

Le terme moyen des huit observations de M. Lempe, est de 21,16 francs ; et, en tems, de trois jours vingt heures : le terme moyen des dix observations rapportées, est de 21,69 fr. et de quatre jours. Il faut observer qu'en doublant les prix coutans du mètre cube, on a ceux du mètre courant d'une galerie ordinaire, et en les quadruplant ceux d'une toise courante de pareille galerie (1,09 toises de haut sur $\frac{1}{2}$ de large) ; pour cette dernière, le terme moyen serait de 86,76 francs, et seize jours de tems. Dans la pratique ordinaire on peut prendre ce terme moyen à 100 francs ; et pour le tems, de quinze à vingt jours à raison de quatre ouvriers.

Observation	Temps (jours)	Prix (francs)	Temps (heures)	Prix (francs)
1	3	21,16	20	21,16
2	4	21,69	24	21,69
3	4	21,69	24	21,69
4	4	21,69	24	21,69
5	4	21,69	24	21,69
6	4	21,69	24	21,69
7	4	21,69	24	21,69
8	4	21,69	24	21,69
9	4	21,69	24	21,69
10	4	21,69	24	21,69

M É M O I R E

Sur l'emploi de la Houille brute dans les diverses opérations de la fabrication du fer.

Par M. ROZIERE, ingénieur des mines,

J'AI fait dans le cours de l'an dix, conjointement avec mon collègue Houry, divers essais dans les forges du département de la Haute-Marne. Nous avions pour but de constater l'utilité dont pourraient être certaines espèces de houilles brutes ou non débituminisées, dans le traitement du fer au feu d'affinerie. J'ai répété plus en grand les mêmes essais, dans le cours de l'an onze, et j'ai entrepris des suites d'expériences analogues pour comparer les effets de ces combustibles dans les autres opérations relatives au traitement du fer.

D'abord nous ne cherchions qu'à substituer au charbon de bois, un combustible moins coûteux ; nous nous sommes aperçus qu'il n'était pas impossible d'en tirer parti pour améliorer, en certain cas, la qualité du fer : sous ce dernier rapport, ces résultats me paraissent fort opposés à l'opinion commune ; c'est ce qui m'a engagé à répéter les expériences un grand nombre de fois, et je les présente ici, afin, qu'on puisse les vérifier.

Plusieurs maîtres de forges très-expérimentés les ont suivies avec attention, ou pour mieux

dire, elles ont été faites en commun avec eux, et quelques-unes avec un chymiste distingué, (M. Bosc, Tribun, membre de la Société d'Encouragement) (1).

PREMIÈRE PARTIE.

Résultat des Expériences faites en l'an dix au feu de Renardière, conjointement avec M. Houry.

La houille, dont nous nous sommes servi, venait de Rive-de-Giez, et n'était point réduite en koak. Nous l'avons successivement employée à la dose d'un cinquième, d'un quart, d'un tiers et de deux cinquièmes, contre $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ etc. de charbon de bois.

Voici les détails du procédé. La houille était mélangée avec le tiers ou la moitié de son poids de poussière de charbon de bois bien humectée; quelquefois nous y avons ajouté une petite quantité de castine pulvérisée.

Chaque opération se commençait avec une demi-resse de charbon de bois, pesant environ dix kilogrammes. On attendait qu'il fût enflammé, puis on jetait dessus la quantité de houille ainsi préparée; l'opération s'achevait avec du charbon de bois seul.

(1) Les rapports particuliers et les procès-verbaux de chaque suite d'expériences, adressés au Conseil des Mines, ont été accompagnés d'échantillons des différentes sortes de fer fabriquées. Ces échantillons sont déposés dans la collection publique des produits de l'industrie minéralogique de la France.

Il résulta de ces premières expériences :

1°. Qu'un cinquième ou un quart de houille non débituminisée, pouvait s'employer avec succès au feu de Renardière, contre $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{2}$ de charbon de bois.

A la vérité nous avons obtenu quelques résultats satisfaisans, avec un tiers et même deux cinquièmes de houille, mais le succès n'a pas été constant. Cette proportion est trop voisine de la limite, où la qualité des fers est altérée, elle exigerait de la part des ouvriers des attentions qu'ils ne sauraient prendre constamment.

