

Le puddlage, phase de la sidérurgie du XIX^e siècle, représenté dans quelques œuvres d'art

1. Introduction

L'origine de la présente recherche fut la rencontre de l'auteur avec une œuvre exceptionnelle de Constantin Meunier conservée aux Musées royaux des beaux-arts de Belgique à Bruxelles, *Le puddleur au repos* (fig. 1). En dehors des considérations de style ou d'école, cette sculpture suscite des questions telles que :

- Pourquoi ce visage exténué ?
- Pourquoi cet avant-bras monstrueusement développé ?
- Pourquoi cette main entrouverte ?

Pour y répondre, il faut décrire quelque peu l'opération de puddlage, c'est le but du paragraphe 6. De plus, il est utile de situer la phase puddlage, opération qui ne se pratique plus depuis la Grande guerre [11. p.154], dans un très bref survol de l'histoire de la métallurgie du fer repris ci-dessous aux numéros 2 à 5.

2. Fer, fonte, acier

Le fer se rencontre dans la nature sous forme de combinaisons chimiques (oxydes, sulfures...) mélangées à des roches stériles appelées gangue... c'est le minerai.

Pour en extraire le fer, il faut deux opérations :

- séparer les combinaisons de la gangue (traitement des minerais);
- séparer le fer des combinaisons; si cette dernière est un oxyde, l'opération s'appelle réduction: elle consiste à retirer tout ou partie de l'oxygène.

Le fer pur (Fe) est un corps simple faisant partie de la centaine d'éléments connus.

Le fer industriel contient des impuretés et du carbone.

Il est soudable, forgeable, non apte au moulage, il fond à 1500° C.

La fonte est un alliage de fer et de carbone (2,5 à 4,5 %) et aussi d'autres éléments tels que silicium, phosphore...

Non soudable, cassante, apte au moulage, elle fond à 1200° C.

L'acier est aussi un alliage de fer et de carbone (0,2 à 0,7 %).

Soudable, forgeable, certains aciers sont aptes au moulage, fusion à 1500° C.

A noter que les aciers à basse teneur en carbone sont appelés aussi fers industriels (aciers doux, extra doux).



Fig. 1. Constantin MEUNIER (1831-1905)
Puddeur au repos, 1886

Bronze 145,5 cm x 81,5 cm x 87,5 cm
Bruxelles M.R.B.A. inv. 3066. Photo I.R.P.A. 119270B

On appelait fer (fin XIX^e siècle, début XX^e siècle), le produit obtenu à l'état pâteux (par le puddlage) et acier, le produit obtenu à l'état liquide (par convertissage). Voir ci-dessous.

3. La méthode directe

L'origine de l'extraction du fer par réduction des minerais oxydés à l'aide du carbone se situerait dans le sud du Caucase par le peuple des Chalybes (1700 à 1500 av. J.C.). Pour ce faire, ils disposaient dans un trou des couches alternées de charbon de bois et de minerais, ces derniers sans doute quelque peu préparés par concassage et lavage. Il s'agit ici d'un bas-foyer. L'énergie nécessaire à la réduction est fournie par la combustion du charbon de bois à l'aide d'air amené par des ouvertures exposées aux vents dominants ou par des tubes en terre cuite en communication avec des soufflets de peau.

Après 12 à 24 heures de fonctionnement et à température relativement basse (la réduction est déjà notable à quelques centaines de degrés), on démolit le bas-foyer et on extrait une éponge de fer gorgée de scories et laitiers qui sont des silicates de natures diverses provenant de la gangue des minerais.

Les scories et laitiers sont expulsés par martelage.

Cette méthode appelée directe fut introduite dans nos régions par les Celtes vers 550 av. J.C. et sera utilisée jusqu'aux XIV^e - XV^e siècles.

Au XIII^e siècle et suivants, suite à la demande accrue de fer, on augmente la capacité des fours en hauteur et en diamètre, puis on utilisera l'énergie hydraulique pour actionner de puissants soufflets produisant le vent nécessaire à une meilleure combustion. On ne démolit plus les fours et on extrait l'éponge de fer par le bas latéralement. Les métallurgistes, de nomades qu'ils étaient deviennent sédentaires.

