

DU CONCEPT D'INTERCHANGEABILITÉ À SA RÉALISATION

Le fusil des XVIII^e et XIX^e siècles

L'interchangeabilité des pièces mécaniques est l'un des fondements de l'industrie moderne. Elle n'a été atteinte qu'au XIX^e siècle, après bien des innovations. Pour réaliser ce qui, au départ, ne semblait être qu'une caractéristique supplémentaire demandée au produit, il fallut modifier les méthodes de travail, introduire de nouveaux outils, construire de nouvelles machines, utiliser l'énergie hydraulique, instituer des contrôles stricts. Ces transformations concernèrent aussi les relations sociales. Le travail à domicile disparut et les ouvriers-agriculteurs polyvalents se spécialisèrent. Le réglage et la maintenance émergèrent comme des activités spécifiques, intervenant quotidiennement sur le lieu de travail, indépendamment de la hiérarchie. Ce sont toutes les caractéristiques modernes de l'industrie qui se mirent ainsi en place à l'occasion de cette quête de l'interchangeabilité que l'auteur nous invite ici à suivre

PAR **Jean-Louis PEAUCELLE**, IAE UNIVERSITÉ DE LA RÉUNION – LABORATOIRE GREGEOI-FACIREM

L'interchangeabilité des pièces mécaniques est l'un des fondements de l'industrie moderne. Elle a été atteinte dans la deuxième moitié du XIX^e siècle après beaucoup d'innovations tant dans les méthodes d'usinage que dans l'organisation des ateliers.

Le concept sous-jacent de standardisation est très ancien. En 1893, W.F. Durfee montre que les industries américaines ont réalisé concrètement l'interchangeabilité grâce à un recours massif à des machines-outils telles que les fraiseuses, les rectifieuses et les tours (1). Il

relie ce résultat à toute l'histoire des techniques. Il identifie les innovations antérieures qui ont annoncé ce résultat de l'interchangeabilité. Il termine en relatant la première réalisation de l'interchangeabilité en Amérique par Eli Whitney, pour dix mille fusils commandés en 1798 par le gouvernement fédéral. L'idée de

(1) W.F. DURFEE, « The history and modern development of the art of interchangeability construction in mechanism », *Journal of Franklin Institute*, 1893, Vol. 136, 413 — 431, et 1894 Vol. 137, 44-54 et 118-126.

l'interchangeabilité lui avait été donnée par Thomas Jefferson, alors ambassadeur en France. À Paris, Jefferson avait vu tester l'interchangeabilité des pièces de fusils. Il en avait parlé avec enthousiasme à son ami John Jay dès 1785.

Durfee veut approfondir le passage, entre la France et les États-Unis, de l'idée d'interchangeabilité. Par l'intermédiaire de l'ambassade américaine à Paris, il fait rechercher les documents militaires du XVIII^e siècle sur cette innovation. Il rédige un deuxième texte pour en rendre compte (2). Le Français Honoré Blanc, fabricant de fusils, s'est beaucoup dépensé pour fabriquer des fusils à pièces interchangeables, avant et pendant la Révolution française.

Le travail documentaire de Durfee est remarquable. Sa thèse globale sur l'enracinement européen des innovations américaines est solidement étayée. Le concept d'interchangeabilité et la première tentative de sa réalisation pour les fusils semblent être nés en France à la fin du XVIII^e siècle.

Le but du présent article est d'examiner plus en détail ce qu'il en est de l'interchangeabilité des pièces du fusil en France, en exploitant les archives militaires. On y constate que cette quête a commencé au début du XVIII^e siècle et qu'elle s'achève, à la fin du XIX^e siècle, avec le fusil Lebel, usiné avec des machines-outils américaines.

Les conditions et les conséquences de ce processus d'innovation, en France et aux États-Unis, deviennent plus visibles. Le but recherché par l'interchangeabilité est l'amélioration des outils, des machines, des instruments de mesure et, aussi, de l'organisation du travail. La division du travail est ainsi étroitement associée à ce mouvement. La principale difficulté rencontrée par les industriels a été celle du coût. L'interchangeabilité augmente le prix de revient et elle est viable seulement lorsque le client accepte ce surcoût de qualité. Dans le long terme, les coûts du fusil sont restés relativement constants. Le progrès technique a été consacré à améliorer la qualité et la performance du fusil.

Tout d'abord, on indiquera quelles furent les étapes de la standardisation, depuis les briques d'argile jusqu'aux pièces du fusil. Les tentatives françaises furent nombreuses et précoces ; les États-Unis réussirent au XIX^e siècle et les militaires européens reprendront leurs techniques. La deuxième partie de cet article montrera quel a été l'outillage à chaque époque. Enfin, on montrera que cette histoire technique peut s'interpréter comme une démarche de qualité totale sur la fabrication du fusil avec trois aspects essentiels : l'amélioration des performances, le coût et l'organisation du travail.

(2) W.F. DURFEE, « The first systematic attempt at interchangeability in firearms », *Cassier's magazine an engineering monthly*, New-York, 1894, 469-477.

LES TENTATIVES DE STANDARDISATION

La standardisation avant les tentatives concernant le fusil

La standardisation des matériaux facilite la construction. Les pierres taillées avec une largeur standard peuvent être placées en rangées uniformes. Une grande partie des blocs des pyramides ont des dimensions standard. Au Moyen âge, pour la construction de galeries en ogive, on utilise des pierres de largeurs standard, repérées par le nombre de traits gravés sur une de leurs faces.

La brique et la tuile sont aussi standardisées dès les Romains et sont faites avec des moules en bois. La standardisation n'est pas toujours recherchée, elle est le résultat de leur mode de fabrication par moulage. Les figurines en terre cuite faites à Tanagra (en Béotie, 330-200 av. J-C) se ressemblent parce qu'elles sont fabriquées avec des moules. Ces figurines furent exportées partout en Méditerranée grâce à leur faible coût.

Le moulage est donc la manière la plus simple de faire des pièces identiques. Il faut qu'il soit réalisé dans une matière résistante et que l'objet soit fait à partir d'un liquide ou d'une pâte. Le moule en bois et l'objet en argile sont parfaitement adaptés. Pour l'imprimerie, les caractères en plomb sont fondus dans des matrices réutilisables, en fer ou en cuivre. L'interchangeabilité des caractères est ainsi acquise.

Les pièces de monnaie sont aussi interchangeables, non seulement en tant que représentation symbolique de la monnaie, mais aussi en tant qu'objets. Elles sont faites en métal ductile (or, argent, laiton) et frappées à froid au moyen d'une matrice en acier.

Moulage et frappe à froid créent une standardisation d'objets de grande diffusion. C'est plus difficile pour les objets en acier, qui doivent être trempés. La première tentative de fabriquer des pièces de fusil interchangeables date du début du XVIII^e siècle. Une deuxième tentative a lieu juste avant la Révolution française. Le succès est obtenu aux États-Unis au siècle suivant. Mais l'idée d'interchangeabilité vient de l'artillerie : les boulets doivent correspondre aux canons.

La normalisation de l'artillerie

Au début du XVIII^e siècle, Jean Florent de Vallière (1667-1759) crée le corps de l'Artillerie royale (3). En 1732, il réaffirme une normalisation des canons datant

(3) Michel DE LOMBARÈS, *Histoire de l'artillerie française*, Paris, Lavauzelle, 1984.

de 1684 et peu appliquée. Mais, faute de contrôles, ces normes restent approximatives (4). Les progrès les plus importants sont réalisés par Jean Baptiste Vaquette de Gribeauval (1715-1789), qui propose une nouvelle normalisation en 1765 (5).

Cette artillerie normalisée est conçue dans un souci d'optimisation technique. Gribeauval fait faire des essais et décide en fonction des résultats. Il dit lui-même que « *Tout est calculé de manière à produire le plus grand effet avec la dépense et les dimensions les plus petites possibles* » (6). Notamment, Gribeauval invente l'« étoile » (7), appareil servant à mesurer avec exactitude la dimension intérieure d'un canon (« l'âme »). Il réduit ainsi les tolérances et donc l'espace entre le boulet et le canon (le « vent »), ce qui améliore portée et précision et allège le canon.

Cette normalisation est alors stratégique: les documents sur ces standards (canons et affûts) sont peu nombreux et conservés secrètement. *La Table des constructions des principaux attirails de l'artillerie* de 1781 restera confidentielle et ne sera éditée, en 1792, qu'à cent vingt exemplaires destinés aux arsenaux. Ceux-ci disposent, en outre, d'une copie de la toise étalon conservée au Châtelet, pour interpréter exactement les cotes de construction de la documentation technique.

Gribeauval a standardisé et a réduit les tolérances. Les deux mouvements semblent aller de pair: on fabrique moins de modèles et on augmente la précision d'usinage. L'artillerie de Gribeauval surclassera celle des autres pays européens en 1789. C'est notamment grâce à elle que Napoléon gagnera ses batailles.

Ce souci de normaliser va ensuite s'étendre au fusil. Mais, avant même que le fusil ait été normalisé, on va avoir l'idée de rendre interchangeables ses pièces.

L'IDÉE D'INTERCHANGEABILITÉ

L'interchangeabilité au début du XVIII^e siècle

Au XVII^e siècle, les fusils sont fabriqués par des entrepreneurs privés, sur commande de chaque régiment.

(4) Son fils Joseph de Vallière (1717-1776) lui succède comme directeur général de l'artillerie. Il fonde l'école d'artillerie, d'abord à La Fère puis à Bapaume. Après d'autres transformations, elle fut intégrée à l'école du Génie de Mézière qui devint l'École Polytechnique.

(5) Pierre Richard, Jean Baptiste Vaquette de Gribeauval, premier inspecteur général du corps royal de l'artillerie, 2000, page 21.

(6) Cité par HOFER, *Nouvelle biographie générale*, Édition Didot, 1859, Tome 22, article « Gribeauval ».

