ont été écartés, car évalués négativement. Par exemple, on a testé en Normandie au XVIIIe siècle d'adjoindre un enfant à l'entêteuse pour faciliter son travail. La productivité n'en a pas été améliorée et cela fut abandonné.

Plusieurs changements, tous positifs, peuvent se trouver en concurrence au moment de la diffusion. Par exemple, à Aix la Chapelle, Jecker a fait la tête de l'épingle en trempant son extrémité dans du lait en fusion. Cette innovation a augmenté la productivité. Mais peu après les Anglais ont inventé de faire la tête par repoussage du corps. Cette deuxième

²⁸ David Hounshell, 1985, *From the American system to mass production 1800-1932, The development of manufacturing technology in the United States*. Baltimore & London : The John Hopkins University Press.

²⁹ Ce fut le cas de Bohin à L'Aigle. Pour faire les épingles, il a acheté des machines à Aix-la-Chapelle. Il déposa ensuite une dizaine de brevets de 1883 à 1906 pour des machines et des procédés concernant la production des épingles et des aiguilles.

technique a prévalu, même s'il existe encore des épingles avec une grosse tête de matière rapportée, fixée à l'état liquide.

Enfin, certaines innovations peuvent être gardées secrètes comme avantage compétitif de leur inventeur. Ce fut le cas de la filière au XIVe siècle à Nuremberg. Mais ce secret a malgré tout diffusé en d'autres lieux.

Ainsi changer, évaluer le changement, l'adopter, le diffuser sont des étapes bien distinctes de l'innovation, ayant une relative indépendance.

5.2. L'obscurité du processus d'innovation

Le processus d'innovation est souvent laissé dans l'ombre. On ne connaît avec précision ni l'auteur, ni le lieu, ni le moment. On repère bien en revanche la technologie ayant été modifiée, où, par qui et à quel moment elle est employée. La cause de cette ombre vient de trois aspects : la difficulté d'observer, la reconstruction de l'histoire de ces innovations, le secret.

L'innovation est un phénomène fugace et localisé, donc difficile à observer. Il est toujours plus facile de connaître les états stables où la description est peu dépendante des moments, voire de l'objet précis dans un ensemble d'objets similaires. L'outillage pour fabriquer les épingles était identique dans tous les ateliers normands. Il était facile d'en rendre compte, de refaire les observations. Si au contraire chaque atelier avait été différent des autres, l'objet dont on aurait rendu compte aurait été instable et on aurait eu du mal à en parler, sauf à investir considérablement dans cette observation des écarts. La similitude des ateliers épingliers portait sur les outils mais pas sur l'organisation du travail, car selon la taille des ateliers, on répartissait différemment les opérations entre les ouvriers. C'est pourquoi les observations ne parlaient pas de la spécialisation. Si certaines expressions laissent entendre qu'il y avait une « division du travail », elles ont été ajoutées par des rédacteurs postérieurs qui n'avaient pas observé eux-mêmes.

L'innovation laisse une trace, sous la forme de l'outil ou du tour de main. Mais son histoire est oubliée par les acteurs ; oubliée mais aussi reconstruite. L'histoire d'une innovation peut se transformer en mythe, mythe industriel et technique, histoire édifiante transmise entre générations.

Par exemple, l'invention de la « bobille » est mythique. Pour tréfiler, on tirait le fil avec une pince non coupante. Pour ne pas abîmer les fils fins, on les enroulait sur un tambour, la « bobine » ou « bobille ». À L'Aigle, la famille des tréfileurs Mouchel affirmait que cette « bobille » était une invention de l'ancêtre Jean-Baptiste Mouchel, au début du XVIIIe siècle. Ce négociant faisait travailler des tréfileurs à domicile. A-t-il inventé la « bobine » pour les fils fins, de fer et de laiton, ou a-t-il seulement transféré la technique à des fils de fer ? Surtout, il a su vendre ces fils de fer fins et y a fait fortune. Mais il se pourrait que la bobille vienne de Hollande, comme les autres instruments du procédé classique. On ne connaît pas l'origine du mot français « bobine ». On sait en revanche que le mot « bulbe » (pour la tulipe) vient du néerlandais « bloembol », « bol » signifiant « rond, bombé, boule ». Ce mot est aussi employé pour désigner la « bobine de fil » qui se dit « bol garen » ou « garen klos ». Pour lier « bol » avec « bobille », un autre mot a pu s'ajouter, « bijen » signifiant « ensemble », par exemple dans « bijdoen » signifiant « ajouter, joindre à ». Cette piste lexicographique est possible mais pas complètement probante. La mémoire humaine de cette découverte est perdue et remplacée par un mythe.

