

QUELQUES NOTES
SUR
L'EXPOSITION

ET LE

Congrès international des Ingénieurs
à GLASCOW en 1901

(2^e ARTICLE)

[62(063)(4) + 62(064)(41)]

Dans un premier travail paru dans la précédente livraison (1) nous avons cherché à esquisser la physionomie de l'Exposition et du Congrès international de Glasgow où nous avons été délégués par M. le Ministre de l'Industrie et du Travail. Nous avons aussi examiné quelques unes des questions traitées au Congrès, nous réservant d'y revenir plus tard.

Nous continuerons aujourd'hui cet examen et nous passerons en revue, avec plus ou moins de développements, suivant que le sujet le comporte, divers objets examinés dans les sections V (Le Fer et l'Acier) et VI (Les Mines).

D'autres communications seront analysées dans un troisième article.

Le Fer et l'Acier.

*Sur la bonne utilisation de la puissance des gaz
des hauts-fourneaux.*

Cette question présente toujours beaucoup d'intérêt pour les métallurgistes. Traitée, en 1897, dans ce même recueil, par notre collègue M. l'ingénieur en chef H. Hubert (2), elle a été portée à l'ordre du

(1) *Annales des Mines de Belgique*, t. VI, p. 885.

(2) De l'utilisation directe des gaz des hauts-fourneaux pour la production de la force motrice. *Annales des Mines de Belgique*, t. II, p. 233.

jour au Congrès de Paris où elle a donné lieu à d'importants mémoires, et plusieurs revues techniques s'en sont, depuis 1897 jusqu'aujourd'hui, fréquemment occupées.

C'est M. B.-H. THWAITE qui l'a présentée au Congrès de Glasgow, dans un mémoire que nous résumons.

L'auteur rappelle d'abord que les résultats de ses recherches relatives au gaspillage du combustible dans nos usines sidérurgiques, ont donné lieu de sa part, dès 1892, à la production devant l'*Institut du fer et de l'acier*, d'un mémoire dans lequel il envisageait l'utilisation, dans des machines à combustion interne, des gaz perdus des hauts-fourneaux, ceux-ci étant ainsi, selon lui, susceptibles de devenir une source de puissance rivalisant même avec les chutes d'eau.

Les hauts-fourneaux étant généralement établis dans les centres industriels, cette source de puissance présente, pour la production de l'électricité, tant pour les usages industriels que pour la transmission de la force, des avantages que ne possèdent pas les chutes d'eau.

Un des résultats de la production directe de la force motrice dans les machines à combustion interne a été un progrès marqué dans la perfection des machines et dans leur effet utile thermodynamique. On a été jusqu'à atteindre, pour ce dernier, le taux de 30 % et celui de 25 % devrait toujours être obtenu ; de plus, la capacité de puissance de ces machines n'est maintenant pas plus limitée que celle des machines à vapeur.

L'auteur décrit un nouveau procédé pour retirer la plus grande puissance possible du haut-fourneau et le justifie par diverses considérations que nous allons rapporter sommairement.

Le gaz de haut-fourneau est habituellement employé, avec une petite perte de sa chaleur sensible, en premier lieu, pour le chauffage des chaudières destinées à la production de la vapeur des machines soufflantes et, en second lieu, pour chauffer l'air soufflé dans les appareils à air chaud ; il est occasionnellement employé pour d'autres usages. Le gaz de haut-fourneau, avec 7 à 10 % d'humidité et une grande proportion de poussières calcareuses, siliceuses ou oxydées, plus ou moins aptes à produire des effets de fusion sur les revêtements en briques, est introduit dans l'appareil à air chaud, où il rencontre un courant d'air froid ; ce dernier n'a évidemment pas pour effet d'élever la température de la combustion.