2°. Avec un quart de houille, la qualité des fers n'a point été altérée, elle y a même gagné; ils se sont trouvés plus nerveux et plus tenaces.

3°. La quantité de fonte employée, a été quelquefois dans le même rapport qu'avec le charbon de bois seul; mais nous avons trouvé sur ce point de grandes variations. Pour fabriquer un mille de fer, on n'a quelquefois employé que 1300 livres de fonte, et d'autres fois 1462 livres; la différence des mines et la difficulté d'estimer cette consommation, sur de petites quantités, ont produit ces variations. On trouvera plus bas des données précises sur ce point et sur la quantité de charbon de bois, que peut remplacer une quantité donnée de houille brute.

J'ajouterai seulement que les houilles de Ronchamps et de Champagne, n'ont pu réussir dans ces opérations, même en très-petite quantité: elles gâtent, pour se servir de l'expression des ouvriers, les faisils de la forge; et la qua-

lité du fer s'en ressent jusque dans les opérations subséquentes. Toutes les espèces de houille très-pyriteuses produisent le même effet.

Tableau des Expériences faites en l'an X, dans les forges d'Arc, régies par M. Etienne (1), et dans celles de Château-Villain et de Clairveau, appartenant à M. M. Quillard frères, Départemens de la Haute-Marne et de l'Aube.

NOMS DES FORGES.	Durée moyenne des opérat.	Nombre des opérat.	MATIÈRES EMPLOYÉES.				Fer obtenü.
			Houilles. kil.	Charbon de bois. kil.	Fente. —	Castine. kil.	
Arc. . . .	60. min.	4.	50.	142.	—	7.	115. kil.
Château- Villain. .	50.	6.	105.	182.	245.	0.	167.
Clairveau.	48.	5.	75.	125.	156.	0.	106.
Clairveau (bis). . .	48.	3.	36.	104.	120.	0.	96.

SECONDE PARTIE.

Les résultats obtenus l'année précédente, avaient besoin d'être confirmés, quelques-uns d'être établis d'une manière plus précise. Parmi

(1) M. Etienne d'Arc, maître de forges, très-expérimenté, a essayé le premier, dans ce Département, la houille non débituminisée; d'anciennes expériences ont été faites à Saint-Dizier à la forge du Buïsson, etc. mais avec le koak.

les nombreuses suites d'expériences répétées dans différentes forges des départemens de la Haute-Marne et des Vosges, j'en choisirai deux faites dans des vues différentes, et qui sont à-peu-près des termes moyens entre les autres.

Expériences faites à Froncles-les-Bussières, Département de la Haute-Marne, pour déterminer la plus grande proportion de houille brute de Rive-de-Giez, qu'on puisse employer pour l'affinage du fer; elles ont été faites conjointement avec M. Hercule de Courty, propriétaire de forges.

Le 7 thermidor à 8 heures du matin j'ai fait placer au feu de Renardière un tronçon de gueuse pesant 413 kilogrammes.

Première opération.

Le premier Renard a été fait au charbon de bois seul, afin d'échauffer la gueuse.

La loupe a été retirée du feu à 9^h. 25'. On a consommé 68 kilogrammes de charbon de bois, la barre de fer qui en est résultée pesait 31,5 kilogrammes.

Seconde opération.

Dix-huit kilogrammes de charbon de terre de Rive-de-Giez, et environ neuf kilogrammes de faisil ou poussière de charbon de bois, ont été mêlés et bien humectés.

On a d'abord garni le feu avec une demirresse de charbon de bois, pesant 9 kil.; quand

il a été enflammé, on a jeté par-dessus la moitié de la houille préparée, quelque tems après une autre demi-ressé de charbon de bois, ensuite l'autre moitié de la houille, et l'opération a été achevée avec du charbon de bois seule : elle a duré 1^h. 10', et a consommé au total 51 kil. de combustible. La barre de fer obtenue pesait 33 kil. ; ayant été cassée pour l'éprouver, elle a été trouvée de bonne qualité, présentant dans sa cassure beaucoup de nerf vers les bords, et quelques petites facettes vers l'intérieur.

