

Aperçu des principales fabrications et des moyens de production des forges de la Marine à Guérigny (Nièvre) jusqu'en 1890

par Bernard LUTUN.

Lors de leur vente à l'État en 1781, les forges de La Chaussade comprennent treize établissements métallurgiques disséminés sur le cours des deux Nièvre qui se rejoignent à Guérigny¹, de plusieurs petits cours d'eau et au confluent du Nohain et de la Loire, à Cosne², dont les ateliers profitent de la meilleure chute d'eau des forges³. Pierre Babaud de La Chaussade (1706-1792) d'abord marchand de bois de marine comme son frère aîné Jean Babaud (1702-1738), a été associé en 1733 aux affaires de Jacques Masson (1693-1741), un financier qui a commencé en 1720 d'édifier un empire industriel, minier, forestier et agricole en Nivernais. Guérigny est la première grande acquisition (1722), Cosne la seconde (1734). La forge aux ancras de Cosne, construite de 1666 à 1670, est restée célèbre par la description que Madame de Sévigné en a laissée. À l'époque, l'établissement produit également des fontes d'art. La forge de Guérigny, datant de 1640, est reconstruite de 1744 à 1746 et comprend une grande forge pour les ancras et une affinerie. Le décès de son frère aîné et de son beau-père Masson fait de Pierre Babaud le seul propriétaire de l'affaire en 1741, qu'il agrandit considérablement par des achats de terres et la création de nouveaux établissements métallurgiques. La terre de Villemenant, achetée en 1750, reçoit un grand atelier de corroyage, des ateliers de martinets et de forges maréchaux. Babaud était également concessionnaire de mines, mais ses ressources propres en matières premières et produits semi-finis ne suffisaient pas aux besoins des productions vendues. Il y suppléait par des achats ou par la location d'installations qu'il exploitait pour son compte.

En 1833 et 1844, certains ateliers sont aliénés, dont les deux hauts fourneaux au bois, pouvant produire à eux deux 900 t de fontes d'affinage par an, alors qu'à Ruelle, ils subsistent jusqu'en 1865 et 1868, fournissant un tiers des besoins de cette fonderie de canons, alors un petit établissement comparé à celui de Guérigny. En 1845, les bois (il y avait près de 5 000 ha de terres et de bois dans le contrat de vente) sont remis à leur tour aux Domaines : l'établissement perd sa fabrication de charbon de bois. En 1839, les ateliers principaux sont les suivants :

- un haut fourneau à Chantemerle (il n'est pas en feu en 1839 ; vendu en 1844) ;
- sept feux d'affinerie à Guérigny, Demeurs (jusqu'en 1872) et Vingeux (1847) ;
- un atelier de câbles-chaînes à Guérigny, avec annexe au Greux (1869) ;
- deux grandes forges ou ateliers de corroyage à Villemenant et Forgebas (1869) ;
- cinq forges aux ancras à Villemenant, Cosne (1872), La Poëlonnerie (1847), Marcy et Forgebas (1869) ;
- trois taillanderies à Villemenant (avec atelier d'ajustage), Le Greux et Cosne ;
- une petite forge à Marcy pour les petites ancras ;
- une petite fonderie à Villemenant, en cours de déménagement à Guérigny, où il en existe une autre ;
- deux clouteries à Cosne et au Greux⁴.

Les forges de La Chaussade comptaient 824 ouvriers en novembre 1837 ; des licenciements ont réduit ce nombre à 575 au mois de janvier suivant⁵. La tendance est à la concentration des fabrications à Villemenant

1 Le cours principal de la Nièvre, long de 50 km, est dit Nièvre de Champlemy ; la Nièvre d'Arzembouy, qui arrose Villemenant, est un affluent. Ces deux rivières ne sont pas navigables.

2 Ville distante de 50 km environ de Guérigny.

3 Bernard Lutun, *Une forge nationale, pour quoi faire ? Les forges de La Chaussade à Guérigny (Nièvre), 1840-1885*, mémoire de maîtrise, Paris IV, 1990, p. 41-51, pour ce paragraphe. Nous reprenons ici une partie de la substance de ce travail.

4 Jean-André Berthiau, *Les Forges de la Chaussade à Guérigny, un établissement de la marine militaire au cœur de la France*, Camosine, Nevers, 2009, p. 22-32 (rapport d'inspection de l'I.G.G.M. Boucher).

5 Rapport sur le matériel de la Marine présenté en mars 1838 par Jean Tupinier (1779-1850), directeur des Ports, analysé par Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 19-37 (ici tableau p. 23) et cité par Jean Berthiau, *op. cit.*, p. 124-130, ici p. 126. Notre tableau donne un total de 15 087 ouvriers en janvier 1838 dans les directions de travaux des ports (il manque donc les vivres et les hôpitaux, mais sont compris les 418 ouvriers militaires de l'artillerie), sans compter les apprentis ni les forçats, et dans les établissements hors des ports. L'usine d'Indret emploie 274 ouvriers, Guérigny 575 et les trois fonderies de canons, environ 200.

et à Guérigny, les ateliers de Cosne étant conservés et modernisés en 1841 à cause du Nohain, puis vendus en 1872 et convertis à un autre usage⁶. La modernisation de Cosne prélude à celle des moyens de corroyage des deux autres usines principales et va nous servir de point de départ à nos descriptions. L'année 1855 est marquée par la construction ou l'agrandissement de deux grands ateliers à la vapeur pour le corroyage et la fabrication des tôles. Ce deuxième jalon permet de distinguer les anciennes fabrications, dans les parties plus ou moins anciennes de l'établissement et utilisant les marteaux hydrauliques : ce sont les ancres et les câbles, examinés dans les conditions de production de 1855, qui ne changent guère avant 1914, et de grosses pièces corroyées avec plus de difficulté que les grosses ancres. Les deux nouveaux ateliers de 1855 sont décrits ensuite, les tôles puis les blindages, qui justifient l'augmentation considérable des moyens de corroyage au marteau-pilon et au laminoir et des moyens d'usinage. L'établissement languissait faute de commandes et il a été décidé de lui donner une grande extension afin de lui réserver de nouvelles fabrications et de l'utiliser comme un modérateur des prix de l'industrie. Il était à deux doigts de devenir en 1870 une usine à blindages comme celles qui s'étaient édifiées à la suite de celle de Petin et Gaudet à Saint-Chamond.

L'exposé commence par une évocation des principaux moyens de forgeage, suivie des fontes d'affinage, de l'affinage et du puddlage des fontes qui fournissent les fers marchands, lesquels sont des demi-produits utilisés principalement par l'établissement. Nous passons ensuite en revue les produits finis les plus volumineux et décrivons à cette occasion plusieurs outils de manière plus précise. Guérigny est déjà une grande quincaillerie, et nous perdriions le lecteur en lui imposant les nomenclatures de produits et celles des outils et machines-outils. Les plus grands outils, auxquels nous nous tenons ici, sauf exception, ont leurs correspondants dans les fabrications moyennes et petites de l'établissement. L'existence des forges de La Chaussade ayant un caractère de plus en plus politique, nous reprenons aussi certains développements de notre mémoire de maîtrise de 1990, avec les changements et corrections que le temps nous a indiqués.

1. Moyens d'usage général dans les forges.

1.1. Notions élémentaires de forgeage.

Le ministre de la Marine rappelle, dans une circulaire de 1866, que les forges de La Chaussade sont avant tout des forges et qu'il ne faut donc pas leur commander d'objets comportant une part d'ajustage supérieure au travail de forge⁷. Presque tous les produits sortant de forge doivent en effet recevoir une finition par ajustage avant livraison. Le ministre ajoute que, parmi les produits qui peuvent être commandés en plus de ceux dont les forges de la Marine ont le monopole, *la qualité prime le prix*. Les articles doivent être en général réglementés afin d'éviter des différences de définition entre les ports, nécessité qu'il n'est pas facile de faire observer.

⁶ Ruelle dépend pendant longtemps de la seule énergie hydraulique.

⁷ Circulaire du 11 octobre 1866, Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 253.



Fig. 1 : Marcel Ravisé (1926-1992), ancien ouvrier forgeron à Guérigny, puis chaudronnier à Nevers (Alfa-Laval), deux fois meilleur ouvrier de France, au travail dans une forge artisanale. *Marteau-Pilon*, tome VII, 1995, p. 33-34.

Le *forgeage* est l'opération de façonnage d'un métal ou d'un alliage par déformation à l'état solide, destinée à lui donner une forme, des dimensions et des caractéristiques nouvelles bien définies. Cette opération se pratique le plus souvent à chaud, par le choc répété d'un marteau ou d'un pilon, ou par la pression progressive et sans choc d'une presse ou d'un laminoir. Le champ d'application de cette technique dépasse de beaucoup les aciers et, avant eux, les fers, et s'étend à la plupart des métaux malléables à chaud. Le forgeage s'applique aussi au travail à froid comme l'extrusion et le formage des tôles. De même, aujourd'hui, le forgeage se fait-il en général sans enlèvement ni ajout de matière, à la différence de l'usinage. Il permet seul de garantir la cohésion interne du métal. La pièce forgée est proche de la pièce finie, ce qui limite les dépenses d'usinage. Le forgeage conduit au fibrage du métal : l'orientation de la structure suit celle de la pièce finie, elle donne une meilleure tenue à la fatigue dans la direction des fibres. L'estampage, en particulier, donne aux pièces des caractéristiques mécaniques supérieures aux pièces moulées.

Des lingots d'acier on tire des *mises* par un dégrossissage ou premier forgeage à la presse ou au laminoir (*blooming* pour l'obtention ultérieure de produits longs ou *slabbing* pour les produits plats). Au début de l'époque qui nous intéresse, la mise en forme des loupes de fer en *mises* ou lopins, résulte de ce dégrossissage appelé *cinglage* au marteau hydraulique, suivi d'un *étirage* sur le même outil. Dès 1829, Guérigny dispose de laminoirs à fers qui remplacent dans certains cas l'étirage au marteau.

En dehors de l'étirage, les principales opérations de forgeage à chaud sont : le refoulement (le contraire de l'étirage), l'étampage (utilisé notamment pour la mise au rond d'une barre), l'estampage qui en est l'extension (le formage se fait au marteau ou à la presse, au moyen de matrices qui représentent la pièce en creux), le bigornage (qui accroît le diamètre d'une ébauche creuse pour obtenir une frette), le forgeage sur mandrin (qui allonge une ébauche creuse), le poinçonnage, etc. Les lopins sont de nos jours chauffés par l'électricité (conduction ou induction).

L'estampage de la dernière ébauche doit permettre par les dimensions de celle-ci un forgeage sans perte d'énergie dû au frottement sur les parois de l'empreinte. Elle présente également des angles plus arrondis que la finition, parce que les angles sont les endroits les plus difficiles à remplir de matière. La pièce finie de forge comprend donc des excédents de matière : on les enlève par l'opération d'ébavurage.

Le laminage consiste à allonger le métal par passage entre deux cylindres tournant en sens inverse. Les cylindres ont une génératrice rectiligne pour les produits plats, des cannelures s'il s'agit de barres profilées. Les

produits sont entraînés par les cylindres sous l'effet des forces de frottement qui prennent naissance à la surface de contact. Contrairement au forgeage au marteau, le laminage permet d'obtenir des produits de grande longueur.

Le *corroyage* du fer, à l'époque étudiée, est le soudage à chaud (au blanc soudant, c'est-à-dire à 1400°, sous le point de fusion du fer pur, qui est de 1530°) et sous le marteau ou le laminoir de « paquets », de barres issues de l'affinage ou du puddlage et qui ne suffisent pas, prises isolément, à former un objet. Dans le cas contraire, on parle de *martelage*. On peut utiliser des fers issus d'une même campagne ou des fers de diverses provenances, doux et aciérés, que l'on assemble afin d'obtenir des fers aux propriétés prédéfinies. Aujourd'hui les deux termes de corroyage et de martelage sont synonymes, et l'opération se pratique aussi à froid. On définit le taux de corroyage par le rapport de la section de départ du lopin ou bloom à la section de l'ébauche obtenue. Il n'est pas inférieur à 3 et peut atteindre 14. L'ébauché est donc beaucoup plus long ; cependant, nous n'avons pas trouvé la longueur habituelle des fers marchands de Guérgny, nos sources n'indiquant que leur section. Le rapport ou coefficient dont nous parlons est de l'ordre de 2 au XIX^e siècle.

L'acier se présente sous la forme d'un agrégat de grains plus ou moins gros, dont chacun est un monocristal en première approximation⁸.

Dans le lingot, les cristaux se présentent librement au cours du refroidissement. Dans tout travail de déformation à chaud, ces cristaux sont fragmentés, resserrés et orientés, donnant plus de cohésion à la pièce. C'est le corroyage ou l'effet du corroyage au sens ci-dessus. Il n'a lieu que dans le sens de la déformation. Pour corriger au moins en partie la différence de qualités dans les deux sens ou anisotropie, on procède à une opération dans le sens transverse, au moment où elle est possible : par exemple les brames subissent un allongement en travers avant d'être transformées en tôles.

Le *fibrage* résulte d'opérations de forgeage destinées à donner à la pièce un corroyage directionnel. Celui-ci oriente les réseaux de cristaux dans un sens préférentiel en donnant des fibres. Il augmente la résistance du métal surtout dans le sens des fibres, qui doit être celui des principaux efforts supportés par la pièce. Un vilebrequin forgé, par exemple, résistera mieux que s'il est usiné dans la masse, avec rupture des fibres.

Tout travail de déformation à froid ou à chaud au-dessous de la température de transformation entraîne l'apparition de l'*écrouissage*. Celui-ci augmente la résistance dans la direction de la déformation, mais diminue la ductilité et la résilience. Sur la courbe de traction, au-delà de la limite élastique E, l'éprouvette s'allonge encore jusqu'au point R' et prend un allongement permanent OO', lorsqu'on relâche l'effort. Si on l'étire à nouveau, elle s'allonge selon une ligne O'R' parallèle à OE. Ce nouvel allongement correspond à une nouvelle limite d'élasticité R' supérieure à E. Dans le même temps, l'allongement à la rupture O'' est diminué de la valeur OO' : l'acier est plus fragile. Lors du travail à froid, la structure est déformée plastiquement et écrouie. Lors du recuit, il y a recristallisation. Le métal reprend alors approximativement ses caractéristiques initiales.

1.2. Les chutes d'eau et les roues hydrauliques.

En 1840, l'essentiel de la puissance mécanique des usines métallurgiques françaises est hydraulique. Les usines ont été établies sur des cours d'eau dont les capacités sont limitées. Elles y restent d'abord, en profitant de tout l'accroissement que permettent les machines à vapeur et l'essor économique. L'établissement du Creusot, établi comme haut fourneau et fonderie en 1785, est longtemps l'exception à la règle. La forge à l'anglaise de Fourchambault, qui ouvre ses portes en 1822, est construite sur les rives de la Loire, à 18 km de Guérgny, non pour l'énergie hydraulique, dont elle ne se sert pas, mais pour le transport des houilles de la Loire et l'écoulement des productions. La société a vite profité des canaux de jonction depuis Roanne, du canal du Berry puis du chemin de fer qui ont permis d'utiliser aussi le charbon des mines qu'elle avait acquises ailleurs. Bâti sur une grande échelle, l'établissement de Fourchambault a été longtemps prospère, produisant 26 000 t de fers en 1878 (4 800 t en 1828), plus 4 500 t d'objets en fonte et 5 000 t d'ouvrages en fer et de tôles. Le déclin commence en 1883, par la concurrence de l'acier Thomas produit en Lorraine. La mise en service d'un premier four à acier Martin basique cette année-là (le second, de 20 t, est mis en feu en 1898) et l'abandon des productions de fers en 1896 n'enrayent pas le mouvement de déclin. Les ateliers ferment en 1924⁹.

⁸ *L'acier, sa mise en œuvre*, Paris, O.T.U.A., 1967, p. 51-52, pour ce développement.

⁹ Raymond Robin, *op. cit.*, p. 170-183. La société en commandite Boigues et fils a été fondée par Louis Boigues (1784-1838) et Georges Dufaud (1777-1852), afin de construire et d'exploiter une grande forge à l'anglaise près d'établissements métallurgiques

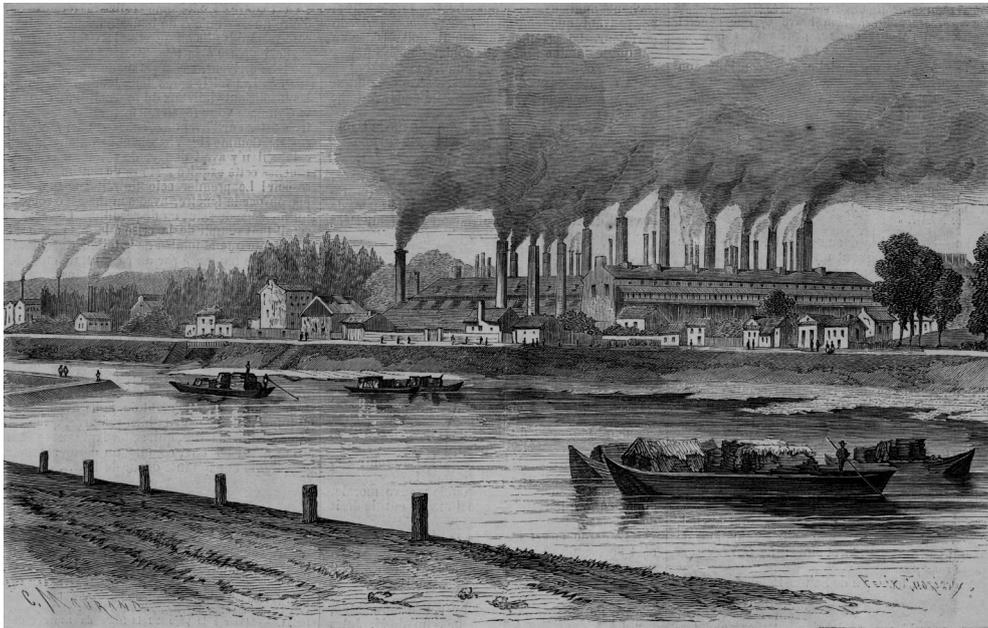


Fig. 2. Les forges de Fourchambault en 1862, d'après *L'Illustration*.

En 1855, les forges de La Chaussade disposent de huit chutes d'eau, soit une par usine conservée. La hauteur de chute varie de 2 à 2,6 m (à Cosne). Les 16 roues en bois et les 13 roues métalliques ont une puissance de 298 ch contre 119 pour les appareils à vapeur¹⁰. Elles ne fonctionnent bien sûr que lorsque les cours d'eau aménagés le permettent. Leur puissance unitaire varie de 3 à 12 ch, sauf une roue Poncelet de 37 ch qui actionne les laminoirs à fers de Guérigny dont nous allons parler et les deux roues de l'atelier de corroyage de Villemenant (35 ch à elles deux). En 1855, les roues mettent en mouvement, par l'intermédiaire de comes ou de manivelles fixées en leur centre, les 29 outils ou ensembles d'outils suivants : 7 souffleries, 10 marteaux, 7 martinets, 2 ventilateurs, les machines-outils de l'atelier d'ajustage de Villemenant, le laminoir de Guérigny et le moulin à sable de la fonderie. Trois des machines à vapeur servent d'auxiliaires à des roues, les six autres

existants. Elle achète ou afferme de nombreux fourneaux et forges de la Nièvre et du Berry qui lui fournissent de la fonte et des lopins ou massiaux. Elle agit donc comme Babaud et à rebours de la politique de la Marine. En 1854, la société Boigues, Rambourg et C^{ie} regroupe Fourchambault, les fonderies de Montluçon, les mines de Montvicq et de Commentry, puis aussi l'usine d'Imphy. En 1841, elle a demandé au gouvernement la permission d'augmenter le nombre de ses fours à puddler ou à réchauffer de 25 à 30 et surtout d'installer 8 feux d'affinerie et un feu de mazéage pour la fonte au coke. Le mazéage est destiné ici au traitement des vieilles fontes et débris de mouleries. Cette méthode mixte est alors prisée par la Marine et par les fabricants de matériel de chemin de fer. Guérigny, comme nous le verrons, ne s'y met vraiment que lorsque la fonte au bois se fait rare. La société comprend un important département de fonderie, constitué d'abord en commandite, moitié par la société Boigues, moitié par Émile Martin (1794-1871). La fonderie et les ateliers sont loués aux établissements Magnard en 1893. La reconversion dans des productions spéciales est limitée à l'usine d'Imphy, et les forges de Fourchambault ferment leurs portes en 1901. Magnard achète en 1903 les anciennes forges : forges, fonderies et ateliers disparaissent en 1924.

10 La notion de cheval-vapeur étant embrouillée, voici quelques précisions sur une unité qui n'a jamais fait l'unanimité et qui a fini par donner le Watt.

La puissance au piston des machines à vapeur alternatives s'exprime ainsi :

$F = \text{surface du piston} \times \text{vitesse du piston} \times \text{pression moyenne sur le piston} = (\pi D^2/4) \times (V) \times (p)$.

Watt a retenu pour unité de puissance l'élévation de 33 000 livres d'eau d'une hauteur d'un pied par minute.

En prenant la valeur moyenne $p = 7$ livres/pouce² de surface de piston, celle des machines à double effet qu'il fabrique, Watt parvient à la formule approchée pour le nombre d'unités de puissance : $P = D^2V/100$, la vitesse étant ici exprimée en pieds/s. Dans ses machines atmosphériques, il applique une autre formule approchée en changeant la valeur de p .

Dans le système métrique, l'unité de Watt vaut 76 kg.m/s, la masse étant confondue avec le poids et le nombre retenu étant par erreur de 75 (puissance nécessaire pour élever d'un mètre par seconde un poids de 75 kgf). En introduisant les deux unités du système international que sont le Newton et le Watt, le poids d'une masse de 75 kg est 735,5 N et le cheval-vapeur vaut donc, sauf dans le système Imperial, 735,5 W (au lieu de 746 W).

Avec l'augmentation de la pression des chaudières, il aurait fallu appliquer la nouvelle valeur à la formule pour chaque nouvelle construction et non continuer d'appliquer les anciennes, qui donnaient des résultats de plus en plus arbitraires. Ainsi la machine du *Louis XIV* faisait 680 chevaux-vapeur à 75 kg.m/s et seulement 296 « chevaux nominaux ». Pour prévenir les erreurs, on a d'abord imposé ou tenté d'imposer la double indication puis, vers 1870, l'utilisation du cheval-vapeur (noté *ch*) s'est imposée en France. Maurice Daumas, dir., *Histoire générale des techniques*, t. III, 1968, p. 83-84. Nous avons remarqué l'indication de chevaux de 70 kg.m/s dans un rapport de 1855 de l'inspecteur général Reibell, qui classe et décrit ainsi les outils à vapeur et les roues hydrauliques des forges de La Chaussade. Ce doit être une erreur, le cheval de 75 kg.m/s étant déjà utilisé dans la littérature depuis des années.

mettent en mouvement les deux premiers marteaux-pilons de l'établissement, un marteau Hallette et trois souffleries.

Les hauteurs de chute faibles et l'existence de biefs ou réservoirs indiquent que les roues étaient du type dit en dessous. La roue de Poncelet (1788-1867) étant une amélioration de ce type, il n'est pas sans intérêt d'évoquer celle qui a été construite à Guérigny sur les plans de cet officier du Génie et qui a paru remarquable. L'avantage des roues en dessous est la vitesse, mais le rendement est inférieur à celui des roues en dessus (chutes de plus de 5 m) et des roues de côté (de 2,5 à 5 m), parce que l'eau percute les aubes et y perd une partie de son énergie, alors qu'en remplissant des augets aux deux tiers, elle crée le mouvement par son poids.

Poncelet a cherché à définir des aubes courbes et non plus planes, afin que l'eau transmette la plus grande partie possible de sa vitesse : elle pénètre tangentiellement à l'aube, remonte le long de la courbe après avoir perdu sa vitesse sans provoquer de choc. Il calcule la courbure la plus efficace, le rayon de la roue, la largeur de la couronne portant les aubes, le profil et la disposition de la vanne d'admission de l'eau, etc. Une vanne réglable en hauteur est installée juste avant la roue, de façon à limiter les pertes dues au frottement. Ce n'est pas le cas ici, mais on a équipé des vannes d'un ajutage en forme de bec, afin de bien diriger la veine d'eau suivant la courbe de l'auget.

L'eau est freinée par le coursier, qui doit être parfait et bien entretenu pour éviter des pertes de pression. Le coursier est très court (ici il est en bois) et terminé, peu après l'axe vertical de la roue, par un ressaut qui empêche l'eau d'aval de créer une résistance. À Guérigny, la zone du coursier proche de la roue est en spirale : cette disposition diminue beaucoup le choc de l'eau contre les aubes et l'effet utile augmente avec l'ouverture de la vanne, qui atteint 0,35 m au lieu de 0,32 m. Le profil du fond du coursier doit suivre le profil de la roue jusqu'à une certaine distance en aval de la verticale passant par l'axe de la roue, de façon à assurer l'élimination de l'eau des aubes à l'instant le plus opportun.

Avec toutes ces précautions, le rendement de la roue en dessous passait de 30 % à 60 %, mais tous les constructeurs n'étaient pas capables de reproduire le modèle, surtout si la roue devait être réalisée en bois. Seule la construction en fer a permis d'y parvenir, après 1850¹¹.

11 Voici quelques données chiffrées pour ces roues :

variation maximale du niveau d'amont : 60 cm

variation maximale du niveau d'aval et immersion de la roue : 15 cm

épaisseur ou ouverture de la lame d'eau d'arrivée : 15 à 40 cm (ici 32 cm)

hauteur de charge en amont : 65 à 130 cm

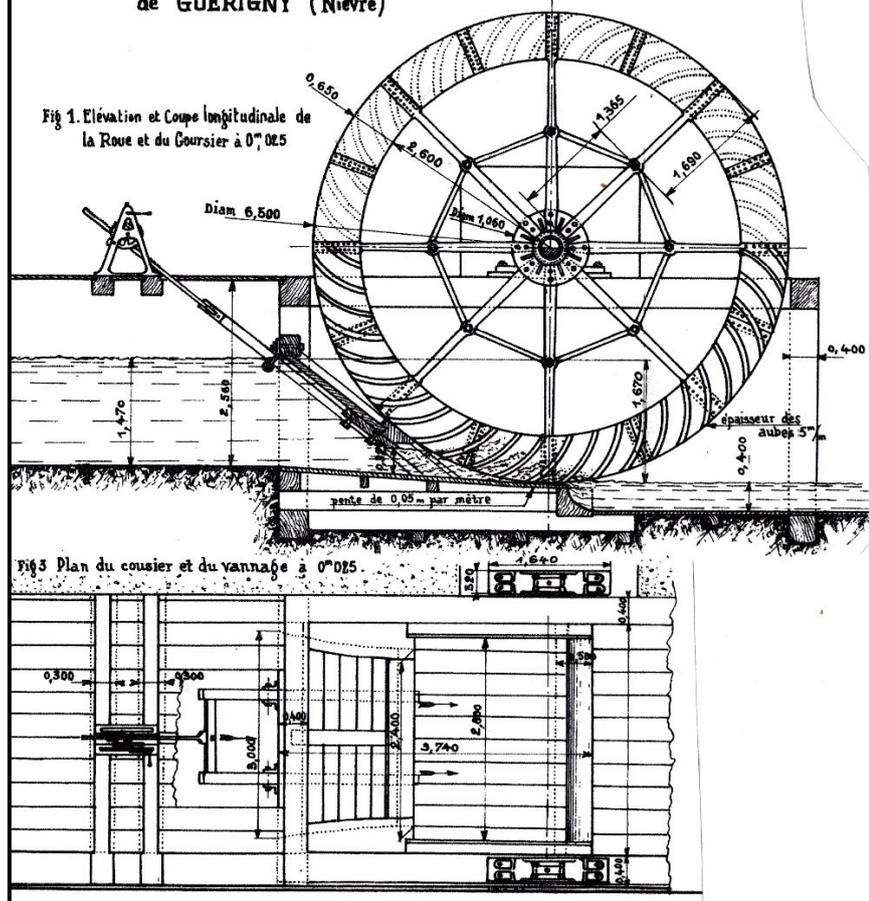
débit par mètre de largeur utile de la roue : 1 m³/s

largeur maximale de la roue : 8 m

diamètre extérieur de la roue : 3 à 10 m

nombre de tours par minute : 5 à 12.

GRANDE ROUE HYDRAULIQUE A AUBES COURBES de GUERIGNY (Nièvre)



Roue Poncelet (Fig. 430 et 431). L'eau entre sans choc dans des aubes inclinées ou courbées. Inclinaison de la vanne, 60° . Epaisseur de la lame d'eau à l'entrée $d = \frac{H}{5}$ à $\frac{H}{6}$. Largeur de la veine b_1 ; largeur de la roue: $b = b_1 + 0,10$. Angle $AOC = 31^\circ$, $BOC = 13^\circ$.

L'angle de la veine d'eau avec la tangente au pourtour de la roue est de $\alpha = 15^\circ$ et l'angle du premier élément de l'aube avec cette tangente, $\epsilon = 33^\circ$.

On trace AD perpendiculaire à la direction du filet d'eau supérieur; cette perpendiculaire est tangente à un certain cercle K décrit du point O comme centre. L'arc EB composant le fond du coursier est une développante de ce cercle K.

Fig. 430.
Nombre des aubes 36 à 48, rayon de courbure de ces aubes $0,33H$ à $0,6H$.
Profondeur du canal de fuite: $0,7H$.

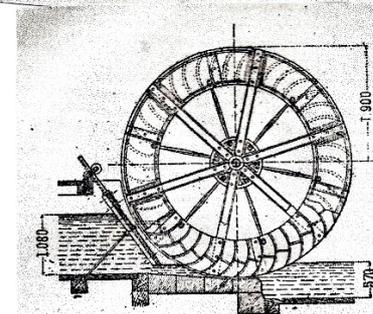


Fig. 431.

Fig.3a : la roue Poncelet de Guérigny (1829), C.-A. Oppermann, dir., *Portefeuille économique des machines*, 1861, dessin refait par R. Bouvier dans *Marteau-Pilon*, tome IV, 1992, p. 71 (ici un extrait).

Fig 3b : Clément de La Harpe, *Notes et formules de l'ingénieur et du constructeur mécanicien*, 8^e éd., Paris, Bernard, 1891, p. 307-308.

La roue de Guérigny, qui succède à une roue de l'ancienne forge aux ancrs, a un diamètre de 6,50 m pour une largeur de 2,485 m et une masse de 13,7 t¹². Elle comporte 48 aubes. La hauteur de chute est prise égale à $H = 1,67$ m. Le coursier, de pente 0,05 m/m, se termine par un ressaut de 0,40 m de profondeur, dont le sommet est au niveau des eaux moyennes dans le canal de fuite. La vanne laisse passer l'eau sur une largeur de 2,4 m, légèrement inférieure à celle de la roue, afin de la forcer à entrer dans les aubes, et sur une hauteur ou ouverture de 0,32 m. La largeur du coursier, égale à 2,4 m jusqu'à la vanne, atteint 2,8 m ensuite et, en aval du ressaut, elle est portée à 3,15 m afin de faciliter l'étalement de l'eau dans le canal.

Voici un calcul semi-empirique et partiel de la roue. Soit $H = 1,67$ m la hauteur de la chute d'eau¹³, $E = 0,32$ m l'ouverture de la vanne (comprise entre $H/5$ et $H/6$) et $L = 2,4$ m sa largeur. On suppose que la veine d'eau sortant de la vanne a pour hauteur $0,8E$. L'application de la formule $\frac{1}{2}MV^2 = MgH'$ donne $V =$ vitesse de l'eau $= \sqrt{2g(H-0,8E)} = 5,27$ m/s. La roue fait 8,81 tours/mn, sa vitesse circonférentielle est donc $\pi D \times 8,81/60 = 3$ m/s.

La quantité d'eau dépensée par la vanne est égale à $Q = 0,8LEV = 3,24$ m³/s.

La capacité annulaire comprise entre les deux couronnes extrêmes (chaque couronne a pour hauteur $C = 0,65$ m) : $(\pi D^2/4 - \pi(D - 2C)^2/4) \times L = 29$ m³.

La partie de cette capacité qui passe devant la vanne en une seconde vaut : $29V/\pi D = 4,2$ m³.

On évalue à $5/7$ de cette valeur la dépense de la roue, les aubes étant partiellement remplies d'eau. Cette dépense P vaut donc $3,02$ m³/s soit à peu près le débit de la vanne.

¹² Jean Berthiau, « Le laminoir de Guérigny et la grande roue hydraulique à aubes courbes », *Marteau-Pilon*, tome IV, 1992, p. 63-72, pour ce paragraphe et le calcul qui suit. *Bien examiner la figure 3.*

¹³ L'inspecteur Reibell la donne pour 2,25 m en moyenne, produisant environ 55 ch dynamiques ; celle de Villemenant : 2,15 m et 51 ch ; celle de Cosne : 2,6 m, très variable, et sans bief.

Si l'on prend le coefficient 0,55 pour rendement global, la puissance de la roue vaut 2774 kg.m/s ou 37 ch¹⁴.

Au moins une autre roue Poncelet à été installée à l'établissement¹⁵. En 1836, Villemenant est équipé d'une soufflerie en fonte et à double effet actionnée par une roue de 4,8 m de diamètre dont l'arbre, les rayons et la couronne sont en fonte et les 36 aubes en tôle. La puissance est de 8 ch seulement. Cette soufflerie fait l'objet d'une description au paragraphe suivant.

1.3. Les soufflets.

Les soufflets de forge sont mus à la main dans les petites installations et par un mouvement mécanique (roue hydraulique ou machine à vapeur), si la force humaine ne suffit pas : les forges de La Chaussade ont été équipées d'une façon ou de l'autre selon les besoins et les crédits. Les soufflets en bois sont installés par paires de façon à produire un vent continu : pendant que l'un d'eux aspire l'air extérieur, l'autre refoule l'air qu'il contient vers le foyer¹⁶. Chaque soufflet est constitué d'une caisse intérieure fixe ouverte vers le haut qui se termine par la tuyère et d'un couvercle ou *volant* qui pivote autour d'un axe horizontal appelé cheville ouvrière. Le mouvement alternatif du couvercle provoque l'aspiration puis le refoulement de l'air. Ces soufflets sont du même type que ceux des hauts fourneaux, mais ils sont moins longs (de 2,3 à 3,25 m environ).

Le mouvement est communiqué aux soufflets par l'arbre de la roue à eau, qui est équipé de deux séries de cames (à 90°) dont les bras sont intercalés. Ces cames soulèvent la partie saillante fixée à l'arrière des volants. Une perche de bois est fixée en deux points rapprochés de la charpente de l'atelier (fig. 4). À son extrémité libre, qui surplombe l'axe des soufflets, on accroche une crémaillère afin de régler en hauteur une sorte de fléau de balance, aux extrémités de laquelle on suspend les anneaux des soufflets. Lorsqu'une came abaisse un volant, l'air est chassé vers le foyer. Une extrémité du fléau est attirée vers le bas, l'autre s'élève en soulevant le volant du second soufflet qui se remplit d'air. Une came de la seconde série agit sur le second soufflet, etc.

Les premiers soufflets cylindriques en fonte apparaissent au Creusot en 1785, en même temps que le premier haut fourneau au coke¹⁷. À Guérigny, ils étaient en bois et à base carrée ; ils apparaissent en 1797. Un élève-ingénieur des Mines du nom d'Aimé Guiot s'intéresse à celui de Villemenant dans son mémoire de stage de 1833 (fig. 5)¹⁸.

14 Pour le calcul des roues, on peut se reporter au *Cours de mécanique* des Arts et Métiers d'Alfred Bazard en 5 volumes, Albin Michel, 1917-1918 (le 3^e volume traite de l'hydraulique).

15 Raymond Robin, *op. cit.*, p. 125-128, avec vue en élévation de l'installation. La puissance de la roue est donnée pour 8 ch en 1855 et doublée d'une machine à vapeur de 10 ch dans le rapport Reibell de 1855 (tableau n° 1 *infra*).

16 Jacques Gay, « Technique de forgeage des ancras de fer sous l'Ancien Régime », *Marteau-Pilon*, tome III, 1991, p. 73-103 ; p. 87-89.

17 R. Robin, *op. cit.*, p. 29-30. Après 1945, les turbosoufflantes remplacent les soufflets à piston.

18 Mémoire de stage d'Aimé Guiot (1808-1903), X démissionnaire admis à l'école des Mines en qualité d'élève externe, *Marteau-Pilon*, tome IV, 1992, p. 115-121, ici p. 120-121. Les plans de la machine soufflante ont été attribués à un tout jeune homme, Théodore Meynier (1816-1888), élève breveté de l'école des mines de Saint-Étienne. Voir aussi Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 80-81.

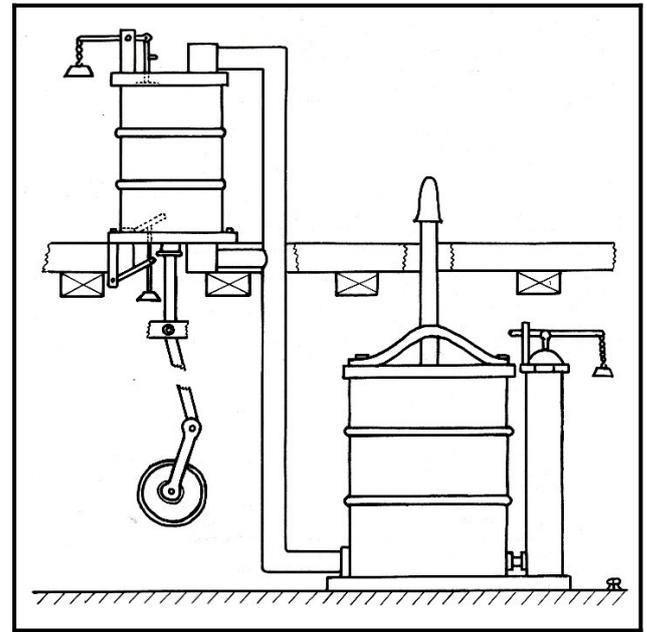
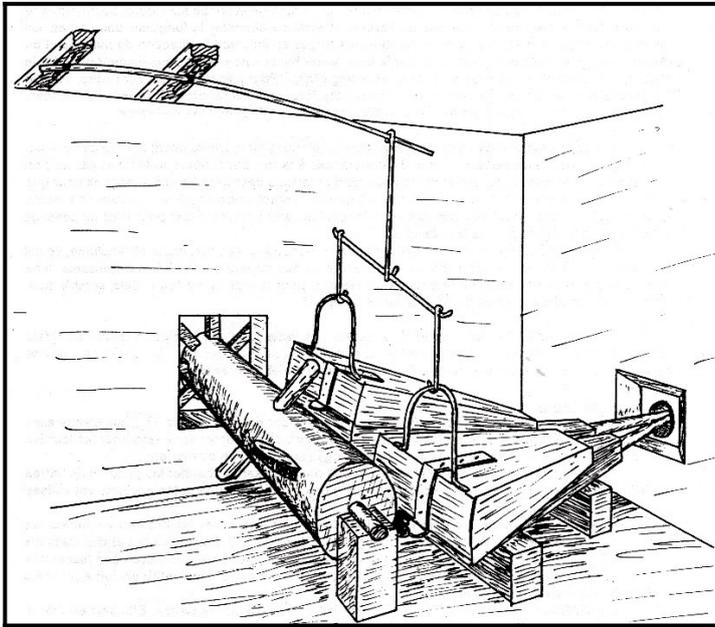


Fig. 4 : Paire de soufflets dans le genre de ceux de l'*Encyclopédie. Marteau-Pilon*, tome III, 1991, p. 88.

Fig. 5 : Soufflerie à piston des forges hydrauliques de Villemenant (vers 1833), d'après Guiot, élève de l'école des Mines.

Cette soufflerie est monocylindre, en fonte et à double effet ; elle est actionnée par la seconde roue métallique Poncelet de l'établissement. Elle fournit l'air aux deux ateliers de corroyage (n° 2 et 4) *et aussi à la serrurerie (n° 3), qui a gardé ses soufflets à bras*. Chaque buse communique avec le gros tuyau de vent, et l'on modifie la pression au moyen de robinets. Quand il n'y a pas assez d'eau, on les ferme et l'on manipule les anciens soufflets¹⁹. L'adjonction d'une machine à vapeur « auxiliaire » en 1841 permet d'alimenter les ateliers, lorsque cette machine n'est pas elle-même en panne. La roue tourne à 11 t/mn et donne 22 oscillations au piston pendant le même temps ; la soufflerie délivre 649 l d'air/s ou 39 m³/mn sous 32 mbar.

Les soupapes d'entrée d'air sont posées sous boîtes sur chacun des deux fonds, de sorte que, quand elles sont fermées, l'espace entre le fond et la face du piston, lorsqu'il est à l'une des extrémités de sa course, n'a plus qu'un centimètre de hauteur. Cette distance suffit à empêcher le contact entre le piston et les fonds. Des leviers à contre-poids accélèrent la fermeture des soupapes, afin que le piston ne puisse les rencontrer, ou plutôt qu'elles ne s'ouvrent pas au-delà d'un certain point. Le vent passe par un régulateur à piston (le gros récipient à droite de la figure 5). La tige de celui-ci traverse un étrier fixé sur les bords du cylindre et elle est munie à la tête d'un renflement qui ne peut passer à travers le trou de l'étrier et servirait, en cas d'accident survenu au cylindre soufflant, à empêcher le piston régulateur de tomber sur le fond de son cylindre. Un autre cylindre de faible diamètre communique avec lui et fait office de soupape de sûreté. Le poids qui repose sur le disque en fonte qui bouche le cylindre est calculé afin que, lorsque la pression de vent dépasse une certaine limite, le disque se soulève et laisse échapper l'excès de vent.

1.4. Les grues et la manutention des pièces.

Le problème de la manutention, et donc de la disposition respective des fours, grues et marteaux, s'accroît avec la taille des pièces à forger, surtout quand les ateliers gardent leurs dimensions²⁰. Si l'atelier de corroyage de Cosne, dont la reconstruction est décidée en 1840, a les dimensions voulues, il est même plus vaste que celui du Creusot (485 m² contre 345), l'atelier de Villemenant est étroit : il mesure à peine plus de 12 m de largeur à l'intérieur, et les pièces à traiter atteignent 8 m (fig. 34, p. 67). Le moyen de levage universel reste la grue en bois sur pivot, dont l'axe de rotation ou poinçon est muni à l'extrémité inférieure d'un pivot en

¹⁹ Curieusement, le directeur Zeni veut, en 1841, profiter de la réserve de puissance de la soufflerie, qui permet d'augmenter de moitié la vitesse du piston, afin de desservir les 13 feux de la serrurerie, « chaque fois que la machine à vapeur serait mise en mouvement ». S'agit-il d'un double équipement ? Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 82-83.

²⁰ *Ibid.*, p. 95-96.

fer qui tourne dans une crapaudine de fonte scellée dans un bloc de pierre, et, à l'autre extrémité, d'un tourillon fixé dans la charpente du bâtiment.

Voici une représentation de l'une des grues de 7 m de portée installées dans le nouvel atelier de corroyage de Cosne (fig. 6). Ce sont des grues à bras, Guérigny ne recevant ses premières grues à vapeur (d'une force de 40 t, très supérieure aux autres) qu'en 1870. L'ouvrier déplace le chariot, dont la course est égale aux deux tiers de la volée, ou le treuil sur le chemin de roulement au moyen d'une chaîne ; il règle de même les rotations à donner à la grue pendant le travail. La préférence va au bois plutôt qu'à la fonte, jugé plus sûr, et l'on a pour cette raison également construit les nouveaux ordons en bois²¹. La grue représentée possède une volée en fer nervuré car elle doit aussi endurer la chaleur des gaz brûlés des feux couverts, qui n'ont pas de cheminée. La machine à vapeur va occasionner un progrès considérable par le pont roulant, le vrai pont roulant sur fondations propres et non la grue roulante qui s'accroche à la charpente de l'atelier où on l'installe. L'établissement est doté peu avant 1870 d'une grue roulante au nouvel atelier d'ajustage.

Raisonnons d'après la fig. 7. Une grue suffit pour transporter les pièces suspendues par leur centre de gravité. La longueur de la volée de la grue est réglée de manière à faire passer sous elle la moitié à chauffer, entre la chaîne de suspension et le poinçon de la grue. Dans le but de faciliter les mouvements de la pièce dans le sens longitudinal, à la sortie des fours et pendant le martelage, on dispose le poinçon afin qu'elle soit tangente à l'arc de cercle décrit par son centre de gravité dans ces deux positions. Pour chauffer la partie comprenant le centre de gravité, les ouvriers des forges s'aident d'une deuxième grue. La chaîne d'une des grues est placée en arrière du feu couvert : elle traverse et, par conséquent, détruit lors de la manœuvre de sortie du feu la voûte formée par la houille ; on éteint immédiatement le foyer mis à découvert.

Les fours à réverbère ayant une voûte maçonnée, il faut manœuvrer avec une seule grue et charger le gouvernail de contrepoids pour amener le centre de gravité sous la suspension, en augmentant de ce fait la difficulté du mouvement de rotation. Pour tourner cet obstacle, qui interdit de forger au four à réverbère des arbres de plus de 4 m de long, Cavé et Hallette corroient un premier paquet et y ajoutent des mises, qui doivent réduire la solidité de l'ensemble. À Cosne et au Creusot, on a trouvé une autre méthode pour la manœuvre. L'enclume et les portes du four sont disposées sur une même droite. Le mouvement longitudinal s'effectue au moyen d'une poulie menée par un moteur (à Cosne, c'est la roue de l'ordon) et d'un palan. Pendant sa marche rectiligne le paquet de barres appuie sur un rouleau de fonte disposé entre le four et l'enclume. Le paquet repose d'abord sur le seuil de la porte du four et sur le rouleau ; lorsque son centre de gravité a dépassé le rouleau, la grue contribue avec le rouleau à le soutenir ; lorsque la partie chauffée est arrivée sur l'enclume, le rouleau tombe dans une fosse. On passe un palan de derrière pour soutenir le bout du paquet et on commence à marteler. *La manœuvre d'un paquet de 16 à 18 t ne doit pas dépasser une minute.*

À Villemenant, l'on est parvenu par d'autres moyens à corroyer des arbres de machine à vapeur de 450 ch en rendant mobiles deux feux couverts dans lesquels les paquets sont successivement chauffés (fig. 34). L'un d'eux, monté sur pivot, utilise deux poulies et un câble monté sur l'arbre de la roue. L'autre est mobile sur une voie ferrée. Dans la position de chauffage du feu, deux buses sont ajustées sur le tuyau de vent venant de la soufflerie. La pièce est amenée sur l'enclume ou dans le feu couvert par la grue P pour les chaudes d'extrémité et les grues P et P' pour la chaude du milieu. Lors du martelage, le feu sur chemin de fer est déplacé dans le renforcement T de l'atelier (qu'il a fallu pratiquer dans des murs vénérables !), après que l'on a rabattu les buses, et l'autre feu mobile est rabattu contre le mur. On ne dit pas comment s'écoule le laitier : par le côté opposé aux buses ou sous le chariot ? Toujours est-il que l'on a réussi à forger des arbres de 8 m dans un atelier aussi malcommode.

²¹ *Ibid.*, p. 100.

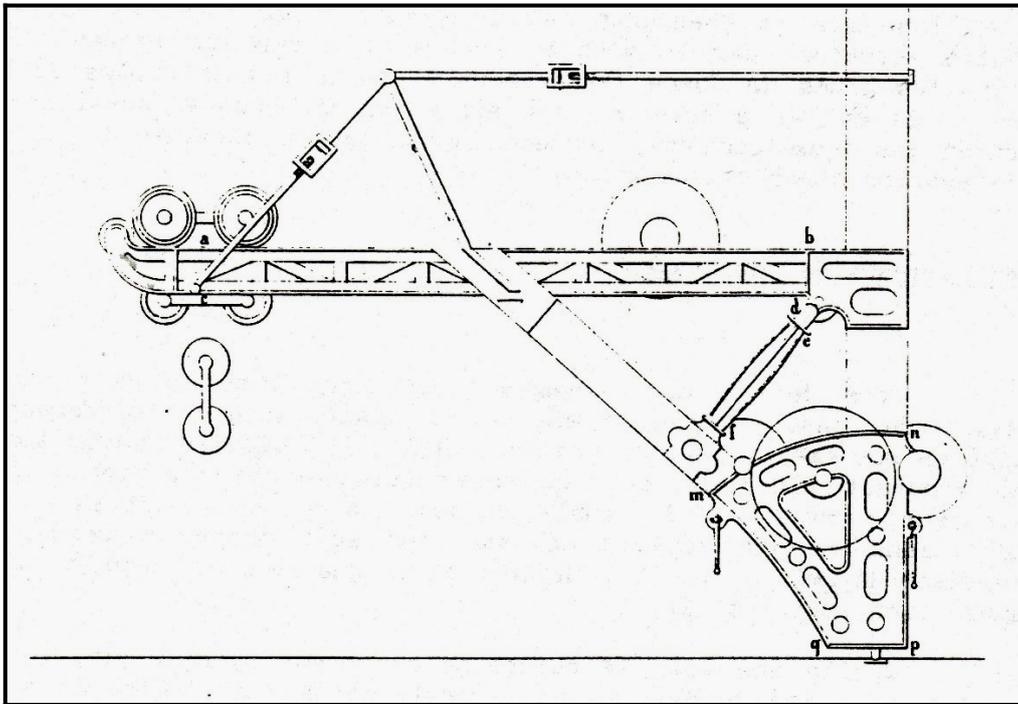


Fig. 6. Grue (à bras) du nouvel atelier de corroyage de Cosne (1841), rapport Vanéechout.

- ab, cd : barres à nervures en fer formant la volée métallique ; le poinçon et les arcs-boutants sont en bois.
- d : poulie sur laquelle passe le cordon horizontal de la chaîne principale pour rejoindre ensuite le tambour du treuil. L'arbre de cette poulie est soutenu par deux pièces en fonte formant l'assemblage entre le poinçon et la volée.
- ef : arc-boutant secondaire supportant une partie de l'effort exercé sur la poulie précédente.
- mnpq : secteurs en fonte portant les diverses pièces des treuils et consolidant l'assemblage des arcs boutants avec le poinçon. La longueur de la volée est de près de 7 m.

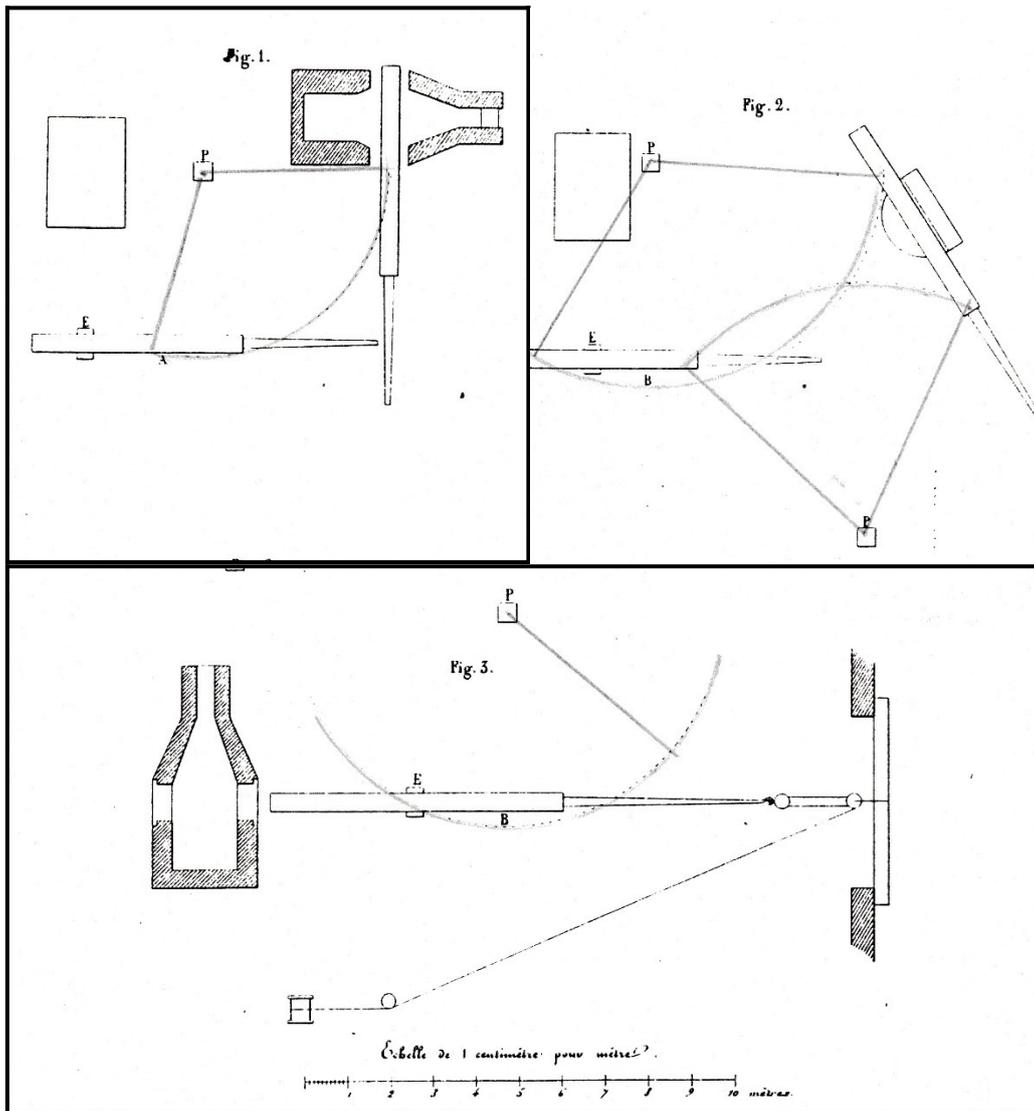


Fig. 7. Manœuvres employées à Cosne pour transporter les pièces chaudes du foyer à l'enclume, au moyen des grues, rapport Vanéechout de 1844. Installation de Villemenant : voir la fig. 34

Fig. 1. Manœuvre à une seule grue employée pour les pièces soutenues par leur centre de gravité, ou dont le poids et la longueur ne dépassent pas certaines limites, en sorte qu'il soit possible, dans les chaudes du milieu, d'équilibrer la pièce sous la grue par des poids additionnels.

Fig. 2. Manœuvre avec deux grues.

Fig. 3. Manœuvre sur rouleau employée pour les chaudes du milieu des pièces de première grandeur.

E E E : Enclumes.

P P P P : Poinçons des grues.

A (fig. 1) : pièce amenée sur l'enclume pour une chaude donnée au quart de sa longueur.

B B (fig. 2 et 3) : Pièces posées sur l'enclume pour une chaude du milieu dans un four de corroyage ou dans un four à réverbère, où le combustible est séparé du métal à souder.

1.5. Les marteaux, martinets, marteaux-pilons et presses hydrauliques²².

Les *marteaux* employés traditionnellement dans les forges sont à *soulèvement latéral* ou à *bascule* : les premiers servent au corroyage des fers de fortes sections ; les autres, dits *martinets*, au cinglage des loupes, à l'étirage et au travail des petits fers. Aux forges de La Chaussade, ce sont les deux seuls modèles connus dans les ateliers jusqu'à l'avènement du marteau-pilon. Il a été question d'installer en 1828 un *marteau frontal* à l'affinerie de Guérigny, mais le projet n'a pas eu de suite, et le marteau en fonte à soulèvement latéral mais sans hurasse commandé à la maison Hallette pour l'atelier du pilon en 1844 n'a guère servi. Notons que le premier marteau frontal (en fonte, mais sa tête ne pesait que 380 kg), actionné par des cames et une machine à vapeur, a été installé en 1782 dans la forge de John Wilkinson à Bradley (Staffordshire)²³. Nous illustrons notre propos par le marteau à soulèvement installé en 1842 à Villemenant, dans l'ancien atelier aux ancras, déjà évoqué (fig. 9), le marteau à soulèvement encore plus massif de la fig. 10, un martinet à bascule (fig. 11) et un marteau frontal (fig. 12).

Examinons d'abord le marteau du XVIII^e siècle dessiné par Jacques Gay (fig. 8). À part les nouveaux marteaux frontaux, qui sont en fonte, les autres outils, plus anciens et de loin les plus nombreux, étaient presque entièrement faits en bois ; on y a substitué peu à peu des pièces en fonte lorsqu'il y avait avantage à le faire. Les efforts et les mouvements violents supposent qu'ils soient transmis à une charpente très solide. La pièce maîtresse est une très grosse poutre en chêne, la *drome*, qui repose d'une part sur deux poutres verticales aussi fortes, les *carreaux*, sur deux jambes qui accueillent la *hurasse*, *pièce métallique qui contient l'axe horizontal de rotation du manche*, celui-ci étant encastré dans celle-là, et, d'autre part, sur un chevalet placé à l'autre extrémité. La charpente possède des fondations propres (six poutres entrecroisées) et elle n'est reliée à la charpente du bâtiment que par une des sablières.

Les jambes peuvent être inclinées vers l'avant, et alors la hurasse — anneau qui supporte le marteau, repère 17 sur la figure 8 — et le marteau se rapprochent de la panne du marteau ; en les inclinant vers l'arrière, on obtient l'effet inverse. La jambe du côté de l'arbre est assujettie à sa sole (poutre de fondation) de façon à ne pas se lever sous l'action des cames sur le manche du marteau, action qui tend à élever le pivot de la hurasse. Deux coins permettent de déplacer le pied de l'autre jambe, dite jambe mobile, et donc la panne du marteau, du centre de l'enclume vers une de ses extrémités. Le manche forme un tenon sur lequel on enfile la tête en fonte du marteau, que l'on fixe au moyen de coins chassés à force.

Les cames agissent entre l'axe d'oscillation du manche et la tête des marteaux à soulèvement latéral. Le manche est protégé, aux points de contact avec elles, par une braie en fer. Quelle que soit la puissance du moteur, le temps nécessaire pour l'élévation du marteau et sa chute impose une limite à la levée sur la pièce et au nombre de coups de marteau. La came projette le manche vers le haut, le manche heurte violemment le ressort qui réduit ainsi sa course, le renvoie vers l'enclume avec de l'accélération et augmente ainsi le nombre de coups par minute. Le ressort est commun aux marteaux à soulèvement et aux martinets. Le diamètre de l'arbre est réduit au droit de la jambe, afin de rapprocher le manche de l'arbre et donc de diminuer la longueur des cames. La table de l'enclume et la panne du marteau doivent bien coïncider sur toute leur étendue. Leur axe commun n'est pas parallèle à l'arbre, afin que les cames ne puissent saisir les barres et que les longues barres ne soient pas arrêtées par le support du ressort.

²² Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 80-110, Maurice Daumas, *op. cit.*, p. 155-158, 587-588, 608-611, Charles Laboulaye, *Dictionnaire des arts et manufactures*, éd. 1845 et 1870-1873, articles Fer et Marteaux, Christian Sütterlin, *La grande forge*, 1981, La Couarde (île de Ré), Assailly, p. 58.

²³ Charles Singer et alii., éd., *A History of Technology*, 7 vol., Oxford, 1954-1978, vol. 6, p. 104-105.

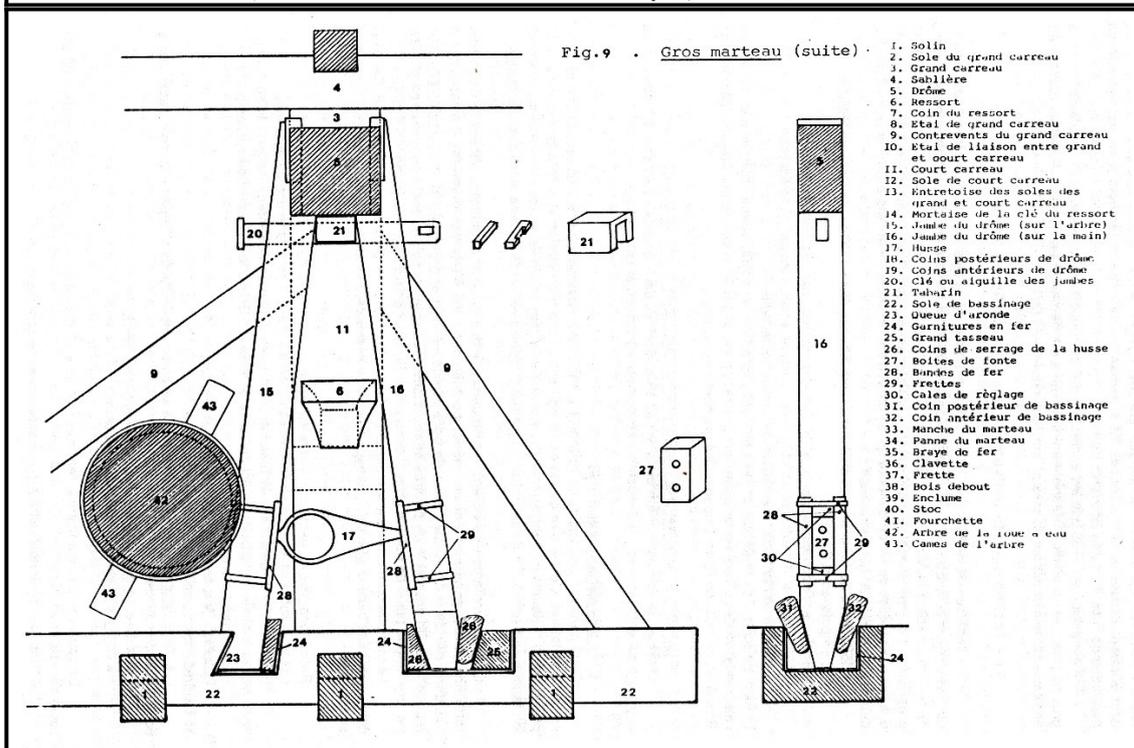
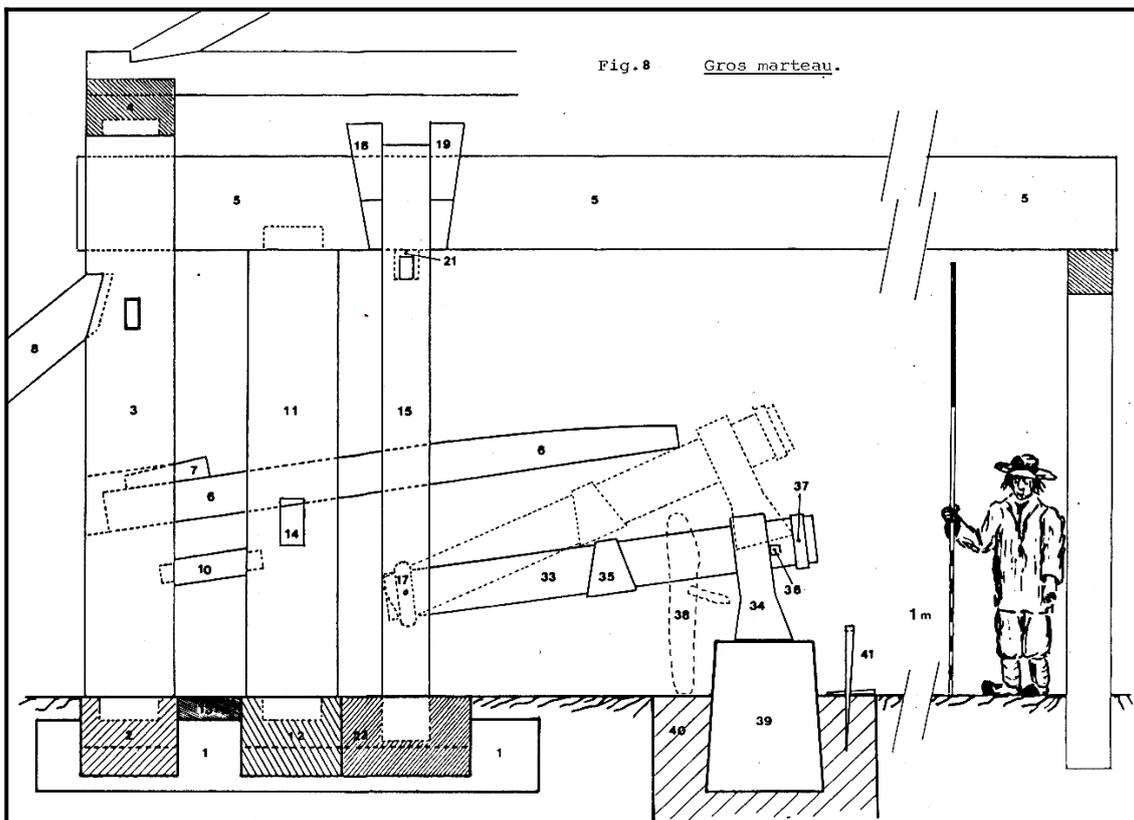


Fig. 8 : Marteau latéral, modèle du XVIII^e siècle, Jacques Gay, « Technique de forgeage des ancrs de fer sous l'Ancien Régime », *Marteau-Pilon*, tome III, 1991, p. 82-83.

Charles Laboulaye (1813-1886) donne en 1845 pour masse de la tête du marteau de 200 à 400 kg, pour levée de 0,55 à 0,80 m, celle-ci étant en général inversement proportionnelle à la masse, et de 90 à 120 coups/mn. Il écrit qu'il faut compter pour l'enclume au moins le triple de la masse du marteau, afin d'absorber les chocs. Aux forges de La Chaussade, les têtes pèsent jusqu'à 650 kg, le manche pesant 300 kg ; la levée va jusqu'à 0,50 m et les marteaux battent 72 coups/mn. Le nouvel ordon de Villemenant de la fig. 9 dispose d'un marteau de 990 kg et d'un manche de 650 kg (qui est donc en bois) ; la levée est de 0,40 m sur une pièce de 0,56 m d'épaisseur, plus 0,20 m de surélévation maximale. La longueur du manche est de 3,40 m de l'œillard

au marteau, 2,25 m de l'œillard à la braie. Les cinq comes décrivent un cercle de 1,20 m de rayon. L'un des deux marteaux neufs de Cosne pèse 1 010 kg, son manche 450 kg ; il donne 0,55 m de levée sur une pièce de 0,55 m d'épaisseur, plus 0,17 m de surélévation maximale ; les longueurs du manche sont de 2 et 1,7 m, comptées comme ci-dessus.

Les deux marteaux latéraux donnés en exemple pour le XIX^e siècle n'ont plus la même charpente qu'au siècle précédent. La drome a disparu, les jambes sont devenues des flasques dans le marteau de Villemenant, et la charpente est devenue *ordon*. Le marteau de Silésie (fig. 10) respecte la séparation des fondations, qui sont sur pilotis, mais non celui de Villemenant, quoique le dessin ne soit pas bien net (fig. 9). Voici la seule description de fondations que nous ayons trouvée, ce sont celles des deux martinets prévus pour la serrurerie de Villemenant :

- *fondations de la plaque commune* : une couche de béton de 50 cm ; un grillage en bois équarri de 33 cm, garni à sa partie inférieure de membrures jointives de 5 cm fixées par des clous ; les vides sont remplis par du béton jusqu'à la plaque en fonte, sauf la coulisse où doit se placer le ressort des martinets ;

- *fondation des stocs* : une couche de béton de 70 cm d'épaisseur recouverte d'un plancher de bois équarri de 25 cm assemblé au moyen de chevilles en fer par deux pièces transversales de 25 cm de côté et entaillées de manière à empêcher le déplacement des stocs, qui sont simplement posés sur le plancher ;

- *les stocs*, en forme de troncs de pyramide, sont faits de 9 pièces de bois chacun, de forte section, et mesurent 1,4 x 1,23 m à la base, 1,2 x 1,04 m au sommet, sur 1,5 m de hauteur ; les pièces sont maintenues par trois liens en fer, et leur partie supérieure est entaillée pour recevoir la chabotte.

L'installation d'une machine à vapeur pour ces martinets entraîne l'abandon de l'un des trois canaux de fuite du bief de Villemenant et son détournement vers la Nièvre (bief de Guérigny). Les deux autres canaux sont supprimés plus tard : la vapeur prend alors toute la place dans la partie principale de l'établissement.

Les ordons des *martinets* n'ont que deux montants en bois ou en fonte assemblés dans des semelles et consolidés par des traverses (fig. 11). Les fondations peuvent être établies comme celles des marteaux à soulèvement. Le manche porte à l'arrière une forte frette en fer munie d'une touche sur laquelle *agissent les comes, placées sur un arbre perpendiculaire au manche*. La partie inférieure de la frette vient buter sur le tas, pièce métallique fixée au sol et ayant le même objet que les ressorts des marteaux. Laboulaye donne une masse de la tête du marteau variant de 50 à 250 kg, une levée de 0,25 m à 0,60 m, une vitesse de 140 à 300 coups, les martinets les plus faibles étant les plus rapides. Ceux de La Chaussade ont une tête pesant jusqu'à 300 kg, un manche de 2,25 m de longueur et 0,20 m de section. La partie du manche comprise entre la tête et l'axe de rotation pèse 100 kg ; le centre de gravité de cette partie parcourt la moitié de la levée, la queue du manche pèse 42 kg et son centre de gravité s'élève du 1/6^e de la levée pendant la chute. Le travail dû à la chute vaut donc $300L + 100L/2 - 42L/6 = 343L$: 343 kg est la masse équivalente agissant sur la pièce. La vitesse acquise lors de la montée augmente la hauteur de chute d'un quart environ. La levée est communément de 0,25 m à La Chaussade et les martinets battent 110 coups/mn. La puissance des martinets ou marteaux à bascule est généralement modérée, quoique celui des établissements Cavé fasse exception : la section du manche est de 0,5 x 0,6 m, la queue mesure 2,40 m, le manche 2,90 m, la masse équivalente, 1 935 kg, est considérable, et la levée très grande. De plus, et c'est un avantage recherché pour le corroyage, les abords de l'enclume sont bien dégagés. Cependant le manche, très sollicité, doit être changé souvent, de même que l'ordon, par suite des efforts qu'il subit venant de deux points fort éloignés entre eux, la came et la tête du marteau.

L'ingénieur Cochon de Lapparent (1807-1884), chef de la section de Cosne, observe que l'on peut faire varier la puissance en changeant la masse de la tête d'un marteau, mais qu'il est difficile de remuer et d'emmancher des marteaux lourds et de trouver des manches capables de résister au contrecoup du ressort ; tout ceci limite la puissance des marteaux. D'autre part, l'augmentation de la levée ne pourrait avoir lieu que par l'allongement des comes, qui risqueraient alors de se briser. Enfin la levée augmente à la fin du corroyage, à cause de la réduction de la section des pièces, quand il suffirait qu'elle soit minimale, et elle est faible au début, alors qu'elle devrait être maximale.

Si la rapidité n'est pas nécessaire et que la masse du marteau doit être considérable, comme dans la compression d'une loupe de fer, on se contente de le laisser retomber sur la pièce. Tel est le principe du *marteau frontal* (fig. 12). Il produit par son poids les effets d'un ressort. Le marteau proprement dit fait corps avec le manche en fonte, et les tourillons sont simplement posés. Seulement, l'action étant uniforme, elle est trop grande ou trop faible pour les travaux différents de celui auquel l'outil est adapté. Ces marteaux ont parfois

pesé plus de 5 tonnes. Ils obligent les ouvriers à travailler sur le côté, alors que, dans les deux types principaux, ils travaillent devant le marteau. Leur diffusion a été contrariée par l'avènement du marteau-pilon. Pour être complet, il faudrait encore citer, comme 4^e et dernier type, et le moins répandu, le marteau en fonte à soulèvement latéral dont l'arbre est perpendiculaire au manche et disposé sous le manche.

