

Le marteau-pilon : mise au point et répercussions d'une innovation dans la forge du XIX^e siècle

« Les inventions les plus remarquables sont parfois le résultat de courants d'idées, créés par des besoins nouveaux, naissants sur plusieurs points à la fois et dans le même moment. Aussi, n'est-il pas rare de voir un appareil encore inconnu ou bien un nouveau procédé de fabrication, surgir dans le même temps et de plusieurs côtés à la fois, si bien qu'il est souvent difficile d'établir d'une façon précise auquel des inventeurs appartient réellement la priorité » (Gabriel Boutmy, « François Bourdon et le marteau-pilon », Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils, 1884, p. 17).

Inventé simultanément par François Bourdon et James Nasmyth vers 1840, le marteau-pilon est un des objets techniques les plus célèbres du XIX^e siècle. En combinant fer et vapeur, en participant à la modernisation du travail dans la métallurgie et en produisant les pièces demandées par la révolution des systèmes de transport, cet équipement s'est placé au cœur du système technique de la première révolution industrielle. Cet article n'entend pas retracer l'histoire globale de cette innovation. L'importance des changements provoqués dans le monde de la forge par l'utilisation du marteau-pilon n'est par exemple plus à démontrer. Le propos sera volontairement centré sur deux points porteurs de réflexions sur la contextualisation de l'invention et sur la diffusion d'une innovation en dehors de sa sphère d'application originelle. Dans un premier temps, il s'agira d'appréhender la genèse d'une invention, la mise au point d'un objet technique et de s'intéresser aux mécanismes très concrets de l'innovation. Dans quelles circonstances a émergé l'idée du marteau-pilon ? Comment ce matériel de forge, d'abord pensé sur le papier, est-il devenu un outil industriel pleinement opératoire ? L'analyse portera ensuite sur les retombées de l'invention du marteau-pilon en dehors de son application industrielle initiale. En mettant au point cet objet mécanique, François Bourdon et James

Nasmyth ont ouvert la voie à de nombreuses innovations, dans plusieurs autres activités majeures de la première révolution industrielle. Quels sont les éléments qui ont permis ces améliorations multiples et diversifiées ? Comment se sont opérés, sur le terrain, ces processus de glissement d'une filière technique vers une autre ? Ces deux séries de questions s'intègrent dans une seule et même lecture. Né des besoins économiques de la période, le marteau-pilon crée lui-même du changement en suscitant des évolutions au sein du système technique qui l'abrite.

Genèse d'une innovation

Le marteau-pilon est un instrument de forge destiné à produire des biens métallurgiques semi-finis ou finis. Dans la demande de brevet déposée par les frères Schneider en 1841, François Bourdon décrit ainsi l'appareil qu'il vient d'inventer : « *la machine se compose d'un cylindre à vapeur à simple effet avec un piston dont la tige traverse le fond par une boîte à étoupe, pour être fixée à un mouton auquel on peut adapter les différents marteaux et étampes en usage dans les grandes forges. Ce cylindre est monté sur une charpente en fonte qui sert de coulisse au mouton* »¹.

¹ François Bourdon (1797-1865), *Ingénieur bourguignon. Un mécanicien au temps de la vapeur*, Le Creusot, Académie François Bourdon, 1998, p. 26. Je tiens à exprimer toute ma gratitude envers Antoine de Badereau, membre de l'Académie François Bourdon et fin connaisseur des archives Schneider, pour son aide précieuse lors du travail préparatoire à cet article.