(7) Il existe une « étoile » au Musée des Arts et Métiers sous la cote inv. 16989

En 1667, Louvois crée un monopole de l'approvisionnement. Maximilien Titon sera chargé de centraliser les achats aux fabricants et de servir les armées. À sa mort, son fils lui succédera, mais il gèrera mal l'affaire et croulera sous les dettes.

Durant la Régence, le maréchal de Villars réorganise l'approvisionnement en fusils en supprimant le monopole et en confiant aux artilleurs le soin de surveiller l'approvisionnement (service d'inspection). Ils vont y appliquer les mêmes raisonnements qu'au canon. Pour la première fois, est défini un modèle unique, avec des normes de fabrication et de contrôle, le « modèle 1717 » et les fabricants soumettent leurs propositions pour la fabrication de ce fusil unique. Mais il reste encore d'anciens fusils en stock. Aussi, en 1733, l'uniformisation n'est pas encore effective dans les unités.

Ce fusil mesure 1,59 m avec un canon de 1,19 m. Il est chargé par la bouche. Le soldat met le fusil debout sur sa crosse et y introduit successivement la poudre, la bourre et la balle. Il tasse avec la baguette (en bois, puis en fer) et, ensuite seulement, il reprend l'arme, épaule et tire.

L'imprécision de la fabrication est sensible dans l'écart entre le diamètre intérieur du canon (17,5 mm) et le diamètre de la balle en plomb (16 mm). La qualité des aciers est également très variable. Le fusil normalisé a de nombreux défauts, dont son poids (5 kg). Tous les niveaux de l'armée en débattent. On le fait évoluer et on le bricole localement. Cependant, dans toutes ses variantes, on tente au moins de respecter le calibre (8). Mais, bien avant déjà, un Marseillais nommé Guillaume Deschamps, a proposé un nouveau fusil dont les pièces sont normalisées et interchangeables. Des essais ont même été réalisés à partir de 1704. Le dernier a lieu en 1726, devant le Roi, avec quatre cents gardes suisses tirant chacun cinquante coups en un quart d'heure (9). Deschamps crée donc une fabrique à Toulon pour fabriquer des fusils selon son procédé. En 1727 et en 1728, il fournit à la marine douze mille pièces interchangeables permettant de monter six cent soixante-six platines (10). Mais cela n'ira pas plus loin. Le contrat de Deschamps précise que toutes « *les pièces seront forgées, limées, taraudées et trempées sur les mêmes proportions, en sorte qu'elles puissent s'ajuster les unes aux autres avec une telle uniformité qu'elles se rapportent à tous les corps de platine, et qu'après avoir été meslées les unes aux autres, celles qu'on tirera au hasard pour monter*

(8) Pierre NARDIN, *Gribeauval, lieutenant général des armées du roi, 1715-1789*, Fondation pour les études de défense nationale, Paris, 1982.

(9) DESCHAMPS, « État des épreuves qui ont été faites par Deschamps inventeur des platines uniformes pour les armes des troupes du Roi qui tirent deux cents coups par heure », de 1727 probablement, SHAT 6W126.

(10) La « platine » est l'ensemble des pièces permettant au soldat de déclencher le tir.



Renard, graveur de son pour Librairie Lenoir
© Coll. ROGER-VIOLLET



© Musée de l'Armée, Paris

Le fusil modèle 1766

une platine convienne parfaitement à leurs différentes applications et se tiennent indifféremment sur chacune des autres pièces à platines qui seront employées à la garniture des cinquante fusils» (11). L'épreuve de l'interchangeabilité est décrite ici pour la première fois. Elle demeurera la même pendant un siècle.



© Musée de l'Armée, Paris

Platine du fusil Modèle 1766

Les experts de l'époque doutent de l'interchangeabilité. «Je ne voudrais pas, Monseigneur, assurer à votre Altesse Sérénissime que les armes qui se feront en différentes fabriques éloignées les unes des autres se rapportent toutes exactement les unes aux autres, mais toujours l'ouvrage sera mieux exécuté que par le passé et je suis du sentiment qu'on en donne l'usage» (12). Un autre ajoute que «l'idée

(11) «Copie du traité», 29 septembre 1723, SHAT 6W126.

(12) Lettre de Resson du 21 février/1724, SHAT 6W126.

(13) VALLIÈRE, *Mémoire sur le défaut des armes*, 7 août/1727, SHAT 4W467.

(14) «Tarif des pièces de rechange aux fusils de Deschamps», SHAT 6W126.

(15) Cette tentative passa en Espagne dont le Roi est Bourbon. Deschamps y fit dès 1707 des essais. En 1711, il fut chargé d'établir une fabrique de fusils à Ségovie. Cependant, il revint en France en 1715. Il a probablement laissé sur place d'autres spécialistes, car la fabrication standardisée ne cessa pas. Soixante ans après, c'est probablement un autre Français qui conduisait les opérations. En 1773, M. d'Ossun, ambassa-

de faire convenir toutes les pièces des platines, les unes avec les autres, est ingénieusement imaginée, mais ceux qui connoissent l'usage de la forge, savent qu'elle ne peut former ces pièces en perfection, qu'elle peut seulement les disposer et que ce n'est que la lime qui peut les approprier au model, ainsi le temps qu'on y employ est de grande dépense». En d'autres termes, il est difficile et coûteux de chercher à atteindre l'interchangeabilité. Vallière l'a bien compris qui affirme: «Tous les officiers généraux souhaitent l'uniformité des armes et la demandent à cor et à cry, mais l'officier particulier en craint la dépense» (13). La décision a été emportée par une comparaison du prix des pièces des réparations dans les unités. Les pièces de la platine, dans les manufactures, revenaient à trois livres. Leur fabrication spécifique, dans les régiments, coûtait sept fois plus cher (14). Les pièces interchangeables auraient permis d'économiser sur la maintenance ultérieure. Cependant, en 1735, l'interchangeabilité fut abandonnée parce que les pièces de rechange stockées dans les régiments ne se plaçaient pas facilement dans les fusils en radoub (15).

L'invention de Deschamps n'était certainement pas aussi probante qu'il le pensait. L'interchangeabilité pour les fusils usés ne fonctionnait pas vraiment, probablement à cause d'une trop grande diversité de fabrication à l'intérieur du standard. Cet échec ne fut pas ébruité. On ne tira pas de leçon de cette expérience. L'idée d'interchangeabilité chemina probablement dans le corps des ouvriers qui avaient été associés à l'expérience et elle réapparut à l'identique à la génération suivante.

deur en Espagne, envoya à Versailles un mémoire du technicien français travaillant sur place. Il proposait ses services à la France. «Toutes les pièces sont si parfaitement égales qu'on peut les faire servir d'une platine à l'autre, de manière qu'un soldat pourvu de pièces de rechange pourroit arranger la platine de son fusil sans trouver aucune différence dans les proportions ainsi qu'on l'a éprouvé en remettant des pièces prises au hazard à différentes personnes qui ont remonté les platines sans y rencontrer la moindre difficulté». Vallière répond négativement à l'ambassadeur. «Il me paroît bien difficile que les trois sortes de trempe qu'éprouvent les différentes parties de la platine puissent s'opérer toujours également, quel qu'en soit le procédé». Il confirme le refus par les expériences antérieures. «Cette invention n'est point tout à fait nouvelle. On s'est servi autrefois, dans les armées de pièces de rechange, mais le succès ne répondit point à l'attente que l'on en avoit conçu». Vallière se souvient de la décision prise par son père. Poliment, il concède qu'il «peut se faire que l'on ait trouvé en Espagne un moyen de perfectionner cette invention». Source: Lettre du 22 février 1773, rapport de mars 1773 et réponse de Vallière du 23 mars 1773, SHAT 6W126.

La normalisation du fusil en 1777

Une fois son pouvoir de directeur de l'artillerie affermi, Gribeauval exigea un nouveau modèle standard pour le fusil. Il fit comparer tous les prototypes existants (16). Fut retenu celui d'Honoré Blanc, conçu en 1775 (17). Il devint le «*Modèle 1777*». Les modifications principales portaient sur la platine pour la mise à feu. On en fabriqua soixante mille par an. En 1786, toute l'armée en était équipée.

Honoré Blanc, né en 1736, avait été maître arquebusier en Avignon. Il avait travaillé avec un contrôleur de Charleville. En 1763, il est affecté comme troisième contrôleur à Saint-Étienne (18). Son action est appréciée par Gribeauval qui choisit son fusil comme nouveau standard, le «*modèle 1777*».

Lors des consultations sur le nouveau fusil, le problème de sa réparation apparaît crucial (19). Ainsi, en 1776, Gribeauval prévoit un armurier dans chaque régiment pour la réparation des fusils (20). Pour Blanc, la solution réside dans la standardisation. Dans un «*règlement*», il précise les dimensions de toutes les pièces du nouveau modèle de fusil (21). Dès 1777, il fabrique deux cents platines interchangeables pour le régiment du roi. Son succès favorise sa nomination comme contrôleur général des manufactures de fusils.

Depuis Deschamps, l'idée d'interchangeabilité avait probablement cheminé par l'intermédiaire du maître armurier auprès duquel Blanc avait appris le métier. Il semble en effet que cet armurier aurait travaillé à cette expérience, de 1726 à 1728, à Toulon. Pendant vingt-quatre ans, Blanc va consacrer sa vie à réaliser l'interchangeabilité, d'abord au sein de l'administration militaire, puis en tant qu'entrepreneur privé. Il recevra des aides de l'État et mais finira par échouer quand les armées cesseront de payer.

En 1785, Blanc organise un essai public pour gagner la faveur des autorités. Les spectateurs y sont invités à monter cinquante platines en prélevant des pièces disposées dans des caisses par type de pièce (22). C'est un succès. L'ambassadeur américain, Jefferson, toujours curieux des nouveautés, participe à cet essai.