Tous ces matériels étaient fragiles. Dans les meilleures conditions, l'enclume pouvait durer 10 mois, le manche 6, mais la tête ne dépassait pas 4 mois. Et ils étaient, bien sûr, très bruyants.

On admet alors que l'effet du coup de marteau est proportionnel à la force vive (énergie cinétique) qu'il transmet à la pièce par le choc. Avec une grande vitesse, le choc est court, la pression n'a pas le temps de se transmettre à l'intérieur de la pièce. Un marteau très lourd, doué d'une vitesse modérée, développant la même force vive, permet de transmettre davantage d'énergie au centre de la pièce. Un martelage faible réduit la section en usant la surface et en se prolongeant souvent trop longtemps. Un bon martelage diminue davantage la section, parce qu'il y a moins de déchet. Le sous-directeur des forges Vanéechout (1804-1864) admet que le marteau-pilon doit être préféré pour les travaux qui demandent beaucoup de puissance : la masse du premier pilon du Creusot est de 2 500 kg, soit deux fois et demi celle du plus gros marteau des forges

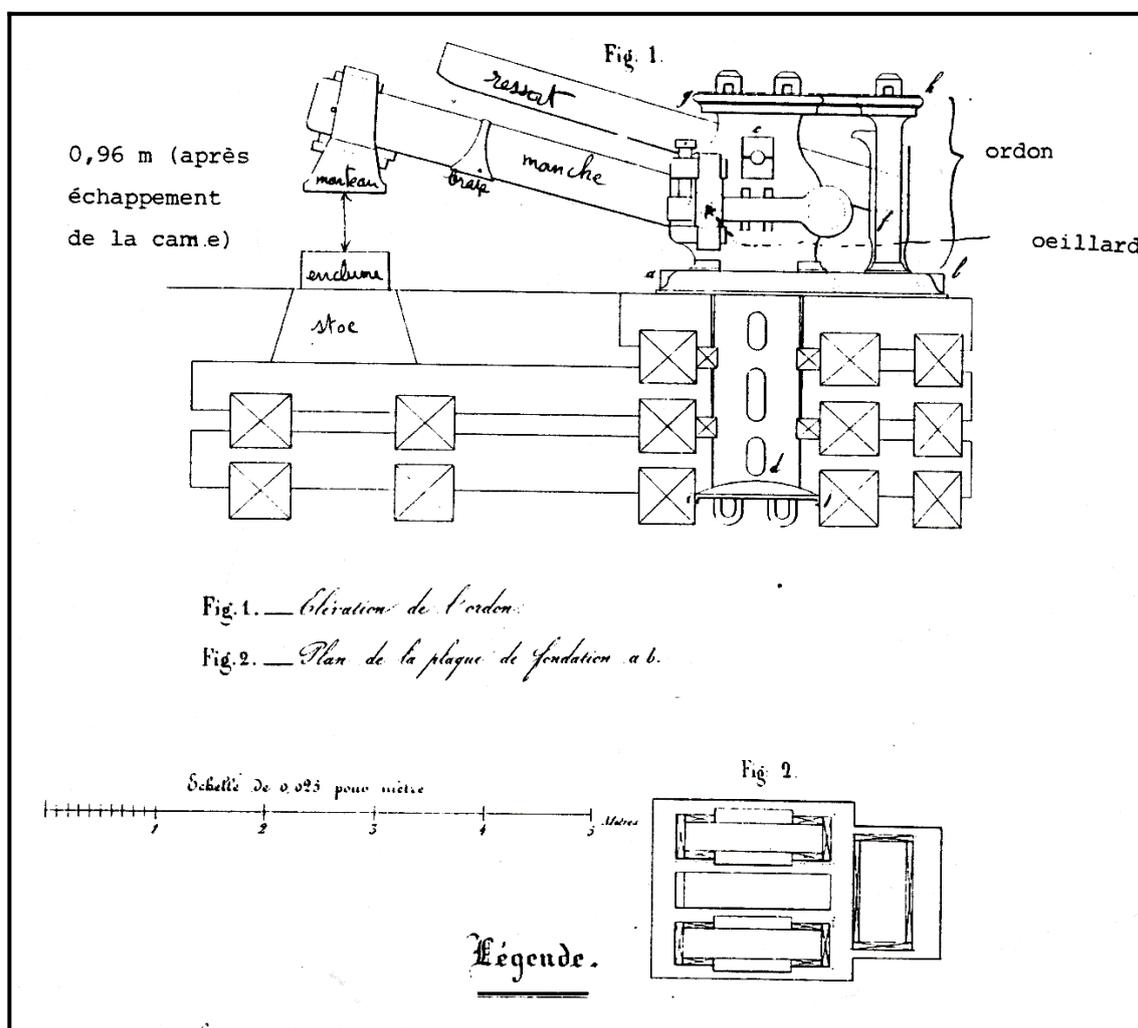


Fig. 9. Ordon et marteau de l'atelier hydraulique de corroyage de Villemenant, rapport Vanéechout publié en 1844

ab : plaque de fondation.

cd : flasques traversant la plaque de fondation sur laquelle elles trouvent un calage à queue d'aronde sur les quatre faces. Il y a deux flasques placées l'une devant l'autre et qui supportent les pointes de la hurasse et les tourillons du ressort.

f : boîte assemblée à queue d'aronde sur la plaque de fondation et destinée à recevoir la queue du ressort.

gh (en haut) : chapeau en fonte embrassant par le haut les deux flasques et la boîte précédente.

ij (en bas) : pièce recevant les tenons inférieurs des deux flasques et complétant la liaison des pièces de fonte avec la charpente de fondation. Ces fondations comprennent des madriers et des couches de béton. On remarque une liaison partielle entre les deux massifs de fondations.

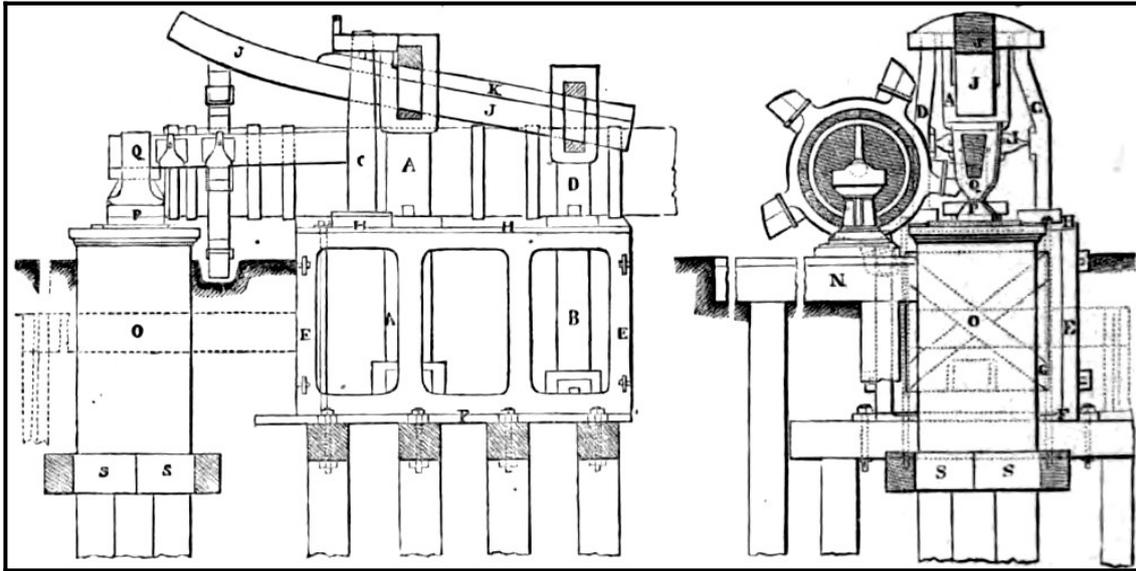


Fig. 10 : marteau latéral avec ordon en fonte d'un modèle répandu en Silésie (Laboulaye). Les deux massifs de fondation restent séparés. Celui de l'ordon comprend 4 sommiers et 8 pilotis en bois, qui supportent une caisse massive en fonte et enterrée EFGH. Cette caisse maintient solidement les colonnes AB et les jambes CD de l'ordon. Le stoc O, massif et en chêne, repose sur 2 sommiers et 5 pilotis. Il porte l'enclume P dont la panne, parallèle à celle du marteau Q, forme un angle aigu avec l'axe de l'arbre à cames. Une plaque de fonte, qui emboîte le stoc au sommet, porte une ouverture octogonale pour recevoir la chabotte. On distingue encore en L la hurasse dont les tourillons tournent dans les coussinets fixés dans les jambes CD ; en J, le rabat et sa couverture K, calés avec des coins en bois, et servant à limiter la levée du marteau et à accélérer la descente. L'arbre moteur en chêne comprend cinq cames en fonte. Le palier soutenant le tourillon qui termine l'arbre repose sur un madrier en chêne soutenu lui-même par le sommier N, qui se trouve ainsi fixé sur des pilotis.

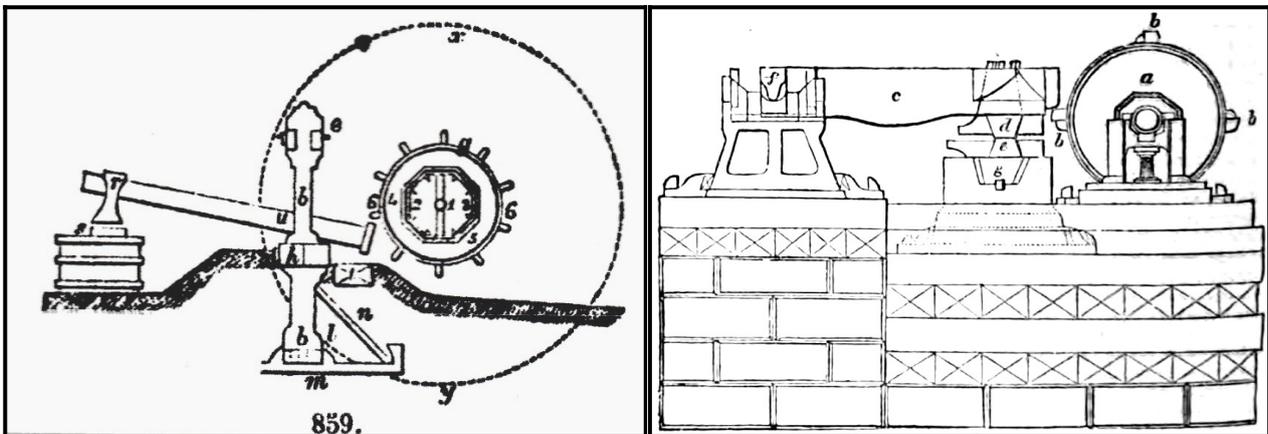


Fig. 11 (à gauche) : Martinet à bascule ou à queue (Laboulaye). 1 : axe de rotation de la roue motrice hydraulique x y, sur lequel est monté le collier 2 3 de l'arbre à cames 4 5 6 ; h l m n, fondations supportant les jambes b du marteau, qui sont réunies à leur sommet par les traverses e ; u, manche, r, tête du marteau, s, enclume ; t, tas destiné à limiter la levée du marteau et formé par l'extrémité d'une solive en bois élastique. Le tas agit par le choc de la queue du marteau. Certains martinets étaient fondés comme les marteaux ; ici les fondations paraissent bien sommaires.

Fig. 12 (à droite) : Marteau frontal en fonte utilisé pour le corroyage du fer puddlé (Laboulaye). Les cames frappent tout à l'avant du manche ; les tourillons f du manche sont assis sur des coussinets inférieurs seulement ; d est la panne du marteau, e la table de l'enclume encastrée dans la chabotte g. La panne (et la table, symétriquement) comprend trois parties, l'une pour cingler les loupes, la seconde pour corroyer et parer le fer, la dernière pour l'étirage. Il est tout en fonte, le poids de sa tête varie de 2 à 6 t, sa levée est de 0,40 à 0,60 m et le nombre de coups de 80 à 100/mn. Afin que le marteau ne retombe pas à faux sur l'enclume à la fin du cinglage, ce qui risquerait de les briser tous les deux, on saisit un moment où la tête est au sommet pour placer debout, sous l'un des bords antérieurs du marteau, une barre de fer dite valet, qui le bloque. On débloque le marteau en présentant sous son front une tige de fer : au passage d'une came, il s'est un peu soulevé ; on enlève alors le valet et le marteau retombe. Les fondations ne sont pas indiquées clairement (x désigne la section d'un madrier).

Le marteau-pilon. James Watt a entrevu l'application de la vapeur au marteau dès 1774 : il brevete alors un marteau de forge sur lequel la masse est soulevée par un cylindre à vapeur et retombe de son propre poids²⁴. Pendant longtemps, l'on améliore les marteaux existants comme nous l'avons dit. Le véritable inventeur du marteau-pilon est François Cavé (1794-1875), un mécanicien parisien, qui demande en 1836 un brevet de cinq ans pour l'application d'un cylindre à vapeur à simple effet, à un marteau, une poinçonneuse ou toute machine analogue. Il construit et fait fonctionner son marteau à vapeur, puis en fabrique d'autres. Deux autres mécaniciens s'intéressent au plan de Watt et vont y associer leur nom : ce sont James Nasmyth (1808-1890) et François Bourdon (1797-1865). Bourdon est ingénieur au Creusot et il est chargé de forger des arbres de grands diamètres pour les machines marines dont Schneider a entrepris la fabrication. Il a l'idée d'un marteau à vapeur frappant à la manière des moutons des charpentiers et permettant de souder, étirer, parer, finir. À la fin de 1840, Eugène Schneider (1805-1875) l'autorise à construire un prototype après le voyage qu'ils ont fait tous deux en Angleterre et qui leur a donné l'occasion de voir l'album de dessins de Nasmyth. Bourdon a pris un premier brevet en juillet 1841, puis un second le 19 avril 1842, trois mois avant que l'ingénieur anglais en fasse autant pour sauvegarder ses droits au Royaume-Uni. Il a vu la machine de Bourdon en fonctionnement en avril 1842. Le prototype était trop faible pour absorber les chocs. L'exemplaire vendu aux forges de La Chaussade en 1844 (fig. 35, p. 67) est plus solide. À l'expiration du 1^{er} brevet, en 1846, le marteau de Bourdon est au point.

Le sous-directeur des forges se rend au Creusot et y découvre le marteau dont il avait entendu parler dès 1840²⁵. Il écrit : le marteau « se meut verticalement entre deux guides formant queue d'aronde ; il pèse 2 500 kg. Il est directement lié à la tige d'un piston sous lequel on donne de la vapeur à volonté par un jeu de soupapes manœuvrées d'abord à la main. On élève ainsi le pilon à toutes les hauteurs voulues au-dessus de l'enclume, jusqu'au maximum de 1,70 m. En l'abandonnant à ces diverses hauteurs, on peut donc à volonté obtenir des coups très puissants ou très faibles. On peut, au besoin, arrêter la chute du pilon avant qu'il n'ait atteint la pièce que l'on forge, en rendant la vapeur sous le piston. » Vanéechout remarque la facilité d'usage des outils intermédiaires entre le marteau et la pièce (il pense aux étampes), la faculté de changer la levée pendant le martelage. Mais il est difficile d'obtenir des coups égaux et également espacés : l'ouvrier chargé de la manœuvre doit être adroit. La solidité des pièces et certains détails de construction ne sont pas à l'abri des reproches mais, remarque-t-il encore, « les dispositions actuelles n'ont pas été conçues du premier jet. » Ailleurs enfin, il donne un autre avantage essentiel par rapport aux marteaux : la levée ne dépend plus du nombre de coups par minute.

La mise en service du premier marteau-pilon en 1845 lui assure tous les suffrages. L'ingénieur de Lapparent conclut ainsi : « Le marteau-pilon joint la variabilité de la puissance du marteau à soulèvement à la puissance du marteau frontal et laisse l'enclume libre. » Peu à peu les marteaux-pilons doivent remplacer tous les marteaux. Cependant, les forges ne disposent d'un deuxième marteau-pilon qu'en 1853 (à Demeurs) et l'équipement de Cosne est inchangé jusqu'à la fermeture des ateliers en 1869. Neuf ans plus tard, l'établissement dispose de 17 pilons à vapeur et de 8 marteaux ou martinets, tous hydrauliques, semble-t-il²⁶.

24 Maurice Daumas, *op. cit.*, tome III, p. 155-158 et 608-611.

25 Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 107.

26 Tableau n° 1. Les pilons fonctionnent ensuite selon le principe du double effet, comme les machines de Watt : le fluide moteur, vapeur puis air comprimé (en 1945 à Guérigny), fait remonter le marteau puis accélère sa chute.

forge et on soude les plus fortes pièces aussi facilement que celles de dimensions ordinaires. Le poids du marteau s'élève de 2500 à 3000 kilogr. ou plus, et sa levée peut varier à volonté depuis 4" et plus jusqu'aux plus petites distances, de sorte que l'ouvrier s'en sert indifféremment et avec une égale facilité pour souder, pour étirer, pour parer et pour finir. Lorsque l'ouvrier, pour vérifier les dimensions des pièces cinglées, veut suspendre, sans l'arrêter tout à fait, la marche du marteau, cette masse énorme se balance et oscille au-dessus de la pièce sans la toucher, attendant pour ainsi dire le moment d'agir.

Du reste, M. Schneider et M. Nasmyth employant les mêmes dispositions principales, il nous suffira, par exemple, de décrire le marteau à vapeur d'après le texte du brevet de M. Nasmyth.

La fig. 1503 est une vue de face de ce marteau; la fig. 1504 est une coupe verticale passant par l'axe de la machine; et la fig. 1505 est une élévation de l'appareil un peu modifié et supposé opérer sur une forte pièce.

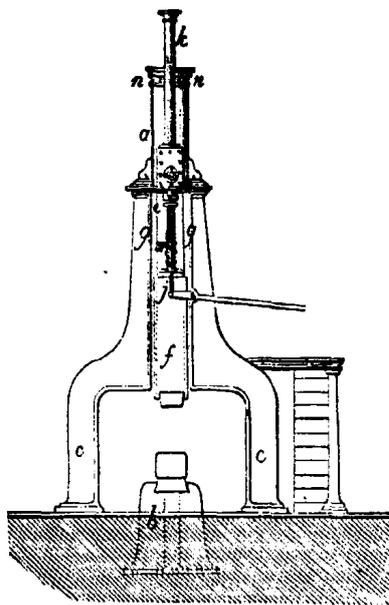
a, a, est un cylindre placé, aussi verticalement que possible, au-dessus de l'enclume *b*, et porté par les deux montants latéraux *c, c* (fig. 1503 et 1504), ou par un sommier *s* (fig. 1505). Un piston *d* se meut dans ce cylindre et soulève le mouton *f* avec lequel il est lié par la tige *e*. Ce mouton, qui sert de marteau, est guidé, dans son ascension et dans sa descente, par la coulisse verticale *g, g*, dont les deux côtés sont fixés aux montants *c, c* (figures 1503 et 1504), ou maintenus par des contre-fiches *u, u* (fig. 1505).

La vapeur, ou tout autre fluide élastique capable de soulever le marteau *f*, en agissant sous le piston, arrive, par suite de l'élévation du tiroir *i*, dans le cylindre *a*, agit sous la surface du piston *d*, et soulève le marteau *f*, à une hauteur limitée seulement par celle du cylindre auquel on peut donner toute la longueur nécessaire. Lorsque le marteau est arrivé à la hauteur que l'on désire, on abaisse le tiroir par le moyen de la tringle à poignée *j*, non seulement assez pour empêcher la vapeur d'affluer davantage, mais encore suffisamment pour permettre à celle qui est renfermée sous le piston de s'échapper par le tuyau *k*. Au moment où l'on exécute cette manœuvre, le marteau descend avec toute l'énergie due à la hauteur de sa chute, et donne, par conséquent, un coup puissant sur la pièce que l'on veut forger. On élève alors la poignée *j*, soit par l'effet même de la descente du marteau, soit à la main, selon qu'on le trouve plus convenable, et l'on permet ainsi à la vapeur de rentrer sous le piston. En admettant et en laissant ainsi échapper la vapeur, on communique donc au marteau *f* un mouvement d'ascension ou de chute, par l'action directe de ce fluide élastique, sans l'interposition d'aucune espèce de mécanisme. Ce qu'il y a d'ailleurs de très important, c'est que la rentrée de la vapeur, que la hauteur de la chute, et par conséquent l'intensité du coup peuvent varier à volonté, et que, de plus, la surface agissante du marteau ou de l'instrument tranchant, reste toujours parallèle à celle de l'enclume ou du coin qui reçoit le coup, quelle que soit la hauteur à laquelle s'élève la pièce choquante.

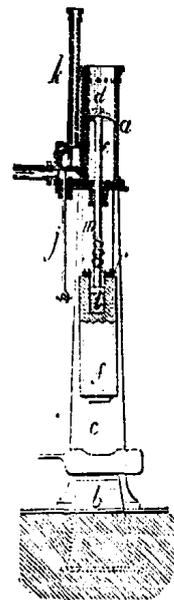
La liaison de la tige *e* du piston et le marteau se fait

en interposant une matière élastique *l* (fig. 1504) entre ce marteau et les deux portées du renflement pratiqué au bas de la tige de suspension, afin d'éviter les ruptures ou les dégradations qui pourraient survenir au piston, à la tige ou au cylindre, au moment du choc, ou bien à celui de l'introduction de la vapeur dans le cylindre. Pour éviter plus sûrement ce dernier inconvénient, on taille un peu obliquement, à la lumière du cylindre, la partie intérieure du tiroir *i*, ce qui permet à la vapeur d'entrer d'abord par un des angles et d'agir sous le piston sans secousse brusque.

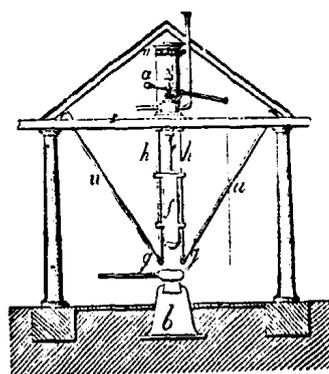
En se reportant à la fig. 1504, on reconnaît la position de la matière compressible (laine, bois ou cuir), au-dessus et au-dessous du renflement qui termine la tige *e*; cette matière est retenue en *l'*, par le fond de la cavité cylindrique, et en *l''*, par la rondelle boulonnée qui sert à lier la tige avec le marteau ou à l'en séparer, quand on le désire. Un fort ressort spiral *m* entoure la tige du piston, et prévient les chocs rudes que le marteau pouvait exercer contre le fond du cylindre; ce res-



1503.



1504.



1505.

sort sert en même temps de rabat pour accélérer la chute. On empêche au reste le piston de s'élever trop

Fig. 13 : extrait du *Dictionnaire des arts et manufactures* de Charles Laboulaye, 3^e éd., 1870. La fin de la dernière phrase de la page se lit ainsi : trop « haut, en pratiquant dans la partie supérieure du cylindre, tout autour de sa périphérie, une rangée de trous *n n* qui permettent à la vapeur de s'échapper, lorsque le piston atteint accidentellement ce niveau. »

La presse hydraulique. Cette machine, qui s'est lentement imposée dans les forges aux dépens du marteau-pilon, utilise un circuit hydraulique d'huile ou d'eau qui transmet un effort multiplié et un déplacement servant à écraser, déformer un objet ou à soulever une pièce lourde. Selon le principe établi par Pascal, le fluide transmet la pression d'un réservoir de petit diamètre à un réservoir de grand diamètre par l'intermédiaire de pistons (fig. 14). L'impossibilité d'assurer l'étanchéité avait empêché toute réalisation pratique jusqu'à ce qu'un inventeur anglais de renom, Joseph Bramah (1748-1814), y remédie dans un brevet de 1795 (fig. 15). François Cavé entreprend à son tour la fabrication des presses hydrauliques vers 1840 et il atteint le millier de tonnes. Guérigny est doté d'une première machine de cette force en 1867 pour le cintrage des plaques de blindage (fig. 43), et ses fabrications, tant de gros corroyage que de blindages, ont utilisé des presses jusqu'à la fin de son existence.

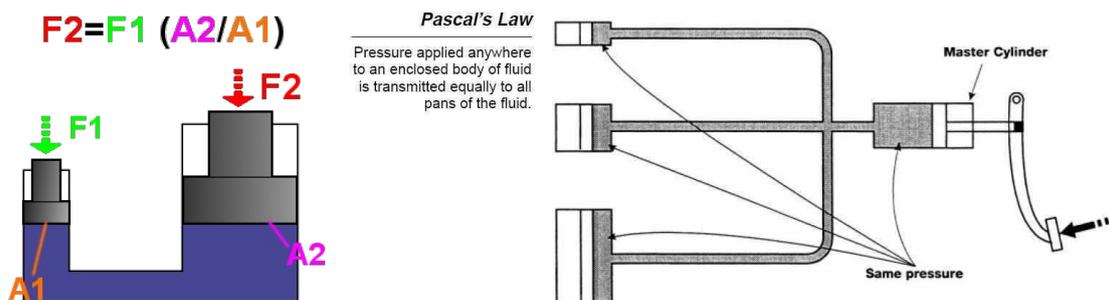


Fig. 14 : le principe de Pascal : la pression d'un fluide incompressible dans un réservoir fermé est constante.

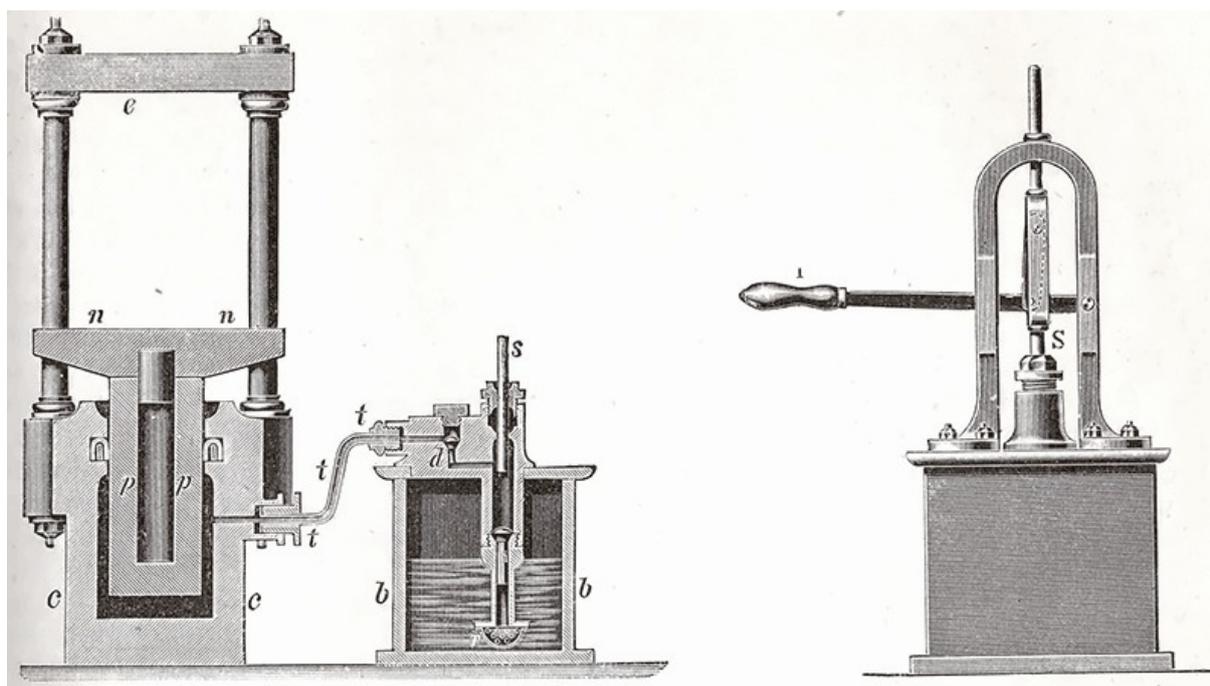


Fig. 15 : schéma de principe de la presse à bras de Bramah (p est le grand cylindre de pression, b le réservoir de liquide, n et e les surfaces de compression). Le levier sert de premier multiplicateur de force.

La presse est utilisée, ainsi que le marteau-pilon, comme outil de forge²⁷. L'un agit par chocs successifs, l'autre par compression sans choc. Cette différence essentielle peut déterminer le choix selon le travail à effectuer, ainsi que la place dont on dispose et les vibrations et ébranlements que les installations voisines peuvent supporter. Les presses servant au travail des métaux ne sont pas toutes des presses à forger : on peut citer les presses à découper, à emboutir, à estamper, à gabarier, à cisailer, à étirer, etc. Certaines presses sont

²⁷ Max de Nansouty, *Les merveilles de la science*, nouvelle édition, Paris, Boivin, t. VI, *Outillage mécanique*, 2^e partie, 1914, p. 158-174.

actionnées mécaniquement²⁸, la plupart hydrauliquement. Les laminoirs permettent d'obtenir des tôles et des profilés à la production desquels les deux autres outils sont inadaptés ou coûteux.

La presse se compose d'un cylindre et de son piston, d'un bâti et du système de distribution. Les pompes à eau alimentent directement la presse ou sont utilisées pour charger les accumulateurs hydrauliques indépendants. Le plus souvent le cylindre hydraulique est fixé à la traverse supérieure du bâti, et le piston effectue sa course active en descendant. La distribution consiste à découvrir ou à obturer les orifices par lesquels l'eau sous pression arrive dans le cylindre ou s'échappe après avoir effectué son travail. La pression peut atteindre 200 bar. La vitesse moyenne de travail est de 15 à 20 coups/ mn ; les plus petites presses fournissent jusqu'à 80 coups/mn. La fig. 16 fournit des informations supplémentaires²⁹. Le sommier A supporte la chabotte B et les quatre colonnes C reliées à un sommier supérieur fixe D qui lui-même supporte le ou les cylindres E et E'. Les pistons de ces cylindres releveurs lèvent la traverse mobile F qui porte le pot de presse G dans lequel se meut le piston frappeur H qui se termine par le marteau. Dans un premier temps, ce dernier est soulevé par les pistons des cylindres E et E'. Après un temps d'arrêt dans la position supérieure, la traverse mobile redescend sous l'action de la pesanteur, puis sous celle du piston comprimé par l'eau sous pression et agissant dans le pot de presse.

La presse de 2 000 t du Creusot, installée à la forge en 1889, se compose de quatre colonnes entretoisées par deux traverses. Le cylindre est fixé à la traverse supérieure, qui est mobile sur 2,15 m dans le sens vertical, afin de faire varier la masse active suivant les dimensions de la pièce. La traverse de la presse de 3 000 t, datant de 1895, est au contraire fixée aux colonnes (fig. 17)³⁰. La traverse inférieure est établie à 4,3 m de la masse, afin de forger des pièces de très grandes dimensions. De même l'écartement entre colonnes est de 4,25 m sur la longueur de l'outil et 1,7 m sur la largeur. Cette presse est munie d'un accumulateur à trois cylindres, qui permettent d'obtenir 1 200 ou 2 000 t. La charge de l'accumulateur est de 400 bar, pression qui est utilisée pour actionner la presse. Deux ponts de 100 t desservent spécialement l'engin ; leur course en longueur est de 25 m. Les déplacements verticaux de la pièce et son mouvement de rotation sur elle-même sont obtenus par une commande hydraulique.

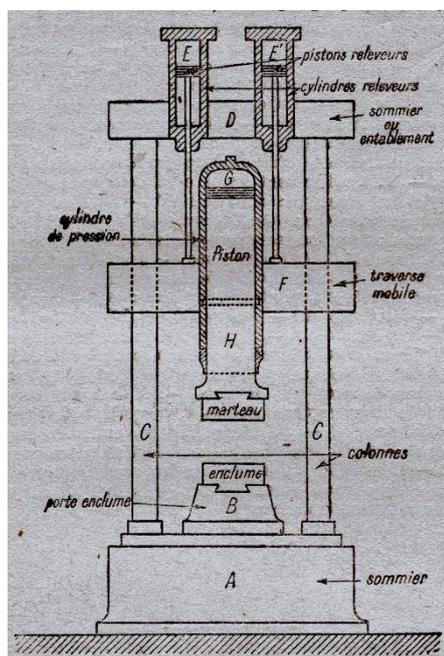


Fig 16 : croquis représentant une presse hydraulique

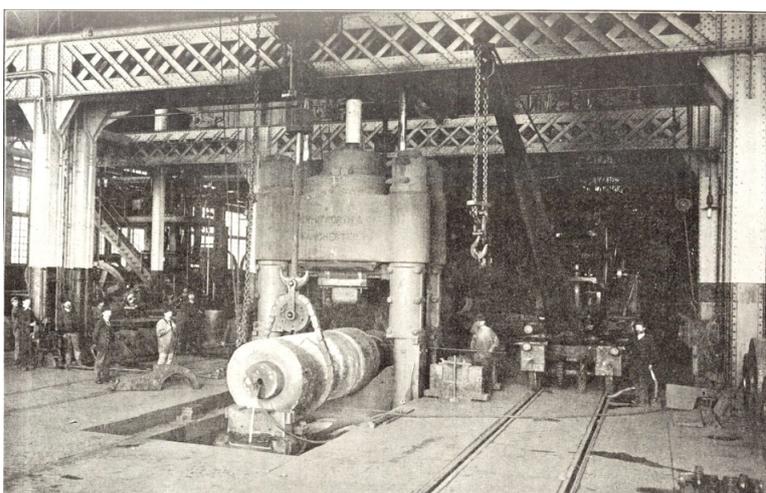


Fig 17a (à droite) vue de la presse à forger de 3000t du Creusot (1895)

28 La première presse mécanique est celle que Friedrich König (1774-1833) a inventée pour l'imprimerie (la « presse ») et qui a reçu ensuite d'autres applications, notamment en métallurgie.

29 V. Ranchoux, *Le Forgeron*, 4^e éd., Paris, Eyrolles, [1924], p. 184-185.

30 Le cylindre, de 0,985 m de diamètre, est associé à un piston de 1,1 m de course qui porte, à l'extrémité inférieure de sa tige, la masse qui presse sur la pièce à forger. Cette presse-ci n'a pas d'accumulateur : les pompes à refoulement envoient directement l'eau sous pression dans le cylindre. La pression ainsi donnée varie avec la résistance qu'offre la pièce que l'on travaille. Une fosse est établie sous la presse de 3 000 t afin de recevoir l'enclume et disposer les supports des mandrins qui sont utilisés pour forger des pièces creuses. Les deux presses sont desservies par deux fours à réchauffer.

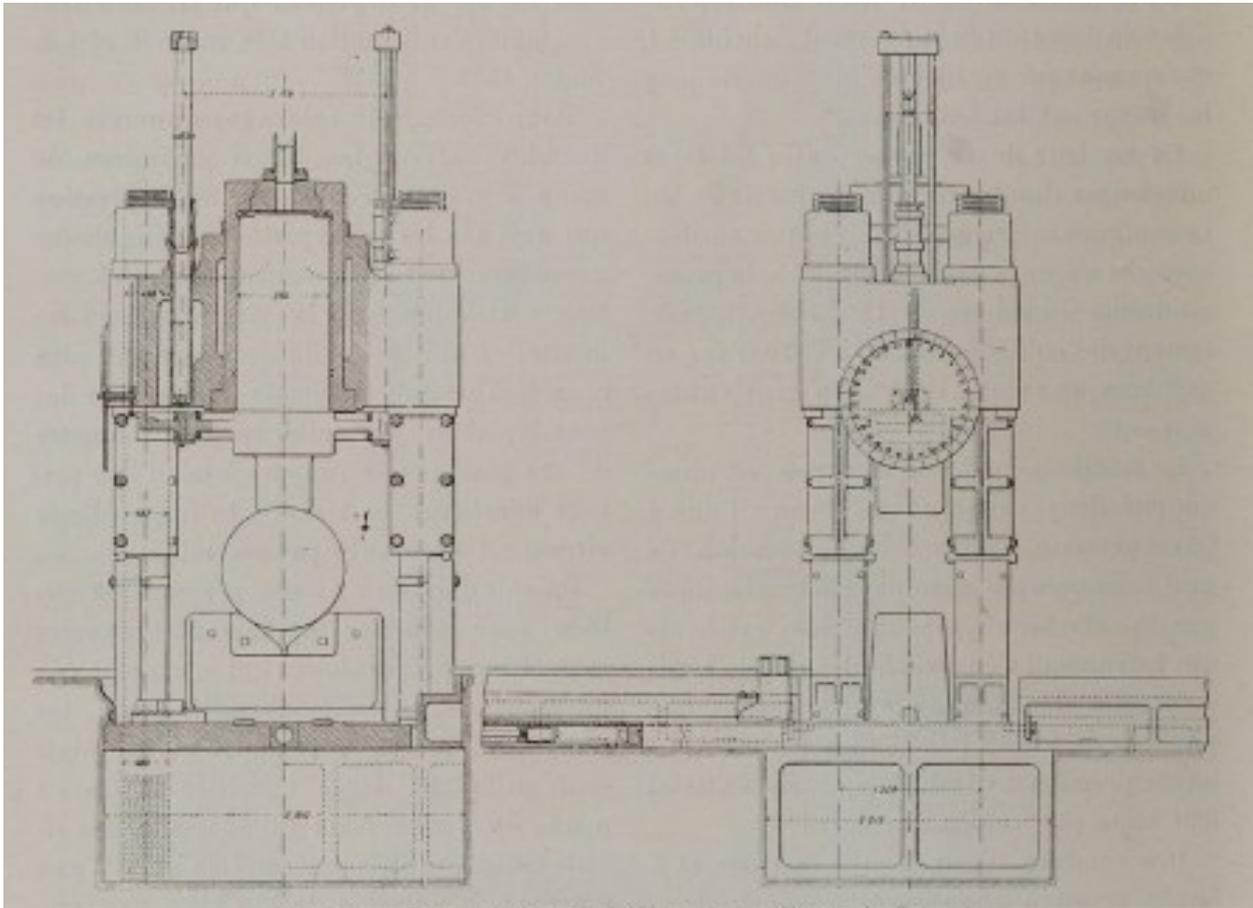


Fig.17b : élévation de la presse à forger de 3 000 t du Creusot.

1.6. Les laminoirs³¹.

Ce sont des machines anciennes qui produisent de la tôle, associées ou non à des *fenderies*, autre système de cylindres portant des couteaux circulaires pour le découpage de fers en barres. Elles occupent le devant de la scène depuis Cort : les laminoirs ont pris le plus souvent la place des marteaux pour les opérations suivant le cinglage des balles de fer puddlé, voire pour le cinglage lui-même.

Un train de laminoirs se compose de deux ou plusieurs jeux de cylindres et des organes nécessaires pour les mettre en mouvement³². Dans chaque jeu, il y a au moins deux cylindres superposés présentant des rainures ou cannelures rondes, carrées, plates ou profilées, selon la forme que l'on veut donner au fer. Ces cylindres ont leurs axes dans un même plan vertical et tournent en sens contraire. Les cylindres c c sont soutenus par deux cages a a en fonte renfermant des coussinets en bronze dans lesquels se meuvent les tourillons (fig. 18). Chaque cage est munie d'une vis de pression en fer c, à filets carrés, mobile dans un écrou de bronze et servant à maintenir les cylindres l'un sur l'autre, lorsque leur position a été convenablement réglée. Les cages de chaque jeu sont reliées par de forts boulons à clavettes b ; elles sont calées sur de grandes plaques de fonte m, elles-mêmes par des boulons o sur une charpente de fondation n.

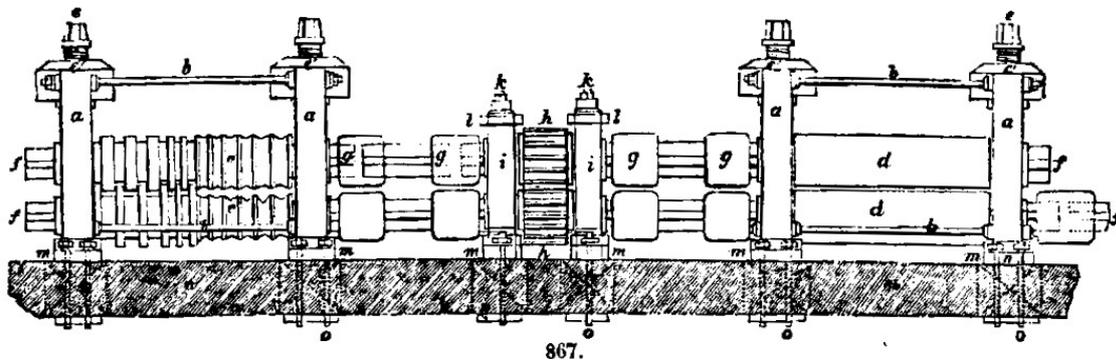


Fig. 18 : train de laminoirs à fers et à tôles (Laboulaye).

Dans un même train, les cylindres des jeux respectifs communiquent entre eux par des allonges en fonte, sous forme de trèfles comme les extrémités f des cylindres, sur lesquelles glissent des manchons g présentant un creux de même forme et dont l'épaisseur est réglée de manière qu'en cas de surcharge de la machine par l'effet des résistances à l'étirage, ils cassent avant toute autre pièce. On maintient l'écartement de deux manchons voisins au moyen de tringles en bois couchées dans les cannelures de l'allonge et liées avec une corde.

En tête de chaque jeu de cylindres se trouve un jeu de pignons h h, montés dans des cages i i de la même manière que les cylindres, et qui y sont maintenus par les vis à pression k k. Dans les jeux à deux cylindres, on communique toujours le mouvement au pignon inférieur. Pour pouvoir arrêter le train, on termine l'arbre de couche qui le conduit par un manchon fixe à griffes ; une allonge à tourillon soutenue par un palier porte à ses extrémités deux manchons mobiles, l'un à griffe s'embrayant avec le premier, l'autre qui saisit à la fois l'allonge et le trèfle du pignon conduit par l'arbre de couche. L'embrayage et le débrayage s'opèrent au moyen d'un levier à fourche qui passe dans une gorge pratiquée sur le manchon mobile à griffes.

Pour que le lamineur puisse facilement engager les barres dans les cannelures, on place du côté de l'entrée des cylindres et à peu près à la hauteur du fond des cannelures une plaque en tôle forte ou en fonte, le tablier. À la sortie des cylindres on dispose une autre plaque, la plaque de garde, afin de recevoir le fer et de l'empêcher de s'enrouler autour du cylindre inférieur. Dans le laminage ordinaire, un ouvrier reçoit la barre à sa sortie, à chaque passage, et la repasse par-dessus le cylindre supérieur au lamineur, qui l'engage dans la même cannelure ou dans la cannelure suivante. Il n'existe donc pas de dispositif de changement de marche à l'époque de la description (1845). Le train trio permet d'éviter le transbordement de la pièce ou la fait passer simplement à la sortie des deux cylindres supérieurs sur le cylindre inférieur, ce qui équivaut à un retournement. Les trains

31 D'après le *Dictionnaire des arts et manufactures* de Laboulaye, 1^{re} éd., 1845.

32 Cette sous-partie est empruntée au dictionnaire de Laboulaye (1845) et à Max de Nansouty, *op. cit.* (1914), p. 178-181.

duo sont équipés peu à peu d'un dispositif de changement de marche sur le moteur : ils sont dits trains réversibles. La masse croissante des pièces rendait ce progrès indispensable.

Le diamètre des cylindres ébaucheurs est de 0,40 à 0,50 m et leur vitesse de 30 à 40 tours/mn. Ordinairement le train comprend deux paires de cylindres ébaucheurs dont l'un, portant des cannelures ogives, sert à dégrossir le métal et l'autre, des cannelures plates pour la finition. Parfois la même paire présente les deux sortes de cannelures. Les laminoirs comportant des cylindres à cannelures avec lesquels on obtient des blooms, après cisailage des lingots, sont dits trains *blooming*. Les blooms sont l'équivalent des fers en barres ou marchands.

Les laminoirs portent des guides latéraux réglables qui servent à diriger les pièces selon l'axe de l'appareil. Dans les laminoirs dits universels, ces guides sont des cylindres verticaux placés à côté de chaque cage et qui peuvent être rapprochés ou éloignés pour suivre les différentes largeurs de la pièce. Des rouleaux actionnés mécaniquement aident au déplacement de la pièce jusqu'à la sortie du laminoir. Des grues ou des ponts apportent les pièces sortant du four à réchauffer et les déposent sur des appareils de relevage qui les laissent ensuite reposer sur des rouleaux transporteurs.

Le four à réverbère comporte des variantes pour le réchauffage des tôles³³. Laboulaye en présente une (fig. 20) où l'on reconnaît à droite le compartiment du combustible et, à gauche de la cloison de l'autel, la sole composée d'une couche de 15 cm de coke sur laquelle on répand 40 cm de débris de briques réfractaires. Un dispositif avec levier permet de tenir en équilibre la tôle dans la chambre. La flamme passe dans les carneaux a et b puis dans le rampant q ; une hotte c est placée au devant de la porte p et sert à entraîner la flamme et les étincelles qui peuvent s'échapper par celle-ci lorsqu'on l'ouvre.

Un train à tôles comprend ordinairement un jeu de cylindres dégrossisseurs, un jeu de cylindres finisseurs et un jeu de cylindres à corroyer. Les cylindres ont un diamètre de 0,40 à 0,50 m et leur longueur doit excéder de 10 à 15 cm la largeur de la tôle à fabriquer. Ils font de 25 à 40 tours/mn. Le cylindre supérieur s'écarte plus ou moins du cylindre inférieur suivant l'épaisseur du métal à obtenir : il faut donc serrer les vis de pression à chaque passage. Le métal, écroui par le passage au laminoir, gagne en homogénéité. Le frottement des cylindres sur la pièce, grâce auquel l'avance a lieu, doit être supérieur au travail nécessité par la compression du métal. Il faut donc diminuer progressivement l'écartement des cylindres et faire plusieurs passes, sans en faire d'inutiles qui augmenteraient le coût et la longueur du laminage.

On utilise, dans la fabrication des tôles fortes et moyennes (plus de 6 mm ou de 1,5 mm d'épaisseur), des fontes au coke puddlées : les balles sont cinglées au marteau puis formées en brames de 5 cm d'épaisseur au marteau puis passées aux cylindres à corroyer. On obtient des languettes de 0,25 x 0,25 m de section et 1,5 à 3 m de longueur, que l'on découpe en bidons de 0,70 m et réunit par quatre pour en former des paquets qui sont réchauffés et étirés de nouveau en languettes. Lorsque les tôles dépassent 200 kg, on découpe les languettes en bidons, dont la longueur est fonction du poids à obtenir et que l'on réunit par six ou par huit en paquets. On chauffe le paquet au blanc soudant, on le soude sous le marteau pour en faire des brames. On réchauffe ensuite ces brames et on les réduit en une seule chaude en une tôle de 10 à 12 mm. Pour obtenir des épaisseurs nettement inférieures, il faut réchauffer une ou plusieurs fois pour continuer le laminage.

Le déchet de ces tôles est de 30 % environ et la consommation de houille de 150 kg pour 100 kg de tôle ébarbée ; pour les tôles fines obtenues avec des fers au bois, le déchet est de 6 à 10 % et la consommation de houille, 50 kg de houille pour 100 kg de tôle ébarbée. L'ébarbage produit 15 à 20 % de rognures. On tire parti des déchets et rognures de fer en les passant au four à réchauffer puis au marteau et aux cylindres ébaucheurs. Ce fer recyclé donne, par corroyage, un fer de qualité supérieure, quoique variable selon l'origine.

Les cisailles droites mécaniques. Elles complètent obligatoirement une installation de laminage. C'est, rappelle Laboulaye, un outil qu'on emploie pour couper et diviser des barres et des feuilles de métal. Les cisailles droites se composent de deux lames droites fixées par un goujon et pouvant s'éloigner et se rapprocher l'une de l'autre en tournant autour de ce goujon. On les construit sur les dimensions des feuilles à découper. Contrairement aux autres outils à diviser, la cisaille ne sépare pas une pièce en deux, mais casse et arrache la matière. Les cisailles mécaniques sont équipées d'un volant et d'un pignon qui engrène sur une roue plus grande. Un excentrique ou une manivelle à bouton, placé sur ce second arbre, soulève un levier auquel le couteau est fixé quelquefois directement. D'autres fois, ce levier fait descendre un cylindre auquel est attaché le

³³ Les fours à réverbère sont étudiés au § 2.2. à propos du puddlage, quoi qu'ils aient eu d'abord et de longtemps d'autres usages.

couteau supérieur. La machine peut alors servir de poinçonneuse, en remplaçant les couteaux par un poinçon d'acier. La machine exposée par Calla en 1844 (fig. 21) permet de percer à froid des trous de 4 cm de diamètre dans des tôles de 2 cm d'épaisseur. Calla a prévu une cale mobile qui, en s'introduisant entre le porte-poinçon et l'appareil moteur, selon la volonté de l'ouvrier, permet de conserver constamment en mouvement tous les organes moteurs de la machine et notamment le volant, tandis que l'action du poinçon, suspendue ou rétablie, lui donne tout le temps nécessaire pour bien présenter la feuille de tôle sous le poinçon ou entre les lames de la cisaille.

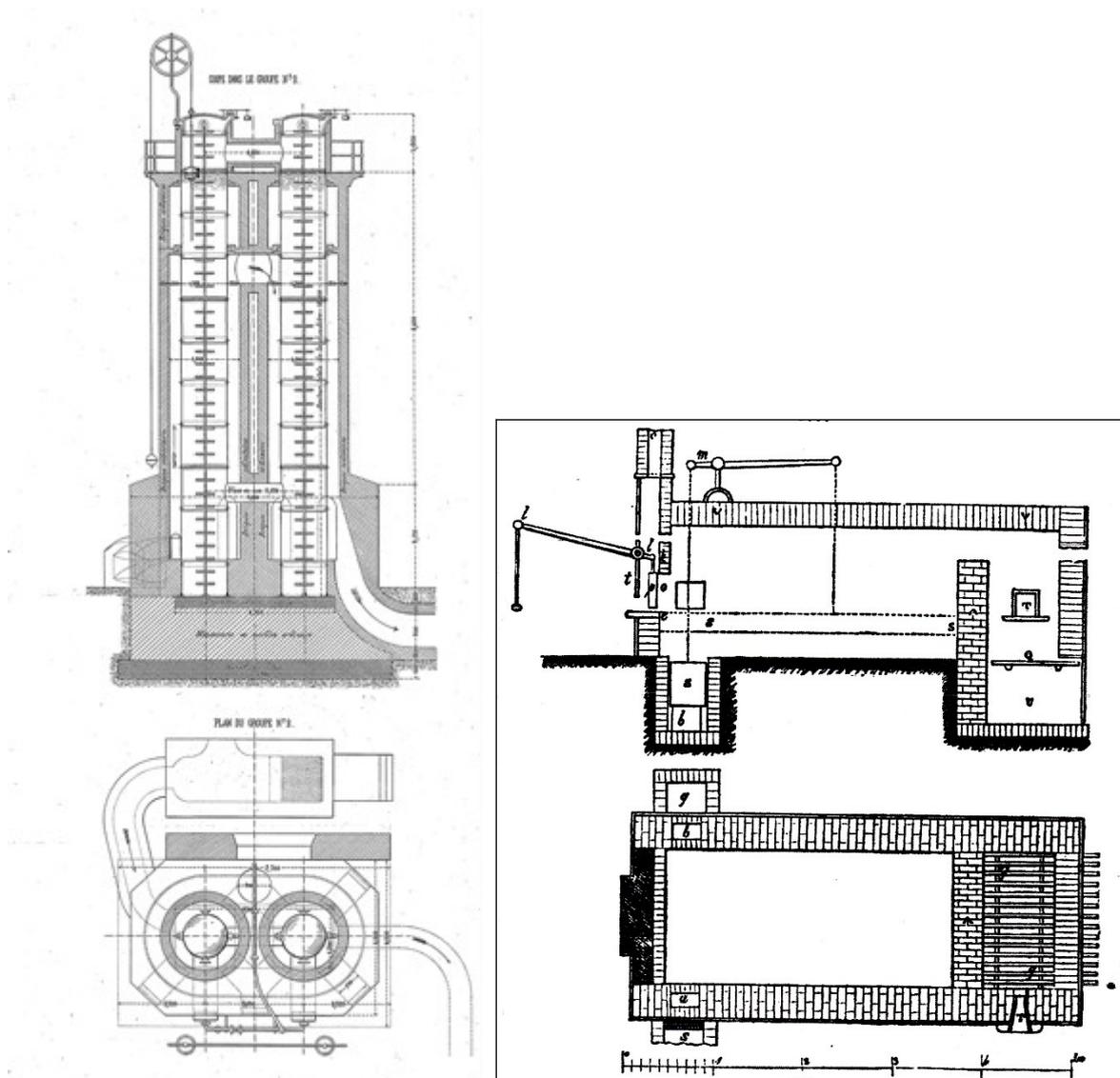


Fig. 19 : Groupe de deux chaudières verticales chauffées par les flammes perdues des fours à réchauffer en service à la tôlerie en 1867, en remplacement de chaudières horizontales. Les flammes lèchent les chaudières placées au centre des conduits. *Atlas du génie maritime*, © S.H.D.

Fig. 20 : Four à réverbère pour les tôles (Laboulaye). Le foyer est séparé de la sole.

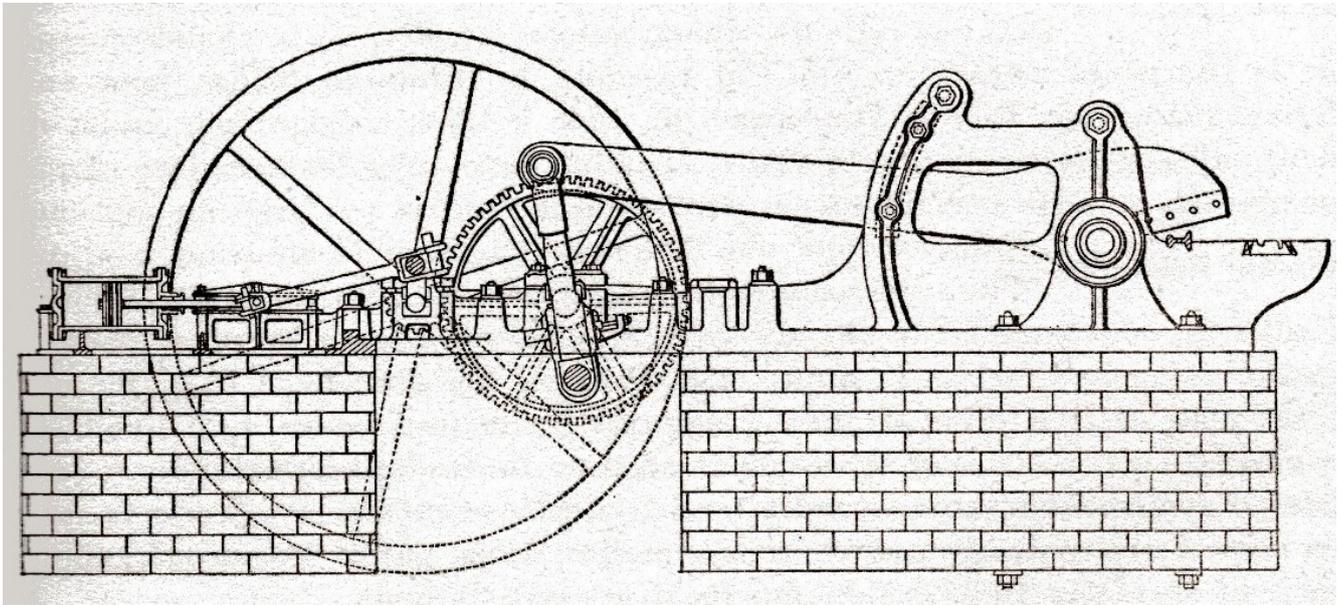


Fig. 21. Cisaille à levier pour percer et couper les tôles, présentée par Calla à l'exposition des produits de l'industrie nationale de 1844. Reproduit dans Maurice Daumas, *op. cit.*, tome III, p. 163. Même outil, d'après Turgan, *Les grandes usines*, t. 6, 1870, p. 48 (au Creusot).

L'ŒIL DU FORGERON.

Début du chapitre V, Pyrométrie, I. Appréciation à vue, du cours de métallurgie du Cours supérieur technique de l'artillerie, 1^{re} partie, par le chef d'escadron Happich, janvier 1922 :

« Le travail des métaux exige des températures élevées qu'il importe d'évaluer avec exactitude, surtout dans certaines opérations particulières comme la trempe des aciers. La température peut être évaluée à vue ou mesurée au moyen d'appareils.

Températures non lumineuses. Au-dessous de 500°, les corps solides n'émettent aucune radiation lumineuse ; toutefois la température peut être évaluée de façon très approximative par les procédés suivants :

a) Pour les métaux dérivés du fer, on examine la couleur prise par un morceau de métal poli, couleur due à la formation progressivement croissante d'oxyde :

Jaune paille ambré	245°
Gorge de pigeon	260°
Violet	225°
Jaune	280°
Bleu	300°
Vert d'eau	350°
Gris noir	400°

Il convient de remarquer que ces couleurs ne sont pas tout à fait indépendantes de la durée du chauffage.

b) Lorsqu'on frotte la surface d'un métal chaud avec un morceau de bois sec, on constate que, vers 350°, l'adhérence diminue brusquement, le bois glisse comme s'il avait été enduit de savon ; 350° est la température du bois glissant. Si la température est voisine de 400°, le bois commence à fumer : bois fumant ; vers 425° de petites étincelles apparaissent : bois étincelant ; vers 450°, le bois commence à brûler sans flammes : bois brûlant ; vers 500°, il s'enflamme : bois flambant. Ces procédés sont applicables à tous les métaux.

c) La température d'un corps peut être donnée par le contact d'un morceau d'étain (fusion à 230°), de plomb (fusion à 325°), de zinc (fusion à 415°) ou d'alliages de point de fusion connus.

Températures lumineuses. Au-dessus de 500°, les corps solides émettent des radiations, et la couleur perçue varie avec la température. Mais l'appréciation des couleurs est douteuse, elle dépend de l'éclaircissement de l'atelier et de l'œil de l'observateur. Il importe donc que l'éclaircissement de l'atelier soit toujours le même et que l'observateur étalonne fréquemment son œil au moyen d'un pyromètre précis ; un observateur peu exercé et non prévenu peut faire une erreur de 200°.

Le tableau ci-après donne les désignations usuelles des différentes températures évaluées à vue.

jaune paille	225°	bois flambant	500°	
fusion de l'étain	230°	rouge sombre naissant	550°	
jaune ambré	245°	rouge très sombre	600°	
gorge de pigeon	260°	rouge sombre	650°	
violet	280°	rouge sombre avancé	700°	
bleu	300°	rouge cerise naissant	800°	
fusion du plomb	325°	rouge cerise	900°	
vert d'eau, bois glissant	350°	rouge cerise très clair	1000°	
gris noir, bois fumant	400°	jaune (ou jaune orangé)	1100°	
fusion du zinc	415°	jaune très clair (jaune clair)	1200°	
bois étincelant	425°	blanc	1300°	bois brûlant 450°
blanc soudant	1400°			
(le fer pur fond à 1530°)		blanc éblouissant	1500°	

Montres fusibles. Pour les températures de 600° à 1800°, on emploie, surtout en céramique, des mélanges fusibles composés de silice, d'alumine et d'autres substances en proportions variables. En réglant les proportions de chaque substance, on peut réaliser de petits témoins en forme de pyramides que l'on place à l'intérieur du four et déterminer assez approximativement la température. Ces petits témoins s'appellent montres fusibles, l'intervalle de fusibilité des diverses montres est en général de 20°. On peut régler la température d'une enceinte de façon à ce qu'elle soit comprise entre les points de fusion de deux fusibles, et qu'elle soit par conséquent réglée à 20° près. »

Tableau n° 1 : Moyens de forgeage des forges de La Chaussade à la fin de 1855.

Usine	Atelier	Feux de forge et fours à réchauffer	Vent	Marteaux et martinets hydrauliques, marteaux-pilons
Guérigny	Grosse forge et affinerie	2 feux d'affinerie	1 soufflerie hydraulique (4 ch)	1 martinet cingleur hydraulique à soulèvement (12 ch) – 350 kg - 110 coups/ mn - levée 25 à 30 cm
	Atelier des câbles	8 feux de forge (4 feux doubles) 6 feux de petite forge 2 fours à réverbère (mailles de chaîne) 2 fours à réverbère pour le laminoir	N souffleries à bras (installation citée en 1867 d'un ventilateur mû par une machine à vapeur Flaud pour alimenter les feux de forge de l'atelier qui occupe trois bâtiments séparés)	
	Atelier de soudure	14 feux de moyenne forge	1 soufflerie à vapeur (5 ch)	
	Bâtiment du magasin (fonderie)	8 feux de petite forge		
Ville-menant	Forge n° 1 (bâtiment du pilon, puis des grandes forges)	2 fours à réverbère	1 soufflerie à vapeur (6 ch) pour ventilateur et chaudières	1 marteau-pilon (40 ch) – 3 500 kg – 30 coups/mn – hauteur de chute 1,50 m 1 marteau à soulèvement, à vapeur (20 ch) – 1 600 kg – 80 à 90 coups/ mn – levée 15 à 30 cm
	Forge n° 2 (grande forge)	1 four à réverbère 4 feux de forge 8 feux à bras 8 feux ordinaires	1 soufflerie à piston, hydraulique (roue Poncelet de 8 ch) et à vapeur (10 ch)	2 marteaux à soulèvement hydrauliques (2 roues, 35 ch) – 600 et 1 100 kg – 80 à 90 coups/mn – levée 15 à 30 cm
	Forge n° 3 (serrurerie)	13 feux de forge 1 four à réverbère		2 martinets à vapeur (8 ch)
	Forge n° 4	5 feux de forge doubles 2 feux de forge simples		2 martinets hydrauliques (8 ch)
	Clouterie provisoire	6 feux de cloutiers	(soufflerie à bras)	
	Ajustage	3 petits feux		
Marcy		2 feux principaux 2 feux accessoires	1 soufflerie à piston, hydraulique (4 ch)	1 martinet hydraulique (8 ch) – 250 à 300 kg – 100 coups/mn – levée 25 à 30 cm
Forgebas		4 feux principaux 2 ou 3 feux accessoires	1 soufflerie hydraulique à piston (6 ch)	2 marteaux hydrauliques (2 roues, 24 ch) – 400 à 500 kg – 80 à 90 coups/mn – levée 25 à 30 cm
Cosne	Forge n° 1	1 four à réverbère 4 feux principaux 2 feux accessoires	1 soufflerie hydraulique (8 ch)	2 marteaux hydrauliques (2 roues, 30 ch) -800 à 900 kg -80 coups/mn – levée 25 à 30 cm
	Forge n° 2	2 feux principaux 1 feu accessoire		1 marteau hydraulique (12 ch) – 500 à 600 kg – 80 coups/mn – levée 25 à 30 cm
	Forge n° 3	12 feux ordinaires		2 marteaux hydrauliques (2 roues, 16 ch) -250 et 300 kg – 110 à 120 coups/mn – levée 25 à 30 cm
	Serrurerie	3 feux de cloutiers		
	Clouterie	6 feux de cloutiers		
Le Greux	Forge n° 1	4 feux principaux 1 feu ordinaire	1 soufflerie hydraulique (8 ch)	2 marteaux hydrauliques (2 roues, 24 ch) – 500 à 600 kg - 80 coups/mn – levée 25 à 30 cm
	Forge n° 2	6 feux		2 martinets hydrauliques (roue de la soufflerie) - 250 à 300 kg – 110 coups/mn – levée 20 à 25 cm
	Forge n° 3	1 feu de cloutiers 6 petits feux		1 martinet hydraulique (4 ch) – 150 kg – 200 coups/mn – levée 15 à 20 cm
Demeurs		4 feux d'affinerie 2 feux de préparation	Soufflerie hydraulique (8 ch) et à vapeur (10 ch)	2 marteaux cingleurs hydrauliques (2 roues, 24 ch) – 500 à 600 kg – 80 coups/mn – levée 25 à 30 cm

				1 marteau-pilon (10 ch) – 1 000 kg – 30 coups /mn – hauteur de chute 1,5 m
Total ³⁴ fin 1855		9 fours à réverbère 146 feux dont 16 feux de cloutiers et 6 feux d'affinerie	10 souffleries (6 hydrauliques, 2 à vapeur et 2 mixtes) Nombreuses souffleries à bras	23 marteaux et martinets hydrauliques 2 marteaux-pilons

Autres outillages : 2 trains de laminoirs hydrauliques à fers et à clous, (35 ch). À la fonderie, 1 fourneau à manche de 3 500 kg et un ventilateur hydraulique.

Tableau n° 2 : Force motrice, principaux moyens de forge, outillages et appareils au 15 septembre 1878, d'après le rapport de Moras de 1878-1879, I, p. 59 et 106-107³⁵.

	Générateurs de vapeur		Machines motrices		Force hydraulique		Pilons	Marteaux et martinets hydrauliques	Grues	Fours à réverbère	Feux d'affinerie et fours à puddler	Autels de forge	Machines-outils
	Nombre	Chevaux aux chaudières	Nombre	Chevaux	Roues	Chevaux							
<i>Villemenant</i>													
Grandes forges	12	400	4	78	3	38	5	4	30	14	-	4	2
Tôlerie	17	490	5	535	-	-	4	-	2	8	13	2	6
Ajustage n° 1	5	125	5	100	-	-			1 pont	1	-	-	9
Ajustage n° 2	-	-	5	41	1	12	-	-	-	-	-	2	64
Chaudronnerie	10	180	1	10	-	-	-	-	-	-	-	2	8
Petites forges	-	-	4	46	-	-	7	-	15	4	-	28	-
<i>Guérigny</i>													
Câbles-chaînes et menuiserie clouterie	1	20	2	10	2	50	-	-	32	4	-	21	10
Fonderie	-	-	-	-	1	12	-	-	4	2	-	1	-
Ateliers accessoires	-	-	-	-	1	5	-	-	1	-	-	-	10
<i>Forgebas (arrêté)</i>	-	-	-	-	3	28	-	2	5	-	-	6	-
<i>Demeurs (arrêté)</i>	3	40	1	10	3	50	1	2	4	-	4	1	2
Total des installations fixes	48	1 255	27	830	14	195	17	8	94	33	17	67	111
Total des installations mobiles	13	164	11	104	1	5							
Total vapeur	61	1 419	38	934	-	-							
Total hydraulique	-	-	-	-	15	200							

34 Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 194-196.

35 *Ibid.*, p. 604.

Tableau n° 3 : Production annuelle des forges de la Chaussade (1850-1889).

La première période comprend la production exportée et la production pour l'établissement, au moins de 1855 à 1858 ; la production possible avec les moyens matériels de 1851 ; à partir de 1858 (deuxième partie du tableau), il s'agit seulement de la production exportée³⁶. Les productions étant très disparates, les tonnages ne sauraient remplacer une bonne comptabilité.

	Ancres et grappins	Câbles-chaînes et accessoires	Aciers	Tôles	Fers	Clouterie en fer et rivets	Mouleries	Objets en fer préparés	Objets divers	Total
1850	351	661	-	-	-		358			1 370
1851	354	703	-	-	-		346			1 403
1852	161	791	-	-	958		271			2 181
1853	155	436	-	-	927		467			1 985
1854	194	844	-	-	1 106		719			2 862
1855	326	1 980	10	-	1 474	455	465	232	285	5 228
1856	366	1 682	22	-	2 050	356	161	628	582	5 847
1857	328	1 367	21	-	2 545	333	106	632	471	5 800
1858	293	1 101	14	593	2 262	295	624	237	289	5 708

	Fabrications exécutées pour les ports et pour Indret en 1851	Production possible pour les ports et pour Indret avec les moyens de 1851	Production possible pour les forges de La Chaussade, <i>idem</i>
fers martelés	-	100	1 100
fers martelés corroyés	131	200	-
fers laminés	-	300	200
travaux de grosse forge*	142	300	-
travaux de moyenne forge*	120	250	-
travaux de petite forge*	84	300	-
chaînes et leurs accessoires	698	1 500	-
clouterie (grande et moyenne)	182	400	-
Total	1 357	3 350	1 300

* dont 231 t d'ancres.

	1857	1858	1859	1860	1861	1862	1863	1864	1865	1866	1867
Tôles		593		1 447			1 506	1 249	1 253	1 151	783
Fers bruts, laminés et corroyés divers				833			131	106	173	391	397
Objets de gros corroyage										150	152
Blindages (au pilon ou laminés)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	150	489
Objets de moyenne ou petite forge				208			587	437	428		274
Clous, écrous, boulons											179
Rivets				495							181
Chaînes et accessoires*				971							423
Total	2 545	2 911	3 724	3 954							2 878

* sans les cessions.

	1868	1869	1870	1871	1872	1873	1874	1875	1876	1877	1878
Tôles	1 114	1 092			567	790	1 059	871	520	518	
Fers bruts, laminés et corroyés divers	314	68			77	49	179	126	74	52	
Objets de gros corroyage	153	51			16	34	71	50	56	128	

36 Bernard Lutun, *op. cit.*, tableaux des pages 155, 244, 246, 617, 753 et 757. Le *Compte du matériel de la Marine* donne les productions pendant les premières années à partir de sa création en 1830. Nous ne les avons pas transcrites, préférant donner les chiffres du *Compte définitif* de 1850 à 1858. Les sources consultées donnent des valeurs différentes de 1885 à 1889. Nous avons négligé le tableau de la page 757, nous l'utilisons cette fois. Les documents sur la période 1890-1914, plus nombreux dans les archives, permettraient de redresser ces chiffres et donneraient bien des détails qui étaient hors de portée à l'époque de la rédaction de notre mémoire de maîtrise, étant donné le temps à passer à retrouver, à regrouper logiquement et à analyser des documents épars et conservés à la direction du Matériel, et non pas issus des archives de l'établissement qui n'existent plus.

