

COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE DU CHARBON ET DE L'ACIER  
H A U T E   A U T O R I T É

*Recherches sur l'injection d'hydrocarbures  
dans les hauts fourneaux*

Essais d'injection de fuel liquide léger  
dans le haut fourneau n° 4 de Seraing  
marchant avec une charge préparée  
(40% et 100% d'agglomérés)

**RAPPORT FINAL**

JANVIER 1962



## AVANT - PROPOS

par

P. COHEUR

Professeur à l'Université de Liège

Administrateur-Gérant du Centre National de Recherches Métallurgiques

### ESSAIS D'INJECTION DE FUEL AU HAUT - FOURNEAU 4 DE SERAING DE LA S.A. COCKERILL - OUGREE A LIEGE

En 1958, le Comité Directeur de l'Association Internationale pour les Recherches au Bas Fourneau d'Ougrée (AIRBO) décidait d'entreprendre des injections de fuel-oil par les tuyères du fourneau.

Ces essais montrèrent l'intérêt des injections, que l'on vise à diminuer la consommation de coke ou que l'on veuille augmenter la productivité du fourneau.

De plus, des dispositifs technologiques d'injection de fuel furent mis au point et utilisés par la suite avec succès sur des hauts fourneaux de la Communauté.

Il était par ailleurs intéressant de vérifier si les résultats d'exploitation obtenus au Bas Fourneau pouvaient être extrapolés au Haut Fourneau.

Pour vérifier ce point, la Haute Autorité voulut bien octroyer l'aide financière nécessaire et la S. A. Cockerill-Ougrée, de son côté, accepta d'entreprendre, en collaboration avec le C.N.R.M., des essais sur l'un de ses hauts fourneaux.

L'intérêt particulier de ces essais résidait dans le fait que le haut fourneau de Cockerill-Ougrée pouvait opérer avec un lit de fusion identique à celui du bas fourneau, en sorte que le nombre de variables indépendantes en était réduit d'autant.

Le rapport ci-après donne les résultats des essais réalisés en 1960; ils ont été conduits par MM. NOEL, Ingénieur en Chef, SAVAGE, Chef de Service et MOLDEREZ, Ingénieur à la S.A. Cockerill-Ougrée, en collaboration étroite avec M. POOS, Chef du Département Hauts Fourneaux du C.N.R.M.

P. COHEUR

Président du Comité Directeur



## RAPPORT-FINAL

par

E. NOEL †  
S.A. Cockerill-Ougrée

W. SAVAGE  
S.A. Cockerill-Ougrée

J. MOLDEREZ  
S.A. Cockerill-Ougrée

A. POOS  
C.N.R.M.

### I. - Introduction

Notre but était de voir l'intérêt de l'application de cette nouvelle technique à un haut fourneau du type tel qu'il est utilisé couramment dans les pays de l'Europe occidentale, c.à.d. un fourneau de dimensions moyennes, équipé de tuyères de secours.

Ces essais ont été faits d'une part avec une charge qui est typique pour la pratique actuelle du haut fourneau en Belgique et au Grand Duché de Luxembourg, c.à.d. composée de 40 % d'aggloméré et de 60% de minettes, et d'autre part avec une charge de composition telle qu'elle sera utilisée probablement dans l'avenir et comportant plus de 90 % d'aggloméré. Ils devraient permettre de vérifier sur un haut fourneau industriel une partie des résultats obtenus dans des conditions identiques au Bas-Fourneau d'Ougrée.

Ces essais ont débuté en avril 1960 au haut fourneau 4 de l'usine de Seraing de la S.A. Cockerill-Ougrée et se sont terminés en mars 1961.

Cette recherche a été réalisée grâce à l'aide financière de la Haute Autorité de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier.

### II. - Bases théoriques relatives à la détermination des conditions de l'injection

Le but de la recherche était de déterminer avec une précision suffisante la diminution de la mise au mille de coke et l'accroissement de la production pour l'injection d'une quantité déterminée de fuel-oil et pour le cas d'un fourneau marchant déjà à des conditions optima de production et de consommation de coke.

#### a) Profil thermique dans le fourneau

Toutes les injections, par exemple les injections d'hydrocarbures, l'humidification du vent, l'enrichissement du vent en oxygène, de même que la température du vent, ont une influence fondamentale sur la grandeur et la forme de la zone d'oxydation aux tuyères ainsi que sur la distribution des températures à l'intérieur du fourneau en général.

Récemment encore, de nombreuses investigations dans ce domaine ont été réalisées.

Il est bien connu que pour un fourneau et une charge donnés, il est nécessaire d'avoir une distribution des analyses de gaz et un profil thermique bien déterminés si on veut obtenir des performances optima du haut fourneau.

Chaque facteur perturbant ces conditions idéales entraîne une détérioration des résultats; pour cette raison, chaque injection d'hydrocarbures doit généralement être compensée par des moyens appropriés de manière à maintenir les conditions d'opération idéales, par exemple par un enrichissement du vent en oxygène ou un accroissement de la température du vent.

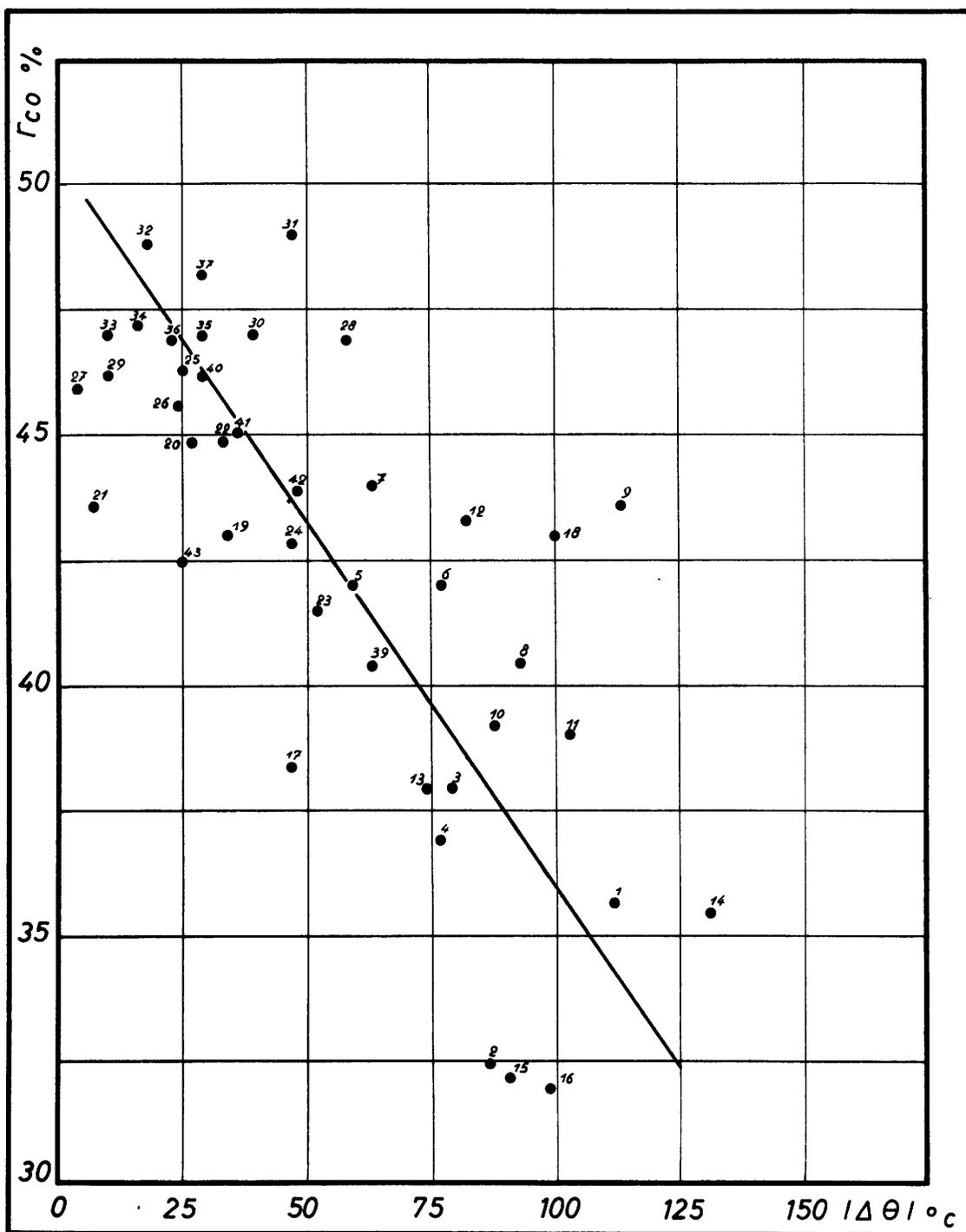


Fig. 1 - Valeurs de  $r_{CO}$  en fonction de la différence entre la température réelle du vent et la température idéale calculée pour une humidité donnée.

Cette considération théorique semble être confirmée par les résultats obtenus durant un essai réalisé en 1959 par le C.N.R.M. sur un haut fourneau de production.

Pendant une période d'essais d'environ dix mois réalisée à ce fourneau, la température du vent, de même que l'humidité du vent ont varié dans des limites très larges et, intentionnellement, il n'y avait pas de relation entre ces deux variations.

Entre les différentes périodes, nous avons trouvé un changement très important dans la réduction indirecte par le CO, variation se situant entre 32 et 48 %.

En admettant que pendant les périodes où la réduction était la plus élevée, on avait atteint les conditions de marche optimum, nous avons trouvé que ces conditions étaient les suivantes:

température du vent : 825° C

humidité du vent : 15 gr/m<sup>3</sup> N.

Sachant qu'un accroissement de l'humidité du vent de 1 gr/m<sup>3</sup> devait être accompagné par une augmentation de la température du vent de 6,5° C il nous était possible de calculer une température du vent idéale pour chacune des périodes.

Nous avons calculé pour chacune des périodes la valeur absolue de la différence entre température réelle et température idéale calculée comme indiqué ci-dessus.

La figure 1 montre cette différence en fonction du taux de réduction indirecte  $r_{CO}$ .

Il s'ensuit que pour les périodes où cette différence est minimum, la réduction indirecte avait les valeurs les plus élevées et que le  $r_{CO}$  diminue linéairement pour les différences croissantes. Ce diagramme peut être considéré comme une confirmation expérimentale de la théorie selon laquelle une déviation des conditions idéales entraîne une détérioration de la réduction indirecte et par la suite de la mise au mille de coke et de la marche du fourneau en général. Mais il montre aussi que la température du vent soufflé avant l'injection peut être trop élevée pour donner une marche optima. Ainsi, si l'on se trouve dans le domaine où  $\Delta t = t_{vent\ réelle} - t_{vent\ théo.}$  est  $> 0$  on a tout intérêt à injecter d'abord une quantité appropriée de fuel sans augmenter la température du vent et seulement lorsque  $\Delta t$  devient négatif, compenser l'injection d'une quantité supplémentaire en augmentant davantage la température du vent (1).

Tenant compte de cela, nous avons projeté nos injections de fuel-oil de manière à maintenir constantes les conditions aux tuyères. La meilleure façon d'y arriver consiste à mesurer d'une manière continue la température de combustion aux tuyères et de régler la quantité de fuel-oil ainsi que la température et la teneur en oxygène du vent, de manière à maintenir cette valeur à un niveau constant. Malheureusement des instruments appropriés permettant un réglage n'étaient pas disponibles à ce moment. Pour cette raison, les rapports quantité de fuel-oil injectée à augmentation de température du vent ou enrichissement du vent en oxygène ont été calculés sur la base d'une température théorique de combustion aux tuyères constante, en admettant que les gaz sortant de la zone de combustion sont formés d'un mélange de CO, de H<sub>2</sub> et de N<sub>2</sub>.

Cependant, un tel calcul nécessite certaines hypothèses non contrôlables telles que:

- choix d'une température de préchauffage du coke
- t° inchangée du coke arrivant aux tuyères quelles que soient les conditions de travail
- forme inchangée de la zone d'oxydation
- omission des pertes thermiques aux tuyères, etc...

et par suite, il existe une certaine différence entre la température de combustion réelle et la température théorique calculée.

Par ailleurs, ce calcul suppose d'une part que le haut fourneau travaille dans les meilleures conditions thermiques au creuset avant l'injection et d'autre part qu'on veut réaliser cette

injection de manière à maintenir le même profil thermique du fourneau. Cela n'est certainement pas un cas général. Le calcul ne peut donc donner qu'une idée approchée de la réalité.

#### b) Production du fourneau

En Belgique et en Europe occidentale en général, on recherche normalement les conditions de marche optima, c.à.d. la production la plus élevée possible tout en ayant la mise au mille la plus basse.

Ainsi, dans le but d'évaluer les possibilités d'augmentation de production qu'on peut obtenir par une injection de fuel-oil, nous devons d'abord déterminer les conditions de marche optima pour le haut fourneau et la charge en question.

Jusqu'à présent, l'allure du fourneau a été généralement exprimée en tonnes de coke par jour et par m<sup>2</sup> de surface de creuset. Dans le cas d'injection cette définition de l'allure n'est plus applicable. Le facteur déterminant, limitant l'allure du fourneau, est la vitesse des gaz ascendants; si cette vitesse dépasse une certaine valeur (qui dépend principalement des propriétés chimiques et physiques et notamment de la granulométrie de la charge), les particules fines, par exemple, peuvent être fluidisées dans la partie inférieure du fourneau et le contact gaz/matière sera rapidement affecté.

On constate la formation de passages préférentiels avec comme conséquence une diminution de la réduction indirecte et une dégradation des échanges thermiques. Dès lors, nous exprimons l'allure du fourneau en m<sup>3</sup> de gaz aux tuyères/heure. Dans le cas d'une marche classique du fourneau, les deux définitions sont pratiquement équivalentes. En effet, la quantité de gaz aux tuyères est directement proportionnelle à la quantité de coke brûlé aux tuyères. Dans le cas d'une injection (par exemple d'une injection de fuel-oil) par contre, une fraction importante de ce gaz est introduite par les tuyères et la quantité de coke brûlé aux tuyères ne représente plus l'allure du fourneau.

De ceci, on peut déduire que l'allure exprimée en m<sup>3</sup> de gaz aux tuyères par heure a une très grande influence sur les performances du haut fourneau et pour cette raison demande un contrôle sévère pendant les périodes d'essais.

Considérons un fourneau marchant à allure optimum et sans injection. Si nous injectons maintenant le fuel-oil, deux cas peuvent se présenter :

- 1) l'injection de fuel-oil n'affecte ni la distribution des températures et des gaz, ni l'échange thermique entre gaz et matières etc...

Dans ce cas, le volume optimum de gaz aux tuyères est le même avec ou sans injection. La production de fonte pourrait donc seulement être augmentée s'il était possible de diminuer la quantité de gaz aux tuyères par tonne de fonte.

- 2) suivant la seconde hypothèse on pourrait admettre que la quantité importante d'hydrogène introduite dans les gaz aux tuyères par l'injection de fuel-oil change la viscosité du gaz, les phénomènes d'échanges thermiques, le mécanisme de réaction et le profil thermique du fourneau. Dans ce cas, il serait possible que la quantité de gaz aux tuyères optimum soit déplacée vers des valeurs plus élevées. On pourrait désigner ce phénomène par "création d'une zone de réserve" par l'injection de fuel-oil.

Dans le cas de la seconde hypothèse, l'augmentation de production serait plus grande que dans le cas de la première hypothèse.

