

## **Commission d'Etude pour le contrôle du dépoussiérage des fumées industrielles**

*Commission instituée par arrêté royal du 20 juin 1931, chargée de rechercher et d'étudier les moyens, dispositifs ou procédés propres à vérifier le degré d'efficacité des installations de dépoussiérage des fumées industrielles.*

RAPPORT A M. LE MINISTRE

### **Installation de la Commission par M. le Directeur Général des Mines.**

En procédant, le 29 juillet 1931, au nom de M. le Ministre de l'Industrie, du Travail et de la Prévoyance Sociale, à l'installation de la Commission instituée à la Direction générale des Mines, par un arrêté royal du 20 juin 1931, M. le Directeur Général des Mines Jean Lebacqz a défini la raison d'être, le but et les moyens d'action de cette commission dans les termes suivants :

« Ainsi qu'il résulte des considérants de l'Arrêté Royal qui institue votre Commission, vous aurez surtout à vous occuper des poussières qui sont déversées dans l'atmosphère par l'emploi du charbon pulvérisé, pour le chauffage tant des chaudières à vapeur que d'autres appareils industriels.

» L'emploi de foyers à tirage forcé est toutefois à considérer également; il est, en effet, sujet à occasionner des inconvénients analogues à ceux résultant de la combustion de charbon pulvérisé.

» Je dois insister spécialement sur la raison qui a présidé à la création de votre Commission.

» Afin de remédier aux grands ennuis qui ont été, dans des cas assez nombreux, occasionnés par le déversement dans l'atmosphère de fortes quantités de fines cendres, des arrêtés émanant des Députations permanentes et, dans certains cas, des arrêtés royaux, ont prescrit l'emploi d'appareils dépoussiéreurs. Ces arrêtés prévoient que

les fonctionnaires du service des appareils à vapeur ont mission de contrôler l'efficacité de ces dépoussiéreurs, au moyen de dispositifs que les propriétaires des chaudières ou autres appareils doivent mettre à leur disposition.

» En raison des imperfections des dispositifs de contrôle employés, la vérification du degré d'efficacité des appareils dépoussiéreurs n'a jusqu'ici pu se faire avec des garanties suffisantes d'exactitude. Les constatations faites au cours du concours de dépoussiérage organisé l'an dernier, à l'occasion de l'Exposition de Liège, ont mis en lumière la difficulté du problème.

» Il importe cependant qu'on puisse disposer de moyens simples et sûrs pour vérifier le degré d'efficacité des dépoussiéreurs des divers systèmes.

» C'est dans le but d'arriver à cette réalisation que votre Commission a été instituée.

» Comme point de départ de vos travaux, vous aurez inévitablement à faire usage des dispositifs de contrôle employés par les divers constructeurs d'appareils, et, au cours de vos recherches, vous serez nécessairement amenés à déterminer le rendement de dépoussiérage des divers systèmes en usage.

» Je tiens ici à attirer spécialement votre attention sur ce que ces vérifications ne constituent pas un but, mais uniquement un moyen à employer pour réaliser l'objet de votre mission, et que celle-ci ne comporte nullement l'établissement d'un classement entre les divers appareils que vous seriez amenés à contrôler.

» Pareil classement pourrait mettre des intérêts commerciaux en jeu, ce qu'il importe d'éviter.

» Au cours de l'exécution de vos travaux, vous serez sans doute amenés à pénétrer dans des établissements industriels, qui possèdent des installations de dépoussiérage. Le Gouvernement n'a pu vous donner le droit, en tant que membres de la Commission, de pénétrer dans ces usines. J'ai toutefois la conviction que, vu l'importance du problème à résoudre, vous rencontrerez partout la meilleure volonté pour l'exécution de votre mission.

» D'ailleurs, vous pourrez toujours avoir recours aux fonctionnaires du service des appareils à vapeur et de l'inspection des établissements industriels pour procéder à des constatations et vérifications auxquelles vous ne pourriez procéder personnellement. »

Après avoir adressé à M. Lebacqz quelques mots de remerciements, en le priant de transmettre à M. le Ministre de l'Industrie, du Travail et de la Prévoyance Sociale l'expression des sentiments de gratitude des membres de la Commission, avec celle de leur entier dévouement et de leur vif désir de mener à bien la tâche qu'il a bien voulu leur confier, le Président Victor Firket, Inspecteur Général des Mines, a tenu à montrer à ses collègues les difficultés de cette tâche, au cours d'une allocution dont nous extrayons ce qui suit :

#### Allocution du président.

« La tâche dont nous sommes chargés est définie par l'article 1<sup>er</sup> de l'Arrêté Royal du 20 juin dernier, instituant notre Commission, et nos moyens d'action sont précisés à l'article 2. Il vous appartient de suivre, de contrôler et d'étudier les opérations destinées à établir l'efficacité des installations de dépoussiérage, en vue de rechercher les meilleures méthodes et les appareils les plus recommandables à utiliser pendant ces opérations.

» Ainsi qu'il est dit dans le préambule de l'Arrêté Royal, les difficultés que celles-ci soulèvent ont été mises en lumière par le concours de dépoussiérage organisé à l'Exposition de Liège l'an dernier.

» Dans toute méthode d'essai, il importe de prévoir des contrôles permettant d'établir le degré de précision des résultats obtenus. Toute donnée obtenue par un seul procédé doit être considérée comme suspecte; son degré d'exactitude reste indéterminé; l'importance relative de l'erreur probable est inconnue, de même que son influence sur la valeur du résultat cherché.

