

## OBSERVATIONS

SUR

*Les machines soufflantes à piston des usines à fer dans le sud-ouest de la France ;*

Par M. D'AUBUISSON,

Ingénieur en chef au Corps royal des Mines.

Il y a environ trente ans que les machines à piston furent introduites en France ; les premières furent établies aux forges de Guérigny, près de Nevers, et bientôt après elles remplacèrent les soufflets en bois dans presque toutes les usines du Nivernois et du Berri.

Mais elles étaient encore inconnues dans nos provinces méridionales, lorsque, en 1808, M. Larreillet, maître de forges dans le département des Landes, homme d'un esprit actif et fécond en ressources, entreprit un grand établissement dans sa propriété d'Ichoux. L'eau n'y était qu'en très-petite quantité : il y amena à grands frais quelques faibles ruisseaux du voisinage, et sachant, d'après une notice imprimée dans le n<sup>o</sup>. 38 du *Journal des Mines*, que les machines à piston exigeaient une moindre force motrice que les soufflets usités dans le pays, il fit venir du Berri un ouvrier pour construire une telle machine. Le succès répondit à l'attente ; l'exemple fut suivi, et aujourd'hui, entre la Dordogne et les Pyrénées, on ne voit plus d'anciens soufflets en bois ; dans toutes les forges, on leur

a substitué des pistons ; en plusieurs endroits même, on les a substitués aux trompes, et on les y substituera par-tout où l'on n'aura pas, avec une grande chute, de l'eau pour ainsi dire à discrétion ; car, d'ailleurs, dans ce dernier cas, la trompe est bien la meilleure des machines soufflantes : elle est très-simple, point sujette à se déranger, exige peu d'entretien, fournit un vent très-continu, peut le fournir très-fort, et on lui en fait donner, avec une extrême facilité, le degré qu'on veut.

Non-seulement les machines à piston dépendent moins d'eau, à effet égal, que les anciens soufflets, mais encore elles ont le très-grand avantage de pouvoir servir plusieurs feux à-la-fois : c'est ainsi qu'à l'aciérie de Toulouse, chacune des deux machines fournit le vent à treize feux, et que, dans la belle usine que les propriétaires de cette aciérie établissent sur le Tarn, une seule fournira à trente-six feux : suivant l'ancienne méthode, il y eût fallu trente-six paires de gros soufflets, dont l'entretien eût exigé des frais très-considérables, et deux ou trois artistes exclusivement occupés de cet objet. De plus, la position du feu est devenue entièrement indépendante de celle de la soufflerie, et cet avantage est immense ; autrefois on était obligé d'établir le foyer au niveau de l'arbre des roues hydrauliques qui mouvaient les soufflets, et par conséquent à deux, trois, etc., mètres au-dessous du niveau des bassins attenant les usines, et qui leur fournissent l'eau motrice : de là, ces fourneaux si enfoncés, et par suite sujets à tant d'humidité, d'inconvéniens et de mauvais travail. Maintenant, on peut établir le fourneau sur une hau-

teur, et laisser la machine soufflante dans le bas-fond. A Ichoux, la forge est à plus de 120 mètres (370 pieds) de la machine ; en Angleterre, la distance va, dit-on, jusqu'à un quart de lieue.

Ayant eu occasion de faire, et avec quelque soin, une suite d'observations sur une vingtaine de ces nouvelles machines établies dans l'arrondissement de mines dont la surveillance m'est confiée, j'ai pensé que la connaissance de leurs résultats pourrait être de quelque utilité pour les maîtres de forge et pour les ingénieurs des usines, et je les publie dans ce mémoire. J'y ferai d'abord connaître les machines observées et les perfectionnemens dont elles me paraissent susceptibles ; je passerai ensuite, et successivement, à la manière dont les observations ont été faites, au mode de calcul qui leur a été appliqué, et aux résultats que j'en ai déduits ; enfin je terminerai par l'exposition de quelques règles de pratique basées sur ces résultats. Un tableau présentera l'ensemble des observations, et des notes donneront les détails relatifs à chaque machine.

#### *Machines à piston.*

Celles dont nous avons à parler sont loin du degré de perfection qu'elles ont ailleurs, et dont il serait cependant facile d'approcher.

Ce sont des caisses prismatiques, faites en madriers de noyer ou de chêne, et disposées de la manière décrite dans les traités de métallurgie qui ont paru en dernier lieu (1) ; chaque

(1) Héron de Villefosse, *Richesse minérale*, pl. 46. —

machine présente deux caisses; le piston de l'une monte et souffle pendant que l'autre descend et aspire.

Elles ont 1<sup>m</sup>,20 à 2<sup>m</sup> (3  $\frac{1}{2}$  à 6 pieds) de longueur et de largeur dans œuvre, et près d'un mètre (3 pieds) de hauteur.

La levée du piston est 0<sup>m</sup>,54 à 0<sup>m</sup>,81 (22 à 30 pouces) : de sorte que lorsque le piston est au haut de sa course, il reste encore un *espace nuisible* entre lui et le couvercle, espace d'où l'air ne peut être expulsé, et qui diminue l'effet de la machine.

Les pistons sont garnis, sur leur pourtour, de liteaux, que des ressorts tiennent pressés contre les parois intérieures de la caisse. Le frottement est souvent très-fort; il raie les parois, de manière qu'au bout de quelque temps elles sont comme cannelées. J'ai vu de ces cannelures qui avaient près d'un centimètre (4 lignes) de profondeur; elles ne pouvaient manquer d'occasionner de grandes pertes d'air. De plus, il est difficile de faire bien joindre les liteaux sur les angles des caisses, et presque toujours il y a des pertes dans ces parties. Ces inconvénients, qui exigent en outre un grand entretien et un renouvellement assez fréquent des caisses, engageront les maîtres de forge à les remplacer par des cylindres en fonte et à piston garni de cuir; déjà quelques-uns ont pris des mesures à cet égard.

Presque aucune de nos machines n'a de *sou-pape de retenue* : de sorte que lorsque le piston

Hassenfratz, *Sydérotechnic*, pl. 26 et suiv. — Karsten, *Métallurgie du fer*, pl. 1.

descend, l'air entre dans la caisse non-seulement par les *souppes d'aspiration*, mais encore par les porte-vents. Le vice est aussi manifeste que grand; l'air chaud du fourneau rentre dans la caisse, et n'y produit pas, lorsqu'il est chassé de nouveau, le même effet que produirait l'air frais dont il a pris la place : de plus, à chaque expiration, tout l'air condensé contenu dans le porte-vent, sur-tout lorsqu'il est fort long, n'est pas expulsé; une partie rentre dans la caisse lors de l'aspiration, et cette partie, alternativement condensée et dilatée, consomme sans effet utile une portion de la force motrice; elle prend la place d'un air qui serait employé utilement, et augmente ainsi l'*espace nuisible*. Mes représentations à cet égard n'ont pas été par-tout suivies de succès.

Il en est de même de celles que j'ai faites sur le défaut des réservoirs d'air. De chaque caisse part un long porte-vent, qui a quelquefois 33 mètres (100 pieds), et qui va à la tuyère. Si le fourneau fournit à six feux, par exemple, il faudra douze tuyaux de conduite. On pourrait et l'on devrait réduire ce nombre de moitié; il suffirait, à défaut d'un réservoir ou régulateur hydraulique, d'une petite caisse recevant le vent des deux soufflets, et d'où partirait un seul tuyau-vente pour chaque feu : mais les ouvriers ne veulent pas sortir de leur routine; ils exigent deux buses dans une même tuyère et deux porte-vents : il en résulte une double dépense en tuyaux et une double chance de perte d'air. Cependant à Ichoux et dans quelques autres forges, on a adopté, notamment pour les martinets, le perfectionnement que je viens d'indiquer.



Les buses qui terminent les porte-vents avaient  $0^m,04$  (18 lignes) de diamètre, à leur orifice, dans les hauts-fourneaux; et  $0^m,027$  (12 lignes) dans les affineries; depuis quelques années, ces dimensions ont été un peu augmentées.

Les dispositions relatives à l'emploi du moteur et à la transmission-des mouvemens sont presque par-tout bien imparfaites. Les roues qui reçoivent l'action du courant sont généralement des roues à augets; mais avec des chutes de 4 mètres (12 pieds) et avec des roues de cette hauteur, l'eau n'est donnée quelquefois qu'à  $2^m,30$  (7 pieds) au-dessous du sommet. Ailleurs, avec une pareille chute, on n'a que des roues de 2 mètres (6 pieds). Toutefois, à la forge de Castets et aux martinets du Brand et de Castelnau, j'ai vu des roues de  $3^m,25$  (10 pieds), et recevant l'eau par-dessus, et d'une manière convenable.

Dans plusieurs forges, l'arbre tournant qui porte les cames opérant la levée des pistons est distinct de l'arbre de la roue; la communication du mouvement est établie, presque toujours sans nécessité, par des engrenages qui augmentent les chances d'accidens et d'irrégularité dans le jeu de la machine, et qui absorbent en pure perte une portion de la force motrice.

Les cames sont ou des bras rectilignes terminés par une grosse roulette en fonte qui saisit et élève le mentonnet du piston; ou elles sont en forme de D, et coulées avec le gros anneau de fonte qui les porte: on en met ordinairement trois sur le même anneau. Certainement

on a ici beaucoup de solidité, et c'est un avantage majeur; mais l'on pourrait avoir en outre une disposition mieux entendue. J'ai souvent vu la roue hésiter et presque s'arrêter au moment où la came choquait le mentonnet. Aux aciéries de Toulouse et de Pamiers, on fait usage de cames en forme de roue excentrique, d'après des dessins que j'ai communiqués; mais la courbe n'ayant pas été bien exécutée, il y a encore un peu d'irrégularité dans le mouvement: ces cames ont le grand avantage d'accompagner le piston tant en descendant qu'en montant, et de prévenir ainsi les secousses qui détériorent et ruinent les machines en peu de temps. Les chocs et les secousses doivent être évités, par-dessus tout, dans les machines des mines et usines, dût-on transmettre le mouvement par des moyens qui semblent inférieurs en théorie, tels que les manivelles.