Quand l'appareil à air chaud est propre et que la surface nue des briques est directement exposée à l'influence de la combustion,

l'efficacité de cet appareil atteint son maximum et celle-ci est établie par la basse température des gaz qui s'en échappent et par leur constitution chimique; mais, les fines particules de poussière, principalement de chaux, recouvrent rapidement les surfaces chauffantes et l'efficacité est réduite en proportion du dépôt. D'après Pécelet, le rapport de l'absorption de chaleur dans le cas d'une brique nue et d'une autre couverte de chaux serait comme 4.83 est à 0.869, soit 5 1/2 fois plus considérable.

Il n'est conséquemment pas surprenant que les additions de poussières de chaux donnent, pour la courbe de l'efficacité, une inflexion rapide, démontrée par l'élévation de la température des gaz expulsés et par une diminution correspondante de la température de l'air du fourneau, conséquemment par un changement défavorable des conditions de marche de ce dernier.

Pour être conduit avec une perfection théorique, un haut-fourneau devrait être alimenté avec une régularité presque mathématique; l'air soufflé devrait avoir une pression et une température uniformes. Cette dernière condition n'est satisfaite, et encore imparfaitement, que pendant une courte période, quand les appareils à air chaud sont fraîchement nettoyés; de là l'importance de les maintenir libres de toute poussière.

Si la température du vent soufflé pouvait être maintenue constante, ce fait présenterait un grand avantage et, d'autre part, le fait de pouvoir augmenter la température de l'appareil à air chaud, à volonté, permettrait d'obvier efficacement aux caprices de la marche du fourneau.

Une des difficultés de maintenir constante la température du vent soufflé résulte de celle de conserver l'efficacité des tuyères. La perte d'eau de refroidissement de celles-ci quand elles travaillent sous pression est une explication de l'allure irrégulière; l'oxydation du fer et du charbon par la vapeur d'eau ne peut se faire sans une dépense d'énergie calorifique.

Une fraction considérable de la proportion totale de gaz de haut-fourneau est détournée à l'appareil à air chaud de manière à éviter la perte de la chaleur sensible du gaz quand il quitte le fourneau. Pour éliminer les particules de poussières, il est absolument indispensable de refroidir le gaz; les plus lourdes tombent à la base de l'appareil à air chaud, mais il n'en est pas de même de celles qui sont finement divisées. Il en résulte conséquemment la perte de la chaleur sensible du gaz et en outre, comme le gaz est alors presque, si pas complète-

ment, apte à être introduit dans une machine à combustion interne, la question se pose de savoir pourquoi l'on ne ferait pas usage d'un gazogène semblable à celui employé dans les fours à sole pour acier, pour chauffer les appareils à air et de façon à éviter la perte de la chaleur des gaz de haut-fourneau pendant la période de refroidissement et de purification ?

Un semblable combustible gazeux provenant du gazogène pourrait être introduit dans l'appareil à air chaud avec une proportion considérable de la chaleur sensible qu'il possède quand il quitte le gazogène. Ce gaz emporterait seulement les plus mauvaises particules de goudron dans l'appareil et on les brûlerait en amenant un excès d'air à la fin de la période de chauffage. Le charbon déposé et résultant d'une oxydation imparfaite serait complètement brûlé.

Le nouveau système, comprenant l'usage d'un courant d'air forcé et chauffé par l'abandon de la chaleur du gaz du haut-fourneau, pour effectuer la combustion du gaz de gazogène dans les appareils à air chaud, rend l'efficacité de ces derniers plus ou moins complètement indépendante des conditions atmosphériques, dont l'influence a été établie par M. Allen; cet avantage est considéré comme ayant une importance considérable.

Les appareils à air chaud, chauffés par du gaz de gazogène, seront conséquemment toujours dans les conditions d'effet utile maximum et l'on ne peut imaginer de dispositif plus parfait pour brûler le gaz de gazogène contenant des hydrocarbures que celui dans lequel la combustion a lieu dans un espace formé par des briques incandescentes et est produite par de l'air chaud.