Troisième opération.

Elle a duré 1^h. 25' ; on a employé 18 kil. de houille préparée comme dans l'opération précédente, et 32 kil. de charbon de bois, en tout 50 kil. de combustible.

Le fer, provenant de cette opération, s'est très-bien forgé, tandis qu'il a été chauffé à blanc ; mais dès qu'il eut pris la couleur rouge-cerise, il s'est brisé en plusieurs morceaux, et il a été impossible de l'étirer en barre.

Deux circonstances ont contribué à cet accident ; d'abord l'ouvrier soulevant sans précaution la maquette, a fait tomber le charbon de terre dans le fond du foyer, aussitôt qu'il venait d'y être jeté, et sans lui avoir laissé le tems de se dessouffrer ; en second lieu, celui qui a fait le Renard suivant n^o. 4, a jeté tout d'un coup sur le feu 23,5 kil. de charbon de terre (ou 47 liv.), destinés à être partagés en deux fois ; de sorte que la pièce s'est trouvée chauffée entièrement à la houille.

Quatrième opération.

Cette opération a été faite avec 23,5 kil. de houille, et 28,5 kil. de charbon de bois, en tout 52 kil. de combustible : le fer qui en est résulté pesait 31 kil.

La barre s'est bien forgée à toutes les températures ; il s'y est manifesté seulement quelques petites gerçures ; on l'a cassée facilement, et la cassure n'a présenté que peu de nerf et beaucoup plus de petites facettes : ainsi la qualité du fer a été sensiblement altérée. Ce qui peut servir à prouver que la manière de conduire l'opération, influe beaucoup sur la qualité du fer, c'est que cette pièce fabriquée avec près de 47 livres de houille, a été infiniment moins cassante que la précédente fabriquée seulement avec 37.

J'avais eu soin dans le cours de l'opération de faire enlever les maquettes avec précaution, en les tirant à soi, au lieu de les soulever ; de même en les remettant chauffer, on évitait de trop ouvrir le feu ; précautions qui avec de l'habitude ne présentent à l'ouvrier aucune espèce de difficulté.

J'ai veillé également à ce que la houille fût étendue sur le feu, de manière à l'envelopper entièrement ; cette disposition contribue beaucoup à l'économie du combustible. Sans former précisément une croûte solide, la houille forme au moins une enveloppe, qui concentre la chaleur dans le foyer : point très-important, parce qu'il corrige le vice du foyer d'affinerie, qui, comme tous les feux ouverts,

laisse dégager en pure perte une immense quantité de calorique.

Dans les cinq opérations suivantes, on a brûlé 220 kil. de charbon de bois, et 36 kil. de houille, en tout 256 kil. de combustible : on a obtenu 194 kil. de fer.

Sur les cinq pièces, trois se sont bien étirées en barres, les autres se sont cassées une fois chacune. Ce résultat semblerait indiquer que la proportion de houille était encore un peu trop considérable ; mais il faut remarquer que lorsque l'on a dépassé de beaucoup la proportion convenable, l'état du foyer est altéré pour long-tems : la qualité du fer s'en ressent dans les opérations suivantes, quand bien même on n'y ajouterait pas de nouvelle houille.

Total du fer obtenu dans toute cette suite d'expériences, 289 kil. ; de la fonte employée 413 kil, ce qui est dans le rapport ordinaire ; total du combustible, 476 kil. , y compris 95,5 de houille.

Observation. Si l'on eût opéré avec le charbon de bois seul, on aurait consommé 2 kil. de combustible par kil. de fer ; les 95 kil. de houille ont donc remplacé le double de leur poids de charbon de bois ; résultat confirmé par toutes les autres expériences. On doit observer que le faisil ou poussière de charbon de bois, contribue pour beaucoup à produire cet avantage ; mais comme cette matière est à-peu-près perdue dans les forges, son emploi peut

être regardé comme une véritable économie de combustible.

Je vais terminer les épreuves au feu de Renardière, par l'extrait du procès-verbal d'une suite d'expériences faites aux forges de Poissons, conjointement avec M. de Riaucourt, propriétaire, et de Courty père ; ancien maître de forges : « Le 10 thermidor, nous avons fait placer au feu d'affinerie une gueuse déjà entamée, pesant alors 2,250 liv. Elle provenait des mines de Poissons, employées sans mélange d'aucune autre ».