» Le programme adopté et réalisé par le jury du concours de dépoussiérage comportait la détermination directe et simultanée de trois quantités, dont une pouvait être obtenue en faisant la somme des deux autres. Certaines données ont été obtenues en même temps par deux moyens différents.

» C'est ce qui nous a permis de constater le peu d'exactitude de certains de ceux-ci et notamment des valeurs de P, poids de poussière au mètre cube de fumée, calculées en tenant compte des indications des sondes et des débitmètres.

» Le fonctionnement de ceux-ci semble avoir été faussé par des dépôts de poussière. Quant aux sondes, leur emploi pour la déter-

mination de la teneur moyenne en poussières soulève de nombreuses difficultés. Il me suffira de vous en citer quelques-unes, pour vous montrer toute la difficulté du problème que vous devez résoudre.

» 1°) La teneur cherchée est essentiellement variable, non seulement dans le temps, mais aussi aux divers points d'une même section du conduit, où circule la fumée. Les particules de diverses grosseurs en suspension dans cette fumée y subissent un certain classement, ou même s'y déposent en partie si leur vitesse diminue;

» 2°) L'introduction d'une sonde dans un tel conduit y modifie le régime d'écoulement de la fumée et provoque la naissance, dans celle-ci, de remous susceptibles d'écarter certains éléments et d'empêcher leur aspiration par la sonde;

» 3°) Des dépôts de poussières, des condensations de vapeur d'eau peuvent se faire dans les conduits de cette sonde; de plus, les filtres chargés d'y retenir les particules solides ne sont pas toujours parfaits; ils laissent parfois passer les plus ténues;

» 4°) On admet généralement qu'une sonde ne peut fonctionner dans de bonnes conditions que pour autant que les poussières y circulent à la même vitesse que dans le conduit de fumée; mais le maintien de l'égalité des vitesses dans ce conduit et dans l'orifice d'entrée de la sonde n'est pas facile à réaliser.

» Est-il possible, malgré ces difficultés, de tirer parti des indications des sondes? Quelles dispositions et quelles dimensions convient-il de leur donner? Serait-il possible de réaliser et de mettre à la disposition des industriels et des fonctionnaires un matériel simple, aisément transportable, utilisable partout, permettant de contrôler la teneur en poussières d'une fumée et même celle de l'atmosphère dans ou à proximité d'un établissement industriel?

» Voilà quelques-unes des questions qu'il nous appartient d'étudier. »

Le Président a signalé ensuite qu'une enquête administrative a été ordonnée, par une circulaire ministérielle du 15 juillet 1931, dans le but de fournir à la Commission des indications au sujet des installations pour lesquelles le dépoussiérage des fumées est prescrit. MM. les Chefs de service des appareils à vapeur, auxquels il appartenait de procéder à cette enquête, ont en outre reçu notification de la constitution de la Commission. Ils ont été priés par M. le Ministre d'accorder à celle-ci leur concours et celui des fonctionnaires sous leurs ordres.

La collaboration de certains de ces messieurs à nos travaux ayant été particulièrement fructueuse, nous saisissons l'occasion d'en faire mention et de les en remercier cordialement.

Dès sa première réunion, la Commission a commencé l'étude de la méthode de travail, qu'elle a suivie, afin de remplir sa mission. Elle a tout d'abord reconnu qu'il convenait que ses membres assistent à quelques essais d'appareils dépoussiéreurs; mais qu'il importait qu'au préalable, ils soient documentés sur les procédés de vérification adoptés par les constructeurs de ces appareils.

En conséquence, son bureau a écrit à ceux-ci, le 17 août 1931, afin de les informer de la constitution de la Commission, de leur demander de nous fournir une description très précise des appareils et des méthodes de contrôle dont ils font usage et, enfin, de vouloir bien nous signaler, quelques jours avant leur date, les essais de contrôle du rendement des dépoussiéreurs auxquels ils auraient à procéder en Belgique.

Dans les rapports administratifs, communiqués à la Commission, on trouve quelques renseignements sur les difficultés rencontrées au cours des opérations de contrôle du dépoussiérage, mais peu d'indications sur les méthodes et sur le matériel utilisés pour ces opérations.

#### Matériel utilisé à la Centrale d'Auvélais.

Un rapport de M. l'Ingénieur en Chef-Directeur du 6<sup>e</sup> arrondissement des Mines contient cependant, après un rappel de ce qui a été fait à la Centrale d'Auvélais, en vue de réaliser l'épuration des fumées, une bonne description du procédé de contrôle par sacs filtrants de grandes dimensions, qui était jadis employé pour la détermination du rendement des dépoussiéreurs.

Voici cette description, qui signale les principales causes d'erreurs de cet ancien procédé :

« La méthode utilisée pour la détermination des rendements consiste à capter des gaz avant et après dépoussiérage, au moyen de prises appropriées et de ventilateurs auxiliaires, et à refouler ces gaz dans des sacs filtrants.

» Le débit de gaz est mesuré au moyen d'un déprimomètre différentiel, dont les deux prises sont placées sur les conduites de refoulement, de part et d'autre d'un diaphragme calibré.

» Les températures des gaz sont enregistrées de façon à pouvoir ramener les poids à 0°.