Blindages (au pilon ou laminés)	613	609			470	283	349	758	757	534	
Objets de moyenne ou petite forge	251	225			103	208	61	114	132	191	
Clous, écrous, boulons	215	129			92	109	87	126	154	123	
Rivets	123	253			176	337	414	271	218	217	
Chaînes et accessoires	356	351			240	197	167	173	222	193	
Total	3 139	2 778			1 741	2 007	2 387	2 489	2 133	1 956	

	1879	1880	1881	1882	1883	1884	1885	1886	1887	1888	1889
Tôles	349	551	357	352	225						
Fers bruts, laminés et corroyés divers	233	254	259	213	366		875	756	586	589	364
Blindages (plaques de pont)	-	149	445	559	498		163	502	948	635	638
Objets de gros corroyage							70	92	87	98	35
Objets de moyenne ou petite forge	595	621	638	817	1 001		395	361	257	279	335
Clous, écrous, boulons							432	28	24	31	246
Rivets								3	2	2	
Chaînes et accessoires	220	256	212	281	412		378	366	429	477	354
Objets ouvragés en tôlerie							118	82	66	44	43
Total	1 397	1 831	1 921	2 222	2 502	2 198	2 431	2 442	2 615	2 434	2 015

Tableau 4 : établissements produisant de la fonte, du fer, de l'acier en France, en 1843.
Statistique de l'administration reproduite dans le dictionnaire de Laboulaye, éd. de 1845, article Fer.

	installations actives	installations inactives	total
<i>Fabrication de la fonte et du fer</i>			
Hauts fourneaux	471	126	597
Forges catalanes et corses pour la fabrication directe du fer	107	28	135
Foyers de mazéage au charbon de bois	12	7	19
Fineries au coke	15	3	18
Feux d'affinerie au charbon de bois	815	313	1 128
Fours à puddler	352	92	444
Foyers de chaufferie	74	50	124
Fours à réverbère de chaufferie	166	32	198
<i>Fabrication du petit fer</i>			
Foyer de chaufferie	175	61	236
Fours à réverbère de chaufferie	152	52	204
<i>Fabrication de la fonte moulée de deuxième fusion</i>			
Cubilots	416	55	471
Fours à réverbère	63	12	75
<i>Fabrication de l'acier de forge</i>			
Foyers de mazerie	21	-	21
Feux d'affinerie	62	9	71
<i>Fabrication de l'acier de cémentation</i>			
Fours de cémentation	36	18	54
<i>Fabrication de l'acier fondu</i>			
Fours de fusion	122	1	123
<i>Étirage de l'acier</i>			
Foyers de chaufferie	49	4	53
Fours de chaufferie	98	8	106

2. Les fabrications traditionnelles des forges de La Chaussade.

2.1. L'affinage des fontes au bois.

La fonte au bois. La perte des hauts fourneaux semble davantage préoccuper les contrôleurs résidents, qui sont des administratifs, que les ingénieurs de La Chaussade. La capacité des deux hauts fourneaux des forges est donnée pour 900 t en 1801, elle ne suffit pas aux besoins³⁷. L'inspecteur général Boucher (1778-1851), lors de son passage en 1839, avait préconisé la vente du deuxième haut fourneau légué par Babaud, celui de Chantemerle, parce que le risque d'entente des fournisseurs de la contrée lui paraissait chimérique³⁸. Au contraire, un acquéreur avisé remettrait l'installation en état et l'améliorerait ; il pourrait entrer en concurrence avec les exploitants établis du voisinage, et l'État tirer bon prix de la vente. Pourtant John Wilkinson (1728-1808) a construit ou remis en état des hauts fourneaux dans toutes ses usines à fer, et les compagnies du bassin houiller principal du Shropshire en ont fait autant. D'un autre côté le Berry et le Nivernais ont longtemps produit des fontes et des fers au bois réputés. La situation se serait dégradée, si l'on fait la part des préjugés des fonctionnaires des forges et de la rue Royale.

Dans le Berry et le Nivernais, les mines de fer affleurent ou sont facilement accessibles. Les minerais ont contenu jusque 50 % de peroxyde de fer et 30 % d'argile. Ils ne fondent que s'ils sont additionnés de chaux (castine). On ne « rôtit » pas ce minerai sulfureux, on le lave pour en retirer la terre avant de le jeter dans le haut fourneau³⁹. Le minerai exploité est à quelques kilomètres des deux hauts fourneaux de La Vache et de Chantemerle. Il est plus ou moins riche, plus ou moins fusible, plus ou moins réfractaire. On pratique des mélanges, et le minerai prêt pour le fourneau contient de 25 à 30 % d'un fer pur et moins doux que le fer de Berry, mais plus tenace et meilleur pour la fabrication des ancrés. Le charbon de bois est employé à titre de combustible unique pour la fusion et l'affinage, mais les forges aux ancrés, la fonderie, les feux de clouterie, la taillanderie, la serrurerie et les martinets sont chauffés presque uniquement à la houille.

Il faudrait construire un nouveau haut fourneau et constituer un stock de pré-voyance, comme à Nevers ou à Ruelle, écrit l'inspecteur-adjoint Jean-Baptiste Coqueval (1795-/1860) en 1855⁴⁰. On serait assuré de la qualité de cette fourniture essentielle et l'on ouvrirait une concurrence utile avec les maîtres de forges. Le premier argument nous paraît décisif, tant que les ressources minérales du Berry et du Nivernais permettent d'atteindre ce but. Le taux de rebut est en effet considérable : 30% des 17 100 t présentées en recette de 1858 à 1860. Les forges se fournissent chez leurs voisins, et surtout chez Boigues, Rambourg et C^{ie} pour près des trois quarts de ce total. Sept autres fournisseurs se partagent le reste de la fourniture, et cinq des seize hauts fourneaux font plus de rebuts que de bonne fonte. En 1859, les huit nouveaux feux d'affinerie installés à la tôlerie de Villemenant sont en activité, et le stock de fontes d'affinage n'est que de 382 t au 1^{er} janvier suivant, soit moins d'un mois de consommation des 14 feux de l'établissement ! Quatre ans plus tard, celui-ci traite avec cinq fournisseurs de fonte, dont deux nouveaux de la Basse-Indre. On ne fait plus désormais livrer que les prélèvements, de manière à éviter le double transport des rebuts : c'est le signe de problèmes récurrents de qualité.

Les exigences des cahiers des charges peuvent être la source de difficultés inutiles. Ainsi certaines fontes rebutées sont-elles supérieures à celles qui servent à la fabrication d'appareils à vapeur livrés à la Marine par l'industrie. La qualité de la fonte est jugée par l'affinage de barres extraites de chaque lot de fonte. À froid, les barres de fer doivent supporter quatre volées de vingt coups chacune d'un marteau de 8 kg manœuvré par un homme vigoureux. Au besoin, on teste la résistance à la traction au moyen de la presse des câbles-chaînes. À chaud, les barres sont percées, repliées sur elles-mêmes et doivent se prêter aux pliages les plus compliqués sans se déchirer. Comme la qualité de l'affinage est variable, les essais de réception pratiqués de cette manière

37 « Tableau des fabrications [...] du département de la Nièvre », en février 1798, par Ange-Laurent Dufaud, *Marteau-Pilon*, tome I, 1989, p. 74-80. La production possible de fonte du département est donnée pour 10 000 t, puis 8 000 t dans l'état de l'an IX donné à la suite, p. 81-85.

38 Jean-André Berthiau, *Les Forges de la Chaussade à Guérigny, un établissement de la marine militaire au cœur de la France*, Camosine, Nevers, 2009, p. 4 et 28-29.

39 « Mémoire sur les forges et fourneaux du Berry et du Nivernais (1769) », par d'Angenoust et de Wendel, *Marteau-Pilon*, tome V, 1993, p. 19-26.

40 Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 294-300, pour ce développement.

sont sujets à caution. Le directeur des forges déclare devant la commission extra-parlementaire de 1894 que c'est toujours au vu de prélèvements du fer issu de la fonte que l'on juge celle-ci, du moins la fonte à fer à câbles⁴¹.

Avec le temps, la production de fonte au bois se fait plus rare, même dans la région, et Guérigny s'intéresse enfin à la fonte au coke, lançant une adjudication pour 300 t en 1865, au prix de 136 F la tonne au lieu de 200. L'établissement a cherché des fontes au bois dans toute la France, et même en Espagne. Celles du Berry et de la Nièvre sont désormais trop mélangées de minerais d'Afrique, des Pyrénées et d'Espagne, si bien qu'on ne les juge propres qu'aux blindages. En 1860, la France a produit 582 000 t de fonte au coke (64 %) et 316 000 t de fonte au bois (36 %) ; 436 000 t de fer à la houille (81 %) et 96 000 t de fonte au bois (19 %). Le renversement de tendance date de 1853 dans le cas de la fonte et de 1837 dans le cas du fer⁴². La fonte au bois ne compte plus que pour 1,3 % des 1 516 600 t de la production de 1886 et 0,7 % des 2 840 500 t de celle de 1903. La Guerre et la Marine la recherchent encore⁴³. Le prix élevé de la fonte au bois conduit enfin Guérigny à *affiner en grand la fonte au coke*, à partir de 1890, après les essais pratiqués sous le Second Empire.

L'affinage. Il consiste à séparer, dans les gueuses de fonte, le fer du carbone et des autres éléments étrangers (phosphore, soufre, silicium) avec lesquels il s'est combiné dans le haut fourneau⁴⁴. Il a lieu dans des creusets faits de plaques de fonte dits feux d'affinerie, sous l'influence d'un courant d'air forcé et de la haute température obtenue par la combustion du charbon de bois. Cette combustion a lieu en présence d'une matière qui absorbe le carbone, le plus souvent des *scories* qui ont servi à la désoxydation du minerai. Tous les fers issus de l'affinage, sauf les grandes tôles et les fers de fenderie, sont produits au marteau. Ce mode ancien est connu sous le nom générique de *méthode allemande*. La fabrication de la fonte au coke, puis l'affinage à la houille dit puddlage et l'emploi de laminoirs à la place des marteaux constituent la *méthode anglaise*, qui progresse en France et y donne naissance à deux procédés mixtes : le premier combine l'affinage à la houille et l'étirage au marteau ; le second conserve l'affinage au bois et utilise le laminoir avec réchauffage à la houille. Nous parlerons ici de l'affinage au bois, seul pratiqué à Guérigny jusqu'en 1871, et du puddlage dans le paragraphe suivant. L'établissement de la Marine a été conduit, avant cette date, à utiliser le second procédé mixte dont il vient d'être question.

Aujourd'hui, on distingue les fontes selon leur usage, en fontes d'affinage et fontes de moulage ou de 2^e fusion. Leur composition chimique limite leur emploi, et l'on sait régler la marche du haut fourneau pour obtenir telle ou telle qualité de fonte. Cette distinction remplace celle qui découlait de l'aspect des cassures (fontes blanches, grises, truitées). On professait du reste des théories approximatives sur la composition de la fonte : ainsi Monge (1746-1818) déclarait-il que « la fonte est blanche quand elle n'est composée que de fer et d'oxygène et, dans cet état, elle est particulièrement propre à être transformée en fer forgé ; elle peut en outre contenir du charbon et alors elle est plus ou moins grise »⁴⁵. On disait avec plus de précision que la fonte blanche présentait une cassure à nerf et la fonte grise une cassure à grains. Les fontes ayant ces deux apparences étaient dites truitées. On admettait que la fonte grise contenait la plus grande partie de son carbone à l'état de graphite ou de mélange (et non combinée avec la masse du fer comme dans la fonte blanche) et que, dans une même pièce, les parties exposées à un refroidissement subit pouvaient être blanches, alors que les autres étaient grises.

La méthode nivernaise, appliquée à des fontes grises du Berry et du Nivernais, comprend une opération préparatoire, le mazéage, dans un feu séparé ou ici dans le feu d'affinerie même⁴⁶. Elle est longtemps d'emploi

41 *Ibid.*, p. 445, note 47.

42 Bertrand Gille, *La sidérurgie française au XIX^e siècle*, Genève, Droz, 1968, p. 233-234.

43 Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 446, note 56.

44 Eugène Flachet, Alexis Barrault et Jules Petiet, *Traité de la fabrication de la fonte et du fer*, 3 vol. et 1 atlas, Paris, L. Mathias, 1842-1846, p. 413-415 et 460, pour ce paragraphe.

45 Pierre Conturie, *Histoire de la fonderie de Ruelle (1750-1940) et des anciennes fonderies de canons de fer de la Marine*, 2 vol., 1951-1952, I. N., p. 107-108, pour ce développement.

46 Les auteurs du traité précité, p. 464-465, font remarquer que le mazéage entraîne un doublement de la consommation de charbon par rapport à la méthode comtoise (16,8 m³ par tonne de fer au lieu de 7) et jugent qu'il n'est intéressant qu'avec l'emploi d'un combustible moins cher ou des flammes perdues des feux d'affinerie, ce qui est le cas dans la nouvelle installation de Demeurs, puis celle de Villemenant.

Mémoire manuscrit de Désiré Baudin établi à la suite de son séjour à Guérigny, reproduit dans *Marteau-Pilon*, tome II, 1990, p. 101-115 et mémoire d'Angenoust et de Wendel de 1769 précité.

courant dans la fabrication des petits fers, alors que les « gros » fers marchands sont produits selon la méthode comtoise dans les *grosses forges*⁴⁷. Là on préfère les fontes blanches, ici les fontes grises ; le mazéage a pour but de transformer les fontes grises en fontes blanches, plus faciles à affiner, par l'oxydation du silicium dont le minerai est riche.

En 1801, l'on recensait dans le département de la Nièvre 17 grosses forges pour 2 600 t de gros fers et 99 petites forges pour 4 300 t de petits fers, ce qui est bien peu⁴⁸. La plupart des établissements ont été arrêtés pendant la Révolution par suite du manque d'entretien des ouvrages hydrauliques, des réquisitions, etc. Les ressources en gros fers des forges de La Chaussade s'élèvent alors à 450 t par an dans les trois affineries de Guérigny, Demeurs et Vingeux. Les onze petites forges ont une capacité de 1 220 t de fer affiné et il y en a presque partout, même à Villemenant et à Cosne. La capacité totale dépasse donc 2 000 t. Trente ans plus tard, la situation a complètement changé. On se propose, écrit Baudin, d'abandonner complètement le mazéage parce qu'il est onéreux⁴⁹. Du reste, en 1831, il n'est plus pratiqué que dans l'une des petites forges qui sont à la veille d'être aliénées. Lors de l'inspection de 1839, l'établissement dispose de 2 feux d'affinerie dans les grosses forges de Guérigny, 3 feux à Demeurs et 2 à Vingeux, où l'on observe la méthode comtoise. La reconstruction de l'atelier de Demeurs laisse place à quatre feux dans une installation plus moderne (avec récupération de la chaleur des gaz brûlés notamment) et permet de supprimer les feux de Vingeux. Il reste alors deux feux d'affinerie à Guérigny et quatre à Demeurs jusqu'en 1869.

Nous décrivons ici la méthode comtoise, suivie aux forges de La Chaussade et la plus répandue en France à l'époque étudiée⁵⁰, en suivant le rapport de l'élève-ingénieur des Mines Baudin (1809-1870) rédigé à la suite de sa visite de 1831 et surtout le dictionnaire de Laboulaye de 1845, qui s'inspire beaucoup des *Annales des Mines* ; nous ferons allusion au rapport d'un élève externe des Mines, Léon Gouin (1829-1888) dont les descriptions de l'affinage et du puddlage à Fourchambault en 1851 sont différentes. On remarquera en passant que, dans cette grande forge à l'anglaise, il y avait place pour des feux d'affinerie.

47 On distingue les *grosses forges* où l'on fabrique le fer ou l'acier en barres comme demi-produits pour les usines à fer ou comme fers marchands, des *grandes forges* qui produisent au marteau et par corroyage des pièces ouvragées d'assez grandes dimensions, et des *forges maréchales* où l'on fabrique, à la main et avec des petits fers marchands, tous les objets de fer et d'acier d'usage courant qui ne nécessitent pas l'usage du marteau ou du martinet.

48 « État donné par Gillet en l'an IX », *Marteau-Pilon*, tome I, 1989, p. 81-85, pour ce développement.

49 Le mazéage, répandu dans d'autres contrées, a perdu de son importance lorsque le puddlage, en devenant le procédé commun, a entraîné la production de la seule fonte blanche dans les hauts fourneaux, chaque fois que le minerai le permettait. Il est vrai qu'au début la fonte devait être mazée avant d'être puddlée. Le procédé Bessemer, exigeant des fontes riches en silicium, a éliminé mazéage et puddlage.

50 D'après l'enquête de 1836, elle est suivie dans 725 feux sur 1958, Christian Sütterlin, *op. cit.*, p. 46.

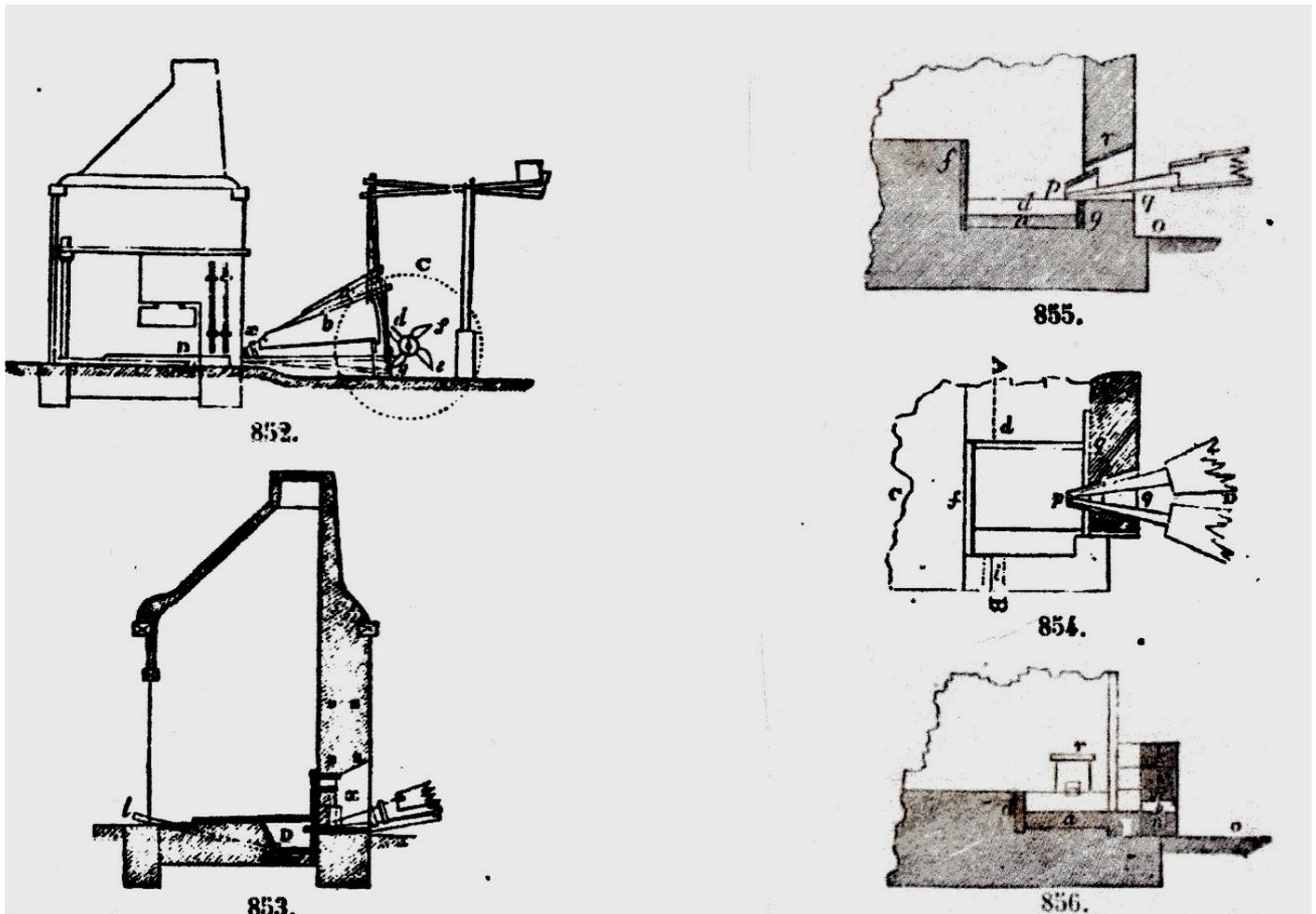


Fig. 22 : Feu d'affinerie (Laboulaye). Le côté de chîo, ouvert, est celui de l'ouvrier, qui voit la rustine d au fond du creuset, lequel n'est pas grand (0,84 x 0,56 m dans les deux feux de Guérigny).

L'affinage au charbon de bois selon la méthode comtoise se fait dans un bas foyer à tuyère. Le réchauffage du fer pour l'étirage a lieu ensuite dans le même foyer. On voit sur la fig. 22 que le feu est compris dans une hotte fermée par deux murs et ouverte sur les deux autres côtés. Le creuset est marqué en D, la tuyère en x avec ses soufflets. Ceux-ci traversent le mur principal. La vue en plan 854 permet de distinguer, outre la sole en fonte a qui est horizontale, les quatre plaques latérales du creuset : q, warme, percée pour laisser passer la tuyère, f, contrevent, d, plaque de derrière ou rustine, enfin la plaque de devant ou chîo, percée de deux trous pour l'écoulement des scories i. Ces plaques ou taques ont 6 cm d'épaisseur, sauf le chîo qui en a 3. Le fond ou sole doit être changé tous les 8 ou 15 jours. La longueur et la largeur du creuset varient, sans conséquence sur le travail. En revanche l'inclinaison que l'on peut donner à plusieurs taques, l'inclinaison de la tuyère et la profondeur du feu sous l'œil de la tuyère sont importantes, suivant la fonte à traiter. Une inclinaison de 7 à 8° sur l'horizontale produit la plus haute température dans la région supérieure du foyer où se trouve la gueuse de fonte et convient par conséquent aux fontes grises ou noires qui fondent difficilement mais qui, une fois fondues, demeurent très liquides, afin que le métal puisse fondre et tomber goutte à goutte dans le bain de scories, ce qui favorise beaucoup sa décarburation. On donne à la tuyère une légère saillie sur la warme afin de rapprocher ou d'éloigner le maximum de température de la partie du creuset où se trouve la gueuse, suivant que la fonte est plus ou moins difficile à affiner. Nous avons résumé en un tableau les quelques données chiffrées relatives aux feux comtois tels que Laboulaye les décrit et celles que Baudin fournit dans son rapport.

Feu d'affinage comtois à une tuyère	en moyenne (Laboulaye, 1845)	à Guérigny (Baudin, 1831)
Longueur intérieure du creuset (prise au chîo)	0,73 m	0,84 m
Largeur intérieure du creuset	0,51 m	0,56 m

Profondeur en-dessous de l'œil de la tuyère	0,21 m	0,19 m
Avancement de la tuyère dans le feu	0,067 m	?
Angle de la tuyère sur l'horizontale	7°15'	?
Pression moyenne d'air aux buses	46 mbar	?
Volume d'air moyen par minute	4 l	3 l
Durée de l'affinage	2 h 15	1 h 30 à 2 h
Quantité de fonte consommée	88 kg	80 kg
Quantité de charbon de bois consommée	0,455 m ³	0,627 m ³
Poids moyen du fer forgé obtenu	65 kg	57 kg
Rendement	74 %	71 %

Un feu comtois est servi par deux forgerons et un goujat. Un manoeuvre apporte le charbon. Les deux forgerons de service font tour à tour une loupe et chacun forge le fer qu'il a obtenu. L'équipe est relevée après l'affinage de quatre loupes, qui dure environ 8 heures. Laboulaye distingue cinq phases dans le travail d'affinage. La soufflerie des feux de Guérgny comprend deux caissons cylindriques en fonte avec pistons en bois. La roue porte 4 cames, deux pour chaque piston, qui soulèvent les tiges des pistons verticalement et par-dessous. Elle délivre 360 l d'air par minute en tout.

1. Le chargement. Dès que la dernière loupe est sortie du feu, on y place une gueuse perpendiculairement à la tuyère. Il doit y avoir un espace de 3 à 4 cm entre la gueuse et le contrevent, pour que le vent puisse agir au mieux sur la fonte tout en s'élevant dans le dessus du feu ; il faut en outre que le dessous de la gueuse se trouve à 10 ou 12 cm au-dessus de la nappe formée par le vent et que son extrémité soit éloignée au moins de 0,30 m de la face du chio. Dans cette position, la fonte fond goutte à goutte, ce qui est nécessaire pour le succès de l'opération.

La gueuse convenablement placée, on met par-dessus, du côté du contrevent, des scories riches de l'opération précédente mélangées de battitures⁵¹. On remplit le foyer de charbon de bois, on le couvre d'une ou deux pelletées d'embrecelat (autres scories riches), puis on donne le vent. Les scories riches, qui fondent rapidement, sont destinées à former le lit de sornes sur lequel la matière ferreuse provenant de la fusion de la gueuse doit reposer pendant toute la durée de cette partie de l'opération, ainsi que le bain de scories pauvres qui doit la recouvrir pour la protéger de l'action directe du vent. On règle la quantité de ces additions de manière à ne conserver que la portion de scories riches nécessaire pour l'affinage car un feu comtois qui marche bien consomme toutes les scories riches qu'il produit.

Les descriptions de Laboulaye et de Baudin sont équivoques : la gueuse est-elle mise immédiatement au feu, ou bien, ainsi que Gouin l'indique clairement, à 50 cm au-dessus du contrevent, qui est la plaque la plus haute, là où l'on a ménagé dans les sept feux d'affinerie de Fourchambault un compartiment dans lequel on place cette fonte à réchauffer avant de la mettre au feu ? La réponse est donnée par Gouin, parce que le creuset est trop petit. Les gueuses livrées par les hauts fourneaux ont 80 cm de long et 5 cm² de section, si bien qu'elles dépassent la longueur de la sole : on les brise en morceaux de 25 cm environ. Les feux de Fourchambault sont d'ailleurs fermés, et les forgerons y accèdent par deux portes et en y glissant leurs ringards. Chaque feu possède deux tuyères et non une seule, elles avancent de 9 cm dans le feu, leur inclinaison est de 4 cm, la première est à 30 cm de la rustine, l'autre à 40 cm. L'inclinaison des tuyères dépend de la fonte à affiner.

2. La fusion. Pendant que la fonte nécessaire à la formation d'une loupe se liquéfie et que le marteleur et le goujat procèdent au cinglage et à l'étirage de la loupe précédente, le forgeron chargé de la conduite de l'affinage n'a qu'à régler le vent au moyen d'un registre placé au-dessus des buses ; entretenir le feu de charbon de façon qu'il forme toujours bien voûte ; déboucher successivement l'un des deux trous de la plaque de chio, afin de permettre l'écoulement des scories surabondantes, puis remplacer sur le feu les scories pauvres qui se sont écoulées par de l'embrecelat ; commander au goujat d'avancer la gueuse dans le feu chaque fois que nécessaire ; dégager la tuyère des scories qui peuvent l'obstruer ; retourner de temps à autre les pièces qui

⁵¹ Particules d'oxyde de fer qui se forment pendant le chauffage des pièces forgées et qui sont projetées ensuite sous les coups de marteau.

chauffent ; sonder le feu afin de reconnaître la nature des scories et celle de la matière ferreuse ; enfin arroser le devant du feu, pour limiter la chaleur et empêcher que le fraïsil (produit de combustion incomplète) ne soit emporté par le vent. Le chargement et la fusion durent 1 h 25 environ. D'après Gouin, la coulée se pratique en enfonçant à diverses reprises un ringard dans le trou supérieur du chio. Si la scorie est trop pâteuse, on augmente le vent et la pression d'air passe à 39 mbar au lieu de 26 (le maximum, vers la fin, est de 53 mbar). Au bout d'une heure la fusion de la fonte est complète.

3. Le travail. Le forgeron ramène au-dessus de la masse ferreuse les scories endurcies qui se trouvent entre elle et le fond du foyer : il les soulève avec le ringard, en les plaçant dans les angles et le long des bords du chio, puis il les tire sur cette plaque avec un crochet en fer, et il en sépare les parties ferreuses qui y adhèrent pour les reporter vers le feu. Cette opération se nomme *désornage* et dure environ 5 mn.

Le désornage consiste, écrit Gouin, à oxyder la fonte et à lui faire prendre nature, c'est-à-dire, selon Littré, à obtenir du fer rouge et poreux à l'état naissant. L'ouvrier dé-gage les parois du foyer de la fonte et du fer qui commencent à prendre nature et ramène le tout dans la zone oxydante en soulevant la matière au-dessus des tuyères⁵². Pour activer la décarburation, il enfonce le ringard pour y faire pénétrer les scories. La coulée des scories se raréfie. Cette étape durerait de 1 h à 1 h 15, ce qui est incompatible avec la donnée précédente.

4. Le soulèvement. Le forgeron soulève la masse ferreuse au-dessus du niveau de la tuyère, pour l'exposer à l'action décarbure du vent. Lorsque le fer à demi-affiné est redescendu sur la sole, sur laquelle il repose immédiatement depuis le désornage, le forgeron le perce avec son ringard afin de reconnaître les parties qui ont besoin d'être encore exposées au vent. Celles qui s'attachent au ringard doivent être abritées du vent et placées contre la rustine ou le contrevent. Le feu est peu garni de charbon pendant la seconde partie de l'affinage, la masse ferreuse est presque toujours à découvert et le vent, réglé au maximum, forme à la surface du foyer des gerbes brillantes composées de parcelles de scories en fusion et de charbon incandescent. Le soulèvement dure en moyenne 25 mn (Gouin donne 20 mn).

5. L'avalage. L'affinage se termine par l'*avalage*, opération qui consiste à réunir avec le ringard les parties ferreuses et à en former une boule au centre du foyer, la loupe. On achève l'opération en jetant sur la loupe une pelletée d'embrecelat, dans le but de la refroidir et de lui faire prendre une consistance convenable pour la sortir du feu. Cela fait, les deux forgerons retirent la loupe, d'abord en la soulevant avec des ringards, puis en la tirant avec des crochets sur la plaque de chio, puis sur le sol de l'atelier où elle reçoit des coups de marteau à main afin de débarrasser cette masse informe et spongieuse d'une partie de ses scories et de lui donner de la consistance.

Les deux feux d'affinerie de Guérigny, avec leur soufflerie et leur marteau, forment un atelier qui fournit des fers en paquets ou barres à l'établissement, dont l'atelier des câbles-chaînes pendant les premières années de leur fabrication. Le cinglage au marteau d'un fer encore spongieux le débarrasse des scories et lui donne la forme et la consistance d'une pièce. Chaque loupe cinglée passe deux ou trois fois au marteau selon ses dimensions. Dès la première fois, la pièce acquiert sur une partie de sa longueur la section qu'elle doit avoir. On plonge cette partie dans l'eau et l'on reporte la pièce au foyer pour forger l'autre partie⁵³. Les loupes de Fourchambault sont formées en pièces et étirées au marteau frontal en barres de 1,25 m de longueur sur 0,20 m de largeur et 0,05 m d'épaisseur, mais ces dimensions varient beaucoup selon la destination du fer. L'affinerie de Guérigny produit des fers carrés de 32 à 64 mm de côté, des fers ronds de 50 à 68 mm de diamètre et des fers plats de 18 x 64 mm à 27 x 162 mm de section. La longueur n'est donnée nulle part, mais, si on la prend égale à 2 m, le plus lourd des fers plats pèse 69 kg (le plus petit fer carré, 16 kg). Comme, en 1842 au moins, les barres produites à Guérigny ne dépassent pas 75 kg⁵⁴, La longueur de 2 m est plausible, avec des différences selon l'emploi.

52 Le seul endroit où l'on obtienne le blanc soudant est à proximité de la tuyère. Cette température est très élevée (1300-1400°), mais nettement inférieure au point de fusion du fer (1530°). Celui d'une fonte qui se décarbure augmente progressivement, elle se solidifie donc peu à peu dans le creuset pour donner du fer.

53 Lorsqu'on forge une pièce longue, on commence toujours par le milieu, pour aller ensuite vers les extrémités. Pour forger, il suffit d'obtenir le rouge cerise (700-750°). Pour souder au feu de forge, il faut le blanc soudant. Si les pièces sont épaisses, on réalise des amorces que l'on soude en premier ; quand les deux pièces tiennent ensemble par les amorces, on fait une chaude suante et l'on termine la soudure. Précisions données par Marcel Ravisé, *Marteau-Pilon*, tome III, 1991. Une barre plate de 2 m est sûrement une pièce longue.

54 Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 97.

Dans les affineries, on amène immédiatement la loupe à l'état de fer marchand, alors que dans les forges anglaises, la fabrication de ce fer exige un réchauffage et un corroyage du fer ébauché au marteau. Les fers marchands issus du puddlage ont de 40 à 70 mm de côté ou de diamètre, ou 10 à 40 mm d'épaisseur sur 50 à 150 mm de largeur lorsqu'ils sont plats. Au-dessous de ces dimensions, les fers appartiennent à la catégorie des petits fers, qui se subdivisent en fers martinés et fers laminés.

Gouin rapporte qu'on traite la fonte par 100 kg, et que le déchet est de l'ordre de 20 % (à Guérigny, on en traite 80 kg à la fois). Les scories d'affinage sont conservées pour les fours à puddler. Le coût de revient direct de 1 000 kg de fer de forge à Guérigny est donné pour 560 F par Baudin, et il y faut 1 410 kg de fonte et 11 m³ de charbon de bois : le rendement est donc ici de 71 %, contre 74 % en moyenne d'après la description de Laboulaye (tableau ci-dessus).

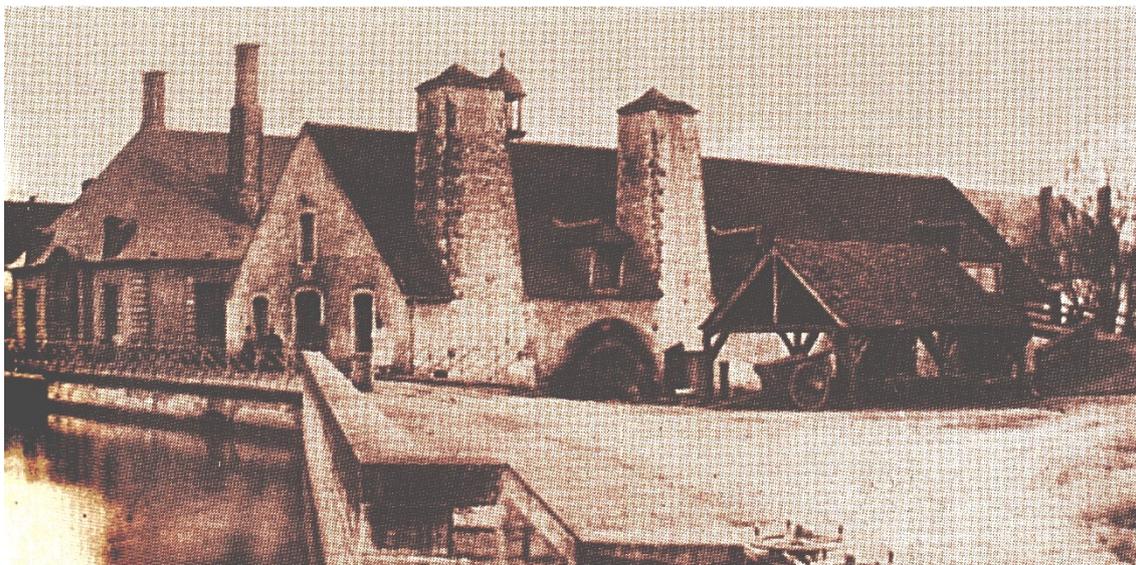


Fig. 23. Vue datant d'avant 1869 des deux ateliers principaux du groupe de Guérigny. Au premier plan, l'affinerie à deux feux, comprenant le marteau hydraulique de cinglage des loupes. Cet outil est mû par une roue située de l'autre côté de l'affinerie. La roue ici visible met en mouvement les soufflets des deux feux. À l'arrière-plan, à gauche et à droite, le bâtiment des câbles avec son clocheton, qui mesure plus de 80 m de longueur et sa roue Poncelet pour le laminoir, en face de la roue du marteau. *Cl. Teruel.*

Le travail des ouvriers affineurs de l'établissement, au nombre de 20 en 1847 pour six feux, est si dur que la Marine a dû maintenir l'allocation personnelle de 18 stères de bois par an, afin que leur logement soit chauffé en permanence : ainsi leur santé, « qui déjà s'use si vite », n'est pas menacée chaque fois qu'ils se rendent chez eux pour se nourrir et se reposer, soit trois fois par jour⁵⁵. À la fin de 1869, l'allocation est remplacée par une augmentation du tarif des travaux d'affinerie. L'installation d'une nouvelle affinerie à Villemenant rend indispensable la construction de nouveaux logements pour les affineurs. Certains de ceux de Guérigny sont logés dans les treize logements de la cour des câbles, exigus et insalubres, que l'on n'a pas réussi à remplacer. En 1855, la Marine dispose de 119 logements, dont 77 logements d'ouvriers, tous payants. À ce moment, l'augmentation considérable de l'effectif oblige une partie de la population ouvrière de vivre chez l'autre pendant la semaine, d'où il résulte, selon l'expression du directeur Zeni, « une agglomération peu morale et insalubre ». Un projet de trois nouveaux bâtiments sur deux niveaux pour soixante ouvriers devait passer par la concession, parce que Zeni craignait un refus de Paris. Finalement la Marine se charge de la construction, faute d'avoir trouvé un « capitaliste intelligent » dans la Nièvre. Le loyer, 65 F par an, est moitié moins cher qu'en ville. On peut penser que les puddleurs ont été traités comme les affineurs à partir de 1871.

Disons pour finir que l'affinage reste artisanal, qu'il dépend uniquement de l'expérience et de l'habileté de forgerons qui savent tirer parti des fontes qu'on leur donne à travailler et que la qualité du fer de forge n'est cependant pas assez constante. Ce travail ressemble à une recette de cuisine compliquée qu'il faudrait savoir exécuter par cœur pour la réussir. La qualification toute spéciale des affineurs puis, après eux, des puddleurs, et les risques qu'ils prennent pour leur santé expliquent les salaires élevés qu'ils reçoivent, presque seuls dans

⁵⁵ *Ibid.*, p. 267-274, pour ce paragraphe. Les appartements comportent une pièce avec cheminée de 18 m² et une pièce de 12 m² sans cheminée, ainsi qu'un cellier et un jardin potager. Les locataires se partagent dix latrines, une salle de bains qui est appréciée et deux fours.

l'industrie. Une amélioration a été obtenue, sur le plan du coût, par l'utilisation de l'air chaud, qui suit l'air chaud au haut fourneau, mais le problème technique reste entier. Guérigny n'a pas adopté cette technique, semble-t-il, ni surtout le puddlage à une époque où il aurait dû s'y mettre. Le sous-directeur Vanéechout peut passer pour un conservateur, il était probablement timoré. La même question va se poser avec l'acier, avant que la politique ne s'en mêle.

Le virage pris par l'établissement de Guérigny en 1854 a eu des conséquences sur la vie du personnel et la qualité de toutes les productions⁵⁶. On a dû, écrit Coqueval, faire travailler jour et nuit, de manière irrégulière, si bien que les ouvriers étaient fatigués et mal surveillés, et cela sans compter leur participation à la construction et à l'équipement des nouveaux ateliers. Pour trouver immédiatement 7 à 800 ouvriers, il a fallu recruter, outre les hommes de métier, anciens des forges ou non, des laboureurs, des bûcherons, des maçons, des terrassiers, des vigneron, etc., qui ont quitté en grand nombre l'établissement à la reprise des travaux de la campagne. Ils ont inévitablement brûlé du fer, produit peu, fait beaucoup de rebuts et, en définitive, coûté cher. Pour faire vivre des hommes faits et souvent chargés de famille, on a payé par estimation des fabrications comprises au tarif. Coqueval rappelle une demande constante de l'établissement : que les ports prévoient à l'avance leurs besoins, afin que les forges puissent répartir sur toute l'année les commandes selon leur urgence et évitent ainsi de faire travailler dimanches et fêtes et la nuit : les hommes, souligne-t-il, ont besoin de repos et, mal surveillés, ils produisent moins et moins bien.

En 1800, les capacités des forges sont évaluées comme suit : demi-produits (950 t de fonte et 850 t de fers d'affinage) et 1 550 t de produits vendables (300 t d'ancres, le reste en fers marchands divers et en clous)⁵⁷. La capacité des six feux ne semble pas suffire aux fabrications : peut-être fait-on l'appoint avec des fers rebutés. Les productions des forges de La Chaussade sont rarement connues avec précision au XIX^e siècle⁵⁸. Le *Compte définitif des dépenses de la Marine*, établi à partir de l'exercice 1850, donne des renseignements jusqu'en 1858. Cette année-là, qui est une des années de forte activité, avec utilisation des nouveaux ateliers à vapeur et de la nouvelle affinerie, la production s'élève à 5 708 t, dont une partie, 2 911 t, correspond aux expéditions et le reste, soit 2 797 t, à des demi-produits transformés la même année ou l'année suivante aux forges. Comme une autre partie de ces demi-produits est expédiée aux ports qui en commandent pour leurs propres besoins, on peut conclure que les fers marchands (comme on ne les appelle pas...) ont été de tout temps et de loin la principale production des forges de La Chaussade. Les tarifs de main-d'œuvre des ouvrages exécutés à la tâche en 1867, 1881 et 1902 fournissent les indications suivantes sur les fers :

1° fers martelés au bois : 5 classes, puis 7 classes, enfin interdiction d'en fabriquer par suite de la dépêche ministérielle du 24 janvier 1901 ; les fers obtenus à l'affinerie de Villemenant sont dits bruts, ou laminés corroyés, ou profilés ou encore profilés en cornières (à une ou deux chaudes, sauf les fers bruts) ;

2° fers puddlés, fins, puis demi-fins et supérieurs, ou ordinaires ;

3° fers laminés au laminoir de Villemenant (1855), 16 puis 18 numéros, une ou deux ou trois chaudes ; au laminoir de Guérigny (1829) déménagé à Villemenant en 1874, 17 puis 22 numéros pour les petits fers ;

4° fers martelés corroyés : des sections de plus de 40 cm, puis de plus de 100 cm de périmètre sont prévues.

2.2. Le fer puddlé.

Le four à réchauffer. Dans un four (ou fourneau) à réverbère, la chaleur est réfléchi (réverbérée) par la voûte maçonnée du four. Le combustible est brûlé dans une chambre séparée de celle des matières traitées, au lieu que, dans la chambre unique des feux de forge, ils chauffent ensemble sous des voûtes friables formées par l'agglutination de la houille elle-même. De cette façon, le chauffage est plus efficace et la température obtenue est plus élevée. La température soudante (1300-1400°) règne dans la zone où se trouve la fonte, qu'on appelle laboratoire dans les fours à puddler. Ce mode de chauffage produit des chaudes plus grasses et d'une plus grande longueur, d'où il résulte moins de déchet de fer et une soudure plus complète des paquets de barres. Il

⁵⁶ *Ibid.*, p. 181-182, pour ce paragraphe.

⁵⁷ Rapport de du Bouchage au ministre du 25 avril 1798, *Marteau-Pilon*, t. I, 1989, p. 56-62.

⁵⁸ Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 243-256, pour ce développement. Le *Compte définitif* (aux A.N., jusqu'en 1915 au moins) de 1858 décompose ainsi la production : ancres et grappins, 293 t ; câbles-chaînes et accessoires, 1 101 t ; aciers, 14 t ; tôles, 593 t ; fers, 2 262 t ; clouterie, 295 t ; moulures, 624 t ; objets en fer préparés, 237 t ; objets divers, 289 t ; total produit, 5 708 t. Les livraisons de 1860, soit 3 954 t, seraient les plus élevées de toute l'histoire des forges, jusqu'en 1914. Voir le tableau n° 3.

n'y a pas d'air forcé comme dans les feux de forge. L'introduction tardive du ventilateur à souffler sous la grille des fours produit un tirage bien supérieur à celui des cheminées, et réduit encore la durée des chaudes et la quantité de déchets.

Ce moyen ancien, venu de la fonderie (refonte de vieux canons en vue de produire des pièces moulées, notamment) et d'Angleterre, est devenu commun aux opérations d'affinage et de corroyage. L'utilisation du four à réverbère en fonderie est d'une grande importance⁵⁹. Le four dit à coupole est introduit en 1702 dans une fonderie de plomb. Par la deuxième fusion, la fonte au coke gagne en homogénéité et en pureté. La qualité des canons de marine s'en ressent. William Wilkinson (1738-1808), frère cadet de John, qui dirige les ateliers de Bersham (Denbighshire), est appelé en France pour établir à Indret, près de Nantes, une fonderie semblable à la sienne (1777-1780) : il installe notamment deux fours à réverbère du type à coupole, les premiers de France. Néanmoins et même en Angleterre, on continue d'user couramment de la fonte de première fusion issue directement des hauts fourneaux pour mouler des objets.

Peu après 1762, John Smeaton (1724-1792) propose sa soufflerie à cylindres, qui assure une combustion plus complète et permet d'augmenter la capacité des hauts fourneaux. John Wilkinson (1728-1808) met au point une aléreuse pour les cylindres de machine à vapeur qui sert aussi aux cylindres à air. La précision des alésages produit une étanchéité qui manquait en dépit des artifices mis en œuvre pour l'obtenir (voir chapitre 8). Le maître de forges utilise la soufflerie dans son haut fourneau de Willey (Shropshire) en 1776, et cette soufflerie est actionnée par une machine de Watt et non par une roue hydraulique : cette substitution est la première dans l'histoire, la machine étant la seconde produite par la firme Watt et Boulton.

Le domaine d'application du four à réverbère s'étend lentement à Guérisny. Un premier four est attesté à la fonderie de Villemenant en 1807. La fabrication des câbles-chaînes, comprenant le fer rond au laminoir produit à partir de 1829 et pour quelques années, mobilise à elle seule quatre fours à réverbère, deux pour l'étirage des fers au laminoir et deux autres fours pour le découpage à chaud et le pliage des maillons de chaîne. Puis viennent le premier four à réverbère à l'atelier de corroyage de Villemenant, en 1841 seulement et celui de Cosne. En 1855, 4 fours sont en place dans les ateliers de Villemenant, si bien que l'établissement en possède 9 (tableau n° 1).

Le rapport de la mission de Vanéechout dans des usines françaises (1842) porte que les fours ont une nette supériorité sur les feux couverts en ce qu'ils économisent le temps de chauffage⁶⁰. Les feux de Cosne et les fours consomment autant de charbon à l'heure, quoique les valeurs dépendent beaucoup de la qualité de la houille, mais il faut 8 à 9 h dans le premier cas, 7 à 8 dans l'autre cas pour amener un paquet d'arbre de machine de 450 ch (environ 35 dm² de section) à la chaleur soudante. De plus, à chaque chaude, il faut nettoyer le feu et le débarrasser des scories qui s'accumulent dans le foyer, opérations qui occasionnent une grande perte de temps et de chaleur. Au Creusot, 5 à 6 heures suffisent à chauffer une partie proche de celle qui a été précédemment chauffée et 2 à 3 heures à ramener à la chaleur soudante une partie d'un paquet qui vient de recevoir une première chaude. On donne ainsi de 4 à 5 chaudes par 24 heures au Creusot, et en 16 heures chez Cavé. À Villemenant, l'établissement d'une voûte de houille sur des paquets de 65 cm d'épaisseur (arbres de 450 ch) est des plus difficiles : il faut recouvrir très lentement cette voûte pour lui donner de la solidité, on a d'ailleurs songé à la consolider avec des armatures de fer. Le four à réverbère de l'atelier de forge n° 1 vient d'être monté et il doit être modifié en 1843, parce qu'il n'a pas été construit dans les meilleures conditions. La partie chauffée d'un paquet a au moins 1 m de longueur, et le travail de finition s'effectue au feu de forge ordinaire.

Le puddlage. Les feux d'affinerie ne se prêtaient pas à l'utilisation de la houille, parce qu'ils mettaient en contact le fer avec un combustible plus ou moins sulfureux. Il fallait donc séparer la fonte du combustible dans des fours où le métal serait seulement soumis à l'action d'une flamme. Les fours à réverbère, connus pour d'autres usages, ont donc reçu une nouvelle application d'importance capitale. D'autres améliorations, apportées par les frères Siemens au four à réverbère, ont permis à Pierre-Émile Martin (1824-1915) de mettre au point le procédé d'élaboration de l'acier qui porte son nom.

59 Charles Singer et alii., éd., *A History of Technology*, 7 vol., Oxford, 1954-1978, vol. 6, p. 100-104.

60 Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 96-97.

Pendant longtemps, la fonte de 1^{re} fusion au coke, essayée avec succès en 1709 à Coalbrookdale (Shropshire), n'a pu être affinée en raison des impuretés du coke passées dans la fonte, le soufre surtout⁶¹. Elle était trop friable pour résister au marteau. Vers 1750, Abraham Darby II (1711-1763) donne une solution à ce problème qu'il n'a pas rendu publique. Il se peut qu'il ait sélectionné les minerais du voisinage qui contenaient le moins de phosphore. À Coalbrookdale, on s'oriente vers la décarburation au four à réverbère, avec la houille seule. La méthode jugée la meilleure est celle qu'Henry Cort (v.1740-1800) fait breveter en 1784. L'année précédente, il a obtenu un brevet pour des cylindres de laminoirs à cannelures, qui décuplent la production de fers en barres en remplaçant le marteau et le découpage des tôles à la fenderie. Cort n'est le premier ni pour le puddlage, ni pour les cylindres à fers. En dépit d'une qualité inférieure, le fer puddlé est moins cher que le fer au bois, surtout en Angleterre. L'avantage sur le prix n'est pas si net sur le continent, si l'on en juge par les calculs reproduits pour Fourchambault et pour Guérigny. Le succès de Cort a été immédiat et immense.

Pendant longtemps, l'affinage à la houille s'est fait en deux temps, comme l'affinage au bois dans certaines contrées⁶². La fonte est cassée en morceaux, mélangée à des scories et affinée sur un feu de coke qui lui fait perdre une partie du carbone, la majeure partie du manganèse et une proportion plus importante de phosphore, si les scories sont basiques. Cette fonte à demi affinée par *finage* est placée dans un four à réverbère avec addition de déchets de laminoir ou de minerai. L'atmosphère est riche en oxygène. Les impuretés restantes sont éliminées comme scories. On élève la température pour activer la réaction entre l'oxyde de fer et le carbone, qui produit un violent bouillonnement de la masse. On brasse alors énergiquement le bain métallique avec le ringard. Silicium et manganèse passent dans les scories qui absorbent l'oxygène et redeviennent décarburantes. Le fer est à l'état de grains brillants. Ces grains se soudent car la température est insuffisante pour maintenir le fer à l'état liquide. Le brassage devient difficile, parce que la matière est de plus en plus pâteuse ; le bouillonnement diminue. L'ouvrier soulève et retourne toute la masse afin de terminer la décarburation. Il la divise en quatre ou cinq parties qu'il sort du four.

Le four utilisé au puddlage comprenait une sole faite de sable argileux battu. La silice s'emparait de l'oxyde de fer au fur et à mesure de son addition sous forme de battitures ou de sa formation, aux dépens de la fonte. Il n'y a donc pas d'action sur le manganèse, le phosphore et le silicium qui ne peuvent être éliminés, comme le carbone et le soufre, sous l'action directe de l'air. Le finage ou mazéage préalable était donc nécessaire, et l'on perdait le quart de la fonte. La solution est trouvée par Joseph Hall (1789-1862) vers 1830 : c'est le « puddlage chaud ». Hall utilise des scories de forge ou de l'oxyde de fer calciné comme oxydant. Ce garnissage basique permet de se passer du finage. L'oxygène des scories, en se combinant au carbone de la fonte, provoque dans le métal en fusion de véritables bouillonnements dus à l'oxyde de carbone. On a cherché également à mécaniser un travail extrêmement pénible exigeant une grande expérience et de nombreux tours de main. Le premier four à puddler rotatif apparaît en 1857, au moment du brevet de Bessemer...

Examinons l'un des fours à puddler de Fourchambault d'après la description de Gouin (fig. 25). La longueur est de 5,4 m et la hauteur de 1,60 m. On voit en A, sur l'élévation, le mécanisme d'ouverture des portes et, en K, la potence mobile soutenant une tenaille (non représentée) destinée à transporter la fonte de la deuxième sole au laboratoire. Le compartiment de chauffage mesure 0,72 x 0,75 m et l'arête supérieure du grand autel est à 0,60 m au-dessus de la grille. La distance du grand autel à la voûte est de 0,36 m (celle du petit autel, de 0,33 m). Le laboratoire mesure 1,50 x 1,16 m. Le fond (sous la sole) et les côtés sont formés de plaques de fonte. La sole est formée de scories riches. L'air circule autour du fourneau et sous la sole. On traite 200 kg de fonte à la fois, le double de la quantité des feux d'affinerie de Fourchambault. L'opération dure 2 heures. Deux ouvriers sont affectés à ce travail : celui qui surveille la chauffe, celui qui travaille le fer. Voici à peu près la gamme.

1. Préparation de la sole. Lorsque les loupes viennent d'être retirées, il reste sur la sole du laboratoire une masse très fluide. On ferme le registre de tirage. On dispose sur les parois des scories de feux des scories provenant des laminoirs et des presses, puis on brasse la matière de la sole avec des scories de feux d'affinage. On obtient ainsi une masse pâteuse ; si elle était encore un peu trop fluide, on jette de l'eau dans le four.

2. Fusion de la fonte. On retire la fonte réchauffée au rouge cerise et on la porte sur la sole, du côté du grand autel. On ouvre le registre. Avec la fonte au bois, la température s'élève rapidement : au bout de 10 à 12 mn, la fonte se brise facilement.

61 Singer, *op.cit.*, p. 106-107.

62 Maurice Daumas, *op. cit.*, p. 596-597 et 607-608.

3. Brassage (*puddling*). Le brassage consiste à réduire la fonte à l'état de sable au moyen du ringard, puis à rabattre les scories placées sur les bords de la sole, à brasser le tout fortement de manière à avoir une espèce de mortier. Avec le maximum de tirage, la masse entre en fusion, il y a bouillonnement et il faudrait alors brasser fortement pour maintenir le mélange. Vers la fin de l'opération, on voit surnager des masses d'un blanc éblouissant qui sont du fer spongieux qu'on empêche de s'agglomérer. Au bout de 40 mn, on ne peut plus brasser.

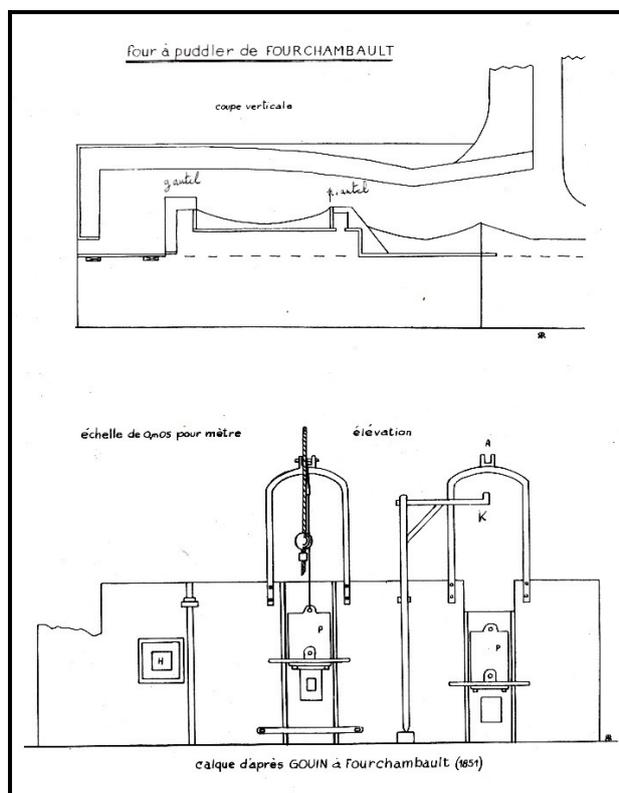
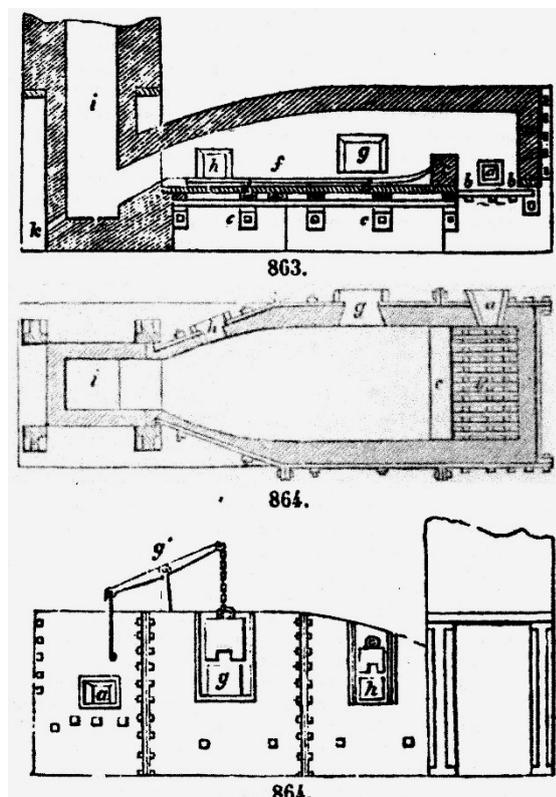


Fig. 24 (à gauche). Coupe, plan et élévation d'un four à puddler à parois pleines.

Porte a, de chargement du combustible ; c, grand autel ; d d, plaques en fonte qui forment le fond de la sole et sont soutenues sur des pièces de fonte e e encastrées par leurs extrémités dans les taques latérales du four ; f est la sole en sable ou en scories ; g, embrasure de travail dont on manœuvre la porte à l'aide d'une chaîne et d'un levier fixé sur la potence g' ; au milieu de cette porte est pratiqué un trou de 0,12 m de côté qui permet de brasser la fonte au moyen de ringards, sans ouvrir la porte, et que l'on peut également fermer au moyen d'une petite plaque de fonte ; h, porte par laquelle on charge d'abord la fonte près du rampant pour lui faire subir un échauffement préalable ; i, cheminée munie d'un registre pour régler le tirage ; k, trou de floss par lequel les scories s'écoulent.

Fig. 25 (à droite). Four à puddler à deux autels de Fourchambault (1851).

4. Formation des loupes (ou balles). On réunit le fer bien affiné, on détache celui qui ne l'est pas encore et on forme cinq loupes de 40 kg environ.

*Les raisons d'une conversion tardive au puddlage*⁶³. Jusqu'en 1871, Guérigny fabrique tout le fer dont il a besoin à partir de fontes au bois, à l'exception du fer à câbles et d'une partie du fer à clous, qui résultent du puddlage de fontes au bois et qu'il achète. L'établissement, ayant trouvé à l'extérieur le fer dont il avait besoin pour les câbles-chaînes, n'a pas jugé opportun de demander une installation de puddlage, ou Paris l'a jugé ainsi. En revanche, on a estimé nécessaire d'étendre les fabrications utilisant le fer au bois aux tôles fines en 1854. Vingt-cinq ans plus tard, le directeur de Moras doit concéder qu'il ne reste que quelques usines produisant et cher de la tôle au bois, et que l'industrie en consomme peu, y compris pour les machines qu'elle livre à la Marine, alors que celle-ci doit s'en servir pour ses fabrications en régie. De plus l'industrie est capable de produire des tôles fines par puddlage de fontes au coke, en les sélectionnant dans la production courante. Que se passera-t-il, si les ports suivent l'industrie ?

63 *Ibid.*, p. 443-446, pour ce développement.

Le sous-ingénieur Fréville (1839-1898) signale que, si les feux d'affinerie ont à peu près disparu en France en 1870, l'industrie utilise encore *des fontes au bois puddlées* pour des produits de choix, telles les tôles fines et les plaques de blindages demandées aux forges de la Marine⁶⁴ et qu'en l'état de la science, *il y a avantage à les utiliser*. Le puddlage des fontes au bois procure une certaine économie et donne un fer plus homogène que l'affinage. Le directeur de Moras est d'avis de l'introduire afin de produire avec des fontes moins chères des fers et des tôles moins chers. Fin 1869, quatre nouveaux feux d'affinerie sont en construction à la tôlerie pour remplacer ceux de Guérigny et de Demeurs : avec 12 feux, l'établissement peut produire 3 600 t de lopins. Deux ans plus tard, deux fours à puddler sont installés, un troisième en 1878. Cet ajout entraîne la suppression de deux feux, il en reste donc dix désormais à La Chaussade.

Les vieilles fontes étant impropres à l'affinage, on les mélange avec des fontes au coke neuves achetées dans ce but, avant de les puddler. Les fontes au bois sont affinées ou puddlées et, dans ce deuxième cas, elles servent toujours à fabriquer le fer à câbles, et à Guérigny à partir de 1889. Moras prévoit de se servir du nouveau procédé pour fabriquer des blindages laminés dans une plus grande mesure que celle que laissent la Marine et le Comité des forges, celui-ci paraissant s'opposer à la construction d'un four à acier (voir la 3^e partie). Mais, dans son mémoire développé de 1878-1879, destiné à convaincre la commission mixte de la Marine de maintenir et de développer son établissement, *Moras ne parle jamais de l'acier*, mais toujours du fer sous ses diverses formes. Tous les métallurgistes ou presque voient l'avenir dans le nouveau métal : même si la fabrication des produits métallurgiques en acier n'est pas encore au point, on a en vue leur substitution aux mêmes produits en fer. Pour produire 3 000 t de blindages en fer par an, il faudrait 5 ou 6 fours à puddler. Le directeur Philippe Korn (1832-1918) déclare en 1896 devant une autre commission extra-parlementaire que son établissement consomme de 1 200 à 1 300 t de fontes de puddlage par an et 500 t de fontes d'affinage. Le ministre interdit en 1901 la fabrication du fer au bois à Guérigny (mais non, semble-t-il, l'affinage de la fonte au coke), en raison du prix élevé des fontes au bois que l'on peut encore se procurer⁶⁵. L'établissement reste immobile face à une industrie en mouvement.

2.3. Les ancres⁶⁶.

C'est la plus ancienne et pendant longtemps la plus chère des productions au kilo de l'établissement. C'est pratiquement le seul objet de gros corroyage avant les arbres de machines à vapeur, dont les premiers exemplaires ont été commandés aux forges en 1827. Les ancres à jas, dites réglementaires, fabriquées en fer et à la forge se sont composées jusqu'à la fin de cinq pièces soudées à chaud : la verge, les bras, les pattes. Elles étaient obtenues par divers assemblages dont dépendait la qualité de l'objet terminé. Vers 1700, on utilisait en Nivernais des loupes d'affinerie forgées en mises parallélépipédiques, amorcées et mises bout à bout au feu de forge. Les soudures ne pouvaient pas toutes être bien faites. Plusieurs ports confectionnaient des ancres avec des barres ayant à peu près la longueur des pièces à fabriquer ; des paquets de barres étaient soudés à chaud (*corroyés*) et s'allongeaient sous le marteau hydraulique pour donner la dimension finale. La force des marteaux ne suffisait pas pour souder les barres intérieures, laissant des vides ; il en allait de même des souffleries, pour chauffer suffisamment le métal. Les barres ayant toute la même section, on devait ajouter des mises pour obtenir les gros bouts des verges et des bras, ce qui augmentait encore les vides. En définitive, le résultat obtenu dans les forges des ports était encore plus médiocre.

L'ingénieur François Trésaguet (1674-1743) réussit à corroyer des barres de forme pyramidale pour éviter les mises supplémentaires, sous un martinet de 400 kg. Le paquet de barres maintenues ensemble par des liens de fer, est porté, à l'aide de grues tournantes, au foyer d'une forge chauffée avec de la houille. On souffle d'abord modérément, ensuite plus fort, jusqu'à ce que les barres, même celles du centre du paquet, soient suffisamment chaudes pour se souder. On porte alors le paquet sur l'enclume, et le martinet soude rapidement la partie chauffée au centre de ce qui va devenir la verge de l'ancre. On continue la même opération sur toute la

64 La production des plaques au marteau-pilon a été supprimée et l'établissement a obtenu en échange des plaques de pont en grandes quantités qu'elle fait passer sur son laminoir à tôles.

65 En 1870, la fonte au bois représente 11 % de la production française de fonte (266 hauts fourneaux), 1,3 % en 1886 et 0,7 % en 1903. La production totale des 114 hauts fourneaux est de 2 840 500 t en 1903, la fonte au bois représente donc presque 20 000 t, autant que dix-sept ans plus tôt. La production de fonte comprend les fontes d'affinage et de puddlage, le ferromanganèse, les fontes brutes de moulage et les fontes moulées de première fusion. Données de la Statistique de l'industrie minérale reproduites par le Comité des forges.

66 Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 51-63, 97-98 et 449-455, pour ce sous-titre.

longueur du paquet. Cette description, due à un agent des forges de la première moitié du XIX^e siècle, vaut donc aussi pour le siècle précédent.

L'article Marine, dans les planches de l'*Encyclopédie*, décrit avec quelques erreurs la fabrication des ancres à Cosne après les améliorations dues à cet ingénieur. L'on y voit un gros martinet hydraulique ou ordon permettant de forger des ancres jusqu'à 4 000 kg ; les grosses ancres (pesant plus de 1 000 kg alors) ont des verges et des bras composés de 35 barres chacun. On remarque le gouvernail servant à manœuvrer une pièce encombrante et chaude sur l'enclume et, dans les légendes, le nombre impressionnant de chaudes nécessitées par la mise en forme des parties de l'ancre et de mises ou ajouts de métal. Les bras sont soudés à chaud (encollés) sur la verge, l'un après l'autre, au marteau hydraulique ; les pattes sont soudées, à chaud également, sur les bras, mais au marteau à main et, dans les deux cas, on ajoute du métal. Ces soudures de forge sont naturellement les points faibles de l'ancre. La finition de l'ancre s'appelle le parage : il est réalisé par martelage à main.

Pour fixer les idées, voici les consommations moyennes pour une production de 15 t d'ancres effectuée en six mois de 1735, au début de la gestion Masson-Babaud⁶⁷. Avec 3 950 kg de charbon de bois, 3 300 kg de minerai de fer et 470 kg de fondant, on obtient 1 300 kg de fonte. Avec 1 030 kg de cette fonte et 1 500 kg de charbon de bois, on obtient 660 kg de fers affinés, le reste donnant 165 kg de lopins. Enfin, les 825 kg de barres et lopins sont corroyés grâce à 1 150 kg de charbon de terre : ils produisent alors 1 000 kg d'ancres à la forge. En somme, pour obtenir 1 t d'ancres, il faut dépenser 5,5 t de charbon de bois, 3,3 t de minerai et 1,15 t de charbon de terre.

Si l'on compte pour cent le coût de revient, il y a 18 de matières premières, 16 de fabrication des barres, 36 de fabrication de l'ancre, 7 de transport et 23 de frais généraux. Ces chiffres, et en particulier la façon, dépendent beaucoup de la taille des ancres. Disons en passant que Babaud tenait une comptabilité industrielle, à la différence de la Marine, et que si les frais généraux spéculés sont élevés, c'est pour deux raisons au moins : comme l'État paie avec beaucoup de retard, le fournisseur doit prévoir des intérêts parce qu'il doit emprunter davantage, et comme il commande de manière irrégulière, tout en l'ayant obligé de s'équiper en grand, le fournisseur redoute le chômage, alors qu'une bonne partie de son personnel est permanent comme dans les ports et doit l'être.

L'introduction des câbles-chaînes en fer, beaucoup plus forts que les câbles en chanvre, oblige la Marine à augmenter la résistance des ancres, sans augmentation de leur masse. On a cherché d'autre part à obtenir toutes les ancres par similitude à partir d'un modèle unique. Jusque-là, les dimensions n'étaient pas calculées de manière à obtenir une masse déterminée : le rapport de chaque dimension principale à la racine cubique de la masse variait dans certaines limites, et les masses obtenues étaient toujours trop faibles ; on y remédiait en allongeant la verge. Les réflexions menées à cette époque conduisent au tarif des dimensions du 26 avril 1836. Les verges et les bras sont moins longs, la section à la naissance du carré de la verge et des bras est plus forte ; un congé à la jonction des bras et de la verge est ménagé afin de renforcer le collet. La masse de l'ancre dont la verge mesure un mètre hors tout est désormais de 22,953 kg (l'envergure est de 0,63 m). La production des nouvelles ancres commence en 1839 et doit profiter du renouvellement du parc de la Marine en même temps que de la poursuite de l'équipement en câbles-chaînes⁶⁸. Il reste cependant des doutes sur les dimensions et le mode de fabrication. Le tarif suivant, celui du 23 mai 1866, porte la marque du tarif de l'Amirauté de 1832. L'ancre d'un mètre pèse 37,500 kg, et la masse des 42 ancres varie de 350 à 5 100 kg ; les ancres sont attribuées selon 17 catégories de coques par le règlement d'armement de 1859. L'ancre de 5 100 kg a une longueur totale de 5,142 m et une envergure de 3,61 m⁶⁹.

Le mode de fabrication des ancres est amélioré, en 1841, par l'utilisation du four à réverbère. Un progrès antérieur résulte de l'adoption de l'encollage à la manière suédoise, et nous examinerons encore la méthode hollandaise de fabrication des petites ancres.

67 J. Gay, « Les aspects économiques de la fabrication des ancres dans le Nivernais au XVIII^e siècle », *Marteau-Pilon*, tome V, 1993, p. 39-46.

68 Note sur l'établissement d'un marteau-pilon à Cosne, du 25 février 1847, B. Lutun, *op. cit.*, p. 114-116.

69 Dans son *Cours de construction navale*, Hauser précise que les ancres de moins de 350 kg servent pour de très petits bâtiments, ou comme moyens accessoires d'amarrage, pour l'embossage, etc. Il donne toutes les dimensions de l'ancre de référence et le rapport de similitude pour l'ancre de poids P à appliquer à toutes les dimensions $\sqrt[3]{P/37,50}$.

Aux forges de la Chaussade, on soude les bras dans l'angle qu'ils forment avec la verge, dans une zone de contact formée de courtes amorces. Il y faut deux fortes chaudes au même endroit de la verge, et deux autres chaudes pour souder de chaque côté une grosse mise pour parfaire la liaison. Les chaudes tendent à dénaturer le grain du fer et à altérer sa qualité. En Suède, on observe des amorces beaucoup plus larges et longues, formant des biseaux obtenus par étirage du fer : la surface de contact pour la soudure est triplée et les mises deviennent inutiles. La méthode hollandaise consiste à préparer deux bras courbes avec une longueur supplémentaire destinée à former la partie supérieure de la verge, l'autre partie étant rapportée par soudage. Les deux bras sont placés dos à dos et corroyés sur une partie de la longueur ; les extrémités sont étirées au moyen de treuils jusqu'à se trouver dans la position normale des bras et des pattes d'une ancre. Une mise principale et quelques autres mises, plus faibles, viennent enfin remplir l'espace vide à la commissure des bras. Les deux méthodes étrangères ménagent de larges congés sous les aisselles, ce qui accroît la résistance de l'ancre dans cette région fragile. L'ancre de 500 kg ainsi fabriquée à Guérigny a nécessité le concours de *seize* hommes pour actionner les deux treuils : telle est la limite de la méthode hollandaise.