Le premier Renard a été fait uniquement, au charbon de bois ; la gueuse n'étant pas échauffée, il a fallu employer 5 resses $\frac{1}{2}$, ou 192 livres (1).

Dans les 16 pièces fabriquées ensuite, on n'a employé pour chacune que 2 resses $\frac{1}{2}$ de charbon de bois, et en outre 15 livres de houille de Rive-de-Giez non débituminisées, mélangées avec moitié de son poids de poussière de charbon de bois. On a eu constamment l'attention de jeter la houille sur le feu, de manière à le bien couvrir, et on a évité de la faire tomber dans le fond du foyer, tandis qu'il s'en dégageait une vapeur jaunâtre : cette vapeur qui est sulfureuse, dure 15 à 20 minutes.

Lorsque nous avons cessé les expériences, il s'est trouvé dix-sept pièces pesant ensemble 1267 liv. ; on avait consommé 50 resses $\frac{1}{2}$ de charbon de bois, toutes du poids de 35 liv. ;

(1) J'ai conservé les noms des anciennes mesures, parce que je transcris le procès-verbal.

et 16 mesures de charbon de terre de 15 livres chacune.

La gueusé ayant été pesée, s'est trouvée réduite à 600 liv., mais il faut observer que la dernière pièce n'était pas étirée en barres, et que l'avant-dernière ne l'était qu'à moitié. Nous avons estimé à 6 liv. le déchet qu'elles auraient éprouvées dans cette opération.

Ainsi 1261 liv. de fer ont été fabriquées avec 1,650 livres de fonte, et 2,000 livres de combustible.

Des expériences comparatives, faites au charbon de bois seul, ont donné le même résultat relativement à la proportion de fonte employée, mais il a fallu, pour remplacer la houille, une quantité de charbon de bois presque double de son poids.

Les seize barres fabriquées avec la houille, se sont très-bien forgées à toutes les températures; nous en avons cassé quatre, avec les plus grandes difficultés. Quoique forgées en très-gros fer, leur cassure était uniquement composée de nerf. Pour avoir un terme de comparaison plus sûr, nous avons cassé une barre forgée au charbon de bois seul, et provenant de la même gueuse; elle s'est rompue moins difficilement: sa cassure mêlée de nerf et de grain indiquait une fort bonne qualité, mais cependant inférieure pour l'usage auxquels on destine principalement ces fers, les bandages de roue.

Dans les expériences faites dans les autres forges, et notamment à la Hutte, département

des Vosges la quantité de charbon de terre a été portée à 12 kil. par pièce pesant 30 à 35 kil., et le succès a été aussi complet.

Conclusion. Le résultat de toutes les expériences rapportées dans ce Mémoire, est que, 1°. dans les feux d'affinerie, au lieu de cent kilogrammes de charbon de bois, on peut n'en employer que 60 ou 65 au plus, avec 20 kil. de houille non pyriteuse, mêlée avec moitié de son poids de faisil; 2°. dans ce cas le fer reçoit toujours une amélioration sensible, sous le rapport de sa ténacité, mais il perd d'autant plus de sa facilité à se forger, que l'on outre passe davantage cette proportion. 3°. Dans les forges où l'on brûle des fontes de première qualité, la quantité de houille ne doit jamais excéder le cinquième du combustible total; mais avec les fontes qui donnent un fer cassant à froid, cette proportion peut être augmentée sans inconvénient. J'ai particulièrement recommandé l'usage de ce procédé, dans tous les établissemens où le fer a ce défaut, et malgré le prix excessif de la houille de Rive-de-Giez rendue dans ces départemens, on a trouvé de l'avantage à l'employer. Quant aux houilles très-pyriteuses, elles ne doivent être employées brutes aux feux de Renardières, en aucune proportion; si les mines sont déjà mêlées de pyrites, et sujettes par conséquent à donner un fer cassant à chaud, il serait dangereux d'employer la houille brute en aucune proportion: on augmenterait infailliblement ce défaut.