---

(1) A. DECKER: *Das Einblasen von Reduktionsmitteln in die Windformen eines Hochofens.*  
*Stahl u. Eisen 81 (1961) Heft 19 Seite 1264/70.*

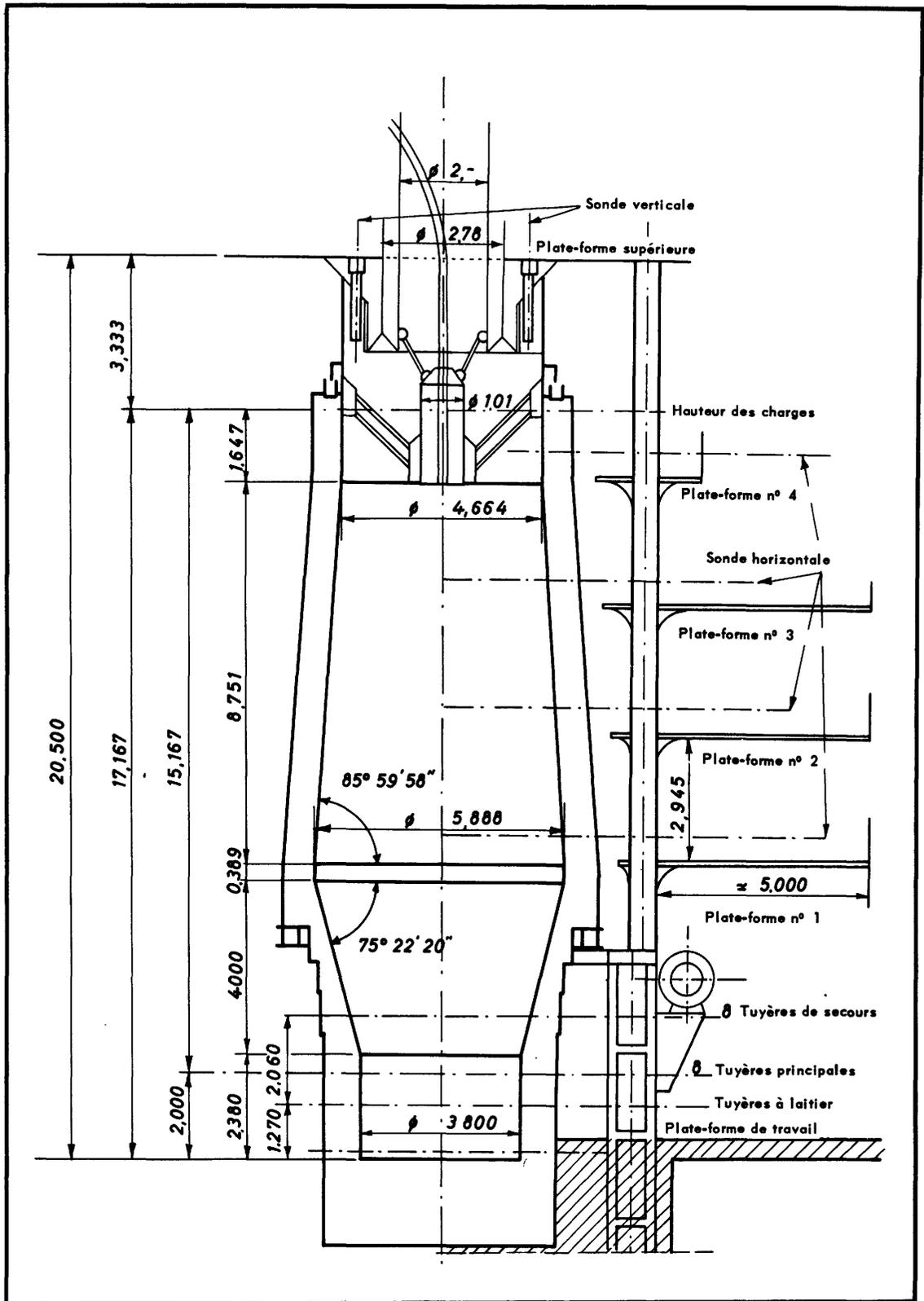


Fig. 2 - Haut fourneau n° 4 de l'usine de Seraing

A côté de l'augmentation de production provenant d'une diminution de la quantité de gaz par tonne de fonte, il y aurait un accroissement supplémentaire de production dû à une allure gaz aux tuyères plus élevée.

### III. - Conditions d'essais

Pour les besoins de l'essai nous avons choisi la température du vent de 700° pour les périodes de référence sans injection de fuel. Cette façon d'agir nous permettait pendant les périodes avec injection d'augmenter la température du vent de 100° C et même de 150° C la capacité thermique des cowpers équipant ce fourneau ne permettant pas d'obtenir des températures plus élevées.

La quantité de fuel à injecter a été déterminée en première approximation par le calcul sur la base des périodes de référence, mais le réglage définitif s'est fait en fonction de la marche du fourneau.

Signalons que dans ces conditions normales de fabrication avec 40 % d'agglomérés et sans injection, notre fourneau peut marcher convenablement avec une température de vent de 800° C.

Pendant toute la durée de l'essai, notre préoccupation principale était de respecter le plus strictement possible les mêmes conditions d'essais et de maintenir constants tous les facteurs qui ne faisaient pas l'objet de la recherche, notamment la composition de la charge et de la fonte de même que l'allure du fourneau (allure gaz aux tuyères).

Cela nous semblait essentiel pour pouvoir donner avec une approximation satisfaisante la diminution de la mise au mille de coke et le gain de production que pouvait amener une injection de fuel-oil.

Ces renseignements sont d'une importance primordiale pour n'importe quel utilisateur futur de cette nouvelle technique, pour lui permettre d'évaluer les avantages économiques d'une marche de haut fourneau avec une injection de fuel-oil.

Nous avons naturellement saisi l'occasion de réaliser un certain nombre de mesures spéciales avec le but d'avoir des informations supplémentaires pouvant nous aider à établir l'influence de l'injection de fuel-oil sur les mécanismes des réactions dans le haut fourneau.

#### a) Le haut fourneau

Les essais d'injection de fuel-oil ont été réalisés au haut fourneau 4 de l'usine de Seraing de la S.A. Cockerill-Ougrée (fig. 2).

C'est un fourneau de diamètre de creuset de 3,8 m et équipé d'un système de chargement à simple cloche.

Le fourneau est équipé de huit tuyères principales d'un diamètre de 150 mm et de huit tuyères d'étalement d'un diamètre de 100 mm.

Pour les essais à 40 % d'aggloméré dans la charge, le diamètre des tuyères d'étalement avait été réduit à 80 mm, mais il a dû être ramené à 100 mm pour les périodes avec un enrichissement en oxygène et pour celle avec 90 % d'aggloméré.

Pendant deux périodes d'essais, le fourneau marchait avec seulement quatre tuyères d'étalement et pour une autre période toutes les tuyères d'étalement avaient été supprimées. Ces trois dernières périodes avaient été réalisées dans le but de déterminer si l'injection de fuel facilitait la marche du fourneau à un point tel qu'il serait possible d'obtenir une marche normale sans l'utilisation des tuyères d'étalement. Cependant, après quelques jours de marche sans tuyères d'étalement, des garnissages sévères se sont formés. Notons que normalement avec un lit de fusion de minettes, ce fourneau marche avec huit tuyères d'étalement.

b) Equipement d'injection

La fig. 3 montre la disposition du tableau de contrôle des tuyauteries pour le fuel-oil et l'air comprimé, ainsi que du réservoir de stockage, des pompes et des filtres pour le fuel-oil.

L'air comprimé est soutiré du circuit de l'usine. Il est filtré, son débit est mesuré par diaphragme et le débit total est enregistré. A partir de l'entrée du tableau de contrôle on a une tuyauterie individuelle pour chacune des tuyères d'injection. Sur ces conduites individuelles, on mesure par un débitmètre du type "Rotamètre" la quantité passant dans chaque injecteur, le débit étant réglé manuellement.

Le fuel-oil est amené par camions et stocké dans un réservoir d'une capacité de 50 m<sup>3</sup>, situé à une distance d'environ 30 m du haut fourneau; après filtration, le fuel-oil est évacué par trois pompes d'une capacité de 750 litres/heure chacune, et avec by-pass incorporé. Un débitmètre mesure la quantité totale du fuel consommée.

De même que pour l'air comprimé, l'installation comprend, à partir de l'entrée au tableau de contrôle, une conduite de fuel-oil individuelle avec les différents appareils de régulation et de mesure pour chacun des injecteurs.

La connection entre l'injecteur et les conduites individuelles de fuel-oil et d'air comprimé est réalisée au moyen de flexibles métalliques. Ces flexibles sont protégés contre les flammes et les radiations de chaleur par une gaine en amiante.

Les circuits de fuel-oil et d'air comprimé comprennent différents dispositifs de sécurité.

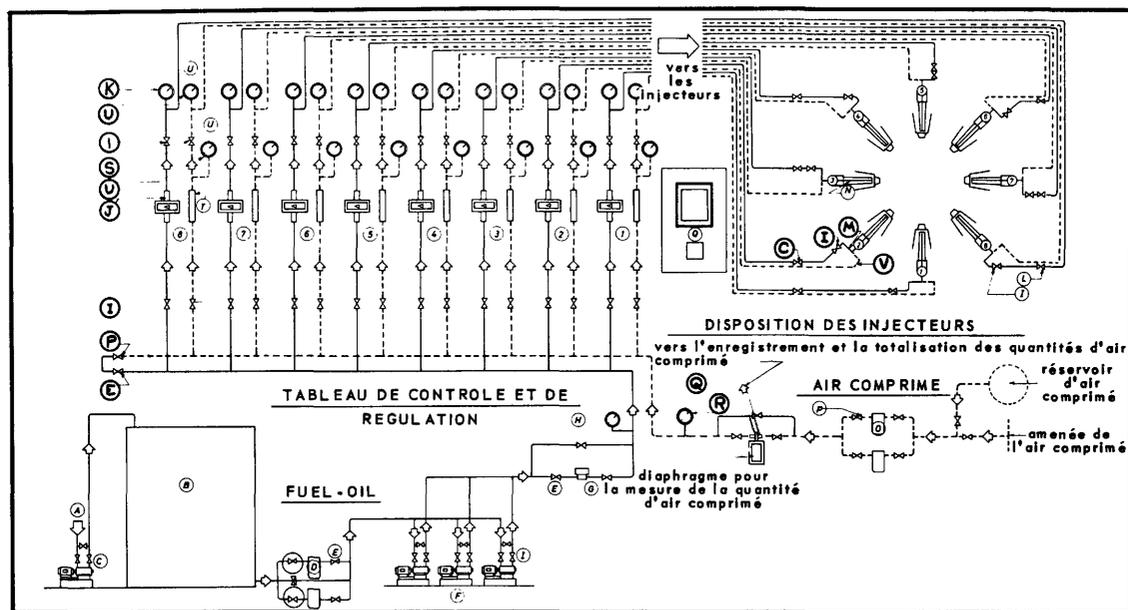


Fig. 3 - Disposition du tableau de contrôle et équipement d'injection du fuel-oil

- |   |  |
|---|--|
| A. Amenée de fuel-oil   | L. Valve de contrôle du fuel-oil, (Dia. 1/2 <sup>e</sup> )     |
| B. Réservoir de stockage de fuel-oil, (capacité 50 m <sup>3</sup> ) | M. Flexibles métalliques pour fuel-oil                         |
| C. Valve de contrôle du fuel-oil, (Dia. 3 <sup>e</sup> )            | N. Injecteur   |
| D. Filtre   | O. Filtre  |
| E. Valve de contrôle du fuel-oil, (Dia. 1 1/2 <sup>e</sup> )        | P. Pointeau pour régler l'air comprimé, (Dia. 2 <sup>e</sup> ) |
| F. 3 pompes à huile, capacité 750 l/h, avec by-pass incorporé       | Q. Totalisateur de débit avec enregistrement                   |
| G. Totalisateur de débit  | R. Manomètre, 0-8 kg/cm <sup>2</sup>                           |
| H. Manomètre, 0-20 kg/cm <sup>2</sup>                               | S. Valve à air comprimé, (Dia. 1/2 <sup>e</sup> )              |
| I. Valve de contrôle du fuel-oil, (Dia. 1/2 <sup>e</sup> )          | T. Rotamètre à air comprimé (Débit instantané)                 |
| J. Rotamètre à fuel-oil (Débit instantané)                          | U. Manomètre à air comprimé                                    |
| K. Pression du fuel-oil à l'injecteur                               | V. Flexible métallique pour air comprimé                       |

### c) Injecteurs de fuel-oil et têtes de pulvérisation

Les injecteurs doivent assurer une atomisation de fuel-oil de manière à obtenir une combustion complète du fuel-oil dans la zone d'oxydation aux tuyères. Dans le cas contraire, il peut se produire la formation de noir de carbone qui pourrait être emmené par les gaz ascendants et être capté par le laitier primaire. Si cette quantité de carbone est importante, le laitier primaire liquide pourrait être partiellement réduit et par cela son point de fusion pourrait être augmenté; il en résulte une résolidification du laitier primaire, conduisant à des accrochages et une perturbation de la marche du fourneau. De même, le fuel injecté ne serait utilisé que partiellement.

Les injecteurs qu'on a utilisés d'une manière courante pendant la durée des essais à Seraing étaient des injecteurs avec atomisation par air comprimé.

Avec le fuel léger, ces injecteurs ont donné entière satisfaction et ont été utilisés pendant 8 mois sans interruption. Quelques rares injecteurs ont dû être remplacés pendant cette période; la détérioration de ceux-ci a toujours été provoquée par des causes extérieures, indépendantes de l'injection de fuel-oil.

La figure 4 montre le détail de construction de l'injecteur ainsi que sa position dans la tuyère principale du haut fourneau.

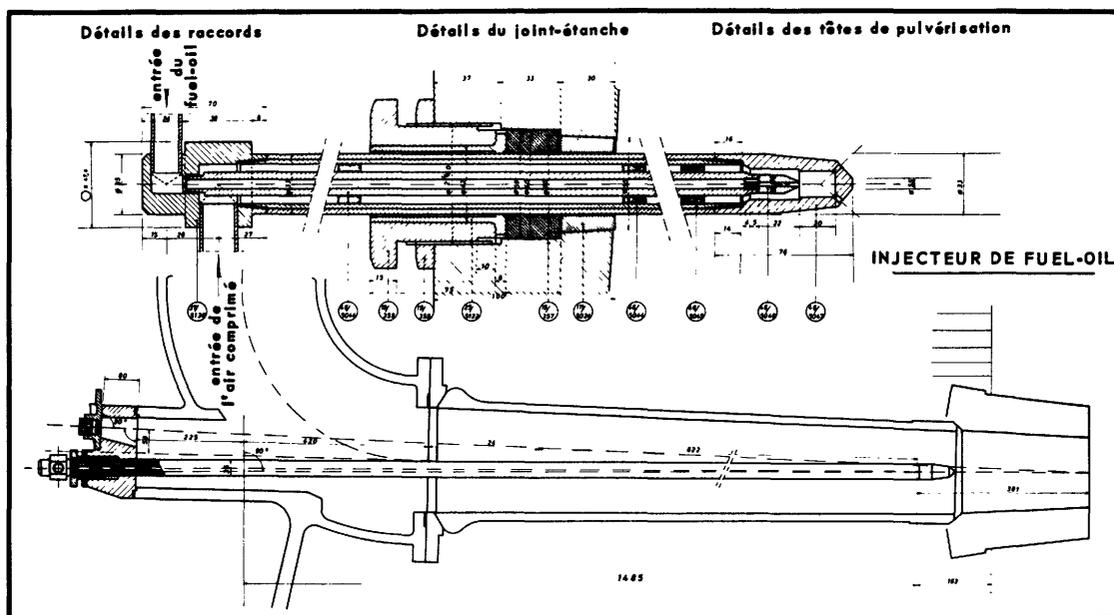


Fig. 4 - Croquis de l'injecteur de fuel-oil et position de l'injecteur dans les tuyères principales du haut fourneau

Les figures 5, 6 et 7 montrent différents types de têtes utilisés pour l'atomisation de fuel-oil par l'air comprimé. Quelques unes de ces têtes d'atomisation ont été développées et essayées à la Fondation de Recherches Internationales sur les Flammes à IJmuiden, par MM. KISSEL & VAN LANGEN.