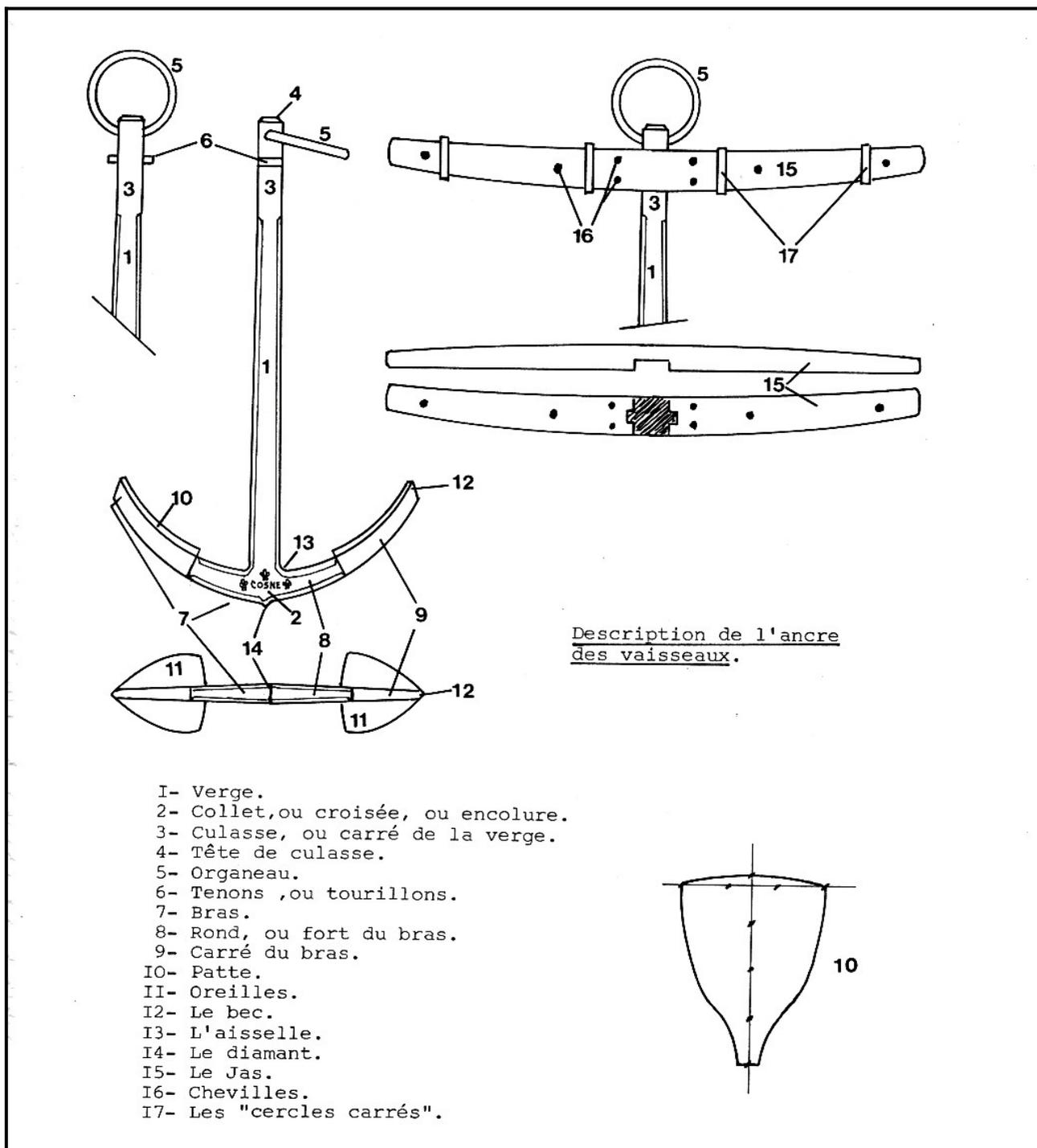


Fig. 26 : Jacques Gay, dans *Le Marteau-Pilon*, t. II, 1990, p. 33.

Des essais de traction sont pratiqués avec la presse hydraulique des câbles-chaînes sur cinq ancrés : une ancre avec l'encollage suédois, une avec l'encollage de Guérigny, une avec cet encollage et congé, deux sans encollage mais qui ont été recuites. On conclut que la résistance du fer ne dépend guère de la méthode ; que la méthode suédoise offre de plus fortes liaisons dans le sens des fibres du fer, expose moins le métal à s'altérer, parce qu'il reçoit moins de chaudes suantes, et réduit donc le coût de production ; que le recuit devrait augmenter la résistance des ancrés au choc. La méthode suédoise est adoptée par le ministre en 1834 : la croisée de l'ancre, point autrefois le plus sensible, est désormais celui qui offre le plus de résistance. Le recuit dans un feu au charbon de bois est de même adopté en 1838, afin de lui rendre un peu d'élasticité et d'augmenter sa résistance au choc.

Les pattes, parties de l'ancre qui doivent mordre sur le fond, ont tendance à se décoller. Les Hollandais forgent des bras et des pattes formés d'un seul paquet de barres, sans soudure. Guérigny assure qu'il est possible d'étamper l'extrémité de tous les bras pour obtenir les pattes de toutes les ancrés réglementaires. L'étampage des ancrés de plus de 2 000 kg requiert le marteau-pilon, dont l'établissement dispose en 1845, mais le martinet doit suffire pour les autres ancrés. La méthode hollandaise est également retenue et le progrès constaté par les marins. Le marteau-pilon permet de travailler avec des paquets de barres parallélépipédiques (40 mm d'épaisseur et de 75 à 200 mm de largeur) au lieu des paquets pyramidaux de naguère. Il permet d'étamper des pattes sur une surface dépassant le m² et évite une soudure qui n'a jamais été satisfaisante entre les bras et les pattes. La soudure des bras est réalisée dans le sens des fibres du fer, sans mises supplémentaires. On l'aura compris : le nouvel outil est le nec plus ultra du corroyage des ancrés. Le sous-directeur Vanéechout fait remarquer que le coefficient de corroyage, augmentant de 1,17 pour les ancrés de 4 000 kg à 1,75 pour les ancrés de 200 kg trahissait une soudure insuffisante. Certaines ancrés ont cassé en service pour cette raison. En 1843, le coefficient est de 1,75, quelle que soit la section de la verge. Pour les arbres de machines de 450 ch, il varie de 2,1 à 2,6.

Le mode de fabrication des ancrés à jas inauguré en 1845 est le dernier. La fermeture de Cosne entraîne la perte d'une installation de fabrication des ancrés. Le directeur Picot de Moras (1816-1886) fatigue la direction du Matériel avec son projet de reconstitution d'une forge aux ancrés hydraulique à Guérigny avec la réutilisation du matériel de Cosne. Ce projet rétrograde, qui n'est pas le seul, détourne la vue de l'état de la branche sur laquelle son établissement est assis. Le ministre lui fait ainsi remarquer que les futures grosses ancrés de la Marine n'y seront pas fabriquées. Le nouveau type, à pattes mobiles autour d'un axe, est connu sur le papier depuis...1823. François Martin prend un brevet selon ce principe en 1859, et il la fait fabriquer en Angleterre, y compris à Woolwich. L'Amirauté l'adopte en 1866 pour les grands bâtiments. Elle est exposée en 1878. Le tir depuis les cuirassés exige que la plage avant soit dégagée, or, l'ancre à jas emploie deux bossoirs pour la mise à poste qu'il faut d'abord démonter pour tirer : tel est l'intérêt véritable du principe des pattes mobiles.

Le Conseil des travaux commence par dire non, puis la Marine en achète de petites quantités jusqu'en 1886. On cherche à améliorer l'ancre à jas partout sauf à Guérigny. Les frères Marrel déposent un brevet grâce au travail de l'ancien ingénieur de la Marine Paul Risbec (1842-1917), une ancre à pattes mobiles mais sans jas⁷⁰. Utilisée sur les paquebots des Messageries, dont Risbec est le directeur à La Ciotat, elle est tirée par la chaîne et entraînée dans l'écubier dont l'orientation et la longueur permettent de la recevoir et de la maintenir sans autre moyen de manutention. Les doutes sont levés par l'installation des ancrés Marrel -Risbec sur le cuirassé *Bouvet*. Les ancrés de bossoir Marrel deviennent réglementaires au début du XX^e siècle. Les cuirassés type *Danton* reçoivent ainsi trois ancrés Marrel de 8 500 kg et deux ancrés à jas de 2 000 et 1 800 kg. Les grosses ancrés à jas sont presque entièrement remplacées par les ancrés Marrel : c'est ce qu'on lit dans le rapport annuel de 1897 de Guérigny. Des négociations en vue de la cession de licence n'ayant pas abouti, Guérigny a dessiné une ancre semblable mais sans tomber dans les termes du brevet. On espère que les essais vont conduire à l'homologation de l'ancre de Guérigny et permettre l'accord avec Marrel.

Nous sommes arrivés à l'ancre en acier moulé que certains avaient imaginée il y a longtemps et qui n'entre en fabrication à Guérigny qu'en 1926⁷¹. Au début du siècle, les ancrés à pattes articulées, dont

⁷⁰ Jacques Gay, *Six millénaires d'histoire des ancrés*, Paris, PUPS, 1997, p. 201-209.

⁷¹ Jean Berthiau, *op. cit.*, p. 20, 67 et 68. Les ancrés à pattes articulées étaient déjà répandues dans la Navy et dans la marine marchande, qui se fournissait auprès des maîtres de forges français, titulaires de brevets ou qui en exploitaient. L'attitude de la Marine a permis à Guérigny de prolonger son monopole.

l'invention est déjà ancienne, ont enfin surclassé les ancrés à jas dans l'esprit des marins français, qui trouvaient que ces dernières mordaient mieux sur le fond. Leur adoption entraîne le remplacement du fer forgé par la fonte d'acier. Guérigny fabrique de ces ancrés, notamment les cinq ancrés type Byers de 15 t du *France*, les plus grandes et les plus lourdes qu'il ait jamais produites. Il a ainsi rattrapé l'industrie nationale peu de temps avant de disparaître.

2.4. Les câbles-chaînes de mouillage⁷².

Du fer au bois au fer puddlé. En 1822, le ministre Clermont-Tonnerre (1779-1865) décide le remplacement progressif des câbles *de mouillage* en chanvre par des câbles en fer, à l'imitation de l'Angleterre. Ces câbles forment dès le début une autre fabrication réservée aux forges de La Chaussade. On trouve déjà trace d'une production de chaînes *d'amarrage* en 1809 et 1813. Parmi les objets commandés cette dernière année il y a en effet 47 t de chaînes dont le plus fort diamètre est déjà de 63 mm ! Il s'en fabrique également dans les ports. La fabrication de chaînes (d'amarrage) ne doit pas être récente, puisque Henry Cort, maître de forges et auteur du procédé de puddlage qui s'est imposé, en fournissait à la Navy.

Au début de la nouvelle fabrication en 1823, l'établissement utilise ses fers au bois en barres plates corroyées et mises au gabarit circulaire par étampage au martinet. Le cintrage était fait à la main, les amorces rapprochées et traversées par une ou deux goupilles, puis soudées à la main. La qualité du fer, tantôt à grains, tantôt à nerf, et sa nature même rendaient la soudure difficile et aléatoire. La forme des barres obtenues à l'étampe était irrégulière et surtout le fer n'était pas assez élastique. L'installation de la forge à l'anglaise de Fourchambault fournit à partir de 1826 le matériau convenable à cet emploi : le fer puddlé laminé issu de fontes au bois. Comme les chaînes sont le seul usage prévu, le ministre n'autorise pas avant 1871 l'installation de fours à puddler. D'ailleurs les forges ne se plaignent pas de celui qu'elles achètent à l'industrie⁷³.

Rien ne dit, pourtant, que l'établissement s'est converti au fer puddlé en 1826. La dernière tranche du nouveau bâtiment dit des câbles, qui va s'étendre sur plus de 80 m de longueur et couvrir 1 300 m², montre au contraire que l'on a d'abord voulu y installer une fabrication de fer laminé rond *au bois*⁷⁴. La première partie de l'atelier est très probablement un remploi de l'atelier aux ancrés de Guérigny en 1823. Le projet du 6 août 1828, qui nous est connu par cinq plans approuvés et non par son rapport, montre d'abord que l'on a déplacé des feux afin de ménager de la place pour l'installation d'un laminoir, si bien que l'édifice a été allongé par un auvent. L'atelier comprenait, d'après le plan, douze feux à bras, un four à chauffer, deux *fours à réverbère*, les premiers⁷⁵ dans les ateliers de forge de l'établissement et qui sert à chauffer les barres qui doivent être coupées à longueur puis cintrées, et une table en fonte pour cintrer les mailles. Un autre bâtiment est en construction afin d'augmenter la capacité de production par de nouveaux feux à bras. Situé du côté gauche de la cour des câbles, et donc en face du bâtiment des câbles, il a été démoli récemment (fig. 46).

La partie du projet relative au laminoir et à l'auvent a été exécutée. L'équipement comprend, dès 1829, un laminoir à deux cages, l'une pour les gros fers, l'autre pour les petits fers, une cisaille et deux fours à réverbère (un troisième est en pièces détachées, semble-t-il, comme celui de l'atelier du pilon plus tard) et une grue pour la manutention des cylindres (fig. 27). L'atelier des câbles compte 35 feux de forge et 6 presses à levier. Cette description de 1839 ne comprend aucune grue pour la manutention des chaînes, or, si l'on ne connaît pas la masse unitaire des mailles, l'on sait qu'un maillon de 30 m de chaîne de 19 mm pèse 250 kg, un maillon de 56 mm, 2 000 kg : leur manutention est impossible à la main. On a dû pourtant traîner le bout de chaîne en cours de la forge à l'enclume et à la presse à étai, en s'aidant de potences à crochet. Baudin n'en dit rien non plus, mais il signale un déchet de fer de 8 % et un coefficient d'étirement allant de 0,20 à 0,54. Il écrit aussi que l'on produit du fer à câbles avec des rognures et des mailles de rebut en passant trois fois le fer au

⁷² Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 63-79 et 455-462, pour ce sous-titre.

⁷³ Georges Dufaud (1777-1852) a fait, de 1802 à 1806, des essais d'affinage de la fonte à la houille au four à réverbère qui lui permettent d'obtenir un brevet ; il imite le puddlage sans le savoir, parce que le procédé anglais est encore inconnu en France. Il entraîne les Boigues dans la création de la forge à l'anglaise de Fourchambault, établissement longtemps dominant dans cette production. R. Robin, *op. cit.*, p. 54, 56 et 65.

⁷⁴ Un examen plus précis du plan général d'implantation du 6 août 1828 approuvé par le ministre le 21 et de sa légende, donne les renseignements qui peuvent se trouver dans le dossier dont il a été distrait et que nous n'avons pas trouvé (DD²-716/7, planche H.T. n° 4 du mémoire de maîtrise ; nous reproduisons deux des quatre plans de détail du projet approuvé).

⁷⁵ Le premier peut avoir été installé avant les fours du laminoir.

four. Il en est question dans les rapports d'inspection de 1839 et 1850⁷⁶ et ailleurs, même après le déménagement du laminoir en 1874, et même si les barres ont en général une autre destination.

Il y a un autre plan en 1828, celui qui concerne l'affinerie. Dans cet atelier exigu, d'environ 11,5 m de largeur et 21,5 m de longueur extérieures, l'on prévoyait d'ériger un marteau frontal et deux fours à réverbère. On aurait déplacé le marteau à soulèvement et sa roue pour faire place à l'un des fours, puis la roue de la soufflerie et la soufflerie elle-même. Le nouveau marteau aurait disposé d'une nouvelle roue, probablement identique à la roue Poncelet à laquelle elle aurait été jumelée, et les deux autres roues de même de l'autre côté de l'affinerie. Cette partie du projet est clairement reliée à la première, et l'installation d'un marteau frontal donne à penser que l'on se préparait à remplacer les feux d'affinerie par des fours à puddler ou à les y ajouter sous le nom de fours à réverbère. On aurait ainsi constitué une petite forge à l'anglaise. Rien de cela n'a eu lieu, et l'on remarque en particulier sur la photo de la fig. 21 que la roue et la soufflerie sont placées entre les deux feux et non sur le côté, ainsi qu'il était prévu.

Le rapport de l'élève des Mines Baudin de 1831 montre donc une installation de laminage fournissant le fer à câbles. Le mémoire de Guiot cité au titre de la soufflerie (§ 1.3.) commence de manière équivoque. Lors de son séjour, plusieurs ateliers chôment par manque d'eau, si bien qu'on ne fabrique que des câbles-chaînes. En 1833, cela n'a rien d'étonnant, tant le produit est demandé par les ports. La fabrication sans eau suppose que l'on dispose de barres rondes en stock. On peut entendre que Guiot pense au fer puddlé de Fourchambault, mais il nous dit ensuite que le fer à câbles provient de fontes au bois « affinées selon la méthode française ». Ces fers, précise-t-il, ne sont pas étirés, mais forgés au marteau à panne semi-cylindrique. Le fer est donc momentanément mis en œuvre comme avant. À la serrurerie de Villemenant, on ressort aussi les soufflets à main quand il n'y a pas d'eau.

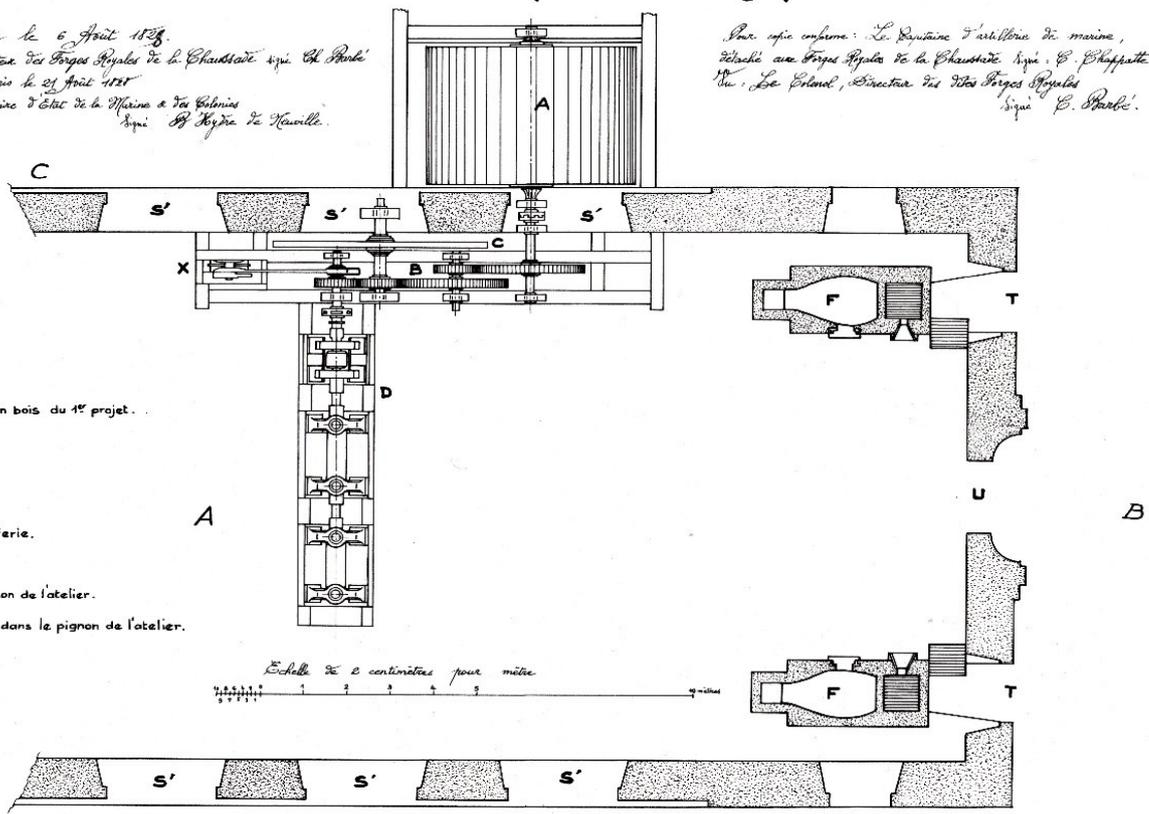
Baudin, qui en donne la description la plus ancienne, résume ainsi la fabrication des câbles. On étire aux cylindres le fer de l'affinerie en barres rondes selon le câble à produire. On découpe à chaud les barres par bouts égaux et en biseau pour former l'amorce de la soudure, puis on plie les bouts afin de former les demi-maillons. On confectionne à part les émerillons, manilles et étais. On soude la maille au feu de forge, on place l'étau à l'aide d'une presse à levier et, éventuellement, l'émerillon et la manille. Les maillons assemblés de 30 m sont essayés à la presse hydraulique.

⁷⁶ Jean Berthiau, « Le laminoir de Guérigny et la grande roue hydraulique à aubes courbes », *Marteau-Pilon*, tome IV, 1992, p. 63-72. Les plans de la figure 25 sont extraits de cet article. Ils permettent de connaître approximativement les dimensions des cylindres : diamètre 40 cm, longueurs 1,20 m et 1 m.

Projet de laminoir à fers ronds pour Guérisny - Plan n° 2 -

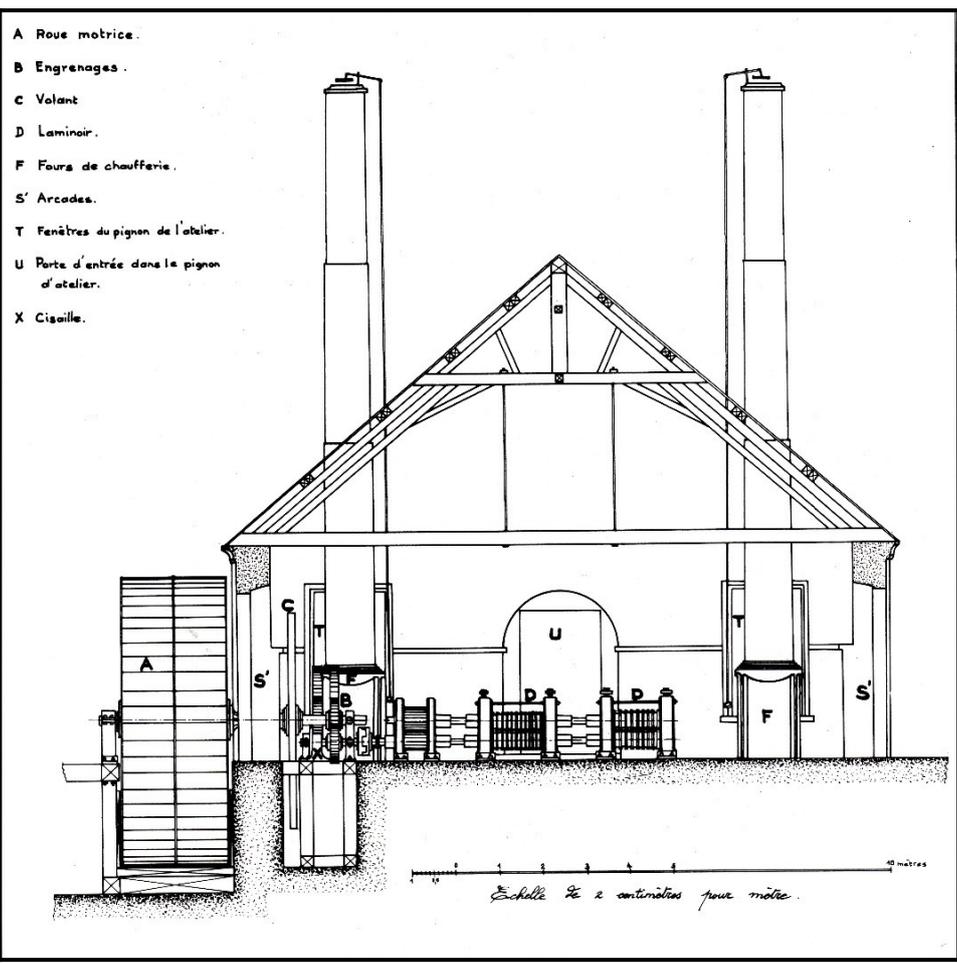
Guérisny le 6 Août 1828.
 Le Colonel, Directeur des Forges Royales de la Chaussée, signé E. Barbé.
 Approuvé : Paris le 24 Août 1828
 Le Ministre Secrétaire d'Etat de la Marine & des Colonies
 signé B. Boyer de Kerville.

Pour copie conforme : Le Capitaine F. Astellon de marine,
 détaché aux Forges Royales de la Chaussée, signé E. Chappatte.
 Du : Le Colonel, Directeur des Forges Royales
 signé E. Barbé.



- A Roue motrice en bois du 1^{er} projet.
- B Engrenages.
- C Volant.
- D Laminoin.
- F Four de chauffe.
- S' Arcades.
- T Fenêtres du pignon de l'atelier.
- U Porte d'entrée dans le pignon de l'atelier.
- X Cisaille.

Echelle de 2 centimètres pour mètre.



- A Roue motrice.
- B Engrenages.
- C Volant
- D Laminoin.
- F Four de chauffe.
- S' Arcades.
- T Fenêtres du pignon de l'atelier.
- U Porte d'entrée dans le pignon d'atelier.
- X Cisaille.

Echelle de 2 centimètres pour mètre.

Fig. 27 : copies de 1829 de plans approuvés l'année précédente, pour l'installation de laminoirs destinés à la production de fers à câbles au bois. Dessins refaits par R. Bouvier, des Amis du Vieux-Guérisny.

Comme le fer au bois présente des inconvénients qui l'ont fait abandonner, il va être question maintenant du fer puddlé acheté à l'extérieur. Il n'empêche que la période du fer au bois pour les câbles a duré environ dix ans, quoi qu'en disent ou n'en disent pas le directeur de Moras et Théophile Bornet (1795-ap.1870), ancien chef de section des forges, qui passe directement des essais infructueux de l'ingénieur Hubert (1781-1845) et de la machine de traction de 1824 à l'entrée en scène des forges de Fourchambault⁷⁷. Le fer puddlé employé aux câbles-chaînes doit être fort doux et d'excellente qualité. Il faut le travailler dans le sens des fibres. Il subit généralement deux martelages et deux passages au laminoir. Son diamètre excède d'un millimètre celui du câble terminé, au moins dans les gros calibres. La propriété principale du fer à câbles est l'allongement à la rupture (A), qui peut atteindre 25 %. À la fin du siècle, et malgré la difficulté de se procurer de la fonte au bois, Guérigny mélange ces fontes à des fontes au coke produites toutes deux dans la Haute-Marne pour la fabrication des chaînes de 26 mm et au-dessus ; les calibres inférieurs sont obtenus à partir de vieilles chaînes transformées en barres⁷⁸.

La fabrication manuelle des câbles-chaînes.

1. Les épreuves de réception des barres. Plusieurs documents plus ou moins concordants les décrivent et, faute d'un dépouillement des marchés, nous suivons celui de 1898 qui décrit la situation des dernières années d'achat à l'industrie⁷⁹. Les barres d'un mètre de longueur sont inspectées, puis on en choisit une première par lot de 1 000 kg⁸⁰. Cette barre d'essai est cassée au marteau-pilon après incision sur la moitié de sa circonférence : la cassure doit présenter au minimum 9/10 de nerf délié pour les calibres de 41 mm et au-dessous, et un grain fin entremêlé de nerf, au-dessus de 41 mm. D'autres barres sont essayées à la traction : la résistance à la rupture R_m doit être supérieure à 32,5 hbar, l'allongement à la rupture de 10 à 18 % au moins, selon les calibres (de 6 à 40 mm)⁸¹. La section de rupture doit présenter alors 9/10 de nerf au moins. Lors de sa visite de 1866, Julien Turgan (1824-1887) a noté aussi des épreuves de déformation à chaud⁸². On cherche encore à savoir si le fer se soude bien, si son grain ne s'altère pas sous l'action des chaudes et si l'élasticité ne diminue pas. La barre soudée doit donner à l'essai de traction la même ténacité que les barres intactes du même lot.

Les contrôles destructifs des fournitures se poursuivent pendant la fabrication. Des mailles sont cassées à la soudure au marteau-pilon : les sections de rupture doivent montrer un fer bien soudé et des déchirements sans gros grains ni facettes. On forme un bout d'essai de 10 m au moins, qui subit l'épreuve ordinaire de traction à 17 hbar de la double section des mailles (14 pour les mailles sans étai). Ce bout de chaîne est pour finir divisé en trois bouts comportant de 6 à 10 mailles chacun, et chacun de ces petits maillons est soumis à l'épreuve de traction jusqu'à la rupture, qui ne doit pas survenir à moins de 26 hbar de la double section (c'est l'épreuve extraordinaire⁸³). Le nombre de mailles à rebuter dans l'ensemble des opérations de préparation, de soudure et de traction, ne doit pas dépasser 4 % de l'effectif de la production du lot. Les conditions exprimées dans le document de 1898 sont telles que l'on peut se demander si elles sont vraiment nécessaires. Il conviendrait de les comparer avec les exigences formulées par les compagnies Lloyd's et Bureau Veritas (fondé en 1828). Turgan justifie le prix élevé des fers à câbles par les risques de rebut. On a pu dire la même chose des plaques de blindage, mais à raison de la valeur considérable des lots.

2. La préparation des mailles. Le mode de préparation et de soudage dépend du calibre, et les limites entre les deux voire trois séries de calibres ont varié⁸⁴. Les deux fours à réverbère affectés au réchauffage des

77 Citation rapportée par Jean Berthiau, *Les Forges de la Chaussade à Guérigny, un établissement de la marine militaire au cœur de la France*, Camosine, Nevers, 2009, p. 68.

78 Rapport de la commission extraparlamentaire de 1894, délégation des ports, BB⁸-1193, vol. 5, p. 26. L'établissement déclare consommer 500 t de fonte d'affinage, 150 t de fonte de moulure, 1 300 t de fonte de puddlage.

79 S.H.D., 6DD¹-357, dossier 6612.

80 Ce prélèvement sur les lots est trop fort pour les gros calibres, et d'autant plus qu'il n'est pas le seul.

81 Bornet (J. Berthiau, *op. cit.*, p. 69) écrit que l'essai à la presse doit donner une valeur de A de 10 à 12 % et une valeur de R_m allant de 32 hbar pour les plus gros calibres à 35 hbar, si bien que les fers de 16 mm doivent résister à une force de 7 t, ceux de 60 mm à 90 t. La résistance des bouts de chaînes de ces calibres est de 10 ou 152 t, donc moins du double, alors que la section est doublée.

82 Julien Turgan, *Les grandes usines, études industrielles en France et à l'étranger*, 16 vol., 1860-1882, en particulier la 6^e série (1870), avec la 2^e visite au Creusot faite en 1865 et la description des forges de La Chaussade, visitées en 1866 (p. 217-235).

83 Cette épreuve est pratiquée seulement en cas de doute sur les maillons (*R.M.C.*, septembre 1868, p. 49-57, compte rendu de l'exposition universelle) ; Turgan signale qu'elle a lieu sur tous les bouts d'essai.

84 Nous suivons les descriptions de Grelier (de 1862) et de Baudin, plutôt que celle de Vanéechout de 1855, que nous avons retenue dans notre mémoire de maîtrise, p. 68-69.

barres de gros diamètre sont semblables à ceux du laminoir à ceci près que les côtés de l'un d'eux sont percés de façon à y introduire les barres et que les faces antérieures des deux fours sont percées de deux rangées de trous afin d'introduire les bouts de fer rond déjà en partie courbé. Pour le cintrage des mailles de 6 à 30 mm, on coupe les barres à la cisaille en bouts égaux et de longueur convenable pour chaque diamètre. Notons que ces longueurs ne sont indiquées nulle part⁸⁵. On se sert d'une tenaille et d'un rouleau monté entre deux mâchoires en fonte de fer fixées sur un billot de bois maintenu fortement à terre (fig. 28, pl. 2, fig. 1). Il faut supposer que l'on se sert du feu de forge. Les grosses mailles (de 32 à 60 mm) passent au four. La barre portée au rouge clair est coupée à la tranche en bouts égaux et en biseaux parallèles afin de former le croisement de l'amorce de la soudure ; ces bouts de barre encore rouges sont portés sur une plaque à cintrer (fig. 28, pl. 2, fig. 2) qui leur donne une forme proche de celle qu'ils doivent avoir, avec une partie longue terminée par deux quarts de cercle amorcés.

3. La soudure des mailles⁸⁶. Opération la plus difficile, elle exige de l'expérience et un bon coup d'œil, parce que la qualité de la soudure dépend de la température des amorces et que l'observation n'en est pas facile. On ne permet pas aux ouvriers d'en souder plus d'un certain nombre par jour. Alors que la préparation est payée à la tâche et exécutée par campagnes, la soudure est continue : pendant la soudure d'une maille, la maille suivante est préparée au feu. Les mailles de plus de 36 mm sont réchauffées au rouge dans le feu de forge. On écarte les amorces au moyen d'une tranche, jusqu'à laisser passage à la maille précédente, puis on les resserre le plus possible. Toutes les chaînes sont soudées à bras, à raison d'une chaude par amorce. Après la deuxième chaude soudante, on étampe horizontalement et verticalement la maille à bras, soit deux fois à plat et deux fois sur champ pour arrondir la partie soudée. Les mailles de 22 mm et au-dessus, encore chaudes, sont écrasées sur l'étau entre deux étampes grâce à une presse à levier comportant engrenages et manivelle (fig. 28, pl. 3, fig. 1). Cette compression mécanique fait d'abord joindre les côtés de la maille entre les bouts concaves de l'étau, puis l'étampe donne à la maille sa forme définitive (fig. 28, pl. 3, fig. 4). N'oublions pas que la presse n'est pas au même endroit que le feu : l'opération suppose donc comme les précédentes que le bout de chaîne soit traîné jusqu'au poste. Pour les mailles d'un calibre inférieur (au-dessous de 16 mm, les mailles n'ont pas d'étau), la forme définitive de la maille est donnée au moyen d'étampes et de marteaux à main.

4. La constitution des chaînes et les essais de réception. L'atelier des câbles produit des maillons de 30 m comportant un nombre pair de mailles. À l'une des extrémités des maillons à étau, l'on place une maille dite de renfort à étau, lequel n'est pas au milieu de la maille ; de l'autre côté, une maille sans étau d'un calibre supérieur afin de compenser la perte de force. La manille d'assemblage (fig. 29) se compose d'une anse faite de fer à câble et de fer corroyé et d'un boulon en fer étoffé. L'anse passe dans la maille sans étau, le boulon dans la partie la plus large de la maille à renfort du maillon suivant. Pour empêcher le boulon de la manille de ressortir, on le traverse par une goupille maintenue elle-même par un tampon en plomb refoulé dans un trou en queue d'aronde. Les manilles d'assemblage permettent de modifier à bord la longueur des chaînes de mouillage, longues de 300 m ordinairement ou 10 maillons, ou de changer un maillon défectueux.

Le contrôle de la fabrication à Guérisny consiste d'abord en une inspection visuelle des mailles après leur préparation et après chaque épreuve à la presse hydraulique. Depuis 1849, on ouvre des mailles à la soudure, en particulier celles qui sont rebutées à la presse, mais aussi des mailles ne présentant pas de défaut apparent. Par des enregistrements et par des marques sur les chaînes, il est possible de désigner le soudeur qui a produit un maillon déterminé. Les circonstances des ruptures en service sont relatées et les rapports transmis à Guérisny pour le perfectionnement de la fabrication ; la position des mailles remplacées est indiquée.

Dès 1824, l'établissement est équipé, comme les ports, d'une presse hydraulique d'épreuve des câbles fournie par Manby et Wilson, fabricants de machines à vapeur à Charenton. Cette machine de traction, donnée pour 300 t, n'en fournit guère que 150 avec des pompes d'injection à bras. Les essais des maillons sont systématiques : dès 1836, l'épreuve ordinaire est de 17 hbar de la double section pour les chaînes à étau — soit 7 t pour les chaînes de 16 mm et 96 t pour celles de 60 mm — et 14 pour les chaînes sans étau. Rappelons que la consigne, pour ce qui concerne la résistance à la rupture, est de 32,5 hbar. Sous la charge, les mailles

85 Clément de Laharpe donne, dans ses *Notes et formules de l'ingénieur et du constructeur-mécanicien*, éd. de 1891, p. 233-234, pour la longueur des mailles étauonnées, 5,85 d et, pour la largeur, 3,75 d, d étant le calibre. Une maille de 60 mm mesurerait donc 35,1 x 22,5 cm. La masse est de 108 kg du mètre courant ($p = 0,0225d^2$). La force correspondant à la charge d'épreuve de 17 hbar s'écrit $F = 26,7 d^2$. Enfin la table des épreuves réglementaires, p. 235, va jusqu'au diamètre de 80 mm pour les chaînes à étau et 70 mm pour les chaînes sans étau.

86 Description empruntée au rapport Moras de 1878-1879.

s'allongent plus ou moins : on indique de 3 à 5 %, écarts qui doivent se compenser sur le maillon. Notons qu'ici aussi, les valeurs varient selon les documents et les époques⁸⁷. La tolérance sur la longueur du maillon de 30 m est de 20 cm, soit 0,7 %, et celle des mailles, 2,5 % (nous ne connaissons pas plus leur longueur que celle des barreaux dont elles sont faites).

Les défauts du fer entraînent le remplacement de la maille, les soudures également s'il s'agit de cassures à vif suivant le travers des mailles ou de soudures incomplètes suivant le contour des amorces. Les défauts peuvent être tolérés lorsqu'il s'agit de criques superficielles en travers des soudures qu'on peut affranchir au burin sans affaiblir la soudure. Les étais fendus ou écaillés sur les lèvres sont remplacés. Le remplacement d'une maille ou d'un étau entraîne une seconde épreuve et une seconde visite. Aux termes de la dépêche du 4 avril 1861, tout maillon qui a résisté aux visites et épreuves ordinaires est réputé bon. Toutefois, il doit encore s'enrouler exactement sur l'empreinte en fonte ou couronne de barbotin représentant le cabestan qui permettra sa manœuvre à bord. Le cabestan à empreinte a été adopté en 1840.

Il n'est pas question de traction *avec* choc avant les essais pratiqués en 1899 sur des bouts de chaînes mixtes en acier⁸⁸. Nous n'avons trouvé que cette allusion, mais ces essais sont probablement plus anciens. Jean Berthiau signale l'achat en 1912 d'une machine de rupture de 450 t à la maison Farcot, sans donner de précision⁸⁹. Les charges d'épreuve et de rupture des dernières chaînes de Guérigny (en acier) sont les suivantes : chaînes soudées ordinaires, de 19 à 83 mm, 17 et 28 hbar ; chaînes soudées à étau à haute résistance, mêmes calibres, 24 et 44 hbar⁹⁰.

Le dernier maillon des chaînes de mouillage est attaché par une manille à un émerillon (fig. 29) fixé à l'ancre par la cigale ou organeau. L'émerillon est formé de deux pièces dont l'une peut tourner sur elle-même indépendamment de l'autre. Il empêche ainsi la formation de torsades dans la chaîne et lui permet de bien s'enrouler sur la couronne de barbotin. Baudin écrit que les émerillons sont distribués tous les 30 m, mais Alphonse Hauser n'en dit rien dans son manuel de construction navale de 1886. Manilles et émerillons sont fabriqués aux forges de La Chaussade, les émerillons étant les pièces les plus chères au kilo du câble-chaîne, utilisant les mêmes matières que les anses de manille. Les maillons sont goudronnés avant l'expédition.

Pendant longtemps, et surtout au début de la fabrication, alors que toute la flotte est à équiper, les câbles-chaînes sont la première production des forges de Guérigny : en 1830, elle représente 57 % en valeur et 62 % de la valeur du parc en service. Lors de sa tournée de 1837, l'ingénieur Tupinier (1779-1850), directeur des Ports, constate que la situation est difficile⁹¹. La quantité jugée nécessaire à l'armement de la flotte, un quart en sus pour la réserve et l'assortiment, est de 524 km. L'existant, à bord et en magasin, n'est que de 287 km (calibres 6 à 60 mm). Le déficit ne pourrait être résorbé qu'en neuf ans, compte tenu des pertes de chaînes. Guérigny en a produit 300 km de 1830 à 1837. La situation est d'autant plus sérieuse que la supériorité des câbles-chaînes conduit à y recourir pour les grelins et même pour les mâtures.

Trente ans plus tard, les stocks sont pléthoriques : la situation des câbles-chaînes reproduit celle des ancres⁹². Le ministre ordonne la constitution à Guérigny d'un approvisionnement de prévoyance de cent maillons dans chaque numéro réglementaire. La réduction du calibre des barres afin d'utiliser les stocks est ordonnée en décembre 1869, mais il a d'abord fallu y renoncer car les fers réduits perdent une partie de leur faculté d'allongement sans perdre de résistance à la rupture. En prenant des précautions, on a obtenu des maillons résistant aux épreuves de réception, au prix de 15 % de dépense supplémentaire. L'inspecteur général Cros (1805-1872) souligne que les ports accumulent d'autres productions de Guérigny, et le ministre doit prier Dupuy de faire cesser les commandes abusives.

87 Nous suivons ici Bernet, dans son étude de 1870.

88 Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 462. Un essai de traction avec choc d'une maille de 30 mm a eu lieu lors de la visite de la délégation des ports de la commission extraparlamentaire de la Marine le 22 juin 1896. BB^s-1193, 5^e volume imprimé, p. 21.

89 Jean Berthiau, *op. cit.*, p. 35.

90 *Ibid.*, p. 61.

91 Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 26 (*Rapport sur le matériel de la Marine*, 1838, p. 118-120 et annexe 3).

92 *Ibid.*, p. 433.

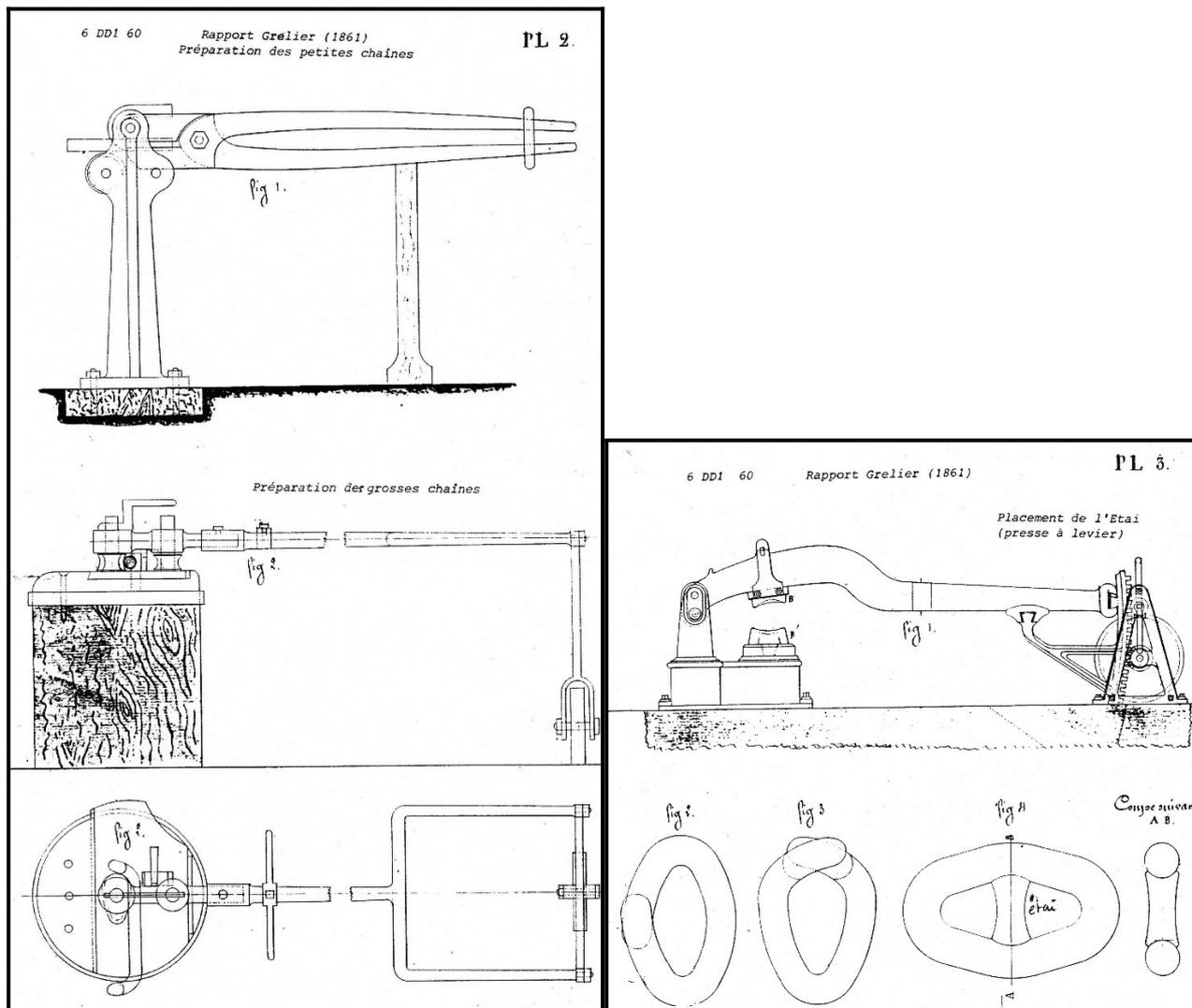


Fig. 28 : fabrication manuelle des câbles-chaînes à Guérigny (1823-1890). Sur la planche de droite, noter la soudure des mailles à l'anglaise (à gauche) et la soudure française (maille du milieu). La planche de gauche montre deux dispositifs rudimentaires de cintrage des barres de fer. Dessins du maître Grelier rapport de janvier 1862).

Des industriels se sont intéressés à la production des ancres et des chaînes pour la marine marchande et pour l'exploitation minière. Plusieurs chaîniers se sont fait un nom : David au Havre, Babonneau à Nantes, Dorémieux à Saint-Amand-les-Eaux et Marrel à Marseille et Rive-de-Gier. Si Marrel est devenu l'un des principaux fournisseurs de la Marine pour les fers et les blindages, il fabriquait aussi des ancres. Guérigny fournissait à titre de cession des chaînes pour des clients privés, lorsque Paris lui en demandait. Moras rapporte qu'en 1866, la Marine a engagé verbalement les Messageries maritimes à se fournir désormais à l'industrie, pour prévenir les plaintes de celle-ci. L'année suivante, la commission de la Marine à l'exposition universelle voit avec satisfaction, à propos de Dorémieux, « l'industrie française se développer dans une branche qui intéresse la Marine et pourvoir ainsi elle-même aux besoins de la marine marchande, sans que celle-ci soit obligée de recourir aux ressources de nos arsenaux ». Colbert, qui a dû fonder les arsenaux portuaires sur la carence de l'initiative privée (et ses successeurs les surcharger d'ateliers en régie), aurait été enchanté de l'apprendre.

Mais la conclusion à tirer de ces deux propositions n'est-elle pas que la Marine devait se fournir elle-même auprès de l'industrie pour ses ancres et ses chaînes, et conserver ses forges pour de nouvelles productions justifiées par la situation de l'industrie ? Ces phrases sont d'ailleurs décourageantes pour le personnel de l'établissement d'État, elles éteignent l'émulation et elles risquent de le conduire au repli sur les positions acquises et de lui faire tourner le dos au progrès. Cet état de fait prolonge une situation administrative qui soumet la moindre décision à l'accord du ministre ou à la contradiction d'un organe représentatif qui devrait y

rester étranger, si les dépenses n'étaient pas des deniers publics et Guérigny une régie directe. Elle est contraire à tout esprit industriel, et la nature a fini par prendre le dessus.

La mécanisation de la production et l'adoption de l'acier. En 1879, deux fonctionnaires de l'arsenal de Cherbourg, l'ingénieur de Gérando (1832-1887) et le maître principal Oury, se font connaître des chaînes privés. Le premier a imaginé un système mixte de mailles en acier : une maille estampée, percée et formée à chaud, sans soudure, engagée dans une maille à soudure spirale ; l'estampage à chaud forme une soudure sur toute la circonférence de cette seconde maille. La soudure de l'acier est encore considérée comme chose difficile, alors que sa résistance et son élasticité font désirer son emploi dans les chaînes⁹³. Oury a-t-il pensé à une sorte de sculpture qui évite la soudure ? Il utilise une barre laminée profilée en forme de croix grecque dont les branches ont une extrémité semi-circulaire (fig. 31). On étampe d'abord à chaud et au pilon la barre qui est tournée d'un quart de tour pour enlever la matière en A et, après rotation, en A'. Ensuite on perce, au moyen de deux poinçons coniques, la barre chauffée aux points où les mailles doivent être découpées (en I et I'). On perce des trous plats au fond des interstices A et A'. On détache les mailles au moyen d'outils porte-tranche. La mise à la forme du maillon se fait au feu de forge ; on pose enfin l'étau.

Guérigny est prié d'essayer cette nouvelle fabrication, mais il semble qu'il n'a pas fait ce qui lui était demandé. Paris lui prête des échantillons. Oury prend alors un brevet pour son invention et cherche un industriel pour l'exploiter. Une société est créée en 1884 et, quatre ans plus tard, elle fournit dans son usine de la Loire des chaînes sans soudure des calibres 14, 16 et 18 mm dont la qualité est certifiée par le Bureau Veritas. L'inspecteur général de Bussy (1822-1903) ne voit d'intérêt que dans les chaînes de gros calibre, vu la solidité de l'acier et la difficulté de souder les grosses mailles. L'ingénieur Gallon (1833-1902), ancien de Guérigny, est circonspect : la barre doit être chauffée dix fois, sans compter deux opérations de choc à froid, la qualité finale est irrégulière (en particulier A et Rm) et les mailles sont mal calibrées. La Marine fait savoir qu'elle refuse d'essayer la chaîne Oury. Six ans plus tard, des essais ont lieu à Guérigny : Berthe de Berthe (1865-1945) admet la supériorité de la chaîne en acier sans soudure dans la résistance à l'usure et à la traction sans choc et peut-être avec choc, sous réserve d'essais contradictoires. Des échantillons sont commandés en 1895, mais la société annonce qu'elle a abandonné le système Oury pour une version améliorée du système Gérando. La livraison traîne en longueur, alors que l'opération est importante pour la société. Peut-être son attitude désinvolte s'explique-t-elle par le succès obtenu au Bureau Veritas en 1896 : les chaînes en fer peuvent être remplacées par des chaînes en acier d'un calibre très inférieur, ainsi la chaîne en fer de 19 mm laisse la place à une chaîne en acier de 14 mm, et celle de 56 mm à une chaîne de 42 mm. Le poids au mètre courant, dans ce dernier cas, passe de 68,6 à 39,7 kg.

au fer puddlé de Fourchambault, mais il nous dit ensuite que le fer à câbles provient de fontes au bois « affinées selon la méthode française ». Ces fers, précise-t-il, ne sont pas étirés, mais forgés au marteau à panne semi-cylindrique. Le fer est donc momentanément mis en œuvre comme avant. À la serrurerie de Villemenant, on ressort aussi les soufflets à main quand il n'y a pas d'eau.

Baudin, qui en donne la description la plus ancienne, résume ainsi la fabrication des câbles. On étire aux cylindres le fer de l'affinerie en barres rondes selon le câble à produire. On découpe à chaud les barres par bouts égaux et en biseau pour former l'amorce de la soudure, puis on plie les bouts afin de former les demi-mailles. On confectionne à part les émerillons, manilles et étais. On soude la maille au feu de forge, on place l'étau à l'aide d'une presse à levier et, éventuellement, l'émerillon et la manille. Les maillons assemblés de 30 m sont essayés à la presse hydraulique.

⁹³ Par exemple, la température de travail de l'acier est inférieure à celle du fer, bien que variable selon le mode de fabrication, et difficile à distinguer par les ouvriers. L'année suivante, Gérando déclare cependant qu'ils préfèrent maintenant travailler l'acier, qui demande finalement moins de précautions que le fer ; c'est le travail de la tôle d'acier qui est délicat. Gérando a en vue la réduction des diamètres des chaînes ou leur utilisation dans de plus grands navires.

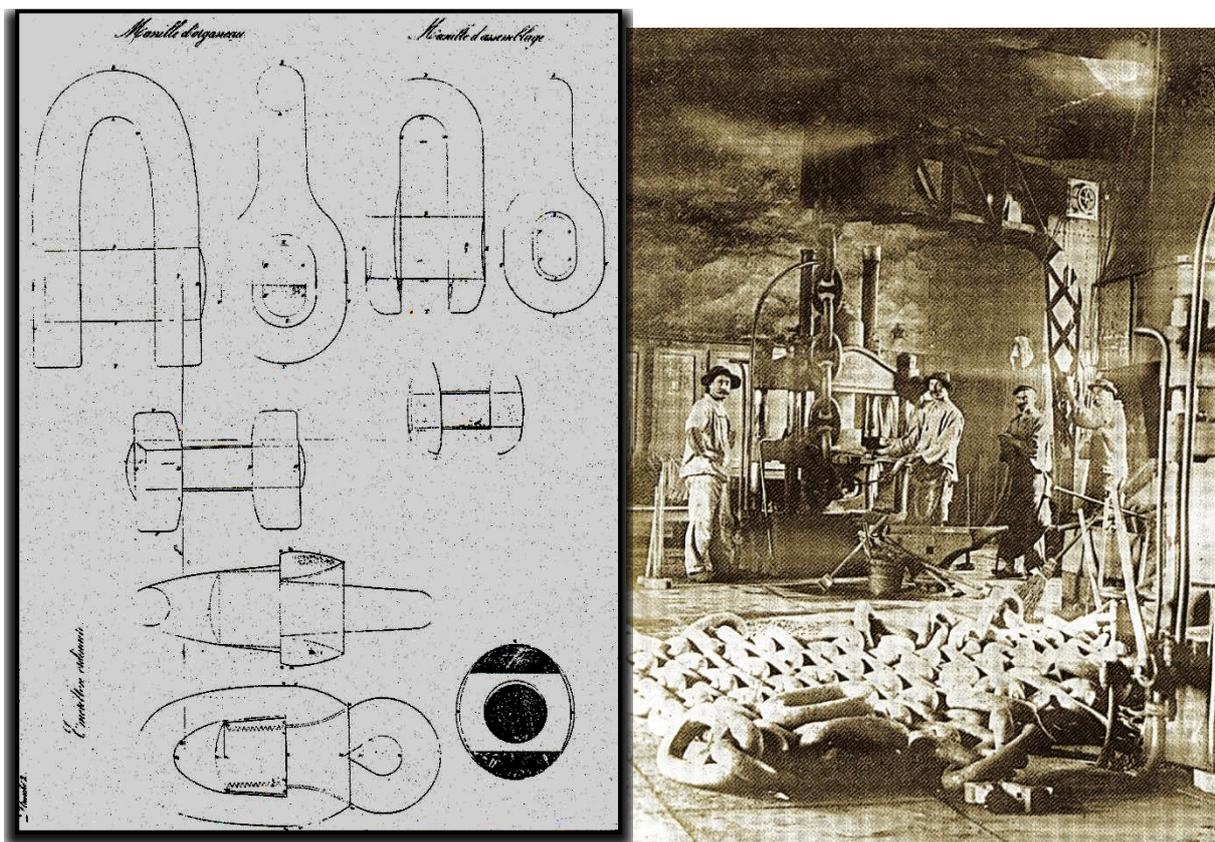


Fig. 29. Manilles et émerillon. *Annales maritimes et coloniales*, 1837, 2^e partie (non officielle), tome II.

Fig. 30. Poste de soudage de grosses chaînes après 1910. On voit, au poste du fond, la grue de manutention du maillon en cours de fabrication et la presse à étai. On devine tout à droite le feu de forge et une autre presse. Au premier plan, un maillon terminé, avec une première maille dissymétrique. *Cl. FNC*.

L'ingénieur Henry (1852-1943), autre ancien des forges et futur directeur, se rend à l'usine de La Massardière en 1898 : il ne doute pas, lui, de la supériorité de la chaîne mixte en acier. On se sert de l'acier du Creusot ($R_m = 40$ à 45 hbar, $A = 25$ à 30 %). Les mailles sans soudure proviennent de plats coupés en morceaux, d'une épaisseur un peu inférieure au calibre, qui sont étampés, étai compris, au marteau-pilon en une ou deux chaudes. Les mailles soudées proviennent de barres rondes, débitées en tronçons et au calibre final. La première chaude est peu prononcée, de sorte que les tronçons sont enroulés ; l'anneau est ouvert, on passe les deux mailles sans soudure, on le referme en aplatissant un peu les deux bouts l'un contre l'autre. Ensuite on chauffe au blanc : trois chaudes, suivies de martelages à bras et sous le pilon (pour la dernière), sont nécessaires pour la soudure. La maille, qui est alors circulaire, est ovalisée sur l'étai en acier, au marteau à bras. La soudure est placée, autant que possible, à l'une des extrémités du grand axe du maillon. Les dimensions extérieures sont vérifiées. Les maillons terminés sont trempés à l'eau puis recuits, les températures étant déterminées de manière à augmenter la striction qui mesure mieux les déformations du métal à la flexion avant la rupture. D'après les expériences faites, le métal traité est supérieur au métal naturel à la flexion, après incision des barrettes. Un dernier recuit précède l'essai à la presse : la charge de rupture varie de 35 à 42 hbar, l'allongement total de 18 à 36 %. La rupture se produit le plus souvent sur une maille soudée.

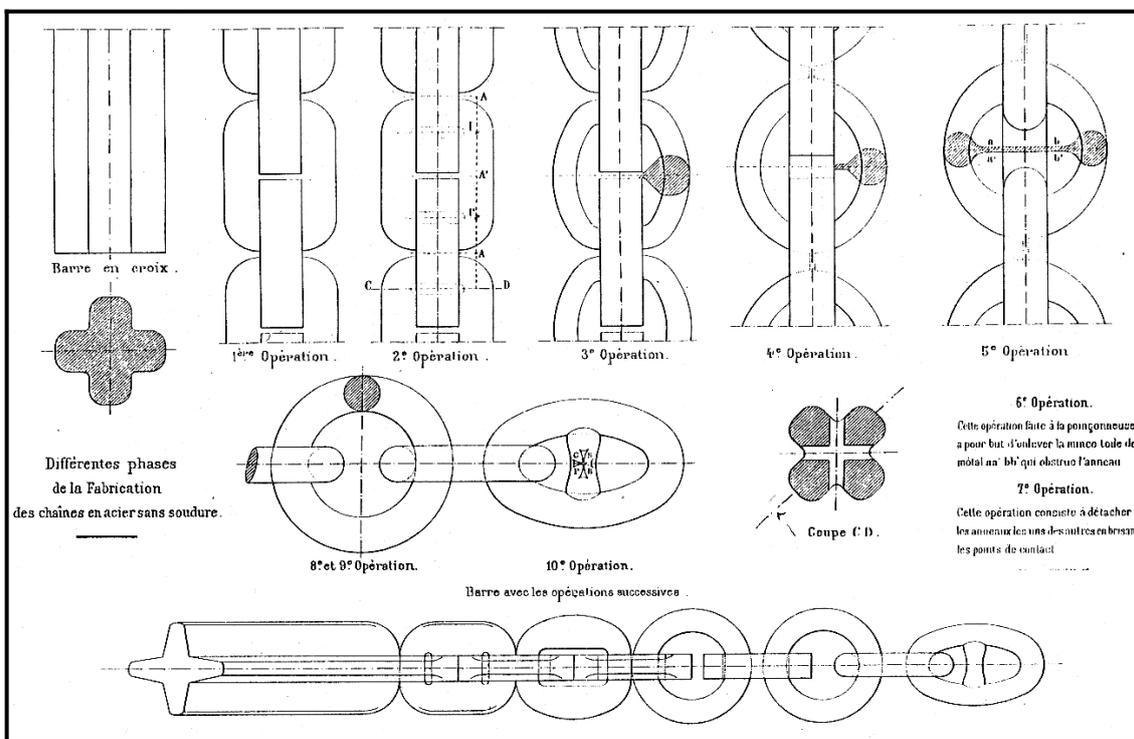


Fig. 31 : fabrication de la chaîne Oury, 6DD¹-156, dessin joint à la lettre de Gallon du 9 août 1888.

Le directeur de la surveillance, Lemaire (1839-1915), le supérieur d'Henry par conséquent, ne comprend pas que la société n'ait pas livré les bouts d'essai demandés il y a plus de deux ans. Quant au sous-directeur Causeret (1851-1941), il s'imagine que la fabrication a été abandonnée. L'essai comparatif a lieu finalement en 1899 sur des petits calibres (12 à 18 mm) et tourne à l'avantage du fer : la résistance sans choc de l'acier est à peine supérieure et il y a eu des dessoudures à l'essai au choc. La fabrication des chaînes en fer subsistent pour la marine de l'État jusqu'en 1926.

Les calibres ont longtemps été compris entre 6 à 60 mm ; les calibres 4 et 5 ont été introduits et, en 1866 puis 1879, il est question du calibre de 72 mm ; l'augmentation du tonnage des cuirassés entraîne de nouvelles augmentations de calibre qui rendent les méthodes manuelles impraticables. En 1890, une machine à préparer les mailles est mise en service pour les calibres de 28 mm et supérieurs⁹⁴. Huit ans plus tard, l'interposition entre les amorces d'une plaque décapante Lafitte augmente grandement la qualité des soudures. Quatre postes de confection de grosses chaînes sont modernisés en 1910 : la presse à levier est remplacée par une presse hydraulique, et la potence, simplement munie d'un crochet, fait place à une grue équipée de deux couronnes à gorge actionnées par un moteur électrique, qui évite de traîner sur le sol le bout de chaîne et permet de placer la maille en cours à la bonne hauteur. Cette modernisation, qui se poursuit lors du transfert de l'atelier des chaînes dans l'ancienne tôlerie en 1927 est de courte durée par suite du changement de mode de fabrication des chaînes.

Un directeur de l'établissement, l'ingénieur général Romazzotti (1855-1915), plus connu pour ses travaux sur les sous-marins, pratique des essais de soudure de l'acier par étampage de demi-mailles, qui le conduisent à déposer une demande de brevet en 1909. Le type de mailles régulières *en acier* étampé (R.A.E.), dont la résistance à la rupture est de 50 hbar à l'état recuit, 60 hbar à l'état trempé et revenu, est adopté en 1926 pour les calibres 52 mm et au-dessus, l'acier extra-doux soudable l'étant pour les calibres inférieurs. Les manilles d'assemblage sont remplacées par des manilles démontables. Le four électrique à arc de 1,5 t installé pendant l'occupation allemande permet à Guérigny de fabriquer son acier soudable pour chaînes, alors que l'aciérie Martin de 1900 rendait cette fabrication si difficile que l'acier soudable a été acheté jusqu'en 1950⁹⁵. La soudure par résistance électrique fait ses débuts en 1923 pour les petites chaînes. Enfin la soudure par étincelage des grosses chaînes commence en 1950. La résistance à la rupture dépasse de 25 % celle des chaînes R.A.E. et de 60 % celle des chaînes en fer. Le nouveau procédé a de plus l'avantage d'être beaucoup moins coûteux que l'étampage.

⁹⁴ Jean Berthiau, *op. cit.*, p. 73-82.

⁹⁵ Note du directeur Fèvre (1897-1957) à la D.C.C.A.N. du 5 mai 1950.

2.5. La clouterie⁹⁶.

Les forges de Guérigny produisaient déjà des clous forgés du temps de Babaud de La Chaussade. En 1800, les ateliers sont installés à Cosne et au Greux. Celui de Cosne est reconstruit en 1850, puis, en 1859, un atelier neuf et plus vaste est ajouté à Villemenant pour 150 ouvriers et surveillants. Nous reprenons ici la description de la fabrication des clous à Villemenant donnée par le maître Grelier dans son rapport de 1862, corrigée par d'autres lectures afin de remédier au moins en partie au caractère confus du document⁹⁷.

Les cloutiers travaillent par groupes de dix autour de feux de forge à base circulaire, fonctionnant à la houille et à air chaud avec hotte rabattue, afin que le feu ne gêne pas trop les hommes pendant le travail. Le poste de travail de chaque cloutier comprend un billot sur lequel sont montés le pied d'étampe, une petite enclume dite place et le tranchet, qui servent respectivement à étirer la pointe du clou, à parer le corps et à couper le fer pour le séparer de la baguette que l'ouvrier tient à la main. La cloutière est un outil circulaire en fonte percé d'un trou dans lequel on introduit la pointe préparée du clou avec le corps et sur laquelle on façonne la tête. Elle est également fixée sur le billot et amovible, chaque modèle de clou ayant sa cloutière. Pour la grande clouterie, on se sert de petits martinets de 8 à 10 kg.

On utilise le fer en verge, laminé ou mixte (laminé et martelé). La fabrication des rivets exige du fer martelé ou au moins mixte, pour que la rivure résiste au choc lorsqu'on écrase le fer : il faut des fers ronds, provenant de lopins affinés au bois et martelés puis réchauffés au four et passés au laminier.

Le travail décrit par Grelier comprend trois opérations. On coupe à la cisaille les barres de fer qui ont le diamètre (ou la section car les clous de bordage sont de section carrée) par parties égales et d'une longueur convenable, afin que le refoulement laisse assez de fer pour former la tête. Quand le fer est refoulé⁹⁸ sur l'enclume, on équarrit la tête ; puis on le remet dans la cloutière pour la parer. Enfin, on prend le clou avec une tenaille et on le fait chauffer pour faire la pointe, sans forger la tige, ce qui fait que le clou tient mieux dans le bois qu'à l'époque où elle était forgée elle aussi.

Pour la moyenne clouterie, chaque ouvrier cloutier a un apprenti qui lui sert de frappeur et, avec cet enfant, il peut faire jusqu'à 1 400 kg de clous à bordage de 20 à 22 cm de longueur. La menue clouterie est généralement laissée aux apprentis. Chaque enfant a toujours plusieurs baguettes à chauffer pendant qu'il en travaille une. Il forge d'abord la pointe, étire la tige puis coupe au tranchet une longueur suffisante pour faire un clou, sans le séparer entièrement de la baguette, dont il se sert pour le placer dans le trou de la cloutière, et rabat et façonne la tête du clou, qu'il fait ensuite sauter pour en recommencer un autre. Un bon cloutier fait ordinairement un et même deux clous par chaude, suivant la grosseur.

96 Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 117-121 et 236-237.

97 *Encyclopédie*, texte, article Clou et planches, article Cloutier grossier, dus à Diderot ; *Dictionnaire technologique ou Nouveau dictionnaire universel des arts et métiers et de l'économie industrielle et commerciale*, 22 volumes de texte sur une colonne et 2 volumes de planches, Paris, Thomine et Fortic, 1822-1835. Ce dictionnaire sérieux, plus lisible que les deux éditions de l'*Encyclopédie*, est dû à plusieurs scientifiques éminents, dont le mathématicien Louis-Benjamin Francœur (1773-1849). Il a fait l'objet d'une édition abrégée en 6 volumes, puis d'une réédition en 2 volumes sur 2 colonnes parus à Bruxelles chez J. Jamar en 1839. La référence du rapport de Grelier est la suivante : « Rapport sur les forges de Guérigny, Rive-de-Gier, Le Creusot, Indret, Brest et Lorient, ainsi que sur les opérations galvanoplastiques faites dans l'établissement de Monsieur Émile Martin demeurant à Paris, faubourg Saint-Denis », 14 janvier 1862, 6DD¹-60, n°1009.

98 Battu en sortant du feu ou, plus spécialement, frappé afin d'augmenter sa section, si elle est insuffisante. Telles sont les définitions courantes, mais Grelier parle d'une mise au feu après le refoulement, et non avant. On voit que de vrais forgerons pourraient éclaircir les descriptions obscures ou inexactes, et qu'il est temps de faire appel à eux car les grands ateliers comme ceux que nous évoquons n'existent plus.

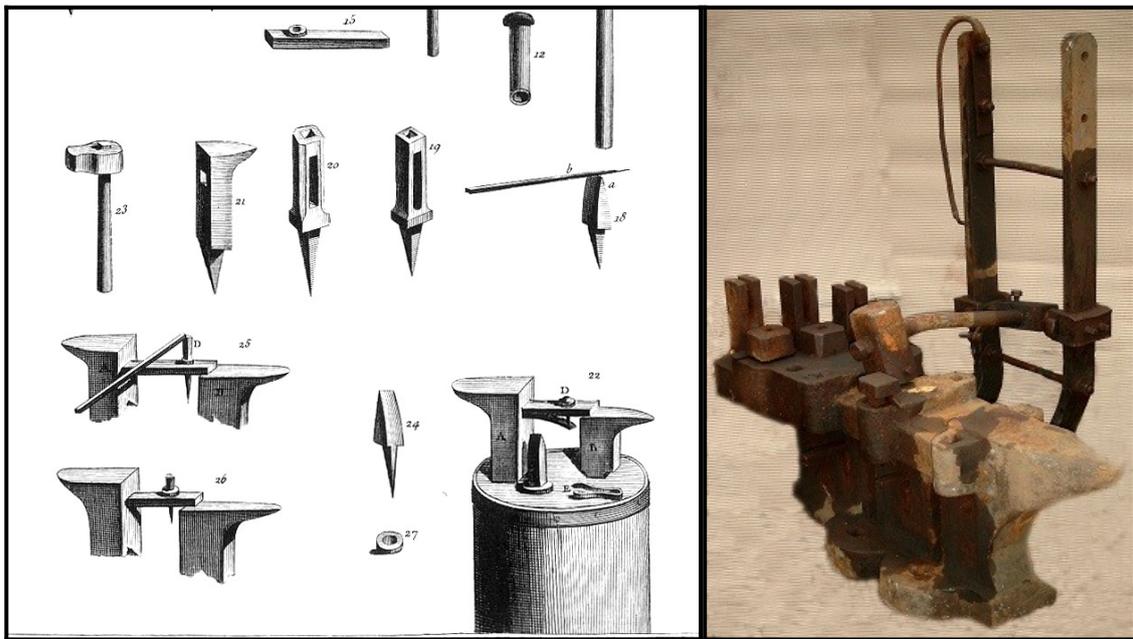


Fig. 32. À droite, une enclume-cloutière en fonte de grande taille, avec un marteau relevable (au pied ?) ; *projet d'écomusée* « Au pied de sable ». À gauche, partie de la 2^e planche de l'*Encyclopédie*, article Cloutier grossier : 22, poste de travail sur billot : A et 21, pied d'étape ; B, place ; C et 24, ciseau ou tranche ; D et 15, cloutière à clou ; E, pince ; 18, tranche ou ciseau (a, tranche ; b, baguette à couper) ; 19 et 20, cloutières à cheville ; 25, clou rompu dans la cloutière ; 26, clou dans la cloutière, la tête prête à être faite ; rondelle du ciseau 24.

Les clous forgés sont concurrencés par les clous dits à la mécanique découpés dans la tôle, dont l'invention revient encore à l'émigré Marc-Isambard Brunel (1769-1849), à l'occasion de fournitures de souliers à l'armée anglaise. Mais les grands clous forgés restent d'usage général dans la construction navale en bois.

2.6. Les objets de grandes dimensions à l'ancien (1750) et au nouvel atelier de corroyage de Villemenant (1843-1845).

Les ateliers de forge susceptibles de fabriquer les plus grandes ancres et les arbres de machine ne sont plus que deux en 1836 : Villemenant et Cosne. Ils sont étroits, et, comme nous l'avons dit, les manœuvres des corps chauds, lourds et longs sont difficiles et dangereuses en dépit de l'habitude et des précautions prises. L'établissement fabrique des arbres de machine pour les ports depuis 1827, leur longueur finie atteint 8 m et les paquets pèsent 6 t contre 2,6 t pour les verges des plus grandes ancres. Les ateliers remontent aux années 1750 et sont disposés sur un hectare environ, traversé par trois canaux issus du bief, qui mettent en mouvement cinq roues (plan de 1843 de la fig. 33). Après le portail d'entrée, on trouve l'atelier de corroyage marqué A (58 x 14 m), puis le pavillon B de la machine soufflante (décrite plus haut, § 1.3.), l'atelier des manilles et émerillons des câbles C, dit ensuite atelier de forges n° 4 (15 x 28 m), le pavillon de la machine à vapeur D, ces quatre édifices étant mitoyens. Derrière ce groupe, l'atelier d'ajustage G (24 x 13 m sans les annexes) et, fermant la cour de ce côté, la serrurerie ou atelier des forges à bras ou n° 3. Sur le plan dit de Perrin de 1807, ces bâtiments avaient une autre affectation, une partie abritait une fonderie, et cet atelier était équipé d'un four à réverbère. L'établissement n'a pas pensé à se servir de tels fours pour le réchauffage avant 1829, à l'atelier des câbles. Les demandes d'augmentation des moyens de corroyage formulées en 1836 sont honorées trois ans plus tard⁹⁹.