En mai 1786, Gribeauval avance à Blanc dix mille livres pour créer un atelier pilote dans le donjon du château

1717	Premier fusil normalisé, modifié en 1728, 1754, 1766 et 1771
1777	Modèle défini après expérimentation, corrigé en 1801, 1805, 1816, 1822, 1838
1866	Chassepot à mise à feu par percussion
1874	Gras, adaptation du Chassepot aux cartouches métalliques
1886	Lebel avec chargeur et mécanisme de répétition (dix coups par minute)
1893	Modification du Lebel, encore employé en 1939, ses pièces sont interchangeables

Tableau 1 : Les premiers fusils normalisés de l'armée française (23)

de Vincennes mais son atelier s'arrête quand commence la Révolution. Blanc engage alors une campagne auprès du pouvoir révolutionnaire pour obtenir de nouveaux subsides (24). En 1795, l'État lui avança cinq cent mille francs pour monter sa manufacture de platines à Roanne. Il devient ainsi entrepreneur privé. En cinq ans, de 1796 jusqu'à 1801, il va livrer vingt mille platines aux diverses manufactures, mais sa capacité de production reste très inférieure aux besoins de l'Armée française.

Blanc meurt en 1801, en proie à de grandes difficultés financières. Il a cent soixante mille francs de dettes, soit une perte de huit francs par platine fabriquée. Cela signifie que l'interchangeabilité a augmenté de 50 % le prix de revient de la platine, mais il reste que ce surcoût ne représentait qu'à peine 10 % du prix total du fusil. Après la mort de Blanc, en 1802, l'interchangeabilité reste encore largement débattue. Finalement, elle sera abandonnée (25).

La fabrication du fusil de l'armée française, au XVIII^e siècle, a donc été l'objet d'innovations industrielles importantes. Elles portent tout d'abord sur l'idée de standardisation d'un modèle, conçu comme le meilleur possible. Ce modèle unique sera, dans ce premier temps, construit simultanément par plusieurs manu-

(16) Parmi ces fusils, le Chevalier d'Arcy avait présenté un fusil chargé par la culasse, qui tirait six coups par minute.

(17) Honoré BLANC, *À l'Assemblée nationale. Mémoire important sur la fabrication des armes de guerre*, Paris, 1790, BNF.

(18) BONNEFOY, *Les armes de guerre portatives (1660-1789)*, thèse de doctorat, Paris IV, 1989, pages 687-689.

(19) Les fusils non réparés encombraient les ateliers. La mise au rebut de ces fusils donna lieu à un scandale en 1772 qui provoqua la disgrâce de Gribeauval jusqu'en 1774.

(20) BONNEFOY, page 424.

(21) «*Règlement des proportions du fusil d'infanterie modèle 1777*», 26 février 1777, SHAT, 4W452.

(22) Colonel H. COTTY, *Mémoire sur la fabrication des armes portatives de guerre*, Magimel, Paris, 1806, page 73.

(23) Source: Jean MARTIN, *Armes à feu de l'armée française*, Paris, Crépín Leblond, 1974.

(24) Rapport fait à l'Académie Royale des Sciences, le samedi 19 mars 1791, d'un Mémoire important sur la fabrication des armes de guerre, 1791, SHAT 6W126 et «*Rapport du général d'Aboville au ministre de la guerre*», 27 janvier 1792, SHAT 6W127.

(25) «*Rapports d'essai de montage des platines*», 12 et 19 fructidor an XIII, SHAT, 6W127 folio 64. Chef de bataillon SIRODOT, «*Mémoire sur les procédés de fabrication des platines*», An XIII, SHAT 4W482. Capitaine BUREAU, «*Détails sur la fabrication de la platine identique à Roanne*», 1808, SHAT 4W482, citation page 37.



© Musée de l'Armée, Paris

Le fusil Modèle 1777

factures, mais avec des méthodes différentes. Il n'y a alors pas d'uniformité des méthodes de fabrication. Au-delà de cette standardisation du modèle, on cherche aussi à réparer par échange de pièces, en puisant dans un stock disposé dans les régiments. Cette quête de l'interchangeabilité portera, progressivement, sur des séries de plus en plus longues (voir tableau 2). C'est donc un succès technique.



© Musée de l'Armée, Paris

La platine du fusil Modèle 1777

	1723	1777	1791	1801
Nombre de fusils à platines interchangeables	50	200	1000	20000

Tableau 2 Les premières réalisations françaises de l'interchangeabilité

Mais l'armée napoléonienne a d'autres soucis. D'une part, les coûts sont élevés et elle n'accepte pas de payer plus cher ces platines interchangeables. D'autre part, elle dispose de deux types de fusils dans un modèle réputé unique: ceux à pièces interchangeables, très minoritaires, et ceux qui ne le sont pas, que rien ne différencie, dont les mêmes régiments sont également équipés. Cependant, aucune politique spécifique de réparation n'a été instituée pour les fusils à pièces interchangeables, mesure jugée inutile puisque chaque régi-

ment dispose alors de réparateurs qui savent forger des pièces sur mesure. L'armée napoléonienne cessera donc de poursuivre l'objectif de l'interchangeabilité et proclamera que c'est une chimère.

Sur ces entrefaites, cependant, la quête de l'interchangeabilité va passer aux États-Unis.

L'INTERCHANGEABILITÉ AUX ÉTATS-UNIS

Le transfert de connaissances par Jefferson

Jefferson est ambassadeur à Paris de 1784 à 1789. Il entretient une correspondance suivie avec le gouvernement fédéral et tous ses amis. Il les informe régulièrement des innovations qu'il observe. En 1785, il parle d'un clavecin plus fiable, de la mort de Pilâtre du Rozier dans la chute de son ballon, du voyage de La Pérouse. Il alerte ses correspondants américains sur l'intérêt d'une fabrication des platines (*locks*) à pièces interchangeables. Il y revient par quatre fois (26).

«An improvement is made here in the construction of the musket which it may be interesting to Congress to know. [...] It consists in the making every part of them so exactly alike that what belongs to any one, may be used for every musket in the magazine. [...] The workman presented me the parts of fifty locks taken to pieces, and arranged in compartments. I put several together myself taking pieces at hazard as they came to hand, and they fitted in the most perfect manner. The advantages of this, when arms need repair, are evident» (27).

Revenu aux États-Unis, Jefferson entre au gouvernement, d'où il peut influencer les officiers. L'idée che-

(26) John Jay, le 30 août 1785; le gouverneur de Virginie, le 24 janvier 1786, le général Henri Knox, le 12 septembre 1789 et le 24 novembre 1790 où Jefferson lui envoie copie du mémoire de Blanc de 1790, avec six fusils à pièces interchangeables.

(27) Papers of Thomas Jefferson, Julian Boyd Ed., Princeton University Press, 1953, lettre à John Jay du 30 août 1785, tome 8 page 455.

mine aussi par l'intermédiaire de Louis de Tousard, artilleur de La Fayette, installé aux États-Unis en 1793. Dans le corps des artilleurs américains, il transfère toutes les connaissances de l'Armée française, dont celles de Gribeauval. Il va être à l'origine de la création de l'école de West Point. « *Ordnances officers elevated the idea of interchangeability to an ideal and helped to transform it into reality* » (28). L'idée d'interchangeabilité rentre alors dans la culture des Américains spécialistes de l'armement.

Hounshell décrit en détail toutes les étapes qui conduisent les arsenaux américains à maîtriser la fabrication d'armes à pièces interchangeables dans la première moitié du XIX^e siècle. Ces efforts seront coûteux pour le ministère de la Guerre.

Au début, les Américains reproduisent les techniques françaises et obtiennent les mêmes résultats : des petites séries de mille armes à pièces interchangeables fabriquées à un coût élevé. Puis ils vont utiliser des machines mues par l'énergie hydraulique. Selon Hounshell, ce sont ces machines-outils qui caractérisent le mode de production américain né à cette occasion : la production standardisée de masse. Une politique de diffusion de ces techniques du public au privé va permettre à toute l'industrie américaine d'en bénéficier.

Le premier succès en trompe l'œil

En 1798, l'Américain Eli Whitney (29) accepte un contrat de l'armée fédérale pour la fabrication de dix mille fusils. Dix mois après la signature du contrat, il commence à évoquer l'interchangeabilité, probablement en écho au discours de ses clients officiers. Ce sera une bonne excuse pour son retard de livraison. Enfin, en 1801, à Washington, devant toutes les autorités, il fait la démonstration du montage de dix platines entières sur le même fusil. Jefferson est enthousiaste, bien que cela ne soit pas une véritable interchangeabilité des pièces : seuls les composants assemblés (les platines entières) sont en effet interchangeables. « *Whitney took care to interchange only the assembled locks, not the lock parts* » (30). Bien que la tradition cite cette démonstration comme la première réalisation d'interchangeabilité, ce ne fut pourtant pas le cas. Mais ce qui n'avait été alors qu'un échec camouflé est devenu aujourd'hui une légende.

Mais l'idée ne va pas pour autant être abandonnée. En 1813, Simeon North, modeste fabricant de pistolets, obtient un contrat pour la fourniture de vingt mille pistolets à pièces interchangeables. « *The component parts of pistols are to correspond so exactly that any limb or part of*

one pistol may be fitted to any other pistol of twenty thousand » (31). Il va tenter de les produire mais, constatant la difficulté de la tâche, il abandonnera après n'en avoir produit que quelques centaines. Nouvel échec, donc.

Les fusils chargés par la culasse

En 1811, John Hall dépose le brevet d'un fusil à chargement par la culasse. En 1815, il en négocie la fourniture avec le ministère de la guerre. Ses prix sont très élevés, mais Hall les justifie par la précision des pièces. Le chargement par la culasse exige une qualité de la fabrication très supérieure à celle du chargement par la bouche. Le ministère accepte cependant de payer une petite série de cent fusils, livrés en 1817.

En 1820, Hall est embauché par l'armurerie fédérale de Harpers Ferry, en Virginie, sur le Potomac, pour diriger la fabrication de ses fusils. Il est payé soixante dollars par mois et reçoit un dollar par fusil. Fin 1824, il a déjà fabriqué mille fusils. Leur précision est telle que leurs pièces sont effectivement interchangeables. Il a donc dépassé le résultat de North.