A l'usine de Seraing, nous n'avons jamais constaté la formation de noir de carbone, ni aucun autre signe de combustion incomplète du fuel-oil.

### d) La charge

Une partie des périodes d'essais a été réalisée avec une charge composée de 58 % de minette avec une teneur en fer d'environ 28 à 30 % et de 40 % d'aggloméré avec une teneur en fer d'environ 46 %.

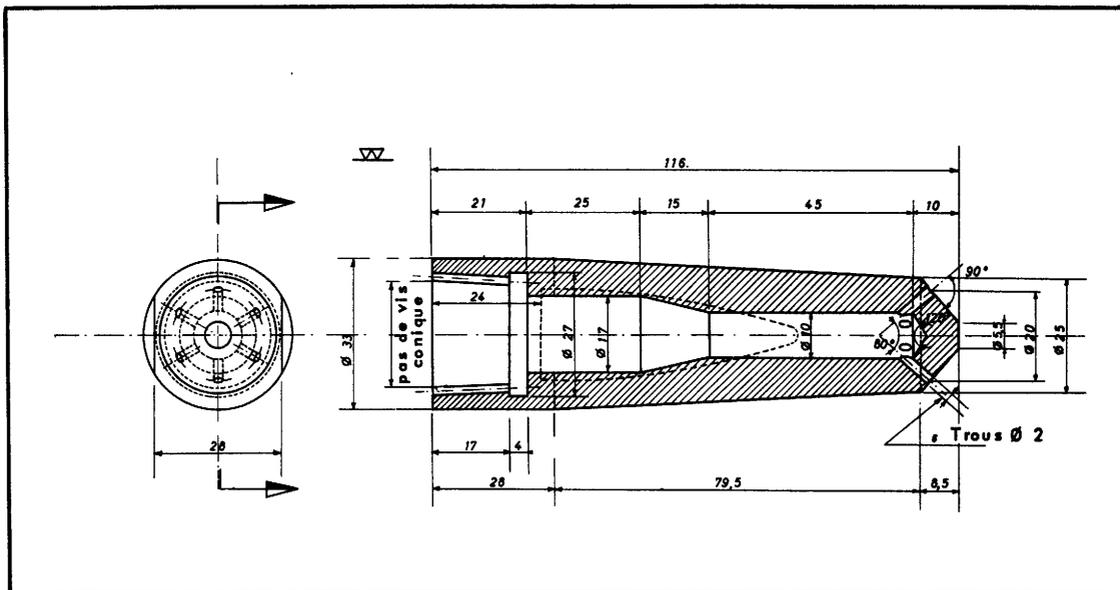


Fig. 5 - Tête de pulvérisation pour l'injecteur d'air comprimé

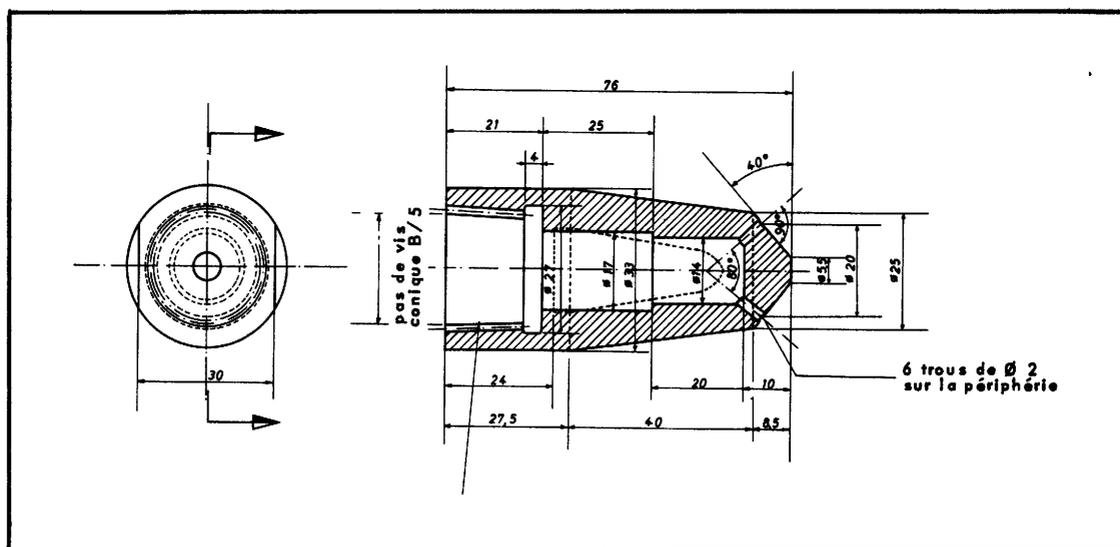


Fig. 6 - Tête de pulvérisation pour l'injecteur d'air comprimé

La minette était un mélange de minerais calcaireux et siliceux proportionnés de manière à obtenir un rapport  $\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$  dans le laitier d'environ 1,4 à 1,5.

Le fourneau étant chargé à la main, des pailles de laminoirs (environ 3%), ont été utilisées pour rendre étanche la cloche et protéger ainsi les ouvriers contre les émanations de gaz toxiques.

La seconde partie de l'essai a été réalisée avec une charge composée de 90% d'aggloméré, 3% de pailles de laminoirs, 4% de scories Martin et 3% de castine. En effet, comme le Si de la fonte était limité à environ 0,4% et que la basicité de l'aggloméré était de 1,1 à 1,2, il était nécessaire d'ajouter au lit de fusion une certaine quantité de castine et de scories Martin pour

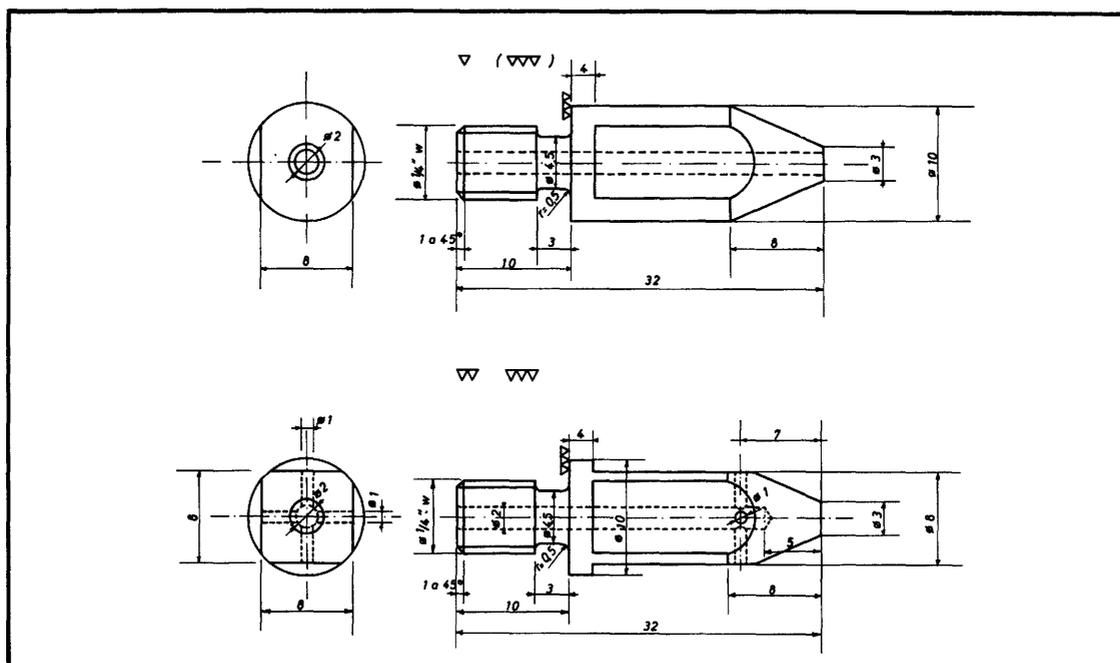


Fig. 7 - Têtes de pulvérisation pour l'injecteur de fuel-oil

obtenir une basicité suffisante du laitier et assurer par là une teneur raisonnable en S de la fonte.

Les tableaux I de a à f donnent les analyses moyennes des minerais et de l'aggloméré et la composition du lit de fusion pour chacune des périodes d'essais.

aa) Coke

Le coke utilisé était un coke métallurgique tel qu'il est couramment produit aux fours à coke de Seraing. L'analyse du coke est donnée au tableau II.

Le coke est amené aux trémies de stockage du haut fourneau au moyen de courroies transporteuses.

Le coke enfourné est pesé et criblé sur des cribles vibrants à trous ronds d'un diamètre de 30 mm.

bb) Fuel-oil

Pour ces essais, on a injecté du fuel-oil léger d'une densité de 0,86 et de la composition suivante :

C fixe	H <sub>2</sub>	S	Chaleur de décomposition
86 %	13 %	0,9 %	500 Kcal/kg

Nous avons choisi ce type de fuel-oil en raison de sa fluidité.

Un préchauffage n'était pas nécessaire dans ce cas; ceci a largement simplifié la construction de l'installation expérimentale d'injection.

cc) Durée des périodes d'essais

Comme notre programme prévoyait un nombre important de périodes d'essais, la durée de chacune des périodes était forcément limitée.

D'un autre côté, après chaque chargement dans les conditions de travail du fourneau, il était nécessaire d'attendre que le fourneau soit revenu à l'équilibre avant de commencer la période d'essais suivante. Pour cette raison, nous avons choisi le mode opératoire suivant: la durée d'une période d'essai était fixée à environ 2 semaines, mais elle était chaque fois précédée d'une période que nous avons appelée "période d'adaptation" d'une durée d'une semaine.

#### IV. - Déroulement des essais

La première période de référence a débuté le 24 avril 1960 et le 5 juin 1960 nous avons injecté du fuel-oil pour la première fois.

Le tableau III donne les conditions d'essais pour les différentes périodes réalisées.

Comme le fourneau marchait d'une manière très régulière, nous avons essayé d'éliminer les tuyères d'étalage. Pendant toute la durée de la période 6, le fourneau n'a travaillé qu'avec 4 tuyères de secours et comme les résultats obtenus étaient encourageants, nous avons essayé de supprimer toutes les tuyères de secours pour la période 7. Ceci a cependant affecté la marche du fourneau et durant la période 8, quatre tuyères de secours ont été à nouveau ouvertes.

Après cette période 8, nous avons projeté de passer à une charge à 90 % d'aggloméré avec injection de fuel-oil et, durant la période 9, le pourcentage d'aggloméré dans la charge a été progressivement augmenté.

Pendant la première semaine de la période 9, le pourcentage moyen d'aggloméré dans la charge s'élevait à environ 64 % et pour la seconde semaine de cette période il était à 78,8 %.

Les performances du fourneau se sont détériorées et des sondages dans la cuve ont montré des garnissages sévères. Cela étant, toutes les tuyères de secours ont été ouvertes à un diamètre de 100 mm et les garnissages ont dû être éliminés au moyen d'explosifs.

Comme nous n'étions plus certains que le profil était le même qu'avant la période perturbée, nous avons décidé de refaire une des périodes de référence, c.à.d. la période 2. Cette nouvelle période de référence, qui a été désignée par le n° 2 bis, a montré que les conditions initiales avaient été rétablies et que les essais pouvaient être continués.

A la suite de cette nouvelle période de référence, nous avons réalisé la période 10 qui était une période à 40 % d'aggloméré; mais l'injection de fuel était accompagnée à la fois d'un enrichissement du vent en oxygène et d'une augmentation de la température du vent.

Les essais avec 90 % d'aggloméré dans la charge ont ensuite recommencé. Pendant ces périodes pratiquement 100 % du fer provenait de l'aggloméré mais le poids de l'aggloméré enfourné ne représentait qu'environ 90 % du poids total de la charge.

Comme déjà mentionné précédemment, une certaine quantité de pailles de laminoirs, de scories Martin et de castine a dû être ajoutée à la charge.

Cette fois-ci le passage de 40 à 90 % d'aggloméré n'a pas été réalisé progressivement sur une période de deux ou trois semaines tel que nous l'avions essayé durant la période 9, mais le changement a été fait sur quelques heures. La marche du fourneau n'a jamais été perturbée et on n'a constaté aucune formation de garnissages.

La période 11 était une période avec 90 % d'aggloméré, sans injection de fuel-oil et sert de période de référence pour tous les essais avec 90 % d'aggloméré dans la charge.

La période 12 a été réalisée sous les mêmes conditions que la période 11, mais avec une injection de 60 kg de fuel-oil par tonne de fonte.

La période 13 était identique à la période 12, mais l'allure du fourneau était plus élevée.

Le 20 décembre 1960, le haut fourneau d'essai a été arrêté par suite d'une grève qui s'est poursuivie jusqu'au 25 janvier. Après la remise en marche du fourneau et une période de réglage

et de stabilisation, une nouvelle période de référence (11 bis) à 90 % d'aggloméré a été entreprise sous des conditions identiques à celle de la période 11, afin de voir l'influence d'un arrêt prolongé du haut fourneau sur ses résultats de marche.

Au cours de cette période, un gamissage s'est formé au niveau du troisième palier. Il a été éliminé à l'explosif les 12 et 19/2.

Les résultats de marche de cette nouvelle période de référence (11 bis) sont comparables à ceux de la précédente (11). L'arrêt prolongé du fourneau n'a donc pas eu d'influence sur la mise au mille coke.

Lors de la période 14, l'allure gaz a été poussée à 34.000 Nm<sup>3</sup>/heure. La période 15a a été réalisée à allure correspondante, à 190 t/jour avec injection de 72 kg de fuel/t fonte et une température de vent de 827° C, et la période 15b avec 64 kg de fuel et une température de vent de 842° C.

Les essais ont été arrêtés début mars 1961.

#### V. - Résultats des essais

Les injections de fuel n'ont jamais présenté de difficulté et la marche du fourneau était régulière. Une influence marquée de l'injection de fuel sur la pression du vent chaud n'a pas été constatée; néanmoins, le nombre de chutes et de tirages était plus faible pendant les périodes avec injection que pour celles sans injection et il semble que pour une allure donnée, la marche soit plus facile avec fuel.

La mise au mille coke par tonne de fonte a considérablement baissé mais comme le rendement de la charge ainsi que d'autres facteurs ont varié d'une période à l'autre malgré les précautions qui avaient été prises, les mises au mille doivent être corrigées pour les ramener aux mêmes conditions avant de faire une comparaison quelconque. Ceci sera discuté dans le chapitre suivant.

Le tableau IV donne pour les différentes périodes des résultats bruts tels qu'ils ont été relevés au haut fourneau.

#### VI. - Bilans thermiques et discussion des résultats

Pour déterminer et contrôler les performances du fourneau et pour comparer les différentes périodes d'essai, il a fallu introduire des corrections sur les mises au mille coke et calculer la diminution de la consommation de coke à attribuer à l'injection de fuel-oil. Dans ce but, des bilans thermiques ont été établis pour toutes les périodes d'essai.