L'atelier de corroyage marqué A sur le plan de 1843 abrite deux gros marteaux, dont un récent (fig. 9) et dont l'établissement voudrait porter la masse de 460 à 1 260 kg, avec changement de l'une des grues, afin de supporter des ébauches de 8 t et d'augmenter la volée à 6,5 m. Il faut en conséquence élargir la roue motrice et son coursier de façon à accroître la puissance du marteau. Deux feux mobiles de corroyage sur rails visibles sur

⁹⁹ Plans approuvés le 2 mars 1839, DD²-716, n° 36a à 36e. Un ordon a reçu une tête de 990 kg en 1842.

la fig. 34 (l'un se déplace en translation, l'autre est mobile en rotation) sont un moyen d'élargir l'atelier¹⁰⁰. Cette astuce est une attente, à laquelle l'invention du marteau-pilon va mettre fin.

Le ministre autorise l'installation des deux premières machines à vapeur en 1841 : la première vient soulager la roue de la soufflerie qui a été décrite plus haut, elle fait 10 ch, la seconde, paraissant identique, supplée la roue hydraulique de l'ajustage. Ce dernier atelier est bien modeste, on demande son doublement, qui devra attendre les grands travaux de 1855. Le directeur Louis Zeni (1793-1865) voudrait relier l'atelier de serrurerie et ses 13 feux à bras à cette soufflerie, chaque fois que la machine à vapeur serait mise en action : il faut augmenter la longueur de la tuyauterie, ce qui est accordé. Pourtant, notre visiteur de 1833 a constaté que l'atelier était déjà alimenté par la soufflerie (§ 1.3.). La machine a dû servir souvent à cette fin afin de suppléer la roue dont le fonctionnement est intimement lié au régime des eaux de la Nièvre, à l'état du bief et des ouvrages hydrauliques de Villemenant et au fonctionnement des usines en amont : cet état a dû souvent être médiocre par défaut d'entretien, se plaint l'inspecteur général des Travaux hydrauliques Félix Reibell (1805-1867) en 1855.

L'avant-projet de travaux pour 1843 comporte un bâtiment neuf pour abriter le premier marteau-pilon à vapeur, qui va être édifié, alors que le projet de martinets pour la serrurerie sommeille jusqu'en 1847. Ce qui rend ce dernier dossier intéressant, c'est que les martinets doivent fonctionner à la vapeur à la place de la force hydraulique. L'atelier, qui doit être partiellement reconstruit (repères FYEJ sur la fig. 33), s'en privera en entier, de même que l'atelier d'ajustage à agrandir (repères Gv), si bien que le bras qui alimente les deux roues (repère n sur la même figure) doit être détourné. Les deux autres bras subsistent pour les ateliers ABCD (jusqu'en 1884 au moins), puis ils sont comblés ainsi que le bief lui-même après suppression de ces ateliers.

100 Un tuyau sur le côté de l'un des rails amène le vent par deux buses qui y sont ajustées et qui se rabattent lorsque le feu doit être éloigné de l'enclume pour le martelage (fig. 16). La légende de la planche du rapport de Vanéechout reproduite dans Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 90-91, porte que l'ajustage des buses sur le tuyau est tel que, dans ce mouvement, les ouvertures d'air soient bouchées. Il semble que ces ouvertures sont ménagées régulièrement sur le tuyau et que l'on progresse par stations, au fur et à mesure que les mouvements des pièces l'exigent. Les rails ont environ 4 m de longueur (l'atelier mesure à peine plus de 12 m de largeur), et la position extrême est face à l'enclume.

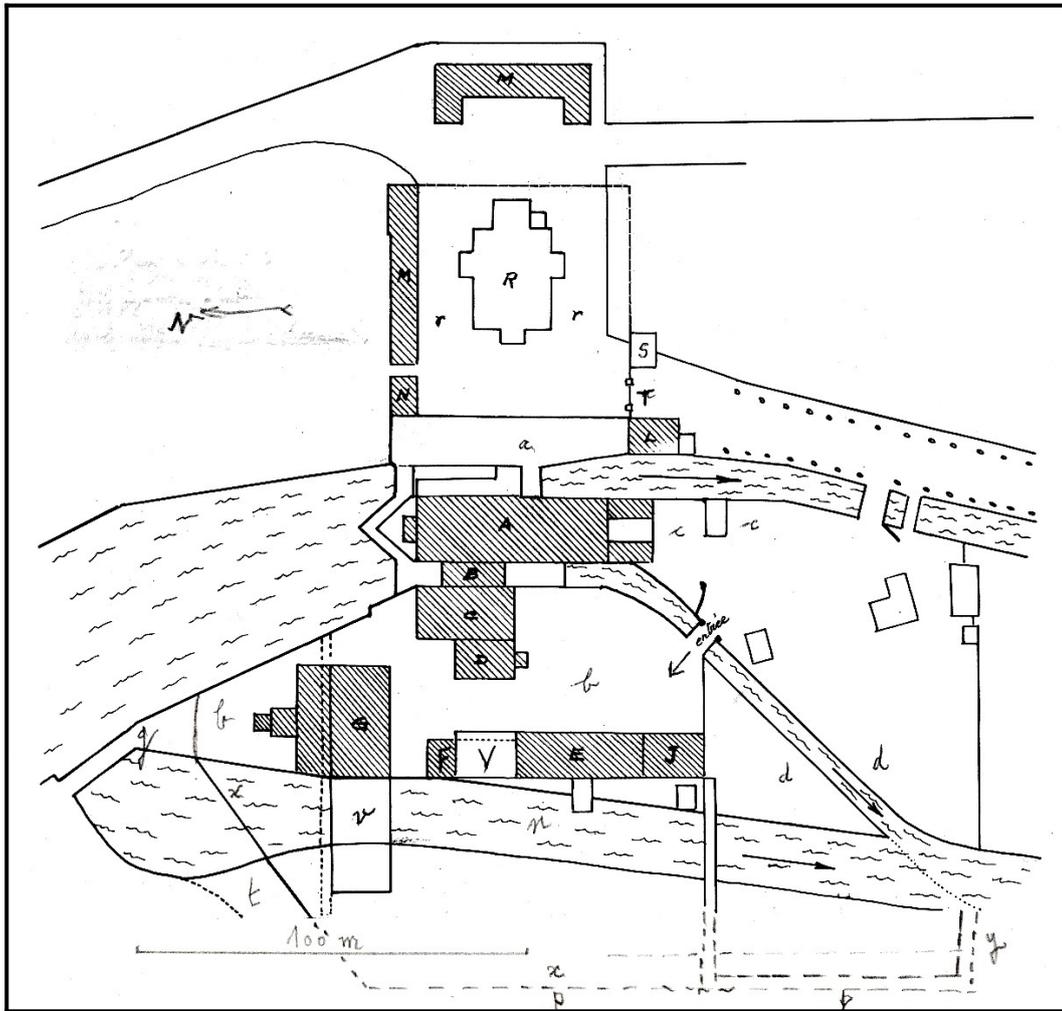


Fig. 33. Plan du groupe de Villemenant, avec le projet d'atelier R du pilon, approuvé le 26 mai 1843.

- A : Atelier de corroyage modifié en 1843-1845
- B : Pavillon de la machine soufflante
- C : Atelier des manilles et émerillons
- D : Pavillon de la machine à vapeur
- E : Atelier des forges à bras (annexe F)
- G : Atelier d'ajustage
- J : Bureaux
- L, M, N : Logements
- R : Nouvel atelier de corroyage, à vapeur (l'ajustage et les petites forges sont à convertir en entier à la vapeur)
- V : Agrandissement de l'atelier des petites forges
- b : cours
- g : Déversoir du bief de Villemenant
- n, t : Bras à détourner (abandon de n)
- xx, yy : Mur d'enceinte à agrandir
- v : Agrandissement de l'atelier d'ajustage
- cc, dd : Magasins découverts.

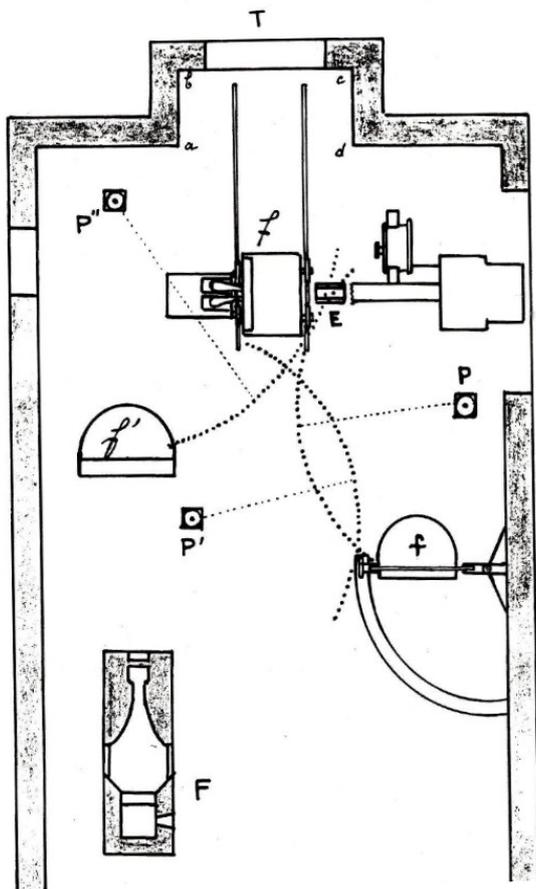


Fig. 34. Plan partiel de l'atelier A de corroyage hydraulique. L'atelier comprenait deux ordons. On le voit ici dans son dernier état, celui de 1841, avec les feux mobiles et le four à réverbère pour le réchauffage.

f : Feu qui se rabat contre le mur lorsque les pièces chauffées au four sont martelées (E).

f : Feu mobile sur chemin de fer

f' : Feu fixe

F : Four à réverbère

E : Enclume

P P' P'' : Poinçons des grues

PILON A VAPEUR.

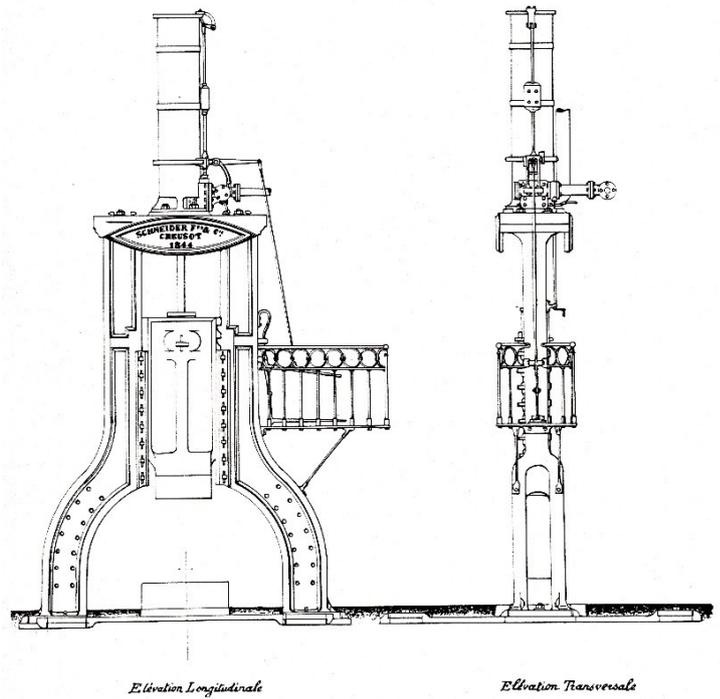


Fig. 35 (ci-dessus à droite). Élévations du premier marteau-pilon des forges de La Chaussade.

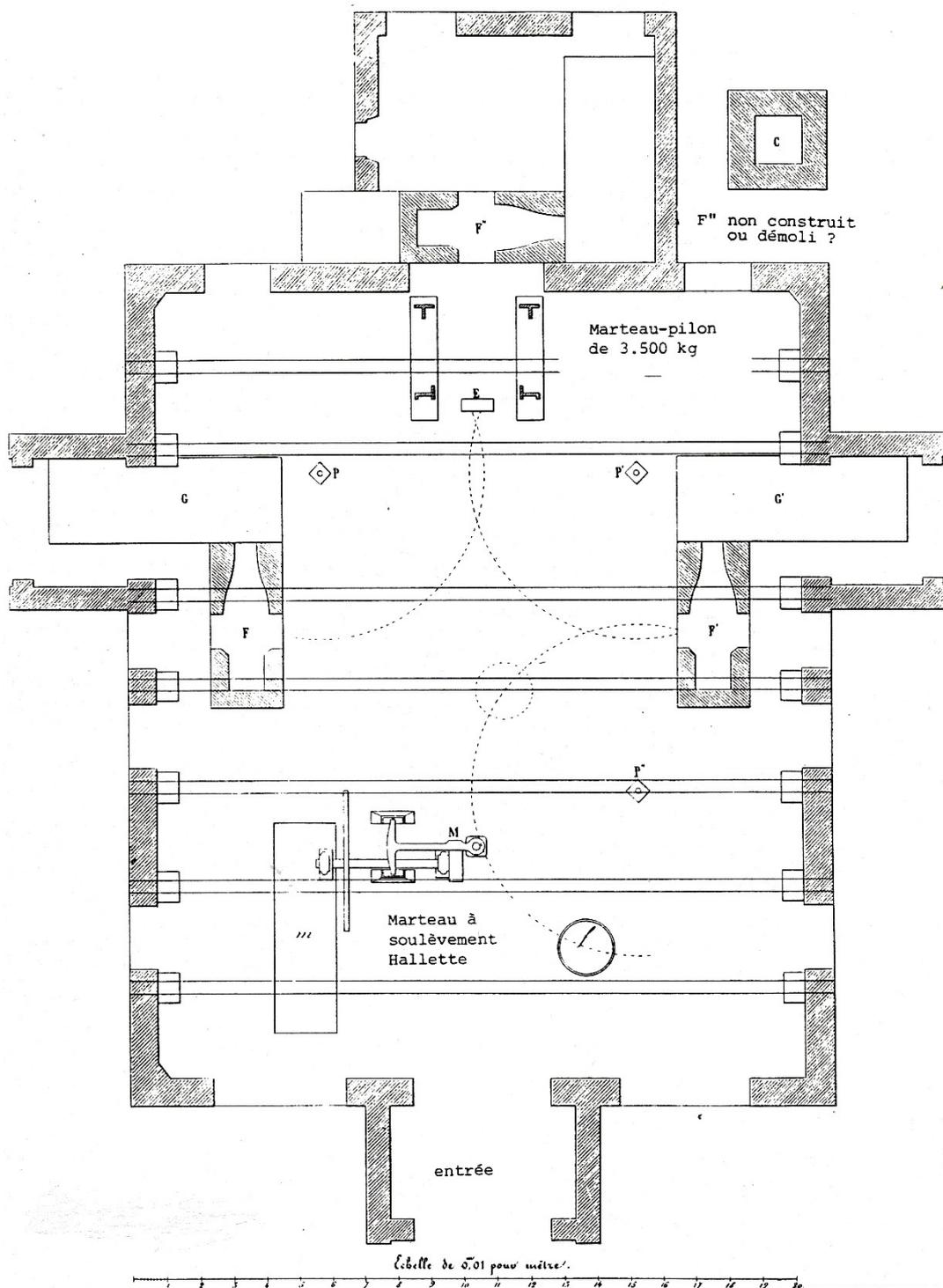


Fig. 36. Plan du nouvel atelier de corroyage (1843-1845).

- m : machine motrice du marteau à manche en fonte Hallette.
- E : enclume du marteau-pilon de la planche 33.
- G G' : chaudières chauffées par les flammes des fours du pilon.
- F F' F'' : fours à réverbère.
- C : cheminée commune aux trois fours.
- f. : feu mobile.

Le devis d'exécution du bâtiment du pilon — marqué R sur le projet de la fig. 33 et tourné de 90° pour indiquer, probablement la direction des futures constructions le long du bief, ce qui est une grave erreur — comporte une dépense de 125 000 F, la plus grande depuis longtemps sinon depuis toujours pour un seul objet. Le Conseil des travaux a jugé plus utile de construire l'atelier de grandes forges demandé par Toulon et

considéré que l'équipement d'Indret pouvait suffire aux besoins des ports du Ponant. L'ingénieur Boucher, successeur de Tupinier à la direction des ports, ne l'entend pas de cette oreille. D'abord la construction de l'atelier de Toulon n'est pas pour demain, vu qu'il faut d'abord agrandir l'arsenal. Ensuite il importe de permettre à Guérigny de forger les plus grosses pièces, si l'on veut qu'il soit utile aux ports. La déclaration suivante pourrait s'appliquer à l'aciérie ou à l'atelier des blindages : « Il ne faut pas qu'un établissement si bien placé sous le rapport des approvisionnements et dans lequel la Marine dépense un million et demi à deux millions par an soit, pour certaines parties importantes du service, réduit à l'impuissance ou forcé de faire usage de procédés défectueux. » Cette politique, qui est bonne, s'oppose à celle des ports qui parviennent à s'équiper pour des productions qui doivent ou peuvent être exécutées à Guérigny. Jean Berthiau estime avec raison que les ports ont longtemps été des concurrents plus dangereux que les industriels¹⁰¹.

Le nouvel atelier est prêt à fonctionner en août 1845. Les murs épais et renforcés par des porches sont faits pour soutenir les efforts transmis par les grues à la charpente en bois (fig. 36). Les trois chaudières à flammes perdues sont placées sous ces porches, chacune récupérant la chaleur d'un four à réverbère. L'espace libre dans ce vaste atelier permet de travailler des pièces de 9 à 10 m de longueur. Le marteau-pilon, d'une force de 3,5 t, a été acheté au Creusot. La supériorité du nouveau marteau sur les marteaux hydrauliques a été illustrée plus haut (§ 1.5.). Il disparaît de l'atelier en 1866. Le marteau à soulèvement et la machine de 20 ch qui complètent l'équipement ont été commandés à la maison Hallette d'Arras. Ce marteau en fonte pèse 4 000 kg et donne une levée de 25 à 30 cm sur des pièces de 50 cm d'épaisseur. Il a été démonté sans bruit en 1855 lors de l'agrandissement de l'atelier du pilon, sans avoir beaucoup servi semble-t-il ; en revanche sa machine à vapeur va faire un long service à la tôlerie.

En trois ans, le renouvellement de presque tous les moyens de corroyage des forges de La Chaussade a été décidé à Cosne (2 ordons dans un bâtiment neuf), à Ville-menant (2 ordons, un marteau-pilon et un marteau en fonte) et à Demeurs (3 ordons). La sous-utilisation de ces moyens est la suite de la politique qui a consisté à autoriser les ports à s'équiper bien au-delà de leurs besoins et aussi de leurs compétences.

Nous dirons pour finir un mot du travail à la tâche. Cette forme de travail, dit en société ou à l'entreprise, ou à la tâche lorsque le poste est individuel, domine aux forges, comme dans l'industrie métallurgique : il est supprimé dans la Marine en 1902, alors qu'il représente environ les deux tiers des gains¹⁰². Les tâches sont exécutées par des équipes qui ont une part plus ou moins grande aux gains : leur paie résulte donc de la valeur attribuée par le tarif à chaque travail et à la part du travail reconnue à chacun.

101 Jean Berthiau, *op. cit.*, p. 14.

102 Voici trois exemples, pris en 1824, 1835, 1836. La grosse forge de Demeurs affine la fonte au bois et produit des fers pour paquets d'ancres, des barres, des ébauchés divers et des mises pour pattes d'ancres. Le tarif de 1833 accorde un prix de façon à la tonne et des consommations de fonte et de charbon de bois à ne pas dépasser (les récompenses et les amendes ne sont pas mentionnées). En 1835, l'atelier comprend un marteleur et six forgerons à 1,65 part par jour et trois gâts de forge à 0,75 part. Les forges paient donc 13,8 parts par journée de travail, quand l'effectif de 10 hommes est au complet. On travaille en équipes, selon le mode de production. L'atelier n'a travaillé que dix mois. Les ouvriers ont acquis 2 971 parts et reçu 5 653,83 F pendant ce laps de temps, soit un prix de la part de 1,90 F, pour une moyenne générale de 2 F aux forges. L'atelier a produit 207,2 t de fer, utilisant un peu moins de fonte et un peu plus de charbon de bois qu'il n'en est prévu. Le chef de section propose de maintenir le tarif en 1836, vu que la machine soufflante et le harnais du marteau sont en mauvais état, et que le charbon est mélangé de cailloux et de terre. L'année suivante, la production augmente, ainsi que la valeur de la part (2,01 F).

Le haut fourneau de Chantemerle n'a travaillé que pendant 88 jours en 1835 et produit 167 t de fonte. Les dix ouvriers sont des temporaires, sauf le fondeur attaché aux forges et occupé ailleurs ou à l'entretien du haut fourneau quand il ne produit pas de fonte. Tous ont des parts dans la production.

Le bordereau de salaires de l'atelier de clouterie de Cosne en janvier 1826, d'après le tarif de 1811, indique que les 36 ouvriers sont rémunérés à la tâche : le tarif est *individuel* comme le travail, et uniforme, ne dépendant que de la taille des clous à confectionner. La récompense et l'amende s'appliquent à l'ouvrier comme au contremaître, lequel est payé à la journée. Les salaires versés en janvier 1826 varient de 8,14 F à 103,17 F, soit 4,30 F environ par jour de travail, une somme assez considérable aux forges.

Les tarifs de 1867 à 1902 comportent des amendes pour malfaçon, mais pas pour excès de consommations. Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 133-141.

3. La nouvelle usine (1855-1890).

Nous disposons d'un état complet de l'équipement des forges de La Chaussade au 15 septembre 1878. Il est résumé sous forme de chiffres dans le tableau n° 2 ci-dessus¹⁰³. Nous donnons succinctement les motifs de la construction des trois ateliers qui forment le nouvel établissement, leur outillage d'origine, les changements dans la production et l'outillage jusqu'en 1878, et de 1878 à 1890, dans la mesure où nous les connaissons¹⁰⁴. Les autres ateliers du groupe de Villemenant ont été agrandis et modernisés sous le Second Empire également, mais il n'en sera pas question ici. Sans entrer dans le détail des autres questions évoquées dans notre mémoire de maîtrise et reprises dans un autre ouvrage¹⁰⁵, nous devons évoquer la question de la comptabilité, qui concerne les établissements industriels de l'État et s'étend à toute la comptabilité publique, dont les insuffisances irritent à bon droit des parlementaires soucieux d'exercer le pouvoir de contrôle de l'administration qui est nécessaire à la discussion des budgets, première prérogative de tout organe représentatif et législatif.

Cette question tire avec elle, quand il s'agit des arsenaux, celle de leur existence même ou au moins de la répartition des travaux avec l'industrie nationale. Les arsenaux n'ont pas de comptabilité industrielle, et les affirmations relatives à leurs frais généraux ne suscitent plus que la méfiance. Guérigny est placé en première ligne, à cause de la commission mixte de la Marine de 1878-1882, composée de fonctionnaires et de parlementaires, parce qu'il est bien plus difficile de s'attaquer aux arsenaux portuaires. Le Parlement de cette époque a voix sur toutes les dépenses publiques, même sur le détail de celles des établissements en régie, ce qui est une grave intrusion dans le pouvoir exécutif et une gêne pour l'administration. Cela provient *en partie* du fait que l'on ne sait pas établir un budget par objets, avec en annexe le rappel des dépenses par natures. L'objet serait constitué ici des productions avec leur prix, et non des moyens de les obtenir. Ce serait un progrès de la science budgétaire et un moyen de détourner l'attention des moyens, qui appartiennent à l'administration. L'établissement ne peut même pas s'équiper d'un four à acier en 1885 : il est ainsi condamné à la fermeture. Le parlement a réussi ce coup par réaction contre le ministre qui l'a dupé en enterrant la commission mixte ou en la laissant enterrer. Il en réalise un autre en sens inverse en 1900 : Guérigny va avoir son aciérie, mais nous pensons que son rôle est alors terminé, qu'il ne peut plus justifier l'utilité qu'on lui avait trouvée en changeant son régime en 1793, mais qu'il continue d'occuper une administration qui avait mieux à faire.

3.1. Les tôles de l'industrie¹⁰⁶.

Le ministre Théodore Ducos (1804-1855), ancien armateur, prend en 1854, après avoir longtemps hésité, la décision de faire fabriquer à Guérigny les tôles fines (exactement les tôles extrafines au bois et les tôles supérieures), « après avoir reconnu combien étaient aléatoires et difficiles d'exécution les fournitures de l'espèce ». Cette proposition n'est pas suffisamment prouvée par les 22 marchés de 1851 et 1852 conservés au dossier (805 t de tôles communes, 1 211 t de tôles supérieures et 52 t de tôles extra-fines). Il faudrait en

103 Le montant de 780 500 F donné par Moras pour les fondations de machines et appareils, les enveloppes de chaudières, les fours et cheminées, les canaux souterrains et les vannages, partie de 3 682 770 F de la propriété immobilière au 1^{er} janvier 1878, donne :

- 36 fours à réverbère « de toutes sortes » (et non 33), avec leurs chaudières,
- 4 cubilots et foyers à creusets (de la fonderie), *idem*,
- 14 feux d'affinerie et massifs des chaudières associées (y compris Demeurs ; les 3 fours à puddler sont omis),
- 67 autels de forge,
- 17 pilons et leurs grues,
- 8 marteaux hydrauliques,
- 23 machines à vapeur et leurs accessoires,
- 75 machines-outils ayant des fondations, sur un total de 111,
- 25 cheminées.

La valeur d'inventaire des meubles est alors de 5 441 347 F et les stocks se montent à 3 309 124 F. Villemenant représente les deux tiers des immeubles.

104 Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 602-630, pour ce développement.

105 Bernard Lutun, *Marine militaire et comptabilité : une incompatibilité ? Contribution à l'histoire des finances de l'État français*, chez l'auteur, 2010.

106 Bernard Lutun, *Une forge nationale, pour quoi faire ? Les forges de La Chaussade à Guérigny (Nièvre), 1840-1885*, mémoire de maîtrise, Paris IV, 1990, p. 153-183 et 212-242.

retrouver d'autres et les dépouiller de manière plus précise que nous ne l'avons fait. Tenons-nous en à ce qui est certain. La Marine, qui a considéré pendant longtemps que seul le charbon anglais pouvait alimenter ses chaudières, s'interdit d'acheter des tôles de chaudière en Angleterre, contrairement à l'industrie. Elle est certainement inquiète de la qualité de ses tôles car elle introduit des essais d'échantillons dans ses conditions générales et attribue une note de qualité. Dix des vingt-deux marchés y sont soumis, et l'on remarque que, dans trois des adjudications, elle ne retient pas la soumission la plus basse, en raison de la note de qualité. Cela n'empêche pas les résiliations, mais nous n'en connaissons pas l'ampleur. La *recette sur échantillons* produit quelquefois des surprises, quand on ne procède pas à l'essai comparatif prévu au marché : ici le lot est jugé bon, là il est rebuté (cas d'un marché à destinataires multiples et alloti selon les destinataires).

On sent que la Marine, qui n'en consomme encore qu'un millier de tonnes par an, a aussi un besoin pressant de ses tôles de machine. Les fournisseurs se pourvoient ici devant le Conseil d'État. En droit, des livraisons conformes aux échantillons devraient être admises, même si les échantillons sont défectueux ! Les conditions de réception des *tôles* de 1867 ne prévoient pas d'essais comparatifs. Néanmoins, les envois d'échantillons sont introduits dès 1859 dans les marchés de *blindages* en vue d'essais comparatifs. Quant aux épreuves de recette, il est difficile de dire à quel point elles sont sévères et le sont utilement. Les essais sont alors tout qualitatifs, et les conditions de 1867-1868 marquent un réel progrès. Nous ne savons pas non plus quelles ont été les suites des problèmes de qualité, mais la décision qui désigne Guérigny pour cette nouvelle production n'a pas été rapportée. L'établissement livre ses premières tôles en 1858.

Sans cette décision, l'établissement aurait disparu si la Marine avait accepté de transférer la fabrication des ancres et des chaînes aux sociétés privées fournissant les chantiers civils et les armateurs et qui jouissaient d'une bonne réputation. C'est pour le sauver que Ducos lui confie des tôles, autant que pour pallier l'insuffisance de l'industrie d'alors. L'irrégularité des commandes et maintenant leur insuffisance ont inquiété Zeni qui est intervenu auprès de Paris. À l'époque, le congédiement des ouvriers est libre, et il arrive que l'on y procède alors que les dotations budgétaires suffiraient à les rémunérer. Au début de 1849, ce personnel se compose de 510 ouvriers ; au 20 octobre 1852, il est réduit à 372 (dont 200 à Guérigny, 46 à Villemenant, 70 à Cosne et les autres dans les succursales). L'indiscipline des ports est naturellement soulignée, ainsi que l'activité des usines privées des alentours. Le ministère ne peut ignorer l'existence de tarifs officieux pour des objets réservés à Guérigny ou à lui commander de préférence, sans jamais forcer les ports et Indret à lui passer toutes les commandes sur une nomenclature établie par ses soins. Le tableau n° 3 donne une production possible de 3 350 t pour les ports et pour Indret avec les moyens matériels de 1851 : elle est bien supérieure à la production réelle, qui a rarement dépassé 2 000 t.

Les arsenaux sont dépourvus de comptabilité industrielle. Guérigny établit ses prix de revient selon les textes, sans frais généraux. Zeni et ses successeurs comptent forfaitairement un amortissement du capital et des frais de gestion, mais c'est toujours pour conclure sans preuve que les pièces fabriquées à Guérigny sont moins chères qu'à l'industrie¹⁰⁷. Il n'est jamais question de valeurs tirées directement de la comptabilité, mais de calculs faits de façon extracomptable à partir d'une comptabilité budgétaire et administrative inadaptée. Le commandant Gougéard (1827-1886) est obligé d'emprunter la même voie dans ses grands calculs publiés en 1882 et évoqués au chapitre 11. Ce qui emporte l'adhésion, c'est l'énormité de certains des coûts qu'il a constatés, même s'ils ont été obtenus par approximation. Disons que le travail est trop cher dans les ports, surtout par suite des contraintes militaires et aussi des habitudes prises ; il conduit à étendre le soupçon aux établissements de la Marine hors des ports, alors que l'éloignement des ports devrait rapprocher leur gestion de celle d'une entreprise. L'industrie commence à compter, mais elle ne se soucie guère de la comptabilité de la Marine, laissant à plus tard et au Parlement cette intéressante question.

Guérigny doit établir un avant-projet pour 530 t de tôles de deux qualités et de trois classes d'épaisseur (ou de 3 à 20 mm). Le sous-directeur Vanéechout propose de produire toute la tôle au bois, attendu que les fers puddlés laminés de premier choix, qu'on devrait utiliser exclusivement à la confection des tôles supérieures (l'industrie est loin de le faire, dit-il), sont plus chers que les fers au bois. Ce sont deux propositions aventurées. Les références de prix (plus de dix ans) sont trop anciennes, et la tendance constatée ensuite est en sens

¹⁰⁷ Dans une note du 23 novembre 1854, *ibid.*, p. 157, Zeni donne pour valeur de la production de 1844 à 1853 de 16,69 millions pour 15 828 t, ou 1,055 F le kilo, décomposé en 0,926 F pour les dépenses directes et les dépenses accessoires de fabrication, et 0,129 F pour les frais du personnel entretenu et du service des travaux hydrauliques, auxquels on peut ajouter 0,15 F pour l'amortissement au taux de 5 % (selon la valeur d'inventaire, il y a 1,562 million d'immeubles, 1,299 de meubles et 1,877 de stocks).

contraire. Il aurait dû en parler avec ses collègues de Fourchambault. D'autre part, est-il prudent de se lancer dans une fabrication nouvelle en se servant uniquement de l'ancienne technique, alors que la forge à l'anglaise se répand et que le laminoir pouvait traiter les deux matériaux ? *Personne ne paraît s'en inquiéter*. Pourtant le directeur Zeni voudrait profiter de l'occasion pour mettre la main sur les tôles communes, qui utilisent du fer puddlé, et donc se mettre au puddlage, alors que le sous-directeur pense que la Marine n'a pas intérêt à le faire.

L'atelier du pilon se prête à un agrandissement et abrite des moyens qui doivent contribuer à la fabrication des tôles. Il n'a pas servi selon les prévisions, non plus que le nouvel atelier de Cosne, parce qu'on a cru utile d'établir des ateliers semblables dans les ports et que les ports aiment mieux fabriquer ce qu'ils peuvent ou même parfois ce qu'ils doivent commander à Guérimy. Les ports ont longtemps été les premiers adversaires de l'établissement nivernais, comme nous l'avons dit.

Le devis de tôlerie correspondant à la demande du ministre s'élève à 305 500 F (il est daté du 12 septembre 1853). Le projet comprend l'usage du pilon de 3 500 kg pour la confection des blooms et l'agrandissement du bâtiment qui l'abrite. Il est mis de côté pendant près d'un an, jusqu'à ce que Ducos affirme qu'il convient de « mettre les moyens de fabrication de La Chaussade au niveau de ceux de l'industrie privée ». C'est alors que Zeni, fort des commandes qui affluent — 2 700 t de janvier à juillet 1854, soit 1 000 de plus que les années précédentes pendant douze mois — avance que l'atelier du pilon manque de largeur sinon de solidité et que la fabrication en cours des dix arbres de machine de 900 ch des vaisseaux type *Algésiras* est très difficile à cause de la manœuvre des paquets (volée trop courte des grues), de l'écartement des deux fours qui se font face et de la puissance insuffisante du pilon pour le corroyage des vilebrequins. Un premier chiffrage donne 162 000 F pour un pilon de 8 000 kg et son équipement, y compris un autre agrandissement du bâtiment. Ducos demande un projet pour les deux ateliers : on en arrive à un montant de 425 000 F. Le Conseil des travaux donne un avis favorable sans réserve le 23 septembre 1854.

Le ministre envoie alors deux des trois inspecteurs généraux compétents, Roujoux (1806-1871) pour les Services administratifs et Garnier (1792-1859) pour le service du Génie maritime. Roujoux est partisan de la concentration de tous les moyens industriels au chef-lieu, contre la position de Zeni et surtout celle du troisième inspecteur général, celui des Travaux maritimes, Félix Reibell. Il est d'avis de construire en grand, de manière à ne pas se trouver trop vite à l'étroit et au-dessous des progrès de l'industrie. Voilà l'argument essentiel, et Roujoux a sûrement en vue les ateliers du Creusot, de Fourchambault et d'ailleurs. Il écrit que le but à atteindre est que « l'établissement puisse, quant à la quantité des produits, pourvoir suffisamment à l'approvisionnement des ports (ce qui a souffert des difficultés jusqu'à ce jour), quant à la qualité et au prix de revient, lutter contre les gigantesques usines qui se sont récemment fondées et qui menacent les consommateurs d'un monopole ruineux. » Il propose donc d'ajouter toutes les tôles au monopole de Guérimy. En revanche, il pense que le système des commandes annuelles d'après le budget est le seul praticable. Ducos penche pour l'opinion de Roujoux et demande un remaniement des projets dans ce sens.

Les nouveaux agrandissements ne nous sont pas assez connus. Dans son projet de tôlerie du 23 décembre 1854, Zeni signale que l'activité de l'établissement oblige à construire de nouveaux feux d'affinerie et donc des halles à charbon de bois à Ville-menant. Il propose de joindre la fabrication des fers à câbles (et donc du fer puddlé) et des cornières à celle de la tôle. Il est d'avis d'ajouter le pilon de 12 t préconisé par Paris au pilon de 8 t et non de substituer le premier au second dont le marché avec Schneider est prêt. On suppose que l'on peut diminuer la pression du pilon de 12 t pour l'adapter aux objets à forger : un changement de pression serait subi par tous les appareils dépendant du même réseau de vapeur, dit-il. Le projet de tôlerie comprend à présent 354 500 F de dépenses réparties ainsi :

- (affinerie) : 2 cheminées, 8 feux d'affinerie et leurs quatre fourneaux de chaudière ; 2 pilons cingleurs ; 1 machine soufflante ; 4 chaudières sur les feux ; fondations des pilons, de la soufflerie et de sa machine motrice : 115 855 F ;
- (tôlerie) : 4 fours à recuire et leurs cheminées ; 2 fours à réchauffer, 1 fourneau portant les chaudières des fours à réchauffer et 50 m de conduit de flamme ; 3 chaudières dont une de rechange ; tuyaux de conduite pour la vapeur et l'alimentation ; 2 trains de laminoirs avec transmission de mouvement, machine de 120 ch pouvant en faire 200 et ses fondations ; 3 cisailles 238 650 F.

La tôlerie coûte donc à présent 540 075 F, y compris l'affinerie et les halles à charbon. De nouveaux et semble-t-il derniers ajouts portent le devis de la tôlerie et de l'agrandissement de l'atelier du pilon à la somme

de 816 500 F, au lieu de 305 500 F pour une simple installation de laminage, avec l'accord du ministre le 23 mars 1855, quelques jours avant sa mort.

3.2. La tôlerie et l'agrandissement de l'atelier du pilon (1855-1858).

Les fondations de la tôlerie sont en cours lorsque le marché d'outillage est passé le 1^{er} octobre 1855 à Laurens et Thomas, qui ne sont pas des fabricants, pour 488 000 F tout compris. Le bâtiment mesure 77 x 38 m, soit environ 2 825 m² intérieurs. Se rapportent au laminoir : une machine à vapeur horizontale de 200 ch pouvant dépasser 300 ch par suppression de la détente ; un laminoir à tôles à 3 cages (une pour les grosses tôles, longueur de la table 1,40 m, deux pour les tôles ordinaires, dont un train dégrossisseur, 1,20 m) ; un laminoir à fers à 5 cages (deux pour les gros fers, 1,80 m, deux pour les fers bruts, dont une pour cylindres dégrossisseurs 1,8 m et 1,5 m, une pour les petites cornières à train finisseur) ; deux cisailles à fer brut et deux cisailles à tôle, toutes à queue. Se rapportent à l'affinerie : une machine à vapeur de 35 ch avec soufflerie (débit 64 m³/mn sous 5 cm de mercure) ; deux chaudières pour les fours à réverbère et quatre pour les huit feux d'affinerie ; un marteau cingleur de 2 000 kg. La commande comprend un tour à cylindres : un établissement métallurgique peut refaire à la forge ou à la fonderie des pièces de machine qui viennent à manquer sans dépendre du fournisseur de la machine.

Cette liste initiale confirme que l'affinerie de Villemenant comprend 8 feux de 2 400 t de capacité, qui s'ajoutent aux 1 080 t des six anciens feux¹⁰⁸, que les laminoirs couvrent une gamme plus étendue de produits, et qu'ils sont desservis par deux fours à réverbère. Les loupes d'affinerie sont cinglées, puis elles passent dans le laminoir à fers et, éventuellement, dans le laminoir à tôles. Les cages à fers bruts permettent d'obtenir les fers bruts bien plus rapidement qu'au marteau, et le besoin augmente en fonction de la production des forges. Les fours à recuire, qui paraissent bien nombreux, ne sont pas mentionnés parce qu'ils ne sont pas équipés de récupérateurs de chaleur, la température étant loin d'atteindre le blanc soudant. Le dispositif de changement de marche, reconnu défectueux, n'a été remplacé et monté qu'en 1878, ce qui surprend vu la gêne pour les ouvriers qui doivent faire passer par-dessus la cage la pièce chaude et souvent encombrante, afin de la représenter au laminoir (voir chapitre 9). Le laminoir de 1855 est encore en place en 1901, avec une modification due à la production de blindages de pont. L'augmentation immédiate et très forte de la production a dû conduire à multiplier les fours, dont la capacité règle aussi celle de l'atelier : sur le plan de 1867 (fig. 37), on voit sept fours à réchauffer (dont trois à chaudières verticales et quatre à chaudières horizontales, y compris un four monté de rechange), dans la nef est et le four à recuire déplacé dans le nouvel appentis ouest. Un four à blindages est construit peu après et doublé en 1881. Le pilon de 8 t est déplacé de l'atelier des Grandes Forges en 1866 pour le cinglage des plateaux destinés à être passés en tôles : ce sont des tôles de couvertures de blindage, plus épaisses que les tôles normales. La tôlerie paraît faiblement outillée en moyens de levage. Certains ont pu être négligés sur les plans ou les gravures. Sur une gravure de l'article de De Champs parue la *Revue maritime et coloniale*¹⁰⁹ (fig. 39), des ouvriers chargés de passer les pièces entre les cylindres utilisent de petits chariots à deux roues. Un pont roulant couvrant la nef centrale et donc les laminoirs est installé en 1892 seulement.

Un autre déplacement mérite d'être cité¹¹⁰. On l'a justifié de plusieurs manières, et en particulier pour rétablir une forge à ancras à Guérigny. On allègue donc en 1869 que la vapeur issue des feux et des fours de la tôlerie ne suffit plus à faire marcher à la fois la soufflerie des feux en permanence, les marteaux cingleurs, le pilon de corroyage des paquets à couvertures et la machine des laminoirs (lorsqu'ils fonctionnent en même temps). L'affinerie de Guérigny et le laminoir marchent à flammes perdues, puisque les moteurs sont hydrauliques. Leur fonctionnement est intermittent et, depuis l'arrêt de Demeurs, l'affinerie a la priorité et le laminoir est arrêté. Le laminoir serait mieux placé à la tôlerie, où l'on construirait 4 nouveaux feux d'affinerie, en supprimant ceux de Guérigny. Dans l'opération à tiroirs imaginée par Moras, on trouverait au groupe central la place d'un laboratoire « qui manque entièrement à Guérigny et que l'on rencontre dans tous les

108 D'après une note de Vanéechout, qui extrapole la production possible des anciens feux aux nouveaux, alors qu'elle passe de 180 t à 300 t, Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 178, note 26.

109 « Les établissements impériaux de la marine française. Les forges de La Chaussade (suite) », par de Champs, *R.M.C.*, tome XXV, mars 1869, p. 709-720. Nous reproduisons aussi les deux vues intérieures des Grandes Forges, n'ayant aucun plan à proposer pour cet atelier.

110 Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 430 et 432.

établissements métallurgiques d'une certaine importance » (nous sommes en 1869). La translation du laminoir à câbles est en cours à la fin de 1874 ; l'installation d'un laboratoire de chimie est décidée en 1888.

Voici le calcul auquel se livre le directeur de Moras en 1869. La production de la tôle est d'abord limitée par celle des feux d'affinerie, soit 2 400 t, éventuellement portée à 3 500 t avec les six autres feux. Les trois fours à fers absorbent 28 t de lopins par jour, ou 8 400 t par an, en comptant 300 jours ouvrés. En 1869, les besoins de fers à paquets sont de 1 600 t pour les grandes forges, 600 t pour les petites forges et 2 479 t pour le train à tôles. Les fours à tôles peuvent absorber 11,73 t de fers à paquets par jour ou 3 519 t par an soit, en comptant 13 % de déchet : 1 530 t de tôles fortes cisailées, 540 t de résidus pour tôles minces et 990 t de résidus pour paquets. Les 540 t de premiers résidus alimentent toute l'année le four à recuire et rendent, avec 26 % de déchet, 300 t de tôles minces cisailées, 50 t de résidus pour paquets et 50 t de résidus à renvoyer à l'affinerie. Les résidus de 990 et 50 t (ceux des paquets) sont à déduire des besoins en fer des fours à tôles, qui s'élèvent donc à 2 479 t. En somme, la marche simultanée des deux trains de laminoirs, des six fours à réchauffer et du four à recuire fournit 2 200 t de fers laminés bruts à paquets pour les besoins des forges, 2 430 t de produits d'exportation (600 t de fers profilés, 1 530 t de tôles fortes, 300 t de tôles minces) et 2 070 t de fers sans emploi. Le calcul est refait afin de ne pas produire de fer sans emploi. En faisant travailler successivement les deux trains avec 46 hommes pendant 148 jours (fers) et 8 de plus pendant 152 jours (tôles), la production possible est de 2 200 t de fers pour les ateliers et 1 223 t de fers et de tôles pour les ports et pour Indret. Pour obtenir davantage de tôles, il faudrait un certain recouvrement ou des fers d'avance. En 1869, l'établissement fait travailler les deux équipes, soit 100 hommes, au laminage, alors que 50 sont reconnus nécessaires...

Le plan de l'atelier des Grandes Forges, approuvé par l'amiral-ministre Hamelin (1796-1864) le 1^{er} mai 1855, correspond à une augmentation de surface extérieure d'environ 1 340 m², laquelle passe désormais à 1 865 m². On y voit encore le marteau-pilon de 3 500 kg et le marteau Hallette. La machine de ce marteau est déplacée dans la tôle pour alimenter les quatre cisailles, les pompes auxiliaires et le tour à cylindres commandés par le marché du 1^{er} octobre. Elle donne ensuite et également le mouvement à la pompe de la presse à cintrer les blindages. Cinq fours neufs sont dessinés (six ont été construits, portant le total à huit) avec leur fourneau de chaudière et leur cheminée. Le pilon de 8 t est desservi par deux grues, l'autre, de 12 t, acquis auprès de Schneider, par quatre grues, ils sont placés dans l'agrandissement de l'atelier du pilon voisin de la tôle. L'atelier agrandi a dû ouvrir ses portes en 1858, en même temps que la tôle.

Le maître Grelier relate une fabrication déjà ancienne, celle de l'arbre droit du *Wagram* à l'atelier du pilon et en décrit une autre plus intéressante, qu'il a vue au Creusot. La forge de Schneider, plus vaste et plus active que celle de Villemenant en 1861, mais dont les moyens ne sont pas supérieurs (Grelier donne 12 marteaux-pilons, jusqu'à 8 t), est en cours de remplacement par un de ces ateliers gigantesques qui font peur à l'inspecteur de Roujoux et à ses semblables. L'établissement achète ses blooms *au bois*, qu'il cingle et lamine (la section finale des fers est 2 000 x 200 x 75 mm) ; les fers sont corroyés comme à Guérigny. Le Creusot ne produit pas de fers supérieurs ; on dirait que le fer au bois est une solution d'attente, jusqu'à la mise au point de la production de l'acier. Quoi qu'il en soit, Le Creusot va innover et refuser dès 1859 de produire des *cuirasses* en fer (il fournit néanmoins des plaques de pont en fer) Jusqu'au diamètre 220 mm, Le Creusot obtient les vilebrequins en ployant les manivelles au marteau-pilon et en les étampant dans des matrices de fonte. On corroie le paquet primitif des gros arbres, on rapporte à chaud sur les blooms des mises dans le sens de la longueur des tourillons afin d'obtenir la hauteur des manivelles. On découpe l'entre-deux, puis on étampe comme dans la première méthode, ou encore on se contente de percer un trou à chaud, et le reste de l'évidement se fait à froid sous la machine à mortaiser. Les planches 12 et 13 du rapport de Grelier montrent la fabrication d'un arbre pour une machine de 900 ch. L'encadré reproduit ci-après explique ou au moins évoque la longue suite des opérations qui conduisent à la pièce terminée de forge.

3.3. Commande de blindages au pilon (1866) : nouvelles machines et construction d'un atelier spécial d'ajustage.

Le ministre de Chasseloup-Laubat (1805-1873) confie à Guérigny la fabrication des plaques en V et des plaques de diminution de trois vaisseaux type *Océan*, sept corvettes type *Alma* et trois garde-côtes type *Cerbère*, soit environ 1 860 t de plaques¹¹¹. Il préférerait « que l'industrie puisse fournir, mais la dépense est relativement peu considérable ; il faut s'exécuter car la mesure sera tout à la fois un stimulant pour l'industrie quant à la *qualité* [souligné] et quant au prix. » Le problème de la qualité s'étend aux blindages, et l'on veut nettement se servir de cet établissement d'État pour limiter les prétentions financières des fournisseurs. Dupuy de Lôme précise que, ces plaques ne pouvant être soumises au tir, « il est indispensable en effet que l'on puisse avoir une confiance absolue dans la qualité des produits aussi bien que dans les soins apportés à la fabrication ; un établissement de l'État peut seul présenter toutes les garanties désirables à ce double point de vue. »

¹¹¹ Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 376-397. Ce nombre correspond au tableau n° 3 de la production de blindages de 1866 à 1869. Nous donnons ailleurs un tableau des productions annuelles par industriel qui paraît assez exact, mais non par bâtiments à recouvrir. La dépêche du 5 mars 1866 indique 1 200 t à livrer de juillet 1867 à mai 1868, dont 800 t en septembre 1867. S'il y a bien des plaques à faire pour l'*Océan* et ses *sisterships*, le nombre indiqué est sûrement au-dessous de la vérité. Nous ne connaissons du reste qu'indirectement la teneur de la dépêche, et cela tient à la préférence accordée par nécessité à la sous-série 6DD¹ par rapport aux énormes séries de correspondance.

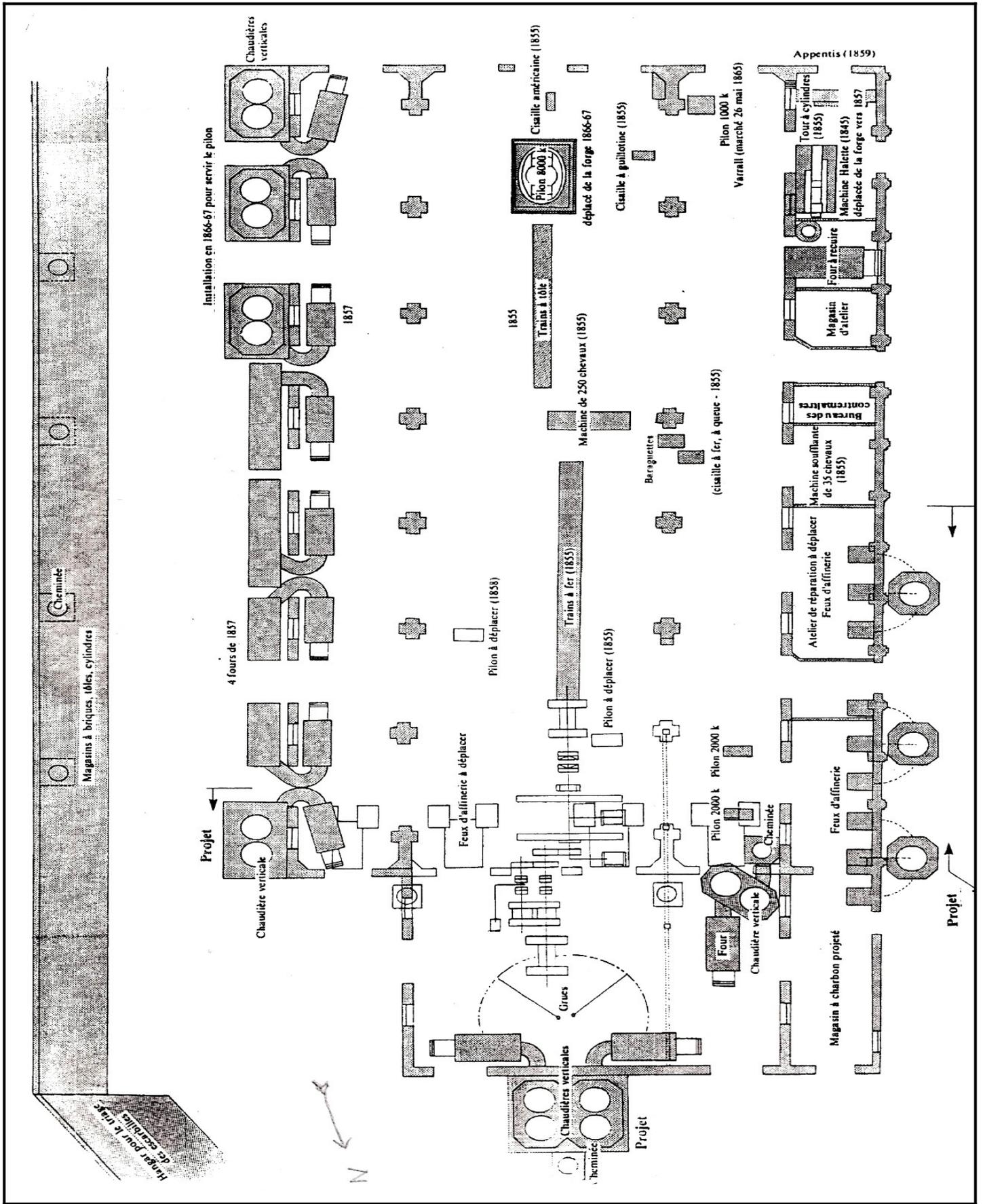


Fig. 37. Extrait du plan du 13 mars 1867 de la tôlerie de Villemenant, comprenant un projet d'installation d'un laminoir à blindages et de ses accessoires. SHD Marine, 6DD¹-92.

La fabrication d'un arbre moteur de 900 CV au Creusot (1861)

d'après le rapport du maître forgeron Grelier du port de Rochefort (SHDV, Marine, 6DD¹-60), accompagné d'un plan.

Nous avons hésité à reproduire une deuxième fois cette partie d'un rapport intéressant, en raison de ses lacunes. La pièce terminée dont il est question mesure 6,77 m de long avec une manivelle et résulte de l'ajout de quatre mises de 1,50 m au « bloom » de 2 m, partie centrale sur laquelle on va souder puis percer la manivelle. La longueur initiale est donc de 8 m. Grelier ne dit pas comment les mises sont soudées au bloom ou à la mise précédente, ni ce qu'on a coupé au juste et après quels allongements. S'agit-il d'un simple encollage ? Il est question plus loin d'un amorçage. Les chutes sont immenses : 21 des 38 t de fer mises en œuvre, plus les rognures et riblons. Et pas moins de 150 chaudes pour parvenir au résultat ! La figure 38 ci-après illustre certaines phases de cette fabrication.

« Le paquet préparé pour forger cet arbre était formé avec des barres de fer plat disposées à joints croisés, les dimensions avant de le mettre au four étaient : un mètre de côté sur deux mètres de longueur et contenait 19 rangs de barres, d'un poids total de 13 830 kg [la densité du fer étant de 7,86, on devrait trouver 15 600 kg]. Ce paquet était entouré du côté du gouvernail par trois liens en fer carré de 45 mm de côté (fig. 1, pl. 12). Les dimensions des barres étaient 45 mm sur 200, 45 mm sur 110, 2 mètres de longueur ; les barres de la première dimension pesaient 140 kg l'une, les autres pesaient 74,5 kg l'une.

On a mis le paquet au four un peu incliné sur la sole afin de faciliter le dégagement du laitier. On a donné cinq chaudes pour souder le bord du paquet sur une longueur d'environ 900 mm. À la cinquième chaude, on a changé le gouvernail et mis le paquet au four par le bout non soudé. Six chaudes ont été données sur ce bout, ensuite on a fait une mise de six rangs de barres, quatre barres par rang, de 1,5 m de longueur pesant 2 435 kg. On a donné deux chaudes sur cette mise, ensuite on a fait à l'opposé de la première mise une deuxième mise de six rangs de barres, quatre barres par rang, de 1,5 m de longueur, pesant 2 320 kg. Le rang supérieur n'avait que trois barres, on a donné trois chaudes sur cette mise, ensuite deux chaudes suantes sur le bloom, une chaude pour changer le gouvernail, une chaude pour couper le bloom à la partie non soudée, donné quelques coups de pilon pour redresser le bout. Ensuite on a fait une mise de six rangs de barres, quatre barres par rang, de 1,5 m de longueur, pesant 2 430 kg. On a donné trois chaudes sur cette mise, puis on a fait une deuxième mise de six rangs de barres, quatre barres par rang, de 1,5 m de longueur, pesant 2 440 kg, quatre chaudes sur cette mise et une chaude sur le bloom dans toute sa longueur. On a donné quatre chaudes pour arrondir le milieu du bloom ; la fig. 2, pl. 12, donne la forme et les dimensions de ce bloom. On a donné une chaude pour abattre les angles du côté A, ensuite on a fait sur ce côté deux petites mises de quatre barres de grandes dimensions de 1 m de long, les deux pesant 560 kg. On a donné une chaude sur chaque mise (voir la fig. 3, pl. 12, pour la disposition des mises). Ces deux mises sont pour empêcher le bloom de se renverser lorsqu'on frappe pour faire l'amorce. Cette amorce a été faite sur le bloom en trois chaudes (voir la fig. 4, pl. 12, pour les dimensions).

Pendant qu'on travaillait au bloom de l'arbre, on travaillait aussi à la mise du tourillon [maneton] de la [première] manivelle. Cette mise a été prise dans le bloom coupé au bout du paquet (voir la fig. 5, pl. 12, pour les dimensions du bloom coupé). On a ajouté sur ce bloom une mise de 13 rangs de barres, 3 barres $\frac{1}{2}$ par rang, de 700 mm de longueur, d'un poids de 2 246 kg, on a donné deux chaudes sur cette mise. Ensuite on a fait une mise de 3 rangs de barres, 3 barres $\frac{1}{2}$ par rang, de 700 mm de longueur, plus trois barres de petites dimensions, de 400 mm de longueur pesant 560 kg, une chaude sur cette mise ; ensuite une mise de 3 rangs de barres, 3 barres $\frac{1}{2}$ par rang, de 700 mm de longueur, pesant 517 kg, deux chaudes sur cette mise. On a donné 3 chaudes pour amorcer et disposer convenablement ce bloom pour ensuite souder sur celui de l'arbre. Poids total du fer ajouté sur ce bloom : 3 323 kg (voir fig. 6, pl. 12, pour les dispositions et les dimensions).

Quand la mise et l'arbre ont été préparés, on les a présentés sous le pilon et on a repéré sur le sol l'extrémité de chaque partie afin de ne pas hésiter en arrivant sur l'enclume avec les pièces chaudes. On a chauffé ces deux pièces séparément et, quand elles ont été chaudes, on les a portées sous le pilon pour les souder, en commençant à frapper au milieu, en allant vers les extrémités on a donné une chaude pour souder la mise, et de la même chaude on l'a séparée de son gouvernail. Longueur de fer restant au bout du gouvernail : 700 mm. Ce morceau va servir, en ajoutant du fer, pour faire la mise de l'autre tourillon de manivelle (voir la fig. 7, pl. 12, pour la disposition de la mise sur l'arbre et sous le pilon au moment où s'effectue la soudure). La mise ayant été poussée trop loin sur la manivelle, on a donné une chaude pour en couper un morceau de 30 cm de longueur et du poids de 350 kg ; ensuite, on a donné encore une chaude pour terminer le soudage de la mise avec l'arbre. Après cette chaude, on a fait sur la manivelle une mise de cinq rangs de barres de 1 m de longueur, disposée comme il est indiqué dans la fig. 1, pl. 13. Poids de cette mise : 950 kg. On a donné deux chaudes sur cette mise, ensuite trois chaudes suantes pour corriger le tout et commencer à donner la forme à la

manivelle ; deux chaudes sur le plat de la manivelle, à la deuxième on a découpé du fer sur le côté intérieur. Poids du fer enlevé : 150 kg.

Bien que le forgeron qui conduisait l'opération de la soudure des deux blooms ait l'habitude de la fabrication de ce genre de pièces, par suite des difficultés du mouvement des grues qui supportaient un poids considérable, du peu de temps que les pièces restaient assez chaudes pour souder, et du grand nombre d'hommes dont l'ensemble d'action n'a pas été parfait, il arriva que la mise fut poussée trop haut sur le corps du bloom, ce qui donnait trop de fer du côté du corps de l'arbre et pas assez du côté du tourillon, mais, la partie milieu de l'arbre ayant été prise dans le milieu du bloom, on a renvoyé la manivelle dans le sens de la hauteur. Cette opération s'est faite en deux chaudes ; on a fait ensuite une autre mise sur le plat de la manivelle, mais du côté opposé à la première mise ; cette mise était disposée à peu près comme la première, elle avait un mètre de longueur et pesait 860 kg. On a donné une chaude sur cette mise, ensuite trois chaudes, pour donner à la manivelle les dimensions d'épaisseur pour l'étampage. À la 3^e chaude, on a donné un coup de couperet, pour mettre la manivelle à la largeur demandée. On a préparé une mise pesant 510 kg pour le bout de l'arbre (voir fig. 2, pl. 13 pour les dispositions de la mise), une chaude sur cette mise, ensuite une deuxième mise de 500 mm de longueur, pesant 370 kg, une chaude sur cette mise ; une troisième mise pesant 500 kg, une chaude sur cette mise. Cette dernière mise a été placée sur l'arbre, la manivelle étant horizontale, c'est-à-dire sur la partie A (fig. 2, pl. 13), puis enfin on a donné une chaude suante sur le bout de l'arbre, afin de tout souder ensemble. Pour percer le milieu C (fig. 3, pl. 13) du vilebrequin et pour l'évider, on a donné 3 chaudes, ensuite on a donné 2 chaudes pour enlever le morceau B. Poids du fer enlevé : 300 kg. On a passé 2 joints pour préparer le vilebrequin à l'étampage, puis on a présenté la manivelle sous l'étampe et on a donné quelques coups de pilon pour marquer la position que l'arbre devait occuper dans l'étampe D. On a donné six chaudes pour l'étamper ; ces chaudes ont été données en deux jours. Ensuite on a enlevé les bavures, à la tranche et au marteau à main. Trois chaudes pour faire cette opération ; poids du fer enlevé : 350 kg. ; trois chaudes pour arrondir la partie intérieure de l'arbre et pour parer les manivelles. Enfin, pour terminer le bout de l'arbre [il n'était donc plus assez long ?], on a mis quatre mises, pesant 2 660 kg, puis on a donné six chaudes pour les souder et couper le bout à la longueur demandée. L'autre manivelle a été faite de la même manière que la première, sauf que l'on a seulement ajouté sur la mise du tourillon 1 686 kg de fer (voir fig. 4, pl. 13, pour les dimensions de l'arbre fini de forge [avec une manivelle]).

Résumé :	nombre de jours passés au four et sous les pilons	46
	nombre de jours passés à la forge	15
	nombre de chaudes	150
	poids total du fer employé	38 062 kg
	poids du fer tombé en rognures et riblons	3 230 kg
	poids de l'arbre brut de forge	14 789 kg. »

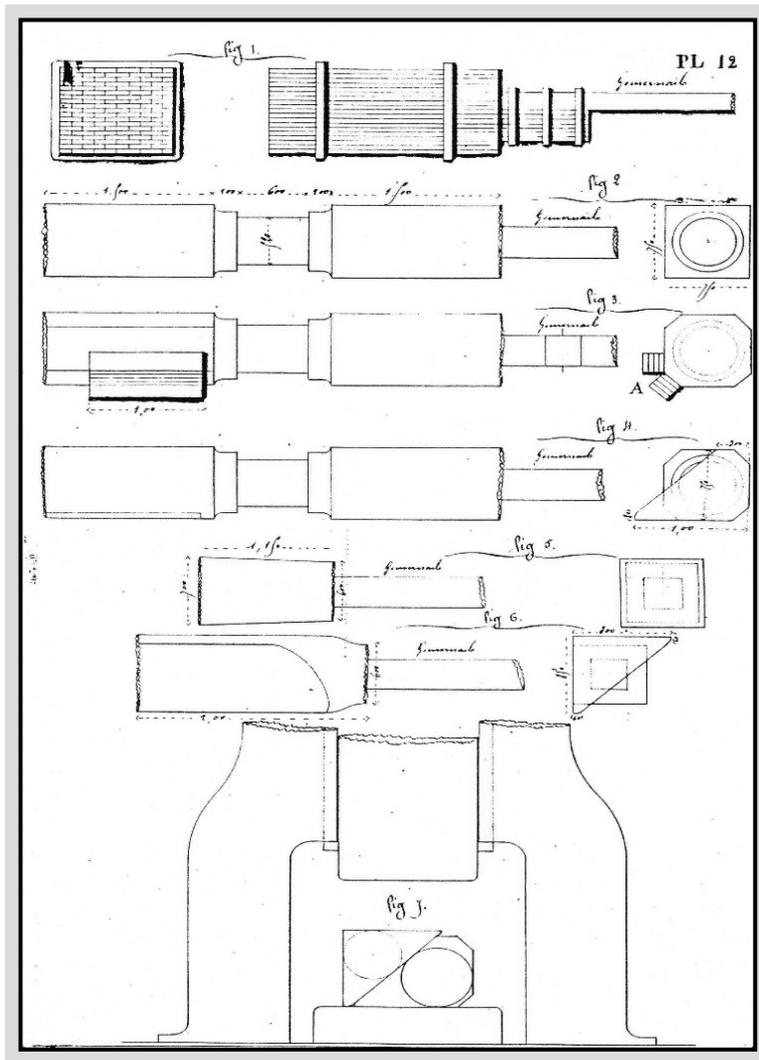
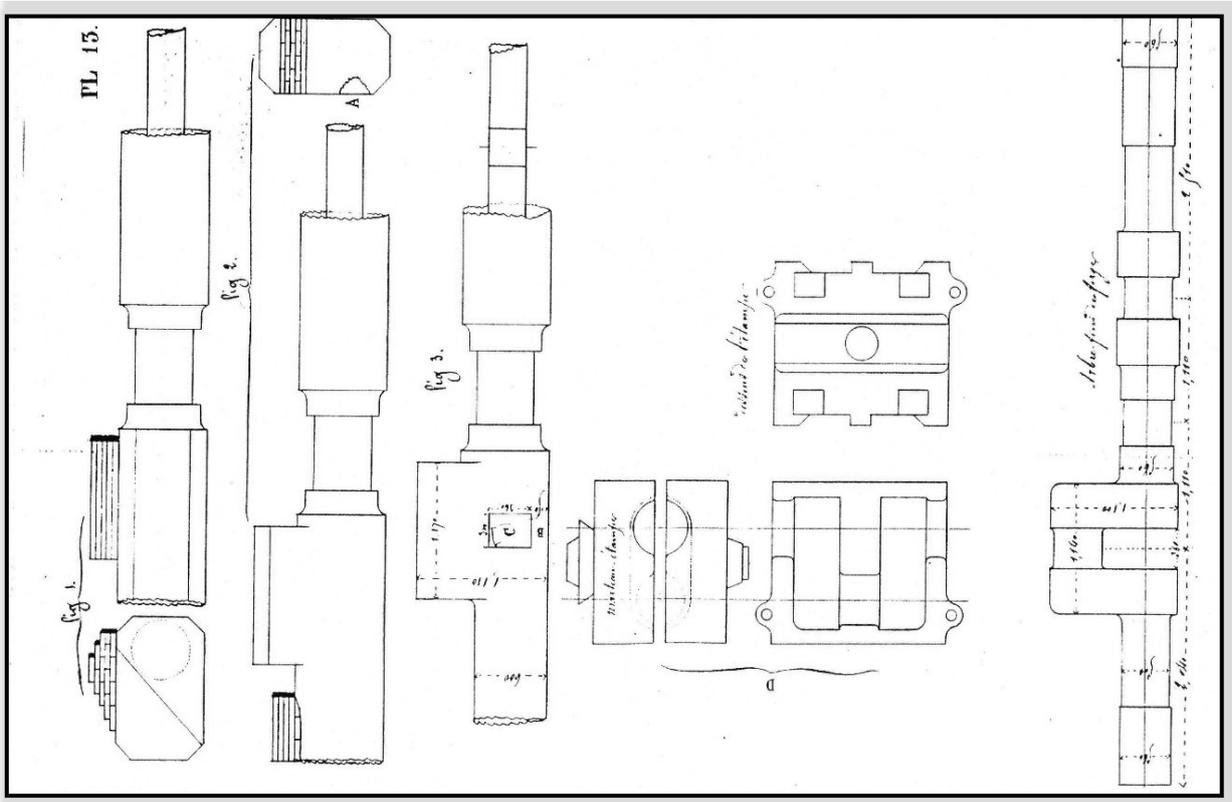
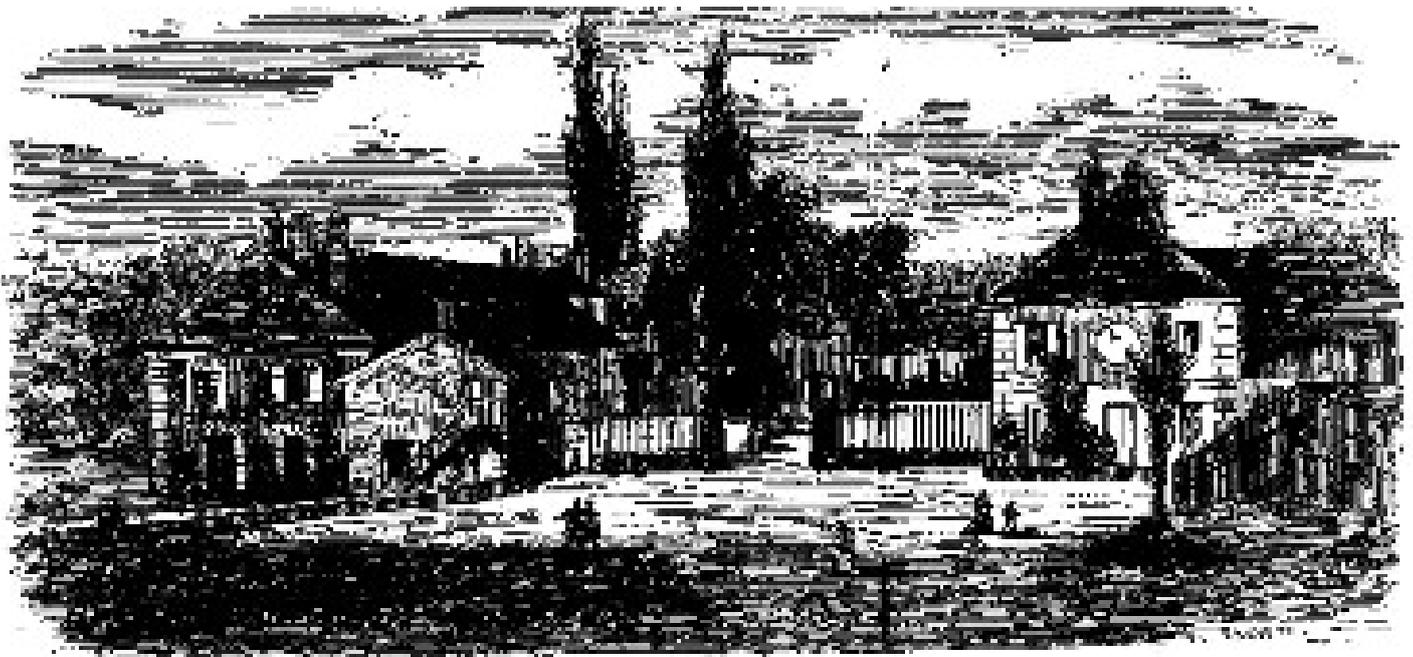


Fig. associées au texte ci-dessus



Vue intérieure de l'atelier de Bloux et de [illegible]



Travaux de la Clousance, en entrée principale du groupe central

Fig. 39 : Vue intérieure de la tôlerie de Guérigny à Villemenant et du groupe central en 1867.