Qu'on ne s'étonne pas si, d'après tant d'imperfections, la plupart des machines observées produisent si peu d'effet comparativement à la force qu'elles emploient.

#### *Observations.*

Les observations faites sur chacune des machines que j'ai été à même d'étudier, sont portées au tableau suivant. Une note relative à chacune d'elles renfermera ou quelque remarque particulière, ou quelque détail sur cette machine; les notes sont renvoyées à la fin du mémoire.

## RÉSULTATS DES OBSERVATIONS SUR LES SOUFFLETS A PISTON.

Nos.	DÉSIGNATION de L'USINE.	DÉPARTEM.	FEUX activés par le soufflet.	GRANDEUR DU SOUFFLET ET DE LA PISTONNE.				MANOMÈTRE.		PORTE-VENT.		SURFACE de l'orifice des buses.	QUAN- TITÉ d'air sortie des buses en une se- conde.	RAPPORT entre		
				Surface du piston.	Haut. de la le- vée du piston.	Niveau dé- terminé en une minseconde.	Hau- teur de la chute.	A l'en- trée du porte- vent.	A l'ex- trém. du porte- vent.	Lon- gueur.	Dia- mètre.			la force et l'		l'air as- piré et l'air sorti par les buses.
														effet.	effet utile.	
1	Aci. de Toulouse.	Hte.-Gar.	3 f. de cor. et ét.	m. car. 1,69	mètre. 0,66	m. cub. 360,136	mét. 5,35	mét. 0,013	mét. 0,0125	mét. 20	mét. 0,15	mét. car. 0,00514	m. cub. 0,267	0,31	0,10	0,41
2	<i>Idem.</i>	<i>Id.</i>	3 f. de cor. et ét.	2,07	0,59	920,574	3,22	0,030	0,027	24	0,125	0,00636	0,507	0,15	0,10	0,78
3	Martinet-Bosc.	<i>Id.</i>	5 f. de corroy.	1,72	0,68	310,227	3,40	0,022	.....	.....	.....	0,00626	0,227	0,30	0,15	0,69
4	Aciér. de Pamiers.	Ariège.	4 f. de cor. et étir.	1,10	0,75	270,517	1,69	0,018	.....	.....	.....	0,00305	0,194	0,10	0,05	0,52
5	Forge de Grezes.	Lot-et-Gar.	1 h.-fourn., 1 af.	2,64	0,58	180,292	3,05	0,045	.....	.....	.....	0,00283	0,286	0,32	0,19	0,61
6	F. du Moulinet.	<i>Id.</i>	2 feux d'affinerie.	2,13	0,67	190,293	3,90	0,048	.....	.....	.....	0,00180	0,189	0,23	0,10	0,43
7	Forge de Cuzorn.	<i>Id.</i>	1 f. catal., 2 mart.	2,64	0,76	90,238	3,40	0,043	.....	.....	.....	0,00214	0,212	0,23	0,15	0,67
8	F. de Sauveterre.	<i>Id.</i>	1 h.-fourn., 2 af.	2,30	0,56	180,168	3,90	0,040	0,037	25	0,08	0,00314	0,288	0,32	0,21	0,74
9	Martinet de Sauv.	<i>Id.</i>	2 f. de martin.	1,30	0,59	180,152	2,30	0,025	0,020	16	0,07	0,00135	0,090	0,23	0,07	0,39
10	Forge du Brand.	Gironde.	1 h.-fourn., 1 af.	2,13	0,85	100,21	4,40	0,036	.....	.....	.....	0,00207	0,185	0,16	0,09	0,63
11	Soufflet hydrauliq.	<i>Id.</i>	2 f. d'affinerie.	2,89	0,57	160,096	4,30	0,032	.....	.....	.....	0,00181	0,153	0,46	0,16	0,70
12	Forge de Béliet.	<i>Id.</i>	1 h.-fourn., 2 af.	2,37	0,69	170,513	3,03	0,039	0,030	42	0,09	0,00394	0,318	0,27	0,16	0,70
13	F. de Castelnau.	<i>Id.</i>	1 haut-fourn.	2,00	0,76	170,110	7,00	0,049	0,035	33	0,10	0,00171	0,158	0,38	0,09	0,34
14	F. de Castelnau.	<i>Id.</i>	1 feu d'affiner.	1,54	0,65	240,141	3,25	0,040	0,029	33	0,10	0,00159	0,128	0,47	0,11	3
15	Forge d'Ichoux.	Landes.	3 affin., 1 p. forg.	2,46	0,70	170,.....	.....	0,030	0,0244	135	0,162	0,00270	0,200	.....	.....	0,40
16	Fourn. de Pissos.	<i>Id.</i>	1 haut-fourn.	1,82	0,80	90,115	3,95	0,032	.....	.....	.....	0,00193	0,162	0,21	0,15	0,74
17	Forge de Pontens.	<i>Id.</i>	1 h.-f., 2 af., 1 ma..	3,10	0,56	180,454	2,80	0,045	.....	.....	.....	0,00380	0,381	0,25	0,18	0,74
18	Forge d'Uza.	<i>Id.</i>	1 h.-f., 4 af., 2 m.	3,88	0,58	210,541	3,90	0,059	0,052	29	0,08	0,00554	0,604	0,30	0,19	0,77
19	Forge de Castets.	<i>Id.</i>	1 h.-fourn., 2 af.	3,03	0,68	150,149	4,48	0,047	0,042	20	0,10	0,00300	0,295	0,49	0,24	0,59

Je vais exposer succinctement la manière dont mes observations ont été faites; j'indiquerai en même temps l'étendue des erreurs que je puis avoir cominises, et je fixerai ainsi le degré de confiance qu'elles peuvent mériter.

J'ai mesuré moi-même les dimensions des caisses, ainsi que les hauteurs de levée des pistons; cette dernière quantité est assez difficile à prendre dans une machine en mouvement, et je n'en saurais répondre à 2 ou 5 centimètres (un pouce) près.

Je ne répondrai encore qu'à un vingtième et même à un quinzième près du nombre de levées des deux pistons d'une machine.

Souvent je n'ai pu mesurer directement l'orifice des buses; il était trop difficile de les sortir de la tuyère: alors il a fallu m'en rapporter au dire des maîtres-ouvriers, ou prendre mes mesures sur les buses de remplacement ou de réforme qui étaient dans l'usine: même, lorsque j'avais les buses à ma disposition, la détermination rigoureuse de leur orifice était souvent presque impossible; ces orifices, originaires circulaires, ayant été ou déformés ou brûlés sur une partie de leur pourtour, l'erreur que je puis avoir commise dans mes déterminations, en me rapprochant trop du cercle, tendrait à donner une trop grande surface, et par suite un trop grand produit.

L'eau motrice est donnée ordinairement aux roucs par une vanne; quelquefois elle l'est par une sorte d'entonnoir ou de trémie, dite *bec de canne*. Je mesurais la largeur et la hauteur de l'ouverture, ainsi que la hauteur de l'eau, depuis le centre de l'ouverture jusqu'au niveau du ré-

servoir, et à l'aide des règles dont je parlerai dans la suite, j'en déduisais la quantité d'eau tombée sur la roue. Prendre exactement ces diverses mesures n'est pas sans difficulté dans une usine en activité, où l'on n'est qu'en passant, et au milieu d'ouvriers toujours prêts à murmurer dès qu'on dérange un seul instant leur travail.

La chute se déterminait en prenant la différence de niveau entre la superficie de l'eau dans le réservoir et le bas de la roue.

Les observations ayant pour objet la mesure de la tension ou force élastique de l'air dans la machine, et par suite la détermination de la quantité de vent qui en sort, étaient encore plus délicates que celles dont je viens de parler. Je les faisais à l'aide d'un manomètre ou pèse-vent à mercure, pareil à celui que MM. Thiebaud et Tardy ont décrit dans leur beau mémoire sur les trompes (*Annales des Mines*, tom. VIII); cet instrument est l'œuvre de leurs mains, et je le dois à leur amitié. Je le plaçais d'abord sur les caisses soufflantes, dans un trou de tarière, que je faisais pratiquer sur leur couvercle. Habituellement, lorsque le piston, choqué par la came, commençait à monter, le mercure s'élevait, comme par secousse, à une grande hauteur; il retombait ensuite, et puis, en se relevant, il oscillait, pendant le temps de la levée du piston, entre deux points, en se tenant fréquemment plus près de l'un que de l'autre: on voit par là que la détermination de la hauteur moyenne prête à l'arbitraire, et est remise à l'intelligence et presque à la bonne foi de l'observateur. Malgré le scrupule avec lequel j'ai cherché à la faire, je ne saurais, dans la plupart des cas, en répondre à un milli-



mètre (demi-ligne) près. Après avoir ainsi mesuré la force élastique de l'air sur les caisses ou à la naissance des porte-vents, j'ai voulu avoir cette force à l'extrémité des mêmes porte-vents, près des buses par lesquelles l'air sort. Dans presque toutes nos usines, les tuyaux porte-vents arrivent aux feux en descendant le long du mur où est la tuyère; parvenus à la hauteur de cette tuyère, ils se plient, et vont horizontalement s'adapter aux buses: un peu au-dessus du coude, ils sont percés d'un trou ayant environ un pouce de diamètre, et auquel est adapté un petit tube de 2 à 3 pouces de long; on le bouche à volonté; c'est, en terme du pays, l'*échappoir* par lequel l'ouvrier fait sortir le vent lorsqu'il ne veut point qu'il entre dans le feu. Le manomètre était adapté au tube par l'intermédiaire d'un petit tuyau de peau: en général, il y présentait les mêmes circonstances de mouvement que sur les caisses.