Ces bilans ont été calculés suivant une méthode qui a été développée au C.N.R.M. (1) et perfectionnée ultérieurement.

##### a) La réduction indirecte

Nous avons calculé:

$r_{CO}$  = le pourcentage de réduction par le CO

$r_{H_2}$  = le pourcentage de réduction par l'hydrogène

$r_{CO + H_2}$  = le taux de réduction indirecte total.

Nous avons introduit ces nouvelles notions parce que, pour deux raisons, il nous semblait intéressant de faire une distinction entre la réduction indirecte par le CO et celle par le H<sub>2</sub>:

---

(1) A. POOS et A. DECKER - *Bilans thermiques et consommations de coke au Haut Fourneau - Revue Universelle des Mines, Janvier 1959.*

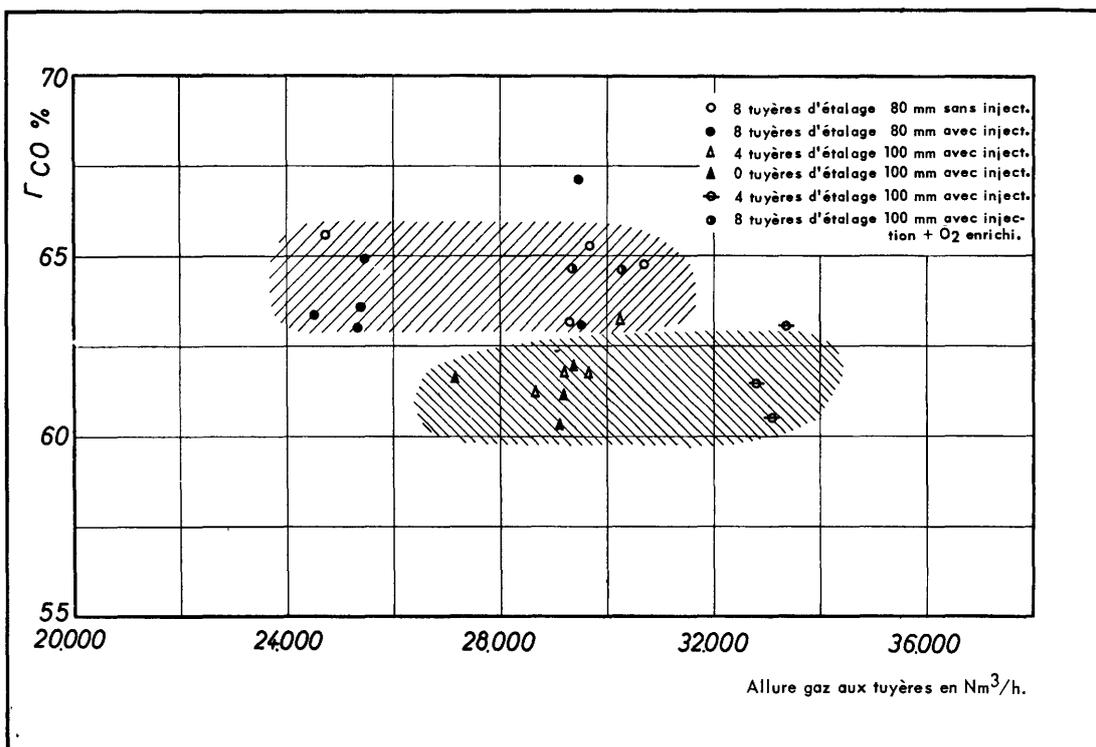


Fig. 8 - Diagramme  $r_{CO}$ / allure gaz pour les périodes à 40 % d'aggloméré

a - du point de vue thermique, il y a une différence entre ces deux types de réduction indirecte; ainsi, par exemple, la réduction indirecte de  $Fe_2O_3$  par le CO est légèrement exothermique, tandis que celle par le  $H_2$  est endothermique.

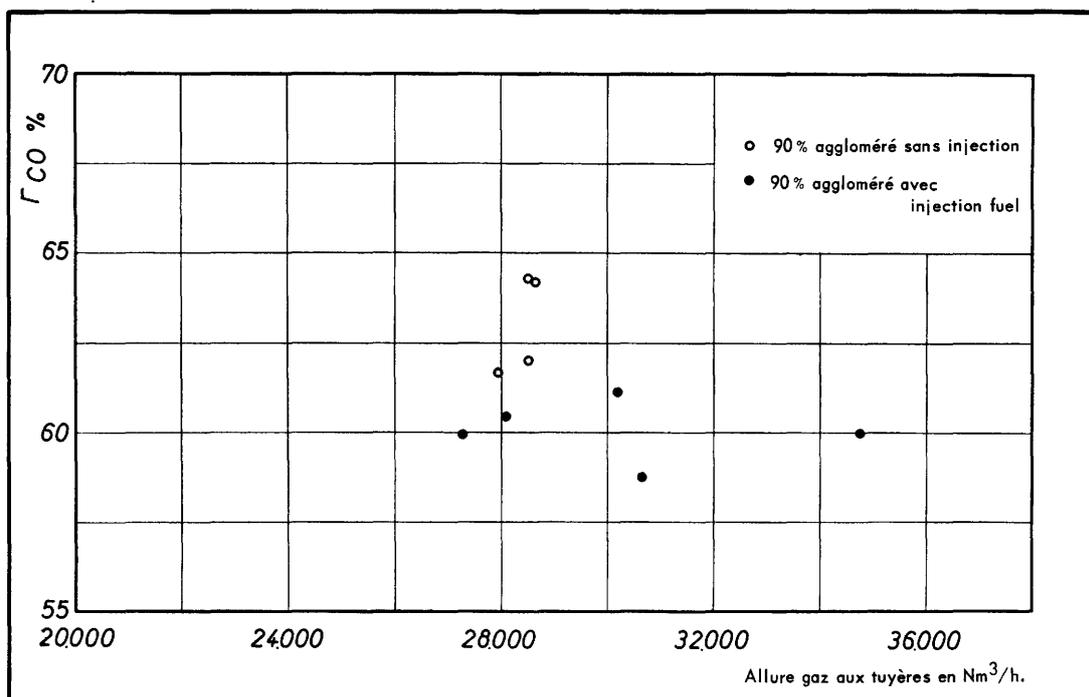


Fig. 9

b - cette manière de procéder nous permet de déterminer si l'accroissement de la réduction indirecte est uniquement due à la réduction indirecte supplémentaire par l'hydrogène ou si, en plus, le H<sub>2</sub> a un effet catalytique sur la réduction indirecte par CO.

Le tableau V donne les valeurs calculées pour les différentes périodes. La figure 8 donne les valeurs de  $r_{CO}$  en fonction de l'allure gaz au creuset pour les périodes à 40 % d'aggloméré. La figure 9 donne le même diagramme pour les marches à 90 %. On peut en conclure que :

- le  $r_{CO}$  pour les périodes au fuel est identique à celui des périodes de référence correspondantes dans le cas de la charge à 40 % d'aggloméré. Pour les périodes à 90 % d'aggloméré, le  $r_{CO}$  des périodes avec injection se trouve en dessous de celui des périodes sans injection. L'hypothèse d'une amélioration de  $r_{CO}$  par un effet catalytique de l'hydrogène n'est donc pas confirmée.

Evidemment, la réduction indirecte totale  $r = r_{CO} + r_{H_2}$  est nettement plus élevée pour les périodes avec injection par suite de la présence de quantités importantes d'hydrogène provenant du fuel dont environ 40 % ont participé à la réduction des oxydes.

- les valeurs de  $r_{CO}$  pour les périodes avec 90 % d'aggloméré sont légèrement en dessous des valeurs correspondantes des périodes avec 40 % d'aggloméré.
- les périodes avec 0 ou 4 tuyères d'étalage ont des valeurs de  $r_{CO}$  plus basses que les périodes correspondantes avec 8 tuyères d'étalage.

#### b) La qualité de la fonte

Pendant les périodes avec fuel, la qualité de la fonte s'est légèrement améliorée. Les teneurs en S et en Si ont diminué (voir tableau VI).

Rappelons que le fuel injecté avait une teneur en S de 0,9 % et que la quantité totale de S apportée par le fuel représentait environ 50 à 60 % du S du coke qu'il a remplacé.

#### c) La température du gueulard

Quant à la température du gueulard, elle n'a pas été affectée par les injections de fuel dans le cas de la marche à 40 % d'aggloméré (voir fig. 10).

Avec un lit de fusion à 90 % d'aggloméré par contre, il semble que la température du gueulard augmente rapidement dès qu'on dépasse une quantité de fuel de 55 kg/t fonte (pour une t° de vent constante d'environ 800° C). On peut se demander si cette augmentation de la température du gueulard est due au fait que 50-55 kg de fuel constituent la quantité limite à injecter, compatible avec une marche optima du fourneau dans le cas d'un lit de fusion à 90 % d'aggloméré et une température du vent de 800° C (évidemment pour le fourneau particulier en question). On peut en douter.

En effet, avec une charge à 40 % d'aggloméré, ce phénomène ne s'est pas présenté. Or, de nombreuses expériences ont montré qu'en passant d'une charge à faible pourcentage d'aggloméré à une charge avec 100 % d'aggloméré, il est souvent nécessaire de diminuer la température du vent.

On aurait donc pu supposer que lors des périodes à 90 % d'aggloméré pour une même température de vent, la quantité de fuel qu'on peut injecter serait supérieure à la quantité optima pour les périodes à 40 %.

D'ailleurs, si nous calculons la quantité de fuel injectée par Nm<sup>3</sup> de vent sec et pour une augmentation de la température du vent de 100° C (voir tableau VII) nous constatons que les conditions d'injection étaient similaires pour toutes les périodes en ce qui concerne les quantités de fuel injectées.

Si par contre, nous considérons aussi l'humidité naturelle du vent (tableau VII dernière colonne) nous constatons que lors des périodes avec 40 % d'aggloméré et injection de fuel (mois

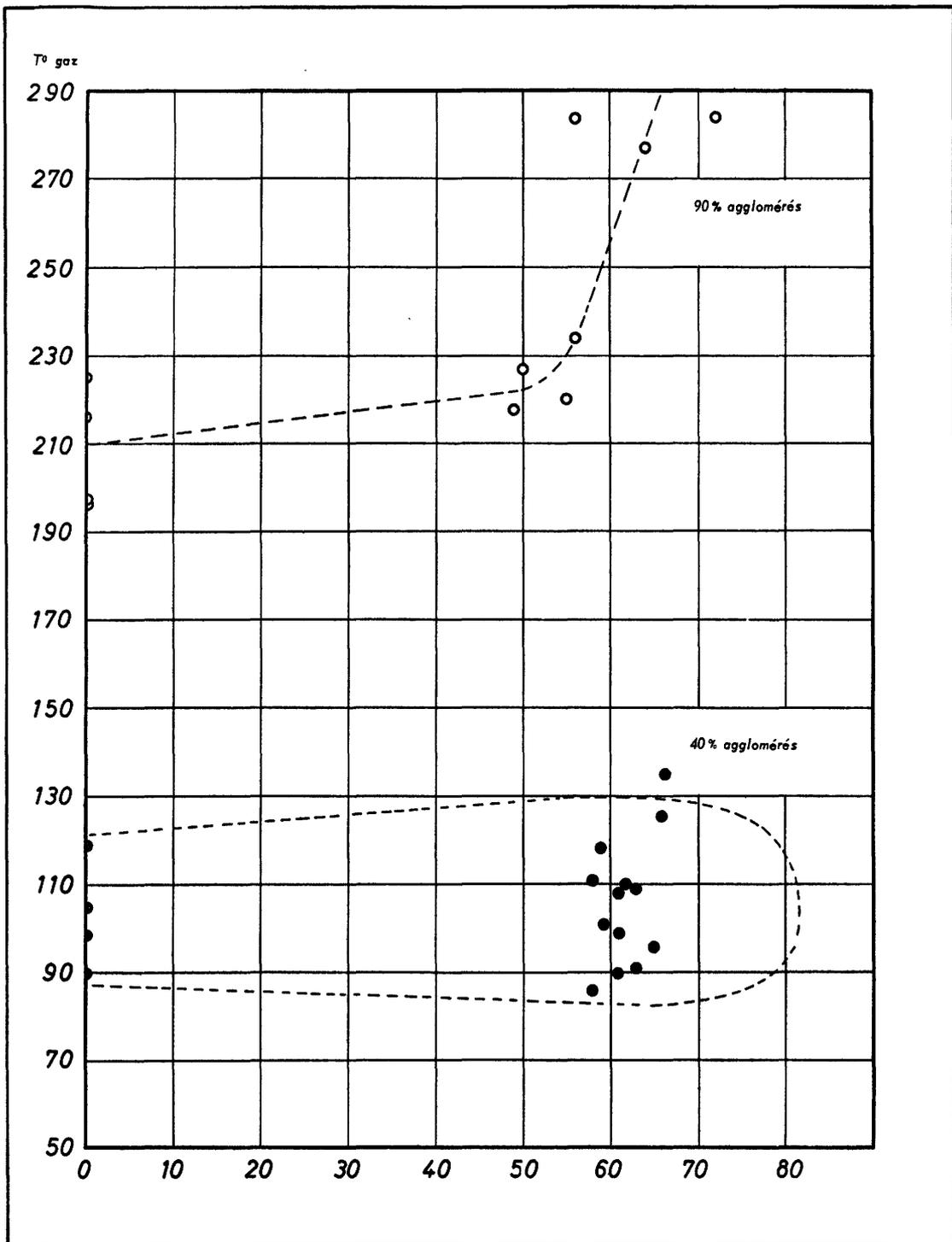


Fig. 10 - Kg. fuel / t. fonte

d'été) celle-ci était nettement plus élevée que pendant les périodes de référence et celles à 90 % d'aggloméré (mois d'hiver). Or, l'effet de refroidissement de l'humidité est très élevé. Tenant compte de ce facteur, il semblerait qu'on aurait dû trouver une quantité limite de fuel lors de ces périodes à 40 % d'aggloméré plutôt que lors de celles à 90 % d'aggloméré. Il n'est donc pas prouvé que cette augmentation de la température du gaz doit être attribuée au fuel.

d) La diminution de la mise au mille coke

La comparaison des mises au mille coke nécessite une correction préalable de celles-ci pour les ramener aux mêmes conditions.

Les corrections que nous avons apportées sont les suivantes :

- correction pour ramener les températures du vent des périodes de référence.
- corrections pour le carbone et le silicium de la fonte.

En ce qui concerne le silicium, nous avons apporté une correction basée sur les besoins thermiques et le carbone de réduction directe nécessaire à la réduction du silicium. Celle-ci s'élève à 3,75 kg de coke pour 0,1 % de Si.

- correction pour le rendement du lit de fusion et l'humidité du vent. Ici encore nous n'avons pas appliqué les corrections classiques trouvées dans la littérature technique qui s'élèvent suivant les différents auteurs à 15-40 kg de coke par % de rendement. En effet, le rendement variait parfois par suite d'une variation de l'humidité des minerais, parfois à la suite d'une variation des hydrates, des carbonates ou de la gangue. Du point de vue besoins thermiques de la charge, ces variations sont loin d'être équivalentes et il ne semblerait pas logique d'appliquer un facteur de correction constant.

Notre correction est basée sur une comparaison des besoins thermiques des différents lits de fusion en tenant compte simultanément de la variation de l'humidité du vent comme nous pouvons le déterminer par nos calculs de bilans thermiques.