Dès 1825, le fusil de Hall est très apprécié. Le ministère en commande alors cinq mille à North qui a désormais une usine à Middletown. Hall va ainsi être confronté au problème du respect de l'application de ses méthodes dans deux établissements différents. En 1835, il parvient à ce que les pièces des deux usines soient parfaitement interchangeables.

Tous ces efforts vers la qualité de la fabrication et l'uniformisation coûtent cher et, malgré la mécanisation, la productivité baisse. Mais le ministère n'exige aucune réduction des coûts (malgré les rapports affirmant le contraire) : l'objectif de l'interchangeabilité prime. Progressivement, on parvient alors à produire les lots de plus en plus importants de fusils à pièces interchangeables (voir tableau 3).

	Nombre d'armes à platine interchangeables
1816	Environ 200 pistolets (North)
1817	100 fusils (Hall)
1824	1 000 fusils (Hall)
1835	5 000 fusils (North et Hall)
1841	10 000 fusils (Springfield)

Tableau 3 : Les premières réalisations américaines de l'interchangeabilité

en 1793 une machine à égrener le coton (cotton gin) mais il avait des dettes.

(30) Cité par HOUNSHELL, 1984, page 28.(31) HOUNSHELL, 1984, page 31.

(28) David HOUNSHELL, *From the American system to mass production 1800-1932: the development of manufacturing technology in the United States*, John Hopkins University Press, 1984, citation page 27.

(29) Constance MCL. GREEN, *Eli Whitney and the birth of american technology*, Little, Brown and Company, Boston, 1956. Whitney avait inventé

L'armurerie de Springfield comme référence mondiale

L'armurerie fédérale de Springfield (Massachusetts) va jouer un rôle essentiel dans la réalisation de l'interchangeabilité. Fondée en 1794, elle commence à fabriquer des fusils selon les méthodes traditionnelles de l'époque. Le colonel Roswell Lee en prend la direction en 1815. C'est un passionné de l'idée d'interchangeabilité. La guerre de 1812 contre les Anglo-Canadiens avait montré l'importance d'une réparation rapide des armes sur le champ de bataille. La demande en la matière était forte, encore fallait-il y parvenir.

Un système de calibres, mis à la disposition de chaque ouvrier, va être institué à Springfield et la fabrication y devient plus uniforme. En 1822, l'interchangeabilité n'est toujours pas atteinte et Lee commence à penser que l'objectif est hors de portée et que la dépense nécessaire n'est pas raisonnable. Cependant, Lee continue à se tenir informé des progrès réalisés par Hall et veut appliquer les méthodes de celui-ci à Springfield où il a déjà fait installer des machines à tailler le bois des crosses du fusil.

Pour le nouveau fusil (Model 1841), l'armurerie de Springfield se réorganise donc entièrement et mécanise ses installations dans le but de mettre en œuvre ces méthodes. Cette fois, c'est le succès : l'interchangeabilité est atteinte ! Le nouveau fusil de toute l'armée fédérale a des pièces effectivement interchangeables.

Springfield joue un rôle essentiel dans la diffusion de ces techniques. Hounshell dit : « *The armory acted both as a clearing house for technical information and a training ground for mechanics who later worked for private armsmakers or for manufacturers of other goods* » (32). Les échanges d'idées, de résultats et de personnes sont alors fréquents entre l'industrie d'État et l'industrie privée.

Le succès de Springfield est venu du soutien du client, qui a accepté des coûts plus élevés. Il est aussi venu de ce que le soldat apprécie le produit, ce nouveau fusil chargé par la culasse, non pas pour l'interchangeabilité dont il n'a que faire, mais pour sa cadence de tir. Tous les fusils du modèle 1841 sont identiques, et leurs pièces interchangeables. La politique de pièces de rechange est facile à mettre en œuvre sur un modèle spécifique.

(31) HOUNSHELL, 1984, page 31.

(32) Hounshell, 1984, page 45.

(33) Henry Bertrand CHICAPEE, « Rapport de sur les machines américaines James Ames pour fabriquer les fusils », 20 avril 1858, SHAT 4W472.

(34) Roger, « Rapport d'une mission en Angleterre, en Autriche et en Suisse, sur la nécessité de doter les manufactures d'armes d'outillage propre à les mettre à la hauteur de ceux d'Angleterre et d'Allemagne et lui permette de fabriquer des armes interchangeables », 7 juin 1880 et 2 août 1880, SHAT 4W472.

Le transfert de machines et de compétences vers l'Europe

En 1854, les Britanniques envoient une mission pour étudier le système américain et le transférer dans leur armurerie d'Enfield. Ils en reviennent avec des machines américaines, conçues à Springfield et construites par des entrepreneurs privés.

Les Français ne sont pas en reste. En 1858, une mission française étudie les machines américaines et note qu'elles permettaient d'assurer « 1° l'identité dans les produits; 2° une économie par arme d'environ vingt-cinq francs ». Le prix du fusil était de cent francs environ. Mais ce calcul ne tenait compte ni de l'immobilisation du coût des machines, ni de leur amortissement. Quoi qu'il en soit, ce rapport ne sera suivi d'aucune décision. En 1880, la préoccupation de l'interchangeabilité n'a pas cessé dans l'armée française et une nouvelle mission, plus nombreuse, se rend à Enfield pour s'inspirer de l'exemple anglais. Son rapport préconise d'acheter les machines américaines Pratt et Whitney, et des vérificateurs anglais très précis (34). On préconise l'emploi de soixante-dix instruments de vérification du fusil et celui de tables de construction précisant les tolérances. Cependant, un test réalisé en 1885 à partir d'un sondage dans les magasins, montre que l'interchangeabilité n'est toujours pas totale (35).

En 1881, l'École d'application de l'artillerie enseigne que « *malgré les contrôles successifs, nos armes, tout en présentant une grande uniformité, ne sont pas interchangeables dans toutes leurs parties* ». Cela va se faire grâce à l'adoption des méthodes anglaises. « *À la manufacture anglaise d'Enfield (il y a) des vérificateurs d'ensemble (pour chaque pièce, sous la forme) d'un châssis qui encastre (la pièce. Ces outils) sont en ce moment en construction à l'atelier de Puteaux* » (36).

Ce n'est donc qu'à la fin du XIX^e siècle que l'armée française réussit à réaliser l'interchangeabilité. Presque deux siècles se sont écoulés depuis sa formulation.

Les historiens américains opposent les échecs français aux succès américains. « *The enterprise of M. Blanc appears to have stranded, not so much on account of the very lively opposition which it encountered, as from the warmth of its defenders, and because it was premature* » (37). Durfee n'a pas connu la fabrication des vingt mille platines à Roanne. Certes ce succès a été interrompu parce que le client, l'ar-

(35) « Commission des armes portatives, vérification de l'interchangeabilité des armes du fusil modèle 1874 », 17 avril 1883, 26 avril 1884, 9 janvier 1885, 23 septembre 1885, SHAT 4W472.

(36) Capitaine P. PIEBOURG, « Cours de sciences appliquées aux Arts militaires. 6^e partie Fabrication des armes portatives », quatre leçons, École d'application de l'artillerie et du génie, février 1881, SHAT 4W470, citations pages 9 à 11.

(37) W.F. DURFEE, « The first systematic attempt at interchangeability in firearms », *Cassier's magazine an engineering monthly*, New-York, 1894, 469-477.

mée de Napoléon, n'en voyait pas la valeur et n'acceptait pas d'en payer le prix, ce qui en fait un échec plus économique, voire commercial, que technique. Hounshell insiste sur le rôle des machines mises au point à cette occasion et qui simplifient la fabrication parce que, notamment, les pièces qu'elles produisent sont beaucoup plus identiques entre elles que celles produites par limage manuel. Cette influence de la mécanisation apparaît dans les technologies mises en œuvre lors de chacune de ces tentatives.

LES MÉTHODES DE FABRICATION DU FUSIL

Depuis le XVIII^e siècle, les techniques de fabrication pour réaliser l'interchangeabilité restent les mêmes, mais elles sont progressivement perfectionnées. Elles évoluent vers une spécialisation de l'outillage. Les machines et les outils propres à chaque pièce remplacent la lime et le marteau polyvalents. Le but d'interchangeabilité aura été un excellent moteur pour compléter l'outillage et les machines de la fabrication, sans tenir compte à chaque instant de leur rentabilité, la précision des pièces étant l'objectif premier.

La fabrication du fusil au XVIII^e siècle

En France, à la fin du XVIII^e siècle, il existe trois manufactures privées pour fabriquer les fusils de l'Armée : Maubeuge, Charleville et Saint-Étienne. À Maubeuge et à Charleville, les ouvriers venus de Liège travaillent dans un atelier collectif. À Saint-Étienne, les artisans du Forez restent à domicile et apportent leurs pièces à l'entrepreneur qui a contracté avec le Roi. Le fer leur est fourni par ce même entrepreneur. L'éclatement de ces centres de fabrication et leur gestion privée ne facilitent pas l'action des responsables militaires pour faire évoluer les méthodes.

Le fusil traditionnel se façonne à la forge et à la lime. Le canon est fabriqué à partir d'une plaque de fer enroulée autour d'une broche et soudée en plusieurs passages par martelage du fer chauffé à blanc. L'intérieur du canon est achevé par le passage de faux forets en acier de diamètres croissants. Ces faux forets sont mis en mouvement par une roue à eau. Les canons sont ensuite testés avec une charge de poudre et une balle, les déchets pouvant aller jusqu'à 15 %.

Dans le fusil, le feu est mis par la platine à chien. Cette partie comporte dix-huit pièces. Ces pièces sont forgées, limées puis trempées. Elles sont finement ajustées les unes aux autres pour contrôler le jeu entre elles mais

ne sont pas interchangeables et sont livrées montées. On démonte donc et remonte des fusils différents sans mélanger les pièces. Pour les réparations, on refait chaque pièce spécifiquement.

Les outils nécessaires à Deschamps au début du XVIII^e siècle

En 1723, Deschamps simplifie la fabrication de la platine en utilisant des matrices et des calibres (38). Pour limiter le limage des pièces forgées, il leur donne forme dès le forgeage en utilisant des matrices dans lesquelles le mouton estampe le fer à chaud (39). Les calibres permettent ensuite de vérifier simplement l'obtention des cotes. Les calibres sont utilisés à cette époque traditionnellement en ébénisterie.