On voit, par ce qui vient d'être dit, que nos observations n'ont pas été faites avec cette rigoureuse exactitude nécessaire à celles qui sont destinées à l'établissement ou à la vérification d'une théorie; il y avait presque impossibilité de les faire ainsi. Mais elles peuvent être utiles à la pratique; elles serviront à l'éclairer, et cette considération m'a engagé à les publier, quoique la majeure partie en soit faite depuis près de quatre ans.

#### *Modes de calcul.*

J'indique les divers modes de calcul auxquels j'ai soumis ces observations.

La force d'un cours d'eau est représentée, ainsi

que l'on sait, par la masse d'eau tombée en une seconde, multipliée par la hauteur de la chute.

Nous avons déterminé la masse, ou plutôt le volume d'eau, en multipliant la surface de l'ouverture qui la verse sur la roue, par la vitesse due à la hauteur de l'eau au-dessus du centre de cette ouverture, et par un coefficient de *contraction de la veine*; ce coefficient a varié suivant les cas. Lorsque l'eau sortait par une ouverture de vanne, uniquement en vertu de la pression de l'eau derrière la vanne, on a pris 0,64 pour coefficient, d'après les expériences faites par Eytelwein sur les écoulemens par des ouvertures de vanne à bords non évasés. On a pris 0,72 lorsque la vanne était placée sur un coursier, l'eau arrivant à l'ouverture avec une vitesse déjà acquise; on s'est conformé à ce qui se pratique sur le canal du midi, où l'on prend  $\frac{11}{15}$ ; enfin on s'est servi de 0,90 pour coefficient, lorsque l'écoulement a eu lieu par les trémies dites *becs de canne*: ce nombre est indiqué par les expériences faites sur des tuyaux additionnels de forme conique.

Afin de diminuer l'étendue du tableau, nous n'y avons noté que les deux élémens de la force, le volume d'eau et la hauteur de la chute. Le volume, multiplié par 1000 kilogrammes, donnera la masse (1000 kilogrammes étant le poids d'un mètre cube d'eau).

Nous déterminerons la quantité d'air sortie par les buses en multipliant la surface de l'orifice de sortie par la vitesse due à la hauteur d'une colonne d'air, produisant, par son poids, la pression en vertu de laquelle l'air sort: mais ce produit doit-il encore être multiplié par un coefficient de contraction, comme nous venons de

voir qu'il en était usé pour l'eau? En d'autres termes, y a-t-il contraction de veine lorsque de l'air comprimé dans un vase en sort par un orifice? Une expérience de M. Girard semblerait l'indiquer : ce savant ayant chargé un gazomètre de manière à produire une pression manométrique de  $0^m,00249$ , a fait, dans ses minces parois, une ouverture de  $0^m,016$  (7 lignes) de diamètre. La dépense par cet orifice a été de  $0,197$  mètres cubes en une minute (1); d'après la règle ci-dessus, on aurait eu  $0,275$  : ce résultat serait ainsi de  $0,28$  trop fort, et indiquerait un coefficient de réduction égal à  $0,72$  (on se rappellera que le coefficient pour l'eau sortant par un orifice en minces parois est  $0,62$ ). Mais comme l'expérience de M. Girard n'a pas été répétée, que les buses, étant coniques, ne doivent pas donner lieu à une forte contraction, enfin que cette contraction n'est pas admise par les auteurs, nous ne ferons pas de réduction, en observant toutefois que s'il en existe une, ce qui est assez vraisemblable, elle diminuerait encore l'estimation déjà si petite de l'effet de nos machines.

Nous renvoyons à la fin de ce mémoire une note, dans laquelle j'ai établi, en moins de trois pages, et d'une manière qui me semble complète, toute la théorie mathématique des machines soufflantes, en ce qui tient au calcul de leur produit et de leur effet.

Cet effet, en prenant ce mot dans sa plus grande étendue, comprendrait la somme des résistances vaincues, telles que les frottemens des parties

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, tome 16.

solides de la machine, les pertes de mouvement par le choc des cames, le poids des pistons à élever, lequel n'est jamais bien équilibré malgré les contre-poids employés à cet effet; enfin l'effort à faire pour condenser l'air et le forcer à passer par un orifice déterminé avec une certaine vitesse. Ce dernier effort sera l'effet de la machine soufflante proprement dite, celui dont nous allons traiter.

Cet effort est indiqué par le manomètre; il est évidemment le même que si le piston avait simplement à élever une couche de mercure qui le couvrirait entièrement, et dont l'épaisseur serait la hauteur de la colonne de ce fluide dans le manomètre : ainsi le poids de cette couche, multiplié par la hauteur de son élévation en une seconde, c'est-à-dire multiplié par la vitesse du piston, sera l'expression de l'effet. Soit  $u$  cette vitesse,  $r$  la surface du piston,  $h$  la hauteur du manomètre,  $\Delta$  la densité du mercure, l'effet en question sera  $r\Delta hu$ . Soit, de plus,  $v$  la vitesse de sortie du vent,  $s$  la surface de l'orifice de sortie, on aura nécessairement  $ru = sv$ . Soit, enfin,  $M$  la masse d'air sortie en une seconde,  $\delta$  la densité de cet air,  $sv$  étant son volume, on aura

$$M = s.v.\delta, \text{ et } ru = \frac{M}{\delta} :$$

substituant cette valeur dans l'expression  $r\Delta hu$  de l'effet, elle deviendra  $Mh\frac{\Delta}{\delta}$ ; mais  $h - \frac{\Delta}{\delta}$  est la hauteur due à la vitesse de sortie (Voy. page 191). Donc, l'effet d'une machine soufflante est le produit de la masse d'air sortie par la hauteur due à la vitesse de cette masse : or, cette hauteur



est proportionnelle au carré de la vitesse ; ainsi l'effet sera proportionnel à la masse multipliée par le carré de la vitesse : ce sera donc une *force vive*.

Si dans une machine soufflante il n'y avait aucune perte d'air, et si cet air, en allant par les porte-vents de la caisse à la buse, n'éprouvait aucune résistance, l'effet ci-dessus serait aussi l'effet utile. Mais les deux causes que nous venons d'indiquer, les pertes et la résistance des conduites, rendent toujours ce dernier effet inférieur au premier. Il n'y a d'air utilisé que celui qui entre dans le feu, ou, ce qui revient au même, qui sort par la buse. Ainsi l'effet utile sera exprimé par la masse d'air uniquement sortie par les buses, multipliée par la hauteur due à la vitesse de sortie, et cette dernière hauteur est indiquée, non plus par le manomètre placé sur les caisses, mais par celui placé près les buses.

La différence entre les deux sortes d'effet, abstraction faite des pertes d'air, indique donc la résistance que l'air éprouve dans les conduites. Sa connaissance est du plus grand intérêt dans l'établissement des usines ; elle met à même de déterminer jusqu'à quelle distance on peut convenablement éloigner un feu de soufflet qui doit l'activer. Cependant nous n'avons que des notions vagues et presque contradictoires sur cet objet important. Un célèbre mécanicien allemand, Baader, dans un *Traité ex professo* sur les machines soufflantes, dit que dans une conduite de 0<sup>m</sup>,30 (un pied anglais) de diamètre, toute la force d'une grande roue hydraulique n'a pu porter le vent à 200 mètres (1). En dernier lieu,

(1) *Journal des Mines*, t. XXVI, p. 115.

M. Girard, dans une suite de très-belles expériences sur le mouvement des gaz dans les tuyaux, trouve qu'une conduite de 109 mètres (335 pieds) de long et 0<sup>m</sup>,016 (7 lignes) de diamètre, a diminué des neuf dixièmes la dépense (1). D'un autre côté, M. Clément-Desormes, opérant sur une conduite de 447 mètres (1375 pieds) de long et de 0<sup>m</sup>,25 (9 pouces) de diamètre, n'a éprouvé qu'une perte de 35 pour 100 (2). Des expériences de M. l'ingénieur Charbaud sur une conduite de 29 mètres (90 pieds), et de 0<sup>m</sup>,095 (3  $\frac{1}{2}$  pouces) de diamètre, ne donnent que 9 pour 100 de perte (3).

Mes observations confirment la modicité du déchet sans toutefois résoudre la question : au reste, elle va l'être directement, en ce qui concerne l'application aux usines, par une suite d'expériences que je serai bientôt à même de faire, en conséquence d'une décision de M. le Directeur général des ponts et chaussées et des mines, dans l'établissement d'un ventilateur aux mines de Rancié, lequel doit y porter l'air à une distance de 480 mètres (1480 pieds) (4).

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. 16.

(2) *Journal des Mines*, t. 29, p. 301.

(3) *Sydérotechnie*, tome 2, p. 105.