Les tableaux en annexe contiennent tous les renseignements nécessaires au lecteur qui voudrait apporter d'autres corrections de son choix.

Le tableau VIII contient les corrections ainsi apportées ainsi que les mises au mille de coke corrigées exprimées en kg de coke normal ( $C_{\text{fixe}} = 85\%$  sur humide).

Les tableaux IX et X contiennent les coefficients de remplacement en kg de coke par kg de fuel. Le premier donne le gain total provenant de l'augmentation de la température du vent et de l'injection du fuel; le second donne le gain à attribuer au fuel seul. Les diminutions de la consommation de coke trouvées lors des périodes avec 90 % d'aggloméré et avec injection de fuel sont les mêmes que celles trouvées au Bas Fourneau. Ceci prouve encore une fois que les résultats du Bas Fourneau sont transposables au Haut Fourneau.

e) Quantité de fuel à injecter pour une augmentation donnée de la température du vent

Les calculs théoriques évoqués au début de ce texte, donnent comme résultat que pour 100° C d'augmentation de la température du vent, on peut injecter 15-18 gr de fuel/Nm<sup>3</sup> de vent sec. Or, comme nous l'avons indiqué plus haut (tableau VII), la quantité de fuel injecté était de 22-28 gr/Nm<sup>3</sup> de vent et pour 100° C. Nous avons donc largement dépassé la quantité théorique. D'ailleurs l'humidité naturelle du vent a simultanément varié dans de très larges limites. En plus, le Haut Fourneau 4 de Seraing accepte facilement du vent à 800° C sans aucune injection (du moins avec un lit de fusion à 40 % d'aggloméré). Or, malgré cela, le haut fourneau a marché parfaitement lors des essais avec injections. Ceci montre que tant qu'on ne dispose pas de plus d'informations sur les températures de préchauffage du coke et de la température de flamme au creuset, un calcul théorique ne peut donner que peu de renseignements valables en ce qui concerne les quantités qu'on peut injecter et que l'expérience seule permet de donner une réponse valable.

f) Augmentation de production

Dans les conditions de nos essais, c.à.d. injections assez fortes pour une augmentation de la température du vent assez limitée et allure gaz au creuset (volume N<sub>2</sub> + CO + H<sub>2</sub> par unité de temps) constante, l'augmentation de production est insignifiante (voir tableau 11).

Par contre, il est évident que si l'on injecte des quantités de fuel faibles accompagnées d'une augmentation de la température du vent assez conséquente, on obtient une augmentation de la production en relation avec l'accroissement de la température du vent.

Il est possible que la présence d'une forte quantité d'hydrogène dans le gaz, lors des périodes avec injection permette d'augmenter l'allure gaz par rapport aux périodes sans injection. Nous n'avons pas pu examiner cette possibilité. Il aurait fallu un trop grand nombre d'essais supplémentaires. Pour cela, il faudrait faire des marches avec et sans injections à différentes allures et déterminer pour chaque cas la production maxima.

A part le bas fourneau d'Ougrée où de tels essais sont en cours, aucune usine n'a effectué des essais systématiques de ce genre. Tant que cela n'est pas fait, il est impossible de prévoir avec une approximation suffisante les possibilités d'augmenter la production en injectant du fuel qui, d'ailleurs, dépend des conditions d'injection. Cette question pourra être rediscutée quand les résultats complets des essais du bas fourneau seront disponibles.

#### VII. - Résultats des mesures spéciales

Durant les essais, nous avons réalisé de nombreuses mesures en vue de rassembler le plus d'informations possible et, dans ce but, différents dispositifs spéciaux ont été construits.

Comme le rôle de l'hydrogène est très important dans le cas d'injections de fuel-oil, le bilan hydrogène nécessite un contrôle spécial. Un appareillage permettant de déterminer la quantité d'eau contenue dans le gaz de gueulard fut construit. Ceci a permis d'établir un bilan matière pour l'eau et de vérifier par ce moyen la précision du bilan de l'hydrogène.

L'analyse gaz déterminée au moyen d'un appareil "Orsat" a été vérifiée par un chromatographe "Perkin-Elmer". Comme ce dernier est étalonné avec un gaz étalon, les résultats obtenus étaient complètement indépendants de ceux obtenus par l' "Orsat" et une erreur éventuelle pouvait être décelée. Cet appareil permettait surtout de surveiller la combustion complète du fuel. A aucun moment, nous n'avons pu retrouver du méthane ou d'autres hydrocarbures dans le gaz de gueulard.

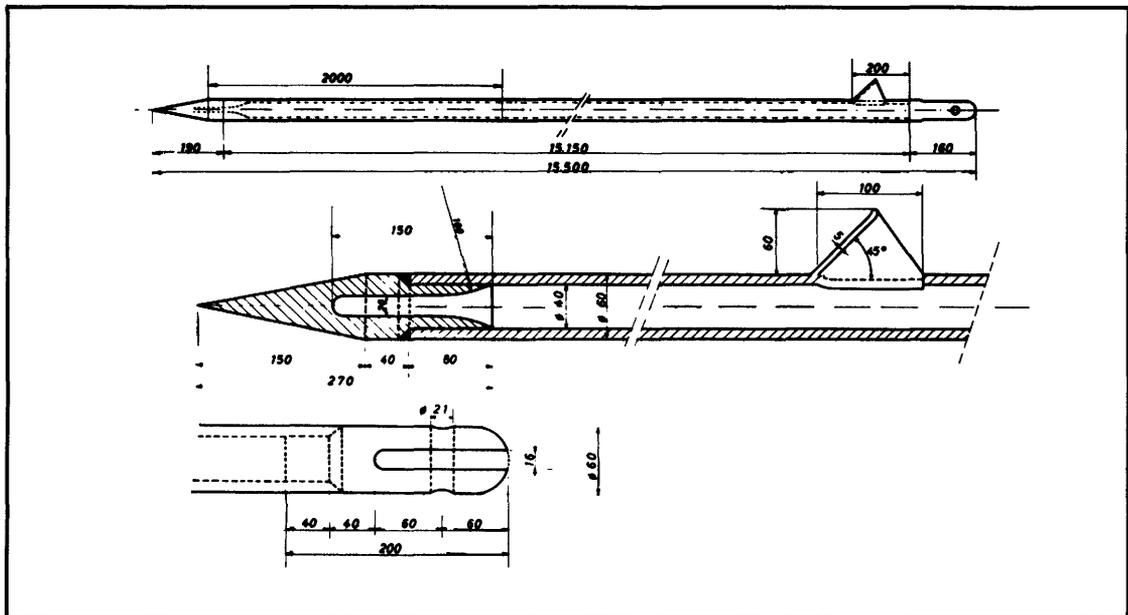


Fig. 11 - Sonde verticale pour mesure de la température

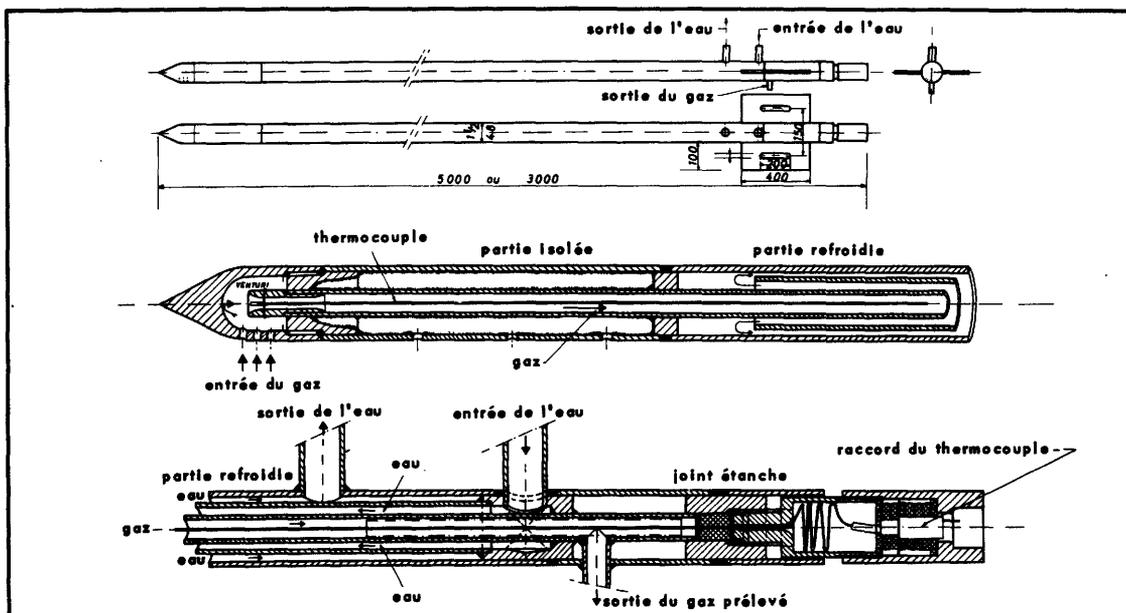


Fig. 12 - Sonde horizontale pour prélever des échantillons de gaz et mesurer la température

Lors des périodes avec injections, nous avons essayé de maintenir le profil thermique et la distribution de l'analyse du gaz à l'intérieur du haut fourneau semblable à celles des périodes de référence. Ceci a été vérifié à l'aide de sondages.

Ces sondages effectués à l'intérieur de la cuve du fourneau par des sondes verticales et horizontales, ont permis de mesurer la température et de prélever des échantillons de gaz à différents niveaux et suivant un rayon du fourneau.

A la figure 2, qui donne le profil du fourneau, on montre l'emplacement des différentes sondes dont les croquis sont donnés aux figures 11 et 12.

Les sondes horizontales ont été construites suivant le principe des pyromètres à aspiration, de manière à permettre simultanément le prélèvement de gaz et la détermination de sa température exacte.

La figure 13 donne les courbes relevées au balcon 2 lors des périodes à 40 % d'aggloméré. La figure 14 donne, pour les mêmes périodes, celles relevées au balcon 3.

Les courbes en traits épais se rapportent à une période de référence, les plages hachurées indiquent le domaine de variation pour l'ensemble des périodes à 40 % d'aggloméré.

La figure 15 montre deux courbes des températures relevées par des sondages verticaux pour 40 et 90 % d'aggloméré.

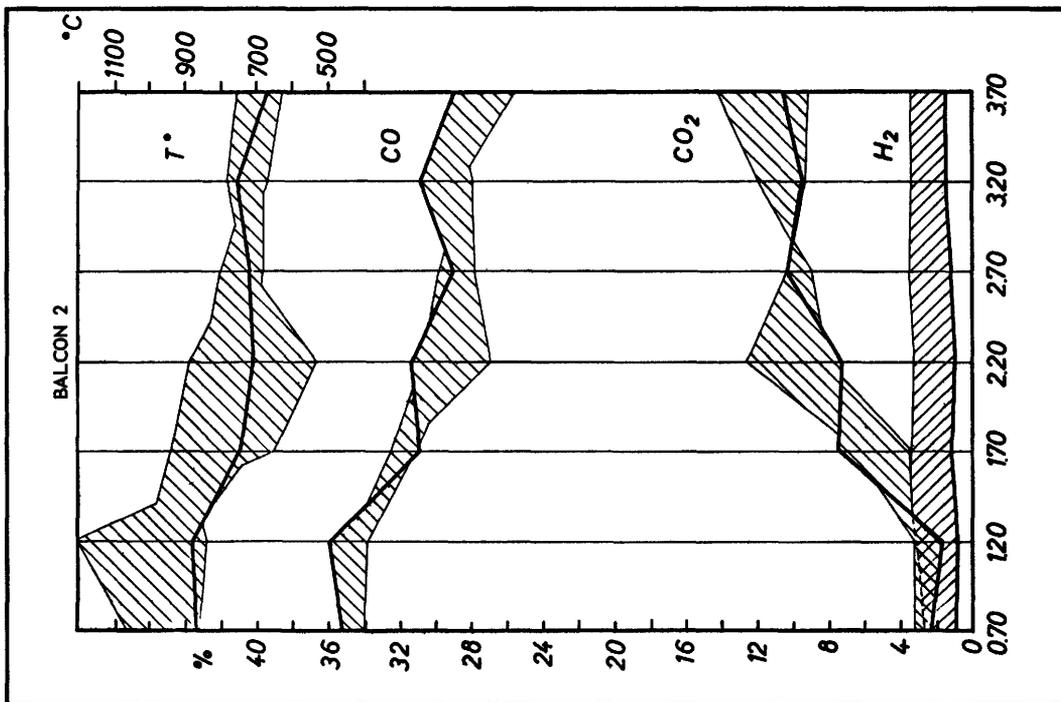


Fig. 13 - Distance à la paroi du Haut Fourneau en m.