» L'on compare ainsi les poids des poussières contenues dans les gaz par mètre cube et par kilogramme, avant et après dépoussiérage; le rapport de ces poids donne la valeur du rendement.

» Les difficultés et les causes d'erreur ne sont pas négligeables au cours de ces diverses opérations.

» L'on ne peut tout d'abord travailler que sur des quantités de gaz et de poussières relativement petites, à cause des dimensions nécessairement réduites des sacs filtrants (environ 5 m. de long sur 45 cm. de large) et surtout du colmatage du tissu filtrant. Les essais durent généralement 5 minutes, certains 8 à 10 minutes; les volumes de gaz filtrés varient de 140 à 240 m<sup>3</sup>.

» Les quantités de poussières recueillies par essai varient, avant dépoussiérage, de 400 à 1.500 grs environ et, après dépoussiérage, de 50 à 120 grs environ.

» L'emploi des instruments de mesure : diaphragmes, tuyauteries, déprimomètres, chronomètres, etc. peut donner lieu à des erreurs.

» La présence, dans les cameaux, des prises de gaz peut éventuellement influencer la veine gazeuse et modifier la répartition des poussières qu'elle contient.

» Lors des essais après dépoussiéreur, une certaine quantité de vapeur d'eau est entraînée avec les gaz et déposée dans les sacs filtrants, en même temps que les poussières. L'erreur qui en résulte diminue les chiffres de rendement d'environ 1 %.

» Les manipulations des sacs filtrants, le pesage de ces sacs peuvent donner lieu également à certaines erreurs provenant soit des pesées, soit d'un certain pourcentage de perte de poussières pendant les dites opérations.

» Un léger dépôt de suies peut également se produire pendant les essais dans les tuyauteries, entre les diaphragmes et les sacs filtrants, bien que les tuyauteries soient purgées avant chaque essai.

» La vitesse des gaz dans les tuyauteries d'essai est de 6 à 7 m.

» On pense, nonobstant ces diverses causes d'erreurs, que les résultats fournis pour les essais sont assez proches de la réalité, étant donné que les gaz contrôlés sont à la même température que dans les cameaux des chaudières et que les conditions des essais sont les mêmes que celles de la marche industrielle. »

L'examen des réponses des constructeurs d'appareils dépoussiéreurs constituait le 5<sup>e</sup> objet à l'ordre du jour de la réunion du 12 octobre 1931.

A ce sujet, il nous suffira de signaler ici :

1°) qu'un constructeur a préconisé, pour l'essai des dépoussiéreurs secs, la méthode par injection d'un poids convenu de poussières. Employée précédemment pour la détermination du rendement des appareils de ce système, cette méthode mérite peu de confiance, spécialement lorsqu'on utilise des poussières préalablement débarrassées de leurs éléments les plus ténus;

2°) qu'un autre a proposé l'emploi de sondes de 250 à 500 mm. de diamètre, d'un débitmètre pour la mesure de la quantité de fumée prélevée et de sacs de grandes dimensions pour la filtration de cette fumée, ce qui constitue les principales caractéristiques de la méthode d'Auvélais précédemment décrite;

3°) que plusieurs Maisons étrangères utilisent le procédé Siemens.

Au cours de la seconde réunion, la Commission a eu connaissance de divers renseignements bibliographiques, notamment de l'étude de M. le Professeur Gillet sur le dosage des poussières dans les fumées, publiées ultérieurement dans la *Revue Universelle des Mines*, et de l'article de Zimmermann : « Messung von Flugstaub in Rauchgasen », dans *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure*.

En ce qui concerne les travaux en cours à l'étranger, au sujet desquels des renseignements ont été demandés par la voie diplomatique, peu de réponses nous sont parvenues.

Nous extrayons ce qui suit d'une note de M. le Ministre de Belgique à La Haye :

« Dans certaines villes, à La Haye et Amsterdam par exemple, la question du dépoussiérage des fumées a attiré l'attention des pouvoirs publics depuis tout un temps déjà. A La Haye surtout, où la Centrale électrique et les services de destruction des immondices étaient établis au centre d'un quartier populaire, le Conseil communal s'est occupé de la question et a procédé, dès le commencement de 1929, à l'installation d'une commission d'experts, chargée de rechercher par tous les moyens possibles la nature et les causes des inconvénients produits par les fumées de ces établissements.

» Cette commission a établi son premier rapport en mars 1929.

» Dans le corps de ce rapport, il est fait mention d'un appareil destiné à établir la teneur en poussières des fumées des cheminées. Cet appareil fut construit d'après les indications de M. Ter Linden, membre du collège d'experts, professeur de construction de machines, à Delft.

» Il se compose d'une conduite d'aspiration comportant une bouche d'aspiration placée dans la cheminée, d'un cyclone et d'un ventilateur. Par l'action du ventilateur, une partie des gaz de la cheminée est aspirée et passe dans le cyclone. La conduite de refoulement du ventilateur comporte un registre, permettant de régler la quantité des gaz passant par l'appareil. Cette quantité de gaz doit être telle que la vitesse des fumées à l'entrée de la bouche d'aspiration de l'appareil soit égale à la vitesse existant dans la cheminée; de cette façon, le courant gazeux de la cheminée est troublé le moins possible par le fait de l'aspiration et la teneur en poussières des gaz aspirés présente la plus grande concordance possible avec celle des gaz de la cheminée.

» La quantité de gaz passant dans la cheminée est déterminée par le moyen d'un tube de Pitot, avec micromanomètre.