(4) On admet généralement, et par approximation, que la résistance des conduites au mouvement des fluides est en raison directe du carré de la vitesse, de la longueur de la conduite et en raison inverse de son diamètre. S'il en était ainsi du mouvement de l'air dans les porte-vents de nos forges, en appelant  
*L* la longueur de la conduite,  
*D* son diamètre,  
*v* la vitesse du vent dans la conduite,  
*d* le diamètre de la buse,  
*V* la vitesse du vent sortant par cette buse,

L'effet dynamique d'une machine soufflante se compose de deux facteurs ; savoir, la quantité d'air et la vitesse (carrée) avec laquelle elle sort ; mais l'effet métallurgique, celui qui fait, par exemple, qu'un fourneau rend plus de fonte dans le même temps, toutes choses égales d'ailleurs, dépend principalement de la quantité d'oxygène, et par conséquent de la quantité d'air qui entre dans le fourneau dans un temps donné ; et pourvu que la vitesse ne descende pas au-dessous d'une certaine limite, que j'indiquerai par la suite, elle est à-peu-près indifférente au maître de forge ; il ne s'occupe que de la quantité. J'ai cru, d'après cela, lui présenter un résultat intéressant, en indiquant dans une colonne spéciale du tableau quelle est la quantité d'air utilisée réellement, comparativement à celle que la machine soufflante fournit ou est censée four-

on aurait pour expression de la résistance,

$$m \frac{Lv^2}{D} = m \frac{LV^2 d^4}{D^5}$$

$m$  étant un coefficient constant, et observant que

$$v = V \frac{d^2}{D^2},$$

puisque, dans une même conduite, les vitesses sont en raison inverse des sections des tuyaux ou orifices par lesquelles le fluide passe.

La hauteur ( $h$ ) du manomètre à la naissance de la conduite, représente la pression ou force qui pousse et meut l'air dans les tuyaux, et la hauteur ( $h'$ ) du manomètre à l'extrémité de la conduite exprime la pression en vertu de laquelle a réellement lieu la vitesse de sortie. Si les tuyaux n'opposaient aucune résistance au mouvement, on aurait  $h = h'$  ; et  $h - h'$  est évidemment la portion de force ab-

nir. Cette dernière quantité, dans la supposition d'une construction parfaite, serait toujours égale au volume de la caisse soufflante, multiplié par le nombre de coups de piston dans l'unité de temps. Mais, d'abord, tout cet air n'est pas réellement aspiré par la machine, le poids des soupapes et l'étranglement de leurs ouvertures empêchent que la caisse ne se remplisse entièrement d'air à la densité de l'atmosphère ; toutefois le déchet provenant de cette cause est extrêmement petit, et peut être négligé même dans le cas d'une construction ordinaire. Celui qui résulte de l'espace nuisible, c'est-à-dire de l'espace qui reste entre le piston au haut de sa course et la soupape de retenue, bien que plus considéra-

sorbée par la résistance, ou l'effet de la résistance : on aura donc

$$h - h' = m \frac{LV^2 d^4}{D^5};$$

mais la vitesse  $V$  est due à la hauteur  $\phi h'$ ,  $\phi$  étant le rapport de la densité du mercure à celle de l'air (Voy. note 1 à la fin du mémoire) ; on a donc  $V^2 = 2g\phi h'$ . Bien que  $\phi$  dépende des hauteurs du baromètre et du thermomètre, on peut ici le regarder comme constant, et l'on aura définitivement

$$h - h' = n h' \frac{Ld^4}{D^5},$$

$n$  étant un coefficient constant à déterminer par l'expérience.

Mes observations et celles de M. Girard, étant loin de donner une valeur constante à  $n$ , sembleraient indiquer que les lois qui régissent le mouvement des fluides incompressibles dans les conduites, ne sont pas entièrement applicables au mouvement de l'air dans les tuyaux adaptés aux machines soufflantes : des expériences directes sont absolument nécessaires pour déterminer les circonstances de ce dernier mouvement.

ble, est encore moins grand qu'on ne le croit généralement; dans une seule observation, je l'ai trouvé de  $\frac{1}{33}$ , rarement va-t-il à un centième. ( Soit  $n$  le volume de l'espace nuisible,  $r$  la surface du piston,  $l$  la longueur de la course, la quantité d'air aspirée ne sera plus  $rl$ , mais

$$rl - n \frac{h}{b+h},$$

$h$  étant la hauteur du manomètre et  $b$  celle du baromètre). Habituellement j'ai fait la réduction en diminuant d'un ou deux centimètres, suivant le cas, la longueur de la course du piston. Ainsi, la différence entre l'air aspiré par les pistons et l'air expiré par les buses ne proviendra guère que des pertes d'air qui ont lieu, soit entre les bords du piston et les parois de la caisse, notamment aux angles, soit à la jonction du couvercle à la caisse et du porte-vent au couvercle, soit aux joints du porte-vent : ces tuyaux, ayant souvent plus de 100 pieds de long, et étant composés de feuilles de fer-blanc d'un pied, et quelquefois moins de longueur, ne peuvent que présenter, dans leurs joints, des issues à l'air.

Ainsi, à l'aide des calculs que je viens d'indiquer, j'ai déduit de mes observations sur chaque machine :

1°. La force employée à la mettre et tenir en mouvement ;

2°. La quantité d'air aspirée, exprimée en mètres cubes par seconde ;

3°. La quantité d'air expirée par les buses, exprimée de la même manière et réduite à la densité de l'atmosphère ;

4°. L'effet, ou l'effort pour condenser l'air aspiré, et le forcer à passer par les porte-vents et par les diverses ouvertures qui lui donnent issue ;

5°. L'effet utile, ou l'effort pour faire sortir uniquement par les buses l'air qui en est réellement sorti.

Pour simplifier le tableau, y rendre plus aisés à saisir d'un coup-d'œil les résultats indiquant le degré de bonté des machines, ainsi que pour faciliter les comparaisons, au lieu de noter explicitement les deux sortes d'effets obtenus par le calcul, je me suis borné à donner, pour chaque machine, leur rapport avec la force employée, cette dernière étant prise pour unité. Ainsi l'on voit qu'à la machine d'Uza, l'effet total est les  $\frac{31}{100}$ , et l'effet utile les  $\frac{19}{100}$  de la force. Par une raison semblable, je n'ai pas porté au tableau la quantité d'air aspirée, mais seulement son rapport avec la quantité employée utilement. Au reste, le tableau portant un des deux termes du rapport et l'expression de ce rapport, il sera toujours aisé de reproduire l'autre terme.

Les hauteurs du baromètre et du thermomètre, bien que nécessaires et employées dans nos calculs, ne sont pas mentionnées au tableau ; le plus souvent elles n'ont été prises que par approximation, et cela était suffisant, vu leur faible influence dans les résultats lorsqu'elles varient peu. Durant mes observations, celles du baromètre n'ont varié qu'entre 0<sup>m</sup>,75 et 0<sup>m</sup>,765, et celle du thermomètre entre 10 et 15°.

#### Conséquences.

En jetant les yeux sur la dernière colonne du tableau, celle qui exprime le rapport entre l'air



aspiré par les pistons et l'air soufflé dans le feu par les buses, nous voyons que les pertes de vent ont été considérables; elles ont été des deux tiers de l'air aspiré dans quelques machines, et d'un tiers ou d'un quart dans les bonnes.

Comparant l'effet produit avec la force employée à le produire, nous voyons que nulle part il n'en est la moitié, et que, dans quelques cas, il n'en est même que le dixième. La partie de la force consommée sans produire d'effet soufflant, si je puis m'exprimer ainsi, a été perdue par la roue hydraulique, absorbée par les chocs, et employée à vaincre les frottemens des parties solides, ainsi que le poids des pistons. On sait que les roues hydrauliques ne prennent pas toute l'action du moteur qu'on leur applique; que les roues à aubes en prennent moins que les roues à augets; que les meilleures de celles-ci n'en prennent que les deux tiers, d'après les expériences de Smeaton; et qu'elles en prennent d'autant plus qu'elles reçoivent l'eau à une plus grande hauteur. Aussi voyons-nous que là où nous avons des roues à augets de 3<sup>m</sup>,30 (10 pieds), recevant l'eau entièrement par-dessus, comme à Castets et aux martinets du Braud et de Castelnau, la perte de force est moins grande qu'ailleurs; et nous pouvons admettre que, dans un soufflet à piston bien disposé, il restera près de la moitié de la force motrice pour condenser et expulser l'air aspiré.

Mais encore plus de la moitié de cette moitié sera rendue nulle par l'effet des pertes d'air et par la résistance des tuyaux, et il n'en restera que peu produisant l'effet réellement utile, c'est-à-dire poussant par la buse l'air dans le four-

neau. Dans la meilleure de nos machines, celle de Castets, cette portion n'est pas le quart de la force primitive; dans les bonnes (celles d'Uza, de Béliet, de Pontens), elle n'en est pas le cinquième; dans la plupart, elle est bien moindre encore, et nous devons conclure que *dans une machine soufflante à piston et à caisse de bois, d'ailleurs bien disposée, l'effet utile n'y sera guère que la cinquième partie de la force employée à la mouvoir, et que dans l'état habituel il n'en sera même que la sixième*: tel est le résultat principal de mes observations.

Dans cette diminution d'un effet à l'autre, ou même dans la différence de hauteur des deux manomètres, dont l'un serait placé à la naissance des conduites et l'autre à leur extrémité, il est impossible d'assigner ce qui est uniquement dû à la résistance de ces conduites, à cause des pertes d'air souvent imperceptibles qui se trouvent sur divers points de leur longueur. Toutefois, nous avons une expérience faite sur une longue conduite, 135 mètres (415 pi.), et avec beaucoup de soin, qui apprend que l'effet à la naissance de la conduite étant représenté par 100, l'effet à l'extrémité l'est par 73, et que la quantité d'air soufflée par les buses, si elles eussent été adaptées immédiatement à la caisse soufflante, est à la quantité qu'elles ont réellement donnée étant placées à l'extrémité de la conduite, comme 100 est à 90 (les effets sont à très-peu près proportionnels à  $h^3$ , et la quantité d'air à  $h^2$ ). Ainsi, le déchet ne serait que d'un dixième, et encore est-il probable qu'une partie en est due à quelques pertes d'air. C'est très-vraisemblablement par suite de telles pertes qu'à la forge de Béliet une conduite

de 42 mètres donne 12 pour 100 de déchet, et qu'à Castelnau une de 33 mètres en donne 15; tandis qu'à Sauveterne on n'en a que 5, quoique le diamètre de la conduite soit plus petit : la vitesse et la longueur y sont d'ailleurs peu différentes.