Elle nuirait aussi un peu aux fers doux qu'on

destinée à fabriquer de très-petits ouvrages , et qui doivent passer par le feu un grand nombre de fois.

Observations sur quelque points de théorie relatifs à ce procédé.

Il est hors de doute que la principale substance , qui dans ces expériences , ait altéré la qualité du fer ; est le soufre. Quoique l'on ait trouvé du phosphore dans quelques espèces de houille , il ne paraît pas qu'il en existe dans toutes , et sur-tout dans celles de Rive-de-Giez ; quant au soufre, aucune espèce de houille n'en est entièrement exempte : les meilleures pour ce procédé seront celles qui en contiendront le moins. La manière dont il agit ici , mérite d'occuper l'attention des métallurgistes. On a vu que ses premières molécules , loin d'altérer la qualité du fer l'améliorent , du moins à froid ; c'est-à-dire , le rendent plus tenace , plus malléable , et en même-tems lui communiquent de la dureté. Tant que la proportion en est fort peu considérable , les qualités du fer à chaud changent peu ; à mesure qu'elle augmente , il devient plus mou , plus facile à forger , tant qu'il est chauffé à blanc ; mais à peine passe-t-il à la couleur cerise , qu'il se gerce , se fend en différens sens , ou se casse net , selon la quantité de soufre. Si on arrête le marteau , et qu'on lui donne le tems de perdre la couleur rouge , on peut ensuite le forger de nouveau sans qu'il se brise.

Les mêmes phénomènes s'observent dans cer-

tains fers cassants , connus sous le nom de *fers rouverains*. Je suis porté à croire que ces fers contiennent souvent du soufre , et non du cuivre , comme on le pense communément : ceci paraîtra fort probable , si l'on se rappelle que dans les analyses des différens fers rouverains , très-rarement on a trouvé du cuivre. Ainsi se trouverait d'accord avec nos résultats , cette opinion de plusieurs anciens métallurgistes (1) ; qu'une très-petite quantité de cuivre donne *du corps au fer* , loin de l'altérer ; car il faut faire attention que ce qu'ils appellaient *cuivre* , n'était très-probablement que des parties pyriteuses , qui se trouvent fréquemment dans les mines de fer. Les observations , qui tiennent d'aussi près à la pratique , ont été faites depuis long-tems ; mais faute d'une suffisante précision dans les explications , et surtout dans le langage , on les a souvent regardées comme des préjugés de la routine : on en pourrait citer beaucoup d'exemples. Quant au bitume de la houille , je ne pense pas , comme on l'a avancé , que son interposition entre les parties du métal , soit ce qui le rende cassant , ou l'empêche de se souder ; cette interposition , en supposant qu'elle ait lieu , devrait produire des effets tout opposés ; mis en contact avec le fer , le bitume est propre à lui fournir le carbone dans un grand état de division ; il tendrait à le désoxygéner plus complètement , et par-là contribuerait à l'augmentation de ténacité remarquée

(1) Voyages métallurgiques de Jars , etc.

dans les fers fabriqués avec la houille. S'il était trop abondant, une portion pourrait, tout au plus, se combiner avec le métal, et le rendre un peu aciérin, qualité qui n'est pas nuisible, qui est même avantageuse lorsque le fer doit passer ensuite par un grand nombre de mains-d'œuvres : les ouvriers le trouvent dans cet état moins facile à se brûler, parce que le carbone qu'il contient, se brûlant de préférence, le défend de l'oxydation, et dans une longue suite d'opérations il reprend peu-à-peu, sous le marteau de l'ouvrier, tout le nerf qui lui manquait en sortant de la forge. Dans les mêmes circonstances, le fer très-nerveux, perd tout son nerf et devient cassant.

Un second effet du bitume, et celui-ci, déduit immédiatement de l'observation, ne comporte aucun doute ; est de diminuer la consommation du combustible. Agglutinant tout ce qui trouve à la surface, il s'oppose à ce que la chaleur se dissipe aussi promptement : la température augmente dans l'intérieur du foyer, et la flamme qui cherche à se répandre de tous côtés, passe à travers les joints du contre-vent, pour venir sortir à de grandes distances. Cette augmentation de chaleur est la troisième cause que l'on peut apporter pour expliquer l'amélioration du fer ; mais il est impossible d'assigner, d'une manière précise, la part qu'elle peut y avoir. L'emploi de la castine mêlée en poudre avec la houille, n'est pas indispensable, et je l'ai souvent omis ; cependant je le crois avantageux.