» Le rapport porte que, pour la construction de l'orifice d'aspiration, il a été tenu compte de la vitesse variable des gaz et de la concentration également variable des poussières, suivant les endroits d'une section de la cheminée. Il signale aussi que le cyclone choisi est à très haut rendement et que, indépendamment de la dimension des grains, 90 à 98 % des poussières aspirées y sont retenus. Les poussières retenues sont recueillies dans une bouteille disposée sous le cyclone.

» Il n'est pas fait usage de filtres. L'orifice d'aspiration a été choisi très grand. La quantité d'air aspirée est de 5 à 6 m<sup>3</sup> par minute, ce qui permet de recueillir en peu de temps une quantité notable de poussières et de se rendre compte de l'effet du soufflage des tubes.

» Pour les essais, l'appareil est installé sur un échafaudage placé assez haut pour qu'on puisse effectuer des mesurages dans une section de la cheminée, pouvant être considérée comme présentant un écoulement uniforme, en raison de la partie rectiligne qui précède l'endroit du prélèvement.

» L'emploi de cet appareil permet de faire des expériences d'une durée de plusieurs heures, de façon à obtenir des résultats moyens. »

### Essais d'un dépoussiéreur FEDI — Note de M. Van Engelen.

L'ordre du jour de la réunion du 19 novembre comprenait notamment, la discussion du compte-rendu présenté par M. le Professeur Van Engelen, des essais d'un appareil FEDI au Charbonnage de la Petite Bacnure. Nous extrayons de ce compte-rendu la description ci-après de la méthode et du matériel utilisés par le constructeur :

« L'essai a eu une durée de 5 heures. Pendant tout l'essai, le régime de fonctionnement a été très stable.

» La détermination par pesée de la quantité de poussières recueillies dans l'appareil ne présente aucune difficulté.

» Le débit de gaz traversant l'appareil dépoussiéreur a été calculé en mesurant la vitesse des gaz dans la conduite reliant l'appareil à la cheminée d'évacuation; cette conduite présente une partie rectiligne, d'environ 5 m. de longueur et de 1<sup>m</sup>,60 de diamètre.

» La vitesse des gaz n'est évidemment pas constante dans une même section transversale; il est donc nécessaire de la relever en différents points. Dans le cas présent, le relevé a été fait en 29 points répartis également le long du diamètre horizontal AB de la conduite, en 25 points le long de la corde CD et en 27 points le long de la corde EF.

» On a constaté que la vitesse le long de la corde CD était plus faible qu'en EF, ce qui doit être attribué probablement au fait qu'au bout de la conduite se trouve un coude ascendant, produisant déjà, à une certaine distance, l'inflexion des filets gazeux.

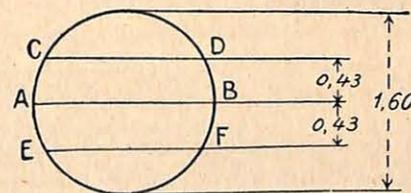


Fig. 1.

» Il aurait été exact de relever les vitesses le long de deux diamètres de la section transversale, le premier horizontal, le second vertical, mais en pratique, il sera souvent bien difficile d'opérer de cette manière.

» Pour déterminer la vitesse, on s'est servi d'une forme de tube de Pitot, donnant directement la pression dynamique. Celle-ci était mesurée à l'aide d'un manomètre à eau, à tube incliné.

» La vitesse des gaz est donnée par la formule :

$$V = \sqrt{2g \frac{h}{d}}$$

dans laquelle :

$g = 9,81$  m./sec.;

$h =$  dénivellation dans le manomètre en millimètres d'eau;

$d =$  poids spécifique du gaz circulant dans la conduite.

» Ce dernier peut se calculer, si l'on connaît la température des gaz, par la formule :

$$d = \frac{1,295}{1 + \alpha t}$$

» Rigoureusement, il y aurait lieu de tenir compte de l'influence de la dépression existant dans les cameaux sur la variation du poids spécifique, mais cette correction est tout à fait négligeable.

» On a donc :

$$V = \frac{\sqrt{2g \frac{h(1 + \alpha t)}{1,295}}}{1,295} = 3,89 \sqrt{h(1 + \alpha t)}$$

» Pour ramener le volume gazeux à la température de  $0^\circ$ , on calculera la vitesse réduite :

$$V_0 = \frac{V}{1 + \alpha t} = 3,89 \frac{\sqrt{h}}{\sqrt{1 + \alpha t}}$$

» Les vitesses dans les cameaux étant de l'ordre de 7 à 8 m. par seconde, la dénivellation  $h$  n'est que de 3 à 4 mm. d'eau. Cette dénivellation varie en raison inverse de la densité du fluide remplissant le tube du manomètre. Si, par exemple, on faisait usage d'alcool d'une densité de 0,8, la dénivellation serait augmentée dans le rapport de  $1/0,8$ , soit 1,25. Il est donc très important de connaître exactement la densité du fluide dont on fait usage.

» Détermination du poids des poussières contenues dans les gaz après l'appareil dépoussiéreur.

» Cette détermination a été faite en prélevant des échantillons de gaz à l'aide d'une sonde; celle-ci était formée par un tube d'un diamètre de 45 mm. et d'une longueur de 10 cm. fixé par un coude sur un tube d'environ 2 m. de longueur; l'extrémité du tube était taillée en biseau; le prélèvement se faisait en présentant la section du tube normalement au courant gazeux.