Deschamps évalue le coût des outils nécessaires (voir tableau 4). Pour limiter le nombre d'outils distribués aux ouvriers, il suppose une spécialisation par pièce. Il existait alors une division du travail entre quinze postes : soixante-douze ouvriers fabriquaient six mille sept cent vingt platines par an. Leurs outils coûtaient huit cent soixante-huit livres. Or, une platine coûtant trois livres, si les outils étaient renouvelés tous les ans, ils n'en augmentaient le coût que de 4 %. La véritable augmentation du coût venait donc d'un ralentissement des rythmes et des rebuts.

Corps de platine	12 calibres	7 matrices	
Chien	7 calibres	7 matrices	7 broches
Batterie	6 calibres	6 matrices	
Grand ressort		6 matrices	
Ressort de batterie		6 matrices	
Ressort de gâchette		2 matrices	
Noix	3+5+5+5 calibres		
Bride	6 calibres	6 matrices	6 broches
Mâchoire		3 matrices	3 broches
Gâchette		3 matrices	3 broches
8 Vis	36 filières avec doubles tarauds		
Montage	12 matrices		
Vérification	Assortiment complet des outils aux 5 niveaux de la hiérarchie du contrôle		

Tableau 4 : Outillage nécessaire à une fabrication interchangeable des pièces de vingt-quatre platines par jour par soixante-douze ouvriers à Saint-Étienne. Source : SHAT 4W482.

(38) « Rapport à l'Empereur sur la fabrication des platines », 9 décembre 1806, SHAT 6W127, folio N° 66.(3) James W. CORTADA, *Before the computer*, Princeton University Press, 1993, page 49.

(39) Estamper : « Faire une empreinte de quelque matière dure et gravée sur une matière plus molle (de l'italien *stampa*) » (*Dictionnaire de Furetière*, 1690).

On ne sait pas comment cet outillage fut construit en plusieurs exemplaires identiques, de manière à être réparti dans les manufactures, ou certaines d'entre elles. On ne sait pas s'il fut renouvelé. Il s'est certainement usé et les cotes ne correspondaient plus. L'expérience fut arrêtée parce que les rechanges distribués dans les régiments ne se mettaient pas en place facilement. On avait retenu l'idée des pièces de rechange sans vérifier l'interchangeabilité des pièces des nouveaux fusils. De plus, il semble que la politique de réparation par échange de pièces ait été appliquée à tous les fusils, à ceux ayant des pièces interchangeables et aux autres, construits moins précisément.

Les innovations de Blanc à la fin du XVIII^e siècle

Blanc voulait assurer l'uniformité de la production du fusil modèle 1777. Il renforça d'abord la formation des ouvriers et le contrôle de conformité sur les armes. Cela entraîna une polémique sur le prix du fusil, qui était d'environ treize livres auparavant. «*Les entrepreneurs représentèrent que [...] la perfection exigée de toutes les pièces demandait plus de temps de la part des ouvriers*». Ils subissent un «*préjudice causé par la multitude des rebuts à leur charge occasionnée par la perfection rigoureusement observée dans le travail*» (40).

Sans changer les méthodes de fabrication, la qualité était onéreuse. On étudia le prix de revient et, en 1780, Gribeauval fixa le prix du fusil à vingt-trois livres (41) puis à vingt-cinq livres (42). Blanc tenta alors de réduire le prix de fabrication. Il proposa de nouveau de faire forger les pièces dans des matrices. Un «*mouton*» estampait le fer rouge entre la matrice et la contre-matrice. «*La méthode proposée par le sieur Blanc de n'opérer qu'à l'aide des matrices étant celle qui a déjà élevé en Angleterre plusieurs genres de manufactures à un très grand degré de splendeur paraît mériter la peine que l'État fasse quelques sacrifices pour essayer le résultat. Si un plein succès couronne ses vues, on parviendra avec des ouvriers ordinaires à construire toutes les parties de l'arme du soldat beaucoup mieux qu'on ne le pourroit à présent avec les mains les plus habiles*» (43).

Pour que le forgeage en matrices soit efficace, il fallait

que les pièces ne soient pas déformées par la dernière opération, la trempe. Pour cela, Blanc systématisa la «*trempe au paquet*». Les pièces étaient enveloppées d'un mélange de glaise et de crottin de cheval et placées dans un pot. Le pot cuisait quatre heures au feu vif. Ainsi la montée en température était régulière et progressive. Les pièces ne se déformaient pas. Le pot était ensuite trempé dans un bassin d'eau froide (44). À Liège, la trempe au paquet se faisait avec de la suie. Cela permettait une cémentation des pièces (45).

En 1784, Blanc rédigea un document très détaillé sur les outils nécessaires à la fabrication des platines. Il voulait normaliser ces outils. L'outillage devint pléthorique. Pour le corps de platine: un calibre, deux matrices, vingt poinçons, quatre jeux de faux forets et de tarauds, trois fraises, deux quilles tournées, plusieurs broches et forets, des conducteurs pour percer les trous, un tas (petite enclume), «*et plusieurs autres objets qu'il a fallu faire pour faire des matrices cy dessus*» (46). On n'a pas d'indication sur la normalisation des tarauds afin de rendre les vis interchangeables. Ce problème était particulièrement difficile.

Blanc n'est pas parvenu à décrire en totalité l'outillage nécessaire. Surtout, il s'intéressait à la fois aux outils nécessaires à la fabrication et à la fabrication desdits outils. Pour la batterie, tout d'abord une bride pour maintenir la pièce pendant les opérations, puis quatre matrices et deux contre-matrices. «*Pour faire ceux dénommés*», il prévoyait «*nombre de fraises, broches et faux forets*». Le terme de «*fraise*» ou «*fraisson*» apparaît pour la première fois. L'outil servait à agrandir un trou en cône avant de passer le taraud pour faire le filetage ou à agrandir le trou d'une vis pour que sa tête s'y dissimule et ne fasse pas saillie. Il était actionné à la main, avec un vilebrequin.

Pour fabriquer tous ces instruments, calibres, matrices, tarauds et forêts, Blanc disposa, en 1786, d'un atelier central. Il avait prévu une hiérarchie des calibres: des étalons centraux («*types de types*») pour fabriquer les étalons de chaque manufacture («*types*»), eux-mêmes servant à fabriquer les matrices et calibres des ouvriers et inspecteurs.

L'uniformité dépend aussi de la procédure de recette. Blanc la précisa dans une note de 1785 (47). Il donnait des calibres aux ouvriers et demandait aux inspecteurs de vérifier ces calibres en même temps que les armes.

(40) Mémoire daté de 1790, SHAT 4W458.

(41) NARDIN, 1982, page 282.

(42) DELESPINASSE, «*Manufacture d'armes de Saint-Étienne. Prix du fusil sur la base de douze mille par an*», 2 juillet 1788, SHAT 4W458.

(43) Danzel, «*Rapport du 16 mai 1783*», Saint-Étienne, SHAT 6W127, folio N° 2.

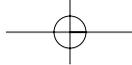
(44) «*Compte rendu des recherches effectuées sur les travaux entrepris dans les manufactures royales d'armes pour rendre les platines interchan-*

geables», 16 mars 1960, SHAT 6W127, folio N° 71 et 4W483.

(45) Michel François DALE, «*Mémoire sur la mise en bois ou montage du fusil, la trempe de la platine, la visite et la recette de l'arme finie*», dans *La Fabrication du fusil «modèle 1777» à la manufacture impériale d'armes de Liège en 1810*, Wahle éditeur, Liège, 1977, page 35.

(46) BLANC et DANZEL, «*Inventaire des outils pour le travail des platines*», 1784, SHAT 4W482.

(47) «*Notes sur les procédés de fabrication des armes*», 1785, SHAT 4W467, folio 26.



Les méthodes de Roanne

À Roanne, Blanc était le propriétaire. Il était libre de ses méthodes et construisit aussi des machines. On connaît l'outillage mis en place par les rapports rédigés sous l'Empire qui débattent des méthodes de fabrication du fusil. Dès cette époque, Blanc utilisait des « moulins » : les « moulins à roder » ou « rodoirs ». Ils remplaçaient la lime et étaient mus à la main par une manivelle. Ces « moulins » avaient été inventés par Vaucanson, vers 1760 (48). C'étaient des limes cylindriques tournantes, cylindriques ou de toute autre forme circulaire. Leur nom actuel est « fraiseuse ».

tige que l'on y fait entrer par le mouvement du vilebrequin et de la force qu'on lui ajoute, au moyen d'un levier horizontal que l'on presse de la main gauche et qui agit sur la partie supérieure du vilebrequin. [Il faut ensuite] fraiser le dessous de la noix. Le vilebrequin nécessaire à cette opération est disposé de même que ci-dessus mais plus faible; on lui adapte une fraise trouée dans son milieu pour recevoir la grosse tige et la noix est fixée sur le plateau de la machine» (49)

Des « moulins à fraise » servent à faire la tête des vis. Une roue dentée tranchante y creuse les fentes. Ainsi, « moulin » devient un terme générique, indépendant de la forme de la fraise utilisée. Le remplacement de la lime



Le fusil Chassepot, Modèle 1866 et sa culasse

© Musée de l'Armée, Paris

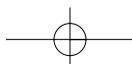
Une des opérations concernant la noix consiste à « roder l'arbre à la grande machine. On emploie à cette opération un fort vilebrequin vertical auquel on fixe la noix à l'aide d'un gros bouton dans lequel elle est placée du côté du pivot, ensuite on dispose en dessous et dans le même axe deux coussinets fraisés de manière à arrondir la grosse

par les moulins s'étendit au corps de platine pour ajuster son épaisseur (50). Ces moulins étaient mus par une manivelle. On n'utilisait pas l'énergie hydraulique. Cependant on a une trace de ce progrès, en 1812, à Saint-Étienne: « Il est des pièces auxquelles la main de l'homme armée de la lime ne pourrait donner la précision

(48) Robert S. WOODBURY, *History of the milling machine*, MIT, 1960, page 23.