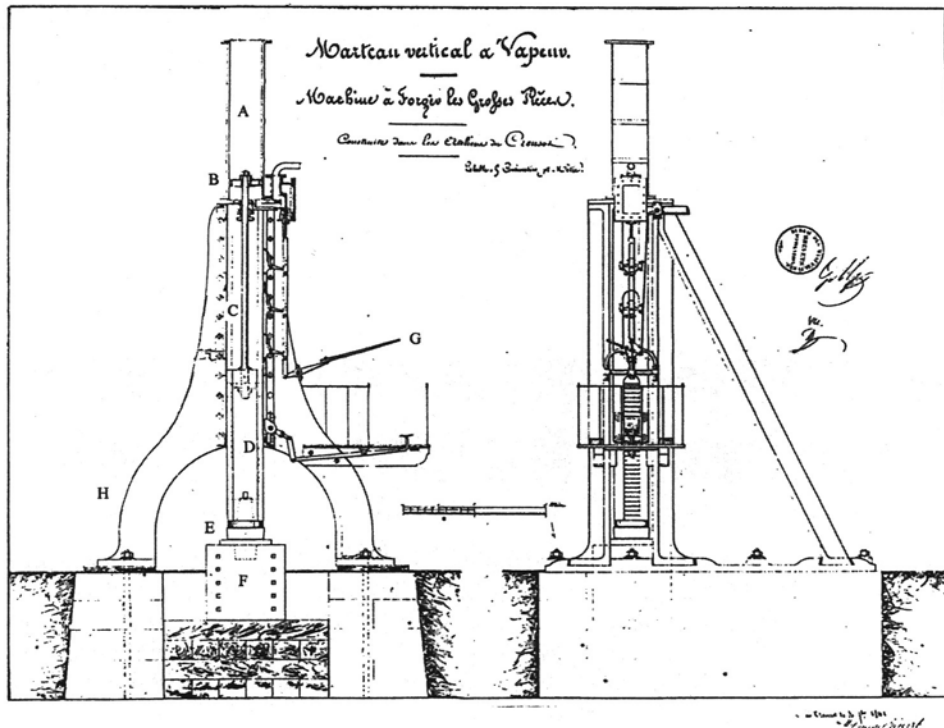


Fig. 1 : dessin du marteau-pilon de François Bourdon dans le brevet déposé par Schneider & Cie en juin 1841 (Archives de l'Institut National de la Propriété Industrielle)

A : cylindre
 B : piston
 C : tige du piston
 D : mouton
 E : marteau

F : chabotte
 G : levier d'admission et
 d'échappement de la vapeur
 H : montant ou jambage

En le décrivant de manière sommaire, le marteau-pilon n'est que la fusion de deux objets techniques préexistants : le mouton du charpentier, connu et utilisé depuis longtemps ; et la machine à vapeur, innovation plus récente mais déjà appliquée dans le monde de la forge. Les avantages de cet instrument sont d'éliminer les problèmes liés à la frappe curviligne des marteaux précédents mais aussi – et surtout – de combiner puissance et précision. Aux premiers abords, il s'agit donc d'un objet technique simple. Pourtant, derrière cette apparente simplicité, se cache un instrument complexe et dont la mise au point définitive a demandé plusieurs décennies et mobilisé les compétences de trois des principaux mécaniciens de la première révolution industrielle.

Héritages

Dans la majorité des cas, une découverte technique bénéficie d'héritages multiples et s'appuie sur des éléments empruntés à d'autres filières techniques. Le marteau-pi-

lon n'échappe pas à la règle et se présente même comme un cas d'école sur deux points. Quand François Bourdon et James Nasmyth mettent au point le marteau-pilon, ils appliquent un ensemble de principes et de procédés techniques déjà connus. D'abord, l'utilisation de la vapeur dans le monde de la forge est loin d'être une nouveauté. Dès la fin du XVIII^e siècle, plusieurs techniciens – et non des moindres – ont songé à utiliser cette nouvelle source d'énergie pour ce type de travail. Le but recherché était double. D'un point de vue technique, il s'agissait d'obtenir un marteau plus performant et plus souple d'utilisation que le marteau hydraulique. D'un point de vue économique, l'industrie métallurgique cherchait à s'affranchir de l'obligation d'une localisation à proximité des cours d'eau. Des années 1780 aux années 1810, six brevets sont déposés en Grande-Bretagne pour l'invention ou le perfectionnement de marteaux de forge à vapeur. L'initiative pionnière est celle de James Watt, au moment où ce dernier invente la machine à vapeur double effet. Son brevet d'avril 1784 contient la description d'un marteau soulevé par un piston à vapeur et qui retombe par son propre poids². Cette idée

reste à l'état de simple projet. Le mécanisme du marteau de Watt était compliqué, à cause de l'utilisation de balanciers, et les pièces en bois, qui devaient constituer une bonne partie de l'appareil, ne permettaient pas de donner une solidité suffisante à l'ensemble. De toute manière, l'application de ce type de marteau n'était pas encore ressentie comme une nécessité. Les marteaux à cames remplissent alors parfaitement leur rôle et la demande de pièces de mécanique de dimensions importantes reste limitée. Le marteau à vapeur mettra plusieurs décennies pour devenir une réalité.

Ce n'est véritablement qu'à partir de 1820, que l'usage de la vapeur se répand pour les marteaux de forge. Il s'agit alors de marteaux de côté dont le mouvement n'est plus commandé par une roue hydraulique mais par une machine à vapeur, soit en utilisant un système de courroie de transmission pour l'arbre à came, soit en couplant arbre à cames et arbre moteur de la machine. Le développement des marteaux à vapeur est surtout visible dans les établissements dépourvus de ressources hydrauliques suffisantes. C'est notamment le cas du Creusot où les faibles potentialités du site en énergie naturelle ont amené les frères Schneider à jouer la carte de la vapeur, comme l'avaient fait avant eux les Britanniques Aaron Manby et Daniel Wilson. Lors du réaménagement de la forge en 1838-1839, les Schneider font l'acquisition de trois marteaux à cames, actionnés par trois machines à vapeur³.