» Un ventilateur produit l'appel des gaz; ceux-ci passent à travers un filtre constitué par un manchon en tissu moletonné. Les gaz sont ensuite refoulés dans un cylindre muni d'un thermomètre et d'un anémomètre.

» La sonde est placée successivement en six points d'un diamètre horizontal; le prélèvement se fait, au total, pendant une demi-heure.

» Le poids des poussières s'obtient en pesant le filtre avant et après l'essai. Comme le coton est hygroscopique, il est nécessaire de sécher le filtre avant la pesée, par exemple en y faisant passer des gaz chauds. Le filtre sec est immédiatement placé sous une cloche de verre, pour éviter le contact avec l'humidité de l'air.

» Une erreur importante peut résulter des poussières qui se déposent sur les parois du tube supportant la sonde. Le poids des poussières recueillies est, en effet, très faible; il a été de 21,42 grs par demi-heure dans notre essai. Le dépôt sur les parois du tube est assez abondant et est adhérent; il faut donc bien faire secouer le tube à la fin de l'essai et ajouter les poussières ainsi recueillies à celles retenues par le filtre.

» Le débit d'air est déterminé par l'anémomètre. Les indications de celui-ci doivent être corrigées d'après la courbe de tarage de l'appareil.

» La méthode est facile à appliquer et doit donner des résultats sensiblement exacts. J'estime cependant : 1°) qu'il faudrait allonger un peu la sonde pour ne pas troubler le régime de l'écoulement dans la section où l'on fait la prise; 2°) que la durée de l'essai devrait être augmentée; 3°) qu'il y aurait lieu de vérifier pour chaque essai le tarage de l'anémomètre. Pour l'appareil dont on s'est servi, la correction, d'après le constructeur, était de +15,4 % au régime atteint dans l'essai. Il y a lieu de noter que les indications de l'anémomètre peuvent être influencées par le frottement à l'axe et que c'est, par conséquent, un appareil assez délicat. Je crois que

l'on obtiendrait un résultat plus exact en se servant d'un compteur ou d'un diaphragme intercalé dans la conduite. »

M. le Professeur Gillet signale que « les solutions du problème de l'égalité des vitesses dans la sonde et dans la conduite étaient insuffisantes ou franchement mauvaises ». Il ajoute que « l'ensemble des tuyauteries de la sonde présentait des fuites entre le filtre et le ventilateur, fuites qui causaient la dilution par 20 % d'air des gaz mesurés à l'anémomètre. Il y avait certainement une autre cause d'erreur, dans le fait que la portion rectiligne de la conduite, au milieu de laquelle se faisaient les prélèvements, était trop courte (5 m.) par rapport à son diamètre (1<sup>m</sup>,60). Les filets gazeux pouvaient encore être tourbillonnaires. »

De plus, M. Gillet déclare, à la suite d'un examen granulométrique, « que les grains qui échappent au dépoussiéreur sont nettement plus gros et plus riches en charbon que la moyenne ».

Au cours de la discussion, M. le Professeur Vinçotte a émis l'avis que la question essentielle est celle de la sonde et M. Marisseaux a annoncé que, lors des essais qui seront faits sur les électro-filtres de la Centrale de Farciennes, on fera usage simultanément des petites sondes Siemens, de la sonde de 45 mm. de FEDI et même de sondes de 105 à 120 mm. de diamètre.

#### Compte-rendu de divers essais par M. Daubresse.

*Compte-rendu, par M. le Professeur Daubresse, des essais effectués en sa présence, aux Papeteries Catala, à Braine-le-Comte, par la méthode du bilan des cendres.*

Les essais effectués par la méthode du bilan des cendres, sur une chaudière des Papeteries Catala, pourvue d'un dépoussiéreur système Pirmath, ont été poursuivis sans interruption depuis le lundi 25 novembre, à 5 h. 15, jusqu'au dimanche 29, à 6 heures, soit pendant 144 heures 3/4.

Au début des opérations, le cendrier et les carneaux avaient été soigneusement nettoyés et vidés de toutes cendres et poussières. Pendant toute leur durée, on a pesé : le charbon consommé, les cendres extraites du cendrier et les poussières captées dans les différentes parties du dépoussiéreur. A la fin de l'essai, toutes les poussières accumulées dans les carneaux en ont été retirées et pesées.

Des prises d'échantillons, faites périodiquement sur toutes ces matières, ont été soumises à l'analyse (humidité, cendres, tamisages). On a relevé aussi, en divers points, la température et la pression des gaz, ainsi que leur teneur en CO<sup>2</sup>.

Le 13 janvier 1932, l'essai d'un dépoussiéreur humide, système Modave, a été fait au siège d'Harchies du Charbonnage de Bernissart, avec le concours des agents du « Verein zur Überwachung der Kraftwirtschaft der Ruhrzechen », au moyen du matériel adopté par les associations allemandes, décrit dans l'article déjà cité de Zimmermann.

Ce matériel est décrit dans les termes suivants, dans une note de M. Daubresse; nous reproduisons aussi une figure jointe à cette note (fig. 2) :

L'échantillon de gaz prélevé par la sonde introduite dans le carneau doit traverser un cyclone, où les poussières entraînées sont retenues intégralement, ce cyclone étant fermé par un filtre constitué d'une feuille de papier filtre ordinaire *c*, appliqué contre une tôle perforée *d*. Le gaz est aspiré à travers ce filtre par une pompe à capsulisme liquide et son volume est mesuré par un compteur.