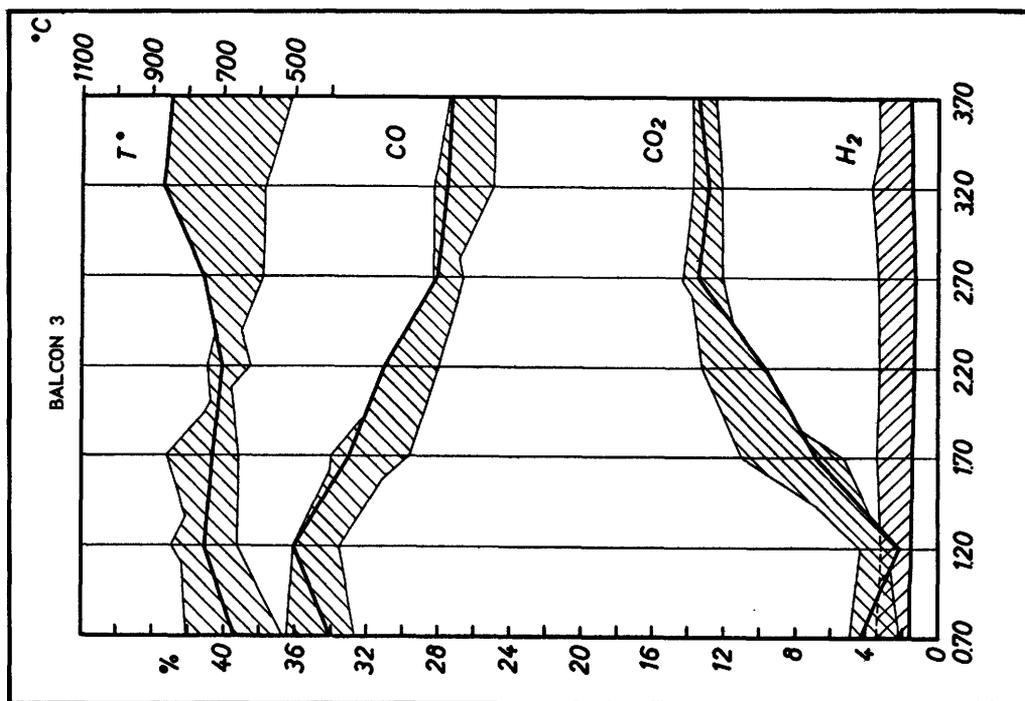


Fig. 14 - Distance à la paroi du Haut Fourneau en m

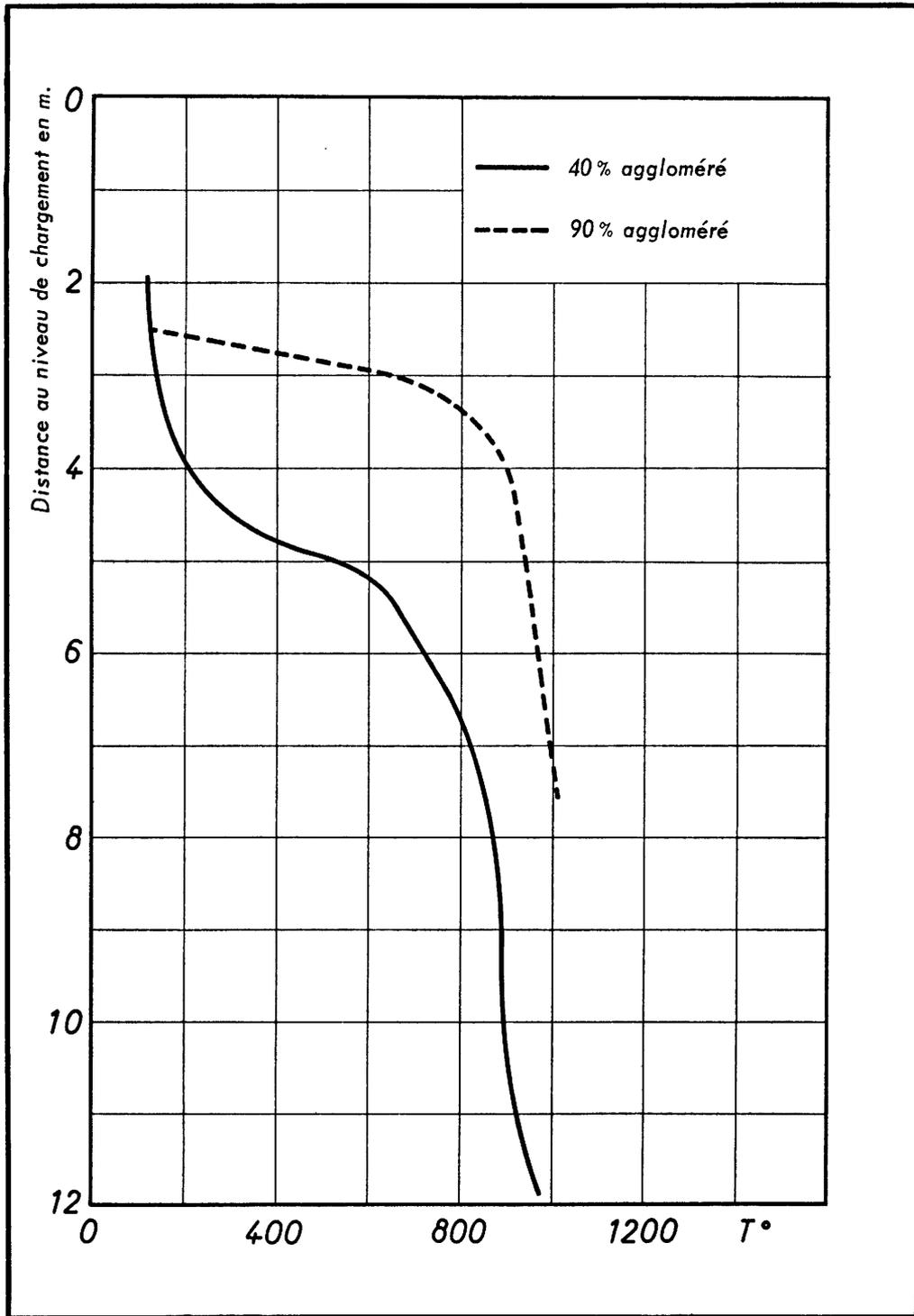


Fig. 15 - Sondages verticaux

### VIII. - CONCLUSIONS

De juin 1960 à mars 1961, du fuel-oil léger a été injecté au haut fourneau 4 de l'usine de Seraing de la société Cockerill-Ougrée. Cette injection a été réalisée moyennant des injecteurs placés dans les tuyères principales. Le fuel-oil a été pulvérisé à l'aide d'air comprimé, qui a servi en même temps pour le refroidissement des injecteurs.

Une partie des périodes d'essais a été effectuée avec un lit de fusion composé de 40 % d'aggloméré et 60% de minettes et l'autre partie de 90% d'aggloméré et 10% d'additions diverses.

L'appareillage d'injection a donné entière satisfaction, et pendant les huit mois de marche aucun ennui mécanique grave ne s'est présenté.

L'injection de fuel-oil a eu une influence favorable sur la marche du fourneau et la qualité de la fonte. On a constaté une diminution considérable de la mise au mille coke jusqu'à 2,2 kg/kg de fuel (y compris l'effet de l'augmentation de la température du vent).

Les essais ont montré qu'il est, dans certains cas, possible de dépasser la quantité de fuel à injecter calculée par voie théorique et même d'injecter du fuel sans augmenter la température du vent. Naturellement, le gain de coke par kg de fuel injecté est plus bas que lorsque l'injection est accompagnée d'une forte augmentation de la température du vent. Dans ce cas, la décision pour ou contre une injection ne dépend plus des possibilités d'augmentation de la température du vent, mais uniquement des prix relatifs du coke et du fuel, donc de considérations purement économiques. Ainsi donc, la réalisation et l'intérêt de l'injection de fuel dépendent fortement des conditions locales.

En ce qui concerne les possibilités d'augmentation de la production par une injection de fuel, les résultats disponibles à ce jour ne permettent pas encore de donner une réponse définitive.

Différentes mesures spéciales ont été réalisées dans le but de rassembler des informations supplémentaires sur le mécanisme de l'injection de fuel-oil dans le fourneau et pour contrôler les résultats obtenus.

### REMERCIEMENTS

Les auteurs désirent remercier la Haute Autorité de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier, dont l'aide financière a rendu cette recherche possible.

Ils remercient également la S.A. Cockerill-Ougrée et le Centre National de Recherches Métallurgiques qui ont permis la publication de ces résultats.

Un remerciement spécial est adressé aux membres du Comité exécutif pour les avis autorisés qu'ils ont formulés lors des discussions avec les auteurs du présent rapport.



# TABLEAUX





TABLEAU 1b  
ANALYSES DES MINERAIS ET AGGLOMERES

Périodes	Minerais	Poids enfourné	Humidité	Fe total	Fe métal	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> comb.	CO <sub>2</sub>	C fixe	S	P	Mn	
4 19/6 au 2/7	Briey gros	950	5,72	25,06	0,80	6,97	27,00	23,57	8,06	1,24	3,32	5,66	20,95	0,135	0,129	0,650	0,325	
	Briey roulant	472	7,25	28,80	0,74	7,45	31,91	19,27	8,70	1,38	4,15	6,67	17,40	0,010	0,136	0,613	0,315	
	Siliceux gros	154	8,72	30,82	0,91	8,12	33,83	12,91	15,32	1,73	3,87	7,75	11,95	0,095	0,232	0,732	0,290	
	Siliceux roulant	77	9,70	31,96	0,87	7,77	35,84	11,30	15,21	1,75	4,46	7,28	11,29	-	0,254	0,721	0,310	
	Agglom.	1 189	0,05	46,55	2,84	13,58	47,42	13,02	11,59	1,75	5,16	0,45	0,57	0,09	0,051	0,850	0,340	
	Pailles	86	5,05	-	-	41,43	22,95	1,31	3,63	0,19	0,19	1,15	0,56	-	-	-	-	-
	Poussières gueulard	87	-	42,49	1,80	20,62	35,08	9,18	6,93	1,19	3,41	4,47	5,22	7,86	0,120	0,516	0,350	
	Briey gros	910	6,50	25,41	0,62	8,80	25,66	23,07	7,48	1,32	3,98	6,12	20,35	0,09	0,162	0,560	0,290	
	Briey roulant	458	7,47	27,89	0,58	8,60	29,49	20,37	- 7,73	1,30	4,69	5,46	17,82	0,21	0,162	0,603	0,310	
	Siliceux gros	175	9,05	30,97	0,60	9,97	32,32	13,23	15,40	1,64	4,74	6,65	11,87	0,26	0,221	0,700	0,320	
Siliceux roulant	88	9,90	31,50	0,58	9,27	33,87	11,91	15,16	1,80	4,67	7,28	10,67	0,15	0,265	0,680	0,300		
Agglom.	1 196	0,07	46,48	1,79	16,04	46,06	13,18	11,46	1,30	5,74	0,44	0,79	0,02	0,050	0,826	0,310		
Pailles	88	5,10	71,45	11,80	52,30	27,17	1,44	3,33	0,33	1,39	0,72	0,10	0,07	0,064	0,081	0,750		
Poussières gueulard	89	-	39,76	1,67	18,05	34,38	10,24	7,80	1,19	4,24	5,16	5,57	8,90	0,126	0,567	0,310		
6 24/7 au 6/8	Briey gros	851	6,75	25,69	0,74	9,10	25,54	23,63	7,21	1,35	3,70	5,71	20,69	0,23	0,175	0,570	0,310	
	Briey roulant	427	7,45	28,21	0,80	9,12	29,04	20,60	7,31	1,37	3,93	6,72	18,62	0,01	0,170	0,601	0,310	
	Siliceux gros	203	9,10	29,68	0,87	8,83	31,35	14,07	15,43	1,82	4,66	5,40	13,47	-	0,202	0,710	0,300	
	Siliceux roulant	102	9,70	30,66	0,83	8,63	33,03	12,47	16,10	1,85	4,77	7,74	11,77	0,10	0,266	0,692	0,320	
	Agglom.	1 159	0,10	46,55	5,67	12,35	48,96	14,10	11,55	1,63	4,93	0,48	0,83	0,03	0,057	0,802	0,290	
	Pailles	86	4,70	70,29	2,88	59,35	30,42	1,10	3,15	0,22	0,22	1,02	0,15	0,20	0,061	0,062	0,930	
	Poussières gueulard	84	-	36,96	2,15	15,38	32,68	10,79	8,67	1,34	4,94	4,14	5,51	9,54	0,172	0,566	0,310	

TABLEAU 1c  
ANALYSES DES MINERAIS ET AGGLOMERES

Périodes	Minerais	Poids enfourné	Humidité	Fe total	Fe métal	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> combiné	CO <sub>2</sub>	C fixe	S	P	Mn
7 14/8 au 27/8	Briey gros	861	6,67	25,65	0,78	8,45	26,16	23,26	6,76	1,52	4,26	6,03	20,58	0,05	0,191	0,544	0,35
	Briey roulant	432	7,40	27,44	0,70	9,00	28,21	21,53	7,55	1,40	4,14	6,37	19,00	0,11	0,205	0,577	0,33
	Siliceux gros	220	9,20	30,31	0,78	8,15	33,15	12,92	15,38	1,85	4,93	7,83	11,44	0,08	0,175	0,670	0,33
	Siliceux roulant	110	9,33	31,26	0,94	7,89	34,55	12,04	15,32	1,82	5,26	7,82	10,84	0,07	0,232	0,677	0,33
	Agglom.	1 176	0,15	45,57	2,57	12,69	47,34	13,99	12,18	1,88	5,62	0,39	0,45	0,10	0,065	0,759	0,38
	Pailles	88	2,87	70,67	5,61	57,87	28,73	1,23	2,99	0,26	1,21	0,69	0,38	0,049	0,057	0,055	0,83
	Poussières gueulard	100	-	35,81	2,34	14,89	31,29	11,04	8,42	1,45	4,45	4,08	6,70	8,87	0,161	0,547	0,36
8 4/9 au 17/9	Briey gros	875	6,55	24,40	0,85	7,75	25,03	23,46	8,14	1,30	3,61	6,18	20,52	0,10	1,90	0,598	0,32
	Briey roulant	436	7,14	26,25	0,91	8,18	27,14	21,31	8,27	1,32	3,97	6,52	19,03	0,03	0,214	0,633	0,29
	Siliceux gros	241	8,90	29,09	0,74	8,55	31,00	13,86	15,58	1,75	4,58	7,20	12,54	0,02	0,257	0,729	0,32
	Siliceux roulant	120	9,57	30,14	0,85	8,05	32,89	13,25	15,24	1,81	4,20	7,14	12,20	0,06	0,272	0,710	0,30
	Agglom.	1 248	0,05	44,08	2,43	12,82	45,21	14,44	12,71	1,82	5,66	0,33	0,44	0,12	0,061	0,868	0,34
	Pailles	95	4,70	68,87	7,90	56,74	24,13	1,10	5,70	0,23	0,78	0,65	0,65	0,24	0,174	0,064	0,74
	Poussières gueulard	166	-	36,89	2,82	17,41	29,33	11,28	9,08	1,36	4,46	3,93	6,78	6,23	0,176	0,650	0,32
10 30/10 au 12/11	Briey gros	901	6,75	-	0,85	8,02	24,98	24,15	7,36	1,51	3,01	5,80	21,86	-	0,210	-	-
	Briey roulant	453	7,55	-	0,85	8,41	26,85	22,57	7,53	1,51	3,29	6,00	19,90	-	0,240	-	-
	Siliceux gros	199	8,65	-	0,62	7,44	33,85	12,44	16,44	1,62	4,33	6,86	11,98	-	0,220	-	-
	Siliceux roulant	100	9,15	-	0,70	7,54	32,43	13,02	17,12	1,78	4,20	7,72	12,92	-	0,250	-	-
	Agglom.	1 183	0,02	45,92	2,26	11,63	49,45	13,57	12,15	1,89	5,35	0,42	0,31	0,12	0,060	0,764	0,35
	Pailles	90	8,10	71,83	2,36	57,32	35,61	1,02	1,37	0,20	0,40	0,78	-	-	0,050	0,071	0,58
	Poussières gueulard	91	-	41,02	2,31	18,77	34,46	10,18	7,69	1,47	4,08	3,12	6,30	7,02	0,171	0,587	0,34