L'emploi de gaz d'un haut pouvoir calorifique, sous haute pression, si c'est nécessaire, et dans des appareils à air chaud maintenus dans les meilleures conditions d'effet utile, permet de récupérer la chaleur sensible du gaz du haut-fourneau pour élever la température de l'air nécessaire au chauffage des gazogènes et d'assurer la combustion du gaz provenant de ces derniers dans les appareils à air chaud; conséquemment, la perte thermique due au refroidissement du gaz du haut-fourneau pour son utilisation dans les machines à gaz, n'est pas seulement négligeable, mais l'abandon de la chaleur de la manière proposée permettrait, selon l'auteur, l'obtention d'effets utiles considérables.

Les avantages directs seraient les suivants :

Les appareils à air chaud pourront fournir leur maximum d'effet utile avec répercussion sur le fourneau, d'où résulterait une plus grande économie de chaleur;

La combustion, dans les meilleures conditions, de gaz hydrocarbonés obtenus à l'aide de charbon de qualité inférieure et l'obtention d'un gaz idéal pour les installations de puissance, actuellement en grande partie gaspillé, doivent produire une économie considérable;

L'allure irrégulière du fourneau due à l'effet thermique faible et irrégulier de l'appareil à air chaud disparaîtra.

L'auteur calcule quelle est la puissance potentielle dont on pourra disposer en admettant une production journalière de 100 tonnes métriques de fonte avec des pressions de vent de 25 à 50 centimètres de mercure, un rendement de 80 % de la force, en chevaux indiqués, transformée en énergie électrique et une réduction de 25 % pour tenir compte des pertes imprévues.

Les résultats obtenus en kilowatts utilisables, dans différents cas examinés et avec les pressions de vent ci-dessus renseignées, sont les suivants :

Pour une pression de vent de 50 centimètres de mercure ou 0.67 atmosphère et la composition ci-après des gaz :

Partie combustible du courant gazeux 28 %	}	CO — 24 %
		H — 2 %
		CH ⁴ — 2 %
Partie inerte du gaz 72 %	}	N — 60 %
		CO ² — 12 %

Rapport de CO² à CO = 1 : 2.

Consommation de combustible par tonne de fonte : 900 kilos.

CAS A.

Toute la valeur thermique du gaz de haut-fourneau, excepté celle requise pour les machines soufflantes à vapeur, est utilisée pour développer la puissance dans des machines à combustion interne. Les appareils à air chaud sont chauffés avec du gaz de gazogène. — Energie potentielle disponible : 1,456 kilowatts.

CAS B.

Toute la valeur thermique du gaz de haut-fourneau, y compris celle requise pour actionner la soufflerie, les pompes, les élévateurs, est utilisée pour développer la puissance dans des machines à combustion interne. — Les appareils à air chaud sont chauffés comme ci-dessus. Energie potentielle disponible : 2,280 kilowatts.

CAS C.

La valeur thermique qui peut être économisée en réduisant la perte de gaz dans les opérations de chargement est exprimée en puissance par 140 kilowatts.

CAS D.

La valeur thermique des gaz obtenue en remplaçant simplement la vapeur comme agent pour actionner les souffleries, par leur utilisation dans des machines à combustion interne, quand les appareils à air chaud sont, comme actuellement, chauffés avec du gaz impur est exprimée par 1,641 kilowatts.

L'auteur examine ensuite le cas d'un haut-fourneau dont les conditions de marche sont les suivantes :

Pression du gaz . . . 0^m25 de mercure.

Production journalière . 100 tonnes métriques comme ci-dessus.

Analyse volumétrique des gaz du haut-fourneau :

$$\text{Partie combustible } 31 \% \left\{ \begin{array}{l} \text{CO} - 30 \% \\ \text{H} - 0.5 \% \\ \text{CH}^4 - 0.5 \% \end{array} \right.$$

$$\text{Partie inerte } 69 \% \left\{ \begin{array}{l} \text{N} - 63 \% \\ \text{CO}^2 - 6 \% \end{array} \right.$$

Rapport de CO² : CO = 1 : 5.

Consommation de combustible par tonne de fonte : 1,045 kilos.