» Afin d'éviter, dans le cyclone dépoussiéreur, toute condensation d'humidité, ce cyclone est renfermé dans une caisse calorifugée, pouvant être chauffée par résistance électrique. La température est contrôlable par un thermomètre (non figuré au croquis). Pour assurer la bonne conservation du filtre en papier, il convient que cette température ne dépasse pas 100°

» Les poussières captées sont reçues dans un godet *f*, vissé à la partie inférieure du cyclone. Avant le dévissage du godet, on détache au pinceau les poussières restées adhérentes aux parois de l'appareil et au papier filtre.

» L'objectif poursuivi est de capter une quantité de poussières assez grande pour que la pesée puisse s'en faire d'une manière simple et pratique, avec toute la précision désirable, cette quantité étant, d'autre part, suffisante pour permettre les analyses chimique et granulométrique, l'examen microscopique, etc. A cet effet, on doit opérer sur un volume adéquat de gaz aspiré et la durée de l'opération peut comporter une demi-heure, une heure, plus si on le désire. Pour une durée d'une heure, ce volume peut atteindre, suivant les diamètres des sondes employées, de 5,5 à 9 m<sup>3</sup>. On dispose donc d'un jeu de sondes de diamètres variés et permettant le soutirage du

volume de gaz désiré pendant le temps qu'on veut adopter comme durée de l'essai.

» La figure 2 donne le type de la sonde (elle représente la sonde de 15 mm. de diamètre à l'entrée).

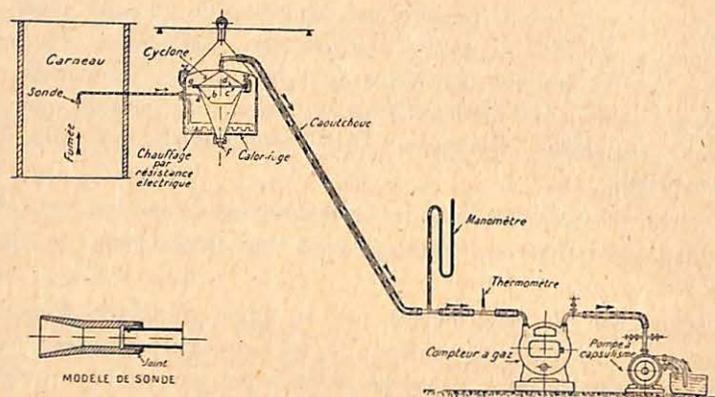


Fig. 2.

» Le tuyau qui la relie au cyclone capteur des poussières a un diamètre réduit et tel que la vitesse des gaz doive y prendre une valeur de 30 à 50 m./sec., suffisante pour empêcher le dépôt des poussières entraînées.

» On réalise au cours de l'essai, par le réglage du débit de la pompe, l'importante condition que la vitesse des gaz à leur entrée dans la sonde soit aussi exactement que possible celle-là même qu'ils ont dans le carneau. »

#### Exposé par le président, d'un programme d'étude des sondes.

Au cours de la 6<sup>e</sup> réunion tenue à Bruxelles, le 3 mai 1932, le Président a exposé, dans les termes suivants, un programme d'étude des sondes utilisées pour l'analyse des fumées, ainsi que les résultats déjà acquis des travaux de la Commission :

« Le but de notre Commission est l'étude des méthodes de mesures employées pour déterminer les quantités de poussières contenues dans les fumées.

» Jusqu'ici, la Commission a assisté à des essais faits par les constructeurs et par leurs clients, sans intervenir dans l'organisation de ces essais.

» Ceux-ci ont permis de faire plusieurs constatations :

» 1<sup>o</sup>) Les résultats obtenus sont peu certains, en raison :

- » a) de l'emploi de méthodes fournissant les données du problème sans moyen de contrôle, ni procédé de recoupement;
- » b) du fait que les appareils employés comportent des causes d'erreurs systématiques;
- » c) de ce que les installations se prêtent mal à des essais précis;
- » d) de l'absence de détermination exacte du poids des matières récupérées, détermination qui serait nécessaire pour avoir un contrôle.

» 2<sup>o</sup>) Dans l'application des méthodes d'essais, de grandes difficultés ont été rencontrées :

» a) dans la mesure des débits; cette mesure n'a, dans aucun cas, été faite par le procédé de l'analyse chimique des gaz, qui paraît cependant le plus précis;

» b) dans le prélèvement et l'analyse d'un échantillon moyen;

» c) dans la réalisation de l'égalité des vitesses dans la sonde et dans le carneau, à l'endroit où la sonde est placée. En pratique, les procédés employés n'ont pas réalisé cette égalité des vitesses; on s'est limité à chercher à rendre la vitesse à l'entrée de la sonde égale à la vitesse moyenne dans le carneau.

» Des rapports et études dont la Commission a pris connaissance, il résulte que *plusieurs règles sont à suivre* pour arriver à déterminer l'efficacité des dépoussiéreurs :

» 1<sup>o</sup>) Il faut réaliser l'égalité des vitesses dans la sonde et dans le carneau, à l'endroit où la sonde aspire. Toutefois, il y aurait à vérifier si cette égalité est indispensable avec des fumées préalablement épurées, ne contenant plus que des poussières très fines, donnant un mélange homogène pour lequel la cohésion des gaz chauds empêche l'action perturbatrice de l'inertie des particules.