Voici une conjecture que je sou mets aux chimistes

chimistes et aux métallurgistes qui s'occupent du traitement de fer.

Dans les forges où l'on a du manganèse à sa portée, soit qu'on le mêlât en poudre avec la houille, soit qu'il servît à saupoudrer la loupe, soit enfin qu'on le jetât comme la castine dans le haut fourneau, ce métal pourrait concourir très-efficacement à rendre le fer moins cassant ; on sait que les fers, qui contiennent du manganèse, sont généralement d'une qualité supérieure. Dans les forges que j'ai visitées, j'ai souvent remarqué, que les meilleures fers se fabriquaient avec des mines manganésiées : ces fers sont à la fois durs et nerveux. Beaucoup de forges ont singulièrement amélioré des fers cassants à froid par l'addition au haut fourneau, d'une nouvelle sorte de mine, qui contenait du manganèse. J'attribue principalement à cette cause, les changemens avantageux qu'ont éprouvés, depuis une vingtaine d'années, les fers des usines de la Marne.

La manière dont le manganèse agit sur la qualité du fer, est peu connue. Serait-ce que son alliage avec le fer possède à un degré plus éminent, les qualités que nous recherchons dans ce dernier métal ? Serait-ce uniquement parce qu'il favorise la séparation des substances nuisibles, telles que le soufre, l'arsenic, le phosphore ; ou bien sans opérer leur séparation, n'agirait-t-il qu'en se combinant de préférence avec elles, et formant ainsi des composés moins nuisibles ; par exemple, avec le soufre ou l'arsenic une combinaison, dont

la fusibilité différât peu de celle du fer : on sent qu'alors le métal cesserait d'être cassant à chaud ; ou bien avec le phosphore ou l'acide phosphorique , un composé qui contracterait plus d'adhérence avec les molécules du fer que la sidérite : alors disparaîtrait ou diminuerait sa fragilité à froid. Ce que l'on connaît des affinités du manganèse , doit faire douter qu'il s'unisse plutôt que le fer avec le soufre, le phosphore , etc. Cependant comme les affinités changent souvent à de très-hautes températures , ce n'est que d'après des expériences directes , qu'on pourrait espérer de décider la question. Elles conduiraient peut-être à des résultats d'un grand intérêt.

(La suite à l'un des Numéros prochains.)

SUR LE DYNAMOMÈTRE

DE M. REGNIER.

Le dynamomètre à ressort de M. Regnier est, comme on sait , principalement destiné pour faire connaître d'une part , la force absolue et relative des hommes , ainsi que celle des chevaux , et de toutes les bêtes de trait (1) , et d'une autre part , la puissance motrice qui doit être appliquée à une machine quelconque , ou l'effort que cette machine est capable de produire dans telles et telles circonstances ! Plusieurs savans se sont servi de ce même dynamomètre dans des essais de différens genres ; les données précieuses qu'ils ont été à portée de recueillir sont plus que suffisantes pour prouver que cet instrument , à raison de son mécanisme aussi simple qu'ingénieux , est susceptible d'un grand nombre d'applications utiles (2). Nous ajouterons ici que MM. Beaunier et Gallois , ingénieurs des mines , ont fait exécuter aux mines de Poullaouen un dynamomètre semblable , quant à sa construction , à celui de M. Regnier , mais sur des dimensions telles

(1) M. Chaussier , dans les leçons qu'il a données à l'École Polytechnique , sur la force musculaire des animaux , et le parti le plus avantageux que l'on peut en tirer dans les travaux , a employé l'instrument de M. Regnier pour faire un grand nombre d'expériences.

(2) M. Baillet , ingénieur en chef des mines , a fait , conjointement avec MM. Lenoir et Descostils , usage de cet instrument pour connaître et comparer la tenacité des diffé-