Durant les années 1830, l'histoire du marteau à vapeur en France se confond avec les travaux de François Cavé. Ce mécanicien parisien du Faubourg Saint-Denis cherche à en améliorer les performances dès 1832 et plus encore quand le ministère de la Marine lui confie la réalisation de deux machines marines de 180 chevaux, composées de pièces de dimensions exceptionnelles pour l'époque. Pour forger les arbres droits et coudés, les bielles et manivelles de ces moteurs avec plus de facilité et à moindre coût, François Cavé opère une première synthèse de la machine à vapeur et du pilon. En 1836, un marteau-pilon à vapeur fonctionne déjà dans ses ateliers parisiens et un brevet est pris cette même année⁴. Incontestablement, François Cavé a réalisé un appareil de forge d'un nouveau type. Il s'agit toutefois d'un marteau moins performant et qui comporte une différence notable avec celui qui sera mis

au point quelques années plus tard par François Bourdon et James Nasmyth. Il y a bien un marteau qui frappe de manière parfaitement verticale en tombant de son propre poids mais François Cavé a opté pour la séparation du marteau et de la tige du piston, qu'il croyait imprudent d'exposer à des chocs répétés. L'appareil est composé de deux éléments bien distincts : le marteau et la machine à vapeur. Pourtant le marteau-pilon est bien né et c'est bien dans ce contexte qu'il faut resituer les travaux de François Bourdon. L'ingénieur du Creusot n'a pas eu l'idée du marteau-pilon couplé avec une machine à vapeur et les liens unissant alors les Schneider à la banque Seillière laissent à penser qu'il connaissait les travaux de François Cavé. L'hypothèse est d'autant plus vraisemblable que les deux techniciens cherchent à dépasser les mêmes obstacles techniques et travaillent dans le même environnement économique, sur les mêmes marchés⁵.

Les conditions économiques et techniques

Plus que d'une politique de l'offre, la mise au point du marteau-pilon relève d'une stimulation de la demande. Cet équipement a souvent été présenté comme le symbole des conséquences d'une politique d'investissement dans la recherche (celle menée par les Schneider au Creusot). Il n'en est rien. Le marteau-pilon est né car il était une nécessité incontournable d'un point de vue technique comme économique dans les années 1830-1840. Ce matériel de forge doit sa naissance et son développement à deux phénomènes étroitement liés : l'augmentation de la taille et du poids des machines pour la navigation ; et la difficulté pour les forges traditionnelles de fabriquer avec efficacité et avec des coûts acceptables ces pièces de mécanique de grandes dimensions. L'invention du marteau-pilon est la réponse proposée par les techniciens à un goulot d'étranglement qui touche alors les filières techniques et économiques de la métallurgie et de la navigation à vapeur. Il faut voir ici un exemple significatif de la nécessaire pression de la demande dans la mise en œuvre du progrès technologique.

Le marteau-pilon à vapeur est donc le produit de la révo-

² M. Daumas (dir.), *Histoire générale des techniques. t. III : l'expansion du machinisme, 1725-1860*, Paris, 1996, p. 155. Un autre brevet intéressant est déposé en juin 1806 par William Deverell qui s'intéresse notamment à l'action développée par le marteau et imagine " outre le soulèvement du marteau, une augmentation de la vitesse de chute par compression de l'air dans la partie supérieure du cylindre ".

³ J. Payen, *Technologie de l'énergie vapeur en France dans la première moitié du XIX^e siècle. Les machines fixes*, Paris, CTHS, 1985, p. 135-136.

⁴ M. Daumas (dir.), *Histoire générale...*, op. cit., p. 156 " Notice sur M. F. Cavé par M. Charles Laboulaye ", *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, août 1875, p. 393.

⁵ Les Seillière ont été des partenaires financiers des Schneider comme de François Cavé dans les années 1830 (cf. J.-F. Belhoste, " La banque et la sidérurgie, des Schneider aux Wendel (XIX^e-XX^e siècles) " dans R. Darteville (dir.), *La Banque Seillière-Demachy. Une dynastie familiale au centre du négoce, de la finance et des arts, 1798-1998*, Paris, Perrin/FHNB, 1998, p. 96-119.

lution des transports, et plus précisément de la révolution de la navigation à vapeur. Cette filiation mérite d'être soulignée, surtout pour l'histoire industrielle française. Dans l'imaginaire collectif, l'outil a pris le pas sur ses productions. Le marteau-pilon est avant tout un équipement de forge et reste étroitement associé à la métallurgie. Les produits du marteau-pilon ont rarement été mis en avant. La situation est quelque peu différente en Grande-Bretagne où l'appareil est largement associé à ses réalisations. Pendant longtemps, le marteau-pilon reste le matériel de forge qui a permis de fabriquer les pièces des machines et du système de propulsion du *Great Britain* d'Isambard Brunel, premier navire de haute mer muni à la fois d'une coque en fer et d'une hélice, construit en 1844⁶. Cette importance des nouvelles nécessités de la navigation à vapeur dans l'invention du marteau-pilon s'observe pleinement dans les travaux de James Nasmyth, qui a commencé sa carrière de technicien dans les ateliers d'Henry Maudslay, mécanicien londonien spécialisé dans la fabrication de machines fluviales et maritimes. Le lien est encore plus évident dans le cas de François Bourdon chez les Schneider au Creusot. Dès la fin des années 1830, les frères Schneider fondent leur politique industrielle sur une intégration verticale, vers l'aval. La production mécanique apparaît comme le secteur d'avenir, et plus particulièrement la grosse mécanique qui génère les bénéfices les plus importants. Avant d'être l'entreprise de fabrication des locomotives et du matériel d'armement, Le Creusot a été une entreprise de mécanique marine et fluviale. Les chiffres d'affaires de la période 1839-1848 soulignent bien cet aspect fondamental. Avec plus de 12 millions de francs, la mécanique pour la navigation représente les deux tiers du chiffre d'affaires total des Schneider. Les travaux pour la navigation maritime sont au premier rang et représentent près de 40% du total⁷. Plus de trente machines pour frégates, corvettes et paquebots destinés à la Marine de guerre et à l'administration des Postes sont construites au Creusot entre 1839 et 1852.