(49) Capitaine BUREAU, 1808, page 10.

(50) Chef de bataillon SIRODOT, An XIII.



désirable qu'avec des difficultés et une perte énorme de temps, telles sont les noix. Dans toutes les manufactures on se sert du rodoir pour les mettre aux proportions. Cet instrument est ordinairement mu à bras autour de la noix, [à Saint Étienne] la principale machine est conçue d'une manière inverse, l'eau fait tourner la noix entre deux fraises» (51).

La volonté de mécaniser le travail était directement liée à la précision souhaitée. Blanc avait déjà affirmé en 1790 fabriquer des pièces «auxquelles on donne la forme définitive avec des machines ou des matrices dont la régularité ne peut varier, ce qu'on ne peut attendre de la main des seuls ouvriers» (52). Cet avis continue à chaque fois que l'interchangeabilité est évoquée. Le travail de la main humaine est «toujours moins uniforme qu'un travail mécanique» (53).

Mais les machines s'usent, leurs cotes changent. Il faut les vérifier et les réparer constamment. Il est nécessaire d'avoir un «bon atelier de précision où l'on travaille constamment à la réparation des machines, dont quelques-unes doivent être en double» (54). C'est une des sources de l'augmentation du coût dans les méthodes nouvelles, dites «mécaniques».

Les méthodes pour atteindre l'interchangeabilité au XVIII^e siècle eurent donc une permanence: matrices en acier, pour y estamper les pièces à chaud, et calibres, comme en menuiserie. Ces méthodes convenaient à de petites séries de pièces interchangeables, faites avec beaucoup de soin. Le coût était élevé. Pour le réduire, il fallait résoudre le problème du limage. Le limeur s'arrêtait régulièrement pour vérifier son travail avec un calibre. Il avançait lentement, avec la crainte de dépasser la cote et de voir son travail perdu.

Blanc remplaça la lime par des «moulins à roder» manuels. Cette mécanisation lui permit d'atteindre vingt mille platines à pièces identiques. C'était tout-à-fait considérable. Son échec a résulté principalement du fait qu'il ne parvint pas à vendre ses platines à son coût de revient plus élevé. Il échoua, non pas techniquement, mais économiquement.

Son succès est limité aussi parce qu'il ne peut pas produire toutes les platines nécessaires aux armées napoléoniennes. Il n'a pas assez d'ouvriers; ses moulins ne sont pas mus par l'énergie hydraulique. De plus, les machines se dérèglent. Les roues du rodoir s'usent. De même, les matrices du forgeage à chaud tendent à se déformer. La mécanisation ajoute un travail considérable de maintenance et de vérification des machines. Les Américains sont confrontés aux mêmes problèmes et parviennent à les résoudre, en utilisant l'énergie hydraulique et en perfectionnant les moulins.

(51) Chef d'escadron DRÉAN, «Mémoire sur la fabrication des platines à Saint-Étienne», 25 avril 1812, SHAT 4W482.

(52) BLANC, 1790, page 16.

(53) PIEBOURG, 1881, page 9.

Les machines américaines

Les Américains utilisèrent les mêmes procédés et les mêmes machines que les Français. Ils obtinrent des résultats similaires. Puis ils firent les innovations décisives en se focalisant sur la réduction de l'usure des pièces des machines, sur leur réglage et sur leur entretien.

La similitude la plus forte porte sur le jeu de calibres destinés à vérifier la conformité du fusil. Les calibres du modèle 1841 étaient tout-à-fait similaires à ceux du modèle 1777 français.

L'Américain Whitney adopta les méthodes françaises: calibres pour le limage (*fling jigs*) et matrices (*molds*). Il semble avoir utilisé plus largement les moulins à eau, pour le martelage, le perçage et le taraudage (55). Il n'est pas parvenu à l'interchangeabilité des pièces de la platine. Ses fusils étaient d'ailleurs de piètre qualité.

North utilisa aussi les calibres et moules pour atteindre l'uniformité. Surtout, selon Hounshell, il inventa, vers 1816, la *milling machine* à alimentation hydraulique (56). Ce fut de cette limeuse rotative que les progrès vinrent. On y retrouve le moulin à roder ou rodoir français.

En 1820, Hall utilisa aussi les calibres et les matrices. Il disposa de soixante-trois calibres (*gauges*) différents, en trois jeux, pour la fabrication, pour l'inspection et l'éta- lon (*master*) comme référence. On retrouve la hiérarchie de calibres conçue en France. De même, il trempait les pièces selon un procédé évitant leur déformation. Son succès vint de petites innovations qui s'avèrent essentielles.

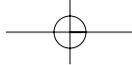
Pour éviter la déformation des matrices, Hall inventa un système pour éjecter très rapidement les pièces. Cela limitait l'échauffement des matrices et leur déformation consécutive. Surtout Hall fixa la pièce sur la *milling machine* et faisait le réglage par rapport à un point fixe (*bearing point*). Ce point de repère fixe accrut la précision des mesures. Probablement aussi, les roues de ces machines s'usaient moins vite qu'en France. On devait les régler moins souvent. Hall a ainsi focalisé son attention sur le réglage et l'entretien des machines.

À partir de cette époque, de nombreuses machines-outils furent inventées et fabriquées en série aux États-Unis. Notamment la *milling machine* fut transformée en modifiant la forme de la fraise en cutter débitant des copeaux (*chips*) et en augmentant sa vitesse de rotation. Ce furent les fraiseuses modernes. Les pièces étaient déplacées dans les trois dimensions devant la fraise. Ces «*machines universelles*» étaient propres à une grande variété de travaux.

(54) Capitaine BUREAU, 1808, page 34.

(55) Constance MCL. GREEN, 1956.

(56) Woodbury affirme que l'innovateur de la «*milling machine*» fut Whitney, mais sa machine conservée par la New Haven Colony Historical Society semble dater de 1818 (*History of the milling machine*, page 17).



Le succès américain est venu surtout de l'utilisation de moulins à eau pour mouvoir les machines. La localisation des manufactures fut alors l'élément clé. Les réparations incessantes des roues de moulin en bois, les arrêts en cas de gel, furent les aléas de cette source d'énergie et ils ont ralenti les progrès de Springfield. La technologie de production a donc une importance comme le signale Hounshell, mais il semble que la reconnaissance du métier spécifique de la conception des machines, de leur maintenance et du réglage ait été l'élément décisif. Le succès des Américains fut aussi lié à la forte demande du client gouvernemental, qui a accepté le surcoût. De plus, les soldats américains n'ont pas eu à faire la différence entre des fusils apparemment semblables. Tous les fusils du même modèle avaient des pièces interchangeables.

Les appareils de mesure

La précision de la fabrication demande des mesures : mesures sur les pièces et/ou sur les machines, fraises à roder et matrices. Blanc se fondait sur ces calibres et il conçut une hiérarchie de calibres à trois niveaux, pour qu'ils se contrôlent les uns les autres. Ce système est semblable à celui du mètre étalon du Pavillon de Sèvres. Il existait déjà avec la Toise du Châtelet. Si c'était praticable avec une mesure de longueur, cela devenait extrêmement contraignant quand cela portait sur plus de cent mesures d'épaisseur et de largeur, voire des courbes entières.

Une manière plus simple d'assurer l'identité des pièces consiste à les définir par un ensemble de cotes numériques. Les cotes du modèle 1777 ont été écrites (57). Y figuraient des centaines de cotes. Par exemple, le corps de platine devait vérifier vingt et une cotes et un calibre pour son format extérieur incurvé. Ces cotes étaient exprimées en pouces, lignes et points. La précision semble donc avoir été de 0,2 mm (58) (voir tableau 5).

Deux questions se posent alors. La première concerne la précision nécessaire pour l'interchangeabilité. Une précision de 0,2 mm est-elle suffisante pour assurer l'interchangeabilité des pièces de la platine ? La deuxième question porte sur les instruments de mesure. Les

Point		0,188 mm
Ligne	12 points	2,256 mm
Pouce	12 lignes	27 mm
Pied	12 pouces	324 mm

Tableau 5 : Les unités de mesure de longueur avant la Révolution

ouvriers et les inspecteurs disposaient-ils d'appareils pour faire la différence entre pièces avec cette précision ?

Certaines pièces de la platine du fusil 1777 étaient interchangeables avec une précision de 0,2 mm. D'autres exigeaient une meilleure précision, notamment la partie carrée de la noix qui s'encastre dans le vide correspondant du chien. Les cotes ne sont pas assez précises pour l'interchangeabilité. On comprend alors le recours systématique aux calibres, malgré la difficulté à gérer un ensemble de calibres identiques. Les calibres s'imposaient aussi par le manque d'appareil de mesure. Il semble qu'on ne disposait pas couramment du pied à coulisse, dont la précision est de 0,05 mm (59).

Du « pied » servant à mesurer par lecture directe, on est passé au « pied à coulisse » avec le vernier (60) augmentant la précision d'un facteur de dix. On ne sait ni la date, ni le lieu de cette invention. Tout au plus peut-on fixer une date maximale, 1848, celle du brevet par Laurent Palmer de son instrument qui accroît de cent fois la précision de la mesure des petites longueurs (61). Le pied à coulisse est moins précis que le palmer, donc son invention est antérieure. Son nom semble indiquer une invention assez ancienne, mais longtemps après l'instauration du système décimal, on a continué à exprimer les cotes dans l'ancien système. Les armuriers de la fin du XVIII^e siècle semblent ne pas avoir disposé de cet instrument (62). C'est pourquoi sans cesse ils revenaient à la solution des calibres.

Le contrôle par calibres présente des déséconomies d'échelle dont les protagonistes de l'interchangeabilité n'ont absolument pas été conscients. Plus important est le volume de fabrication à l'identique, plus il est nécessaire de disposer d'un grand nombre de calibres et de vérifier leur conformité par rapport à un standard uniforme dans le temps et dans l'espace. La fabrication des

(57) Ses dimensions sont données dans un règlement du 26 février 1777, SHAT 4W497, cité par Bonnefoy, page 765.