Il obtient les puissances ci-dessus pour les quatre cas considérés :

Cas A. . .	2,657	kilowatts d'énergie potentielle.
Cas B. . .	3,140	id. id.
Cas C. . .	181	id. id.
Cas D. . .	2,434	id. id.

L'auteur calcule qu'il sera possible, si le nouveau système est appliqué pendant une année, comportant 8,000 heures de travail, de développer le kilowatt-heure à raison de 1.5 centime, de manière qu'il reste une marge suffisante de profit pour les maîtres de forge.

Le système de l'auteur, dans lequel tout le gaz du haut-fourneau est utilisable pour la production de la puissance, fournit aussi une installation auxiliaire de production de l'énergie telle que si le soufflage du fourneau était arrêté pour une raison quelconque, le

gaz provenant des gazogènes pourrait être employé à la machine à combustion interne, le coke étant substitué au charbon brut, de manière à n'avoir aucune interruption dans la continuité de l'opération productive de la puissance.

L'auteur décrit ensuite les différentes applications de l'énergie électrique qui pourraient être réalisées par le nouveau système, y compris celle qui est destinée à satisfaire aux exigences d'une usine à fer et à acier. Il démontre aussi les avantages particuliers que présenterait une usine sidérurgique pour le développement des industries électro-chimiques et électro-métallurgiques. Il mentionne la fabrication du silicium et des carbures de calcium et celle des métaux : chrome, nickel et aluminium, qui pourraient être considérées comme des industries associées à celle de la fabrication de la fonte.

Les principaux procédés électro-métallurgiques et électro-chimiques qui ont été développés pendant ces dernières années sont brièvement exposés.

L'auteur signale entr'autres que quelques-uns des nouveaux carbures peuvent être employés dans les convertisseurs en lieu et place des alliages connus sous les noms de ferro-manganèse et spiegel.

L'usage croissant du chrome, du silicium et des autres métaux à allier avec le fer et l'acier accroît l'importance de l'association des industries produisant ces métaux avec celle du fer et de l'acier.

Dans la discussion qui a suivi la lecture de cette communication, les observations les plus intéressantes ont été présentées par M. GREYNER, directeur général de la Société Cockerill, lequel s'est exprimé comme suit dans une note lue au Congrès :

Le mémoire de M. Thwaite sera parcouru avec intérêt par toutes les personnes qu'intéresse cette question si éminemment moderne et qui a d'ailleurs été l'objet de nombreuses préoccupations sur le Continent.

Il a été établi, avec une évidence suffisante, pendant les dernières années, que les hauts-fourneaux sont d'immenses gazogènes, capables de fournir un surplus de 1,000 chevaux par 100 tonnes de fonte produite journallement, pourvu que les gaz soient convenablement utilisés.

Toute la question est de savoir comment il faut utiliser ces gaz. Laissant de côté les nouveaux établissements pour ne s'occuper que

de ceux existants, il convient de se demander comment doivent être employées les machines à gaz pour réaliser tous les avantages du système. La première idée qui se présente est de faire actionner des dynamos par ces machines, et il y a bien peu d'installations de hauts-fourneaux qui ne permettraient de développer 200 à 500 chevaux électriques; mais là n'est pas la solution du problème. Comme on sait, ce sont les machines soufflantes qui absorbent, dans les hauts-fourneaux, la plus grande somme d'énergie et elles doivent être remplacées par des machines à gaz; l'économie à en retirer ne peut être l'objet du moindre doute et les résultats contenus dans son rapport de mai 1898, n'ont jamais été contestés. Un cheval indiqué est donné par une consommation de 3 mètres cubes de gaz dans une machine à combustion interne, tandis que 18 mètres cubes de gaz sont nécessaires pour produire la même puissance quand ils sont utilisés pour faire de la vapeur dans une chaudière. C'est ce qui a amené la Société Cockerill à adopter la solution du problème des machines soufflantes actionnées par des moteurs à gaz, et le premier de ces moteurs tourne aux usines Cockerill depuis le 20 novembre 1899. Depuis lors, un grand nombre d'autres ont été construits. Le type de 600 chevaux étant régulièrement en marche, celui de 1,200 chevaux sera prochainement mis à l'essai et un type de 2,400 chevaux, spécialement appliqué aux conditions américaines de travail, suivra.