Les conséquences techniques des divers progrès sont :

1. Amélioration de la combustion avec élévation de la température (1200 à 1300° C).
2. Le séjour prolongé du fer réduit, à proximité du carbone du charbon de bois, conjugué à la température élevée, a pour suite, l'absorption du carbone par le fer, ce qui donne une espèce de fonte.
3. Les produits finaux sont l'éponge de fer déjà citée et une espèce de fonte liquide → $\text{Fe} + \text{C}$ (3 à 4 %) au point de fusion de 1200 à 1300° C.

La fonte est impossible à forger, à souder et fut sans doute considérée dans un premier temps comme déchet, car produit non utilisable pour façonner clous, armes, etc.

Plus tard, aux XIV^e et XV^e siècles, par suite d'autres améliorations, telles que températures plus élevées et plus homogènes dans l'enceinte du four (qui s'appelle désormais haut fourneau), on ne récoltera plus que de la fonte liquide qui sera utilisée pour la coulée de pièces moulées telles que plaques, grilles, récipients...

4. La sidérurgie à deux temps

Mais le produit recherché était le fer soudable et forgeable, et des méthodes de transformation de la fonte cassante en fer forgeable donnent lieu à l'avènement de la méthode indirecte ou sidérurgie à deux temps qu'il faut rapporter ici :

- Le haut fourneau avec des minerais et du charbon de bois donnera de la fonte liquide que l'on coule en forme de barres appelées gueuses.
- Diverses méthodes de transformation de la fonte, sa décarburation, appelées affinages donneront le fer (ou acier) forgeable et soudable.

La méthode wallonne découverte dans la région liégeoise vers la fin du XIV^e siècle fut l'une des plus utilisées; elle est représentée en fig. 2.

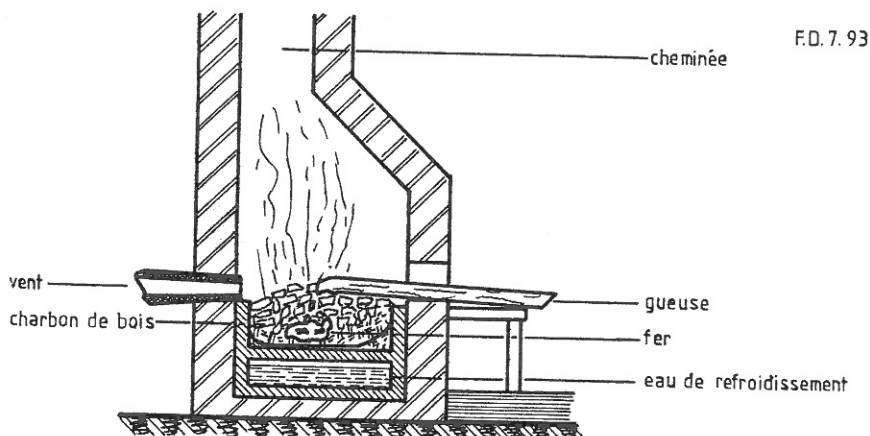


Fig. 2. Affinage de la fonte — Méthode wallonne [d'après 10]

Le lingot de fonte ou gueuse est poussé par légers à-coups dans un foyer au charbon de bois, le métal entre en fusion et les gouttelettes détachées par un ouvrier sont décarburées par l'oxygène provenant du vent produit par des soufflets. On récolte, dans le fond du foyer, une éponge de fer bien connue depuis les bas-foyers. Cette éponge aussi appelée loupe sera martelée pour en expulser scories et laitiers puis soudée à d'autres loupes pour obtenir des barres qui subiront d'autres opérations telles que forgeage, laminage...

5. Le XIX^e siècle

L'utilisation massive du charbon de bois comme réducteur dans les hauts fourneaux et comme combustible pour les diverses méthodes d'affinage provoqua une grave dégradation du patrimoine forestier.

Le coke produit de distillation de la houille fut ensuite utilisé comme réducteur dans les hauts fourneaux.