*Application à la pratique.*

Avant de déduire des résultats que nous venons d'exposer des règles pratiques pour l'établissement des machines soufflantes, il faut examiner la quantité de vent qu'elles auront à fournir aux diverses espèces de feux (hauts-fourneaux, forges catalanes, affineries, chaufferies) en usage dans nos usines à fer, celles du sud-ouest de la France. J'ai donné une attention particulière à cet objet, et je me base uniquement sur l'expérience.

Je commence par les hauts-fourneaux. L'effet du vent dépend de la vitesse et de la quantité. La vitesse est principalement mise en rapport avec la nature du combustible; elle sera de 80 à 85 mètres (240 à 260 pieds) par seconde pour des charbons tendres, sapin, pin, châtaignier domestique; de 85 à 90 mètres (260 à 280 pieds) pour des charbons durs, chêne, hêtre: on irait jusqu'à 100 mètres (300 pieds) dans de très-grands fourneaux alimentés par des charbons très-durs. De plus grandes vitesses sont plus nuisibles qu'avantageuses, et ne servent qu'à accélérer la ruine des pierres du *contrevent*: il vaut beaucoup mieux, lorsqu'on a besoin d'une grande quantité de vent, augmenter le diamètre des buses, et bien mieux encore l'introduire par deux tuyères opposées; il se répand alors plus

uniformément dans l'*ouvrage*, qui en est moins dégradé, et par suite les fondages durent plus long-temps.

Dans les fourneaux de nos contrées, qui ont 8 mètres (25 pieds) de haut et 2 mètres (6 pieds) de diamètre aux *étalages*, où l'on fond des minerais d'alluvion rendant de 33 à 40 pour cent et 2500 kilog. de fonte en vingt-quatre heures, 10 mètres cubes d'air (300 pi. cub.) par minute sont suffisans. Avec 13 mètres cubes (400 pieds) on peut se promettre 3000 kil. de fonte par jour; enfin, dans les hauts-fourneaux de 10 mètres (31 pieds) de hauteur, de 2<sup>m</sup>,50 (8 pieds) de diamètre aux étalages, avec des minerais plus difficiles à fondre et de forts charbons, je ne pense pas qu'on doive dépasser 20 mètr. cubes (600 pieds). Quant au travail à l'aide du charbon de houille (*coak*), les Anglais affirment que leurs fourneaux de 40 à 60 pieds de haut exigent de 1000 à 1500 de leurs pieds cubes d'air (800 à 1200 des nôtres). A la fonderie de Vienne en Dauphiné, j'ai vu donner 38<sup>m</sup>,70 (1130 pieds) avec une vitesse de 126 mètres (388 pieds).

Je remarquai qu'il y a en général exagération dans les quantités de vent indiquées par les auteurs. Elles ont été calculées primitivement en cubant les soufflets, et nous avons vu qu'ils n'aspirent pas habituellement tout l'air indiqué par leur capacité, et que jamais ils n'envoient dans les foyers tout l'air aspiré. Dans les déterminations qui ont été faites avec le manomètre, cet instrument n'a pas été toujours placé près des buses, ainsi que cela eût dû être; enfin, nous avons remarqué qu'il était vraisemblable que les

formules péchassent par excès. On disait généralement autrefois que les hauts-fourneaux du centre de la France dépensaient 400 pieds cubes d'air, et ils n'en recevaient pas réellement moitié. Dans l'ouvrage même de M. Karsten, incomparablement le meilleur de tous ceux qui ont été publiés sur la métallurgie du fer, il me semble qu'on dit beaucoup trop lorsqu'on indique comme quantité simplement suffisante 36 mètres cubes (1050 pieds cubes) pour un haut-fourneau à charbon de bois, lequel fourneau, il est vrai, aurait 12 mètres (37 pieds) de hauteur et 3<sup>m</sup>,60 (11 pieds) de diamètre (§ 610), et lorsqu'on dit qu'un fourneau ne rendant que 2342 kil. en vingt-quatre heures emploie 23,75 mètres cubes (704 pieds) par minute (§ 541), je crois encore qu'on porte trop haut, dans ce Traité (§ 604) la hauteur due à la vitesse du vent.

Dans les hauts-fourneaux, la force et la quantité de vent restent toujours les mêmes : il n'en est pas de même dans les forges catalanes ; elles y varient et augmentent graduellement durant la confection du même *masset*. Dans les bonnes forges de l'Ariège, qui rendent habituellement 160 kil. de fer en barres par *masset* et 24 *massets* par semaine, on donne, au commencement, 6 mètres cubes (175 pieds) avec une vitesse de 90 mètres, on fond avec 7 mètres cubes, et on finit par un coup de vent donnant près de 8 mètres cubes (230 pieds), avec une vitesse de 115 mètres (356 pieds).

Nos feux d'affinerie n'emploient guère que 4 mètres cubes (120 pieds) avec une vitesse de 80 mètres, et nos feux de martineteur, étireur et

corroyeur demandent de  $1\frac{2}{3}$  à 3 mètres cubes, (50 à 85 pieds) avec une vitesse de 50 à 75 mètr. (150 à 220 pieds), selon leur objet.

Ces données étant établies, passons aux règles. Je vais parler principalement aux maîtres de forges, et j'emploierai leur langage, c'est-à-dire les mesures ordinaires.

I. On a un courant d'eau ; on connaît et le nombre de pieds cubes qu'il en donne par minute, et la chute qu'on a ou qu'on peut se procurer. On veut établir un soufflet à pistons dans cette localité, et l'on demande quelle quantité de vent on peut s'en promettre.

Nous admettons que ce vent entrera dans le feu avec une vitesse moyenne de 260 pieds par seconde, vitesse que nous avons vue convenir à nos hauts-fourneaux et à nos affineries. (Dans nos climats, et à une élévation au-dessus de la mer, qui n'excède pas mille pieds, elle correspond à 15 lignes du manomètre ou pèse-vent à mercure.)

On multipliera le nombre de pieds cubes d'eau par la hauteur de la chute exprimée en pieds, on prendra la huitième partie du produit, et l'on aura, en pieds cubes, la quantité d'air cherchée.

On la répartira d'après les bases ci-dessus entre les divers feux qu'on se propose d'établir.

II. Pour avoir le diamètre de la buse propre à chacun de ces feux, de manière à ce qu'il reçoive la quantité d'air qui doit lui revenir, on prendra la racine carrée de cette quantité, on l'augmentera d'un tiers, ou, plus exactement, de ses trois



dixièmes, et l'on aura, en lignes, le diamètre cherché (1).

III. La quantité d'air à employer étant connue, pour déterminer les dimensions de la machine qui doit la fournir, on augmentera de moitié cette quantité, vu les pertes inévitables; on divisera la somme d'abord par le nombre de levées des deux pistons en une minute (nombre qui ne doit pas dépasser 25 ou 30 pour les pistons à liteaux), et puis par la hauteur de la levée du piston, hauteur qu'on fixera convenablement à 2 pieds et demi; enfin on prendra la racine carrée du quotient. On aura de cette manière le côté du carré servant de base à la caisse, c'est-à-dire sa longueur et sa largeur dans œuvre. Quant à la hauteur, elle sera de 3 pieds.

(1) D'après la note 1 (page 191), on a

$$E = P \times \frac{V^2}{2g} = 0,0618 Q. V^2 = 440 Q,$$

$z$  étant 120,5,  $b = 0^m,744$ , et  $h = 0^m,0338$ .

De plus,  $F$  exprimant la force motrice,  $A$  le volume d'eau en 1'',  $C$  la chute, on aura

$$F = A.C. 1000 \text{ kil.},$$

et comme, d'après ce que nous avons vu, l'effet ne sera habituellement que la sixième partie de la force, on aura encore

$$A.C. 1000 = 6 \times 440 Q, \text{ d'où} \\ Q = 0^m,379 AC \text{ mètres cubes,}$$

ou, en pieds cubes, par seconde comme par minute,

$$Q = 0,123AC = \frac{1}{8} AC.$$

On a, en général,

$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 V, \text{ } d \text{ étant le diamètre de la buse.}$$

Mettant pour  $V$  sa valeur déduite de la valeur de  $h$  ci-dessus, prenant la minute pour unité de temps, et exprimant  $d$  en lignes, on obtiendra  $d = 1,301 \sqrt{Q}$ .

IV. Si l'on voulait opérer inversement, c'est-à-dire qu'ayant arrêté le nombre de feux à établir, et par suite la quantité de vent à dépenser, on voulût savoir quelle serait la quantité d'eau motrice nécessaire pour la machine soufflante à établir, la hauteur de la chute étant connue, on n'aurait qu'à multiplier le nombre de pieds cubes d'air par 8, et puis diviser par la hauteur de la chute.

Donnons des exemples de ces divers cas.

I. On a un courant qui fournit 300 pieds cubes d'eau par minute avec une chute de 12 pieds. Quelle quantité de vent peut-on espérer d'une machine à piston mue par ce courant?

Multipliez les 300 pieds cubes par les 12 pieds de chute, vous aurez. . . . . 3600

Prenez-en la 8<sup>e</sup>. partie, et vous obtiendrez 450 pour la quantité d'air à dépenser, exprimée en pieds cubes par minute.

II. Avec cette quantité, on veut établir un haut-fourneau de 27 pieds, on lui donnerait le vent par deux tuyères opposées; chacune dépenserait ainsi 225 pieds cubes d'air par minute: quel serait le diamètre de la buse à mettre dans chacune des deux tuyères pour obtenir ces 225 pieds cubes?