C'est en 1839-1840, que se profile pour les frères Schneider la grande affaire de la monarchie de Juillet : la réalisation des moteurs pour les transatlantiques. Les di-

rigeants de l'entreprise et leur ingénieur en chef, François Bourdon, sont parfaitement conscients des difficultés qu'ils doivent affronter. Elles sont d'abord économiques, dans un marché dominé depuis ses débuts par les constructeurs de Liverpool et de Londres (*Fawcett & Preston, Barnes & Miller, Fenton, Murray & Jackson, Maudslay et Bury*)⁸ : comment concurrencer les entreprises britanniques en termes de coûts de production ? Elles sont également d'ordre technique. Il s'agit de machines de fortes puissances, composées de pièces de grandes dimensions : des appareils de 450 chevaux pesant environ 400 tonnes, avec des balanciers de cinq mètres de longueur, des bielles de quatre mètres et des arbres moteurs d'une vingtaine de tonnes et de plus de 50 centimètres de diamètre. En 1840, le matériel de forge des usines Schneider est alors insuffisant pour ce type de réalisations. La fabrication des premiers moteurs de navigation transatlantique, notamment ceux du *Labrador*, l'a d'ailleurs démontré. François Bourdon est chargé par Eugène Schneider de remédier à ces problèmes. Il est alors l'ingénieur français le plus expérimenté pour réfléchir aux solutions potentielles et cumule une double compétence rare pour les ingénieurs français de la période : par son riche passé, il est à la fois homme de métallurgie et de navigation à vapeur.⁹

François Bourdon a construit dès 1823-1825 des vapeurs pour la navigation sur la Saône. Il a connu les problèmes de la forge à la fin des années 1820 au Creusot, alors qu'il travaillait pour Manby et Wilson, et a été formé aux techniques de pointe dans la construction de machines marines et fluviales aussi bien en Amérique qu'en Angleterre. Entre 1834 et 1837, François Bourdon a travaillé chez le New-Yorkais Allaire, industriel spécialisé dans la construction de steamers et à Liverpool, autre haut lieu de la navigation à vapeur. Dès 1839, François Bourdon songe à un marteau-pilon à vapeur mais l'idée ne séduit pas. Eugène Schneider reste sceptique et se refuse à investir dans une réalisation jugée hasardeuse. En 1840, François Bourdon et son patron font alors un voyage de deux mois en Angleterre dans le but d'étudier la fabrication de moteurs de marine et les instruments nécessaires à leur bonne construction. Au cours de leur visite dans les forges et les ateliers de construc-

⁶ Notamment l'arbre moteur de 75 cm de diamètre (I. Mac Neil (dir.), *An Encyclopædia of the History of Technology*, Londres, Routledge, 1990, p. 401).

⁷ Pour ces chiffres, L. Batsch, " Le Décollage de Schneider (1837-1875). Stratégie industrielle et politique financière ", Université Paris Dauphine, *Cahier de recherche n° 9514 du Centre de Recherche sur la Gestion*, 1995, p. 35, annexe 3.

⁸ Sur ce point, cf. D. Brisou, " Vapeur et navires de guerre " dans *Marine et technique au XIXe siècle. Actes du colloque international de Paris, juin 1987*, Paris, Service historique de la Marine, 1988, p. 169-189 et S. S. Roberts, " The Introduction of Steam Technology in the French Navy (1818-1852) ", Thèse de doctorat d'histoire, Université de Chicago, 1976.

⁹ Pour la carrière de François Bourdon : G. Boutmy et E. Flachet, " Notice sur la vie et les travaux de François Bourdon, ancien ingénieur en chef du Creusot, ancien ingénieur en chef des Forges et Chantiers de la Méditerranée ", *Mémoires et Comptes Rendus de la Société des Ingénieurs Civils de France*, 1865 ; F. Courtois, « Bourdon, François, Inventeur du marteau-pilon, 1797-1865 », 1899 (Académie François Bourdon) et J. Piffaut, " François Bourdon, 1797-1865, ingénieur précurseur ", *Annales de l'Académie de Mâcon*, 1974-1975, p. 55-65.

tions mécaniques les plus réputées du pays, ils s'arrêtèrent à Manchester, dans l'entreprise de James Nasmyth¹⁰. Eugène Schneider et François Bourdon sont reçus par son collaborateur qui leur montre des croquis du technicien écossais sur un nouveau type de marteau à vapeur. James Nasmyth a eu la même idée que François Bourdon. En fixant le marteau à la tige du piston de la machine à vapeur dont le cylindre est renversé, il a imaginé un marteau à vapeur plus performant que ceux utilisés jusqu'alors. Cette fois, Eugène Schneider est convaincu. Si deux mécaniciens de grande envergure ont eu la même idée, le marteau-pilon vaut la peine d'être construit et utilisé. Dès son retour au Creusot, François Bourdon se lance dans la construction du marteau-pilon et dès septembre 1841, les Schneider déposent un brevet pour un type de marteau qui fonctionne dans leurs ateliers la même année.