TABLEAU 1d  
ANALYSES DES MINÉRAIS ET AGGLOMÉRÉS

Périodes	Minerais	Poids enfourné	Humidité	Fe total	Fe métal	FeO	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CeO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> combiné	CO <sub>2</sub>	C fixe	S	P	Mn	
11a 13/11 ou 19/11	Briey gros	37	6,75	-	0,85	8,02	24,98	24,15	7,36	1,51	3,01	5,80	21,86	-	0,210	-	-	
	Briey roulant	14	7,55	-	0,85	8,41	26,85	22,57	7,53	1,51	3,89	6,00	19,90	-	0,240	-	-	
	Siliceux gros	7	8,65	-	0,62	7,44	33,85	12,44	16,44	1,62	4,33	6,86	11,98	-	0,220	-	-	
	Siliceux roulant	3	9,15	-	0,70	7,54	32,43	13,02	17,12	1,78	4,20	7,72	12,92	-	0,250	-	-	
	Castine	80	-	-	-	-	4,40	49,98	2,44	0,51	0,27	-	41,80	-	0,030	-	-	
	Agglom.	2 001	0,05	45,36	2,04	11,20	49,45	13,44	12,35	1,78	5,66	0,27	0,06	0,19	0,063	0,758	0,32	
	Pailles	76	0,98	72,12	1,41	61,21	33,22	1,66	0,45	0,15	0,90	0,40	-	0,40	0,038	0,149	0,68	
	Scories Martin	84	0,15	24,25	6,53	11,07	13,01	35,78	12,19	6,41	1,75	0,73	0,73	0,09	0,24	0,180	0,723	3,90
	Poussières gueulard	36	-	36,68	1,81	20,47	27,09	8,61	7,44	0,97	3,07	1,45	1,45	2,18	21,40	0,176	0,343	0,32
	11b 20/11 ou 26/11	Castine	68	1,35	-	-	-	5,41	50,96	1,84	0,62	0,33	-	39,90	-	0,020	-	-
Agglom.		2 065	0,05	46,20	2,12	11,33	50,39	13,02	12,24	1,85	5,94	0,25	0,27	0,10	0,070	0,829	0,29	
Pailles		72	5,85	69,86	4,29	55,91	31,72	1,42	2,88	0,57	1,39	0,34	0,33	0,68	0,080	0,073	0,83	
Scories Martin		58	0,20	26,06	7,20	13,69	11,75	35,91	11,05	7,33	1,48	0,69	0,34	0,07	0,210	0,618	5,10	
Poussières gueulard		37	-	39,90	2,22	24,49	26,64	8,87	8,97	3,56	3,51	1,08	2,26	12,80	0,195	0,497	0,29	
11 13/11 ou 26/11 1960		Briey gros	18	6,75	-	0,85	8,02	24,98	24,15	7,36	1,51	3,01	5,80	21,86	-	0,210	-	-
		Briey roulant	7	7,55	-	0,85	8,41	26,85	22,57	7,53	1,51	3,89	6,00	19,90	-	0,240	-	-
		Siliceux gros	3	8,65	-	0,62	7,44	33,85	12,44	16,44	1,62	4,33	6,86	11,98	-	0,220	-	-
		Siliceux roulant	1	9,15	-	0,70	7,54	32,43	13,02	17,12	1,78	4,20	7,72	12,92	-	0,250	-	-
		Castine	74	1,35	-	-	-	4,90	50,47	2,14	0,56	0,30	-	40,85	-	0,020	-	-
	Agglom.	2 034	0,05	45,78	2,08	11,27	49,92	13,23	12,30	1,81	5,80	0,26	0,17	0,14	0,066	0,793	0,30	
	Pailles	74	3,42	71,04	2,85	58,56	32,47	1,54	1,67	0,36	1,15	0,37	0,19	0,54	0,061	0,111	0,075	
	Poussières gueulard	37	-	38,29	2,02	22,48	26,87	8,74	8,20	2,27	3,29	1,27	2,22	17,14	0,185	0,420	0,31	
	Scories Martin	71	0,18	25,16	6,87	12,38	12,38	35,85	11,62	6,87	1,61	0,72	0,21	0,15	0,196	0,670	4,50	

TABLEAU 1 e  
ANALYSES DES MINERAIS ET AGGLOMERES

Périodes	Minerais	Poids enfourné	Humidité	Fe total	Fe métal	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> combin.	CO <sub>2</sub>	C fixe	S	P	Mn
11 bis																	
5/2 au	Castine	109	4,85	-	-	-	6,30	44,66	8,56	0,36	0,53	-	37,84	-	0,060	-	-
11/2 1961	Agglom. Pailles Scories Martin Poussières gueulard	2011 74 54 46	0,05 7,10 - -	46,20 - - 41,72	2,10 8,52 4,49 2,03	12,33 51,73 20,44 24,71	49,31 36,83 9,09 29,24	12,91 0,97 33,82 9,81	11,54 0,84 10,31 7,95	1,56 0,08 9,30 0,81	5,98 0,80 1,94 3,71	0,33 0,04 0,52 1,20	0,32 - 0,30 2,53	0,15 - - 11,98	0,060 - 0,160 0,180	0,796 - - 0,437	0,32 - - 0,50
11 bis 2																	
12/2 au	Castine	108	4,55	-	-	-	6,30	44,66	8,56	0,86	0,53	-	37,84	-	0,060	-	-
18/2 1961	Sinaï Agglom. Pailles Scories Martin Poussières gueulard	3 2016 73 58 50	2,85 0,05 7,10 - -	- 46,34 - 42,70	- 2,39 8,52 4,49 3,83	4,90 13,41 51,73 20,44 26,16	- 47,88 36,83 9,09 24,32	1,68 13,23 0,97 33,82 9,81	4,25 11,74 0,84 10,31 8,36	0,32 1,94 0,08 9,30 1,35	1,69 5,46 0,80 1,94 4,40	- 0,27 0,04 0,52 1,32	- 0,19 - 0,30 1,95	- 0,15 - - 11,97	0,055 0,050 0,040 0,160 0,170	- 0,815 - - 0,462	- 0,34 - - 0,42
11 bis 3																	
5/2 au	Agglom. Pailles Scories Martin	2014 73 56	0,05 7,10 -	46,27 - -	2,24 8,52 4,49	12,37 51,73 20,44	48,59 36,83 9,09	13,07 0,97 33,82	11,64 0,84 10,31	1,75 0,08 9,30	5,72 0,80 1,94	0,30 0,04 0,52	0,25 - 0,30	0,15 - -	0,050 0,040 0,160	0,805 - -	0,33 - -
18/2 1961	Castine Sinaï Poussières gueulard	109 1 48	4,85 2,85 -	- - 42,21	- - 2,93	- 40,90 26,43	6,30 - 26,78	44,66 1,68 9,81	8,56 4,25 8,15	0,86 0,32 1,08	0,53 1,39 4,05	- - 1,26	37,84 - 2,24	- - 11,97	0,060 0,055 0,170	- - 0,449	- - 0,46
12 27/11 au	Agglom. Pailles Scories Martin	2106 75 60	0,05 9,22 1,40	45,15 70,15 25,65	1,49 2,62 5,66	14,23 57,37 16,32	47,65 32,78 10,44	14,02 1,33 36,21	11,93 2,69 10,46	1,83 0,21 7,25	5,57 0,79 1,86	0,24 1,12 0,65	0,31 0,19 0,54	0,13 0,42 0,02	0,069 0,059 0,134	0,846 0,052 1,108	0,35 0,76 3,77
10/12 1960	Castine Poussières gueulard	83 39	0,85 -	- 41,93	- 1,44	- 25,05	2,20 30,02	52,81 9,16	1,60 7,95	0,44 0,89	0,23 3,15	- 0,93	41,51 2,05	- 12,77	0,030 1,810	- 0,479	- 0,38
13 11/12 au	Castine	83	-	-	-	-	2,00	53,48	2,04	0,10	0,10	-	41,75	-	0,013	-	-
17/12 1960	Agglom. Pailles Scories Martin Poussières gueulard	2070 76 60 36	- 7,10 - -	45,08 74,49 26,73 37,52	0,86 8,52 4,49 1,84	11,89 51,73 20,44 20,87	49,97 36,83 9,09 27,80	14,07 0,97 33,82 10,08	11,62 0,84 10,31 8,51	1,88 0,08 9,30 0,96	5,30 0,80 1,94 4,11	0,18 0,04 0,52 1,12	0,55 - 0,30 2,60	0,03 0,48 0,45 15,88	0,072 0,040 0,163 0,195	0,871 0,038 0,413 0,433	0,38 0,70 5,35 0,38

TABLEAU 1 f  
ANALYSES DES MINERAIS ET AGGLOMERES

Périodes	Minerais	Poids enfourné	Humidité	Fe total	Fe métal	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> combin.	CO <sub>2</sub>	C fixe	S	P	Mn
14 21/2 au Sinaï 4/3 Agglom. 1961	Castine	128	4,85	-	-	-	6,30	44,66	8,56	0,86	0,53	-	37,84	-	0,060	-	-
	Sinaï	15	2,85	-	-	40,90	-	1,68	4,25	0,32	1,69	-	-	-	0,055	-	-
	Agglom.	1996	-	45,92	1,96	12,40	49,07	13,25	11,56	1,82	5,30	0,28	0,30	0,55	0,050	0,793	0,33
	Pailles	77	7,10	-	8,52	51,73	36,83	0,97	0,84	0,08	0,80	0,04	-	-	0,040	-	-
	Scories Martin Poussières gouillard	61 37	- -	- -	4,49 2,54	20,44 23,91	9,09 32,05	33,82 9,55	10,31 8,15	9,30 1,02	1,94 3,34	0,52 2,06	0,30 2,51	- 11,37	-	0,160 0,180	- 0,422
15 5/3 Castine au Sinaï 11/3 Agglom. 1961	Castine	119	4,85	-	-	-	6,30	44,66	8,56	0,86	0,53	-	37,84	-	0,060	-	-
	Sinaï	15	2,85	-	-	40,90	-	1,68	4,25	0,32	1,69	-	-	-	0,055	-	-
	Agglom.	2002	0,10	46,06	1,75	14,21	47,59	12,80	10,94	1,91	6,13	0,26	0,29	0,15	0,068	0,820	0,44
	Pailles	75	7,10	-	8,52	51,73	36,83	0,97	0,84	0,08	0,80	0,04	-	-	0,040	-	-
	Scories Martin Poussières gouillard	60 37	- -	- -	4,49 2,03	20,44 22,67	9,09 31,60	33,82 7,60	10,31 9,47	9,30 1,24	1,94 4,59	0,52 1,33	0,30 2,10	- 12,76	-	0,160 0,226	- 0,446
15 bis 12/3 Castine au Sinaï 19/3 Agglom. 1961	Castine	114	4,85	-	-	-	6,30	44,66	8,56	0,86	0,53	-	37,84	-	0,060	-	-
	Sinaï	14	2,85	-	-	40,90	-	1,68	4,25	0,32	1,69	-	-	-	0,055	-	-
	Agglom.	1978	0,05	46,20	1,75	14,80	47,14	12,96	12,12	1,87	5,82	0,15	0,26	0,13	0,056	0,806	0,32
	Pailles	72	7,10	-	8,52	51,73	36,83	0,97	0,84	0,08	0,80	0,04	-	-	0,040	-	-
	Scories Martin Poussières gouillard	57 34	- -	- -	4,49 1,82	20,44 21,85	9,09 34,21	33,82 9,57	10,31 8,96	9,30 1,26	1,94 4,12	0,52 1,08	0,30 3,35	- 10,22	-	0,160 0,173	- 0,471

TABLEAU II  
ANALYSE COKE

Périodes	Humidité %	Cendres	Matières volatiles	S total	C fixe
1	1.42	9.95	1.95	0.795	88.10
2	1.49	10.20	2.30	0.800	87.50
2 bis	2.22	9.60	2.05	0.810	88.35
4	1.54	9.70	2.30	0.780	88.00
5	2.03	9.00	2.03	0.710	88.97
6	2.49	9.65	2.50	0.750	87.85
7	2.50	10.35	20.05	0.875	87.60
8	3.49	9.80	2.00	0.910	88.20
10	1.45	9.38	3.28	0.840	87.34
11	1.32	10.45	2.10	0.830	87.45
11 bis	1.60	9.25	1.80	0.880	88.95
11 a	1.16	9.50	2.10	0.800	88.40
11 b	1.47	11.40	2.10	0.860	86.50
11 bis <sup>1</sup>	1.89	8.90	2.00	0.840	89.10
11 bis <sup>2</sup>	1.32	9.60	1.60	0.930	88.80
12	1.70	9.29	2.00	1.00	88.71
13	1.74	10.10	2.30	0.810	87.60
14	1.34	10.20	1.78	0.850	88.04
15	0.80	10.70	1.50	0.910	87.80
15 bis	1.11	10.60	2.40	0.860	87.00

TABEAU III  
PROGRAMME DE RECHERCHES

Dates	Périodes	Enfouement	Tuyères d'étairage ouvertes	en t coke/jour	Allure de marche correspondant à environ Nm <sup>3</sup> de gaz aux tuyères par heure
24/4 au 7/5	1	40% d'aggloméré. Période de référence	8 tuyères, Ø 80 mm	160 t coke/24 h	25,000 Nm <sup>3</sup> gaz aux tuyères
8/5 au 28/5	2	40% d'aggloméré. Période de référence	8 tuyères, Ø 80 mm	190 t coke/24 h	30,000 "
5/6 au 11/6	3	40% d'aggloméré. Période de régulation (pour fuel-oil)	8 tuyères, Ø 80 mm	160 t coke/24 h	25,000 "
19/6 au 2/7	4	40% d'aggloméré + fuel-oil	8 tuyères, Ø 80 mm	160 t coke/24 h	25,000 "
3/7 au 16/7	5	40% d'aggloméré + fuel-oil	8 tuyères, Ø 80 mm	190 t coke/24 h	30,000 "
24/7 au 6/8	6	40% d'aggloméré + fuel-oil	4 tuyères, Ø 80 mm	190 t coke/24 h	30,000 "
14/8 au 27/8	7	40% d'aggloméré + fuel-oil	0 tuyères ouvertes	190 t coke/24 h	30,000 "
4/9 au 17/9	8	40% d'aggloméré + fuel-oil	4 tuyères, Ø 100 mm	225 t coke/24 h	34,000 "
9/10 au 22/10	2 bis	40% d'aggloméré. Période de référence	8 tuyères, Ø 100 mm	190 t coke/24 h	30,000 "
30/10 au 12/11	10	40% aggl. + fuel-oil + enrichiss. vent en O <sub>2</sub>	8 tuyères, Ø 100 mm	190 t coke/24 h	30,000 "
13/11 au 26/11	11	90% aggloméré. Période de référence	8 tuyères, Ø 100 mm	190 t coke/24 h	30,000 "
1960					
5/2 au 18/2-61	11 bis	90% aggloméré. Période de référence	8 tuyères, Ø 100 mm	190 t coke/24 h	30,000 "
27/11 au 10/12-60	12	90% aggloméré + fuel-oil	8 tuyères, Ø 100 mm	190 t coke/24 h	30,000 "
11/12 au 17/12-60	13	90% aggloméré + fuel-oil	8 tuyères, Ø 100 mm		31,000 "
21/2 au 4/3-61	14	90% aggloméré + fuel-oil	8 tuyères, Ø 100 mm	225 t coke/24 h	34,000 "
5/3 au 11/3-61	15	90% aggloméré + fuel-oil	8 tuyères, Ø 100 mm	190 t coke/24 h	30,000 "
12/3 au 19/3-61	15 bis	90% aggl., température du vent et fuel maxima	8 tuyères, Ø 100 mm	190 t coke/24 h	30,000 "



TABLEAU IV (\*)