(58) Le « Supplément aux tables de construction des armes portatives modèle de 1816 » de 1818 (SHAT 4W497) donne les tolérances pour chaque pièce, de 1 à 3 points selon les pièces, nulle pour le bassinet, la noix et la gâchette. À cette époque, on avait abandonné l'objectif d'interchangeabilité.

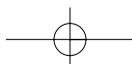
(59) En 1835, C.L. BERGERY dans sa *Géométrie appliquée à l'industrie* parle d'un « Vernier droit » métrique et en anciennes mesures (§ 447).

(60) Le mathématicien français Vernier (1580-1637) emprunte son mécanisme pour améliorer la précision des mesures au Portugais Pedro

Nunes qui le décrit en 1542. Il est longtemps connu sous le nom de « nonius » avant de devenir en français le « vernier ». Les instruments de mesure astronomique en étaient équipés pour une mesure précise des angles.

(61) Le palmer est construit aux États-Unis sous le nom de « micrometer » selon un brevet de 1884. Il existe un autre « micrometer » totalement différent pour l'astronomie, inventé par l'Anglais William Gascoigne au XVIII^e siècle.

(62) L'importance de la mesure est soulignée par le fait qu'en 1794, Claude Antoine Prieur Duvernois, dit Prieur de la Côte d'Or, crée un atelier spécialisé pour construire des instruments de précision destinés à contrôler les armes à feu.



calibres et leur contrôle permanent sont d'autant plus lourds que ces calibres sont nombreux. De plus, il fallait continuer des tests d'interchangeabilité, avec la fabrication du moment et avec les fabrications précédentes.

UNE DÉMARCHE DE QUALITÉ TOTALE

L'idée d'interchangeabilité a donc subi bien des tribulations, depuis sa formulation au début du XVIII^e siècle jusqu'à sa réalisation, à la fin du XIX^e siècle. Les Français, d'abord, puis les Américains, y jouèrent un rôle essentiel. Ce fut une chimère fructueuse pour modifier les méthodes de fabrication. Cette quête a servi de justification au financement public de nombreuses innovations, notamment en machines-outils, qui se révélèrent la bonne manière d'atteindre le but. On associe souvent la mécanisation des ateliers à l'augmentation de leur productivité. Dans ce cas, ce ne fut ni le but ni le résultat. C'est la qualité des fusils, la précision de leur fabrication qui fut recherchée et qui fut atteinte. Cette histoire industrielle d'un siècle et demi doit être interprétée comme une « démarche qualité ». Cette démarche comporte trois aspects : la qualité du fusil, son coût et l'organisation de sa production.

La qualité du fusil

Depuis le XVI^e siècle, l'arme portative était le mousquet. Les mousquets variaient beaucoup dans leur conception. Ils étaient fabriqués de manière artisanale. Plusieurs types de mécanismes de mise à feu coexistaient : platine à rouet, à chenapan, à la Michelet, et finalement la classique platine à silex. Fin XVII^e siècle, Vauban fit adapter la baïonnette amovible au bout du canon pour remplacer les piques dans les corps à corps (63). On parla désormais de « fusil ». Le terme de « mousquet » resta cependant en usage. La cavalerie disposait de « mousquetons », fusils à canons courts, sans baïonnette.

Il y eut un mouvement continu d'innovations autour de l'arme individuelle. Pendant tout le XVIII^e siècle, les colonels envoyèrent régulièrement à Versailles leurs griefs et leurs propositions d'amélioration. Les autorités reprurent ce souci à leur compte. En 1717, la France, normalisa son fusil. La Prusse définit le sien en 1723, l'Angleterre en 1725 (64). Chacun de ces modèles utilisait une platine différente.

(63) La baïonnette est dérivée d'une dague fabriquée à Bayonne.

(64) Jean René CLERGEAU, *Les Armes à feu anciennes*, Ouest France 1980.

(65) Colonel H. COTTY, « Mémoire sur la platine des fusils de guerre », 1816, SHAT 4W482.

La fonction d'une platine était de mettre le feu à la charge de poudre dans le canon. La qualité attendue était la sûreté de fonctionnement. On voulait éviter les coups qui ne partaient pas. Le premier problème était celui de l'humidité, en cas de pluie, sur le champ de bataille. Les Anglais avaient un mécanisme fermé, excellent de ce point de vue. La platine française à silex évolua continuellement dans la forme des pièces, leur disposition et leur inclinaison. Des essais furent réalisés pour tester les solutions que divers inventeurs proposaient. Le critère de qualité était le pourcentage de ratés (65). On avait couramment 15 % de ratés (66).

La qualité du fusil est aussi sa cadence de tir. Le fusil se chargeait par la bouche. Comme il était de la même taille que les soldats, il était placé en position inclinée. Pour accélérer le tir, le maréchal de Saxe avait préconisé une spécialisation temporaire. Deux soldats chargeaient les fusils, tandis qu'un autre tirait. Ils permutaient éventuellement entre eux. Dans le même but, la cartouche en carton fut adoptée, en 1738.

Un bon fusil porte à longue distance (qualités balistiques). Le fusil du XVIII^e siècle pouvait encore tuer à trois cent cinquante mètres. Cette contrainte empêchait de diminuer les calibres, de raccourcir le canon, et donc d'alléger le fusil.

La normalisation pose le problème de l'uniformité des armes dans les régiments, à un moment donné. Le fusil normalisé se mit en place au fur et à mesure des fabrications. Il fallut au moins cinq ans pour qu'il équipe toute l'armée. Les responsables eurent toujours des scrupules à réformer les armes figurant dans les stocks. Dans la pratique, la normalisation officielle s'installait donc avec un grand retard. Or, on poursuivait les améliorations, donc les envies de modifier le standard. Normalisation et qualité sont contradictoires à court terme.

La conception du fusil ne suffit pas à sa qualité. Il faut aussi qu'il soit bien fabriqué. Le premier problème des fusils français était la qualité des aciers. La sidérurgie française était très en retard. Elle n'utilisait pas le coke, mais le charbon de bois. Tous les traitements – martelage à chaud, trempe, recuit, cémentation – étaient seulement guidés par l'expérience des ouvriers. Aucune doctrine claire ne prévalait.

Pour le fusil modèle 1777, on conçut des tests exigeants pour le métal utilisé. La qualité de fabrication fut contrôlée par des essais de mise à feu (pour le canon), par le contrôle des cotes (pièces de la platine) et l'essai (platine complète). Dans la fabrication, rien n'obligeait à l'interchangeabilité des pièces. Le maître et ses apprentis construisaient l'ensemble des éléments de la platine. Ils étaient garants de l'ajustement des pièces les

(66) D'HERVILLE, COTTY, MARION, REGNYER, ROUILLARD, « Rapport sur les expériences faites en 1810 et 1811 sur les armes à feu portatives de guerre », SHAT 4W482. Le modèle 1816 devait ramener les ratés à 0,4 %.

unes aux autres. Une organisation de la production plus spécialisée, par pièce, aurait exigé l'interchangeabilité. Mais ce n'était pas le cas. L'interchangeabilité n'était recherchée que pour la réparation. Dans les régiments, pour le radoub, les gardes d'artillerie refaisaient les pièces : forgeage, limage, trempe, successivement. Ces opérations ne pouvaient cependant se faire ni pendant la bataille, ni pendant un siège. Même en temps de paix, beaucoup de fusils présents dans les stocks n'étaient pas en état de fonctionner. L'interchangeabilité visait à résoudre ce problème des réparations, sur le terrain, par des non-spécialistes.

Mais de quelle interchangeabilité parle-t-on ? Celle des pièces élémentaires ou celle des sous-ensembles ? Pièces de la platine interchangeables ou platines entières ? L'entourloupe de Whitney, aux États-Unis en 1801, attire l'attention sur cette question. Puisqu'il était difficile de rendre les pièces interchangeables, ne pouvait-on se contenter d'une normalisation des platines entières qu'on aurait remplacées totalement ? Le problème n'a jamais été posé. Cela aurait été une solution assez rationnelle : remplacer les platines entières était une alternative au forgeage de nouvelles pièces. Du point de vue économique, la platine coûtait trois livres, soit 15 % du prix du fusil, les pièces faites sur place coûtaient d'un quart de livre pour une vis à quatre livres et demie, pour le corps de platine lui-même. Cette solution aurait donc pu être intéressante avec la mise en place parallèle d'une réparation centralisée des platines cassées.

Une autre interchangeabilité partielle aurait pu se concevoir en conservant certaines pièces appariées. Par exemple, la noix et le chien, qui doivent être ajustés finement, auraient pu constituer un couple non interchangeable. On a voulu atteindre une interchangeabilité totale et ainsi on s'est empêché de voir les progrès se réaliser progressivement.

Le coût

L'interchangeabilité coûte cher. Au XVIII^e siècle, jamais les armées n'ont calculé son bénéfice. Jamais n'ont été comptées les pertes liées aux fusils qui ne fonctionnaient pas et figuraient dans les stocks. Jamais le coût des réparations dans les régiments n'a été évalué. Jamais il n'y a eu de réflexion un tant soit peu raisonnée sur les alternatives en matière de maintenance des fusils. L'absence de ces réflexions a transformé le débat sur l'interchangeabilité en un débat abstrait où seuls les arguments d'autorité ont tranché. En France, l'autorité de Gribeauval (contre celle – opposée – de Vallière ou des artilleurs de Napoléon), aux États-Unis, l'autorité de Jefferson et de Lee, à Springfield. On ne sait donc pas si la politique de réparation par prélèvement de pièces dans des stocks était moins chère et, si oui, de combien. On aurait su alors quel surcoût était accep-

table dans la fabrication des fusils. Il n'en a rien été. On fit semblant de croire que l'interchangeabilité pouvait être acquise au même coût.