La reconnaissance de paternité de l'invention du marteau-pilon a longtemps fait l'objet d'une vive polémique entre Français et Britanniques. L'affaire prend ses racines dans le voyage entrepris par François Bourdon et Eugène Schneider en Angleterre en 1840. François Bourdon aurait profité des croquis dressés par James Nasmyth pour construire son marteau. Aujourd'hui encore, les traces de cette querelle sont visibles. Alors que les historiens Français attribuent, sans doute possible, la réalisation du premier marteau-pilon à François Bourdon, les Britanniques ne citent même pas son nom et attribuent l'ensemble du mérite à James Nasmyth¹¹. La question a finalement peu d'intérêt. Peu importe de savoir dans quel cerveau l'idée a germé la première fois. Les deux hommes ayant travaillé séparément, il est légitime de leur attribuer conjointement l'invention et si François Bourdon est passé le premier à la phase de réalisation, ouvrant ainsi le passage de l'invention à l'innovation, il le doit en partie à James Nasmyth dont les croquis ont persuadé son patron.

Le passage de l'invention à l'innovation

Une fois l'idée acceptée, l'essentiel était encore à faire : construire un appareil fiable. La principale difficulté dans

la mise au point du marteau-pilon est liée à ce qui en fait sa véritable spécificité : l'importance de la masse tombante qui assure l'efficacité de cet instrument de forge. L'énergie développée par la chute d'un marteau aussi lourd provoque de fortes réactions sur l'ensemble des pièces qui composent l'appareil. Le bâti doit être stable, robuste et rigide. " *La chabotte, qui porte l'enclume sur laquelle est placée la pièce à forger, doit résister, sans aucune faiblesse aux frappes répétées du pilon. Enfin, la tige reliée au piston et qui soutient la masse est une pièce sensible et sa liaison avec le marteau est délicate* "¹². Si François Bourdon a su vaincre progressivement ses trois problèmes majeurs, les tâtonnements ont été nombreux. La difficulté de la mise au point définitive du marteau-pilon relève des possibilités limitées de l'époque d'analyser scientifiquement la résistance des matériaux entrant dans la composition de l'instrument. Les problèmes ne peuvent être perçus et réglés qu'à partir de l'observation des dysfonctionnements à l'usage. Entre 1841 et 1843, à partir des nombreux incidents de fonctionnement, François Bourdon trouve les aménagements nécessaires pour assurer le succès de son appareil¹³. L'assemblage de la tige du piston et du marteau cassait fréquemment, tout comme celui du piston et de la tige du piston. En 1842, la solution est trouvée. La tige est insérée dans le marteau de manière rigide. Elle se termine en tronc de cône et se trouve bloquée par deux demi coquilles en acier et une clavette de traverse. Le système de fixation rigide affirme sa supériorité sur celui élastique préconisé par James Nasmyth, où la tige est maintenue dans le marteau par de la laine, du bois et du cuir. Ce progrès essentiel est le fruit d'un travail d'équipe, puisque c'est à partir de l'observation de l'un de ses contremaîtres, Poidevin, que François Bourdon apporte cette amélioration décisive¹⁴. La seconde transformation fondamentale concerne les matériaux utilisés. Toujours à partir de 1842, le piston est désormais forgé avec sa tige en acier alors que dans le premier modèle, la liaison se faisait au moyen d'un simple rivet qui servait à réunir des pièces en fonte moulée. En 1843, le dernier obstacle important est levé. Le bâti en fonte est stabilisé par des montants en queue d'aronde, assemblés dans une chabotte élargie.

Dès lors, la destinée du marteau-pilon dans la forge n'est

¹⁰ A la mort d'Henry Maudslay en 1831, James Nasmyth s'est établi à son compte et a fondé en un atelier dans le domaine de la construction de machines-outils. Il doit alors sa réputation à son " bras d'acier ", appareil qui combine le travail du burin et de la lime. Pour sa carrière, cf. S. Smiles, *James Nasmyth, Engineer : an Autobiography*, Londres, 1884.

¹¹ Cf., par exemple, L. Day et I. Mac Neil (dir.), *Biographical of the History of Technology*, Londres, 1996, p. 515-516 et I. Mac Neil (dir.), *An Encyclopaedia...*, op. cit., p. 145.

¹² Antoine de Badereau dans *François Bourdon (1797-1865)...*, op. cit., p. 26.

¹³ Pour ce paragraphe, cf. G. Boutmy, " François Bourdon... ", art. cit., p. 23-28 et F. Courtois, François Bourdon et le premier marteau-pilon à vapeur, doc. dactylographié, 1899, p. 95-100 (Académie François Bourdon).