Le sous-directeur de Champs (1818-1887) estime qu'il convient absolument d'éviter les erreurs ou malentendus qui ont entraîné le retrait de la première commande de blindages, celle de 1859. Depuis lors, l'établissement a procédé à des fabrications d'essai, et notamment à celle de quatre séries de quatre plaques au pilon qui ont été essayées au tir à Vincennes et à Nevers en 1865-1867. Les quatre plaques de la 4^e série ont été exécutées avec du fer à bois, obtenu à partir de fontes de La Poitevine utilisant du minerai de Somorostro (Espagne). Une plaque de 20 cm et une autre de 22 cm ont été faites avec un seul paquet. Celui-ci se composait de 2 couvertures en tôle brute mesurant 2 500 x 880 x 45 mm et d'un corps de 12 rangées de fer brut de 25 mm d'épaisseur. Le paquet mesurait donc 39 cm d'épaisseur. Le corroyage de chaque plaque a nécessité trois ou quatre chaudes et de 14 à 16 heures de réchauffage. Deux des plaques ont été ensuite réchauffées pendant 6 heures, trempées et recuites 5 heures. Les deux autres ont reçu deux trempes (7 heures) et deux recuits (9 heures). Les plaques ont été percées de trous de 5 cm de diamètre, correspondant aux vis prévues. Le poids des quatre plaques terminées dépasse légèrement dix tonnes. L'essai au tir a lieu à Nevers le 21 janvier 1867. Les plaques supportent le 1^{er} boulet de 24 cm sans trace apparente sur la face externe ; ensuite elles se sont fendues ou fissurées. Les conclusions sont favorables : on est proche de l'optimum au pilon. Il faut se servir de fers bruts moyennement épurés, accélérer les chaudes et réduire leur nombre, diminuer la hauteur des paquets de barres (0,315 m au lieu de 0,390, pour une épaisseur finale de 0,22 m). Guérigny obtient l'autorisation de montrer ses plaques à l'exposition universelle.

Les forges brûlent environ 4 500 t de fonte par an et fabriquent une part notable de leurs matières. La nouvelle fabrication s'ajoute aux autres, et, par son ampleur, elle pourrait les gêner. On utilisera les fontes au bois du Berry ou d'Espagne et on les affinera au bois comme d'habitude. De Champs refuse d'acheter des fers au bois car il faut de la qualité et une qualité constante. D'ailleurs, il n'est guère possible de réussir en tâtonnant sans cesse : « l'usine qui a réussi [Petin et Gaudet] fait ses fontes et ses fers, c'est là que réside principalement son succès, et il est pour cette raison regrettable que les forges n'aient pas de hauts fourneaux. »

Tout le travail des plaques doit être fait au pilon (fig. 42), puisque l'établissement ne dispose pas d'un laminoir assez puissant : il faut prévoir le soudage, l'équerrage, le cintrage et l'ajustage (limité au burinage car le perçage est à la charge des ports). Les plaques d'épaisseur variable dites de diminution doivent être travaillées sur quatre côtés ; pour les plaques en V, il faut ajuster les bouts, les cans obliques et les faces. Dix ou douze plaques seront en cours d'usinage à la fois, sous autant de machines spéciales, si l'on veut arriver à les exécuter dans des délais raisonnables. Les plaques dépassent alors 5 m de longueur. Leur poids varie de 1,5 à 7 t. Il convient donc de disposer d'un grand atelier d'ajustage pourvu de dégagements.

Guérigny a commandé à Claparède en mars 1866 six grues de 20 t, un marteau de 5 t pour remplacer celui de 1845 et plus particulièrement affecté à l'encollage des ancrés. Le pilon de 8 t est déplacé à la tôlerie, comme nous l'avons dit. Le deuxième pilon de 12 t, qui était tenu en réserve, prend sa place. Et désormais l'atelier dispose de 10 grues, toutes de 20 t. On attend une nouvelle machine à raboter de marque Varrall ; Paris accepte l'achat d'une scie circulaire avec moteur pour découper à chaud des plaques de 25 cm et le four à ébouter qui l'accompagne. Une presse hydraulique de 1 000 t (fig. 43), venant de Rochefort, est remontée à Guérigny où elle est plus immédiatement utile, puis remplacée, les cinq ports ayant été pourvus avant les forges ! La tôlerie contribue à la nouvelle production en livrant des couvertures, ce qui a justifié la réinstallation du pilon de 8 t et l'ajout d'un premier four à blindages. Il n'est pas jusqu'à l'atelier de corroyage hydraulique qui ne donne de l'aide, pour le finissage des plaques en V. L'établissement a entrepris après les ports la fabrication de vis à bois pour les plaques et dispose de deux marteaux à rotation ; un autre procédé utilise le pilon et, selon Turgan, il fatigue moins le fer que l'étirage au marteau à rotation. Les vis passent ensuite à l'atelier d'ajustage. Elles sont remplacées par des boulons sur les bâtiments en bois à partir du *Tonnerre* (1873), les boulons à écrou équipant déjà les coques métalliques (chapitre 7).

Depuis 1867, les activités d'ajustage sont réparties entre deux ateliers : l'un, reconstruit sous le Second Empire, est à étage et porte le n° 2 et l'autre, construit à la suite des Grandes Forges à l'opposé de la tôlerie et dit ajustage n° 1, date de cette année-là et comprend au début une seule travée de 16 x 50 m. Il permet d'ébouter, buriner, raboter et percer les grosses pièces de forge, et en particulier les plaques de pont jusqu'à 8 m de longueur. Les premières machines qui l'équipent sont les suivantes :

- la scie circulaire mentionnée ci-dessus, avec 2 machines à vapeur (2 x 20 ch),
- une machine à buriner du système Whitworth (elle porte un outil de 0,91 m de course et un plateau circulaire de 1,98 m),

- une machine à raboter les plaques en V, portant 16 outils, avec cylindre à vapeur,
- une aléreuse avec arbre porte-outils ayant 75 cm de course (origine Varrall, comme les précédentes),
- une machine à raboter à fosse sur 1,25 x 5 m, course verticale des outils 0,35 m (Claparède),
- deux machines à percer les plaques, avec un wagon pour les supporter (Decoster).

Deux machines allemandes exposées à Paris sont achetées pour les forges. La première est un étaulimeur Hartmann de grandes dimensions (le banc mesure 6,3 m), la seconde une machine à buriner. L'établissement achète encore à Hartmann une monumentale machine à raboter à fosse (le banc est long de 14,5 m, la machine permet de raboter des pièces de 12 m de longueur et 4 m de largeur). En janvier 1868, l'atelier est couvert ; en octobre, les machines Hartmann sont en fonctionnement ; en décembre de l'année suivante, la fraiseuse et la burineuse Varrall sont en place, et d'autres machines pour le finissage des plaques installées provisoirement dans l'autre atelier d'ajustage doivent être bientôt déplacées.

La nef de l'atelier d'ajustage n° 1 a été doublée en 1882 d'une travée de 10,5 m. L'ajustage occupe le quart des ouvriers en 1885, et son importance ne fait que croître. L'atelier abrite un four à réverbère, semble-t-il. Il a été équipé d'un pont roulant dans les années qui ont suivi sa construction, le seul de l'établissement avant longtemps¹¹². Dans un pavillon séparé, cinq chaudières à chauffe directe alimentent les moteurs de quatre des neuf machines-outils qui en sont dotées (30 ch en tout) et la machine de 70 ch qui commande les autres outils. Cet atelier, destiné principalement et dès l'origine à l'ajustage des plaques de blindages, est jugé insuffisant par Moras, non que les machines soient trop faibles, mais parce qu'elles sont trop peu nombreuses. Elles peuvent exécuter l'ajustage de pièces telles que les étambots et étraves de cuirassés qui ont été commandées après 1870, les gouvernails, les plaques de renfort de chevilles ouvrières.

L'insuffisance des pilons de 12 t semble l'explication à donner pour l'acquisition d'un pilon de 20 t (fig. 44)¹¹³. L'atelier est encore allongé de 30 m, soit une surface utile supplémentaire de 880 m². L'appareil pèse 175 t sans sa chabotte, et 330 t avec elle. Le diamètre du piston est de 1,45 m, la course maximale de 3 m et la largeur du marteau entre les guides de 1,5 m. Le marteau est accompagné de 4 grues à vapeur de 40 t de charge maximale et 7 m de portée. Le marché est passé à Schneider le 22 mai 1868. Les appareils doivent être prêts à fonctionner le 1^{er} janvier 1869 : le délai n'est pas raisonnable, surtout pour cette sorte de prototype. Dans le premier projet, on a maintenu les murs allant jusqu'à 2 m d'épaisseur afin de supporter les efforts et les chocs transmis à la charpente par les grues qui soutiennent les pièces en cours de forgeage. Or, les murs ont souffert en 1867. On prend le parti de construire un simple abri, la difficulté étant de le relier à la construction existante. Les fondations et la charpente métallique très solide reliant les quatre têtes de grue sont indépendantes de l'abri. Le bâtiment est confié au Creusot par un deuxième marché, afin qu'il ne cherche pas d'excuses en cas de retard. Il s'est trouvé en retard sur ses deux marchés : la charpente de soutien et les appareils sont en place le 31 octobre 1869 et la toiture est achevée le 19 décembre ; les essais du pilon sont encore retardés, parce que le sol est encombré au point d'empêcher la construction des fours. Le ministre a fini par exonérer Le Creusot, parce qu'il n'y a pas eu de dommage pour le département.

Nous ne savons si cette fabrication a été une réussite technique. Du reste ces plaques n'ont pas subi l'épreuve du feu. Mais elles ont coûté cher¹¹⁴. D'après les feuilles d'ouvrage, le prix de revient des plaques en V de 15 à 22 cm s'élève à 2,10 F/kg et à 1,06 F/kg pour les plaques de diminution. Moras indique pour l'ensemble des blindages : 1,223 F en 1867, 1,313 F en 1868 et 1,139 F en 1869. Quand l'industrie demande 130 F les 100 kg pour des plaques en V, elle compte ses frais généraux, l'amortissement des investissements et le bénéfice. La fabrication était difficile à surveiller et grevée de faux frais, parce qu'on a eu recours à Marcy, Forgebas et Le Greux et à leurs six marteaux hydrauliques pour le travail suivant l'ébauche au marteau-pilon, avant le retour à Villemenant pour la finition.

112 Un pont roulant de 16 t a été installé en 1890 aux Grandes Forges afin de desservir le four à réchauffer les blindages et le bassin de trempage qui ont été agrandis.

113 Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 415-418.

114 *Ibid.*, p. 408.

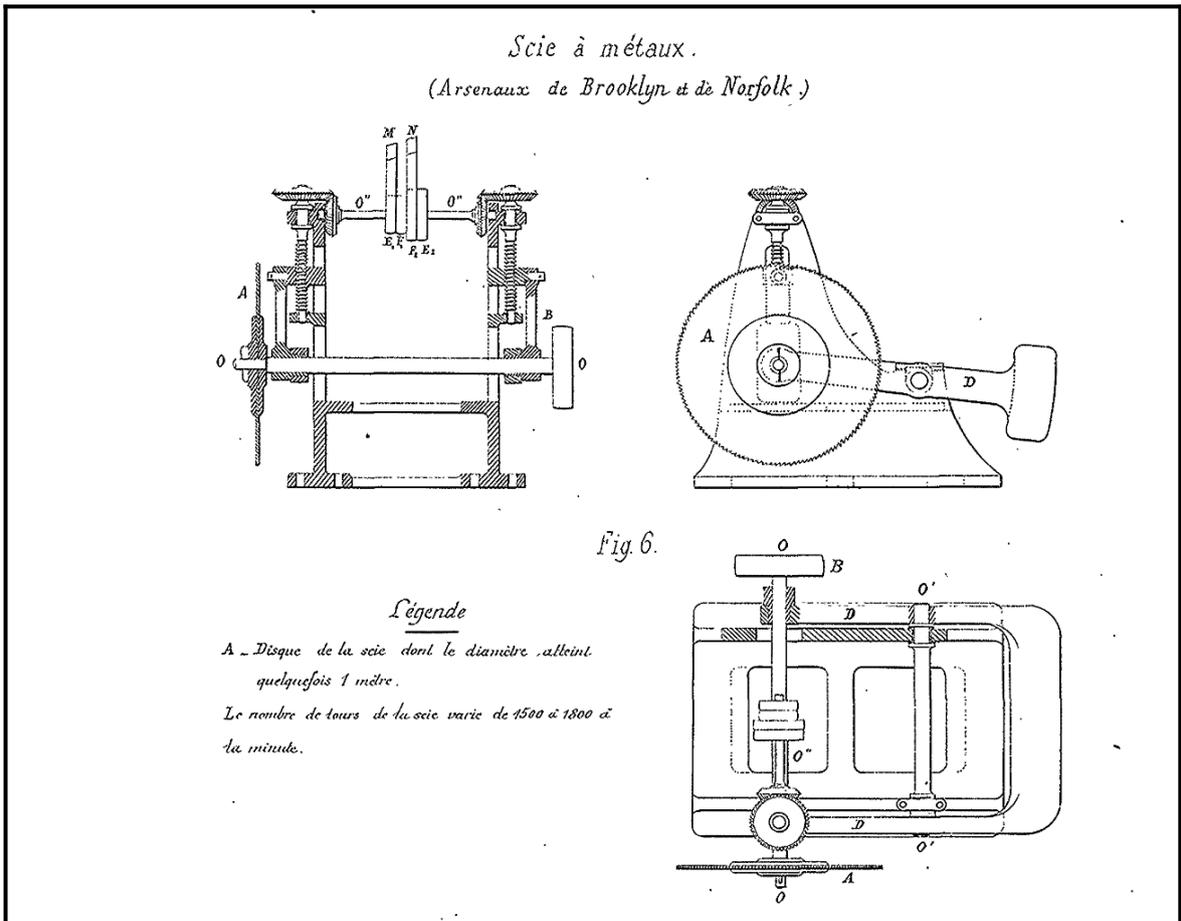
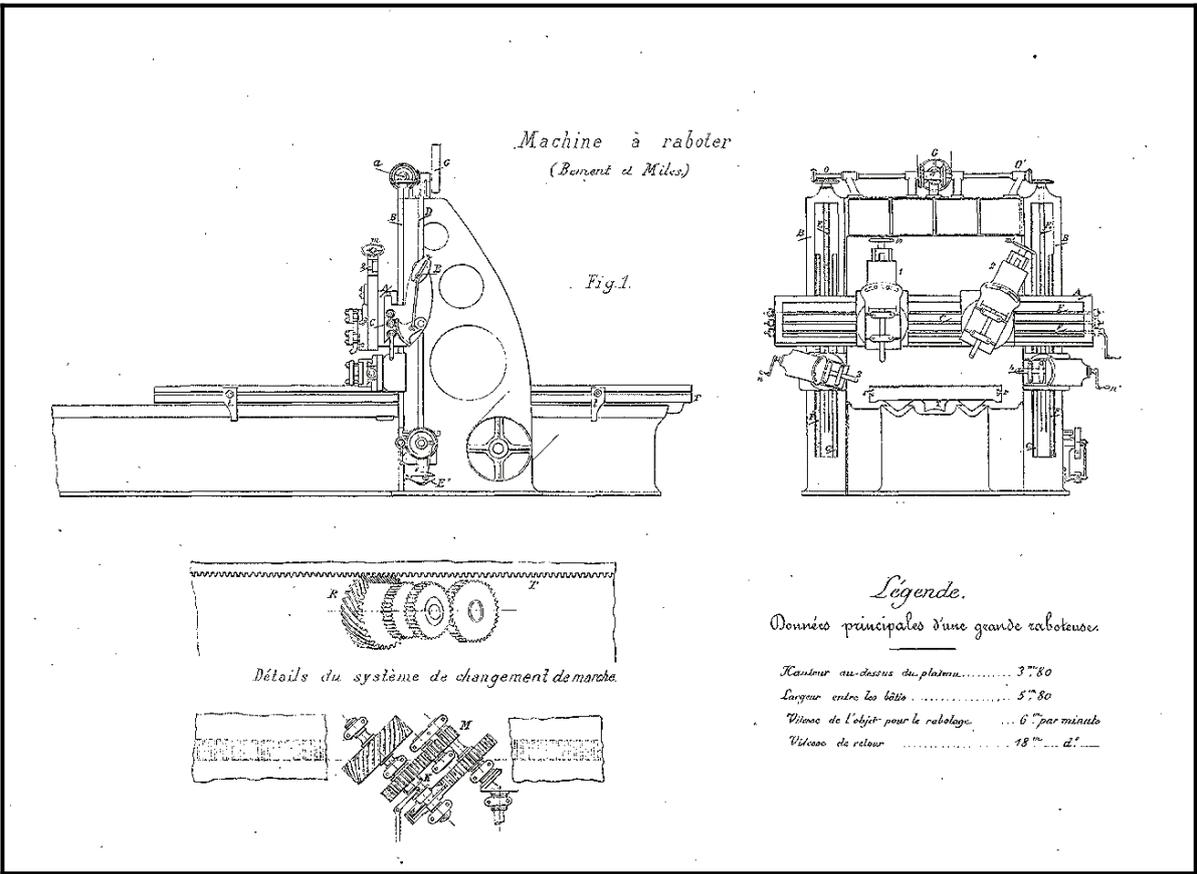


Fig. 40 et 41 : Atlas du génie maritime, annexe 17, planche 67, détails, © S.H.D.

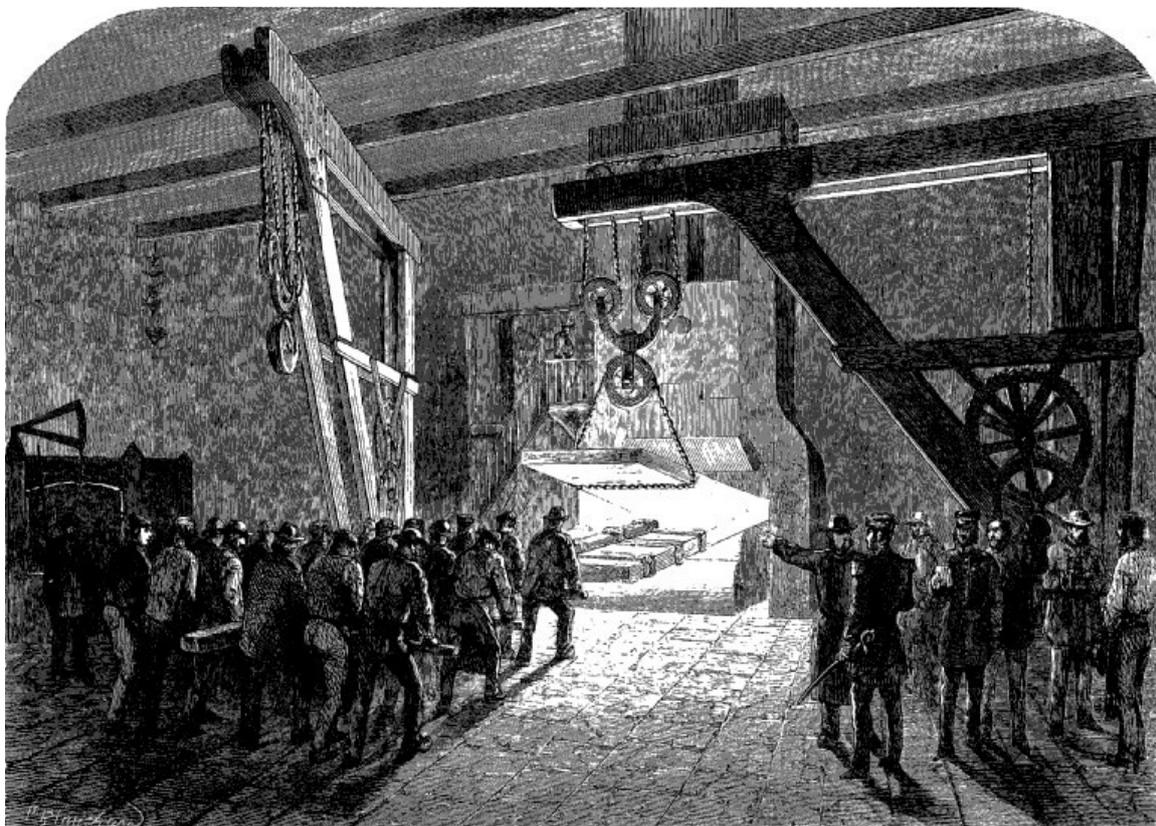


Fig. 42. Le compte rendu paru dans la *Revue maritime et coloniale* a été composé en 1867 par le sous-directeur de Champs, et le croquis gravé ci-dessus doit dater de la même époque. Le travail d'une plaque en V se fait au pilon de 12 t et non à celui de 20 t, qui entre en service en 1870 avec ses grues à vapeur (fig. 44). Il faut du monde pour manœuvrer les pièces au pilon et au four (à gauche).

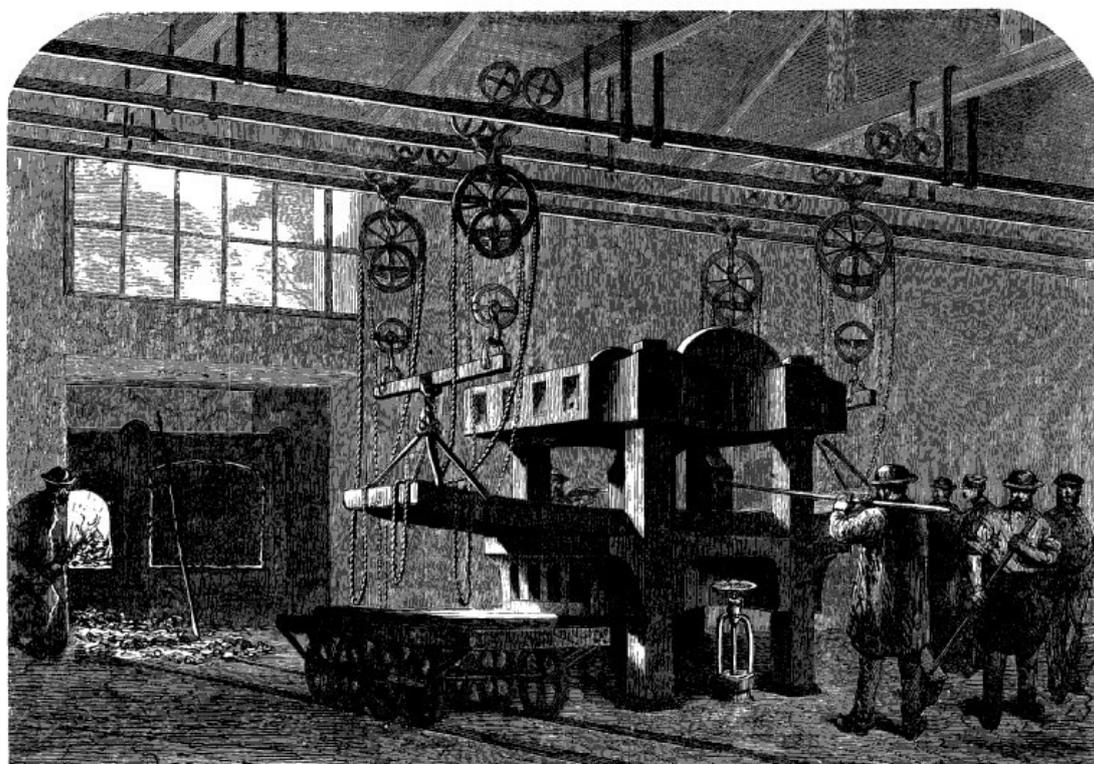


Fig. 43. La presse à cintrer les blindages de 1 000 t est installée dans l'atelier des Grandes Forges. La vignette montre une grue sur rails en quatre parties accrochée à la charpente en bois du bâtiment, et dont notre documentation ne parle pas. La première « grue sur rails » signalée est montée dans le nouvel atelier d'ajustage, c'est un véritable pont roulant dont la charpente est indépendante de celle du bâtiment. L'utilisation des chariots et des voies ferrées est d'usage général dans les trois ateliers où se travaillent des pièces lourdes, encombrantes et chaudes (forge n° 1, tôlerie, ajustage n° 1).

3.4. Le projet de laminoir à blindages, première étape, 1867 et 1870¹¹⁵.

Le directeur Marielle insiste, après les essais infructueux au tir de la 3^e série de plaques de Guérigny le 17 octobre 1866, pour obtenir un laminoir à blindages. « Il est de plus en plus manifeste pour moi que la fabrication des plaques au marteau-pilon donnera toujours des produits sur lesquels on ne saurait compter à coup sûr. La qualité du fer le meilleur au moment où on le met au four est trop facilement transformée sous l'effet du pilonnage. La nécessité des chaudes successives pour les grosses plaques est une cause d'altération inévitable et augmente la dépense. Il nous faut donc un laminoir puissant, de 800 ch environ. Les plaques non façonnées de 7 corvettes ont été adjugées à 85 F les 100 kg à plusieurs industriels : Guérigny paierait à ce tarif son outillage au bout de 3 000 t de plaques droites évaluées à 60 F les 100 kg. » Le ministre autorise le 20 juin 1867 la présentation d'un projet de laminoir. Le choix de l'emplacement de l'atelier d'ajustage n°1 qui vient d'être fait oblige à agrandir la tôlerie du côté du nord et donc à déplacer les feux d'affinerie et les pilons cingleurs.

Le projet ou plutôt l'avant-projet du 13 mars 1867 envisage favorablement le traitement de ferrailles venant des ports, mais ne néglige pas l'atelier produisant seulement des plaques. Guérigny voudrait imiter les industriels qui produisent des plaques en utilisant pour partie des ferrailles fournies par la Marine au titre des marchés¹¹⁶. Cette façon de faire, qui conduit la Marine à obtenir des objets neufs en dehors des crédits budgétaires, a été condamnée plus tard.

En transformant la ferraille des ports, Guérigny produirait toute la vapeur nécessaire au nouvel équipement par la récupération des flammes des laminoirs, sans chaudières nouvelles. L'établissement représente aussi que les bonnes ferrailles lui permettraient d'étendre ses fabrications de tôles au-delà de la qualité supérieure des tôles fines. Ce doit être l'argument principal. Souvenons-nous que Zeni comptait étendre aux tôles communes ou ordinaires, produites avec du fer puddlé, les productions de tôles au bois qui avaient été la justification de la tôlerie en 1854-1855. L'installation permet (*ut supra*) de produire 600 t de fers profilés, 1 530 t de tôles fortes cisailées, 300 t de tôles minces, des résidus à réutiliser dans l'usine, mais 2 070 t de fer affiné sans emploi. Moras règle l'activité permanente de l'atelier de façon à éviter de produire du fer inutile : il trouve 1 223 t de fers et de tôles d'exportation et 2 200 t de fers pour les besoins de l'usine. La production de tôles a été bonne les premières années, atteignant 1 449 t en 1860 ; mais, à partir de 1878, la baisse est inexorable : la production ne dépasse plus 500 t. La fabrication des tôles fines au bois est venue trop tard, on fait aussi bien avec des tôles sélectionnées résultant du puddlage de fontes au bois, les ports n'obéissent pas aux recommandations de Paris, si bien que Guérigny s'est mis à fabriquer, sur permission de Paris, des tôles communes et tôles supérieures avec des résidus et du fer affiné dans l'usine, en attendant l'installation de fours à puddler en 1871.

Le laminoir de 1867 est conçu pour 3 à 5 000 t de plaques de 22 cm par an. Le devis porte sur 754 500 F, dont 250 000 F pour deux trains (cages en fer et cylindres appareillés, horizontaux et verticaux), 370 000 F pour les machines à vapeur (600-800 ch pour la machine principale), 40 500 F pour les fours et chaudières et 94 000 F pour les travaux de génie civil, y compris les déménagements dans la tôlerie. Les trains à blindages seraient placés à la suite du laminoir de 1855, afin qu'ils se suppléent au besoin (fig. 35). Une chaudière à flammes perdues consomme 60 F de charbon par tonne de plaques ou 600 F par jour. Par un simple prolongement des tuyaux existants à la tôlerie et aux Grandes Forges, on peut recueillir 675 ch de vapeur, à raison de 30 ch par four et 5 ch par feu. Mais cette solution suppose la marche simultanée des feux et fours, que les commandes à venir n'assureront pas : d'où l'insistance pour transformer de vieilles ferrailles et un calcul de coût de revient évidemment favorable aux forges de la Marine.

Le projet d'établissement d'un laminoir pour les plaques ordinaires reçoit une approbation « en principe » du ministre le 17 août 1867. Il ne s'agit pas d'un monopole de fabrication, à la différence des plaques en V et de diminution. Fréville indique que les projets définitifs ont été ajournés jusqu'à l'achèvement et les essais des laminoirs de Marrel et de Barrouin. Le responsable de cette temporisation n'est autre que le directeur de Moras. Paris attend à son tour, surtout pour la question financière. Fréville assure que le projet de 1867 est d'actualité en 1870 car le nombre d'industriels pourrait passer de quatre à un ou deux, pour des raisons

¹¹⁵ *Ibid.*, p. 384, 396, 409-415, 419-423, 432, 702-751, pour ce sous-titre.

¹¹⁶ Ainsi le marché Petin et Gaudet du 29 novembre 1867, pour 1 079 t de plaques de l'Océan, stipule la fourniture par la Marine de 735 t de fontes et 365 t de fers, soit presque tout le besoin en métal.

industrielles ou techniques. Il avance cependant que la perspective d'un laminoir à blindages à Guérigny dissuade Le Creusot d'en faire autant, parce qu'il abaisserait inévitablement les prix.

Le projet Fréville d'avril 1870¹¹⁷ vise à augmenter les moyens de la tôlerie, parce que le laminoir de Guérigny ne peut plus soutenir la comparaison avec ses concurrents. Il suffit de considérer les laminoirs des quatre fournisseurs de plaques ; or, le travail des plaques fatigue moins la machine que les grandes tôles, parce que le travail est moins fréquent et que la plaque reste au blanc soudant à cause de sa masse, à la différence de la tôle, qui n'est souvent achevée qu'au rouge sombre, lorsque sa malléabilité est faible¹¹⁸. Au Creusot, les nouveaux trains à tôles sont mus par des machines de 450 et 600 ch. Les ouvriers de Guérigny insistent quelquefois trop et risquent de rompre rallonges, manchons, cylindres ou cages. Ils ont aussi tendance à augmenter la vitesse de rotation pour vaincre l'effort résistant, en utilisant le volant en plus de la machine ! À l'insuffisance de puissance s'ajoute l'absence de l'inverseur de marche de 1855, reconnu défectueux et qui n'a jamais été monté, et aussi la longueur de la table (1,80 m), également trop faible pour les grandes tôles. Le changement de marche est indispensable, et les quatre fournisseurs de plaques ainsi que Le Creusot en ont équipé leurs laminoirs. Les trois lacunes empêchent l'établissement de produire les pièces de grandes dimensions, qui sont de plus en plus courantes.

Fréville propose d'y remédier en trois étapes et en se servant de pièces en magasin, comme cylindres ou arbre de machine réformée... La deuxième machine de 200/300 ch sera installée à côté de la première et reliée à elle par des tourteaux d'embrayage. Elle prendra la place d'un train des deux trains à tôles qui ne marche pas comme tel « à cause des trépidations qui ébranlent les cylindres à tôles dès qu'on passe en même temps des fers marchands », ni comme train à fers profilés parce qu'il est trop près d'un pilier de l'atelier. Et, comme cylindres ébaucheurs, il fait double emploi : il n'y a qu'à le supprimer. Le nouvel arbre moteur transmettra les 600 ch et portera l'engrenage moteur en son milieu.

Un seul nouveau train, venant à la suite du train à grosses tôles existant (deux cages, table de 1,4 et 1,2 m), permettra la fabrication des blindages, des grands fers à T, des grandes tôles et des couvertures des plaques. Le nouveau jeu de cylindres horizontaux mesurera 3 m de longueur, 90 cm de diamètre, 70 à 80 cm d'écartement maximal, afin de passer des plaques de 35 cm terminées. La transmission par arbre intermédiaire du train à tôles sera conservée et dotée d'engrenages plus forts pour le nouveau train. La troisième étape ou transformation en laminoir universel suppose l'existence d'un changement de marche et de la double allure (12 t/mn pour les blindages, 22 t/mn pour les grandes tôles), un nouvel arbre intermédiaire plus fort et des cylindres verticaux de 0,45 m de diamètre et leur transmission.

Trois nouveaux fours desserviraient le nouveau laminoir, l'un ayant 4 m de largeur de sole et les deux autres, 3 m. Fréville n'oublie pas leurs grues, des grues à vapeur de 30 et 20 t. La force indiquée tient compte des tenailles équilibrées de Montluçon, qui sont plus lourdes que les paquets qu'elles doivent porter ; on prévoit des plaques pesant jusqu'à 12 t.

117 « Note à l'appui d'un projet d'installation d'une nouvelle machine motrice et d'un grand train à tôles, pouvant être transformé en laminoir universel », *Mémorial du Génie maritime*, 8^e livraison de 1870 et planches (non trouvées) dans l'*Atlas du Génie maritime*. Fréville est alors chargé de la surveillance des fabrications de blindages dans l'industrie.

118 Fréville s'explique ainsi : « Tandis que pour les plaques de blindages, le serrage des cylindres est calculé de telle sorte que l'allongement dans chaque passe soit à peu près le même pendant toute l'opération, il présente pour les couvertures comme pour les grandes tôles ce point caractéristique que l'allongement augmente avec les numéros de la série des passes. En d'autres termes, pour les plaques de blindages le serrage, d'après les résultats de la pratique, diminue sensiblement dans le rapport de la longueur de la pièce ; pour les grandes tôles, il décroît moins rapidement et, par conséquent, l'allongement augmente beaucoup plus vite. On a été conduit à cette règle par suite du refroidissement du métal de plus en plus rapide, à mesure que son épaisseur diminue. C'est cette raison qui explique comment le travail des grandes tôles est plus fatigant pour la machine que celui des blindages. »

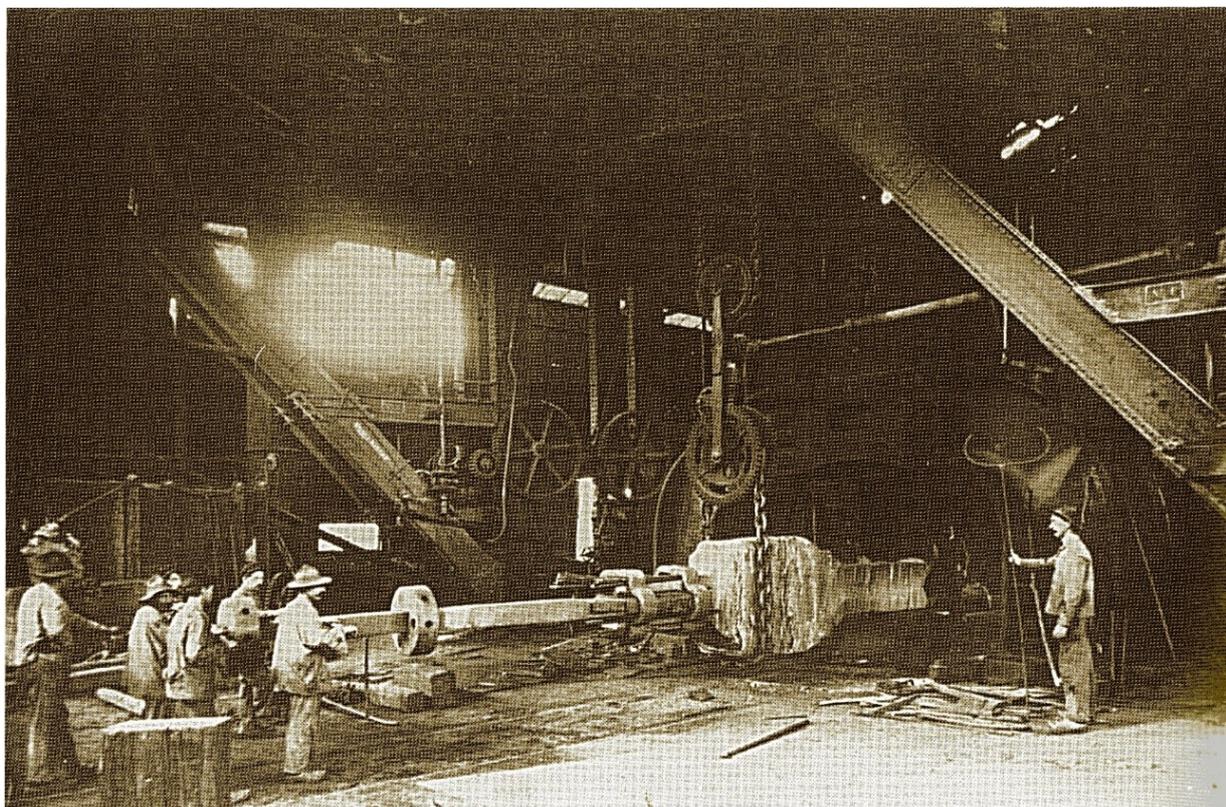


Fig. 44 : Travail au marteau-pilon de 20 t de 1868, le plus puissant dont les forges de La Chaussade aient été dotées. Le marteau est au second plan, la pièce à forger, munie de son « gouvernail », repose sur l'enclume. Le marteau est desservi par quatre grues à pivot et à vapeur de 40 t. Ces grues permettent de déplacer la pièce sous l'enclume et dans le four avec le gouvernail. L'équipe de forgerons symbolise le travail à l'entreprise.

La dépense totale prévue est ramenée de 754 500 F (projet de 1867) à 345 000 F, mais en puisant dans les stocks des organes ou des pièces importantes. Le projet Fréville a été approuvé et sa réalisation commencée juste avant la guerre. La décision a été rapportée le 16 mars 1871, mais Moras a été autorisé à installer la deuxième machine à vapeur et un changement de marche pour le train à tôles, changement de marche susceptible de desservir aussi le laminoir universel espéré. À quelques mois près, peut-être, Guérigny devenait une usine à blindages.

3.5. Les travaux et les jours (1878-1890).

La guerre de 1870 semble avoir donné un coup de vieux à l'établissement¹¹⁹. Alors que le travail de l'acier, sinon son élaboration, s'étend dans les sociétés travaillant pour la Marine, il met en œuvre le puddlage sans renoncer au fer au bois. Certes, son pouvoir de décision est faible, mais les démarches de Moras lui font du tort, à l'inverse de celles de Zeni. Nous avons l'impression qu'il s'enfonce dans l'autarcie. Plusieurs hommes de valeur ne sont pas restés assez longtemps pour maintenir le bon cap : c'est le cas de Marielle (1817-1897), prédécesseur de Moras et directeur jusqu'en 1866 et de Barba (1840-1926). Ce dernier part à Lorient en 1868, puis pantoufle au Creusot, dont il va faire les beaux jours. Mais que penser de la direction du Matériel et notamment de l'ingénieur Sabattier (1820-1884), son chef ? Abandonne-t-elle en fait un établissement qui a été agrandi par le régime politique précédent et qui a fait des progrès ? Elle paraît soutenir un directeur peu clairvoyant et même rétrograde qui ne quitte Guérigny qu'en 1881.

L'inspecteur général Gervaise (1817-1882) remarque d'abord, en 1876, que le moment d'envisager l'emploi de l'acier pour les ancres et les chaînes est proche, afin d'augmenter leur solidité sans modifier beaucoup leurs dimensions ni leur poids. L'atlas de 1837 est rendu presque entièrement caduc par les changements dans le matériel naval. Plus tard dans l'année, il est désolé de constater que le projet de tarif de main-d'œuvre établi à Guérigny, outre les nombreux objets qui n'ont plus d'emploi, trahit le fait que « le milieu dans lequel vit ce grand établissement de la Marine est en quelque sorte devenu étranger au courant des idées

¹¹⁹ Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 446-448.

nouvelles qui dominent actuellement dans les ports. [...] Il n'est pas trop tôt de s'occuper de faire cesser cet isolement [...]. » La direction du Matériel lui fait alors passer un projet d'atlas révisé : il a l'impression que l'on se moque de lui et le renvoie sans autre forme de procès. Quatre ans plus tard, l'atlas n'est toujours pas révisé. Sabattier juge utile de conserver Indret et Guérigny réduits au strict nécessaire, c'est-à-dire pour les fabrications qu'on ne peut pas confier à l'industrie, les ateliers des ports ne pouvant pas travailler dans d'aussi bonnes conditions. L'établissement pressent lui-même que l'avenir est à l'acier, mais il s'accroche au passé, aux ateliers utilisant la force hydraulique surtout...¹²⁰.

Les trois ateliers en 1878. L'atelier principal des Grandes Forges, construit en trois étapes, 1843, 1855 et 1869 et couvrant 2 750 m², paraît très bien outillé, comme le signale le directeur : il comprend un pilon de 20 t desservi par quatre grues à vapeur de 40 t, l'ensemble commandé en 1868 et mis en service au début de 1870 ; deux pilons de 12 t, datant de 1857 et 1858 ; un pilon de 5 t provenant de Rochefort et réinstallé en 1866 pour l'encollage des grosses ancrés ; 13 fours à réchauffer ; une presse à cintrer de 1 000 t ; une grande scie à blindages. De cet atelier dépendent : l'atelier de corroyage hydraulique (dit n° 2), avec ses deux ordons et son four à réchauffer ; l'atelier des manilles et émerillons (n° 4), qui a gardé ses deux martinets. L'ensemble se partage 26 grues à bras (dont 12 de plus de 20 t), une soufflerie à cylindres, 3 ventilateurs, 4 autels de forge¹²¹. Les moyens en place permettent de fabriquer les plus grosses pièces de fer, y compris les blindages qui ne peuvent être travaillés au laminoir : le pilon de 20 t accepte des paquets de barres de 30 t. Cependant, l'examen du tableau des productions de 1872 à 1877 donné par Moras et le fait qu'un dixième seulement des blindages produits de 1875 à 1877 a été élaboré au pilon, soit 68 t par an, montrent assez que cet atelier reste sous-employé. Pis encore, l'abandon des plaques en V et la fabrication des plaques de diminution au laminoir ont rendu inutile le pilon de 20 t en l'absence de commandes de pièces de grosse forge en acier. Peut-être l'achat de ce pilon était-il lui-même inutile, le travail des blindages au pilon ayant été rapidement abandonné pour une solution logique, sauf peut-être aux yeux de certains ingénieurs qui osaient faire exécuter des plaques comprenant des surfaces gauches.

La tôlerie, construite en 1855 à côté de l'atelier précédent le long du bief, une erreur qui va coûter cher, et agrandie en 1859 et 1873, possède comme les Grandes Forges *un réseau central de vapeur* ; les deux réseaux peuvent être reliés pour s'entraider en cas de besoin. L'atelier produit, avec ses dix feux d'affinerie et ses trois fours à puddler tout le fer dont l'usine a besoin, à l'exception du fer à câbles jusqu'en 1889. L'installation d'affinage est complétée par deux pilons cingleurs de 2 t. L'installation de laminage comprend un train à cinq cages pour les fers et un train à trois cages pour les tôles achetées en 1855, et le train à fers, clous et rivets à deux cages datant de 1829 et déplacé de Guérigny à Villemenant en 1874. Un deuxième moteur de 200 ch et un dispositif de changement de marche sont en cours de montage en 1878. L'une des cages à tôles a été changée, sa capacité est supérieure, mais elle reste une cage à tôles, surnommée cage à blindages par euphémisme : la largeur maximale des tôles est accrue de 40 cm et l'épaisseur peut atteindre 5 à 6 cm. Les laminoirs desservent six fours à réchauffer, un four à recuire, un four à blindages. Les autres machines associées aux laminoirs sont les suivantes : un pilon cingleur de 8 t desservi par une grue (déplacé de l'atelier des Grandes Forges), une soufflerie à cylindres, quatre grandes cisailles, une deuxième grue, deux autels de forge, un tour à métaux pour les cylindres de laminoir, un petit tour, un pilon à double effet Varrall acheté en 1865.

Par suite de l'insuffisance des moyens de manutention, le poids maximal des tôles finies que la tôlerie peut fabriquer est de 3,5 t, valeur doublée par la mise en service du changement de marche. Une grue de 20 t est ajoutée en 1884. L'épaisseur maximale de fer qu'il est possible de laminier est de 10 cm (plaques finies), mais Guérigny n'a encore produit au laminoir que des plaques de pont de 5 à 6 cm. Le laminoir à tôles continue de servir intensivement, la part des blindages étant du tiers environ du total des tôles et blindages, devenus la première production des forges. On passe au laminoir des tôles fines au bois, des tôles supérieures ou ordinaires obtenues par puddlage de fontes de démolition mélangées à de bonnes fontes neuves au coke, ou résultant du déclassement de tôles fines. Les fers laminés, les fers de calibres et les cornières, en nette diminution, occupent le train à fers, et l'on peut supposer que l'atelier entier continue de travailler jour et nuit.

120 Les progrès de l'acier dans l'industrie française sont relatés au chapitre 8 à propos de ceux des blindages, comme dans notre mémoire de maîtrise.

121 Lors de la réfection de la charpente et de la toiture de la tôlerie et des Grandes Forges, on a rendu toutes les grues indépendantes des charpentes.

L'atelier d'ajustage n° 1 est équipé d'un pont roulant de 10 t, le seul de l'établissement en 1878, une aléuseuse, une machine à cintrer les tôles, une grande machine à buriner, deux grands étaux-limeurs, une grande machine Hartmann à raboter et à fraiser et trois rabots à fosse. Cinq chaudières à chauffe directe alimentent les moteurs de quatre des neuf machines qui en sont dotées (30 ch en tout) et la machine de 70 ch qui commande les autres outils. Cet atelier, destiné principalement à l'usinage des plaques de blindage, est jugé insuffisant par Moras par le nombre des machines-outils. Elles peuvent ajuster les grosses pièces de forge, telles que les étambots et étraves de cuirassés, les gouvernails, les plaques de renfort de chevilles ouvrières.

La comptabilité de Guérigny. Le directeur de Moras aborde sans détour la question des frais généraux, centrale dans les préoccupations de la commission mixte, qui pose des questions à tous les établissements et services qu'elle visite. Parce qu'il doit suivre les anciennes routines et non les résultats d'une comptabilité bien ordonnée comme il en existe chez des fournisseurs de la Marine, à commencer par ceux auxquels Guérigny peut et doit se comparer¹²². L'une des justifications officielles de son existence est la connaissance des coûts de revient de l'industrie, ceux que les prix des marchés laissent deviner ou ceux qu'elle devrait raisonnablement retenir dans ses prix, par comparaison avec ceux de Guérigny. La menace de passer des commandes à un établissement d'État, lorsque les prix sont exagérés ou qu'aucun fournisseur ne veut s'en charger — le cas s'est produit plus d'une fois — peut suffire à faire baisser les prix — cela est arrivé aussi —. Mais, pour faire jouer cette menace, les établissements d'État doivent employer une comptabilité industrielle et des pratiques qui rendent *crédibles* leurs coûts de revient à Paris, qui les connaît et par l'industrie, qui n'est pas censée les connaître.

Moras distingue les frais accessoires de fabrication compris dans les feuilles d'ouvrage des frais généraux qu'il assimile à l'ensemble des autres dépenses d'exploitation. Il postule qu'ils ne changent pas lorsque la production varie dans de grandes proportions et distingue donc les époques 1867-1869 (1 290 ouvriers, 2 931 t produites en moyenne) et 1872-1877 (910 ouvriers, 2 119 t). La comptabilité ne faisant aucune différence entre les productions, il calcule deux coefficients moyens de frais généraux qui masquent d'importantes variations annuelles. Son calcul est correct, quoiqu'il soit établi avec des données de comptabilité qui sont inexactes.

Pour connaître les dépenses d'exploitation de l'usine au profit de la Marine, le directeur *ajoute* aux dépenses en deniers liquidées par l'établissement celles qui le sont à Paris pour son compte, les fournitures reçues, les frais de transport des productions ; il *soustrait* la variation des stocks en magasin, des en-cours et des valeurs mobilières, le montant des constructions et des grosses réparations (elles sont comptées dans les sommes liquidées) et les dépenses indépendantes de l'exploitation. Il remplace les valeurs mobilières et immobilières par le taux conventionnel d'amortissement. En l'absence de livres comptables ou de résumés, nous n'avons pu faire mieux que comparer le détail des dépenses par chapitres donné pour 1877 avec celui que fournit l'état des dépenses ordonnancées par localités inséré dans le *Compte définitif* de cette année : la concordance des dépenses pour sept des dix chapitres tend à montrer que les dépenses d'exploitation se rapportent à l'exercice budgétaire et non à l'année, contrairement aux livraisons. Moras ne peut faire autrement. Aucun contrôle n'est possible sur les achats car Guérigny ordonnance moins de la moitié des dépenses qu'il liquide : ou bien Paris à négocié et notifié des marchés à la place de Guérigny, ou bien il est jugé préférable d'ordonnancer certaines dépenses à Paris, où se trouvent les sièges sociaux des grandes sociétés.

Au total des dépenses d'exploitation telles qu'on peut les évaluer grâce à la comptabilité en deniers, Moras retranche la valeur de la production telle qu'elle ressort de la comptabilité des travaux. Nous supposons qu'il a compris les productions expédiées chaque année civile. Les feuilles d'ouvrage comptabilisent les matières et demi-produits au prix de nomenclature, alors que les dépenses liquidées correspondent aux prix réels, qui sont alors, de l'avis de plusieurs directeurs, nettement inférieurs : cela a pour effet d'augmenter les coûts directs et de réduire le taux de frais généraux calculé sur ces coûts. La seconde partie du tableau n° 5, sans puis avec les amortissements, montre bien la diversité des productions, désignées de façon trop vague, dont le coût direct varie dans le rapport de 1 à 3 et auquel on applique uniformément des frais généraux, qui ne peuvent être les mêmes aux Grandes Forges dont l'équipement est considérable et l'activité insuffisante et à l'atelier des rivets.

122 Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 616-630.

La Marine ne pratique pas l'amortissement¹²³. Guérigny le fait lorsqu'il prépare des devis pour des cessionnaires étrangers à la Marine. Moras juge que l'État n'a pas à faire un tel calcul : il suffit qu'il produise à des prix tels que, « comparés à ceux qu'il paierait à l'industrie pour les mêmes fabrications à *qualités égales* [souligné], il retrouve l'intérêt ordinaire annuel du montant desdites valeurs [mobilières et immobilières], tout en les maintenant en bon état par un entretien continu. » Les dépenses d'entretien sont comprises dans les dépenses d'exploitation (dépenses liquidées du tableau), les constructions neuves et grosses réparations des bâtiments en sont retranchées ainsi que la variation des valeurs mobilières. On remarque que celles-ci augmentent peu après 1870, et ce fait souligne la situation difficile de l'établissement, qui ne prend pas fin avec la disparition de la commission mixte. L'annuité d'amortissement est comptée au taux de 4,25 % des montants inscrits à l'inventaire, soit un amortissement complet en 23 ans et demi avec intérêt simple. L'amortissement reste une convention. Les deux catégories de frais généraux — hors amortissements et amortissements — comptent pour 39,3 et 22 % en moyenne des dépenses des feuilles d'ouvrage sur les trois années 1867-1869, 53,9 et 21,1 % de 1872 à 1877. Moras ne se fait pas d'illusion sur la valeur vénale des immobilisations : Cosne a été vendu pour le tiers de sa valeur d'inventaire, Le Greux pour la moitié. En prenant pour valeur vénale des immeubles le quart de cette valeur, et le tiers pour les meubles, les coefficients d'amortissement baisseraient de 22 à 7,4 % et de 21,1 à 7,4 % respectivement. Rappelons que les frais généraux sont appliqués aux coûts directs et non à la seule main-d'œuvre directement appliquée.

Les pièces de grosse forge ne sont pas forcément moins chères à Guérigny, admet Moras, mais il importe, pour diminuer les frais généraux, de charger d'abord l'établissement avant de passer des commandes à l'industrie. Il a raison sur ce point. Une compagnie de la Loire a obtenu en 1876 un étambot aux dépens de Guérigny — c'est le deuxième cas prouvé de mise en concurrence, après la cuirasse de la *Gloire* en 1859 — car elle proposait un délai de 4 mois et 3,90 F le kg, contre 7 mois et 3,67 F. L'étambot a été livré en dix mois. Les ports concurrencent toujours les forges, par exemple dans la fabrication des ferments, dont ces dernières respectent mieux les dimensions réglementaires. La production des chaînes se répand, et Guérigny n'a qu'un marché captif et une clientèle, sinon d'occasion, du moins fort restreinte. Moras admet que les grosses chaînes Marrel sont des produits soignés, mais non supérieurs aux siennes. Un essai comparatif a lieu en 1876 et a tourné à l'avantage des forges, sans que le concurrent ait démérité. Les commandes de 1865 à 1877 atteignent 920 000 F, dont près de la moitié la première année. Guérigny aurait conservé la clientèle des Messageries maritimes et des Forges et chantiers de la Méditerranée et attiré d'autres clients de cette catégorie très importante, si la Marine n'avait pas engagé les deux premières sociétés à se fournir auprès de l'industrie pour prévenir des plaintes.

Les blindages occupent peu à peu la première place dans les fournitures à la Marine des sociétés métallurgiques. Marchal, interrogé par la délégation de la commission mixte, déclare que les productions de l'industrie sont satisfaisantes, sauf les plaques les plus épaisses, et que l'augmentation de l'outillage de Guérigny est le moyen de réduire les prétentions des maîtres de forges dans certains cas et de mieux asseoir ses frais généraux. Moras ajoute qu'avec un véritable atelier à blindages, la Marine pourrait faire des essais de fabrication et des recherches sur le meilleur fer possible, de manière à obtenir des progrès des quatre fournisseurs privés... L'amélioration de l'outillage, qui n'est qu'une menace, peut devenir une réalité, et Moras soupçonne ces fournisseurs d'encourager ceux qui, « au gouvernement », voudraient supprimer l'établissement.

Jusqu'en 1879, Guérigny ne fabrique que des blindages de 5 et 6 cm en fer, la limite de 10 cm étant atteinte plus tard. La production s'élève à 540 t en moyenne pendant les neuf années de référence ; elle dépasse légèrement ce chiffre (577 t) de 1885 à 1889, et le directeur Carlet assure que Guérigny aurait pu en produire le double avec le même nombre d'ouvriers et le même montant de frais généraux. Les dernières années des blindages de pont en fer sont marquées par une augmentation considérable des prix qui justifierait l'intervention des forges comme « modérateur ». En effet, les 22 marchés de l'espèce, de 1885 à 1892, pour un tonnage de 7 176 t, ont coûté environ 165 F les 100 kg rendus à destination. Les blindages que Guérigny a expédiés de 1885 à 1894 représentent 4 532 t, soit presque 40 % du total, ce qui fait de l'établissement un fournisseur ordinaire pour ces plaques, plus 302 t de blindages divers : l'ensemble a coûté 83,6 F les 100 kg, selon les

123 Certains industriels, comme Schneider, n'amortissent pas non plus à cette époque, ils comptent en dépense sur l'exercice d'imputation la dépense entière des machines comme celle des crayons. Cette pratique entraîne des disparités dans les bilans annuels, et donc des gestions moins faciles à suivre dans le temps, mais il faut dire que l'impôt sur les sociétés est encore inconnu. L'ingénieur Berrier-Fontaine (1838-1908) a simplement ajouté aux montants annuels des feuilles d'ouvrage celui des investissements de l'année afin de déterminer des taux de frais généraux pour Guérigny pendant les années 1885 et 1889.

feuilles d'ouvrage, et 97,8 % en tenant compte des frais généraux, ici évalués à 82 % de la main-d'œuvre directement appliquée pendant la période 1890-1892, selon les instructions du Comité d'examen des comptes de travaux de la Marine créé en 1888, et 101 F transport compris. La différence est donc considérable, elle dépasse sûrement de beaucoup le coût de revient réel de Guérigny abondé du bénéfice et des charges légitimes de l'industrie calculées correctement. Les blindages de pont en acier extra-doux qui se substituent aux blindages en fer à partir de 1891 ne sont pas moins chers : on a recensé 26 marchés de 1891 à 1895 pour un tonnage de 6 122 t et un prix moyen de 172 F les 100 kg rendus dans les ports¹²⁴. *Guérigny ne joue donc pas le rôle modérateur des prix qui lui est assigné.*

	1867	1868	1869	1872	1873	1874	1875	1876	1877
Dépenses liquidées par Guérigny	3 816 930	3 315 326	3 208 085	2 458 122	2 254 289	2 281 586	1 968 378	2 414 607	2 680 769
Valeur des matières et appareils envoyés par les ports et par Paris	69 300	205 917	106 489	297 701	155 225	21 971	30 815	11 652	16 591
Dépenses liquidées par Paris									
charbon	274 311	198 600	208 219	167 500	154 000	267 600	163 200	223 100	340 200
machines-outils et appareils	402 394	156 550	6 580	-	12 150	-	15 285	30 299	-
Frais de transport des produits fabriqués à destination (estimation : 35 F la tonne)	100 695	109 830	97 195	60 931	70 251	83 529	87 123	74 676	68 463
- Δ stocks (magasins)	(820 603)	(62 176)	74 848	(888 061)	186 298	746 458	572 392	15 049	(397 303)
- Δ en-cours	17 688	(71 995)	(63 157)	286 260	(121 478)	(33 674)	(112 550)	196 839	69 650
- Valeur des constructions neuves et des grosses réparations	(118 376)	(93 059)	(131 529)	(26 250)	(22 173)	(64 372)	(25 614)	(27 506)	(79 617)
- Δ Valeurs mobilières	(435 114)	(307 137)	(279 632)	-	(37 152)	-	(83 862)	(16 356)	(3 905)
- Frais divers étrangers à l'exploitation de l'usine	(22 949)	(25 511)	(25 511)	(25 690)	(24 350)	(31 125)	(32 500)	(32 989)	(32 790)
(1) Total des dépenses d'exploitation	3 284 276	3 426 345	3 201 587	2 330 513	2 627 060	3 271 973	2 582 667	2 889 371	2 662 058
(2) Valeur de la production (feuilles d'ouvrage)	2 224 288	2 543 112	2 347 548	1 661 146	1 634 761	1 928 843	1 811 227	1 809 076	1 787 290
Pourcentage de frais généraux(1)-(2)/(2)	47,7 %	34,7 %	36,4 %	40,3 %	60,7 %	69,6 %	42,6 %	59,7 %	48,9 %
Amortissement à 4,25 % des immobilisations en pourcentage de (2)	nc	nc	nc	22,9 %	22,8 %	19,5 %	20,7 %	20,9 %	21,3 %

	1867	1868	1869	1872	1873	1874	1875	1876	1877
Tôles	782,6 t 0,509	1 113,7 t 0,517	1 092 t 0,532	566,8 t 0,795	790,4 t 0,724	1 059,4 t 0,631	871,3 t 0,547	519,9 t 0,628	518,0 t 0,670
Fers laminés, corroyés, à sections profilées, etc	397,1 t 0,431	313,9 t 0,445	68,5 t 0,420	76,8 t 0,393	49,4 t 0,501	179,2 t 0,503	126,2 t 0,398	74,3 t 0,462	51,8 t 0,507
Objets de gros corroyage	152,4 t 1,124	153,1 t 1,309	50,7 t 2,136	16,5 t 2,874	33,7 t 1,465	71,4 t 2,557	49,7 t 2,370	55,8 t 2,526	128,3 t 2,162
Blindages (au pilon ou laminés)	488,6 t 1,223	613,0 t 1,313	608,6 t 1,139	470,0 t 1,166	282,9 t 1,081	348,9 t 1,114	758,5 t 0,752	756,9 t 0,855	533,9 t 0,727
Objets de moyenne et petite forge	274,1 t 1,284	250,9 t 1,317	225,1 t 1,957	102,8 t 2,108	208,2 t 0,962	60,6 t 2,168	113,7 t 1,475	131,7 t 1,586	191,0 t 1,612
Clous, boulons, écrous	178,6 t 0,967	214,8 t 0,913	129,1 t 1,064	91,7 t 1,161	109,1 t 1,275	86,6 t 1,379	125,9 t 1,211	154,4 t 1,107	122,7 t 1,403
Rivets	180,8 t 0,515	123,0 t 0,548	253,4 t 0,552	176,0 t 0,600	336,9 t 0,638	413,9 t 0,577	270,7 t 0,585	218,3 t 0,587	217,5 t 0,549
Chaînes	423,5 t 0,635	356,4 t 0,641	350,4 t 0,620	240,3 t 0,646	196,5 t 0,648	166,8 t 0,648	173,2 t 0,670	222,1 t 0,675	192,9 t 0,740
Total exporté	2 877,5 t 0,773	3 138,8 t 0,814	2 777,8 t 0,845	1 740,9 t 0,954	2 007,1 t 0,814	2 386,8 t 0,808	2 489,2 t 0,728	2 133,4 t 0,848	1 956,1 t 0,914

Tableau n° 5 : en haut, dépenses d'exploitation de l'établissement de Guérigny au profit des ports et d'Indret et détermination de ses frais généraux annuels moyens de 1867 à 1879 ; en bas, production et coûts de revient direct (feuilles d'ouvrage) pour ces destinataires. Rapport de Moras de 1878-1879, dans Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 616-617.

¹²⁴ La fabrication des plaques en acier doux à Guérigny commence en 1895.

Une amélioration partielle de l'outillage (1879-1890)¹²⁵.

1. L'atelier d'ajustage n° 1. Les deux ateliers d'ajustage occupent le quart de l'effectif des forges en 1885, et leur importance ne fait que croître. L'atelier ne comporte qu'une nef jusqu'en 1882 ; une deuxième travée est alors ajoutée, une troisième en 1896 et une quatrième en 1905, ce qui montre le rôle dominant que joue désormais l'ajustage dans ces forges.

L'inspecteur général Marielle demande en 1884 un rabot pour des pièces de 5 m de longueur, à outil de côté travaillant à l'aller et au retour, de manière à usiner les grosses pièces de forge autrement qu'au rabot à fosse, vu que le montage des pièces y est très long. Cette machine est réclamée depuis 1877. Cependant, le pont roulant dans la grande travée de 16 m passe avant le rabot. Un pont sur voie aérienne et *électrifié* de 25 t y est enfin installé en 1887. Il est bien, semble-t-il, installé dans cette travée, et la grue roulante à chevalets de 10 t déplacée dans la deuxième travée (de 10,5 m) et non remplacée par un pont roulant, en dépit de ses défauts. Un pont électrique de 25 t équipe ensuite la troisième travée. L'atelier est traversé dans le sens de la longueur par trois voies ferrées étroites et parallèles, reliées par une voie transversale et des plaques à l'extérieur, du côté des Grandes Forges. Le chariot portant une plaque d'une machine à une autre est forcé de rebrousser chemin pour sortir de l'atelier quand elle est terminée, ce qui gêne le travail des autres plaques et oblige à arrêter des machines. Il faudrait donc une deuxième voie, de l'autre côté : demande exaucée par le ministre en octobre 1881.

La machine à raboter continue d'être réclamée : la course est augmentée à 8 m en 1886, pas les crédits ! Carlet insiste sur le fait que le rabotage retarde les livraisons de plaques de pont car il n'y a que deux rabots susceptibles d'exécuter le travail. Une machine Frey de 10 m de course est enfin commandée et elle est livrée à la fin de 1890. L'atelier reçoit trois autres machines importantes en 1885 et 1887 : un étai-limeur à deux outils avec moteur (Varrall, Elwell et Middleton), une machine à percer et à fraiser à deux outils avec moteur, et enfin un tour monumental à fosse, à deux chariots avec moteur coûtant la bagatelle de 370 000 F (Heilmann, Ducommun et Steinlein, à Mulhouse). L'outillage de cet atelier est de grande valeur et il a été en bonne partie renouvelé en l'espace de dix ans.

2. L'atelier des Grandes Forges. En 1885, il est dit vieux et obscur ; la charpente en bois constitue un danger permanent d'incendie. Comme elle sert d'appui à une partie des grues, elle est délabrée. Il convient de rendre ces dernières indépendantes de la toiture, puis de la refaire. Les murs, au moins ceux de la tôlerie, sont surélevés afin d'accueillir des ponts roulants dont les deux ateliers sont dépourvus. Le déplacement de la fosse à tremper, le montage du pont roulant qui a été livré et la réinstallation de la presse sont à réaliser en même temps. La réfection des toitures est terminée en 1890. La suppression du travail au pilon des plaques de blindages occasionne une forte sous-activité. Deux grues de 25 t commandées à Cail sont en cours de livraison en 1886. On devrait, écrit le directeur, y placer la grue tournante de la tôlerie pour la manœuvre des plaques de pont et un pont roulant. Celui-ci est réceptionné à la fin de 1890. La grue qui dessert les fours à tremper et à réchauffer est dangereuse. Elle doit être remplacée par celle de 20 t du laminoir, dès qu'un pont roulant aura été installé à la tôlerie. Un pilon de 5 t pour les ancrs (à jambes écartées), fourni par Fives-Lille, est en service en 1887. La presse hydraulique (celle de 1867) est modifiée pour le gabariage des plaques, la fin du montage doit avoir lieu en 1892, annonce le rapport annuel de l'année précédente.

3. La tôlerie. Le rapport annuel de 1885 porte que l'atelier est à l'étroit, et que son outillage date un peu. Le principal problème réside dans le laminoir à tôles, qui est faible pour les épaisseurs des plaques de pont. Les deux cylindres qui servent aux blindages et qui viennent on ne sait d'où ont remplacé l'une des cages à tôles vers 1880. Ce sont en réalité des cylindres pour fortes tôles, de 2,20 m de longueur et 0,65 m de diamètre. Le poids des plaques dépasse souvent 10 voire 12 t, la longueur 10 m. Comme l'épaisseur des paquets à laminer est limitée par l'écartement des cylindres, on est obligé de chauffer le fer à une température trop élevée, afin de diminuer la résistance à l'écrasement et donc de ménager le laminoir, au risque de rendre le fer des surfaces extérieures plus cassant au tir.

Une dépêche ministérielle de janvier 1887 signale une fois de plus comme étant de première urgence l'installation d'un nouveau laminoir pour les plaques de pont jusqu'à 10 cm et d'un pont roulant de 40 à 50 t. D'après les essais qui ont été faits, le laminoir existant est limité aux dimensions suivantes : 4 x 1,8 x 0,08 m ou 5 x 1,8 x 0,06 m. L'établissement doit décliner certaines commandes. Une plaque de 12 cm a été laminée pour

¹²⁵ Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 693-701.

découper des glacis circulaires. On a trouvé, lors de l'ajustage, des défauts de soudure dans les parties intérieures que l'on peut attribuer à la faiblesse du laminoir, qui serait plus faible encore avec l'acier. Cette faiblesse tient surtout à la levée insuffisante pendant les premières passes, mais on signale aussi l'insuffisance des fours en nombre et en dimensions et la faiblesse des grues. Moras parle d'une cage « moins considérable et complexe que le plus faible des laminoirs à blindages dits universels de l'industrie ». Cet ingénieur se tient toujours dans la même posture défensive, suggérant de fabriquer les pièces principales, d'acheter les autres ou de les faire usiner par Fourchambault-Commentry, titulaire du marché *ad hoc*. La largeur utile serait de 2,94 m, la levée de 0,70 m. l'inspecteur Gervaise fait remarquer que 210 000 F ont été consacrés depuis 1870 à ce genre d'installations ; le complément de 140 000 F est donc indispensable « au bon rendement des débours faits ». Il préfère cependant un laminoir universel à réaliser par étapes. Il se peut que la nouvelle cage ait été accordée : le maximum atteint est de 12 cm en 1891.

De manière incompréhensible, si l'on s'en tient au rôle officiel de Guérigny, les ingénieurs appuient la demande de laminoir aux dépens de l'aciérie. « Même sans aciérie, écrit Korn dans le rapport de 1889, installation *que nous ne songerions pas à demander pour Guérigny*, nous pourrions fabriquer avec l'outillage que nous avons sollicité, au même prix à peu près que ceux des plaques en fer, des plaques en acier à épaisseur constante ou variable ». La production de plaques (600 t) pourrait être doublée sans augmentation de moyens. L'industrie est-elle en droit de réclamer contre la fabrication par l'État ? Korn ajoute : « Les revendications de certains industriels ne sont donc, en réalité, que des demandes déguisées d'un monopole à leur profit. » Sans ce laminoir, Guérigny ne pourra plus faire de plaques, ce qui grèverait les autres fabrications de frais généraux supplémentaires. *Korn conclut par dire que le laminoir est d'une importance vitale pour l'établissement, non la production d'acier*. Dix ans après la visite de Gervaise, son successeur de Bussy répète la recommandation tendant à « engager franchement [Guérigny] dans la voie de l'acier ». En 1886, des essais de fabrication de tôles d'acier et d'objets de forge ont lieu dans cette matière avec de l'acier de Longwy. L'année suivante, l'usine utilise 107 t d'acier, essentiellement de l'acier doux à rivets. Korn écrit encore (rapport de 1891) : « Guérigny est peut-être le seul établissement en France qui fabrique encore des pièces de forge en fer au bois. J'estime qu'il faut persister dans cette voie pour les pièces importantes telles que [les] ancras, étraves, étambots, certaines ferrures relatives à la manœuvre des chaînes, de la mâture et des embarcations ; mais, dans bien des circonstances, il nous semblerait suffisant d'employer des fers puddlés au lieu des fers affinés au charbon de bois. »¹²⁶

Paris trouve une solution provisoire en rachetant le laminoir de la société Terrenoire, entreprise métallurgique de la Loire en faillite. L'État a donc acheté un matériel d'occasion, et cette opération très rare a été critiquée. En avril 1892, le laminoir est réinstallé avec l'un de ses deux fours et commence à fonctionner sans le pont qui doit desservir la travée centrale de la tôlerie et arrive en retard. Le directeur Korn se contente d'un outil qui a prouvé qu'il avait fait ses preuves ; il a vu dans une usine de la Loire un laminoir qui est resté deux ans sans pouvoir servir.

3.6. Le projet de laminoir à blindages, deuxième étape, 1882-1897¹²⁷.

Si l'on suit Gervaise, tout est simple : « les forges de La Chaussade qui, dans ces derniers temps, ont été dépossédées des fournitures des plaques en V et des plaques [de diminution] dont elles monopolisaient la fabrication, devront dorénavant prendre part aux commandes des plaques pour cuirasses des flancs et des tours, concurremment avec les quatre usines de Saint-Chamond, de MM. Marrel, de Saint-Étienne et de Montluçon qui, aujourd'hui, se partagent ces dispendieuses fournitures, assez considérables pour que l'importance de chacune des commandes dépasse souvent les ressources de la production annuelle de l'usine à laquelle elle est accordée, de sorte que ces sociétés privilégiées se trouvent maîtresses des prix. On s'affranchira de ce monopole préjudiciable à la Marine qui, dans beaucoup de cas, s'est vue dans l'obligation de recevoir de mauvaises fournitures ne satisfaisant pas aux épreuves, préjudiciable aussi aux finances de l'État, en faisant entrer en ligne avec ces quatre usines l'établissement de Guérigny qui se trouverait ainsi mis en position de jouer, vis-à-vis de ces dernières, le rôle qu'a si bien rempli Indret à l'égard de constructeurs d'appareils marins,

¹²⁶ Le rapport de 1891 donne les résultats suivants pour les demi-produits de Guérigny : lopins d'affinage, 712 t, barres brutes, 538 t, le tout pour les ports et pour Indret ; total pour les forges, 1 005 t (barres ballées, 229 t, barres pour paquets, 394 t, lopins pour transformation, 27 t, fer ordinaire échantillonné laminé, 125 t, acier laminé en barres, 230 t). Total, 2 255 t.

¹²⁷ Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 702-766, pour ce sous-titre.

je veux dire le rôle à la fois d'*excitateur* [souligné] à fabriquer de bons produits et de *régulateur* [idem] des prix d'une marchandise pour laquelle les marchés industriels ne présentent pas de cotes pouvant servir à en établir la valeur vénale ». Ce discours datant de 1880 a déjà été tenu, notamment en 1866, la dureté des temps en plus : l'industrie nationale est une puissance avec laquelle il faut compter. Dix pour cent de diminution des prix représentent, ajoute l'inspecteur général, la moitié de la dépense à faire, « une fois pour toutes » pour outiller Guérigny, soit 800 000 F.