Prenez la racine carrée de 225, c'est. 15 lign.

Augmentez ce résultat de ses trois dixièmes, c'est-à-dire de. . . . .  $4 \frac{1}{2}$

Et vous aurez. . . . .  $19 \frac{1}{2}$  lign. pour le diamètre cherché.

III. Passons aux dimensions de la machine. Admettons 16 levées par minute pour les deux pistons et  $2 \frac{1}{2}$  pieds de levée par piston.

La quantité d'air utilisée est de . . . 450  
 Augmentez-la de sa moitié. . . . . 225

et vous aurez. . . . . 675  
 Divisez ce nombre par 16, il en résultera 42,19  
 Divisez-le encore par  $2\frac{1}{2}$ , il vien-  
 dra. . . . . 16,88  
 La racine carrée de ce nombre sera. . 4,11

Ainsi le piston, s'il est carré, aura de côté 4,11  
 pieds, ou 4 pieds 1 pouce et demi : s'il était  
 rond, il faudrait 4 pieds 8 pouces de diamètre.

IV. Supposons que, sur un courant d'eau, et  
 dans un lieu où l'on peut se procurer une chute  
 de 11 pieds, on veuille établir une usine consis-  
 tant : 1°. en un haut-fourneau de 25 pieds de haut,  
 alimenté par du charbon de chêne et de hêtre, et  
 donnant 5 milliers (2500 kil.) de fer par jour;  
 2°. deux affineries faisant chacune 7 quintaux  
 (350 kilog.) de fer par jour,

Il faudra, pour le haut-fourneau, quantité de  
 vent. . . . . 400 p<sup>ds</sup>. c.  
 Pour les deux affineries. . . . . 250

En tout. . . . . 650  
 Je multiplie ce nombre par . . . . . 8

et j'ai. . . . . 5200  
 Je le divise par la chute. . . . . 11  
 et le quotient. . . . . 473  
 indique le nombre de pieds cubes que le courant  
 doit fournir en une minute pour produire l'effet  
 désiré.

Des jaugeages, faits avec soin et en diverses  
 saisons, indiqueront si l'on peut compter sur  
 cette quantité, et combien de temps dans l'année  
 on peut y compter.

## NOTES.

I.

*Calcul de l'effet dans les machines soufflantes.*

Soit demandé :

La vitesse du vent au sortir de la machine. . = V  
 La quantité de vent, ou le vol. d'air sortien 1'. = Q  
 Le poids ou masse de cet air. . . . . = P  
 L'effet utile de la machine. . . . . = E.

Soit donné :

La surface de l'orifice de sortie ( orifice de  
 la buse) . . . . . = s  
 La hauteur du manomètre placé sur la ma-  
 chine . . . . . = h  
 L'indication du baromètre, dans l'atmo-  
 sphère, près la machine. . . . . = b  
 L'indication du thermomètre centigrade dans  
 cette atmosphère. . . . . = t.

Faisons  $1 + 0,004t = T$ .

On sait :

1°. Que la vitesse d'un fluide sortant d'un vase par un  
 petit orifice est égale à celle qu'aurait acquise un corps  
 pesant tombant de la hauteur comprise entre l'orifice et le  
 niveau du fluide dans le vase. ( Cette vitesse est exprimée  
 par  $\sqrt{2gH}$ ,  $g$  étant l'action de la gravité et égal à 9<sup>m</sup>,8088,  
 et H étant la hauteur.)

2°. Que lorsque l'écoulement a lieu en vertu d'une  
 pression exercée sur le fluide, telle serait celle d'un piston  
 chargé d'un poids, la vitesse est due à la hauteur d'une  
 colonne du fluide sortant, laquelle colonne aurait pour  
 base la surface pressée, et serait d'un poids égal à celui  
 qui presse.

Ces règles sont appliquées aussi aux fluides élastiques. Cela posé, si l'on adapte un manomètre à mercure à une machine soufflante, la hauteur du mercure indiquera la pression, ou plutôt l'excès de pression sur l'air de l'atmosphère, excès en vertu duquel le vent sort. Ainsi, la vitesse de sortie sera due à la hauteur d'une colonne de l'air sortant, et qui aurait même poids que la colonne mercurielle, on, ce qui revient au même, à la hauteur de cette dernière colonne, augmentée dans le rapport de la densité du mercure à celle de l'air dans la machine. On aura donc

$$V = \sqrt{2gh \frac{\text{densité du mercure}}{\text{densité de l'air}}}$$

On sait encore : 1°. que, d'après les expériences de MM. Biot et Arago, le rapport de la densité du mercure à celle de l'air est de 10467 à 1, à 0° de température, et sous la pression barométrique de 0,76; 2°. que, d'après les expériences de M. Dulong, la densité du mercure diminue de 0,00018 par degré d'accroissement de température, à partir de 0°; 3°. que, d'après les expériences de M. Gay-Lussac, la diminution de densité pour l'air est de 0,00375 par augmentation d'un degré du thermomètre, et qu'avec M. la Place on porte ce nombre à 0,004 lorsqu'on veut tenir compte de la diminution de densité due à la présence des vapeurs aqueuses dans l'air atmosphérique; 4°. enfin, que la densité de l'air augmente proportionnellement à la pression (celle qui comprime l'air dans la machine est  $b + h$ ). Ainsi,

$$V = \sqrt{2gh \frac{10467}{1} \cdot \frac{1-0,00018t}{1-0,004t} \cdot \frac{0,76}{b+h}}$$

le terme 0,00018t, étant toujours fort petit, peut être négligé sans erreur notable : de plus, la considération des vapeurs aqueuses généralement abondantes près des machines soufflantes doit porter à l'omettre. On a encore sensiblement

$$\frac{1}{1-0,004t} = 1 + 0,004t = T.$$

Donc, et en définitive,

$$V = 395 \sqrt{h \frac{T}{b+h}} \text{ mètr.}$$

Le volume d'air sorti sera évidemment, abstraction faite de toute contraction de veine,  $sV$ ; mais cette expression se rapporte à l'air pris à la densité qu'il a dans la machine. Pour le réduire à la densité de l'atmosphère circonvoisine, il faut multiplier  $sV$  par le rapport entre les densités ou pressions des deux airs  $\frac{b}{b+h}$ ; ce qui donnera, en

mettant pour  $V$  sa valeur,

$$Q = 395 \frac{s}{b} \sqrt{h(b+h)} T \text{ mètr. cub.}$$

Un mètre cube d'air, à 0°. de température et à 0,76 de pression barométrique, pèse 1,299 kil. : à  $t$ °. et  $b$  de pression, il pèsera

$$1,299 \frac{b}{0,76T} \text{ Ainsi,}$$

$$P = 676 s \sqrt{h \frac{(b+h)}{T}} \text{ kil.}$$

Enfin, l'effet utile d'une machine soufflante, étant la masse ou poids de l'air soufflé, multiplié par la hauteur dont ce poids est censé être tombé pour avoir acquis la vitesse de sortie  $V$  (voyez ci-dessus page 175), sera :

$$P \times \frac{V^2}{2g}, \text{ et, toute réduction faite, on aura}$$

$$E = 5377500 s h^2 \sqrt{\frac{T}{b+h}} \text{ kil. élevés à 1 mètr. en 1''}$$

Dans une machine à piston, les valeurs de  $V$ ,  $Q$ ,  $P$  et  $E$  peuvent être déduites des dimensions et du degré d'activité de la machine, sans l'intervention du manomètre, en admettant toutefois que tout l'air condensé sort par les buses.

Soient  $r$  la surface du piston,  $u$  sa vitesse; on a évidemment  $Q = ru$ ,  $V = u \frac{r}{s}$ , et par suite

$$E = 0,08713 \frac{bu^3}{T^2}$$



Le tableau montre que la quantité d'eau dépensée est sensiblement proportionnelle à  $h$  et non aux valeurs de  $q$ , ou, à très-peu-près, aux valeurs de  $hv$  ou de  $h^3$ , ainsi que cela devrait être d'après la théorie. La cause de la différence me paraît être dans la formule exprimant l'effet des roues mues à-la-fois par le poids et par le choc de l'eau; il serait à désirer que l'exactitude de cette formule fût vérifiée par des expériences faites en grand.

### 2. *Aciérie de Toulouse.*

Cette machine, située dans la même usine que la précédente, est presque neuve et va fort bien; il y a très-peu de pertes d'air, et si l'effet est si foible par rapport à la force employée, cela provient et de ce qu'on a ici une simple roue à palettes et d'un gaspillage d'eau.

Nous avons encore ici un grand développement de tuyaux (114 mè.), et nous nous en sommes servis pour constater l'effet des résistances; il a été plus sensible que dans l'autre machine, et nous avons eu jusqu'à 3 millimètres de différence entre les hauteurs des manomètres au réservoir et aux buses. Cette plus grande différence provient en partie de ce que l'air se mouvait dans les tuyaux avec une plus grande vitesse.

### 3. *Martinet Bosc.*

Cette usine, située dans un faubourg de Toulouse, fait partie de l'aciérie établie dans cette ville: la soufflerie y est construite d'après les mêmes principes. Les observations que je rapporte ont été faites par MM. Tardy et Thiebaud, qui les ont publiées à la fin de leur beau travail sur les trompes. Depuis, cette machine sert à un plus grand nombre de feux.

### 4. *Aciérie de Pamiers.*

C'est encore MM. Tardy et Thiebaud qui ont fait les observations à cette usine. Depuis encore, le nombre de feux a été doublé, et la machine produit un effet à-peu-près-double. Si cet effet est d'ailleurs si petit par rapport à la force, c'est qu'on n'a qu'une roue à palettes, qui prend l'eau entièrement par-dessous.