¹⁴ Cette amélioration de la composition et du fonctionnement du marteau-pilon par un travail en équipe est aussi le cas chez James Nasmyth. C'est grâce aux conseils d'un de ses collaborateurs, Robert Wilson, que l'Écossais met au point un procédé de régulation automatique de l'appareil (I. Mac Neil (dir.), *An Encyclopaedia...*, op. cit., p. 401).

plus qu'une affaire de croissance de taille et de poids. Le premier marteau réalisé par François Bourdon était déjà impressionnant par ses dimensions. D'un poids de 2,5 tonnes, d'une hauteur totale de 7,5 mètres et d'un écartement des jambages de 2,5 mètres, il offrait une hauteur de chute de deux mètres. Entre 1841 et la fin du XIX^e siècle, la masse des marteaux pilons n'a cessé d'augmenter. En 1876, les ateliers Schneider construisent et utilisent un marteau pilon d'une masse de 80 tonnes, portée rapidement à 100 tonnes¹⁵. Cette augmentation des dimensions et des performances a été rendue obligatoire par quatre phénomènes qui se sont combinés. D'abord, tout au long du XIX^e siècle, la puissance et la taille des machines motrices pour la navigation et les chemins de fer n'ont cessé de s'accroître et ont donc poussé les forges à s'adapter en conséquence. Cette adaptation est aussi le fait des progrès enregistrés dans la métallurgie. La production d'acier selon les procédés Bessemer et Martin, capables de livrer des lingots de plusieurs dizaines de tonnes, implique l'utilisation d'instruments de forges adéquats. Ensuite, les progrès effectués dans la filière de l'armement ont également joué un rôle déterminant. L'épaisseur croissante des blindages et leurs nouvelles configurations impliquaient des marteaux plus performants. Enfin, la meilleure connaissance scientifique de la résistance des matériaux, et plus précisément des métaux, a permis de construire avec une plus grande sécurité des marteaux de plus en plus puissants.

Les multiples retombées d'une innovation

Le marteau-pilon a assuré le succès de l'entreprise des Schneider dans le domaine de la construction de machines marines à partir des années 1840. Ce succès n'est pas seulement celui de l'entreprise bourguignonne et du renouvellement des outils de production chez leurs clients forgerons de marine. Cet objet mécanique a constitué une innovation débordant très largement sa vocation initiale. Sa conception révolutionnaire a engendré de nouveaux progrès techniques. Le caractère innovant de cette invention peut s'observer à partir de deux phénomènes apparus dès les années 1840-1850 : l'élargissement de l'éventail des usages et des produits dans la métallurgie ; et les répercussions dans plusieurs autres filières techniques de la première révolution industrielle.

Le travail du marteau-pilon ne s'est pas cantonné à la construction de pièces pour la navigation à vapeur. Dès son apparition, cet appareil trouve de nouvelles fonctions dans la métallurgie. Le marteau-pilon est ainsi rapidement mis à contribution pour le forgeage des produits issus des hauts-fourneaux et du puddlage. Dès le milieu des années 1840, le marteau-pilon qui assure une épuración plus rapide et plus efficace des gueuses, par élimination des scories, permet d'homogénéiser les loupes de fer au sortir du four et leur assure une première mise en forme. Dans le domaine des produits finis, l'utilisation du marteau-pilon ne se limite pas à la fabrication de pièces de machines à vapeur pour la marine. Pour la mécanique industrielle, les pièces en fer forgé remplacent en grande partie celles qui étaient auparavant en fonte moulée. Dans l'autre filière des transports modernes, celle des chemins de fer, le marteau-pilon participe à la production de pièces de meilleure qualité. Les roues de locomotives donnent désormais entière satisfaction par l'action du marteau-pilon qui permet de souder avec une plus grande sécurité les jantes sur les rayons de fonte.

Bien au delà de son impact dans les travaux de forges aussi bien dans le domaine de la production de produits de base que dans celui de la production de produits finis, le marteau-pilon a permis de susciter de nouveaux progrès, de modifier les données techniques d'autres filières essentielles de cette période. La clé du succès du marteau-pilon en tant qu'innovation innovante, c'est-à-dire une nouveauté qui entraîne la naissance d'une grappe d'innovations dans une multitude de domaines, c'est sa disposition, caractérisée par le renversement du cylindre¹⁶. Plus qu'un instrument de forge, François Bourdon et James Nasmyth ont finalement inventé un nouveau modèle d'appareil à vapeur, susceptible d'être adapté à des opérations de production très diverses et à des utilisations variées. La disposition pilon a trouvé des résonances aussi bien dans le monde de la métallurgie que dans la mine, les aménagements portuaires, la mécanique industrielle et la navigation à vapeur.

Les répercussions dans d'autres filières techniques

Les répercussions de l'invention du marteau-pilon dans d'autres filières techniques apparaissent dès les années 1840 et sont notamment l'œuvre de François Bourdon.

¹⁵ Ce marteau-pilon est actuellement dressé à l'entrée de la ville du Creusot.