L'augmentation du coût fut visible, dès la normalisation du fusil modèle 1777. Le renforcement des procédures de contrôle diminuait la productivité des ouvriers et augmentait les rebuts. Le ministère français accepta un doublement du prix du fusil. La qualité coûtait cher, directement, en ralentissant le travail, en retouches et en rebuts. Indirectement, on passa du temps pour le contrôle (inspecteurs et ouvriers) et on investit en appareils de mesures et en calibres. De même, les Américains constatèrent que les coûts des petites séries étaient prohibitifs.

Cette augmentation de coût donna lieu à deux attitudes différentes. D'une part, l'industriel privé demanda à l'État de prendre en charge le surcoût, souvent par des avances ou un financement des machines. Mais ces arrangements financiers restent cachés par un principe apparent : les fusils à pièces interchangeables ne doivent pas être plus chers. Le surcoût est nié.

La deuxième attitude des innovateurs a consisté à provoquer la fuite en avant. Les coûts élevés étaient observés sur de petites séries. Avec des séries plus longues, les coûts unitaires diminueraient. Il y aurait des économies d'échelle.

On peut affirmer, au contraire, que plus la série est longue, plus l'interchangeabilité est difficile et donc onéreuse. Les premiers succès d'interchangeabilité portent sur cent armes, mille, voire cinq mille. Passer à des dizaines de milliers pose un problème de contrôle des calibres et des méthodes dans plusieurs fabriques, avec des équipes nombreuses.

La qualité du fusil est onéreuse. L'arbitrage entre la qualité et le prix du fusil a toujours été favorable à la qualité. Gribeauval acceptait un fusil cher s'il était plus uniforme. L'armurerie de Springfield ne fit pas de gain de productivité au moment où elle mit au point ses méthodes qui parvinrent à l'interchangeabilité. Malgré l'annonce de « *moyens accélérants* », de la réduction du coût grâce aux machines, sur longue période, le fusil a un coût presque stable : le salaire d'un mois d'ouvrier. Au XVIII^e siècle, son prix est de vingt livres pour des ouvriers payés un peu moins d'une livre par jour. Au XIX^e siècle, cent francs pour des ouvriers payés cinq francs par jour. Au début du XXI^e siècle, il est vendu mille cinq cents dollars environ.

Le prix est un reflet de la quantité de travail nécessaire pour fabriquer le bien. Ainsi, la mécanisation de l'industrie du fusil n'a pas conduit à une augmentation de la productivité de sa construction. Il faut toujours un mois de travail ouvrier environ. Ce cas est exceptionnel. Durant la même période, la productivité a augmenté partout. Le prix des biens manufacturés a baissé considérablement. Pour le fusil, les progrès technologiques furent appliqués à l'amélioration du produit et non pas à la baisse du prix. Bien qu'elle porte le même nom, l'arme du début du XXI^e siècle a des performances sans

commune mesure avec celle construite trois cents ans plus tôt. En apparence, le prix est resté constant, mais ce n'est pas du tout le même produit.

L'industrie informatique suit, en accéléré, une évolution comparable. Le prix des micro-ordinateurs n'a guère varié en trente ans, mais leurs performances ont sans cesse progressé. Le progrès technique s'applique à un produit évolutif à prix quasiment constant. Cela pose évidemment des problèmes pour le mesurer avec les méthodes des économistes.

La division du travail

La recherche de l'interchangeabilité a été l'occasion d'introduire de nouveaux outils, de nouvelles machines, notamment celles mues par l'eau. La technologie de la production fut donc changée, mais il y eut aussi une division du travail, tant en France qu'aux États-Unis.

Interchangeabilité et division du travail entretiennent entre elles une relation mutuelle. En spécialisant les ouvriers par pièce, on facilite l'uniformité de la fabrication sur chaque pièce. Mais si les pièces ne sont pas interchangeables, la spécialisation par pièce est impraticable. L'un ne va pas sans l'autre, même si au début, on découvre que cela permet de faire des économies en ne donnant à un ouvrier que les outils et les calibres propres à la pièce sur laquelle on le spécialise.

La relation étroite entre l'interchangeabilité et la division du travail apparaît clairement dans un rapport sur la fabrication de Saint-Étienne, en 1812. On y trouve un exposé très précis de toutes les opérations effectuées pour chaque pièce, par exemple le corps de platine nécessite dix-huit opérations. C'est une description fine du mode opératoire. Mais le rapport va plus loin. Il critique l'organisation du travail. Puisque l'interchangeabilité totale ne peut être atteinte, il est inutile de diviser ainsi le travail par pièce, il faut le recomposer par sous-ensemble, sauf peut-être dans certains cas. Pour l'auteur, l'argument d'augmentation de la productivité par la division du travail ne s'applique pas toujours: «*En général, les hommes ne font bien et promptement que ce qu'ils font tous les jours [...] en divisant le travail, chaque pièce de la fabrication doit s'exécuter mieux et plus promptement d'où résulte perfection et meilleur marché. Cependant il est un terme où les subdivisions présentent des inconvénients*» (67).

Les auteurs de l'époque connaissent la théorie d'Adam Smith: la division du travail doit augmenter la productivité. Ils n'osent pas contredire cette loi, tout au plus indiquent-ils qu'elle ne s'applique pas au-delà d'un certain seuil. Donc la division du travail était justifiée par la recherche de l'abaissement du coût, tout comme la

mécanisation, même si en fait cela ne donnait pas ce résultat.

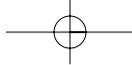
L'interchangeabilité introduit donc une division du travail par pièce (division horizontale dans le processus). Elle conduit aussi à un autre type de division du travail: celle qui existe entre les travaux d'exécution et les postes fonctionnels. La qualité des pièces exige des épreuves de contrôle. Pour cela, il faut un corps de contrôleurs militaires dans les ateliers. C'est un poste fonctionnel, non hiérarchique. Les inspecteurs des manufactures avaient du mal, d'ailleurs, à définir leur rôle par rapport à l'autorité du propriétaire de la manufacture qui, lui, prenait le risque industriel. Les contrôleurs élargirent leurs compétences. Ils conseillèrent la hiérarchie sur l'outillage, sur le mode opératoire, sur la spécialisation, en ce qui concerne la concentration des ouvriers dans un bâtiment, sur le calcul des coûts, sur la formation. Ils conquièrent ainsi un pouvoir important sur l'évolution des manufactures, un rôle d'expertise qui devient indispensable.

Les calibres et les machines firent émerger un autre poste fonctionnel. Dans la situation ancienne, les ouvriers fabriquaient leurs outils. Les platineurs consacraient trois jours par mois à retailler leurs limes (68). Avec les calibres et les machines, il fallut des spécialistes sur le lieu de production pour distribuer, vérifier et réparer les calibres et pour entretenir les machines et les outils. Ces ouvriers, plus compétents en mécanique, apparurent comme des auxiliaires de la production. C'étaient des fonctionnels intervenant directement dans les ateliers. Aux États-Unis, ces deux postes fonctionnels – contrôleurs de la précision des pièces et vérificateurs-réparateurs des machines – eurent un rôle précisément identifié.

Ainsi, le travail des ouvriers-paysans de Saint-Étienne, à domicile au début du XVIII^e siècle, s'était complètement transformé. Ils en étaient parvenus à travailler pour l'État seulement, dans un atelier unique, spécialisés sur une seule pièce, faite selon un procédé dont ils ne pouvaient guère varier, avec des machines qu'ils n'avaient pas construites et qu'ils ne réparaient pas. À côté d'eux, ils avaient des contremaîtres pour la discipline, des contrôleurs qui vérifiaient les pièces, des mécaniciens qui entretenaient leurs outils et leurs machines. Ces transformations furent toujours justifiées par un objectif unique: l'interchangeabilité. Cette organisation préfigurait presque celle des ateliers tayloriens, dont l'objectif explicite était la baisse du coût de revient. Il est passionnant de voir qu'elle fut mise en place, ici, dans un tout autre but, l'amélioration de la qualité du produit. La modernisation des ateliers dans les méthodes de travail et dans les machines peut avoir d'autres buts que l'augmentation de la productivité.

(67) Chef d'escadron DRÉAN, 1812.

(68) COTTY, 1806, page 116.



CONCLUSION

L'interchangeabilité des pièces du fusil se révèle ainsi un moteur d'innovations industrielles. Au départ, cela semblait une caractéristique supplémentaire demandée au produit. Pour atteindre cette qualité, il fallut modifier les méthodes de travail, introduire de nouveaux outils, construire de nouvelles machines, utiliser l'énergie hydraulique, instituer des contrôles stricts. Ces transformations ne furent pas seulement techniques. Elles concernèrent aussi les relations sociales. Le travail à domicile disparut, au profit d'ateliers disposant de machines mues par des cours d'eau. Les ouvriers-agriculteurs polyvalents se spécialisèrent en fonction des pièces à fabriquer. L'État apportait sa garantie d'une demande régulière. Ils s'y consacrèrent à temps plein et abandonnèrent la production d'armes pour d'autres clients. Le réglage (et la maintenance) des calibres et des machines émergea comme une activité spécifique. Le

corps de contrôle, par le client, à tous les stades de la fabrication, était présent sur le lieu de production. Ainsi maintenance et contrôles apparurent comme des activités fonctionnelles, intervenant quotidiennement sur le lieu de travail, indépendamment de la hiérarchie. Les caractéristiques modernes de l'industrie se mirent ainsi en place à l'occasion de cette quête de l'interchangeabilité. La division du travail fut aussi à l'œuvre dans cette réorganisation de la production, d'une part pour épargner sur l'investissement en outils et en machines spécifiques, d'autre part pour compenser les baisses de productivité entraînées par les rebuts et les multiples contrôles. Dans ce cas, la mécanisation et la division du travail n'ont pas augmenté la productivité : elles permirent de maintenir le prix de revient, pour une qualité accrue. Tous ces faits sont particulièrement intéressants parce qu'ils contredisent le discours classique sur le changement technique. On le voit, l'objectif n'est pas toujours l'abaissement des coûts, ni la productivité la plus forte.



© Musée de l'Armée, Paris