Le silence sur l'innovation est motivé aussi par le fait que souvent l'inventeur n'est pas celui qui l'a industrialisé. La machine à faire des épingles, construite par Wright, a rencontré le succès dans les usines de Foote-Taylen. De même, la machine à coudre a été brevetée par Elias Howe en 1846 aux Etats-Unis, mais elle a été industrialisée par Isaac Singer qui l'a perfectionnée en 1851.

Un dernier élément obscurcit l'innovation, le secret conservé sur l'ensemble du processus : secret sur les essais, notamment ceux qui n'ont pas conduit au succès, secret sur les évaluations et leur méthode, secret ensuite sur le résultat, afin d'en profiter avant que les concurrents ne s'en saisissent. La fabrication des épingles en Normandie pour le compte des Hollandais était secrète. La vente aux Anglais générait de gros bénéfices. Les clients auraient pu s'approvisionner directement à la source. Le secret permettait de maintenir les prix élevés, en référence à ceux des épingliers de la corporation de Londres. Les clients croyaient à un processus de production similaire. Cette fabrication en France n'a commencé à être connue des administrateurs royaux qu'à la fin du XVIIIe siècle. Elle travaillait alors pour Paris et pour l'exportation. Le secret était tombé peu avant et les Anglais ont pu copier le processus qui subsistait encore en Hollande.

5.3. Les transferts entre productions

L'innovation réussie dans une production est souvent copiée pour d'autres productions. Ces transferts interindustriels forment une grande part des innovations. Ils réduisent les risques. Pour les épingles il y eut plusieurs types de transferts :

- entre tous les objets fabriqués en laiton, notamment pour la méthode millénaire d'étamage ou pour l'élaboration du laiton avec la calamine,
- entre le cuivre et le fer, pour le raffinage par fusion, le moulage, le martelage, le tréfilage, le laminage, etc. La filière, apportée en Normandie pour le laiton est reprise pour le fil de fer.
- entre les épingles et les aiguilles, pour le travail à domicile, l'empointage, la mécanisation et la commercialisation,
- entre industries diverses, pour mouvoir les meules avec des pédales, actionner une cisaille au pied, concevoir des machines dont l'énergie était apportée par une courroie, etc.

Une innovation, adoptée avec succès pour une industrie, est ensuite adaptée pour une autre. La technique diffuse au-delà des spécialisations industrielles. Ainsi, les centres industriels polyvalents sont des lieux d'innovation. La Hollande du XVIe siècle et l'Angleterre du XIXe en sont des exemples bien connus. A contrario, le Pays d'Ouche n'a pas modifié considérablement les techniques qu'il avait reçues. Les épingliers, isolés dans la campagne et la forêt, n'avaient pas de stimulation ou d'exemples leur montrant qu'il était possible de faire différemment.

5.4. La diffusion des innovations

Le processus de diffusion des innovations est un élément essentiel. La modification qui est efficace dans un lieu est copiée dans d'autres lieux de productions. Cette diffusion, contradictoire avec le souci du secret, s'appuie essentiellement sur les hommes. Bien sûr les épingliers étaient analphabètes mais les descriptions des Arts et Métiers du XVIIIe siècle n'ont jamais servi à installer une nouvelle activité ou à transférer un secret de fabrication. Les techniques décrites étaient anciennes, souvent dépassées ou allaient l'être très prochainement. La documentation écrite est rarement suffisante pour maîtriser une technique.

Les hommes sont donc le principal vecteur de diffusion des innovations, selon plusieurs modes :

- a) la formation itinérante des jeunes ; par opposition au « chef d'œuvre » résultant de la formation dans un seul atelier, la tradition du « Tour de France » permettait de recueillir les innovations lointaines. Les compagnons y acquéraient une excellence. De manière similaire, les férons normands avaient une tradition d'accueillir tout voyageur qui se disait du métier. On lui faisait forger une pièce et, s'il savait faire, il était considéré comme « cousin du foisil », invité à

travailler sur place ou recommandé pour un autre atelier. Cette tradition d'accueil subsistait probablement des temps très anciens où les métallurgistes, ayant essaimé sur divers les gisements, retrouvaient une solidarité qui avait comme fonction de faire diffuser les innovations entreprises localement. En revanche, les épingliers ne semblent ne pas s'être déplacés. La technicité, devenue faible, était acquise sur place.