### 5. *Grèzes.*

Cette machine, à-peu-près neuve à l'époque de mes observations, en 1821, fonctionnait bien. Elle aurait produit un plus grand effet si l'on eût donné à la roue, qui n'a que 1<sup>m</sup>,93 de diamètre, 0<sup>m</sup>,50 de plus, et c'était facile.

Dans cette machine, comme dans les cinq suivantes, l'eau est donnée à la roue par un *bec de canne*.

### 6. *Moulinet.*

Sur une chute de 3<sup>m</sup>,90, la roue n'a pas 2 mètres: de là vient le peu d'effet comparativement à la force; beaucoup d'eau sort par jaillissement des augets dès qu'elle y entre. Les pistons étaient, lors de l'expérience, levés par des crémaillères, et le souffle était uniforme; mais ce mécanisme étant peu solide, on lui a substitué de grosses cames.

### 7. *Cuzorn.*

Cette usine, nouvellement établie, présente une forge catalane, la seule qui, à ma connaissance, soit activée par une machine à piston, machine qui me semble peu convenable à ce genre de feu, sur-tout lorsqu'elle sert d'autres qui exigent un vent continu, vu les variations qu'il faut faire subir à la force du vent dans le travail à la catalane. On manie avec une extrême facilité une trompe; il n'en est pas de même d'une machine à piston: la roue doit avoir une certaine vitesse, au-dessous de laquelle on ne peut convenablement descendre, si l'on veut obtenir un bon effet. D'ailleurs, malgré le préjugé contraire, les trompes donnent un vent plus fort que les pistons, puisque celles de l'Ariège, en finissant le masset, élèvent le manomètre à 0<sup>m</sup>,067 (30 lig.): aucune des machines à piston que j'ai observées ne travaille avec une pareille force, et celle du Cuzorn, qui est une des bonnes, ne porte pas même habituellement cet instrument à 0<sup>m</sup>,045 (20 lig.). De là vient, en partie, la moindre quantité de fer qu'on fait à Cuzorn, dans un même temps, comparativement aux forges de l'Ariège.

8. *Sauveterre.*

Je ne savais répondre des résultats de l'observation que je présente dans le tableau. Le manomètre m'a offert une circonstance extraordinaire; le mercure, au lieu de se porter, dès le commencement de la levée du piston, à une certaine hauteur et d'osciller autour d'un terme moyen, s'est élevé très-graduellement de 0 à 54 millim., me semblant toutefois se tenir plus près de ce dernier terme que du premier: de sorte que, sur les lieux, j'ai cru devoir fixer la moyenne à 40; mais cette fixation est presque arbitraire. L'élévation du manomètre a encore été graduelle aux *échappoirs* des buses; elle s'est portée à 49, quantité qui se réduit à 37, en suivant la même proportion: de plus, l'eau motrice n'a été jaugée que postérieurement à l'observation, et par M. le capitaine d'artillerie Carrière.

9. *Martinet de Sauveterre.*

Je ne puis également présenter que comme une approximation les données et résultats relatifs à la soufflerie de cette usine: mes observations ont été faites à des époques différentes, et je les ai ensuite combinées entre elles.

10. *Le Brand.*

Avec une chute de 4<sup>m</sup>,40 et une roue de pareille hauteur, l'eau n'est donnée qu'à 1<sup>m</sup>,70 au-dessous de son sommet; il y a même quelques années que, suivant une coutume du pays, elle n'était donnée qu'à 0<sup>m</sup>,30 au-dessus du diamètre horizontal (2<sup>m</sup>,50 au-dessous du sommet). Les pistons sont levés à l'aide de crémaillères, dont les dents, ou plutôt les fuseaux, sont en bois. Cette disposition, quoique peu solide, rendait la levée très-uniforme. Le manomètre s'élevait à 49 millim. sur une caisse et à 40 sur l'autre.

11. *Soufflet hydraulique du Brand.*

Je place parmi nos machines à piston un soufflet qui a bien quelques rapports avec elles, et qui est peut-être le seul de ce genre qui existe en France. Je donne en conséquence quelques détails.

Il y a une quinzaine d'années que le propriétaire de l'usine, M. Alexis Gignoux, homme instruit et ingénieux, ayant lu dans, le *Traité de minéralogie* par M. Brongniart (tom. 2, p. 325), le petit nombre de lignes qui concernent l'espèce de machine soufflante connue sous le nom de *soufflet hydraulique*, entreprit d'en établir une à son martinet du Brand. Il fit d'abord les cloches mobiles en feuilles de cuivre, elles crevèrent: il leur en substitua d'autres en bois; mais comme en plongeant dans l'eau elles déplaçaient une grande quantité de fluide, et qu'elles perdaient ainsi beaucoup de leur poids, malgré les dispositions faites pour les équilibrer, il fallait une assez grande force pour les enfoncer. De plus, lors de l'immersion, par le déplacement de l'eau et par l'effet de la condensation de l'air, l'eau s'élevait brusquement dans les cuves immobiles, et l'élévation se faisait souvent par jets, qui tombaient quelquefois dans l'usine, et y étaient une cause de saleté. Les cuves et cloches, avec l'échafaudage qui les soutenait en l'air, exigeaient une assez grande dépense et un assez grand entretien, et, en résultat, cette grosse machine suffisait à peine pour un martinet.

En 1818, M. Gignoux, éclairé par l'expérience, résolut de faire des cloches en fonte. J'aurais désiré que le Gouvernement l'eût assisté dans une dépense qu'il faisait encore plus dans l'intérêt de l'art que dans le sien propre. Les cloches ou cylindres, composés de pièces bien jointes, ont 1<sup>m</sup>,70 de diamètre et 1<sup>m</sup>,30 de hauteur. En 1822, époque de mes observations, cette machine était en pleine activité, et fournissait le vent à deux affineries. Les cloches se levaient d'elles-mêmes par l'effet de contre-poids, et elles étaient baissées à l'aide d'étriers saisis par les cames de l'arbre tournant, lequel était au-dessous de tout l'appareil. La grandeur de l'abaissement était de 0<sup>m</sup>,368 (21 pouc.). Au couvercle de chaque cloche était adapté un tuyau de cuir flexible, dont l'autre extrémité aboutissait à un petit réservoir commun placé à un mètre environ au-dessus des cuves. Il en partait deux porte-vents allant aux deux affineries; ils avaient, l'un 10 et l'autre 18 mètres de long, et ils étaient terminés par des buses de 0<sup>m</sup>,024 (15 lign.) de diamètre.

Le manomètre, placé sur le réservoir, a oscillé entre 22 et

36 millim., se tenant habituellement près de ce dernier nombre, et ne descendant au premier que lors de la reprise du soufflet : on peut admettre 32 pour terme moyen.

La roue hydraulique est bien disposée ; elle a 3<sup>m</sup>,25 (10 pieds) de diamètre, et reçoit l'eau entièrement par-dessus. Si, malgré cela, l'effort transmis aux cloches, et qui sert à la condensation de l'air, n'est que les 0,46 de l'effort du moteur, cela tient en partie à l'effort nécessaire pour produire l'immersion dans son dernier moment, vu la perte du poids due au déplacement du fluide.

En définitive, le soufflet hydraulique du Brand est égal en bonté et force aux machines à pistons des usines voisines, mais il exige un plus grand emplacement et plus de soins. Comme soufflet hydraulique, c'est-à-dire comme machine soufflante dans laquelle l'eau fait l'office de piston (piston fixe à la vérité), il est d'ailleurs inférieur, sous tous les rapports, à la *machine à tonneaux*, qui nous est dernièrement venue d'Angleterre, et que j'ai fait connaître dans le tome IX des *Annales des Mines*.

#### 12. Béliet.

On a ici une des bonnes machines de nos contrées. Les observations y ont été faites avec soin ; peut-être indiquer-elles une plus grande quantité d'eau motrice qu'il n'en est dépensé réellement : elle est versée sur la roue par un *bec de canne*, et nous avons pris 0,90 pour coefficient de la contraction de la veine.

Nous avons donné une attention particulière aux mouvements du manomètre et aux irrégularités dans l'effet de diverses cames. Sur le même plan vertical, l'arbre tournant en porte trois, qui agissent successivement sur le même piston, et elles y agissent inégalement ; cette inégalité se transmet assez proportionnellement à l'extrémité des porte-vents de chacune des deux caisses qui vont au haut-fourneau et aux deux affineries, ainsi qu'on le voit dans le tableau suivant, où l'on a indiqué la hauteur à laquelle chacune des trois cames porte successivement le manomètre placé soit à l'origine, soit à la fin des diverses conduites partant de chaque caisse.

Position du manomètre.	Première caisse.			Seconde caisse.		
	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.
Immédiatement sur les caisses. . . . .	55,0	42,9	44,0	33,8	38,3	39,5
Affinerie, 5 mètres de porte-vents. . . . .	33,8	40,6	42,9	32,7	36,1	40,6
Affin., 15 mètr. de port.	33,8	40,0	41,7	....	....	....
Fourn., 42 mètr. de port.	28,2	33,8	35,0	23,7	29,3	31,6

L'échelle de notre manomètre était divisée en lignes, et nous rappellerons que nous ne répondons des indications qu'à une demi-ligne ou un millimètre près ; cependant, ici, je ne pense pas que les erreurs atteignent cette limite.

Le haut-fourneau de Béliet rend jusqu'à trois mille kilogrammes de fonte par jour, et ne reçoit que 280 pieds cubes d'air par minute. Lors même que la machine porterait le manomètre à 50 millimètres, et elle ne le peut guère, la dépense n'irait pas à 320 pieds cubes.