Périodes	1	2	2 bis	4	5	6	7	8	10
Durées	40% aggloméré 8 TE Ø 80 mm Référence Allure 160 t coke/jour	40% aggloméré 8 TE Ø 80 mm Référence Allure 190 t coke/jour	40% aggloméré 8 TE 100 mm Ø Référence Allure 190 t coke/jour	40% agglom. fuel 8 TE Ø 80 mm Allure 160 t coke/jour	40% agglom. fuel 8 TE Ø 80 mm Allure 190 t coke/jour	40% agglom. fuel 4 TE Ø 80 mm Allure 190 t coke/jour	40% agglom. fuel 0 TE Allure 190 t coke/jour	40% agglom. fuel 4 TE 100 mm Ø Allure 225 t coke/jour	40% aggl. fuel + O2 8 TE 100 mm Ø Allure 190 t coke/jour
	24.4-7.5./60	8.5-28.5./60	9.10-22.10./60	19.6-2.7./60	3.7-16.7./60	24.7-6.8./60	14.8-27.8./60	4.9-17.9./60	30.10-12.11./60
Poids total lit de fusion	kg/lf	2878	3036	2928	2915	2828	2887	3015	2926
Poussières	kg/lf	57	86	87	89	84	100	166	91
Rendement net	%	36.85	33.90	35.20	35.38	36.44	35.88	35.10	35.27
Mise au mille coke	kg/lf	789	832	718	737	723	737	794	754
Mise au mille fuel	kg/lf	0	0	0	61	63	58	64	63
Consommation air comprimé	kg	0	0	58	49	42	42	36	37
Production fonte	kg/heure	8.336	9.383	9.253	8.359	9.617	9.576	9.994	9.591
Consommation coke	kg/heure	6.577	7856	8.040	6.002	6.890	7.043	7.935	7.232
FONTE	%	0.345	0.370	0.480	0.350	0.280	0.370	0.440	0.370
Si	%	0.068	0.062	0.089	0.065	0.072	0.055	0.070	0.075
S	%	1.88	1.84	1.81	1.84	1.81	1.80	1.78	1.81
P	%	0.31	0.35	0.31	0.34	0.36	0.31	0.32	0.33
Mn	%	3.42	3.45	3.33	3.41	3.62	3.67	3.62	3.36
C	%	1.990	1.997	1.970	1.405	1.384	1.390	1.385	1.357
Température	° C	46.09	46.26	44.26	45.22	45.15	45.15	45.06	45.08
CaO	%	30.70	30.70	32.40	31.79	30.74	31.50	32.10	32.04
SiO2	%	3.96	3.81	4.02	4.04	3.94	4.05	4.18	4.18
MgO	%	15.80	16.09	16.05	15.93	16.54	16.15	16.26	15.87
Al2O3	%	1.65	1.20	0.68	0.80	0.90	1.00	0.95	0.41
FeO	%	0.133	0.074	0.066	0.093	0.092	0.069	0.083	0.026
P	%	0.40	0.38	0.43	0.37	0.37	0.37	0.40	0.57
Mn	%	0.917	0.890	1.020	0.807	0.896	0.970	1.010	1.050
S	%	1.50	1.50	1.37	1.42	1.49	1.43	1.40	1.41
CaO/CO2	%	1.480	1.482	1.471	1.495	1.483	1.466	1.436	1.445
Température	° C	707	700	727	816	817	823	809	754
Température vent chaud	° C	105	119	95	105	122	95	130	93
Température gaz du gueulard	° C	278	338	320	278	325	338	339	294
Pression vent chaud	mm Hg	5.57	10.9	7.44	13.63	14.75	20.90	13.04	7.26
Humidité du vent	gr/Nm3	5	36	6	2	6	7	7	3
Nombre de tirages avec chute		0	13	2	1	4	2	0	4
Nombre de tirages sans chute		4	18	5	1	0	3	4	0
Chutes en plein vent									
GAZ	%	13.79	13.11	13.12	14.07	13.21	12.91	12.05	14.13
GUEULARD	%	26.63	26.95	27.30	25.71	26.42	26.96	27.26	26.60
CO	%	0	0	0	0	0	0	0	0
CH4	%	1.72	1.80	2.00	3.63	3.68	3.77	3.76	3.58
H2	%	0.518	0.486	0.481	0.547	0.500	0.478	0.442	0.531
CO2/CO	Volume	848.59	860.00	875.73	0	0	930.74	919.87	895.31
PCI	Kcal/m3								

(\*) Jusqu'à la période 10, les chiffres sont pratiquement les mêmes que dans notre rapport intermédiaire. A partir de cette période, la plupart des indications changent étant donné que nous ne disposons à ce moment que de données parcellaires et provisoires.

TABLEAU IV (\*)

11 a 90 % agglom. 8 TE 100 mm Ø Référence Allure 190 t coke/jour	11 b 90 % agglom. 8 TE 100 mm Ø Référence Allure 190 t coke/jour	11 90 % agglom. 8 TE Ø 100 mm Référence Allure 190 t coke/jour	11 bis 1 90 % agglom. 8 TE Ø 100 mm Référence Allure 190 t coke/jour	11 bis 2 90 % agglom. 8 TE Ø 100 mm Référence Allure 190 t coke/jour	11 bis 90 % agglom. 8 TE Ø 100 mm Référence Allure 190 t coke/jour	12 90 % agglom. 8 TE Ø 100 mm Référence Allure 190 t coke/jour	13 90 % agglom. 8 TE Ø 100 mm Référence Allure 190 t coke/jour	14 90 % agglom. 8 TE Ø 100 mm Référence Allure 225 t coke/jour	15 90 % agglom. 8 TE Ø 100 mm Référence Allure 190 t coke/jour	15 bis 90 % agglom. 8 TE Ø 100 mm Référence Allure 190 t coke/jour
13.11-19.11/60	20.11-26.11/60	13.11-26.11/60	5.2-11.2/61	12.2-18.2/61	5.2-18.2/61	27.11-10.12/60	11.12-17.12/60	21.2-4.3/61	5.3-11.3/61	12.3-19.3/61
2302	2263	2282	2248	2258	2253	2324	2289	2277	2271	2235
36	37	37	46	50	48	39	36	37	37	34
44.13	44.92	44.54	45.41	45.28	45.35	43.76	44.38	44.64	44.76	45.43
729	697	712	711	695	703	623	626	637	625	593
0	0	0	0	0	0	53	49	56	72	64
0	0	0	0	0	0	33	30	24	32	31
10.643	11.563	11.098	11.010	11.096	11.053	11.109	12.210	13.194	10.644	10.837
7759	8059	7902	7828	7712	7770	6921	7643	8405	6653	6426
0.73	0.61	0.67	0.46	0.44	0.45	0.50	0.40	0.42	0.38	0.47
0.091	0.137	0.114	0.159	0.149	0.154	0.114	0.128	0.107	0.085	0.100
1.76	1.80	1.78	1.79	1.77	1.78	1.81	1.80	1.77	1.77	1.77
0.48	0.37	0.43	0.30	0.33	0.32	0.36	0.31	0.56	0.61	0.53
3.44	3.52	3.48	3.33	3.26	3.30	3.34	3.36	3.46	3.46	3.36
1393	1372	1383	1343	1338	1340	1338	1340	1351	1354	1348
41.56	40.18	40.67	40.18	41.02	40.60	39.97	40.04	41.44	41.09	40.74
32.36	34.22	33.29	34.32	33.44	33.88	34.10	32.90	33.34	34.00	34.84
4.81	4.34	4.60	4.68	4.76	4.72	4.78	4.90	4.85	4.49	4.78
17.51	17.60	17.55	17.03	17.04	17.03	17.27	17.22	16.28	15.80	15.73
0.95	1.21	1.08	0.98	0.88	0.93	0.83	1.26	16.28	15.80	15.73
0.019	0.029	0.024	0.074	0.083	0.078	0.072	0.151	0.051	0.060	0.083
0.43	0.51	0.47	0.26	0.63	0.45	0.54	0.59	0.73	0.58	0.60
0.859	0.832	0.845	0.729	0.757	0.743	0.770	0.729	0.814	1.040	1.020
1.27	1.17	1.22	1.17	1.22	1.20	1.17	1.22	1.24	1.21	1.17
1485	1468	1476	1438	1445	1442	1437	1431	1465	1472	1440
704	710	707	727	723	725	813	795	795	827	842
206	225	220	197	197	197	224	218	263	284	277
309	295	302	250	246	248	273	266	374	355	337
0	0	5.27	0	0	4.50	5.24	5.24	6.23	5.98	6.61
3	2	5	1	4	5	1	0	1	3	8
0	0	0	0	2	2	2	0	0	5	1
0	0	0	0	3	3	0	1	1	0	0
12.46	12.90	12.68	12.48	12.07	12.27	12.84	12.67	12.15	11.96	12.42
26.45	26.10	26.27	26.89	27.37	27.14	25.99	26.02	26.24	26.17	25.54
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.28	1.25	1.27	1.23	1.15	1.19	2.64	2.41	2.73	3.17	3.04
0.471	0.494	0.483	0.464	0.441	0.452	0.502	0.487	0.463	0.457	0.486
831.51	820.17	825.82	843.51	855.94	850.02	840.59	847.65	862.54	871.76	849.39

TABLEAU V  
COEFFICIENT DE REDUCTION INDIRECTE

Période	rCO	rH <sub>2</sub>	r = rCO + rH <sub>2</sub>
1	65,64	0,45	66,09
2	65,26	5,04	70,30
2 bis	64,22	0	64,22
4	63,05	10,52	73,57
5	67,13	9,20	76,33
6	61,75	12,79	74,54
7	61,11	12,21	73,32
8	60,93	9,33	70,26
10	64,65	11,81	76,46
11 a	64,28	3,59	67,87
11 b	64,19	3,91	68,10
11	64,34	3,64	67,98
11 bis <sup>1</sup>	62,00	3,16	65,16
11 bis <sup>2</sup>	61,63	1,98	63,61
11 bis	61,89	2,39	64,28
12	60,41	11,01	71,42
13	58,71	11,45	70,16
14	59,96	9,42	69,38
15	61,19	7,94	69,13
15 bis	59,95	13,54	73,49

TABLEAU VI  
INFLUENCE DE L'INJECTION SUR LA QUALITE DE LA FONTE

	40% d'aggloméré		90% d'aggloméré	
	Moyenne des périodes de référence	Moyenne des périodes en fuel	Moyenne des périodes de référence	Moyenne des périodes en fuel
S	0,073	0,063	0,134	0,126
$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$	1,46	1,42	1,21	1,20
Si	0,40	0,36	0,56	0,47
$\frac{(S)}{[S]}$	13,10	15,39	6,12	8,31

TABLEAU VII  
Quantité de fuel injectée par Nm<sup>3</sup> de vent et pour 100° C d'augmentation de t<sub>v</sub>

Période Référence	Volume de vent par tonne de fonte	Fuel kg/t fonte	gr de fuel par Nm <sup>3</sup> vent	Augmentation de t <sub>v</sub>	gr de fuel par Nm <sup>3</sup> de vent et pour une augmentation de t <sub>v</sub> = 100° C	Humidité du vent en gr/Nm <sup>3</sup>
1	-	-	-	-	-	5,6
4	2340	61	26	116	22	13,6
2 et 2 bis	-	-	-	-	-	9,2
5	2450	62	25	117	21	14,8
6	2350	63	27	121	22	18,3
7	2360	58	25	123	20	20,9
8	2590	64	25	109	23	13,0
11 et 11 bis	-	-	-	-	-	4,8
12	2025	53	26	113	23	5,2
13	1980	49	25	95	26	5,2
14	2080	46	27	95	28	6,2
15	2230	72	32	127	25	5,6
15 bis	1975	64	32	142	28	6,6

TABLEAU VIII  
CORRECTION DE LA MISE AU MILLE COKE

Période	Mise au mille en kg coke normal (85% C sur humide)	Correction pour la température du vent des périodes de référence (t <sub>v</sub> = 700° C)	Correction Si fonte	Correction C fonte	Correction lit de fusion et humidité du vent	Total des corrections	Mise au mille coke corrigée
1	806	+ 1,6	+ 0,7	+ 0,3	+ 55	+ 58	864
2	844	-	-	-	-	-	844
2 bis a	884	+ 9,0	- 4,1	+ 1,2	- 25	- 19	865
4	732	-	+ 0,7	+ 0,4	- 2	- 1	731
5	753	-	+ 4,1	+ 0,1	- 9	- 5	748
6	729	-	+ 0,7	- 1,6	- 4	- 5	724
7	741	-	-	- 2,2	- 6	- 8	733
8	796	-	- 2,6	- 1,7	- 27	- 31	765
10	764	-	-	+ 0,9	- 41	- 40	724
11	723	+ 2	- 4,5	- 1,8	- 13	- 17	706
11 bis	724	+ 7,1	-	-	-	+ 7	731
12	639	-	- 1,9	- 0,4	- 15	- 17	622
13	634	-	+ 1,9	- 0,6	+ 1	+ 1	633
14	651	-	+ 1,1	- 1,6	- 4	- 5	646
15	641	-	- 4,8	-	- 2	- 7	634
15 bis	600	-	- 0,7	- 0,6	+ 14	+ 13	613

TABLEAU IX

Gain de coke par kg de fuel à l'exclusion de celui provenant de l'augmentation de la température du vent

Essai	Période de référence	Mise au mille corrigée en kg de coke normal (85 % C)	Différence par rapport à la référence	Quantité de fuel t/ fonte	Augmentation de $t_v$	Coefficient de remplacement kg de coke/ kg de fuel	Coefficient de remplacement kg de fuel / kg de coke	
40 % aggloméré	1	864	-	-	-	-	-	
	Allure gaz env. 25 000 Nm <sup>3</sup> /h	731	133	61	116	2,15	0,47	
40 % aggloméré	Moyenne 2 + 2bis	844) 855 865)	-	-	-	-	-	
	Allure gaz < 27 000 Nm <sup>3</sup> /h	5	748	107	62	117	1,72	0,58
		6	724	131	63	121	2,1	0,48
		7	733	122	58	823	2,2	0,45
		8	765	90	64	809	1,4	0,71
		10	724	131	63	54 (+ 1,6% O <sub>2</sub> )	2,05	0,49
90 % aggloméré	11	706)	-	-	-	-	-	
	11 bis	719) 731)	-	-	-	-	-	
	12	622	97	53	113	1,8	0,56	
	13	633	86	49	95	1,7	0,59	
	14	646	73	56	95	1,3	0,77	
	15	634	85	72	127	1,2	0,83	
	15 bis	613	106	64	142	1,7	0,59	

TABLEAU X

Gain de coke par kg de fuel à l'exclusion de celui provenant de l'augmentation de la température du vent

Essai	Période de référence	Mise au mille corrigée pour $t_v = 700^\circ \text{C}$	Différence par rapport à la référence	Quantité de fuel par t/ fonte	Coefficient de remplacement kg de coke/ kg de fuel	Coefficient de remplacement kg de fuel / kg de coke					
40% aggloméré	1	864	-	-	-	-					
	Allure gaz $t_{\text{env.}}$ 25 000 Nm <sup>3</sup> /h	4	767	87	61	1.42	0.70				
40% aggloméré	2	844)	-	-	-	-					
	2 bis	865) 855									
	Allure gaz < 27 000 Nm <sup>3</sup> /h	5					784	71	62	1.15	0.87
	6	760					95	63	1.5	0.67	
	7	770					85	58	1.46	0.68	
	8	801					45	64	0.7	1.43	
10	739	116	63	1.8	0.56						
90% aggloméré	11	706)	-	-	-	-					
	11 bis	731) 719									
	12	652					67	53	1.26	0.79	
	13	659					60	49	1.22	0.82	
	14	674					45	56	0.81	1.23	
	15	673					46	72	0.64	1.56	
	15 bis	651					68	64	1.06	0.94	

TABLEAU XI  
AUGMENTATION DE PRODUCTION

	Allure gaz aux tuyères		Production	
	m <sup>3</sup> /h	%	t/heure	%
<b><u>Avec 40 % d'aggloméré dans la charge</u></b>				
Période 1 (sans fuel-oil)	24,730	100,00	8,336	100,00
Moyenne périodes 3 + 4 (avec fuel-oil)	25,460	102,95	8,540	102,44
Moyenne périodes 2 + 2 bis (sans fuel-oil)	29,870	100,00	9,318	100,00
Moyenne périodes 5 + 6 + 7 (avec fuel-oil)	29,320	98,16	9,474	101,70
Période 8 (avec fuel-oil)	33,110	110,84	9,994	107,25
Période 10 (avec O <sub>2</sub> et fuel-oil)	29,400	98,32	9,511	102,90
<b><u>Avec 90 % d'aggloméré dans la charge</u></b>				
Période 11 (sans fuel-oil)	28,670	100,00	11,098	100,00
Période 12 (avec fuel-oil)	28,150	98,18	11,109	100,10
Période 13 (avec fuel-oil)	30,620	106,80	12,210	110,00
Période 14 (avec fuel-oil)	34,750	121,00	13,194	119,00
Période 15 (avec fuel-oil)	30,200	105,00	10,644	104,00
Période 15 bis (avec fuel-oil)	27,250	95,00	10,837	102,00