- b) la mobilité momentanée des experts ; par exemple, le haut fourneau a été installé dans le Pays d'Ouche vers 1450, par des Wallons, appelés par les investisseurs. De même, Les Hollandais qui ont appris le procédé de l'épinglerie aux Normands sont probablement venus et repartis après avoir installé ces antennes de leur production.
- c) l'émigration permanente, sollicitée par des projets industriels d'envergure, offrant de hauts salaires ; entre 1500 et 1530, environ 400 fêrons du Pays de Bray ont migré vers l'Angleterre, pour créer les forges du Weald (Sussex)³⁰. Auparavant l'Angleterre et l'Ecosse importaient du fer hanséatique et du fer espagnol, souvent par l'intermédiaire des Pays-Bas. Le transfert de centaines de personnes et le soutien royal ont assuré le succès. Au contraire, quand le gouvernement révolutionnaire a voulu copier l'industrie des aiguilles d'Aix-la-Chapelle, il a fait venir une quinzaine d'ouvriers à Paris et ils ne sont jamais parvenus à y reproduire la qualité et les prix. Cette tentative était d'autant plus étrange qu'Aix-la-Chapelle était devenue française et qu'on l'aurait alors concurrencé. Par ailleurs, on copiait le procédé manuel, tandis que sur place on commençait à mécaniser.
- d) l'émigration pulsée par les difficultés du pays d'origine ; la famine, l'insécurité, l'épuisement des ressources (mines, forêts, etc.) ont été un moteur d'une émigration permanente et donc d'un transfert des compétences. Par exemple, au XVIIIe siècle, un épinglier a été banni du Pays d'Ouche. Avec son fusil, il avait menacé le seigneur du lieu qui lorgnait trop assidûment sur sa femme. L'affaire aurait pu lui valoir les galères. Après une médiation des voisins, il quitta le pays pour Paris. Là-bas, il travailla à une production proche de celle des épingles, le clou d'épingle pour l'ébénisterie. Quand il revint, il fit travailler ses voisins à ce clou d'épingle qu'il vendit à Paris et il y fit fortune.
- e) l'espionnage industriel ; en contrepartie du secret, on a toujours cherché à copier les procédés des lieux de production les plus renommés. Quelques ouvriers de L'Aigle ont tenté sans succès de se faire embaucher dans l'industrie des aiguilles anglaises. L'Allemand Jecker avait travaillé dans les épingleries anglaises, avant d'installer son usine à Aix-la-Chapelle et d'y innover. L'espionnage est un des modes de diffusion des innovations.

Les hommes voyagent et disséminent les techniques et les idées. Même avec tous les moyens de transmission de l'information actuels, ce mécanisme semble encore être le plus efficace. Même quand elles sont écrites, dans un brevet par exemple, les connaissances, conservent une part tacite, un savoir-faire non verbal, incapable d'être couché sur le papier.

5.5. Les moments d'innovation

L'innovation peut apparemment survenir à tout moment. Cependant, on met souvent en avant divers mécanismes spécifiques. Parmi ceux-ci, le transfert entre l'université et l'industrie, le soutien de l'État et les difficultés économiques momentanées.

³⁰ Brian G. Awty, 1981, « L'émigration des forgerons brayons vers l'Angleterre au XVIe siècle », in *Travail et métiers et professions en Normandie*, 87-96.

La description des Arts et Métiers par l'Académie des Sciences devait inclure une assistance des savants au monde artisanal. En impulsant ce projet, le gouvernement de Louis XIV exprimait son souhait de trouver une application pratique aux considérations théoriques de son Académie. Ce fut un échec. Aucun des métiers examinés n'a été modifié par la science de l'époque. Les mondes académique et industriel étaient séparés. On retrouve cette difficulté de communication au XIXe siècle dans les brevets de l'étamage du fer avec du chlorure d'étain. La science avait découvert le procédé. L'industrie l'ignorait et l'a redécouvert. L'administration des brevets elle-même n'avait pas décelé l'antériorité.