¹⁶ Cette notion est bien présente dans la dénomination britannique des machines à disposition pilon (*inverted cylinder*). Le renversement du cylindre est d'ailleurs à l'origine d'une anomalie de langage en mécanique : le pied de bielle est désormais en haut et la tête en bas. La dénomination des pièces des machines à vapeur, et plus tard des moteurs à combustion interne, a conservé ses caractères d'origine, malgré l'évolution des modèles et des dispositions.

En 1845, l'ingénieur creusotin dessine un marteau à vapeur pour battre les pieux (sonnette à vapeur) pour un de ses beaux-frères, Albert Pognon, ingénieur des Ponts et Chaussées à Clermont-Ferrand¹⁷. La disposition pilon fait ainsi son entrée dans les travaux publics. Peu de temps après, François Bourdon imagine un monte-charge à vapeur pour les mines et la sidérurgie, toujours dérivé de la disposition du marteau-pilon. Le principe en est simple : à la place du marteau, un plateau monte-charge est fixé sur la tige du piston à vapeur. Le procédé ne reste pas longtemps à l'état de simple projet¹⁸. Dès 1850, il est construit au Creusot et sert à l'alimentation des hauts-fourneaux en charbons et minerais. Les deux applications s'appuient sur l'effet fondamental produit par le marteau-pilon : un mouvement alternatif de haut en bas.

D'autres applications innovantes du principe du marteau-pilon ont été mises au point sur la base de la transformation de ce mouvement alternatif en mouvement rotatif par un jeu de bielle-manivelle. Il s'agit ici de produire un effet moteur continu à l'instar des autres modèles de machines à vapeur. Dès 1842, James Nasmyth s'est penché sur le problème, pour l'équipement des usines. La machine pilon ne fait toutefois qu'une timide percée dans les établissements industriels jusqu'aux années 1850. Pourquoi ce retard alors que ce type de moteur semble plus performant que les précédents ? Deux hypothèses peuvent être avancées. D'abord, la force de l'habitude : dans les usines, les courroies de transmission étant généralement fixées au plafond et les industriels ne percevaient pas la nécessité du renversement du cylindre. Ensuite, et c'est peut-être la principale raison, le manque de stabilité de la machine, qui a une bonne partie de son poids dans la partie haute de l'ensemble, semblait être redouté par les industriels. Ces réticences seront vaincues dès les années 1850 et surtout à partir de 1860-1870. La machine pilon fait alors son entrée en force dans les usines, au point de figurer en tête des modèles de moteurs à vapeur dans la plupart des traités de mécanique industrielle du moment¹⁹. Ce succès est-il justifié d'un point de vue technique ? La réponse est difficile à donner. Certes, la machine pilon prend moins de place au sol que la machine horizontale et présente des facilités d'accès pour les réparations par rapport aux machines avec un cylindre situé en bas. Mais il est également possible de penser qu'un effet de mode a joué de manière importante. Les travaux de Jacques Payen ont bien montré que les ressorts de la technologie de la ma-

chine à vapeur ne relevaient pas uniquement d'aspects purement économiques et techniques. Elle était aussi affaire de mode²⁰. Les années 1860-1870 sont celles du triomphe de la machine pilon dans un autre secteur : celui de la navigation à vapeur. Avantage réel ou simple effet d'imitation ? Aucune étude ne permet actuellement de faire la lumière sur ce point.

Le triomphe dans la mécanique marine

Le marteau-pilon est né d'une impulsion donnée par la navigation à vapeur. En retour, la disposition pilon va permettre à la navigation à vapeur de connaître un développement exceptionnel. Il est ici possible d'observer un exemple significatif de la dialectique entre les filières techniques de la première révolution industrielle, qui profitent de leurs améliorations successives et respectives pour continuer de progresser. Si la machine pilon s'impose dans la navigation beaucoup plus vite et beaucoup plus massivement que dans l'industrie, c'est parce que l'inversion du cylindre est, dans ce domaine, une nécessité face une avancée fondamentale : l'apparition et le développement de la propulsion par hélice. Avec le système de propulsion par roues à aubes, les machines verticales ou inclinées, avec cylindres en bas, convenaient parfaitement. Il s'agissait d'imprimer un effet moteur vers le haut, l'arbre moteur étant situé au-dessus de la ligne de flottaison. Avec l'hélice, tout change. Le système de propulsion est désormais au-dessous de la ligne de flottaison, au fond de la cale du navire. Il faut désormais que les machines puissent imprimer leur effet moteur vers le bas. Les avantages par rapport aux autres types de machines ne se limitent pas à cette adéquation de disposition pour la propulsion par hélice. La machine pilon est également de volume plus réduit et offre une meilleure facilité d'accès pour l'entretien et les réparations. Ces caractéristiques ont ici plus de poids que dans le domaine industriel, la gestion de l'espace étant plus importante et plus contraignante dans un navire que dans un atelier. Dès les années 1860-1870, le moteur à disposition pilon est devenu la machine universelle de la navigation²¹.

Dès 1842, James Nasmyth avait pensé à utiliser la disposition pilon pour les moteurs de bateaux mais n'était pas parvenue au stade de la réalisation : l'hélice n'en est qu'à

¹⁷ G. Boutmy, " François Bourdon... ", *art. cit.*, p. 28.