La suppression de l'utilisation du charbon de bois dans les méthodes d'affinage fut réalisée grâce à un procédé inventé en 1784 par un maître de forges anglais Henry Cort. C'est la transformation de la fonte en fer dans un four à réverbère fonctionnant au charbon minéral, procédé appelé puddlage décrit ci-dessous.

Au cours de la deuxième moitié du XIX^e siècle, une invention capitale bouleversa toute l'industrie sidérurgique. Henry Bessemer, métallurgiste anglais, mit au point une méthode d'affinage qui porte son nom. C'est le convertissage de la fonte liquide contenue dans une cornue garnie de produits réfractaires dont le fond est percé de trous permettant le passage de l'air sous pression. L'oxygène de l'air provoque la combustion du carbone et d'autres impuretés ce qui élève la température du bain. La fonte est devenue acier liquide que l'on coule en lingots.

6. Le puddlage

Il est indiqué ici d'approfondir quelque peu la description de l'opération de puddlage, dont les œuvres d'art analysées ci-après en sont la représentation.

Le puddlage est une opération d'affinage de la fonte, produit cassant contenant 3 à 4 % de carbone, en vue d'obtenir du fer ou de l'acier forgeable et soudable à faible teneur en carbone.

La méthode wallonne, toujours d'application au début du XIX^e siècle fut remplacée progressivement, dans nos régions, à partir de 1822, par le puddlage, procédé breveté par Henry Cort en 1784 et amélioré par

Samuel Rogers et Joseph Hall, aux environs de 1820. Le terme puddlage vient du verbe anglais «To puddle» signifiant brasser, ce dernier mot est explicité ci-dessous.

Selon H. De Nimal [4, p.58], les premiers fours à puddler en Wallonie furent construits en 1821 par Hanrard et Huart dans une petite forge située à Couillet, et c'est en 1822 que les frères Orban aménagent la première usine liégeoise d'affinage de la fonte par le procédé de puddlage.

Cette usine comprenait: 3 fours à réverbère (à puddler), un laminoir à barres, deux martinets ou makas et une fenderie [7, p.278].

Le principe du puddlage consiste, comme pour les autres méthodes d'affinage, en une décarburation de la fonte par oxydation grâce aux:

1. Oxydes contenus dans:
 - des scories;
 - des minerais purs et riches en oxygène;
 - des déchets de martelage ou de laminage appelés pailles.
2. flammes et gaz brûlés riches en oxygène (flammes oxydantes).

Le four à réverbère utilisé pour l'opération est illustré ci-contre (fig. 3). Il comprend deux parties importantes :

1. une chambre de combustion munie d'une grille et d'une porte de chargement du combustible, le charbon cru.
2. une cuvette ou sole séparée de la chambre de combustion par un muret appelé autel. Une porte s'ouvrant verticalement à l'aide de leviers permet l'accès à la sole pour son chargement et son déchargement, une ouverture de travail est pratiquée dans le bas de la porte. La flamme arrive dans l'enceinte par dessus l'autel, chauffe la voûte, lèche la sole et sort en passant au-dessus du second autel pour se rendre à la cheminée soit après avoir servi au chauffage d'une chaudière à vapeur (non illustrée), soit directement. La vapeur sera utilisée pour l'actionnement d'un marteau pilon.

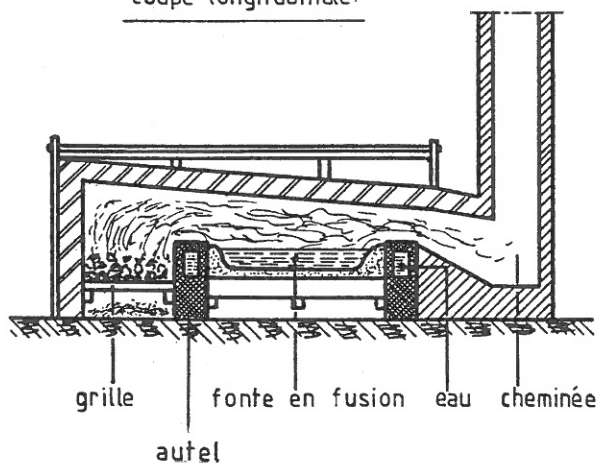
La fonte cassée en morceau est chargée sur la sole, on y ajoute des scories et autres matières riches en oxygène. Elle entre en fusion et la sole du four est bientôt couverte d'un bain de fonte.