Gervaise affirme donc que Guérigny a acquis *un droit* sur la production des plaques et qu'il doit être pourvu de nouvelles commandes de cette espèce pour remplacer celles qui ont disparu. C'est ici qu'il faut noter la différence de statut subsistant entre Indret et Guérigny. Dans un rapport au ministre du 16 décembre 1865 en vue d'entériner les commandes de machines de treize bâtiments à passer l'année suivante, Dupuy de Lôme, alors directeur du Matériel, se justifie ainsi¹²⁸ : « il y a lieu *d'abord* [souligné] de réserver pour Indret la construction de ceux de ces appareils que cet établissement peut facilement exécuter. » Les autres sont à attribuer de gré à gré aux Chantiers et ateliers de l'Océan, au Creusot et aux Forges et chantiers de la Méditerranée, après discussion des plans et des prix. D'où 4 machines à Indret de 9 500 ch, 4 pour Le Creusot (7 700), 4 pour la Compagnie de l'Océan (7 440) et 3 pour les F.C.M. (7 400). Dupuy a donc fait trois parts égales pour le privé. Le souci de charger l'établissement d'État est bon et naturel : il ne peut démarcher de clientèle et doit se contenter de ce que l'autorité lui accorde. Ce souci vaut pour Indret, et pas seulement à cette époque, mais qu'en est-il pour Guérigny ? Paris lui réserve quelques productions avec plus ou moins d'insistance et en rappelant quelquefois les ports à leur devoir, sans en faire une obligation absolue ; additionne-t-il seulement les commandes probables en termes de plan de charge annuel ? L'établissement est à découvert, vu que les ports ont en général la possibilité de commander ailleurs des pièces qu'il fabrique ou peut fabriquer à un prix raisonnable. Ce prix est indifférent lorsque l'article est nomenclaturé au prix officiel et, d'une manière plus générale, personne ne sait combien coûte *au juste* l'établissement ou la moindre de ses fabrications. Du reste la centralisation bureaucratique des travaux par Paris se traduit par du désordre dans les ports.

Les deux établissements jouent ou doivent jouer le même rôle technique et économique. Gervaise vante les succès d'Indret, alors que l'opinion de Jauréguiberry est diamétralement opposée. Les trois industriels exploitant le brevet Wilson (Cammell) de blindages mixtes, Marrel, Saint-Chamond et Châtillon-Commentry, sont très en retard : près de deux ans après la notification des premiers marchés en 1880, aucune plaque n'a essuyé le feu à Gâvres, excepté celle du concours... Marielle, qui a succédé à Gervaise en 1881, ne manque pas d'insister sur l'intérêt supplémentaire de fabriquer des plaques mixtes à Guérigny, étant donné la capacité insuffisante de chacune des trois usines. En acceptant la mise à l'étude de l'atelier à blindages le 14 avril 1882, le ministre déclare : « avant d'adopter cette mesure, il faudra que je sois bien édifié sur la réalité des avantages que nous en retirerons car les nombreuses déceptions, les grandes dépenses occasionnées par les machines fabriquées à Indret, la qualité inférieure de beaucoup de produits de cette usine ne m'encouragent pas à confier de grands travaux à nos établissements hors des ports. »

Notons qu'il n'est pas question de fabriquer des plaques en acier, et de l'acier encore moins. À ce moment, seul Le Creusot maîtrise la production des plaques en acier, et il n'est pas partageux. La Marine lui commande des plaques en acier et a poussé les autres fabricants à se lancer dans le blindage mixte pour ne pas être forcée de passer toutes les plaques à MM. Schneider... Le sous-directeur Duchesne soulève la question de l'acier, qui se pose dans les mêmes termes : les lingots sont de qualité incertaine, les délais prohibitifs et, de plus, on ne peut constituer de stocks car chaque lingot doit être proportionné aux dimensions de la pièce à fabriquer, sous peine de déchets considérables. Ces déchets et une partie des résidus des ports seraient convertis dans un four à acier à Guérigny, qui doit faire partie tôt ou tard de l'outillage de l'atelier à blindages, ajoute-t-il.

L'avant-projet Henry du 28 juin 1882 s'élève à un peu plus d'un million et tient compte des renseignements fournis par les trois usines du blindage mixte. L'ingénieur comprend un four Siemens-Martin pour l'acier avec ses gazogènes et un four Siemens à sole mobile servant à chauffer le sommier en fer avant l'aciération. Le devis paraît très sous-estimé, surtout en ce qui concerne le laminoir. Il ressemble à ceux du temps, très proche encore, rédigés sous la supervision de Moras.

128 7 DD¹-170. La note indique les puissances en chevaux nominaux. Nous avons appliqué le coefficient multiplicateur 4 pour obtenir les chevaux-vapeur comme l'a fait Émile Weyl dans le tableau des productions de machines du Creusot pour cette époque (le coefficient est d'abord de 3, à partir de 1839). *Le Génie civil*, « Exposition universelle de 1889 », tome XVI, n° 3, p. 73-77 et n° 4, p. 100-104.

Jauréguiberry autorise le 17 juillet 1882 la fourniture d'un projet : c'est le plan Baysselance du 1^{er} décembre 1883. Le délai est anormalement long : les fournisseurs de blindages mixtes ont pu faire preuve de mauvaise volonté ou la commander, ou alors la rue Royale a tergiversé ou augmenté ses ambitions, comme à l'époque du projet de tôlerie en 1853-1855. Ce projet, le seul dont nous disposons pour décrire la fabrication du blindage mixte, qui a duré dix ans, est analysé au chapitre 8. Il est d'une ampleur pharaonique pour l'établissement : la facture est presque quatre fois plus élevée que celle de l'avant-projet Henry. On prévoit des blindages plus épais et plus grands que ceux alors connus : les dimensions maximales des blindages ou des sommiers sont de 5 x 3,6 x 0,6 m, ce qui représente une masse de 85 t ! Cependant, la capacité annuelle de l'atelier n'est pas indiquée, non plus que celle de l'aciérie. Le projet définitif du 28 juillet 1884 est néanmoins bon, il s'inspire de l'installation de l'usine de Montluçon qui y a coopéré, l'atelier est bien placé dans le pré du Briou, qui permet toutes les extensions futures, sous réserve de fondations suffisantes pour lutter contre la Nièvre. Mais il va falloir faire avaler la couleuvre à un Parlement devenu pour un temps hostile à l'industrie d'État : l'affaire de la commission mixte de 1878 et l'action de la presse ne sont pas étrangères à ce changement d'état d'esprit.

Dans sa séance du 30 novembre 1883, la Commission des machines et du grand outillage a examiné les rapports de présentation des marchés de plaques de pont du *Hoche* et du *Marceau*. Marrel a demandé 114,50 F les 100 kg de plaques de pont percées du *Hoche*, et la Compagnie de Saint-Étienne, 109,50 F pour celles, non percées, du *Marceau*. La commission a soupçonné *une entente*, menacé de passer la commande à Guérigny et obtenu une baisse de 5 F sur les prix, soit 92 000 F sur l'ensemble des deux marchés. Le directeur Carlet croit pouvoir dire que le rôle régulateur de Guérigny est ainsi « prouvé de manière péremptoire ». Dans un autre rapport communiqué à des alliés, dont Laporte (1842-1903), député de Nevers, et daté du 9 juin 1884, Marielle se livre à une étude des marchés depuis 1878. Les blindages en acier de Schneider sont passés de 140 F en 1879 à 173 F en 1884. Les blindages en métal mixte auraient dû baisser en raison de l'amortissement [tel qu'il le conçoit] des frais d'établissement : de 160 à 180 F à l'origine, on en est à 167, 168 et 175 F. La dernière cuirasse en fer, celle du *Duguesclin*, a coûté 128,5 F les 100 kg. Les plaques de pont valent 100 F en 1879, 109,5 F en 1883. Des passages de munitions et des panneaux blindés en fer ont été acquis pour 185 et 190 F en 1883. Les fabricants plaident l'augmentation de la façon et des exigences de qualité. Marielle en convient, en dépit de la baisse des matières premières (qui pèsent plus que le reste dans les devis). La vraie raison, selon lui, c'est la facilité des ententes entre les quatre maisons qui produisent les blindages. Le seul moyen d'y remédier consiste à mettre Guérigny sur le même pied que les usines privées. D'ici à la fin de 1886, la Marine doit acheter 15 400 t de blindages : un surcoût de 45 F les 100 kg occasionnerait une dépense supplémentaire de près de sept millions, soit largement de quoi payer l'atelier à blindages de Guérigny.

Un premier crédit de 400 000 F est inscrit au chapitre des travaux hydrauliques du projet de budget de 1885. Les commissions du budget sont hostiles à la Marine et obtiennent du Parlement des décisions qui l'obligent à lui rendre des comptes chiffrés, certes avec les moyens qu'elle utilise et qui ne sont pas propres à fournir des résultats exacts ni complets. La surveillance des dépenses s'accroît d'année en année, ou au moins la volonté de surveiller une administration soupçonnée de gaspiller les crédits accordés en camouflant des demandes dans les chapitres des projets de budget et en puisant dans des stocks pléthoriques. On se souviendra que le matériel de la Marine coûte alors plus cher que celui de l'Armée. Paul Ménard-Dorian (1846-1907), directeur des aciéries Jacob Holtzer à Unieux (Loire) et député d'extrême gauche de l'Hérault depuis 1877, constate que l'on demande 205 millions pour la Marine, alors qu'elle n'a fourni aucun programme naval par type ni en capital. Aucune réponse n'a été fournie par le ministère depuis 1874, ni dans un cas, ni dans l'autre. L'orateur ne renonce pas à l'idée de la fixation d'un capital naval ; pour le moment, il s'agit de réclamer plus énergiquement que jamais la spécialité budgétaire. Devenu rapporteur du budget de 1885, il propose de réduire le projet de 213,4 à 196,6 millions, soit une diminution inusitée de 8 %, en frappant les organismes « parasites » de la Marine. Il reconnaît l'impuissance du Parlement à réaliser les réformes administratives et attend qu'un ministre courageux en prenne l'initiative. Il saigne la Marine parce qu'il sera impossible de voir clair dans les budgets ni dans les comptes tant que les dépenses ne seront pas présentées en totalité par établissements et par services (c'est-à-dire en fait par objets), comme le souhaitait Lamy. Ménard-Dorian avoue sa préférence pour la substitution de l'industrie aux arsenaux, parce que la productivité du travail est bien inférieure dans les arsenaux. Il observe que, des sept cuirassés en chantier, seul celui qui a été confié à l'industrie, le *Marceau*, aura été livré en cinq ans, et malgré les progrès des arsenaux.

L'éloge que Ménard-Dorian croit devoir faire de Ruelle, établissement d'artillerie en cours de transformation et qu'il doit mieux connaître à cause de ses propres fournitures à la Marine, lui permet de mieux stigmatiser le projet d'atelier à blindages. « Quoique la Marine n'insiste pas pour la construction d'un atelier pour la fabrication des blindages à Guérigny, la commission tient à exprimer son sentiment absolument défavorable à un pareil projet. L'industrie privée nationale a jusqu'ici pourvu la Marine de blindages dans des conditions satisfaisantes. Rien ne justifierait l'installation concurrente d'une industrie d'État qui aurait à s'outiller chèrement et à acquérir, plus chère-ment encore, l'expérience professionnelle, au moment même où il est si naturel de se demander si le rôle du blindage conservera longtemps encore son importance. » L'amiral-ministre Peyron (1823-1892) a troqué l'atelier et quelques autres projets ajournés « pour complément d'étude » contre les trois millions qu'il lui faut pour payer une partie des travaux du bassin de radoub de Saïgon. En somme le combat contre les Tonkinois passe avant celui à mener contre le Comité des forges...

Il était imprudent, dans ces conditions, de demander la construction d'un atelier de quatre millions pour réduire les prétentions des fournisseurs de blindages en matière de prix. On a oublié que le véritable intérêt de la Marine était dans l'installation d'un four à acier pour rattraper le retard pris par Guérigny dans la partie de la métallurgie qui est la sienne et pour mettre en œuvre de façon normale la nouvelle matière. A-t-on discuté la multiplication des feux d'affinage puis l'installation des fours à puddler ? Sans four à acier, il n'est pas besoin d'être un Laporte pour prédire la disparition à terme de l'établissement, qui n'aurait un jour plus rien à fabriquer ou qui, du moins, ne pourrait prendre sa part dans les progrès des aciers en ne faisant que façonner des lingots achetés à l'étranger...

L'amiral-ministre Galiber (1824-1909) tente de corriger cette bévue en demandant un simple projet de four à acier pour les pièces ordinaires. Baysselance propose d'établir deux fours Siemens-Martin, dont un de 8 t tout de suite qui doit fournir plus de 3 000 t d'acier par an, au moyen de charges de fer puddlé dans une proportion de 80 % pour les aciers de qualité supérieure, remplacé par des riblons d'acier pour les aciers ordinaires. Quatre gazogènes au charbon, puis six, alimenteront les fours. L'atelier, tout en longueur, doit être coincé entre l'atelier des Grandes Forges et le mur de soutènement du chemin de Marcy. La dépense est évaluée à 249 000 F, ou 414 000 F pour deux fours. Sur cette dernière somme, 334 000 F sont à imputer au chapitre des Travaux hydrauliques : si le four à acier avait été considéré comme une machine, son achat au titre des approvisionnements généraux de la flotte avait des chances de passer inaperçu, et l'on aurait bricolé l'installation de l'atelier comme du temps de Moras. Baysselance insiste sur la nécessité de former des ouvriers de l'usine à la pratique du four et donc d'imposer au titulaire du marché de diriger lui-même au début le travail et de produire des nuances déterminées avec des matières achetées par les forges à des fournisseurs désignés par lui. Duchesne, dans une apostille au rapport du 6 mai 1885, émet une curieuse objection : comme l'usine ne consomme pas plus de 300 t d'acier doux, il serait prudent de s'assurer que les produits en acier pourront s'écouler dans les ports.

La réponse de la Marine à la demande de justification de l'investissement n'est pas un modèle de finesse : « Nous avons décidé la construction d'un four à acier à Guérigny pour les petites pièces, particulièrement pour certaines pièces en aciers spéciaux qu'on ne trouve pas dans le commerce et qu'on nous fait payer, lorsqu'on les y trouve, à des prix extrêmement exagérés. Au nombre de ces pièces on peut citer, en première ligne, les tôles destinées à servir de pare-balles, qui peuvent valoir 60 à 70 F les 100 kg et que nous sommes obligés de payer 200 F. » Et qui fournit à titre exclusif ces protections des tourelles barbottes ? La maison Jacob Holtzer ! La Marine a cru également pouvoir cacher les stocks normaux des objets dont les stocks très excessifs avait été signalé par Ménard-Dorian. Ce dernier ne fait plus partie de la commission du Budget, mais le rapporteur du budget de 1886, le député de la Guadeloupe Gerville-Réache (1854-1906), constate que les existants ont encore augmenté. Il se plaint en termes diplomatiques des gamineries de la Marine. La commission repousse la demande de crédit de 100 000 F : « c'est une manière d'engager la dépense pour la fabrication des blindages car le moindre four à acier, d'après les déclarations d'hommes spéciaux, coûterait 500 000 F. Elle a en outre considéré qu'il importe de ne pas augmenter encore les usines de l'État par une création nouvelle qui ne s'impose pas. »

Cette position ne varie pas pendant quinze ans, la majorité de la Chambre suivant sa commission du budget. Celle de la Marine non plus et parle d'ajournement et de manque de crédits pour cacher les refus répétés du Parlement. L'amiral Aube (1826-1890), successeur de Galiber, déclare à Laporte : « L'outillage de cet établissement a été perfectionné dans ces dernières années, et le travail qu'on y exécute peut servir de

modèle à l'industrie. Malheureusement, les conditions économiques dans lesquelles se trouve cette dernière ne lui permettent pas de faire aussi bien, et l'usine de la Marine restera pour nous, comme elle l'est actuellement, une nécessité en présence de laquelle il n'y a pas d'hésitation possible. Il manque à Guérigny un four à acier, que les priorités de défense nationale et les contraintes budgétaires n'ont pas permis d'inscrire au budget de 1887. La Marine est loin d'y renoncer, et son intérêt bien entendu en est une sûre garantie. »

Nous évoquerons pour finir une autre pomme de discorde : celle qui concerne les conditions de réception des plaques de blindage. Les essais des plaques en acier de Guérigny ressemblent à ceux des plaques en fer ou du fer à câbles¹²⁹. Une plaque d'essai est confectionnée avec le premier lingot d'un marché d'acier pour être soumise au tir. La résistance et l'allongement sont d'abord vérifiés sur des barrettes d'essai prélevées aux extrémités de la plaque. Si la résistance est trop grande, la plaque est trempée et recuite jusqu'à obtenir le degré de douceur voulu avant l'envoi. Si l'essai au tir est concluant, les autres plaques tirées du lot d'acier doivent avoir la qualité de la plaque d'essai. Des éprouvettes sont également prélevées sur le premier lingot ; il faut que la composition chimique des autres lingots soit semblable. Les plaques de Guérigny ne sont envoyées dans les ports que si *les essais mécaniques* pratiqués sur elles sont conformes à ceux faits sur la première. Le *tir* sert donc à la réception des lingots d'acier et des plaques de l'industrie *et non à celle des plaques de Guérigny tirées des lingots*, par suite du privilège d'autocontrôle. Ce privilège irrite les visiteurs de la commission extraparlementaire de 1894. Korn leur répond : « vous devez avoir confiance dans notre honnêteté » ; cette assurance ne leur suffit pas. Gaston Thomson (1848-1932), futur ministre de la Marine, objecte que les fraudes de bas étage ne sont pas le fait des industriels et qu'elles arrivent à Guérigny comme ailleurs. Les conséquences peuvent être graves, et *il faudrait soumettre les productions de Guérigny aux mêmes essais destructifs et les confier à des contrôleurs indépendants*. Il est question en effet d'attribuer à l'établissement d'État toutes les fabrications de l'espèce (c'est une exagération).

Depuis 1867, la surveillance de la fabrication des blindages par l'industrie est confiée à des agents de Guérigny résidant dans les usines ou, pour l'ingénieur chargé de la surveillance, se déplaçant chaque mois dans les usines et rendant compte à leur retour au directeur de l'établissement¹³⁰. Il n'est pas surprenant qu'ils soient soumis à des pressions, quand on considère la valeur de chaque lot, qui peut dépasser un million, et la perte en cas de rejet. Les règlements disposent que les lots de plaques sont soumis au tir au canon. La plaque choisie est celle qui paraît la plus mauvaise du lot d'après les essais mécaniques sur barrettes (à la traction) et barreaux (au choc d'un mouton). Dans les plaques de pont, on choisit les plus résistantes, parce qu'on cherche la douceur ; à l'inverse, dans les plaques de ceinture, on cherche les plus douces, parce qu'on veut de la résistance. Les agents de Guérigny proposent au ministre primes et réfections de prix selon les résultats au tir. Après la réception d'un lot, aucune opération de forge n'est permise, parce qu'elle modifierait la qualité des plaques. Il est arrivé qu'un fournisseur ait remplacé à l'insu du contrôle deux plaques ayant montré des défauts au gabariage ; dans une autre usine, on a changé les repères sur des barrettes d'essai.

La délégation de la commission extraparlementaire sait aussi que le Parlement a entravé le développement de l'établissement, surtout en empêchant l'installation d'un four à acier en 1885 et en conduisant la Marine à racheter timidement au Creusot le laminoir à blindages d'un fournisseur en faillite, Terrenoire (Loire)¹³¹. Korn ne se plaint pas de cet outillage, parce qu'il marche bien et produit les blindages demandés, mais il limite la production aux plaques de pont en acier. Le directeur affirme qu'on ne peut confier tous les blindages à une seule usine, ni même tous ceux d'un même cuirassé, parce qu'elle ne s'en sortirait pas dans les délais. Déjà les quatre usines productrices ne s'en sortent pas. Une de plus ne nuirait pas à la concurrence. Les nouveaux venus demandent d'abord des prix assez faibles, poursuit Korn, mais, dès qu'ils sont admis dans la « confrérie », les prix montent. Il n'est pas d'avis de créer à Guérigny un atelier pour les gros blindages, il préférerait augmenter les fabrications actuelles et reprendre celles qui sont abandonnées (les ancres). Il signale aussi que l'établissement n'a rien pour produire l'acier. Nous sommes en 1896.

Le sous-ingénieur Abraham (1864-1928), auteur du projet d'atelier à blindages de 1897, reconnaît que l'établissement de Guérigny doit attendre du futur atelier une consolidation de sa situation et une amélioration de son fonctionnement économique¹³². Il ne doit cependant pas viser à la fabrication des gros blindages, qui

129 Rapport de la délégation des ports de la commission extraparlementaire de 1894, t. V, p. 36 et 47-50.

130 *Ibid.*, p. 24-25 et 47.

131 *Ibid.*, p. 35 et 52.

132 DD²-2354.

exigent de très fortes dépenses de premier établissement et une adaptation aux progrès incessants de l'acier qui sont incompatibles avec la lenteur des transformations d'un atelier d'État. Il ajoute une sottise à cette déclaration très juste : le projet de 1883 prévoyait une implantation dans le pré du Briou : on aurait eu en vue un agrandissement indéfini sans sacrifier les belles halles à charbon de bois ! Il a planté son aciérie à la place des halles, soit à la suite de la tôlerie, interdisant tout agrandissement le long du bief. L'agrandissement se fait bientôt dans le pré du Briou afin de suivre l'industrie, et le nouvel atelier de laminage se trouve très loin de l'aciérie... Dans l'avant-projet du mois de mars 1897, Abraham prévoit la production de 1 000 t de blindages ; dans le projet d'octobre, elle passe à 3 900 t, ce qui reproduit l'amplification de l'avant-projet Henry dans le premier projet Baysse. Causeret espère que le dernier et récent échec essuyé à la Chambre en 1897-1898 n'est que provisoire. En effet, deux parlementaires intéressés par les affaires des arsenaux, Cabart-Danneville (1846-1918), sénateur de la Manche et Massé (1870-1951), député de Nevers, agissant de concert avec des complices dans les bureaux de la rue Royale, conduisent l'organe législatif, qui est revenu progressivement à l'optique étatiste qui le gouvernait le plus souvent depuis qu'il existe en 1814, à voter en 1900 et par voie d'amendement un premier crédit pour l'aciérie de Guérimy. Deux fours Siemens-Martin de 12 et 18 t sont commandés en 1902, après la commande du laminoir. En 1911, le progrès technique conduit à créer un atelier de cémentation et d'usinage, en 1912 un nouvel atelier de laminage et à prolonger le bâtiment de l'aciérie en 1913, en augmentant énormément la dépense initiale afin de *suivre* les progrès de l'industrie et la rendre utile.

*

* *

La fin.

Le directeur Louis Coingt (1877-1956) a beau écrire dans une lettre particulière de 1931 que les forges de La Chaussade gênent de plus en plus la « "Schwerindustrie" (autrement dit le Comptoir [*sic* pour Comité] des forges) »¹³³, son établissement n'est pas mieux garanti contre la fermeture qu'avant la guerre de 14. Il y a échappé en 1879 et en 1890 et, après le coup d'État du 13 mai 1958, le régime politique ne le protège plus, il le condamne à terme. D'abord il bâtit la nouvelle industrie d'armement de la France sur la base d'établissements publics et de sociétés nationales gérées de manière plus conforme à leur objet et attribue à certaines sociétés privées la maîtrise d'œuvre de grands programmes, sociétés qu'il s'arroge le droit de regrouper selon ses besoins ou ses idées et qu'il surveille de différentes manières, et notamment par les coûts de revient depuis 1935. Il abandonne les arsenaux à leurs productions traditionnelles, et ceux-ci prennent naturellement du retard, quoiqu'on n'oublie pas de les doter d'outillages modernes. Il refuse de les transformer en sociétés nationales, sauf ceux des Poudres dont le monopole contrevient aux dispositions du traité de Rome. Il compte sur la docilité des ingénieurs militaires pour accepter et appliquer cette politique suicidaire.

133 Lettre du 22 octobre 1931 en réponse à un étudiant en droit qui cherchait un sujet de thèse. Fonds Guérimy au S.H.D. Châtelleraut.

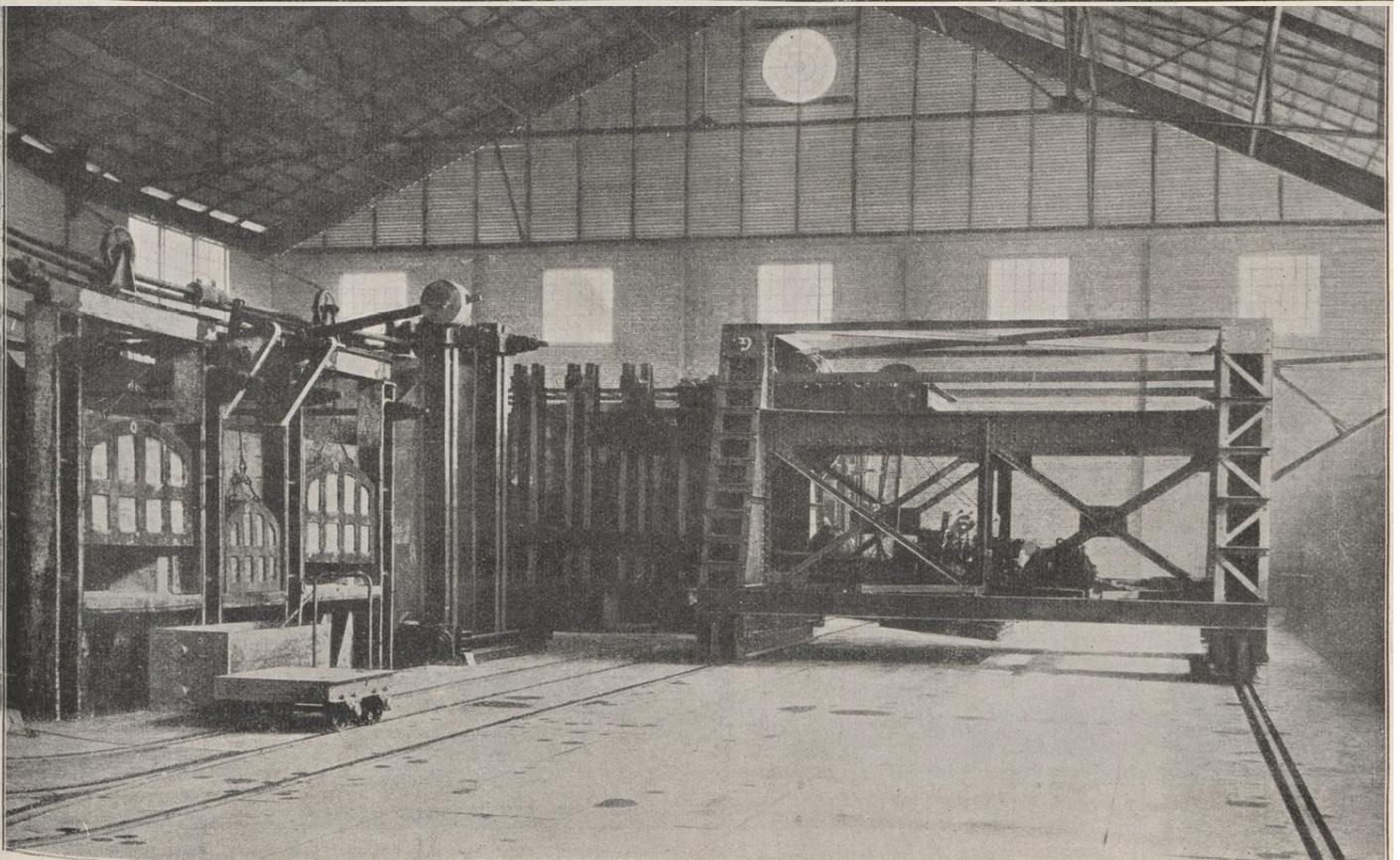
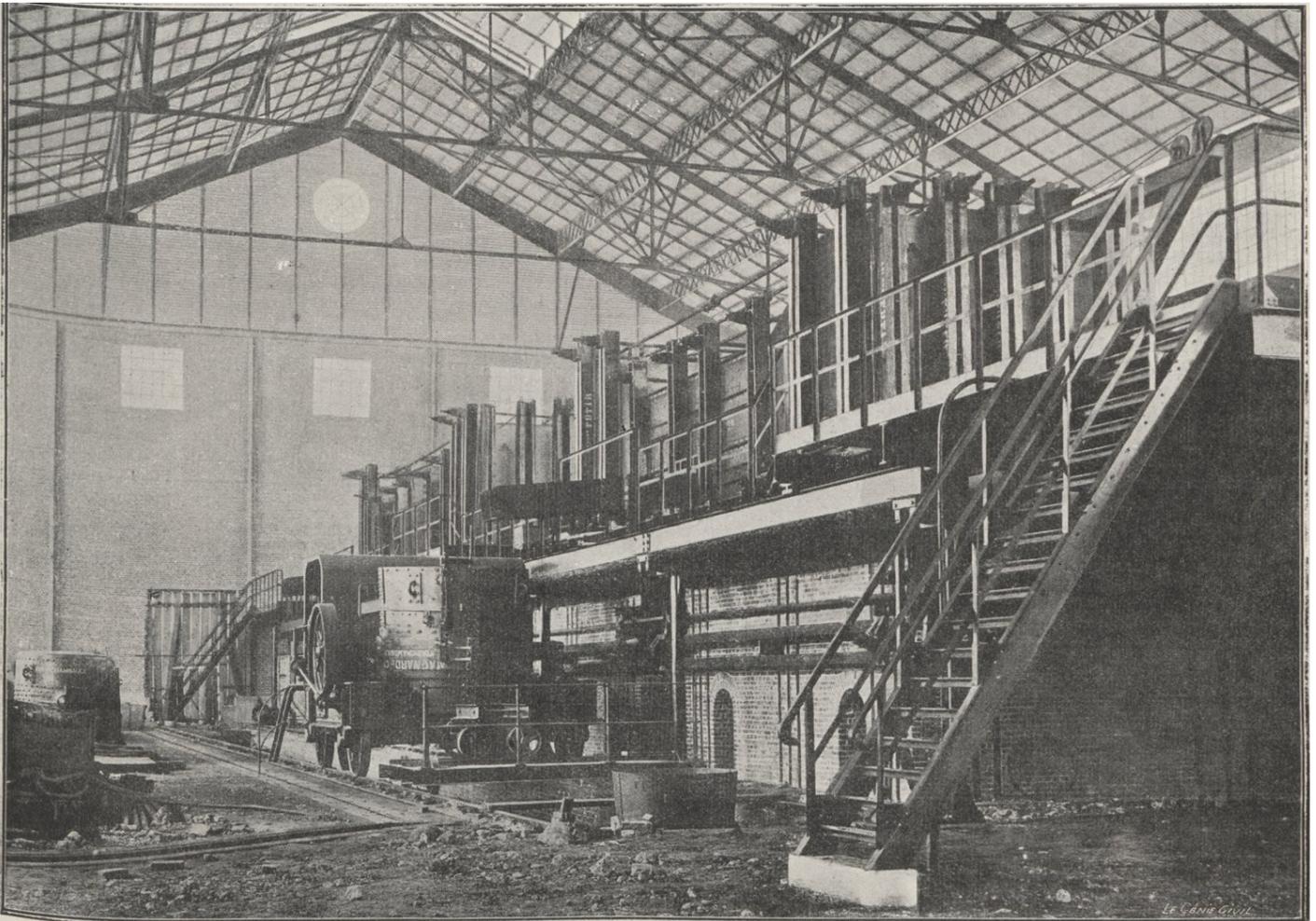


Fig. 45 : Vues du chantier de l'aciérie de Guérigny. (*en haut*) Les fours Siemens-Martin du côté de la coulée ; (*en bas*) les fours et la chargeuse électrique Wellmann, qui sert à introduire la fonte dans les fours (*Le Génie civil*, numéro du 24 juillet 1904).

Les arsenaux sont donc mal défendus et se défendent mal. La plupart de ceux de la D.E.F.A. sont vendus, fermés ou réduits ; ce ne sont pas toujours les moins utiles qui sont liquidés, mais plutôt les plus faibles. Le Parlement n'est plus en état de secourir ces intérêts locaux, qui n'ont que la rue pour se faire entendre. Une discussion comme celle de 1885, pour ou contre un four à blindages dans un arsenal, paraîtrait invraisemblable aujourd'hui et non pas seulement de nature à gêner le pouvoir exécutif, mais aussi contraire au principe de la séparation des pouvoirs. Dans la Marine, il est d'ailleurs hors de question de fermer l'un des quatre arsenaux portuaires ; parmi les quatre établissements hors des ports, Ruelle, Indret, Saint-Tropez et Guérigny, ce dernier est sacrifié en 1971.

L'établissement, dans les dernières années, produit ce que son effectif lui permet de produire, avec un outillage trop important et vieillissant, si bien qu'il doit refuser des commandes. D'un autre côté, l'insuffisance des commandes de la Marine, qui se sont étendues aux munitions, l'oblige à trouver du travail, notamment du côté des chantiers navals privés, comme autrefois. Sa rentabilité ne peut être mesurée directement par le système comptable en place, ni par la comparaison avec des entreprises industrielles. La nouvelle Délégation ministérielle pour l'armement (D.M.A.) confie une mission d'étude relative à la gestion de Guérigny à la SODIC, une société à capitaux publics créée deux ans plus tôt, en 1960, par le gouvernement¹³⁴. Lors de la pré-étude, son auteur ne peut franchir l'obstacle de la comptabilité.

Une lettre du directeur Gothié (1903-1981) montre à quel point l'établissement, déjà menacé, suit les anciennes ornières¹³⁵. La rentabilité serait mieux assurée, dit cet ingénieur général, si la production d'acier était de 9 000 t au lieu de 4 500 t, afin d'utiliser les fours à acier au mieux et le reste de l'outillage, ainsi que de répartir les frais généraux en pourcentages. Autrement dit, il faut rétablir l'effectif ouvrier d'autrefois, et aussi « découvrir les débouchés suffisants en trouvant des commandes et en les renouvelant très souvent ». *Les commandes extérieures ne viennent donc plus toutes seules...* L'établissement se tourne notamment vers la D.E.F.A., dont le débouché théorique est grand ; le directeur signale que les établissements de la Marine oublient encore parfois de commander à Guérigny des pièces dans ses spécialités ou le soumettent aux appels d'offres en feignant d'ignorer qu'il est un membre de la famille¹³⁶. Il se plaint de ce que l'effectif des ingénieurs du Génie maritime ou de l'Artillerie navale est insuffisant depuis si longtemps : il est de trois ingénieurs, il devrait être de quatre. Cette autre lacune est aussi de mauvais augure.

Le successeur de Gothié, l'I.G.A.N. Jean Charbonnier (1906-1983), doit recevoir l'ingénieur de la SODIC chargé de l'étude préliminaire de ce qui est déjà un projet de reconversion. Sa bonne volonté et l'intérêt qu'il accorde à l'opération, dont il espère le sauvetage de son établissement, se lisent dans les quelques lettres qui ont passé sous nos yeux. Mais son discours n'est guère compatible avec celui de l'ingénieur Thaly, et cette distance confirme l'existence de deux mondes étrangers l'un à l'autre, en dépit de l'activité commune.

Nous développons dans l'annexe n° 1 le procès de l'établissement jusqu'à la décision de fermeture prise le 5 juillet 1967 par le ministre Messmer (1916-2007). Le troisième délégué ministériel pour l'armement, Jean Blancard (1914-2008), déclare devant une assemblée d'ingénieurs de l'armement en 1971 : « il était manifeste qu'un arsenal comme Guérigny aurait dû être fermé depuis longtemps. Mais on s'est laissé entraîner par la routine. Guérigny, c'est charmant. Je suis allé visiter Guérigny en 67, on est reçu dans un salon dominé par le portrait peint à l'huile du marquis [*sic*] de La Chaussade, qui caresse son petit chien et a des manchettes de

134 Dans le projet initial, le ministre de l'Industrie Jeanneney (1910-2010) avait en vue l'accompagnement de la conversion partielle ou totale des bassins houillers par une sorte d'établissement de capital-risque qui aiderait les entreprises créant ou maintenant des emplois plutôt que celles qui investiraient seulement. La Société pour la conversion et le développement industriel (SODIC), sous l'inspiration de Debré (1912-1996) est placée dans la dépendance du Crédit national et de la Caisse des dépôts et consignations, deux de ses quatre actionnaires, et de la direction du Trésor, qui dispense la manne des primes. Elle est dans les faits un bureau d'études chargé de renseigner les entreprises désireuses de bénéficier des avantages du F.D.E.S. et de préparer leurs dossiers, en réalisant des études techniques et financières d'entreprises à reconvertir. Elle n'a pas bien réussi et a fait place en 1970 à l'Institut de développement industriel (I.D.I.), qui existe encore (il a été privatisé en 1987). Éric Kocher-Marbœuf, *Le patricien et le général. Jean-Marcel Jeanneney et Charles de Gaulle, 1958-1969*, vol. 1, C.H.E.F.F., 2003, p. 127-157.

135 Note du directeur de Guérigny à la D.C.C.A.N. du 31 août 1961, S.H.D. Châtelleraut, fonds Guérigny, carton 1832. Gothié signale que l'établissement consomme 2 000 à 2 500 t d'aciers laminés (les anciens fers en paquets ou ronds) et en fournit 600 t aux ports et établissements. Jean Berthiau donne, *op. cit.*, p. 86 et 89, la production des fours Martin de 1920 à 1947 et du four électrique de 15 t de 1949 à 1969 : cette dernière est en moyenne de 3 740 t par an seulement sur 21 ans, avec un maximum de 6 297 t en 1956 et un minimum de 2 271 t en 1965 (années 1949, 1968 et 1969 exclues).

136 Lettre du directeur Charbonnier du 16 octobre 1962 à la SODIC. S.H.D. Châtelleraut. L'établissement répond à certaines demandes peu intéressantes de l'extérieur pour garder le contact.

dentelle. C'est absolument charmant. Mais c'est perdu, c'est fini. Je crois qu'en examinant votre compte de commerce [institué au 1^{er} janvier 1968, pour les Constructions navales], vous avez commencé à vous rendre compte que Guérigny vous coûtait quatre millions par an, quatre millions bêtement. Bien sûr les gens y travaillaient, les directeurs des Constructions navales successifs étaient parfaitement en état de donner du travail à Guérigny, de sorte que, quand on allait visiter Guérigny, on voyait des gens derrière des tours. Il y avait aussi un petit four de 10 [sic] tonnes. Ce n'est pas préparer son avenir que de garder indéfiniment un établissement comme cela et de ne pas se pencher avec courage sur les problèmes de sa fermeture. Cette fermeture est en cours maintenant, et c'est une façon d'assurer l'avenir de la D.T.C.N. que de couper les branches mortes. Mais il faut du courage. »¹³⁷

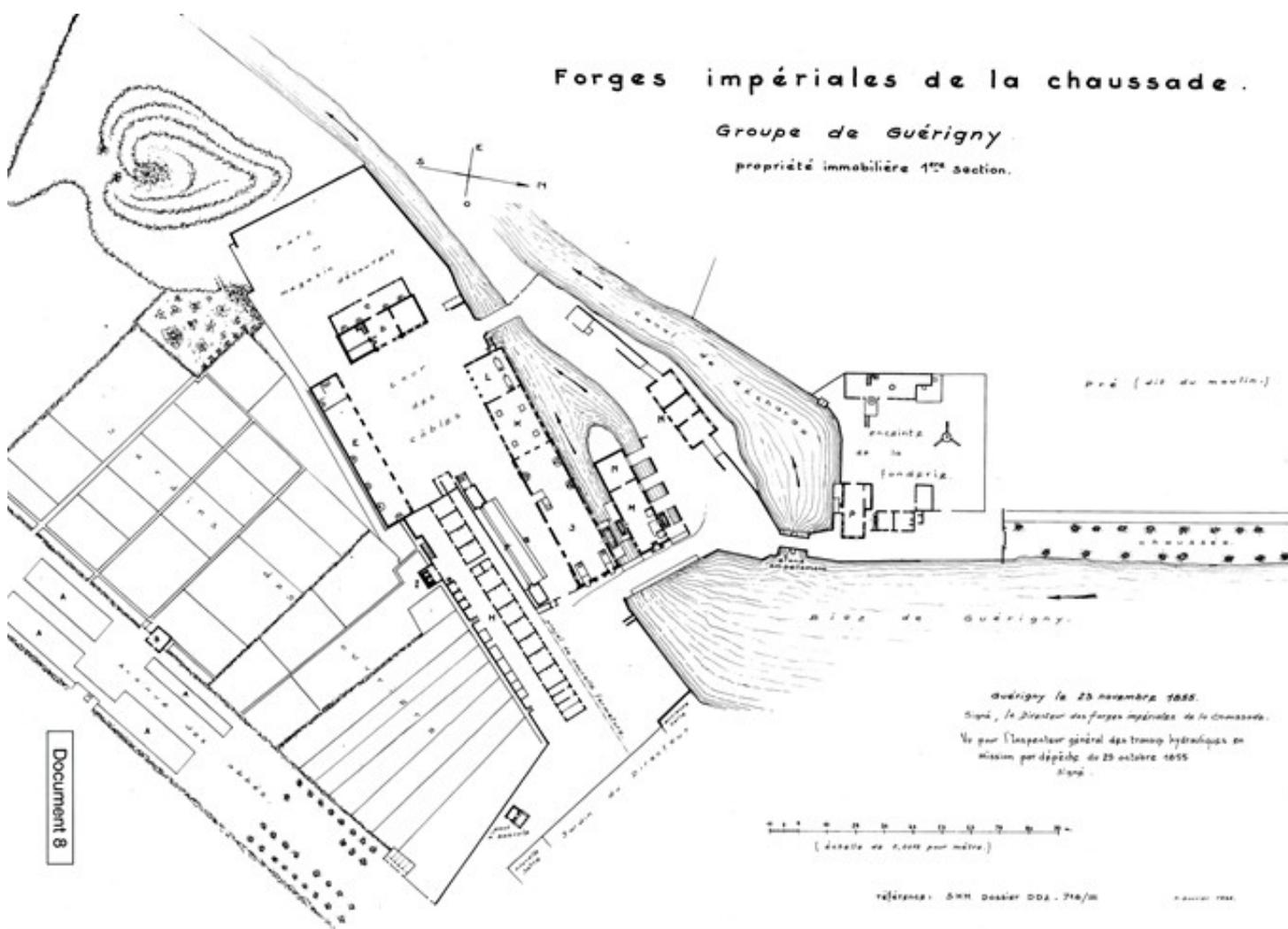


Fig. 46 : calque partiel du plan du groupe de Guérigny daté du 23 novembre 1855, signé Zeni et abondamment surchargé par l'inspecteur général Reibell lors de sa visite. S.H.D. Vincennes, DD²-716, n° 54. Le calque de R. Bouvier est reproduit dans *Marteau-Pilon*, tome VII, p. 57, et nous le redonnons ici.

137 Synthèse du carrefour des ingénieurs de l'armement de 1971, paroles prononcées le 31 mars. Nous avons exploité les synthèses de 1971 à 1990 dans *La Délégation générale pour l'armement (D.G.A.) : politique industrielle et autres problèmes*, l'Harmattan, 2019.

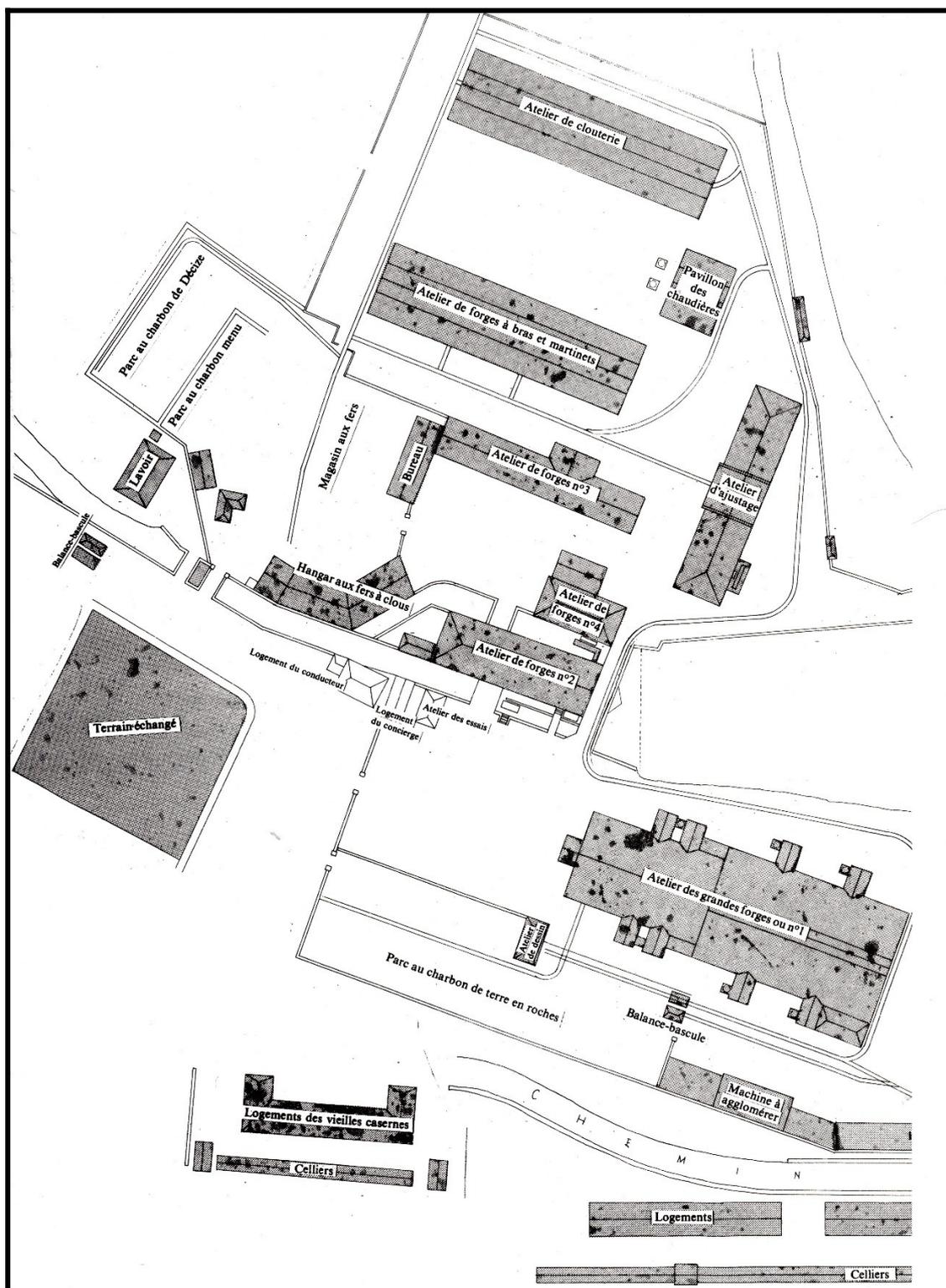
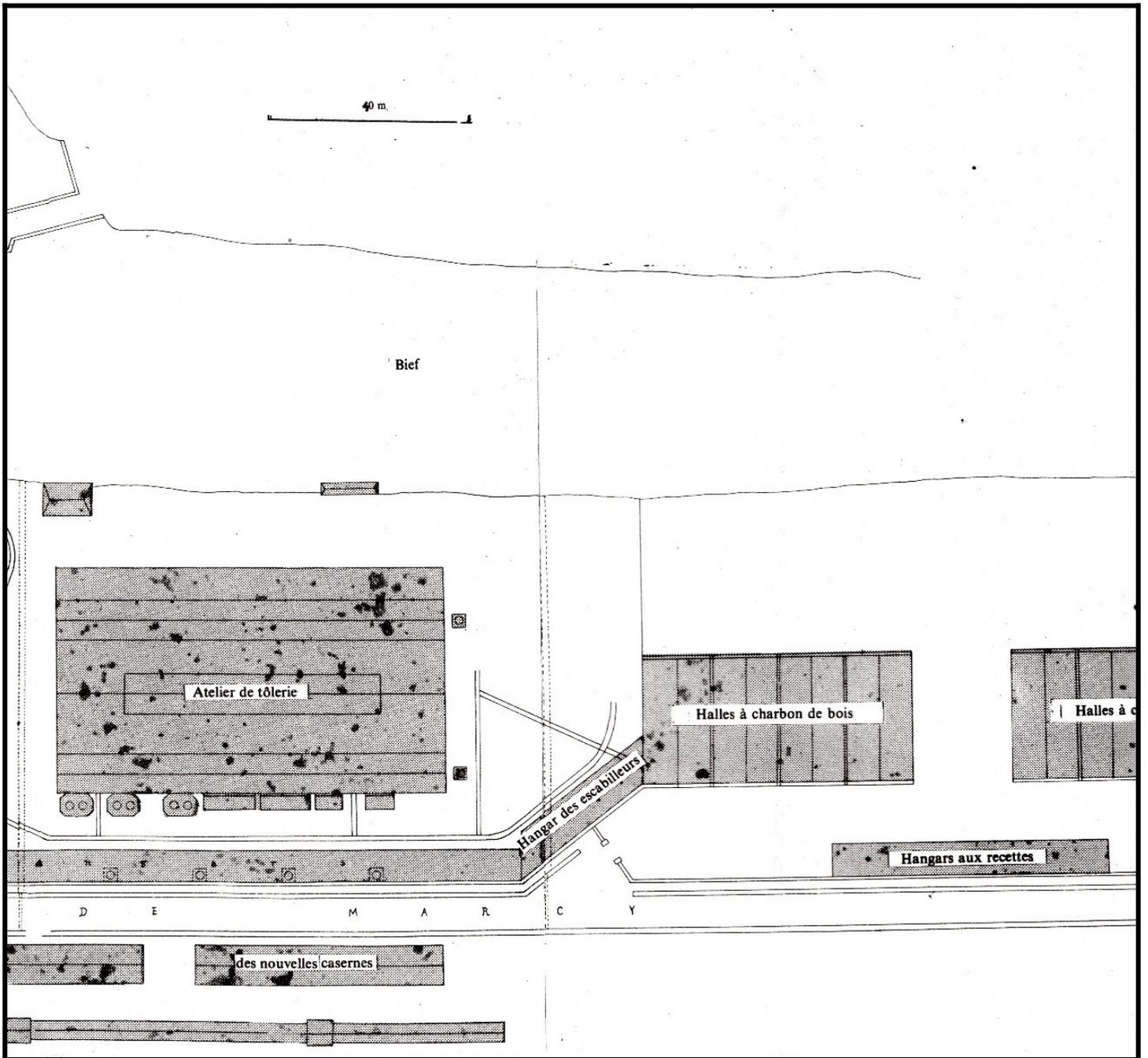


Fig. 47. Vue en plan du groupe de Villemenant au début de 1867, SHD Vincennes, 6DD¹-92. Dessin refait par Robert Bouvier.

On reconnaît aisément les trois ateliers de forges de l'ancien groupe hydraulique et, derrière eux, l'atelier d'ajustage agrandi. Les deux ateliers construits sous le Second Empire et leur pavillon particulier des chaudières n'ont pas été examinés dans le chapitre. C'est là qu'il aurait fallu construire les grands ateliers, la réserve de terrain étant suffisante à cet endroit et à cet endroit seulement. Le nouvel atelier d'ajustage, construit dans le prolongement de l'atelier des Grandes Forges (ici à gauche), n'apparaît pas sur ce plan antérieur à la décision. Il avait été question de bâtir le bâtiment du laminoir à blindages à cet endroit, sur un terrain échangé avec un particulier.



Annexe n°1 : La gestion de Guérigny vue de l'intérieur et de l'extérieur (1956-1965).

À l'occasion de sa prise de fonctions le 1^{er} septembre 1961, Jean Charbonnier a tenté de bâtir un compte d'exploitation générale pour les années 1959-1961¹³⁸. Il a trouvé les charges (« dépenses »), y compris les amortissements et l'intérêt du capital engagé, dans les comptes et plus précisément dans un compte dit d'exploitation. Il en a soustrait les « charges militaires » qui sont très importantes (un peu moins de 20 % du total) et non décrites ni justifiées. La recherche des produits est difficile et incomplète. La valeur des en-cours de production au 31 décembre est inconnue et peut expliquer des variations importantes des produits. En 1962, les commandes militaires, telles qu'elles sont comptabilisées à Guérigny, représentent seulement 56 % du total. Les travaux pour l'entretien de la flotte sont facturés à leur prix de revient tel qu'il est calculé ou en dessous, s'il s'agit de prix de nomenclature, qui sont périmés ou sous-estimés.

Les commandes de la Marine ont été réparties en trois classes pour les besoins de la comparaison avec le privé : 1° fabrications courantes ; 2° fabrications spéciales (petites quantités, délais courts, outillages spéciaux), avec majorations probables des prix de l'industrie ; 3° fabrications hors de sa portée. Les commandes valent 10,55 MF sur les trois années. Les prix de l'industrie sont des prix constatés (catégorie A), ou imaginés (valeurs de Guérigny multipliées par 2 ou par 3). Le total obtenu est de 13,85 MF, dont 6,53 MF pour la catégorie A. En dépit du caractère arbitraire de ce calcul, on peut penser que les fabrications ordinaires représentent environ la moitié du chiffre d'affaires ou de l'activité de Guérigny. Le directeur se croit autorisé à conclure de son côté que l'avantage pour Guérigny serait d'au moins 31 %...

Il a vu la première version du rapport de la SODIC. Elle a été conduite au moyen de documents fournis, et ses premières conclusions sont connues ; cependant la SODIC a pu faire de premières comparaisons avec le privé. Elle s'attendait à trouver un établissement à court de travail : ce n'est pas le cas. Le directeur sait que l'institution d'une comptabilité d'entreprise, parallèlement à la comptabilité administrative, est nécessaire à l'analyse de la gestion industrielle présente. Il fait remarquer que si l'aciérie fonctionne dans des conditions acceptables (quoique de manière saisonnière), le laminage est hors course et conditionne néanmoins le fonctionnement de l'établissement. Avant de l'arrêter, il faut repenser ce fonctionnement : l'estampage, trop négligé, pourrait lui succéder, et l'usinage, qui dépasse la forge, devrait être étendu.

Afin d'améliorer le travail de l'ingénieur Thaly, l'O.A.P. Charvet, chef du bureau des comptes de travaux à Paris (D.C.C.A.N.), l'accompagne à Guérigny les 12 et 13 mars 1963. Il s'agit 1° d'apprécier la valeur des chiffres recueillis ; 2° de savoir s'il est possible de déterminer des résultats par des prix de revient « exacts » et des prix de vente dans le commerce des objets fournis à la Marine qu'elle n'acquiert pas à Guérigny ; 3° de définir les travaux à demander à Guérigny pour obtenir des données utilisables. La confiance que Charvet accorde à celles qui existent paraît donc limitée.

Les productions se divisent en travaux pour la Marine, travaux pour d'autres administrations et travaux pour les entreprises de droit privé. Dans le premier cas, il convient, comme il a été dit, de connaître le prix d'acquisition à l'extérieur. Dans les deux autres cas, il suffit de comparer le coût de revient au prix de vente.

Les coûts de revient pour la Marine sont calculés par la comptabilité des travaux. La matière est évaluée au prix de nomenclature ou selon le dernier prix d'achat ; la main-d'œuvre au taux moyen du personnel ouvrier, qui masque les variations dues au degré de modernisation de chaque atelier ; les frais généraux, comprenant les « charges supplétives » au taux de 9 % du coût de revient. Charvet juge avec beaucoup d'indulgence ces coûts de revient, qui sont en fait loin de la réalité.

Les prix des produits de la catégorie A de la note Charbonnier du 19 janvier 1962 lui paraissent au contraire erronés, et souvent les produits ne sont pas comparables. Le travail serait donc à refaire et il ne peut porter que sur les articles définis comme courants. L'auteur a l'impression qu'ils sont moins chers dans l'ensemble dans l'industrie. Les travaux exécutés pour les autres départements ministériels sont des fabrications attribuées après concurrence : on peut penser que Guérigny était meilleur que les autres. Les trois années

¹³⁸ Les lettres de Charbonnier des 19 janvier 1962 et 7 février 1963, de Charvet (bureau des comptes de travaux de la D.C.C.A.N.) du 11 avril 1963 et le rapport de pré-étude de la SODIC du 8 avril 1963 ont été trouvés dans le fonds Guérigny au S.H.D. Châtelleraut.

permettent de dégager un faible bénéfice, si l'on s'en tient aux prix de revient des comptes de travaux. Charvet fait remarquer que le temps peut être long de la fabrication à la régularisation de la cession, autrement dit du coût de revient au prix de vente : il y a de l'inflation en ce temps-là. La remarque vaut pour les ventes au privé, source d'une perte de 15 % du prix de revient. Une partie de cette perte doit provenir du besoin de charge, et elle se rapporte à des fabrications ordinaires.

Charvet admet en conclusion que le calcul des coûts de revient devrait être ré-étudié à cause du taux moyen de la main-d'œuvre, des charges supplétives et des taxes non payées. La « comptabilité de liaison » instituée en 1963 redresse en partie les erreurs, mais elle ne peut remplacer une véritable comptabilité industrielle conforme au plan comptable, comme celle qui est imposée à la D.T.C.N. (ex-D.C.C.A.N.) à la suite du compte de commerce institué au 1^{er} janvier 1968. La D.E.F.A. avait été dotée dès 1937 d'une comptabilité analytique, avant le compte de commerce qui date de 1952.

L'auteur du prérapport de la SODIC daté du 8 avril 1963 considère d'abord que l'aciérie donne à l'usine son caractère principal, si bien que l'on ne pourra guère restreindre son activité, et que les ateliers de laminage, sciage, chaînes et petites forges ne peuvent être étudiés séparément, vu l'importance des rapports qu'ils ont entre eux. Au contraire, les ateliers d'estampage, d'usinage et de chaudronnerie permettent d'envisager des fabrications nouvelles. L'aciérie, la moulure d'acier, la moulure de bronze, l'atelier des chaînes, l'usinage, la chaudronnerie et le sciage paraissent bien équipés. Les autres ateliers, estampage, grandes forges, laminage et moulure de fonte ne le sont pas. Thaly a remarqué lui aussi l'implantation irrationnelle des ateliers de Villemanant, sans probablement en deviner l'origine.

Parmi les dispositions défavorables, l'auteur compte les limites à la constitution de stocks, et notamment de stocks de produits semi-finis, qui gênent les ateliers, les prises de commandes et la mise en œuvre économique de certains outillages (laminoirs en particulier). Puis, la direction ne peut ni embaucher, ni licencier, ni faire faire des heures supplémentaires. Par contre, les cadres ressemblent à des travailleurs temporaires. L'établissement doit attendre les crédits pour se moderniser, il n'a pas accès au crédit. Les temps sont de plus aux restrictions budgétaires. Thaly voit dans cet inconvénient-ci la source principale du fonctionnement anti-économique de l'établissement. Celui-ci jouit au contraire d'avantages artificiels : T.V.A. limitée aux achats, pas d'impôt sur les bénéfices, ni de frais commerciaux, financiers, d'assurance et de contentieux. Les « charges supplétives » paraissent plus faibles que les frais généraux d'une usine normale, mais Thaly ignore encore leur contenu.

La comptabilité des travaux de la Marine impute directement les charges à des comptes d'ouvrage, alors que dans la comptabilité industrielle, on impute les charges par l'intermédiaire de sections homogènes de production. La seconde méthode donne sûrement de meilleurs résultats. Elle doit permettre une analyse aussi exacte que possible de la rentabilité de chaque section et des comparaisons. Les rapports de l'aciérie le permettent, mais c'est le seul atelier suivi de la sorte. Thaly remarque aussi que les frais généraux de l'usine sont ventilés par sections. Voici les « comptes d'exploitation » fournis par le directeur, globalisés sur 3 ans de 1959 à 1961, et l'interprétation que l'auteur du rapport tente d'en donner à la suite de sa visite du mois de mars 1963.

« DÉPENSES » (CHARGES)		PRODUITS	
Dépenses financières	17 082 476	Cessions aux autres ministères	3 545 582
Charges supplétives		Reconversion	5 360 836
-Amortissements	1.575 616	Cessions du magasin à des services ministériels	49 106
-Intérêt du capital immobilisé	951 685	Etudes	512 691
-Autres charges supplétives	1 009 075	Dépenses de premier établissement	3 764 586
Opérations complémentaires	18 537 246	Envois faits (à la Marine)	11 390 089
TOTAL	39 156 298	Produits des ventes	792 363
A déduire		Enrichissement du magasin [stocks]	177 721
-Payé pour d'autres exercices et concours fournis	874 141	Travaux pour entretien de la flotte	76 799

-Charges militaires	5 050 366	Retenues de logement	61 819
DÉPENSES PRISES EN COMPTE	33 231 791	RECETTES TOTALES	25 731 592
		PERTE D'EXPLOITATION	7 500 199

Les cessions aux autres départements ministériels doivent être rapprochées des envois faits à la Marine et non des ventes au privé, vu que, dans le cas où l'une des parties fait un « bénéfice », l'autre paie la plus-value, et vice-versa. Un compte d'exploitation générale n'est concevable que lorsqu'il y a des recettes pour l'État, c'est-à-dire lorsque l'établissement vend au secteur privé. Les ventes sont trop faibles pour justifier ce compte. On pourrait comparer le coût de l'établissement aux services évalués « au [coût] de facturation de l'industrie privée », mais cette évaluation systématique est impraticable, et ce d'autant plus qu'il est impossible de déterminer exactement le coût en question. En somme, il faut s'en tenir aux opérations suivantes : 1° évaluer les services rendus au coût de revient ; 2° les évaluer au coût du secteur privé ; 3° les comparer avec les prix de vente de l'industrie.

Le coût global des trois exercices 1959-1960-1961 est donné pour 39 156 298 F. Établi à partir de la comptabilité en deniers, il totalise les dépenses donnant lieu à imputation budgétaire. De ce fait, il n'y a pas concordance entre l'exercice de réalisation du travail et l'exercice budgétaire ; de plus les fournitures à titre gratuit ne sont pas enregistrées. Le total mentionné ne tient pas compte de la variation des en-cours, ceux-ci n'étant pas comptabilisés eux-mêmes. La réévaluation des matières n'est pas comprise dans la dépense. Le montant indiqué est donc un minimum.

Le coût de revient (et non le prix de cession) de l'activité pour les autres ministères et pour le privé est pris égal à 3 561 082 + 6 286 814 F. En additionnant ces dépenses à certains des postes du tableau, soit

- cession du magasin à des services ministériels et à la Marine	49 106
- études	512 691
- dépenses de 1 ^{er} établissement	3 764 586
- travaux pour l'entretien de la flotte	76 799
- retenues pour logement	61 819
- charges militaires	5 050 366
- paiements effectués sur d'autres exercices	874 141

on trouve un sous-total de 20 237 404 F. Soustrait des 39 156 298 F, il donne un reste de 18 918 894 F qui devrait représenter le coût des fabrications destinées à la Marine, qui serait très supérieur au prix de versement indiqué dans le tableau (11 390 089 F).

Le prix de cession global au privé est de 5 360 836 F et le coût de revient correspondant de 6 286 814 F : le déficit est de 17 % du coût de revient. Le relevé des commandes achevées pendant les trois exercices donne un produit global de 4 758 019 F et un coût de revient imputé de 5 516 608 F, soit un déficit de 16 %. Les coûts de revient étant valorisés à l'aide d'unités de coût de l'exercice précédant celui où le travail est réalisé, il convient de porter ce déficit de 16 à 21 % pour tenir compte de l'inflation.

L'évaluation de la différence entre les prix de versement à la Marine et les prix du secteur privé pour des fabrications équivalentes donne, selon le directeur, un avantage ou une économie de 23 % à son établissement. Ce serait vrai si les services de Guérigny étaient comptés au coût réel et si l'on était sûr des prix du privé. Thaly a établi ce coût réel pour toutes les commandes terminées au cours des trois exercices étudiés. La différence globale est de 6 % en faveur de Guérigny, si l'on considère les prix TTC du privé évalués par Guérigny, et de 31 % en faveur du privé pour les productions de la catégorie A (courantes), dont les prix sont plus proches de la réalité que les autres. La différence grandit encore si l'on ôte la TVA : Guérigny est plus « cher » *et ses coûts de revient dépassent en moyenne de 25 % ses prix de versement*. En extrapolant ce dernier résultat aux envois à la Marine du tableau (11 390 089 F), on obtient un coût de revient correspondant de 14 237 611 F. Pour arriver aux 18 918 894 F, il reste encore un montant de 4 681 283 F dont l'affectation est indéterminée.

Ce calcul a dû suffire à édifier l'enquêteur Thaly. On dirait que le contrôle de la gestion est inférieur à ce qu'il était un siècle plus tôt et même surtout, il faut le dire, du temps où les forges de Guérigny étaient une *entreprise*, c'est-à-dire avant 1781. « Tribu-taire, pour ne pas dire victime, d'une activité traditionnelle dont les

conditions d'exercice n'ont pas été modifiées à temps pour permettre une adaptation progressive à des circonstances nouvelles, l'établissement souffre manifestement d'un retard d'adaptation sur le plan technique (ce qui est évident), mais aussi sur les plans administratif, humain et commercial. Et, pour être moins évident, le retard pris en ce domaine n'est pas moins grave de conséquences. Que faut-il faire ? Est-il même possible de faire quelque chose ? [...S'il] nous est demandé seulement d'entrevoir les solutions qui pourraient à la fois permettre le maintien de cet établissement pour des raisons sociales évidentes, et le rendre "moins onéreux", nous pensons pouvoir arriver à une proposition satisfaisante. En tout cas, cet objectif limité mérite d'être recherché et précisé. [...]. Le maintien en activité de l'établissement, imposé pour des raisons sociales évidentes (car il ne semble pas que les impératifs militaires y suffiraient), doit être envisagé dans un nouveau contexte technique, humain, administratif et commercial tel que l'on parvienne à réduire la charge financière qu'il représente à un niveau acceptable. »

La situation économique de l'établissement de Guérigny est également suivie par un organisme composé de fonctionnaires de plusieurs corps de contrôle et de parlementaires qui a été créé dans ce but sous le nom de Comité d'examen des comptes (de travaux) de la Marine et qui laisse la place au Comité des prix de revient des fabrications d'armement en 1966. Ce comité créé en 1888 s'occupe surtout des coûts de revient dans les arsenaux et établissements de la Marine, à la suite des critiques répétées du Parlement à partir de 1878. Il travaille sérieusement, se tient au courant des pratiques de l'industrie et fait en somme ce que la Cour des comptes est longtemps incapable de faire. L'organe législatif, alors puissant, se mêle aussi de l'outillage des établissements, qu'il peut accorder ou refuser aux ministres lors des discussions budgétaires. Les investissements influent sur les coûts de revient et, quoiqu'on n'ait pas voulu adopter la comptabilité commerciale dans les arsenaux, on doit se servir d'un succédané, les comptes de travaux, afin de les connaître, même de manière imprécise et différente.

Le Comité note, à propos de l'exercice 1958, que les charges supplétives varient beaucoup d'un établissement à l'autre¹³⁹. Ces charges, qui ne sont pas conformes au plan comptable, sont incorporées dans les coûts de revient afin de rendre ceux-ci plus aisément comparables à ceux de l'industrie. Le Comité constate que, parmi ces charges, Guérigny se distingue par une portion de l'intérêt du capital relatif aux approvisionnements qui est trois ou quatre fois supérieure à ce qu'elle est ailleurs. Il ne parle pas alors des immobilisations. Et surtout, la partie du personnel ouvrier affectée à l'entretien atteint 38 % du total des heures productives, contre 5 à 10 % dans les ports et 14 à 23 % dans les trois autres établissements hors des ports.

Un autre inconvénient de la gestion locale, décisif celui-ci, réside dans les pertes d'exploitation des productions en cession, *productions sur lesquelles on doit pouvoir compter dans la conversion de Guérigny*, en dépit de la réduction forfaitaire des frais généraux pour cause de « charges militaires ». Le commandant Gougéard n'en voyait aucune dans les établissements hors des ports en 1882 ; à présent, elles représentent un abattement *du tiers* des frais généraux de Guérigny, taux le plus élevé de toute la D.C.C.A.N. On tient ainsi compte du fonctionnement intermittent de l'aciérie et du laminage : en quoi a-t-il à voir avec les charges militaires, se demande le comité ?

Les résultats comptables donnent, pour les cinq années 1956-1960, un total de 11,826 MF de ventes en cession pour un coût de revient de 12,259 MF. La perte de 3,5 % du coût est amortie par une importante commande destinée à un organisme public et traitée plutôt comme une commande ministérielle. Sans cette commande, la perte globale serait d'environ 7 % et plus forte encore si les prix de vente et coûts de revient étaient évalués de la même manière quant à la T.V.A. En effet, les coûts ne comprennent la taxe que sur les achats, et elle n'est pas connue exactement, puisqu'elle n'est pas comptabilisée à part. De plus le produit est vendu hors taxe ou TVAC selon le destinataire, si bien que le résultat financier ne peut être connu et qu'il serait sûrement plus défavorable si l'on pouvait connaître au juste les coûts et les prix.

Aux yeux de certains fonctionnaires de la D.M.A., Guérigny est déjà condamné en 1961. Dans une lettre du 7 avril 1966 au député de la Nièvre Mitterrand (1916-1996), le ministre confirme que les commandes militaires ne reviendront pas et qu'il faut prévoir l'avenir en fonction de ce fait. L'en-cours de commandes, qui est d'un an, permet de prendre les mesures « qui devront rendre moins précaire la situation de l'établissement ». Il signale que la SODIC a rendu son rapport l'année précédente. Enfin, dans une lettre du 7 juillet 1967, Messmer annonce que la décision de fermeture est prise.

¹³⁹ Jean-Bernard Bouillet, « Pourquoi et comment la fermeture de l'établissement des constructions et armes navales de Guérigny fut engagée et décidée », *Le Marteau-Pilon*, tome XVII, 2005, p. 63-72, pour la fin de cette annexe.

Annexe n°2 : le service sédentaire de la Marine, l'industrie et les coûts de revient vus du Parlement (1849-1914)

Une première commission d'enquête *parlementaire* a été réunie en 1849 à propos de la répartition des commandes entre la Marine et l'industrie¹⁴⁰. Le ministre demande aux ports quelles sont les fabrications qu'ils pourraient abandonner. Les conseils d'administration des ports font un tir de barrage. L'argument le plus courant est la qualité insuffisante des productions de l'industrie, puis viennent l'inexécution des marchés, les délais de passation et les prix, qui ne sont pas aussi bons qu'on le dit. La querelle de l'attribution de certains travaux à caractère industriel par la Marine n'est pas nouvelle. Colbert (1619-1683) espérait que des nobles ou autres gens riches se lanceraient dans les fournitures à la Marine, et, devant les refus opposés, il a dû ajouter telle ou telle d'entre elles à la charge d'officier d'un certain nombre de financiers. Cette solution de repli était peu satisfaisante et elle n'a pas toujours répondu à l'attente de ce ministre et de ses successeurs. Les Masson et Babaud ont répondu à leur tour à l'invitation : leur principal client était la Marine et le second, une compagnie de navigation dans la main de l'État. Ils dirigeaient en réalité une entreprise privée mais sous sa dépendance.