L'État soutient l'innovation, par exemple en créant des prix, concours offerts à ceux qui réaliseront une innovation particulière. Au début du XIXe siècle aux Etats-Unis, un prix fut offert aux industriels qui parviendraient à installer une industrie de l'épingle dans le pays. Ce fut probablement ce qui a poussé Wright à mettre au point la machine à faire les épingles. Le soutien public fut un succès dans ce cas. Il avait attiré l'attention des inventeurs et l'un d'entre eux a réussi. À la même époque, le gouvernement français a créé un prix analogue pour la fabrication d'aiguilles. Plusieurs industriels de L'Aigle ont concouru mais ils n'ont jamais obtenu une bonne qualité. L'industrie ainsi créée a subsisté tant que l'État la protégeait. Elle a été ruinée par le traité de libre échange conclu avec l'Angleterre en 1860. Elle ne s'est relevée qu'avec la maîtrise de la construction des machines, sans le soutien étatique.

L'innovation la plus considérable a été la construction des machines à faire les épingles, vers 1830. C'était un moment d'innovations techniques dans d'autres industries. Mais aussi, il y eut un marasme spécifique à cette industrie en Angleterre : "during a prolonged period of falling price and small profits, like that from 1814 to 1821, competition was acute"³¹. Il en résulta une guerre commerciale pour reconquérir le client américain, de nombreuses faillites et une concentration. On peut penser que ces difficultés économiques ont été un moteur afin d'innover techniquement. Les négociants normands de l'époque connaissaient les mêmes problèmes et ils ne mirent en oeuvre que deux solutions : l'entente entre concurrents et la pression sur les rémunérations ouvrières³².

5.6. La réduction du coût

La méthodologie suivie a consisté à examiner les innovations sur une industrie particulière. Elle permet de mettre en évidence des évolutions à long terme. Chaque innovation y trouve sa place au moment où elle est adoptée dans la production réelle, souvent avec retard par rapport à sa découverte. Cette approche met en perspective un grand nombre d'innovations. Leur ligne directrice est celle d'une réduction du prix, par l'invention d'outils spécifiques puis de machines. On produit les épingles avec moins de travail.

La baisse tendancielle du coût unitaire des produits manufacturés paraît naturelle. Elle n'est cependant pas une règle générale. Par exemple, le fusil a beaucoup évolué depuis le XVIIe siècle. Toutes les innovations ont cherché à améliorer la qualité de l'arme, notamment sa précision et sa portée. En revanche, elles n'ont pas fait baisser son coût qui est resté relativement constant³³.

Adam Smith a attiré l'attention sur une organisation de la production différente de celle des corporations. Mais il ne connaissait pas assez précisément comment étaient produites les épingles. Il est exact qu'à certains postes de travail des épinglières étaient affectées de manière permanente. Ceci était possible grâce à l'invention d'un outillage spécialisé qui facilitait l'exécution de l'opération. L'apprentissage en était accéléré. L'innovation de

³¹ T.S. Ashton, 1925, "The records of a pin manufactory 1814-1821", *Economica*, November, 281-292. p. 290.

³² En conséquence, il y eut en 1831 un mouvement social violent des ouvriers de l'épinglerie, semblable à celui des canuts de Lyon.

³³ Un mois de salaire ouvrier. Jean-Louis Peaucelle, 2005, « Du concept d'interchangeabilité à sa réalisation, le fusil des XVIIIe et XIXe siècles », *Gérer & Comprendre*, N° 80, 58-76.

machines spécifiques à chaque étape d'une production particulière a conduit à l'innovation sociale consistant à mettre au travail une main d'œuvre sans formation.

Ce mode d'organisation s'est répandu dans l'industrie des XIXe et XXe siècles. Elle n'offre pas un avantage économique par une productivité accrue en fonction de la division du travail. Son intérêt est de mettre au travail une main d'œuvre peu payée parce qu'elle n'a pas de formation. Pour les épingles, c'étaient les femmes de la campagne et leurs enfants, à domicile.

Pour étudier les innovations, la méthodologie suivie ici a focalisé l'attention sur une seule industrie, l'épinglerie. Cela met en évidence l'interaction entre les machines et l'organisation du travail. La technologie détermine largement l'organisation et la compétence nécessaire au travail. Cette conclusion est opposée à la thèse de Adam Smith selon lequel la division du travail est un préalable à l'invention des machines. Au contraire, l'innovation organisationnelle découle des changements technologiques.