L'action des flammes oxydantes venues du foyer complète celle des scories, mais l'oxydation due aux flammes n'atteint que la surface du bain et donc ne produit qu'une décarburation des couches superficielles de la fonte liquide... On voit se former une quantité de petits grumeaux de fer solide nageant sur le bain.

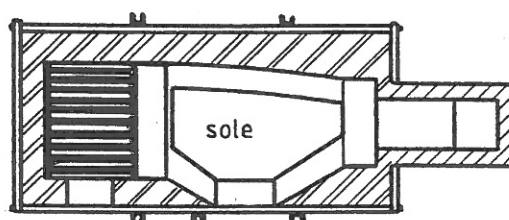
Le puddleur intervient et va rassembler ces petites masses de fer au moyen d'un ringard introduit par le petit orifice de travail de la porte

coupe longitudinale.

F.D. 893



coupe horizontale.



élévation de la face du travail.

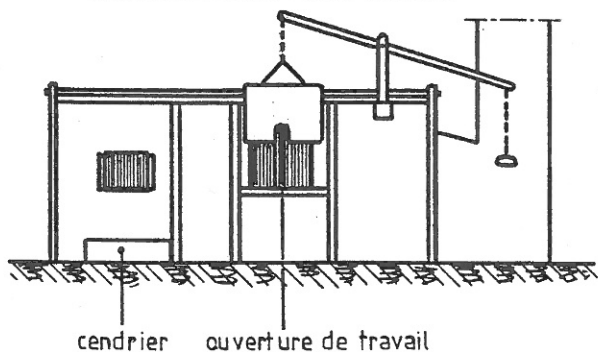


Fig.3. Four à puddler [inspiré de 5, p.497].

abaissée. Ensuite, à l'aide de cet outil, il va remuer le bain pour soumettre les couches inférieures de fonte à l'action des flammes oxydantes.

Ce travail de brassage et d'agglomération est extrêmement pénible car les masses de fer formées «en boule» au bout du ringard atteignent rapidement un poids considérable et le bain en se décarburant perd de sa fluidité; en effet, la diminution progressive de la teneur en carbone augmente le point de fusion et la température du bain étant peu modifiée, la masse devient pâteuse et de plus en plus difficile à remuer.

Après généralement 90 minutes à 2 heures de travail, le puddleur récolte plusieurs boules de 25 à 30 kg. La porte du four ouverte, lui et ses aides sont soumis à l'intense réverbération du bain constitué de scories et d'un reste de fonte dans lequel se trouvent des boules incandescentes à extraire.

Les boules constituées de fer, de scories et de fonte sont traînées ou transportées sur un chariot par des ouvriers «passeurs» vers le «marteleur» qui va à l'aide du marteau pilon comprimer les boules pour en extraire les scories et souder les grumeaux de fer et ensuite former avec d'autres boules, après une chauffe éventuelle, des loupes à forger ou à laminier.

Un célèbre métallurgiste allemand, le professeur A. Ledebur (1837-1906), dans son ouvrage [9. t.1, p.3], a fait une comparaison intéressante et compréhensible pour expliquer le phénomène d'apparition des grumeaux de fer :

«La fabrication du beurre donne une idée assez exacte de ce qui se passe lorsqu'on transforme de la fonte en fer ou en acier soudable sans fusion. Les petits grumeaux de beurre se séparent de la masse liquide, mais ils emprisonnent, en se soudant ensemble, une assez grande quantité de petit lait qu'on élimine en poussant et en pétrissant la pelote formée par la réunion des grumeaux. De même, les grains de fer ou d'acier flottent d'abord au milieu de la scorie, puis se réunissent pour former les boules qu'on soumet ensuite à un travail mécanique ayant pour but d'éliminer les scories. Il est évident que l'élimination du liquide étranger est plus facile pour le beurre que pour le fer et l'acier, d'abord parce que le travail se fait à la température ordinaire, ensuite parce qu'en pétrissant le beurre dans l'eau, cette dernière facilite la séparation du petit lait en le dissolvant».