La poussière contenue dans le gaz de haut-fourneau a occasionné, au début, un grand obstacle au fonctionnement convenable des moteurs. Au meeting de l'Institut du fer et de l'acier, de mai 1900, M. GREINER a montré comment cette difficulté avait été vaincue; au rapport présenté à cette époque, il ajoute aujourd'hui quelques autres indications qui ne seront pas sans intérêt pour les spécialistes. Le nouveau ventilateur adopté par la Société Cockerill prendra tout le gaz de deux fourneaux, d'une production journalière de 350 tonnes de fonte, ou de 70,000 mètres cubes de gaz par heure. Il purifiera le gaz pour les machines et les appareils à air chaud. Le disque du ventilateur a 2 mètres de diamètre et il tourne à la vitesse de 700 révolutions par minute, le tuyau de refoulement ayant un diamètre de 0^m750. L'eau sera injectée dans le ventilateur par des ouvertures de 0^m050 de diamètre, des robinets de réglage permettant de faire varier la quantité d'eau avec le degré de propreté et de refroidissement à atteindre. La quantité d'eau à injecter peut s'élever à 140 mètres cubes par heure. Le moteur électrique actionnant le ventilateur a été établi pour une puissance adéquate et peut déve-

lopper 130 chevaux. Le gaz est amené des deux hauts-fourneaux par des tuyaux munis de valves manœuvrées à la main par le proposé au service du ventilateur. Des niveaux d'eau indiquent le vide partiel développé dans la canalisation, ce qui pourrait nécessiter la fermeture des valves de manière à éviter tout refoulement d'air dans le fourneau. On espère trouver un moyen automatique d'atteindre le même but. On compte pouvoir refroidir le gaz de la température de 200 à 300 degrés centigrades à celle de 30 à 35 degrés et réduire la quantité de poussière apportée de 2 à 2 1/2 grammes par mètre cube de gaz à 0.25 et 0.20 gramme. A Differdange, il y a maintenant deux ventilateurs fournissant le gaz aux moteurs seulement, chacun de 1^m50 de diamètre et tournant à 900 révolutions par minute, avec deux tuyauteries à eau de 25 millimètres. La quantité de gaz dégagé par heure est régulièrement de 12,000 mètres cubes et a déjà atteint 16,000 mètres cubes. La quantité d'eau employée est de 21 mètres cubes par heure, partagée à peu près également entre les deux ventilateurs. La puissance absorbée pour activer chaque ventilateur est d'environ 45 chevaux indiqués, soit ensemble 90 chevaux. Les gaz contiennent de 3 à 3 1/2 grammes de poussières avant d'être entraînés dans les ventilateurs et cette proportion est réduite à 0.6 gramme après le premier ventilateur et à 0.09 gramme après le second. En employant un seul ventilateur avec une quantité suffisante d'eau, la quantité de poussière peut être abaissée à 0.24 et même à 0.20 gramme par mètre cube.

Comme conclusion, M. Greiner déclare que la nature de la poussière doit être sérieusement considérée. Dans le laboratoire de la Société Cockerill, une série de recherches ont été entreprises dont les premiers résultats ont été surprenants; ils feront probablement l'objet d'une communication à un prochain meeting.

M. THWAITE réplique aux observations qui ont été présentées que le principe du nettoyage et de la purification du gaz a été introduit par lui et que ses différents procédés ont été brevetés.

Il considère que tout procédé ayant pour conséquence d'entraîner la perte de la chaleur sensible des gaz, doit être considéré comme mauvais; ces gaz possèdent, sous forme de chaleur sensible, 5 à 6 % de la chaleur en combustible venant du fourneau, qu'il épargne avec son nouveau procédé.