A un quart de lieue de la forge, on a un martinet dont le feu est animé par une petite machine à piston ; le manomètre, placé sur les caisses, s'y élevait jusqu'à 54 millim., et à 50 aux *échappoirs* d'un porte-vent de 15 mètr. de long et 0<sup>m</sup>,10 de diamètre.

#### 13. Fourneau de Castelnau.

La roue hydraulique a 5<sup>m</sup>,20 de diamètre, et l'eau tombe, sur son sommet, de 1<sup>m</sup>,80 de hauteur. En conséquence, la machine devait produire un plus grand effet que celui que j'ai trouvé : vraisemblablement, quelque imperfection dans la machine ou dans les conduites, aura échappé à mes regards.

Le manomètre, placé sur la première caisse, s'y élevait brusquement à 63 millim., puis il descendait à 36, remontait et se tenait à 47. Sur l'autre caisse, il montait assez uniformément à 49. A l'extrémité du porte-vent de la première caisse, il s'élevait d'abord à 41, et se tenait ensuite à 35. Près de l'autre buse (qui avait 2 lignes de diamètre de plus que la précédente), il indiquait 34.



M. Léon Brothier, fils du propriétaire de l'établissement, et qui a une pleine connaissance de la théorie de ces machines, a refait les expériences depuis mon passage. Sa force motrice était la même ; mais, au lieu de 17 levées un tiers de piston en une minute, il en a eu 18 : la surface de l'orifice des buses avait été portée de 0,171 à 0,0022 mètres carrés. Le manomètre marquait moyennement 47 millim. sur les caisses et 33,8 près les buses. Ces données indiquent 0,105 pour le rapport de la force à l'effet utile : nous avions eu 0,09.

L'eau motrice est amenée par un canal en maçonnerie de 41 mètres de long, 0<sup>m</sup>,83 de largeur constante et de 0<sup>m</sup>,365 de profondeur d'eau. On a pris, à l'aide de flotteurs, la vitesse de la superficie, et on l'a diminuée d'un cinquième, d'après les observations de M. Prony, pour avoir la vitesse moyenne : cette vitesse, multipliée par la section, a donné le volume d'eau.

#### 14. Forge de Castelnau.

Beaucoup de pertes d'air auxquelles on n'avait aucun intérêt à remédier, car on avait assez de vent à la forge, sont principalement cause du peu d'effet de cette machine.

M. Léon Brothier a également répété les expériences avec des buses de 0<sup>m</sup>,00129 mètres carrés de surface, et les pistons ayant 18 levées par minute. Le manomètre indiquait 41 millim. sur les caisses et 34 près les buses. L'effet utile était les 0,12 de la force employée.

#### 15. Ichoux.

Nous avons ici une des machines les plus intéressantes.

L'arbre tournant porte deux roues hydrauliques, une à chaque extrémité. Une d'elles est à palettes, et prend par-dessous l'eau qui a déjà mu les marteaux de la forge, laquelle est à 120 mètres en amont. L'autre roue est à auge ; elle reçoit l'eau d'un petit courant particulier, à 2 mètres au dessus de l'extrémité inférieure du diamètre vertical : 0<sup>m</sup>,65 plus haut, elle reçoit encore, par un long coursier soutenu en l'air, une petite dérivation du bassin placé au-dessus de la forge. Tous ces moyens réunis sont à peine suffisants pour produire la force nécessaire. Je l'ai

dit, l'eau manquait à Ichoux ; il fallait y vaincre la nature : M. Larrillet l'a entrepris, et son esprit actif et ingénieux en est venu à bout. La complication résultant des trois moteurs employés ne m'a pas permis de déterminer exactement la force motrice ; un essai que j'ai fait m'a conduit à un résultat manifestement erroné : je ne le rapporte pas.

J'ai été plus heureux sous le rapport d'une détermination très-importante que j'avais à faire sur cette machine, celle de la résistance opposée au mouvement de l'air par une conduite de 135 mètres de long. En 1821, j'avais déjà tenté cette détermination ; mais ma manière d'opérer ne m'ayant pas satisfait, je suis retourné sur les lieux à la fin de l'année dernière, et j'ai pu faire très-convenablement l'expérience. J'entre dans quelques détails.

La machine soufflante consiste en deux caisses : au couvercle de chacune est adapté un gros porte-vent, lequel aboutit à un petit réservoir commun, en forme de baril, établi à quelques pieds au-dessus des caisses. Il en part deux conduites de 0<sup>m</sup>,162 de diamètre, ayant, l'une, 135 mètres, et l'autre 125 de long : chacune porte le vent à une affinerie. A chaque couvercle est encore adapté un second porte-vent, qui aboutit encore à un second baril servant de réservoir commun, et duquel il part une troisième conduite pareille aux précédentes, et de 136 mètres de long : à 40 mètres avant son extrémité, on a adapté un petit tuyau d'un pouce de diamètre et de 5 mètres de long, qui porte le vent à une petite forge. Les quatre buses qui terminent ces quatre tuyaux ont de 12 à 15 lignes de diamètre.

Le manomètre, placé

1°. Sur une des caisses, s'y élevait d'abord à 36 millim., puis descendait à 28, et ensuite il oscillait entre 24 et 29. Sur l'autre caisse, le mercure était d'abord porté à 40, puis l'oscillation se faisait autour de 30.

2°. Sur le réservoir d'où sortaient les deux grandes conduites, l'oscillation avait lieu entre 28 et 32 : moyenne, 30.

3°. Vers l'extrémité de la conduite de 135 mètres (à l'échappoir près la buse), les secousses à la relevée d'un piston portaient encore ici le mercure jusqu'à 40 ; puis l'oscillation se faisait entre 21 et 28. Après une longue

attention, j'ai admis 24,4 pour hauteur moyenne. A l'extrémité des deux autres grosses conduites, la moyenne était 25, et, au feu de la petite forge, 23.

Ces observations, vu leur importance, ont été répétées dans la journée, et en présence de plusieurs personnes, qui, toutes, ont admis que la différence des hauteurs manométriques, à la naissance et à l'issue des conduites, n'était que de  $2 \frac{1}{2}$  lignes au plus.

16. *Pissos.*

Cet établissement est nouvellement fait. La machine n'y produit pas tout l'effet qu'on devait en attendre, par suite des mauvaises constructions en usage dans le pays; il serait aisé de doubler la hauteur de l'arc de la roue chargé d'eau, et l'on sait que l'effet des roues à augets dépend principalement de cette hauteur.

Je cite un fait arrivé dans cette usine. Il y a environ quatre ans que les eaux étant basses, la roue allait lentement; à tout instant, elle semblait vouloir s'arrêter, et ne reprenait son mouvement que par saccades. Le travail du haut-fourneau était mauvais, et l'on craignait d'être obligé de *mettre hors*. Un jour, par suite de la négligence du garde-fourneau, le bout des buses se brûla, l'orifice s'agrandit, la roue augmenta de vitesse, et le fourneau reprit un bon train. Le propriétaire, M. Larrillet, vit de suite ce qui en était: il laissa aux buses leur plus grande bouche; il pratiqua une nouvelle ouverture dans les caisses, et il conduisit au fourneau le vent qui en sortait: il eut ainsi plus de vent; et, ce qui semble paradoxal, il fallut moins de force pour le produire. La théorie rend raison de ce fait, en nous apprenant que la force motrice est en raison directe du cube de la quantité d'air soufflée, et en raison inverse de la quatrième puissance du diamètre des

(1) D'après la note 1,  $F$  étant la force,  $d$  le diamètre de l'orifice,  $Q$  la quantité d'air soufflée, on a  $F = nPV^2 = n'QV^2$ . De plus

$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 V, \text{ donc } F = n'' \frac{Q^3}{d^4}; \text{ et } n, n', n'' \text{ sont des coefficients constants.}$$

buses; elle montre qu'il faut moins de force pour faire passer 400 pieds cubes d'air, par exemple, par une buse de  $22 \frac{2}{3}$  lignes de diamètre que 500 par une buse de 18 lignes.

17. *Pontens.*

Je n'ai aucune observation à faire sur la machine, d'ailleurs assez forte et assez bonne, de l'usine de Pontens.

18. *Uza.*

Celle de la belle forge d'Uza est la plus grande du midi de la France: elle donne jusqu'à 1500 pi. cub. d'air et plus par minute. Quoiqu'elle soit renfermée, avec tous les feux qu'elle anime, dans une seule enceinte, elle présente un développement de plus de 160 mètr. (500 pieds) de tuyaux.

Le manomètre, placé sur une des deux caisses, s'y élevait jusqu'à 77 millim., et sur l'autre à 59 seulement. Cette différence se remarquait à l'extrémité des porte-vents qui allaient aux divers feux, ainsi qu'on le voit dans le tableau ci-contre. J'y indique, non la moyenne, mais la plus grande hauteur qu'atteignait le mercure. On voit qu'en général les hauteurs décroissent à mesure que la distance augmente, sans toutefois qu'il y ait un rapport suivi entre les décroissemens et les distances; mais, comme je l'ai plusieurs fois fait observer, les décroissemens ne sont pas un simple effet de la distance, ou de la résistance des tuyaux, mais encore, et plus dans beaucoup de cas, des pertes d'air qui ont lieu le long des conduites. L'inégale action des cames sera encore ici une des causes de l'irrégularité.

Distance à la machine.	Caisse, N <sup>o</sup> .	
	1	2
mèt.	mil.	mil.
0	77	59
11	72	57
15	68	57
23	59	54
28	59	50
30	59	49

19. *Castets.*

Voici la meilleure de nos machines sous le rapport de l'effet dynamique. Elle était presque neuve à l'époque de mes observations. La roue, de 3<sup>m</sup>,25, est bien faite, bien