Des auteurs du XIX^e siècle ont décrit, tantôt avec lyrisme, tantôt avec plus de vérité, les opérations de puddlage en mettant l'accent sur le spectaculaire. Parmi eux, Jules Verne a écrit une page d'un récit précis et documenté [16, p.79 et suivantes] reproduit ci-dessous.

(Il est question d'un hall avec un nombre important de fours à puddler).

A l'une des extrémités, des locomotives annonçaient à tout instant des trains de wagons chargés de lingots de fonte qui venaient alimenter les fours. A l'autre extrémité, des trains de wagons vides recevaient et emportaient cette fonte transformée en acier.

L'opération du «puddlage» a pour but d'effectuer cette métamorphose. Des équipes de cyclopes demis-nus, armés d'un long crochet de fer, s'y livraient avec activité.

Les lingots de fonte, jetés dans un four doublé d'un revêtement de scories, y étaient d'abord portés à une température élevée. Pour obtenir du fer, on aurait commencé à brasser cette fonte aussitôt qu'elle serait devenue pâteuse. Pour obtenir de l'acier, ce carbure de fer, si voisin et pourtant si distinct par les propriétés de son congénère, on attendait que la fonte fut fluide et l'on avait soin de maintenir dans les fours une chaleur plus forte. Le puddleur alors, du bout de son crochet, pétrissait et roulait en tout sens la masse métallique; il la tournait et retournait au milieu de la flamme; puis, au moment précis où elle atteignait, par son mélange avec les scories, un certain degré de résistance, il la divisait en quatre boules ou «loupes» spongieuses, qu'il livrait, une à une, aux aides marteleurs.

C'est dans l'axe même de la halle que se poursuivait l'opération. En face de chaque four et lui correspondant, un marteau pilon, mis en mouvement par la vapeur d'une chaudière verticale, logée dans la cheminée même, occupait un ouvrier «cingleur». Armé de pied en cap de bottes et de brassards de tôle, protégé par un épais tablier de cuir, masqué de toile métallique, ce cuirassier de l'industrie prenait au bout de ses longues tenailles la loupe incandescente et la soumettait au marteau. Battue et rabattue sous le poids de cette énorme masse, elle exprimait comme une éponge toutes les matières impures dont elle s'était chargée au milieu d'une pluie d'étincelles et d'éclaboussures.

Le cuirassier la rendait aux aides pour la remettre au four et une fois réchauffée, la rebattre de nouveau.

Dans l'immensité de cette forge monstre, c'était un mouvement incessant, des cascades de courroies sans fin, des coups sourds sur la base d'un ronflement continu, des feux d'artifices de paillettes rouges, des éblouissements de fours chauffés à blanc. Au milieu de ces grondements et de ces enragés de la matière asservie, l'homme semblait presque un enfant.

De rudes gars pourtant, ces puddleurs! Pétrir à bout de bras, dans une température torride, une pâte métallique de deux cents kilo-

grammes, rester plusieurs heures l'œil fixé sur ce feu incandescent qui aveugle c'est un régime terrible et qui use son homme en dix ans.

Cette dernière affirmation se retrouve dans le grand dictionnaire universel du XIX^e siècle à l'article «puddlage». Après une description de l'opération suivie d'une constatation que le métier de puddleur est l'un des plus durs que l'on connaisse, l'auteur affirme p.396 [8.] :

«On les recrute quand ils sont dans la force de l'âge, c'est-à-dire âgés d'environ trente-cinq ans. On estime que, choisis dans ces conditions, ils peuvent exercer le puddlage pendant 10 ans. Au bout de ce temps, ils meurent. Il arrive souvent qu'ils meurent avant et il est bien rare qu'ils résistent davantage et dépassent cette période. L'ouvrier qui entre au puddlage sait donc ce qui l'attend; c'est une condamnation à mort qu'il accepte avec un délai de dix ans».