¹⁸ *Ibid.*, p. 32.

¹⁹ *Cf.*, par exemple, R. Thurston, *A History of the Growth of the Steam-Engine*, New-York, 1878.

²⁰ J. Payen, *Technologie de l'énergie vapeur en France dans la première moitié du XIXe siècle*, Thèse de doctorat d'Etat, Université Paris I-Sorbonne, 1972, 3 volumes.

²¹ M. Dumas (dir.), *Histoire générale...*, *op. cit.*, t. IV, p. 34-35.

ses débuts et il n'a pas d'expériences récentes dans la construction de moteurs de navires. C'est un autre Écossais, James Caird qui réalise le premier modèle, en 1846, dans ses ateliers de Greenock²². Il est bientôt imité par Thompson et Mac Nabb, deux autres mécaniciens-construc-teurs de l'estuaire de la Clyde. C'est véritablement par cette nouveauté technique que la région de Glasgow s'affirme alors comme le grand centre de la mécanique marine britannique (et mondiale) et rejette loin derrière les entreprises de Londres et de Liverpool. L'Europe continentale emboîte le pas quelques années plus tard. En 1852, A Marseille, dans les ateliers de mécanique de la *Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée*, François Bourdon fabrique la première machine pilon non britannique²³. S'agit-il d'un "clonage", c'est-à-dire une fabrication par copie, d'un modèle de machine écossaise ou d'une réalisation originale ? Comme le marteau-pilon, la machine pilon a-t-elle été inventée deux fois ? Cela paraît peut vraisemblable. En six ans, François Bourdon a très certainement pu voir des appareils sortis de la Clyde, d'autant que plusieurs modèles ont été commandés par des armateurs français dès la fin des années 1840.

François Bourdon n'est donc pas l'inventeur de la machine pilon de navigation mais il participe à la mise au point définitive de cet appareil et facilite sa diffusion sur le continent européen²⁴. Il peut sembler paradoxal que l'ingénieur bourguignon n'ait pas inventé ce type de machines dans les ateliers du Creusot avant 1852. Il était à la fois l'inventeur de la disposition pilon, un spécialiste reconnu des machines marines et son entreprise s'était en partie spécialisée dans la fabrication de moteurs pour bateaux. Les raisons de ce retard s'expliquent par les caractéristiques des marchés détenus par les établissements Schneider durant cette période. Entre 1845 et 1852, dans le domaine de la navigation, Le Creusot ne travaille que pour la marine de guerre. Cette dernière préfère les machines horizontales qui, logées sous la ligne de flottaison, sont difficilement accessibles aux tirs des canons. Les appareils à pilon sont utilisés uniquement par la marine marchande jusqu'à l'apparition de blindages suffisamment perfor-

mants. Ce n'est donc vraisemblablement pas une limite technique qui a empêché François Bourdon de se livrer à la construction des machines à pilon au Creusot. Ses réalisations à Marseille viennent confirmer cette hypothèse. Dès qu'il prend son poste de directeur des ateliers de mécanique à Marseille, il construit des appareils à pilon. Contrairement aux établissements Schneider, l'entreprise du Marseillais Philip Taylor travaille principalement pour la marine marchande. Là encore, la pression et les impératifs de la demande jouent un rôle essentiel dans l'application et la diffusion des nouveautés technologiques.

Observer l'histoire d'un objet mécanique en amont et en aval du moment clé où l'invention devient innovation permet de saisir au mieux les liens réciproques et diachroniques entre les techniques et leurs environnements. Durant la première révolution industrielle, la demande joue un rôle moteur au sein de cette dialectique et l'histoire de la mise au point du marteau-pilon constitue un exemple particulièrement significatif. A partir des années 1830, de nouveaux besoins dans la navigation stimulent l'amélioration des techniques dans le monde de la forge, pour faire sauter les goulets d'étranglement qui existent dans plusieurs filières du système technique en place. Né du déséquilibre entre les contraintes économiques et les possibilités techniques du moment, le marteau-pilon suscite en retour de multiples progrès dans des environnements proches ou plus lointains. Conséquence de l'industrialisation, il en devient une des causes. Par un processus de glissement vers d'autres filières, les caractéristiques fondamentales de cette innovation se diffusent dans d'autres secteurs de l'industrie, dans les travaux publics et dans les moyens de transport modernes. Cet objet du monde de la métallurgie a donné un nouvel essor à la disposition pilon qui, combiné à de nouvelles sources d'énergie et à de nouveaux métaux, va profondément marquer les fondements techniques de la mécanique durant les deux premières révolutions industrielles.

²² P. Augustin Normand, *Les Progrès des appareils propulsifs antérieurement à 1870*, Le Havre, 1955, p. 13.

²³ François Bourdon a quitté Le Creusot en 1852 pour venir travailler à Marseille.

²⁴ Sur ce paragraphe, cf. O. Raveux, *Marseille, ville des métaux et de la vapeur au XIX^e siècle*, Paris, CNRS éditions, 1998 et "François Bourdon, ingénieur autodidacte", *Le Musée des Arts et Métiers. La Revue*, n° 22, 1998, p. 14-21