» Il conviendrait aussi de préciser les moyens permettant de réaliser pratiquement, et dans la mesure où elle est nécessaire, l'égalité des vitesses.

» Enfin, il importe de rechercher si l'ionisation des poussières n'exerce pas une action perturbatrice sur le fonctionnement des sondes;

» 2<sup>o</sup>) Le volume aspiré par la sonde doit être mesuré sur la fumée refroidie, desséchée et parfaitement épurée, donc après filtration;

» 3°) Pour ce qui concerne l'emploi du filtre, il faut opérer la filtration au-dessus du point de rosée, pour éviter la condensation de la vapeur d'eau;

» 4°) Il semble d'ailleurs que les gaz pour lesquels les sondes donnent les résultats les plus certains sont les gaz épurés, sortant du dépoussiéreur.

» Pour pouvoir limiter le contrôle de l'efficacité des dépoussiéreurs à la détermination de la teneur en poussières des gaz dépoussiérés, il faudrait que les arrêtés d'autorisation fixassent la teneur maximum en grammes de poussières par mètre cube de gaz dépoussiérés et non un rendement des dépoussiéreurs en pourcent de la quantité de poussières des fumées avant dépoussiérage.

» Pour établir ce rendement, le procédé le plus adéquat paraît être l'analyse, au moyen d'une sonde, des fumées dépoussiérées et la détermination de la quantité de poussières recueillie par le dépoussiéreur, les résultats ainsi obtenus étant contrôlés par le bilan des cendres.

» Pour ce qui concerne la section à choisir pour le placement de la sonde dans le conduit, après le passage du dépoussiéreur, il faut qu'elle ait une forme régulière et qu'elle se trouve au milieu d'une partie de conduit rectiligne, d'une assez grande longueur.

» En outre, la sonde doit explorer la section entière;

» 5°) La sonde doit avoir de préférence des dimensions telles qu'elle permette de recueillir un poids de poussières suffisant (40 à 50 grs) pour permettre l'analyse chimique et granulométrique. Si la sonde est de très faibles dimensions, il faut, pour obtenir une quantité suffisante de poussières, faire une expérience de très longue durée, pendant laquelle la sonde risque de s'obstruer. Des essais assez courts, à grand débit et répétés un assez grand nombre de fois, paraissent préférables. »

#### Essai d'un appareil système Prat — Extrait d'un rapport de M. l'Ingénieur en chef-Directeur des Mines L. Lebens.

Dans un rapport qu'il a adressé à M. le Ministre, M. Lebens, Ingénieur en Chef-Directeur du 8<sup>e</sup> arrondissement des Mines, a rendu compte de l'essai d'un dépoussiéreur humide, système Prat, en service à la Centrale de la Meuse, à Liège.

Pour cet essai, on a utilisé l'appareillage employé antérieurement à la Centrale d'Alost; toutefois, on a renoncé à faire usage d'un

brasero pour réchauffer le sac filtrant; ainsi qu'il est indiqué sur le schéma accompagnant le rapport de M. Lebens, on a disposé une résistance électrique autour de la conduite allant de la sonde au sac filtrant, afin de maintenir au-dessus du point de rosée, l'échantillon de gaz très humide, prélevé après le dépoussiéreur.

Nous reproduisons ci-après le chapitre II du dit rapport, comportant un exposé de la méthode adoptée et une description détaillée du matériel utilisé (voir croquis fig. 3) :

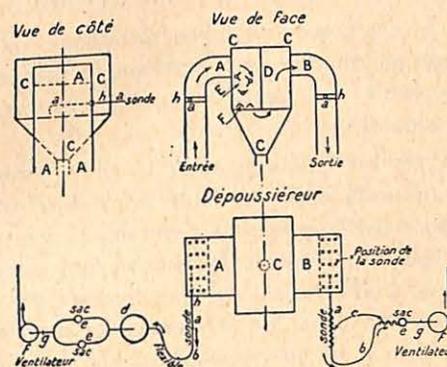


Fig. 3.

« Méthode adoptée pour le calcul du rendement du dépoussiéreur.

» Le rendement est calculé par la formule  $R = \frac{P-p}{P}$ , dans

laquelle  $P$  = le poids de suie par mètre cube de fumée théorique, sèche, à 0°, à l'entrée du dépoussiéreur;  $p$  = le poids de suie par mètre cube de fumée théorique, sèche, à 0°, à la sortie du dépoussiéreur. La fumée théorique est celle qui correspondrait à la teneur maximum possible en CO<sup>2</sup>.

» La teneur en suie est déterminée par prélèvement simultané d'un certain volume de fumée à l'amont du dépoussiéreur et d'un certain volume de fumée à l'aval du dépoussiéreur. Ces gaz sont filtrés et les suies sont recueillies et pesées.

» La méthode est donc très simple en apparence. Mais les essais préliminaires ont fait apparaître la nécessité de prendre de nombreuses précautions, afin d'écartier diverses causes d'erreurs :

» a) *Endroit du prélèvement.* — Chacun des prélèvements de fumées doit se faire dans une section du cameau où la vitesse des fumées et la densité des suies dans les fumées sont régulières. On opère les prélèvements dans la gaine d'entrée A du dépoussiéreur et dans la gaine de sortie B, à distances suffisantes des courbes;

» b) *Dispositif de prélèvement.* — Les gaz sont prélevés tant à l'amont qu'à l'aval du dépoussiéreur, par des ventilateurs aspirants (f), au moyen de sondes mobiles de grande section, l'une mesurant 150 mm. de diamètre et l'autre 137 mm.