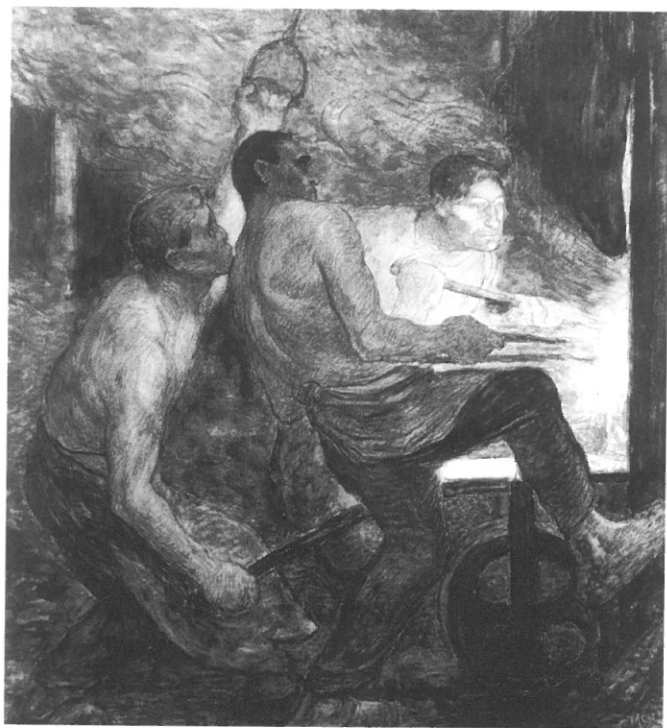


Fig. 4. Constantin MEUNIER (1831-1905).

Puddeurs sortant la loupe, 1890.

Pastel et aquarelle sur papier 66 x 61 cm.

Signé en bas à droite C. Meunier.

Bruxelles, M.R.B.A., M.C.M., inv. 10000/287.

Acquis en 1936. Photo de l'auteur, d'après SPELTDOORN Bruxelles [1. p.237].

7. Constantin MEUNIER : *Puddeurs sortant la loupe*

L'œuvre représente la phase finale de l'opération de puddlage: la sortie d'une des boules incandescentes de fer pâteux formée par le ringard du puddleur.

L'homme de gauche est certainement le «passeur», celui qui amène la boule au marteleur (v. 9). Sa main gauche tient une poignée, étrier relié par une chaînette au mécanisme de levée de la porte du four, masse noire visible dans le coin supérieur du dessin. Sa main droite guide la barre de direction d'un chariot de transport reconnaissable à un plateau bien éclairé et à une roue, ce chariot va recevoir la boule.

L'ouvrier du milieu, probablement le puddleur, extrait la boule, masse blanche, à l'aide d'une tenaille dont on aperçoit une branche dans sa main droite, les mors sont entrés dans le four.

L'homme est chaussé de sabots et son pied droit apparemment nu prend appui sur le montant du four. Ceci est une image irréaliste car la paroi du four par suite du phénomène de conductibilité est très chaude et ne permet pas un attouchement prolongé avec poussée sans danger de graves brûlures.

Le troisième homme, peut-être l'aide-puddeur, est ici plus exposé à la réverbération et à l'émission intense des fumées qu'on peut supposer quelque peu exagérée dans la présente représentation.

Cet aide est très fortement éclairé par l'éclat du métal à très haute température. Il participe à l'extraction avec un ringard, sa main gauche est dangereusement exposée à la chaleur.

Les trois hommes sont le torse nu. Il est peu probable qu'ils fussent ainsi dénudés lors de l'ouverture totale du four.

8. WYBO, *Le fer*

Cette œuvre de facture Art Nouveau fait partie d'un ensemble de trois vitraux ayant pour titres : le fer, la houille, le verre (fig. 6). Le présent vitrail se trouve au-dessus de la porte sud de l'Université du Travail de Charleroi. L'identification du verrier WYBO, Bruxelles, figure en bas à l'extrême nord.