La commission conclut à la suppression d'Indret et au maintien de Guérigny, qui produit des objets de qualité à un prix probablement inférieur à celui de l'industrie. Ses frais généraux paraissent un peu forts, à cause d'un parc immobilier ancien et surabondant, de la triple comptabilité (matières, deniers, travaux), d'un état-major peut-être un peu luxueux et du système des adjudications qui renchérit les prix sans donner de régularité aux fournitures, ce qui est fort gênant dans le travail du fer. La commission d'enquête prend une autre résolution : la Marine demandera à l'industrie tout ce qu'il lui sera possible de demander et ne gardera que « la confection de ceux des objets qui intéressent directement la sécurité des équipages et l'honneur du pavillon pour un combat ». Elle rejoint ainsi les conclusions posées en 1791 par le comte de la Luzerne (1737-1799), qui cherchait à décongestionner les ports et à développer l'industrie afin qu'elle pût seconder la Marine dès le temps de paix et se multiplier dans le pays pour augmenter également la concurrence. Le contribuable a intérêt, écrit l'ancien ministre, à ce qu'avec ses impôts, l'État fasse faire la plus grande quantité possible de travaux. Dans les ports de guerre au contraire, on a intérêt à perpétuer la pratique contraire, parce que tous les préposés « désirent infiniment avoir des faveurs même abusives à conférer. Ils aiment mieux pouvoir admettre qui ils protègent dans les ateliers que de voir les entrepreneurs¹⁴¹ choisir eux-mêmes les ouvriers qu'il leur convient d'employer ».

*La première (1873) et la deuxième (1878) commission mixte*¹⁴². Le vice-amiral Pothuau (1815-1882) nommé en février 1873, à la fin de son premier ministère, une première commission *mixte*, c'est-à-dire composée de députés et de fonctionnaires. Elle doit étudier les modifications à apporter à la comptabilité du matériel de la Marine. Deux ans plus tard, Pothuau déclare qu'« on a prétendu [que la comptabilité des matières] laissait à désirer, qu'elle était trop compliquée et qu'elle ne donnait pas, à un moment voulu [quelconque], la possibilité de se rendre compte avec exactitude de la dépense, notamment du prix de revient de chaque navire. On ajoutait que la comptabilité à bord des bâtiments demandait à être complétée. »¹⁴³

Quatre résolutions sont votées par la commission mixte en 1875 : 1° adoption de la partie double pour les matières comme pour les deniers ; 2° révision de la nomenclature des matières (y compris la révision des prix officiels) ; 3° révision de la nomenclature des travaux ; 4° rétablissement du compte de réparation et d'entretien par bâtiments. Le projet d'adaptation de la partie double à la Marine a été préparé par Adolphe Guilbault (1819-1896), spécialiste de la comptabilité industrielle.

140 Bernard Lutun, *Marine militaire et comptabilité : une incompatibilité ? Contribution à l'histoire des finances de l'État français*, chez l'auteur, 2010, p. 89-91.

141 Ils prenaient des travaux donnés sur adjudication : cette solution a été adoptée juste avant la Révolution par le maréchal de Castries (1727-1800), prédécesseur de La Luzerne, afin d'augmenter la productivité des arsenaux portuaires avec un personnel inamovible. Elle ne résiste pas à la tourmente. Le grand mémoire de La Luzerne est analysé partiellement au chapitre 23 de notre mémoire de thèse.

142 Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 93-129.

143 D'après Paul Bethmont (1833-1889), député de Rochefort, l'examen concernait la comptabilité des matières et objets en magasin, la comptabilité du matériel en service à terre et à bord des bâtiments (y compris ceux en construction) et la comptabilité des travaux.

La comptabilité en partie double, puisque telle est bien la nouveauté à faire accepter, répond aux exigences de la Cour des comptes en ce qui concerne les comptes rendus des opérations financières (en deniers) des arsenaux. La comptabilité des magasins que la cour examine est bien tenue en quantités et en valeur, « mais dans des conditions qui la rendent inutile à l'exécution rapide de la comptabilité des coûts de revient et inefficace pour un contrôle sérieux ». Selon la formule de François-Eugène Guyard (1822-1886), le garde-magasin général de Toulon entendu par la commission mixte, la Marine doit choisir comme les Finances et comme l'industrie une bonne comptabilité « administrative » plutôt que de suivre chaque unité financière ou chaque unité de matériel, en absorbant toutes ses forces en vain¹⁴⁴.

La partie double donne, par ses contrôles continus et automatiques, une sécurité aux agents qui compense largement l'effort à faire pour apprendre la méthode. Guilbault estime aussi, d'après l'exemple de Toulon, que le personnel comptable s'y mettrait rapidement. Les écritures matérielles changent peu, l'auteur ayant cherché à limiter les modifications, mais leur jeu est profondément modifié. *Avec la nouvelle comptabilité, l'arsenal devient un tout* où tous les mouvements se lient les uns aux autres et où le préfet maritime et le ministre lisent facilement les résultats des gestions et jugent par des chiffres « comment chacun remplit la mission qui lui est confiée ». Nous retrouvons, transposée à la comptabilité des matières, l'argumentation de Mollien (1758-1850), qui a réussi à imposer la partie double aux receveurs généraux des finances.

Cette comptabilité ne pouvait plaire aux esprits routiniers ni surtout à ceux qui craignaient qu'en levant le voile sur l'activité des arsenaux au moyen de données chiffrées difficiles à contester, on en vînt à faire des comparaisons désavantageuses et à en tirer les conséquences. Après avoir fait mettre à l'étude le projet Guilbault dans les ports, le contre-amiral de Montaignac (1811-1891) écarte « définitivement » la méthode de la partie double par la décision ministérielle du 3 février 1876. Son successeur, le vice-amiral Fourichon (1809-1884), représente que tous les chefs de service de tous les ports et établissements ont rejeté la *nouveauté* comme « [n'ayant] sur nos méthodes actuelles aucun avantage sérieux ». Le ministre a compris que la méthode de la partie double conduirait à des « modifications profondes » de l'organisation des arsenaux. Il place ensuite seulement la formation des comptables, l'augmentation du personnel et la multiplication des écritures. Il écrit encore que la confusion dans un même compte de dépenses en matières et de dépenses en deniers porte atteinte aux bases de la comptabilité financière de l'État : et pourtant les comptes de travaux sont dans ce cas et ils ne les contrarient pas ! Enfin, et cette considération a son importance, l'instruction du projet, durant depuis trois ans, a fait naître dans les ports et arsenaux un état d'incertitude préjudiciable au bien du service. Fourichon suggère ainsi que, lorsque l'on veut obtenir des changements d'importance, il faut faire vite, et la méthode des commissions consultatives ne s'y prête guère.

Montaignac a accepté les trois autres résolutions de la commission mixte en mettant à l'étude la révision de la nomenclature des matières et de celle des travaux et le retour au principe de l'instruction de 1854 sur la tenue du compte de réparation et d'entretien par bâtiments. Il semble d'accord sur ce principe et s'inquiète de connaître la dépense supplémentaire à laquelle il faut s'attendre.

Le témoignage de l'inspecteur général Gervaize, alors directeur des constructions navales de Toulon, mérite d'être rapporté ici, parce que cet ingénieur passe pour une autorité dans le domaine de la comptabilité administrative. Il fait d'abord remarquer que le montant des dépenses de construction imputées dans une année sur le chapitre des coques et accessoires de coque de la nomenclature des travaux [titre I : renouvellement du matériel naval] ne représente, pour un bâtiment donné, que 85 à 90 % de la dépense réelle. Le reste est noyé dans le chapitre 1 du titre II, à l'article intitulé « installation et mise en place à l'armement », à l'article « réparation » s'il y a eu une avarie de machine avant la prise d'armement, à l'article « visites, recettes, expériences des appareils moteurs », toutes rubriques qui devraient se trouver également au titre I ; au chapitre 3 pour les visites, recettes, épreuves, transports et mouvements de matières, ailleurs encore. D'autres dépenses de construction ne sont saisies dans aucun des titres de la nomenclature : il faudrait recourir à l'inventaire des appareils ou à celui des bâtiments de servitude mais, comme tout y est mélangé, on ne peut les répartir. Il en est de même des autres ouvrages des directions, notamment des confections pour les magasins.

144 Procès-verbal des séances des 21, 23 et 25 juin 1873, S.H.D. Vincennes, Marine 8S70. Guyard souligne que la Cour des comptes suit sur pièces et à Paris les unités simples du 1^{er} janvier au 31 décembre et constate de la même manière que les quantités qui figurent à tel endroit de tel inventaire au 31 décembre sont celles qui résultent des écritures de l'année. Si les inventaires sont exprimés par unités simples, les mouvements le sont par unités collectives, ce qui oblige à de multiples recherches dans ces dernières unités.

Et pourtant la direction des constructions navales de Toulon doit tenir annuelle-ment quelque 3 000 comptes particuliers de confection de matériel, travail d'écritures considérable alors que la plupart des comptes sont relatifs à des objets de peu de valeur et que les objets sont comptabilisés au prix officiel. Les ingénieurs s'efforcent d'introduire dans le compte de construction, et contrairement aux règlements, les dépenses qui ne sont décrites qu'au titre II. Mais Gervaise préfère, à une multitude de comptes tous incomplets, quelques comptes qui ne laissent échapper aucune dépense, y compris de frais généraux.

Il voit que la nomenclature des matières a été faite en vue de la classification des objets en magasin et du contrôle par la Cour des comptes : elle est mal adaptée à l'établissement des coûts de revient, et plus d'un objet ne correspond à aucune unité simple, dont le libellé trop vague regroupe des objets différents au même prix. De plus rares sont les objets entièrement définis par des plans et devis dans la Marine ! L'atelier confectionne ceux qui lui sont demandés « comme il l'entend ou comme il a l'habitude de le faire » et le livre ainsi au magasin particulier de la direction. Gervaise a calculé que sur une liste de 3 076 unités simples, 389 représentaient réellement quelque chose. Les matériels uniformes sont achetés à l'industrie, les matériels spéciaux produits dans les ports ont « en quelque sorte leur place marquée à bord du navire » : il est vain de chercher à établir des tables de construction de ceux-ci et même, selon lui, d'en calculer le coût de revient car les quantités sont trop faibles et devraient supporter tous les frais généraux. Plus encore, le prix de journée est compté uniformément dans les feuilles d'ouvrage, alors que le nombre d'heures travaillées varie de 7 en hiver à 10 en été. Le prix officiel permettrait au moins de comparer les prestations d'un port à l'autre ou d'une année à l'autre dans un port donné, à défaut de comparaisons avec l'industrie.

Le prince de Joinville (1818-1900), officier général de la Marine sous le règne de son père, participe à sa manière au débat par un article anonyme paru dans le numéro du 1^{er} novembre 1876 de la *Revue des deux mondes*¹⁴⁵. Il critique la dispersion des travaux dans cinq ports et quatre établissements, avec des crédits insuffisants, ce qui ralentit un peu plus les constructions neuves. Il n'ignore pas les intérêts du personnel administratif et des ouvriers, qu'il est impossible de muter. Il n'oublie pas les intérêts des communes qui vivent des arsenaux et *ne se laisseront pas retirer « la part qu'elles sont habituées à considérer comme la leur dans les ressources du budget »*. Les fonds destinés aux constructions neuves sont partagés en cinq, « de sorte que, si la somme à dépenser équivaut au prix d'un des grands navires modernes, au lieu de faire ce navire en un an, dans le Creusot maritime que nous avons négligé de créer, nous donnons un cinquième de navire à chacun de nos arsenaux [...] les cinq navires sont peut-être, grâce aux progrès faits pendant leur longue gestation, impuissants avant de naître. Cela s'est déjà vu »... et cela va se voir plus souvent, ajouterons-nous.

Pourtant la forte diminution des dépenses pendant quelques années donnait l'occasion de fermer au moins un arsenal : cela aurait été une bonne chose car « le travail producteur aurait été restreint mais non ralenti. On eût profité de la pression du moment pour le concentrer, pour lui imprimer par là une rapidité qui eût été un accroissement de force et pour le débarrasser de charges administratives écrasantes ». Un industriel aurait certainement agi ainsi. Les Anglais ont fermé les chantiers navals de Deptford et Woolwich en 1869 et réduit Pembroke. Joinville, redevenu député, rappelle encore que la réduction du personnel ouvrier des arsenaux est chose très difficile après une augmentation même temporaire. Cette augmentation est presque irrésistible, et *l'occasion de fermer Rochefort ou Lorient a bien été manquée*.

C'est un objet de discussion que Pothuau, revenu aux affaires, tient absolument à éviter lorsqu'il cède une deuxième fois au Parlement en créant une nouvelle commission mixte. Il en fixe ainsi le programme : convient-il de garder les quatre établissements hors des ports (Indret, Guérigny, Ruelle, Nevers) ? Peut-on transférer dans les ports et dans quels ports les productions des établissements supprimés ? Doit-on continuer à entretenir cinq ports qui construisent, arment et réparent, ou peut-on en spécialiser ? On ne doit donc pas se poser la question de la fermeture d'aucun des arsenaux et, pendant le cours de l'enquête, nous ne voyons personne se demander s'il serait utile de transférer des fabrications des ports dans les établissements hors des ports. La présentation du programme met en avant ces derniers, qui sont petits, afin de mieux protéger les grands ports. L'étude de la comptabilité est laissée dans le vague : « il y a lieu d'examiner, s'il est possible, en simplifiant les écritures, d'arriver à se rendre un compte, *non pas plus exact*, mais du moins plus prompt et plus clair des dépenses qui sont faites en vue de nos travaux maritimes de tous genres. » En réalité, Pothuau fait preuve de la même inconscience que lorsqu'il commentait les résultats de la première commission mixte. Son successeur, le vice-amiral Jauréguiberry (1815-1887), fait cependant signer le décret du 15 octobre 1879 qui

145 Pages 5 à 31, pour ce développement. Joinville avait donné à cette revue une étude retentissante sur la marine à vapeur en 1844.

rend la méthode de la partie double applicable aux écritures de la comptabilité centrale du matériel, parce que, dit-il, son application n'y présente pas plus de difficultés que dans la comptabilité centrale des deniers de l'État tenue en partie double conformément à l'art. 296 du décret du 31 mai 1862 sur la comptabilité publique. Le *Compte du matériel* modifié devient le grand livre de l'administration centrale. Ce n'est évidemment pas là que le nouveau système est nécessaire, mais dans les ports et établissements.

Dans le rapport du budget de l'exercice 1878, la commission du budget a montré que la comptabilité de la Marine ne permettait pas de connaître avec assez de précision les dépenses accomplies. Étienne Lamy (1845-1919), rapporteur du budget suivant, montre que le budget ne fait pas mieux connaître les dépenses à faire. Il est question au ministère de le refondre. Il n'y a que deux présentations possibles : par natures de dépenses avec répartition par objets ou services dans les annexes, *ou par services ou objets* avec répartition par natures de dépenses dans les annexes. Les dépenses de onze des vingt chapitres (des deux services, Marine et Colonies) paraissent au premier abord classées par natures, les neuf autres par objets.

Ce désordre justifie l'attitude des commissions du budget qui dénoncent depuis la Restauration l'obscurité répandue à dessein selon elles dans les projets de budget. En 1828, le commissaire de la Marine Lacoudrais (1788-1856), ne voulait pas que la clarté aidât l'industrie nationale, appuyée par l'opinion publique, à s'emparer des travaux de la Marine. Il ose déclarer à la Chambre qu'il s'agit d'« établir, envers et contre tous, *notre incontestable droit de propriété* sur une foule d'objets publics, que le pays nous somme à la tribune, nous crie dans les journaux de remettre à son industrie libre [...]. Tout en annonçant une dépense totale aux établissements spéciaux [hors des ports], on n'y fournit qu'un prix tronqué. Il est tronqué, *il n'est pas sincère* du moment où, la question s'engageant sur le terrain de la concurrence avec l'industrie libre, nous omettons le moindre accessoire de nature à se rattacher au principal » ; l'omission de toute dépense relative au Génie maritime est « évidente par la raison que, si l'État déclarait vouloir acheter ses bâtiments tout faits à la manière des armateurs, il cesserait aussitôt d'avoir à payer le corps spécial qu'il entretient uniquement pour les faire. [...] À ce point de maturité, les industriels, dont le tour est venu de prendre beaucoup d'ascendant sur les masses, sondent tout, vérifient tout, notamment les calculs. »

Cette explication, reproduite par Lamy, est jugée insuffisante. C'est toute la comptabilité publique qui est obscure. *Lamy constate que les efforts des Chambres se sont brisés contre la résistance de l'administration au contrôle parlementaire.* Nous pensons que le gouvernement français, héritier d'une très ancienne tradition, et l'administration dont il dispose, ne veulent pas être contrôlés mais seulement conseillés. Même à l'apogée du régime parlementaire, qui se situe vers l'époque que vous évoquons, le contrôle du pouvoir exécutif est hérissé de difficultés et par là insuffisant. La mentalité traduite par la tirade de Lacoudrais est générale dans la Marine, et d'abord dans un corps qui observe avec inquiétude les progrès de l'industrie, qui doit surclasser un jour les établissements d'État. Il défend son intérêt en l'habillant plus ou moins habilement du manteau de l'intérêt général. Un nombre croissant d'ingénieurs pantoufflent néanmoins dans cette industrie qu'ils sont censés détester : même un Dupuy de Lôme, célèbre et comblé d'honneurs, ne dédaigne pas de finir sa carrière (à 53 ans) à la Société des forges et chantiers de la Méditerranée.

Nous ne citons pas les propos de quelques extrémistes afin d'accuser l'esprit du parti fonctionnaire — il existe encore des agents qui raisonnent comme Lacoudrais et qui écrivent, alors que le système des arsenaux a été anéanti et qu'ils n'ont rien à voir avec les partisans du collectivisme —. Ce sont les esprits pondérés et surtout désintéressés qui font exception en la matière. L'un d'eux, Auguste Gougeard (1827-1886), résume bien la situation en 1882 : « Tous les hommes qui professent des doctrines libérales ont une tendance marquée à donner beaucoup de travaux à l'industrie : il semble que tout ce que fait l'État leur soit suspect. Dans le camp opposé c'est tout le contraire, si bien que lorsque les opinions sont poussées à leur extrême limite, les uns veulent tout donner à l'industrie, les autres rien. Nous mettons, bien entendu, à part *tous* ceux qui ont dans ces questions un intérêt quelconque. Nous nous permettons de les récuser, s'ils ne le font eux-mêmes, ce qui serait peut-être préférable. »¹⁴⁶ Si le Comité des forges peut influencer ou corrompre des députés ou des hauts fonctionnaires, le parti opposé, comprenant les députés et sénateurs des ports de guerre, défend ce qu'il croit être l'intérêt du ou des corps de fonctionnaires chargés du service attaqué et, de manière plus apparente, celui des ouvriers qu'il protège. En France ce second parti a en général eu le dessus par la force d'inertie et la résistance passive des corps de fonctionnaires et surtout par la passivité d'un peuple habitué à plier sous leur joug.

146 Auguste Gougeard, *Les arsenaux de la Marine*, 1882, t. II, p. 261-262.

En 1832, le président de la commission des finances de la Chambre des députés a menacé de renvoyer la prochaine fois le budget de la Marine s'il n'était pas mieux fait. Le rapporteur de ce budget — c'était Adolphe Thiers (1797-1877) — demandait notamment à *connaître la dépense de chaque service dans chaque port ou établissement*. Pierre-Louis Boursaint (1781-1833), directeur de la Comptabilité générale, préparait pour 1833 une présentation nouvelle qui, sans être parfaite, parce qu'il tenait compte des habitudes prises, était supérieure à ce qu'on avait connu, par la séparation des dépenses de personnel et par les annexes. Son suicide frappe son œuvre. L'administration a cherché à gagner de la liberté et non à augmenter la clarté des budgets. Lamy retient que la perfection budgétaire paraît se résumer en 1878 aux deux principes suivants : 1° diviser le budget en dépenses de personnel et dépenses de matériel, sans les mélanger dans un même chapitre (décret du 31 mai 1862, art. 9) ; 2° grouper dans chaque chapitre des dépenses analogues entre elles (*ibid.*, art. 56). L'examen des chapitres auquel il se livre à la fin de son rapport démontre qu'aucun de ces principes n'est observé par la Marine.

*Conclusions de la délégation des ports de la 2^e commission mixte (1879)*¹⁴⁷. La délégation est d'avis de substituer l'unité simple à l'unité collective dans les comptes des comptables des matières. En 1857 on a renoncé à la comptabilité simultanée en quantités et en valeur par unités collectives sans avoir pu l'appliquer aux deux services principaux : la délégation des ports propose au contraire de l'étendre aux unités simples car la recommandation de la commission plénière de ne pas comprendre dans une même unité collective des objets de natures différentes ne lui suffit pas. Les rapporteurs de 1882 plaignent que l'unité collective correspond au besoin de synthèse. Ils ont remarqué dans un autre rapport qu'à l'usine de Marseille-Menpenti des Forges et chantiers de la Méditerranée, les comptes des magasins étaient résumés par unités collectives.

Le garde-magasin général de Toulon juge que le nombre des unités collectives est insuffisant : « la recherche des erreurs commises dans des groupes comprenant un aussi grand nombre d'unités simples est laborieuse et difficile ». Le commissaire des approvisionnements a déclaré de son côté que l'on devait faire des coupures dans les unités collectives « un peu fortes » pour vérifier les écritures et que ces coupures indiquaient les nouvelles unités collectives à constituer. La Guerre tient depuis 1871 une comptabilité par unités simples qui permet une reddition facile des comptes par établissements, mais rend la vérification et la centralisation « extrêmement laborieuses ». Dans la Marine, chaque sectionnaire du magasin général tient un journal et un registre-balance en quantités par unités simples ; s'il fallait, comme à la Guerre, transmettre à la Cour des comptes les doubles, elle aurait environ 200 volumes à vérifier rien que pour Toulon, et la centralisation des comptes dans le port exigerait une augmentation considérable du nombre des employés aux écritures.

Les 11 services des ports	Les 4 comptables-matières des ports	Ordonnateurs en matières	Officier chargé de vérifier l'emploi des matières aux travaux
- Approvisionnements généraux de la flotte	Le garde-magasin général (3 préposés comptables pour les magasins)	Le directeur des constructions navales, des mouvements du port et de l'artillerie, chacun pour le magasin particulier qui le concerne	Le commissaire des travaux
- Travaux hydrauliques et bâtiments civils	Le garde-magasin général	Le directeur des travaux hydrauliques	
- Habillement des équipages de la flotte - Habillement des troupes de la Marine - Casernement des équipages de la flotte et des troupes de la Marine - Chauffage, éclairage et	Le garde-magasin général	Le commissaire aux approvisionnements	

147 Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 138-148.

fournitures de bureau			
- Poudres	Le garde-magasin général	Le directeur de l'artillerie	
- Vivres	Un garde-magasin	Le chef de la manutention / le commissaire des subsistances	Le commissaire des subsistances
- Hôpitaux - Justice maritime	Un agent comptable	4 officiers différents selon le cas	Le commissaire des hôpitaux
- Chiourmes	Un agent comptable	2 commissaires	
Établissements hors des ports	Un garde-magasin	Le sous-directeur	L'agent chargé des détails administratifs

Tableau n° 1 : Les comptables des « matières, denrées et objets d'approvisionnement destinés soit à la consommation, soit à des transformations déterminées par les besoins des différents services », autrement dit de la comptabilité soumise au contrôle de la Cour des comptes, d'après le décret du 30 novembre 1857. Les quatre comptables et les trois gardes-magasins particuliers de chaque port, ainsi que les gardes-magasins des établissements hors des ports *tiennent le compte* des matières dont la garde leur est confiée en quantités selon les unités (simples) applicables ; ils en *rendent compte* en valeur par unités collectives suivant les divisions et les prix des nomenclatures générales. La reddition des comptes en quantités prévue en 1854 est donc supprimée. Le garde-magasin général centralise la comptabilité des magasins particuliers et la rattache à sa gestion personnelle ; il rend son compte par services (il y en a sept, les quatre autres étant confiés à trois autres comptables).

Glissons une observation sur la *centralisation*. À l'évidence, la centralisation dont il est question dans les règlements et sous la plume de la plupart des fonctionnaires de la Marine n'est pas celle que les Gougeard ou Guyard appellent de leurs vœux. À quoi sert d'abord cette nomenclature unique et rigide des matières lorsque les bâtiments d'un même type diffèrent autant selon le port de construction, et surtout suivant l'ingénieur chargé ? À quoi sert-il de connaître à Paris les stocks des articles, au moins pour les travaux — les magasins fournissent les bords en matériel d'armement et en consommables, et, si la séparation des deux services était faite, il pourrait être intéressant de suivre la partie du matériel qui est destinée au service militaire — ? À quoi sert le *Compte du matériel* tel qu'il est ? Lamy n'a-t-il pas demandé, au nom de la commission du budget de la Chambre des députés, la fourniture d'un état des stocks au 1^{er} janvier de chaque année ? On dirait que, d'un côté, la comptabilité en valeur n'est pas encore entrée dans les mœurs des marins, et que, de l'autre, elle fait peur à ceux qui ne veulent avoir d'autres comptes à rendre que ceux que la méfiance a multipliés depuis deux siècles.

La délégation est d'avis d'appliquer le prix vrai de la main-d'œuvre et de compter en quantités et en valeur sur les pièces et dans les écritures élémentaires de la comptabilité des matières (le service consommateur dresse les bons à souche en y mettant les quantités et le magasinier y inscrit les prix officiels). L'application du prix réel de la main-d'œuvre obligerait à tenir des *comptes journaliers* en quantités et en valeur, et l'agent administratif de la direction des mouvements du port de Toulon se demande si l'avantage est en rapport avec l'augmentation des écritures et si l'erreur sur le calcul de la main-d'œuvre peut être comparée aux frais généraux négligés. Le sous-directeur des constructions navales de Brest juge que la Marine ne peut adopter la méthode des Forges et chantiers de la Méditerranée ou des chantiers de La Ciotat en raison de l'étendue de l'arsenal, de l'effectif supérieur du personnel et du très grand nombre d'articles de la nomenclature. Les

rapporteurs de 1882, reprenant l'avis général, concluent : « les perfectionnements apportés à notre méthode de comptabilité de l'emploi [des matières aux travaux] ne peuvent pas être abandonnés par esprit d'imitation ».

La délégation a enquêté sur l'utilité de la tenue des feuilles d'ouvrage par un service indépendant. Le commissaire Fournier (1828-1917) voit trois moments possibles pour altérer la vérité : le maître peut modifier les valeurs dès l'application sur la feuille d'ouvrage, on peut aussi altérer ou remplacer des feuilles pendant l'exécution du travail, et enfin, lors de la récapitulation de fin d'année, on peut reporter d'un article de la nomenclature des travaux sur un autre des dépenses qui paraîtraient charger trop lourdement le premier. Le contrôle intégral est impossible avec les moyens en personnel disponibles au Commissariat et à l'Inspection. Fournier verrait un avantage à ne laisser au service technique que la rédaction de la feuille d'ouvrage, celui de la conformité du compte ainsi produit par un service neutre avec les indications données par le service technique « à l'heure même de l'application et avant que l'on ait pu se rendre compte du coût du résultat final ». Les feuilles d'ouvrage devraient être cotées et paraphées par le commissaire des travaux, qui tiendrait registre des feuilles émises.

Lamy a tenté de faire revenir la délégation sur la résolution tendant à conserver au service technique le soin de rédiger les feuilles d'ouvrage¹⁴⁸. Gougeard s'y est naturellement opposé en maintenant que le service technique devait rendre compte de ses actes, ce qu'il ne pourrait ni ne voudrait faire s'il ne dirigeait pas la comptabilité des travaux. Le vice-amiral de Gueydon (1809-1886) juge prudent de laisser les choses en l'état, sous peine de revenir en arrière et de soulever « les controverses les plus violentes », et de se fier au contrôle de l'Inspection. Cette voie est suivie par la délégation, qui propose de centraliser dans chaque direction de travaux la rédaction des feuilles d'ouvrage d'après les applications de matières et de main-d'œuvre constatées et transmises par les ateliers. Cette résolution plaît aux rapporteurs pour l'économie de personnel en vue, mais ils y voient quelques inconvénients à surmonter.

La délégation, à l'exception de Gougeard, voudrait que les comptes de travaux soient dressés au bureau du commissaire général et y entrent dans les formules de la comptabilité en partie double. Ici aussi les délégués sont tentés d'imiter l'exemple des Forges et chantiers de la Méditerranée, les comptabilités de La Seyne et de l'usine de Menpenti étant tenues au siège de Marseille. Lorsqu'un travail y est terminé, la facture est établie d'après le coût de revient ou au prix de marché selon le cas. À la fin du mois, on dresse un relevé de tous les travaux terminés et dont le compte a été arrêté pendant le mois. Ce relevé fait ressortir la différence entre le coût de revient et le prix de facture ou de marché de chacun d'eux, et cette différence est passée au journal et au grand livre au compte ouvert aux profits et pertes. Dans la Marine, écrivent les rapporteurs de 1882, lorsqu'une construction est terminée, le compte d'emploi est déchargé du montant des dépenses qui est porté en augmentation à l'inventaire des bâtiments de la flotte. Les dépenses de réparation et d'entretien des bâtiments sont inscrites dans la comptabilité centrale en partie double (depuis 1879) au débit du compte des frais généraux du service des approvisionnements généraux de la flotte. *Les rapporteurs n'en disent pas plus, soulignant ainsi l'incompatibilité entre les deux modes de pensée, au-delà des buts poursuivis d'un côté et de l'autre.*

Si les rapporteurs de 1882 ont, dans le domaine de la comptabilité, critiqué les conclusions de la délégation des ports émises trois ans plus tôt, ils les suivent lorsqu'il s'agit de l'organisation et de l'affectation des ports et établissements¹⁴⁹. Le Parlement et le pays se demandaient et se demandent toujours, écrivent-ils, si les rouages ne sont pas trop compliqués et si la Marine fait le meilleur usage des ressources mises à sa disposition. La commission mixte doit indiquer au ministre les bases de l'organisation nouvelle des ports sans refaire elle-même l'ordonnance de 1844. Or, elle n'a pris aucune résolution à ce sujet, puisqu'elle a ajourné toute décision jusqu'à la remise du rapport de la délégation (et ce rapport est introuvable). Les rédacteurs de

148 Peut-être sous l'influence du commissaire Henri Garreau (1823-1893), informateur officieux de Lamy qui poursuit le combat d'arrière-garde d'une partie du Commissariat, tendant au retour du magasin général à la situation d'avant 1828 : « M. Lamy fit observer qu'il réclamait le système de la séparation du service administratif du service technique, non au point de vue de la défiance et du contrôle, mais pour appliquer le principe de la division du travail. Il ne veut enlever aux ingénieurs qu'un travail de tenue de livres. » (rapport du 25 mars 1882, p. 47). Curieusement Gougeard est lui aussi partisan du magasin général unique confié au commissariat : c'est une autre vue de l'esprit, et qui part du principe opposé, puisqu'il veut éliminer le Commissariat des travaux. S'il est d'avis que le Commissariat alimente ce magasin d'après les demandes des deux grands services dont il voit la nécessité, c'est le directeur des travaux qui seul ordonnancera sur le magasin pour les besoins de l'usine, et le major général de la flotte qui fera de même pour les besoins de la flotte, d'après le règlement d'armement (*Les arsenaux de la Marine*, t. I, 1882, p. 114, 117 et 118).

149 *Commission mixte de la Marine. Rapport sur la situation des travaux de la Commission. 1^{re} partie, organisation des ports considérés d'une manière générale ; 2^e partie, affectation des ports, établissements hors des ports ; [3^e partie, rapport sur la comptabilité, document séparé]*, 25 mars 1882, signé Dislère, Thomasset, et Fabre, BB⁸-982 ou 10 O 8.

1882, ne disposant que des procès-verbaux des réunions de la délégation et de ses résolutions, du cahier d'enregistrement des réponses adressées à la délégation et de documents et dépositions épars, ont établi à l'intention de la Commission un nouveau questionnaire car ils pensent qu'elle va reprendre le cours de ses travaux.

La délégation définit ainsi les frais généraux répartissables sur les travaux (les frais généraux de port) : ceux qui cesseraient de grever le budget de la Marine si l'État renonçait à confectionner lui-même ce dont il a besoin. « Ces frais généraux comprennent, outre les dépenses de construction, d'outillage et même de recette et de magasinage exclusivement faites en vue de ces travaux, une part proportionnelle des frais généraux de tout chantier, atelier ou magasin qui, affecté normalement au service général du port, aura coopéré, dans une mesure quelconque, à l'exécution de ces travaux. » On calculera empiriquement [sur la base des constatations des dernières années] le pourcentage dont doivent être abondés *les délivrances faites, les travaux* exécutés pour le compte des bâtiments en construction ou des objets en cours de confection. Ces frais généraux, en étant portés distinctement au budget, feront voir « l'économie qui résulte de l'utilisation d'un outillage qui chômerait le plus souvent, s'il cessait de coopérer aux travaux neufs ». La délégation croit que ces définitions permettent d'établir les coûts de revient équitablement. En fait *elle n'envisage pas de sortir du « périmètre » des dépenses de la nomenclature des travaux (et donc des matières et de la main-d'œuvre) ni de faire autre chose que grossir la rubrique des frais accessoires de fabrication, qui ne sont qu'une petite partie des frais généraux*¹⁵⁰. En particulier il n'est pas question, du moins dans le rapport du 25 mars 1882 que nous devons suivre, du personnel entretenu.

Sont charges d'État les dépenses des ports « soit pour leur extension, soit pour leur entretien », qui sont de même nature que celles des places fortes à la charge du ministère de la Guerre. Cette définition, proposée par le vice-amiral de Gueydon (1809-1886), n'a pas été soumise au vote par suite d'une omission. Gueydon est aussi d'avis qu'il n'y a pas lieu de compter d'intérêt ni d'amortissement, d'après la formule : « quand l'État fonde, il immobilise ». Dans les établissements hors des ports, toutes les dépenses non inscrites sur les feuilles d'ouvrage sont des frais généraux à répartir entre ces feuilles au prorata de la dépense *en main-d'œuvre* (ou plutôt du coût direct). Dans les ports, et sauf les chantiers et ateliers qui sont en fait des usines annexes (il n'en donne pas d'exemple), toutes ces dépenses selon lui sont des charges d'État.

Gueydon insiste sur la nécessité d'utiliser en temps de paix l'outillage et le personnel qu'il est indispensable d'entretenir dans les ports pour le service militaire. Leur concours ne doit grever les constructions neuves que dans la mesure où il serait fourni. Gougeard serait d'accord si l'outillage avait été déterminé suivant des règles rationnelles pour le ravitaillement des escadres en temps de guerre. Il remarque que la définition de l'amiral ne permet pas de comparer équitablement les prix de revient des arsenaux avec ceux de l'industrie. Gueydon est d'avis qu'un outillage prévu pour la guerre ne doit pas être compté comme dépense aux constructions neuves, mais que les frais d'agrandissement de l'atelier des bâtiments en fer de Brest doivent leur être « appliqués », parce qu'ils n'ont que ces constructions pour objet et que, de cette façon, l'on verra d'après la comparaison avec le coût des constructions dans les autres ports si la dépense a été rationnelle. Gougeard voudrait trouver le moyen de tenir compte du capital engagé par l'État. Le sénateur Arbel (1826-1892), industriel métallurgiste de la Loire, membre de la délégation, déclare que, *dans l'industrie, le capital doit être amorti en l'espace de dix ans, qui correspond à la transformation des procédés et de l'outillage. Gougeard ne dit rien de sa manière de voir les frais généraux à répartir, celle du moins qu'il expose en 1882, et qui vise une partie du personnel entretenu, des dépenses générales du port et l'amortissement de l'outillage.* Les rapporteurs ne peuvent s'empêcher de souligner que les arsenaux de la Marine ne sont pas que des usines, mais aussi des ports d'armement et des places fortes : comment, écrivent-ils, distinguer la part afférente, dans ce qu'ils appellent les frais généraux, à l'arsenal, au port d'armement, au port d'expédition pour les colonies et les stations navales?

*Le calcul d'Auguste Gougeard*¹⁵¹. Gougeard (1827-1886) est un ancien capitaine de vaisseau passé au Conseil d'État, dont les idées politiques lui ont valu le surnom de chaloupier rouge. Cette réputation l'a desservi dans un milieu aussi réactionnaire que la Marine et notamment dans la 2^e commission mixte : les passes

150 Les dépositions des directeurs des constructions navales de Toulon et de Brest citées dans le rapport de 1882 vont tout à fait dans ce sens.

151 Auguste Gougeard, *Les arsenaux de la Marine*, t. 2, 1882, *passim*, Bernard Lutun, *op. cit.*, p. 148-156.

d'armes avec Gueydon ont dû marquer les esprits. Gougéard est le membre le plus résolu de la commission mixte, sinon le plus fort en comptabilité : il publie en 1882 un livre utilisant les données nombreuses et de première main qu'il a récoltées dans la sous-commission puis dans la délégation des ports. Son livre est le testament d'une commission dont il prévoyait l'échec, et l'auteur a probablement escamoté le rapport de la délégation rédigé par Lamy et communiqué en janvier 1882 à lui seul, et il s'en est servi pour écrire son livre. Les membres mécontents de la commission mixte, dont les réunions cessent pratiquement en juin 1879, incriminent, plus que Lamy, Jauréguiberry, redevenu ministre en 1882, qui les aurait dupés ; il a alors délégué sa tâche de président de la commission mixte au député de Rochefort, Bethmont (1833-1889), qui avait le plus grand intérêt à l'enterrement, étant donné la tournure prise par les discussions et les rapports. Mais qui a deviné que le coupable était plus vraisemblablement encore un membre du cabinet Gambetta, qui a été en fonction pendant deux mois et demi et dont l'œuvre a été annulée par Jauréguiberry ?

Le commandant Gougéard sait que la portée de son calcul de frais généraux, le premier à être publié en France, est limitée. Aucun calcul ne peut en effet représenter la sûreté, la précision, la rapidité des opérations militaires. Il admet que le coût de revient des travaux de la Marine passe après leur perfection. En conséquence l'on peut et l'on doit seulement veiller à ce que, 1° les crédits soient bien employés, « qu'il ne s'en échappe aucune partie, ni par les fissures, ni par le coulage, ni par les frais généraux non justifiés » et, 2°, que les administrateurs rendent des comptes clairs.

Gougéard pose que « l'étude du mode de fonctionnement industriel de nos ports n'est en réalité et ne peut être que la recherche aussi exacte que possible et la détermination précise des frais généraux auxquels le système actuel les oblige ». Elle démontre la nécessité de changer de système, ou au moins d'améliorer celui qui subsiste. Gougéard pense que la Marine doit établir et publier ses frais généraux, de façon que l'opinion publique l'aide à « briser les résistances intéressées, vaincre la routine et mettre à néant les arguments sans aucune valeur, tirés du respect que l'on doit à des intérêts locaux qui, du reste, ne sont nullement menacés ».

L'auteur combat ceux qui pensent que « la marine de guerre ne poursuit aucun but industriel, son organisation n'est ni ne peut être comparable à ce qui se fait ailleurs et en dehors d'elle. Dès lors tous ses frais généraux sont des frais généraux d'État et comme, par leur nature même, ces derniers ne sont pas répartissables, il est bien indifférent et bien inutile de les connaître. » En Angleterre on ne nie pas le but industriel des ports de guerre et, depuis les réformes Childers de 1868-1870, les budgets publiés sont répartis par localités selon les travaux qui doivent y être exécutés. L'administration britannique doit au Parlement des comptes précis de l'usage des crédits et du résultat obtenu afin de permettre de mesurer l'utilisation qu'elle fait de son budget. Ces comptes font ressortir les frais généraux de chaque arsenal ou établissement des subsistances ; ils ont tendance à diminuer, et c'est ce à quoi les administrateurs locaux doivent veiller.

Si l'on met à part les subsistances, considérées comme de petites usines séparées, et le service des Travaux hydrauliques et des Bâtiments civils, *la main-d'œuvre et donc la main-d'œuvre directe* (directement productive, en termes plus modernes) *est entièrement concentrée dans les trois directions des constructions navales, du port et de l'artillerie.*

Les frais généraux sont la différence entre les dépenses *totales* du port, sauf les matières directement appliquées aux travaux, et l'« *effet utile* », c'est-à-dire le montant de la main-d'œuvre directement appliquée à ces travaux. Les frais généraux se répartissent proportionnellement à cette main-d'œuvre, dans l'industrie « comme partout où l'on a des frais généraux une conception exacte ». L'on sait que la façon de voir les choses a changé depuis 1882. Aujourd'hui les frais généraux, rebaptisés frais hors production et débarrassés de la fraction que Gougéard ne sait affecter à aucune espèce de travaux ni répartir entre ses deux catégories de frais généraux, frappent aussi les matières utilisées dans les ouvrages ; le calcul des « taux d'unité d'œuvre » (en général des taux horaires) des sections homogènes de production (des ateliers ou fractions d'atelier) tient compte de tous les frais répartissables par sections, alors que le calcul de Gougéard est forcément global, puisque la comptabilité de la Marine ne distingue pas les productions de chaque direction. Nous avons vu du reste que les frais généraux n'étaient pas assis à Guérigny de la façon qu'il indique mais, à cette époque, l'élément matières est prépondérant, au point qu'Adolphe Guilbault a donné la composition moyenne suivante des coûts de revient ordinaires de l'industrie (au moins dans la métallurgie) : matières, 62 %, main-d'œuvre, 22 % et frais généraux, 16 %. Asséoir les frais sur le coût direct (matières et main-d'œuvre) pouvait conduire à fausser les résultats ; c'est du moins ce que nous avons lu plus d'une fois.

Notre auteur distingue quatre catégories de frais généraux : les frais d'atelier, de direction, de port et d'État. Elles se réduisent en fait à deux : les frais généraux de port et d'État. Gougeard considère d'abord les dépenses de main-d'œuvre, afin de constater ce qu'il appelle l'effet utile en pourcentage, c'est-à-dire l'usage plus ou moins intensif de la main-d'œuvre que fait chaque direction de chaque port ou chaque établissement hors des ports. Il ajoute ensuite les soldes du personnel entretenu des directions, puis, dans une dernière étape, les matières consommées à titre de frais généraux, l'amortissement (encore appelé déperissement et évalué par l'auteur, les comptes n'accusant que des achats), le service des Travaux hydrauliques et des Bâtiments civils avec toutes ses dépenses (et donc les constructions, qui ne sont pas amorties), et enfin le personnel entretenu de ce qui peut être vu comme le service général, dont une partie seulement doit abonder les frais généraux du port considéré comme une usine.

Le calcul de l'utilisation de la main-d'œuvre ouvrière est tiré des comptes de travaux de la Marine (états 121bis). Les écritures élémentaires, qui sont contenues dans les feuilles d'ouvrage, inspirent à notre auteur une confiance suffisante et égale à celle des documents montrés par les chantiers privés qu'il a visités. Il ajoute seulement qu'il faudrait les contrôler rigoureusement et les sanctionner grâce à la responsabilité des administrateurs qu'il appelle de ses vœux.

On emploie dans la Marine la journée moyenne, ce qui peut fausser le coût de revient d'un objet particulier, mais non l'ensemble des résultats.

La dépense de main-d'œuvre est divisée en cinq classes, conformément à la nomenclature des travaux en usage jusqu'en 1881 :

- a - dépense directement appliquée aux travaux,
- b - service général des ports et rades et dépenses diverses,
- c - service des magasins,
- d - service des chantiers et ateliers,
- e - frais accessoires de fabrication défalqués des autres classes.

Les classes **b** à **e** sont des dépenses de frais généraux.

Les frais généraux d'atelier (**e**) sont définis dans l'instruction générale du 1^{er} octobre 1854 sur la comptabilité des matières de la Marine, à l'article 546 : « Au commencement de chaque mois, il est ouvert dans chaque atelier ou chantier, une feuille spéciale destinée à suivre les dépenses en matières et en main-d'œuvre qui sont communes à l'ensemble des travaux exécutés et ne peuvent s'appliquer directement à aucun de ces travaux. En ce qui concerne la main-d'œuvre, les dépenses de cette nature classées sous le titre *frais accessoires de fabrication* comprennent notamment : 1^o la solde des contremaîtres et aides-contremaîtres affectés à la surveillance de plusieurs travaux de nature différente ; 2^o celle des journaliers, apprentis, employés à la propreté, aux transports de matières. En fin de mois, elles sont réparties entre les divers ouvrages auxquels elles s'appliquent, etc. »

Cet article étant diversement interprété, Gougeard a calculé des chiffres moyens pour chaque port et chaque direction de ces frais accessoires de fabrication en main-d'œuvre. Nous nous étonnerons en passant que l'auteur ne se serve pas de la version modifiée en 1857 et 1859 de l'instruction générale.

Les matières consommées à titre de frais généraux figurent de même dans les comptes de travaux pour ce qui est des services **b**, **c** et **d**, et sont évaluées par Gougeard pour la fraction appelée **e**.

Le résultat de ce premier calcul, en moyenne pendant les trois exercices étudiés (1874, 1877 et 1878), est le suivant : Lorient applique 57,1 % de la valeur de la main-d'œuvre aux dépenses directes, Cherbourg, 56,9 %, Toulon 56 %, Brest 52 % et Rochefort, 48,3 % seulement.

Le calcul par directions (la main-d'œuvre (**b**) du service général doit alors être ajoutée au total (**a**) comme partie de l'effet utile de chaque direction prise isolément¹⁵²) montre, lorsqu'on leur applique les frais

152 Il s'agit de la réparation et de l'entretien des bâtiments de servitude pour la direction des constructions navales, du service général des ports et rades pour la direction des mouvements du port, et de l'entretien et de la réparation des armes en service pour la direction de l'artillerie.

généraux, dans quelles conditions déplorables certaines d'entre elles fonctionnent, surtout celles qui produisent peu comme les directions d'artillerie.

Parmi le personnel entretenu, il convient de distinguer celui qui répond à l'objet militaire des ports (compte de dépenses militaires ou compte d'armateur, ici ce sont les *frais généraux d'État ou du service général*) de celui qui dirige l'usine, à temps complet ou partiel. Ce personnel-ci est réparti en bloc dans les colonnes **b** à **e** et en petite partie dans les *frais généraux de port* (préfecture maritime et commissariat), mais il devrait être sous-réparti. Le personnel entretenu de l'usine (assimilé ici à celui des directions de travaux) représente à lui seul et en moyenne, une dépense de 5 099 000 F par an, soit 26 % du montant de la main-d'œuvre totale des trois directions dans les cinq ports.

La comptabilité de la Marine ne permet pas de distinguer, dans les dépenses du service des Travaux hydrauliques et des Bâtiments civils, ce qui revient à l'usine de ce qui est dépense militaire ou d'État. Gougeard a rangé toutes les dépenses dans les frais généraux d'État (dans les frais généraux de port, donc dans les frais répartissables, pour les établissements hors des ports car, dans ce cas, il n'y a pas de frais généraux d'État).

Comme nous l'avons dit, une petite partie de la dépense du personnel entretenu du service général est comptabilisée aux frais généraux de port, et le *service général des ports et rades (b)*, beaucoup plus fort que dans un port de commerce¹⁵³, y est compris finalement pour la moitié de la dépense seulement, l'autre moitié étant rejetée dans les frais généraux d'État.

Dans le calcul des frais généraux complets des ports, Gougeard introduit le service des subsistances, pour la main-d'œuvre directe et de frais généraux, la solde des entretenus et les matières de frais généraux. Les dépenses du port considérées dans le calcul comprennent à présent la main-d'œuvre directement appliquée aux ouvrages, les frais généraux de port, qui se composent des frais d'atelier et de direction, et, *pour information*, les frais généraux dits d'État. Le taux *unique* de frais généraux de chaque port s'obtient *en divisant les frais généraux de port par la main-d'œuvre directement appliquée*.

Le résultat final donne trois ports ex-æquo, Toulon (140 %), Cherbourg et Lorient (142 %), suivis de Brest (158 %) et Rochefort (200 %). Comme le taux diminue logiquement avec l'augmentation de l'activité du port considéré, l'ancien ministre fait sentir de quels progrès Toulon est susceptible, sans même se spécialiser. Quant à Rochefort, qui doit dépenser trois francs pour obtenir un franc d'effet utile, il ne trouvera son salut que « dans une transformation complète, transformation qui sera aussi favorable aux intérêts de la Marine qu'à ceux de la cité. » Gougeard est d'avis de transporter à Rochefort l'activité de Ruelle et les ateliers de production des directions d'artillerie des ports ; Rochefort y perdrait beaucoup en termes d'ouvriers employés. Les intérêts locaux et les autres sont parvenus à maintenir l'existence de l'arsenal de Rochefort jusqu'en 1926.

Les frais généraux des meilleurs ports français restent très élevés, ainsi que le souligne l'auteur. On imagine bien que l'activité militaire des ports de guerre gêne leur activité industrielle. La spécialisation d'un port dans les constructions doit entraîner une meilleure utilisation de la main-d'œuvre et la réduction de ses frais généraux.

La spécialisation des ports conduit à dire un mot des quatre établissements hors des ports que sont Indret, Guérigny, Nevers et Ruelle. Les aciéries et ateliers d'artillerie Krupp à Essen font alors l'admiration générale, et Gougeard estime qu'ils pourraient être imités au Creusot, si l'influence de l'État y était dominante, « le mettant seulement à l'abri des exigences d'un établissement industriel qui, pour certaines productions indispensables, n'a et ne peut avoir de concurrents ». Cette périphrase désigne aussi les plus gros canons (il s'en produit alors de 100 t, soit un calibre de 43 cm qui impressionne l'opinion) : leur fabrication serait réservée à l'État. L'arsenal d'artillerie de Woolwich, qui travaille pour la Navy et pour l'Armée, est très bon aussi. Dans les ports anglais une section d'effectif variable met en place l'artillerie à bord ; personne n'y participe à la fabrication du matériel.

La France entretient, rien que pour la Marine, cinq directions d'artillerie très coûteuses et deux établissements insuffisants et mal placés, Nevers et Ruelle. Celui de Nevers a été supprimé en 1880 sur la recommandation de la commission mixte. Les deux usines, que le service militaire ne gêne pas, fonctionnaient

¹⁵³ Une simple usine portuaire n'a ni chenaux à baliser, ni fonds de rade à entretenir, ni torpilles à poser, ni magasins et casernes flottantes à réparer, et peu ou pas de remorqueurs. Dans les ports de commerce les dépenses de construction et d'entretien du port reviennent au ministère des Travaux publics.

dans de si mauvaises conditions qu'elles égalaient les ports en moyenne (46,1 % d'effet utile de la main-d'œuvre à Nevers, 41,5 % en moyenne dans les directions d'artillerie des ports et 36,1 % à Ruelle). L'artillerie de la Marine, observe l'ancien ministre, au lieu de fixer ses regards vers l'avenir, les porte « plus volontiers vers le passé, et ce par cette espèce d'instinct de conservation qui est commun aux corporations comme aux individus ».

L'auteur note à propos des fonderies que, non seulement leur effet utile est faible, mais qu'il est peu efficace. Cette notation reste isolée dans les *Arsenaux de la Marine*, alors que l'efficacité intrinsèque de la main-d'œuvre est l'une des variables à considérer avec les frais généraux et le coût même de cette main-d'œuvre directe, assez fortement variable d'un port à l'autre, comme le montre l'auteur.

Un raisonnement analogue le conduit à préconiser la fermeture d'Indret et de Guérigny et le recours à l'industrie, qui peut désormais remplacer les deux établissements sans inconvénient. Nous reproduisons le tableau de synthèse relatif à Guérigny (tableau 2) : le taux de frais généraux calculé est de 179 % (127 % à Indret), mais son mode de calcul ne permettait pas de le relier facilement au calcul du directeur de Moras.

L'ancien ministre sait que son travail n'est pas à l'abri de la critique, notamment parce que sa méthode de calcul extra-comptable est rudimentaire, mais il a cherché, par un raisonnement acceptable, à « sortir enfin, en serrant d'aussi près que possible la question, des généralités qui ne pouvaient conduire à aucune conclusion sérieuse ».

Guérigny, moyenne 1874-1877-1878, en milliers de francs	a m. o. d. a. (directement appliquée)	b service général des ports et rades	c service des magasins	d service des ateliers	e Frais accessoires de fabrication et de surveillance	Personnel entretenu	Travaux hydrauliques
Main-d'œuvre (a)	520	37	29	158	82	-	-
Matières consommées	-	2	20	174	-	-	-
Frais accessoires de fabrication (matières) afférents à la m.o.d.a.	-	-	-	-	42	-	-
Amortissement de l'outillage	-	-	-	59	-	-	-
Personnel entretenu	-	-	-	-	-	178	-
T.H., entretien et travaux neufs	-	-	-	-	-	-	150
Total main-d'oeuvre	520	-	-	-	-	-	-
Total frais généraux	931	39	49	391	124	178	150
Taux de frais généraux	179 %						

Tableau n° 2 : calcul des frais généraux de Guérigny par Auguste Gougeard.

Après de longs développements, il conclut que la France a besoin de trois ports complets ou de plein exercice : Cherbourg, Toulon et Brest. L'activité industrielle de Lorient serait limitée à la construction navale et celle de Rochefort à l'artillerie. En temps de paix ces deux ports n'armeraient ni ne répareraient la flotte construite, qui serait concentrée dans les trois grands ports. En temps de guerre, ils joueraient le rôle de ports de refuge et leur outillage leur permettrait de réparer et de ravitailler la flotte dans une certaine mesure et selon leurs possibilités. Les intérêts locaux *bien entendus* ne sont pas menacés, assure Gougeard : au lieu d'être basée sur des « productions artificiellement obtenues, précaires et toujours contestées », la prospérité de chaque port

sera le résultat d'une mission solide et durable, adaptée à ses véritables possibilités. Il ajoute que seule l'action du Parlement permettra à l'administration de spécialiser les ports.

La comptabilité de la Marine après Gougeard. Les suites du sabotage de la commission mixte de 1878 ont marqué un Parlement devenu méfiant et qui a cherché à contrôler de plus près, mais avec ses moyens, l'exécution des budgets. Pourtant la coopération avec le ministère n'a pas cessé, et une troisième commission mixte est réunie en 1884, dont l'objet est prudemment restreint à la comptabilité, afin d'achever ou de perfectionner le programme de la première commission, celle de 1873¹⁵⁴. Cette commission, puis le Comité d'examen des comptes de travaux participent à l'élaboration des documents suivants. La nomenclature des travaux de 1881 suit de près la division du budget de 1882 et l'indique clairement : doit-elle changer au gré de l'humeur des parlementaires ? Elle est modifiée en 1888, 1893 et 1910. L'organisation et la comptabilité des travaux sont réglées par le décret du 6 septembre 1888, puis par celui du 18 mars 1910 et par l'instruction générale du 29 novembre 1911, laquelle se substitue au titre IV de celle du 8 novembre 1889 sur les matières. La comptabilité des matières représente une tâche considérable. Il y a le décret sur la comptabilité des magasins du 23 novembre 1887 renouvelé le 24 octobre 1910, la nomenclature unifiée des matières du 14 octobre 1888 et qui doit être mise à jour tous les ans (la précédente, en pleine révolution technique, datait de 1857 et ne l'avait pas été !), l'instruction générale du 8 novembre 1889 sur la comptabilité des matières renouvelée le 9 juillet 1912. Enfin le Parlement décide, par un article de la loi de finances du 13 avril 1898, d'imposer le prix réel des matières, à la place du prix « officiel » ou de nomenclature.

D'après le règlement de 1889 sur la comptabilité des matières, la valeur des coques, des édifices et ouvrages non terminés est établie d'après le coût direct. La valeur des mêmes travaux terminés est établie d'après le coût de revient ou le prix de marché, sans avoir égard au dépérissement. Si le coût de revient ne peut être retrouvé, il est estimé. La valeur retenue demeure invariable jusqu'au moment de la condamnation ou de la démolition, quels que soient les travaux d'entretien, s'ils n'ont pas pour effet la transformation ou l'accroissement des bâtiments ou édifices. Les matières et objets spécialisés en magasin (titre I) sont évalués au prix d'acquisition ou de confection, sauf les bois qui le sont d'après les prix officiels de la nomenclature des matières. Les objets formant l'approvisionnement des ports et ceux qui font partie du matériel en service (titre III) sont évalués d'après les prix officiels sans avoir égard au degré d'usure. Les matières et objets cédés le sont d'après le prix du dernier marché, le coût de revient ou le prix officiel si l'objet est confectionné par la Marine. Les objets confectionnés provenant de remises ou existant depuis longtemps en magasin ou cédés en cours de campagne subissent une moins-value pour usure dûment constatée. Le prix des articles cédés à des particuliers est augmenté d'un quart « pour le remboursement des *frais généraux* de fabrication, d'entretien et de surveillance ».

Dans l'instruction générale du 9 juillet 1912, l'amortissement a fait son apparition jusque dans l'évaluation des bâtiments de la flotte : « La valeur des bâtiments de la flotte est diminuée ou accrue annuellement en tenant compte du nombre d'années écoulées depuis le jour de la clôture des comptes d'ouvrage de construction neuve du bâtiment et des circonstances particulières telles que réparations importantes, fatigues exceptionnelles, échouage, etc. qui peuvent accroître cette valeur ou la réduire. Ces accroissements ou diminutions de valeur sont obtenus en introduisant un terme correctif »... soumis à l'approbation du ministre. La valeur des immeubles à terre est affectée en plus du montant des dépenses pour agrandissements ou installations nouvelles sans tenir compte des travaux d'entretien ou de réparation qui ne produisent pas cet effet. Elle est affectée en moins des causes de diminution autres qu'un dépérissement passager. Des taux d'amortissement sont fixés par l'instruction du 29 juillet 1911 sur la comptabilité des travaux. La valeur de la coque d'un bâtiment de servitude est dépréciée à raison de 5 % par an jusqu'au dixième du prix initial. Les objets en service dans les chantiers, ateliers et magasins (les machines et les machines-outils en particulier) sont évalués au prix réel et suivent l'amortissement des bâtiments de servitude.

La prise en compte encore bien timide des amortissements — dans les inventaires et non dans les comptes — suit la publication des frais généraux décidée en 1903 par Camille Pelletan (1846-1915). Aux objections de principe déjà anciennes à l'application des frais généraux dans la Marine, celle-ci, par l'organe d'un ministre qu'elle déteste, finit par répondre qu'elle doit faire connaître les siens, ne fût-ce que pour en permettre le contrôle, et parce qu'il est désormais possible de distinguer les frais généraux devant affecter le

154 Ces modifications à la réglementation sont décrites dans *Marine militaire et comptabilité : une incompatibilité ? Contribution à l'histoire des finances de l'État français*, chez l'auteur, 2010, chapitre 4, § 4.2., p. 183-218.

coût de revient des travaux des charges d'État¹⁵⁵. Le ministre ajoute que le maintien du secret sur ces chiffres pourrait être mal interprété. La nomenclature en vigueur depuis 1894 sépare nettement le service général des directions de travaux, et la création du service de la flotte au 1^{er} janvier 1898 accuse la tendance à isoler les services de travaux du service militaire. Le tableau des frais généraux de l'instruction du 16 septembre 1903, comprend bien les amortissements et devient réglementaire pour l'usage restreint qu'on veut en faire, puisque les prix de versement ne vont pas au-delà des dépenses indivises, s'ils ont été calculés d'après les coûts de fabrication. Malgré l'imperfection de la nomenclature des travaux de 1893, cette publication des frais généraux dans le Compte général des confections et des travaux est un progrès qu'il faut souligner.

Nous allons donner une idée du nouveau calcul en même temps que du Compte général de 1910. Celui-ci est le dernier qui observe le régime de la nomenclature de 1893, du décret de 1888 et aussi de l'instruction de 1903¹⁵⁶. Les charges directes sont établies sur des bases légèrement différentes dans le calcul des frais généraux de l'instruction de 1903, afin de comprendre dans ces derniers toutes les dépenses ayant ce caractère, même celles qui sont appliquées directement à des ouvrages déterminés et sont donc incluses dans les dépenses directes au sens de la réglementation des comptes de travaux.

Si l'on considère les quatre services dont les frais généraux sont calculés, (ces services représentent 97 % du montant des comptes de travaux de la Marine en 1910), on voit que le montant total des *comptes de travaux* est de 152 843 652 F, dont 144 427 448 F de dépenses directes. Celles-ci comprennent les dépenses de main-d'œuvre, de matières (moins les résidus), de travaux à l'entreprise. Les dépenses dites indivises, représentant la différence entre les deux chiffres rapportés ci-dessus, résultent de l'application à la main-d'œuvre directe de deux coefficients de majoration. Le *second calcul, fait selon l'instruction de 1903*, conduit à des dépenses directes s'élevant à 135 149 594 F seulement, auxquelles on applique les deux mêmes coefficients, si bien que l'on arrive à un total partiel de 142 246 528 F, auquel s'ajoutent par un calcul spécial les frais généraux manquants pour un montant de 34 158 072 F. Ainsi le Compte général accuse une dépense totale de 152 843 652 F, alors qu'elle devrait être de 176 404 600 F : il manque un peu plus de 15 % du total.

Le taux de frais généraux est, pour l'ensemble des services de travaux, de 24 % en 1910 (34 158 072 /142 246 528) rapporté aux dépenses directes et indivises du deuxième calcul. Toujours sur cette base, nous avons calculé des taux de frais généraux par lieux et par services : Cherbourg, 44,8 %, Brest, 22,3 %, Lorient, 38,5 %, Rochefort, 55,4 %, Toulon, 49,5 %, Indret, 44,8 %, Guérigny, 49,8 %, Ruelle, 15,6 %. Nous aurions pu les calculer par rapport aux dépenses de main-d'œuvre directe comme Gougeard l'avait fait, parce que les taux obtenus sont très différents. De tels calculs sont inutiles à l'époque, puisqu'il convient de s'en tenir aux dépenses indivises dans les comptes et que l'intention du ministre est différente : dans les 176 millions le Parlement doit voir la dépense vraie et *complète* et la rapporter à celle des 152,8 millions qu'il sait *incomplète*. L'on voit ainsi qu'en 1914 la Marine n'a pas rattrapé les trente ans qui ont passé depuis la publication des *Arsenaux de la Marine*.

On peut dire de la présentation de ces frais généraux qu'elle est moderne : il ne reste plus qu'à les introduire en comptabilité. Une partie des frais généraux selon la nomenclature précédente (celle de 1893) est passée il est vrai dans les dépenses indivises en 1911, rapprochant ainsi de la réalité les coûts de revient devant servir aux prix de versement. Ainsi en 1910, les dépenses indivises de l'établissement de Guérigny s'élèvent à un total de 666 397 F selon l'ancienne nomenclature et à 1 101 332 F selon la nouvelle, alors que la dépense réelle des frais généraux, y compris donc la part dite des dépenses indivises, est de 2 036 000 F. La comptabilité

155 Instruction du 16 septembre 1903 concernant la production du tableau des frais généraux de la Marine, *BOM*, 2^e semestre 1903, p. 323 à 335.

156 En 1897, le total des comptes de travaux de tous les services est de 146,2 millions, dont 40 de confections pour le magasin, 32,9 de travaux de constructions neuves dans les ports et établissements de la Marine, 13,3 de travaux de réparation navale, 35,3 de constructions neuves par l'industrie et d'achats pour constructions neuves dans les arsenaux, et enfin 24,7 millions pour autres travaux. Les crédits affectés aux constructions neuves et achats de bâtiments n'ont fait qu'augmenter depuis 1888, passant de 26 à 76 millions en 1897, ou 61 millions en moyenne, dont 35 pour les arsenaux et 26 pour les achats de bâtiments à l'industrie. La valeur des travaux de constructions neuves s'établit à 503 millions de 1871 à 1887 (17 années : 29,6 millions par an) et à 606 millions de 1888 à 1897 (10 années : 60,6 millions par an). Extrait du rapport du Comité sur les comptes de travaux de l'année 1897, 3^e partie, p. 69 à 87, 6DD¹-357.

publique s'oppose toujours à l'incorporation des amortissements. Une réforme législative s'impose de ce côté, alors que la Marine pourrait inclure les dépenses de ses fonctionnaires dans celles qui résultent des travaux. Tant que les frais généraux restent incomplets, les prix de versement de la Marine sont inférieurs aux coûts de revient véritables dans la mesure des frais généraux négligés dans les comptes, soit, d'après ce qui précède, de l'ordre de 15 % en moyenne des coûts accusés dans les comptes de travaux.

Cette présentation donnerait à penser que les ingénieurs ont abandonné leurs idées gothiques et envisagé la comptabilité industrielle pour ce qu'elle est. Il faut en rabattre beaucoup. Lisons par exemple le rapport de la commission extraparlementaire de 1894¹⁵⁷. Lors de la visite de sa délégation à Guérigny le 22 juin 1896, son président, Léon Bouchard (1830-1904), président de chambre à la Cour des comptes, demande au directeur le chiffre d'affaires de son établissement : Korn ne sait donner que le montant des consommations de matières et des salaires d'ouvriers ! Il ne connaît pas davantage le bénéfice d'exploitation !¹⁵⁸ Il déclare plus loin qu'aux dépenses accusées par les feuilles d'ouvrage, l'établissement ajoute les dépenses indivises (anciennement frais accessoires), mais non les frais généraux d'usine ; il justifie devant Paris les écarts importants avec les prix de nomenclature des objets fabriqués, quand ils existent. Il appartient au sous-inspecteur Delorme (1852-1906) de fournir une définition exacte des frais généraux. Les membres de la délégation, qui sont durs d'oreille, posent à nouveau la question de la destination des 25 % qui abondent les factures aux cessionnaires. Delorme répond nettement qu'ils représentent une quote-part des frais généraux et non un bénéfice, comme certains le croient. Les clients règlent le Trésor et la valeur des cessions est réintégrée au crédit des chapitres cédants (c'est la procédure du rétablissement de crédits), y compris les frais généraux selon Bouchard, alors que ces frais devraient être acquis au Trésor, selon Thomson.

Cette petite discussion résume toute la question : si les frais généraux, qui sont des dépenses réelles, ne reviennent pas à l'établissement, il devrait y perdre de l'argent, si du moins il disposait d'une comptabilité permettant de le constater. Une administration qui fabrique n'a pas besoin de faire de distinction : elle consomme ses crédits sans s'occuper de frais généraux ni de bénéfice, même dans le cas des cessions à des clients privés. Une usine d'État est privée de l'aiguillon de toute industrie, qui est la recherche du profit. D'ailleurs les documents dénotent souvent, de la part des ingénieurs ou des officiers de marine, un mépris de l'industrie pour cette raison, ils font du profit une motivation exclusive, qui explique facilement à leurs yeux les défauts de qualité rencontrés et la nécessité de recourir à des fabrications en régie. Ce discours s'apparente à celui de la noblesse française, qui ne voyait en général d'état honorable que dans le service du Roi et qui, si elle n'y trouvait pas d'emploi, préférerait vivre dans l'oisiveté, quitte à souffrir de la pauvreté, plutôt que de travailler sans déroger.

*

* *

La Marine a été obligée de modifier sa comptabilité-matières pour la mettre en accord avec la spécialisation croissante des crédits budgétaires voulue, à tort ou à raison, par le Parlement. L'obligation légale de compter les matières au prix réel l'a également conduite à renoncer à ses statistiques trimestrielles pour tenir une comptabilité journalière des travaux. Les améliorations successivement apportées à la nomenclature des travaux, d'autre part, permettent de comprendre dans les coûts de revient l'ensemble des dépenses qui se rapportent réellement, sans oubli ni fausse imputation, à tout travail ou confection, à l'exception d'une partie des frais généraux qui, en 1911, comprend les dépenses du personnel entretenu, les dépenses représentatives des retraites de tout le personnel et les amortissements. Cette partie reste en dehors des comptes pour une raison de principe, qui paraît tenir davantage à la comptabilité publique qu'à la Marine, puisque le département a enfin admis l'existence de ces frais généraux qu'elle entend comme l'industrie et qu'elle distingue des charges d'État.

157 Rapport de la délégation de la commission extraparlementaire, BB⁸-1193, p. 21-22 et 57.

158 Les rapports annuels donnent la production en kilos et en kilos par ouvrier. Les directeurs savent que cette production est fort disparate, une production plus forte pouvant être obtenue avec une moindre main-d'œuvre : les blindages pèsent lourd, mais exigent une faible dépense en main-d'œuvre, surtout si les plaques ne reçoivent pas d'évidement ou d'échancrures à l'ajustage. On ne se sert pas de l'unité monétaire pour évaluer les produits, c'est-à-dire pour déterminer le chiffre d'affaires, même limité à l'addition des feuilles d'ouvrage. Cette unité ne sert qu'au calcul des frais généraux sur des bases fausses, dans des documents séparés.

Les mesures prises par le Parlement afin de limiter les dépenses en matières dans les services de travaux ont peut-être produit des effets mais, si la Marine avait acheté tout son matériel, il aurait agi autrement, en surveillant les prix stipulés dans les marchés des principales fournitures. Cette surveillance peut s'exercer dans la Marine par les comptes de travaux, mais l'on sent bien que le Parlement ne l'exerce pas et la comprend peut-être mal, parce que le brouillard sur les chiffres a régné trop longtemps et produit un découragement général. Du reste, la comptabilité des travaux laisse fort à désirer : l'exemple de Guérigny montre que son directeur peut la négliger impunément.

Pourtant le gouvernement a créé en 1888 un comité d'examen des comptes de travaux de la Marine dans lequel le Parlement est représenté, et cet organe se tient visiblement au courant des pratiques de l'industrie. Il doit rechercher le résultat économique des gestions et présenter au ministre les propositions que ses études lui inspirent du point de vue économique et comptable ; ses rapports sont publiés. Son rôle préfigure celui de la Cour des comptes, à l'époque absorbée par le contrôle de la régularité des comptes publics. Son action est utile à la cause du progrès dans la Marine, même s'il faut attendre 1911 pour qu'il ose écrire que seul un changement de statut permettra de faire des arsenaux de la Marine ou au moins des établissements hors des ports, des établissements industriels, en les obligeant d'abord à dégager un résultat chiffré et crédible de leurs comptes annuels. L'idée du fonds de roulement contient en germe celle du compte de commerce, qui est la voie de l'émancipation.

SOMMAIRE

Table des matières

1. Moyens d'usage général dans les forges.....	2
1.1. Notions élémentaires de forgeage.....	2
1.2. Les chutes d'eau et les roues hydrauliques.....	4
1.3. Les soufflets.....	8
1.4. Les grues et la manutention des pièces.....	9
1.5. Les marteaux, martinets, marteaux-pilons et presses hydrauliques.....	13
1.6. Les laminoirs.....	23
2. Les fabrications traditionnelles des forges de La Chaussade.....	32
2.1. L'affinage des fontes au bois.....	32
2.2. Le fer puddlé.....	39
2.3. Les ancres.....	43
2.4. Les câbles-chaînes de mouillage.....	47
2.5. La clouterie.....	57
2.6. Les objets de grandes dimensions à l'ancien (1750) et au nouvel atelier de corroyage de Villemenant (1843-1845).	58
3. La nouvelle usine (1855-1890).....	64
3.1. Les tôles de l'industrie.....	64
3.2. La tôlerie et l'agrandissement de l'atelier du pilon (1855-1858).....	67
3.3. Commande de blindages au pilon (1866) : nouvelles machines et construction d'un atelier spécial d'ajustage.....	69
3.4. Le projet de laminoir à blindages, première étape, 1867 et 1870.....	79
3.5. Les travaux et les jours (1878-1890).....	81
3.6. Le projet de laminoir à blindages, deuxième étape, 1882-1897.....	87
Annexe n°1 : La gestion de Guérigny vue de l'intérieur et de l'extérieur (1956-1965).....	98
Annexe n°2 : le service sédentaire de la Marine, l'industrie et les coûts de revient vus du Parlement (1849-1914).....	102