Un bandeau porte la mention LE FER soulignée d'une forte guirlande, un rectangle à cadre bleu entoure l'inscription, ce cadre est décoré de feuilles de chêne et de quelques glands. Y figurent aussi des outils: à gauche, une pelle à court manche, une palette longue pour changer la fonte et une pince; à droite, une louche, une palette et un marteau.



Fig. 5. WYBO (verrier). *Le fer*, 1911. Vitrail diamètre 400 cm.
Signé WYBO, rue du Progrès à Bruxelles, Charleroi, Université du Travail.
Photo de l'auteur.



Fig. 6. Hall de l'école industrielle supérieure, Université du Travail Charleroi.
Photo de l'auteur.

La scène dans le demi-cercle est entourée d'une bordure ornée de végétations diverses où on distingue deux chênes portant quatre écu-reuils disposés symétriquement.

L'opération représentée est l'extraction de la loupe de fer, phase finale du processus de puddlage.

L'homme de gauche, comme sur l'œuvre de Meunier décrite au 7, tient la barre de guidage du chariot qui va recevoir la loupe, sa main gauche saisit un levier qui actionne l'ouverture de la porte du four non visible ici. L'ouvrier de droite guide à l'aide d'une énorme pince la masse de fer incandescente vers le plateau du chariot. Le personnage à fière allure, au centre, tient une pelle, derrière lui un tas de charbon, c'est l'homme chargé d'entretenir le foyer; ici il semble très attentif à l'opération et prêt à intervenir en cas de difficulté. Les trois acteurs de cette opération sont vêtus correctement et protégés de la chaleur.

Les trois hommes sont disposés parallèlement au four, la porte du foyer et la porte de la sole (invisibles ici) sont face au spectateur, contrairement à l'œuvre de Meunier (7.) qui présente les travailleurs perpendiculairement au four.

9. Constantin MEUNIER : *Le marteleur*

Le marteleur est l'acteur du pénible travail de cinglage; cet ouvrier soumis dangereusement aux projections de scories incandescentes est chargé de guider les lourdes loupes de fer mélangées de scories sous la frappe du marteau pilon. Le fer obtenu par puddlage se présente sous forme d'une éponge gorgée de scories; c'est par pression que l'on soude les grumeaux et cette action expulse les scories à la ronde. L'homme est présenté en position d'attente, la main droite tient une pince, son outil principal; à noter que l'artiste a négligé l'axe d'articulation des deux branches de la pince. La main gauche appuyée sur la hanche a de longs et solides doigts très utiles pour la manipulation de l'outil.

La tête de l'ouvrier est couverte d'un masque que le marteleur abaissera lors de son action de cinglage, ce masque était constitué d'un treillis de fil métallique. Une chemise couvre son torse et ses bras, elle paraît coller à la peau au niveau des épaules, mais lâche sur le côté gauche, ventilation certainement bienvenue. L'abdomen et les membres inférieurs sont protégés par un ample tablier de cuir.

Les pieds sont mis à l'abri par une double protection.



Fig. 7. Constantin MEUNIER (1831-1905).
Le marteleur, 1886.
Bronze 200 cm.
Charleroi, Université du Travail. Photo I.R.P.A. 514 N.

Cette œuvre exposée au salon de Paris en mai 1886 serait la première grande sculpture de Meunier [14, p.73] et paraît avoir produit un effet considérable sur l'écrivain et critique Oscar Mirbeau qui :

«s'étonne prodigieusement, qu'on n'ait attribué à cette héroïque figure d'ouvrier qu'une mention honorable [14, p.74]».

D'autres critiques ont fait l'éloge de cette œuvre et pour leur description, ils utilisent parfois d'étranges adjectifs que l'on trouve dans des phrases de ce genre :

«...corps de prolétaire enchaîné aux tuantes besognes. Il s'appuie sur son marteau (sic) comme sur un glaive [3, p.21].

Ou encore :

«Les lourdes chaussures qui dessinent des pieds de pachydermes,... le torse nerveux et la face brutale et mélancolique [cité dans 14, p.74].

G. Treu, dans son petit livre sur Meunier [15, p.9], compare notre mar-teleur à un général, («Wie ein Feldherr»), avant le combat avec les puissantes forces de la nature !

On lira avec intérêt quelques lignes de Jules Verne au paragraphe 6 où le marteleur est désigné comme le cuirassier de l'industrie.

10. Conclusion

Le chef-d'œuvre de Constantin Meunier représenté à la fig. 1 «Pudd-leur au repos» est maintenant facile à commenter.

L'homme assis vient de rendre un effort intense, digne d'un athlète champion de n'importe quelle discipline, dans un milieu hostile: atmosphère brûlante, poussiéreuse, fumeuse. Le travail du puddleur est tellement pénible qu'il lui est permis de se reposer quelques instants, car tantôt il devra récolter la loupe dans des conditions encore plus atroces, lors de l'ouverture de la porte du four.

Sa main entrouverte est douloureuse : la manœuvre du lourd ringard a nécessité un fort serrage, de plus, cette barre de fer s'échauffe rapidement par conductibilité et la chaleur rend la paume de la main brûlante.

Le puddlage fut un travail extrêmement pénible et il aura fallu attendre un siècle pour assister à l'introduction durable d'une autre méthode d'affinage: le convertissage. Celui-ci sera abordé dans un prochain article où il sera aussi question de ce qui a pu être la motivation des artistes qui se sont intéressés à l'industrie métallurgique en Belgique.

11. Bibliographie

Le bref survol de l'histoire de la métallurgie du fer, ainsi que la description de l'opération de puddlage s'inspirent de plusieurs ouvrages: traités de l'histoire de la sidérurgie, cours et manuels de métallurgie; ces derniers, publiés à la fin du siècle dernier et au début de ce siècle sont marqués d'un astérisque.

1. BAUDSON (Pierre), *Constantin Meunier nel suo tempo*, dans, *Il lavoro dell'uomo nella pittura da Goya a Kandinsky*, Milan, 1991.
- *2. DAUMAS (Maurice) (sous la direction de), *Histoire générale des techniques*, t. V, *Les techniques de la civilisation industrielle*, Paris, 1979.
3. DEMOLDER (Eugène), *Constantin Meunier*, Bruxelles, 1901.
4. DENIMAL (H.), *La métallurgie à l'exposition de Charleroi en 1911 avec notes historiques sur la forgerie*, s.l., 1913.
5. DESARGES (Henri) (sous la direction de), *Nouvelle encyclopédie pratique de mécanique*, t. 1, Paris, 1949.
- *6. GILLE (Bertrand), *Histoire de la métallurgie*, (Que sais-je, n°96), Paris, 1966.
7. HANSOTTE (Georges), *Histoire quantitative et développement de la Belgique*, t. II, vol.1, *Essai sur la révolution industrielle en Belgique 1770-1847*, Bruxelles, 1981.
8. LAROUSSE, *Grand dictionnaire universel du XIX^e siècle*, t. 13, article Puddlage, Paris 1875.
- *9. LEDEBUR (A.), *Manuel théorique et pratique de la métallurgie du fer*, t. I et t. II, Paris 1895.
10. *Musée du fer et du charbon*, *La métallurgie ancienne*, Liège, 1979.
- *11. PAULINYI (Akos), *Das Puddlen, Ein Kapitel aus der Geschichte des Eisens in der Industriellen Revolution*, Munich, 1987.
- *12. PERIN (Sylvain, F.), *Cours de métallurgie*, Charleroi, 1915.
- *13. ROESCH (Karl), *3500 Jahre Stahl*, Munich, 1979.
14. THIERRY (A.) et VANDIEVOET (E.), *Catalogue complet des œuvres dessinées, peintes et sculptées de Constantin Meunier*, Louvain, 1909.
15. TREU (Jacques), *Constantin Meunier*, Dresde, 1898.
16. VERNE (Jules), *Les cinq cents millions de la Bégum*, Paris, 1879.
- *17. WEIL (Adrienne), *Métallurgie*, A. Histoire, dans *Encyclopædia Universalis*, t. 15, Paris, 1990.

Fernand DEPRINCE
Licencié en archéologie et histoire de l'art.