» La sonde se compose d'un tuyau métallique, recourbé à angle droit et raccordé par un tronçon flexible à la tuyauterie fixe, conduisant aux appareils capteurs de suie, aux appareils de mesure et au ventilateur aspirateur.

» Chaque sonde est introduite dans la gaine correspondante par une rainure horizontale dont on obture aussi bien que possible la partie non occupée par la sonde. La sortie des fumées qui se produit, inévitablement, par la rainure de la gaine d'entrée des fumées dans le dépoussiéreur n'influe pas sur le pourcentage de poussières contenu dans les gaz venant de la chaudière, parce que le prélèvement a lieu à environ 0<sup>m</sup>.50 en amont de la dite rainure, du fait du coude de la sonde.

» La perte par la rainure de la gaine de sortie des fumées du dépoussiéreur est négligeable, parce que la pression est sensiblement nulle en cet endroit. Le prélèvement se fait d'ailleurs aussi en amont de la rainure;

» c) *Mode de prélèvement.* — Au cours d'un essai, chaque sonde occupe successivement, pendant le même temps, quinze positions régulièrement réparties dans la section de la gaine, ce qui permet d'affirmer, eu égard à un contrôle préalable, que le prélèvement total de fumée représente bien la moyenne du courant gazeux circulant dans la gaine.

» Les deux sondes sont déplacées simultanément à un signal donné. Pour un essai de 30 minutes, les sondes restent 2 minutes dans chaque position et, pour un essai de 37 1/2 minutes, elles restent 2 1/2 minutes dans chaque position.

» Par des essais préalables, on détermine les vitesses des gaz dans les gaines à l'emplacement des sondes, tant à l'entrée qu'à la sortie du dépoussiéreur.

» Des mesures de la teneur en CO<sup>2</sup> et de la température des gaz, à chacun des deux endroits des prélèvements, sont effectuées lors de chacune des positions de la sonde.

» Ces mesures dans la gaine d'entrée du dépoussiéreur permettent de vérifier si l'allure de la chaudière est bien conforme à celle qui a été définie dans les essais préalables et qui sert de base pour les calculs de l'essai proprement dit.

» Les mesures dans la gaine de sortie permettent de se rendre compte de l'importance des rentrées d'air éventuelles dans le dépoussiéreur;

» d) *Captage des suies.* — A l'entrée du dépoussiéreur : Les gaz prélevés à l'entrée du dépoussiéreur contiennent environ 25 grs de poussières par mètre cube. Ces gaz traversent d'abord un cyclone (d) où ils abandonnent environ 50 % de leur poussière, puis ils traversent deux sacs filtrants en flanelle (e), placés en parallèle.

» L'emploi du cyclone se justifie parce que cette forte teneur en poussière amènerait très rapidement le colmatage des sacs filtrants et empêcherait de prolonger l'essai pendant un temps suffisant.

» Le dispositif de captage des suies est placé immédiatement après la tuyauterie venant de la sonde.

» A la sortie du dépoussiéreur : Les gaz prélevés à la sortie du dépoussiéreur traversent un seul sac filtrant en flanelle (e), placé immédiatement après la tuyauterie venant de la sonde.

» Comme les gaz sont fortement refroidis et chargés d'humidité par le passage dans le dépoussiéreur, il convient d'empêcher la condensation sur la tuyauterie et le colmatage du sac capteur. Dans ce but, la sonde et la tuyauterie d'adduction des gaz au sac filtrant sont réchauffés électriquement par un fil isolé à l'amiante, enroulé sur ces tuyaux et traversé par un courant approprié.

» Ce dispositif remplace avantageusement le réchauffage au moyen d'un brasero allumé sous le sac filtrant, qui était utilisé à la Centrale d'Alost;

» e) *Disque de mesure.* — Dans chacune des tuyauteries de prélèvement des fumées, au delà des appareils de captage des suies, on dispose un disque mince, percé d'une ouverture circulaire et destiné à mesurer les volumes de gaz prélevés, suivant la méthode exposée ci-après :

» On détermine préalablement la pression différentielle, à maintenir à chaque disque de mesure, pour obtenir des vitesses aussi voi-

sines que possible dans chaque gaine et dans la sonde correspondante.

» Au cours de l'essai, on maintient la dite pression en agissant sur un registre papillon, placé dans la conduite au delà du ventilateur aspirant, dont il va être question.

» Au cours de l'essai, la teneur en  $\text{CO}_2$  et la température des gaz sont mesurées au droit de chacun des deux disques de mesure, pour chaque position des sondes. Ces données permettent de déterminer ultérieurement les volumes de gaz captés avec toute la précision désirable. La mesure du  $\text{CO}_2$  permet de tenir compte des rentrées d'air dans le dispositif de captage;

» f) *Ventilateurs aspirants.* — Chacune des conduites de gaz comprend, au delà du disque de mesure, un ventilateur aspirant (f), mû par moteur électrique et destiné à produire le passage des gaz à travers la sonde, l'appareil de captage, le disque de mesure et la tuyauterie. Ainsi qu'il vient d'être dit, le débit est réglé à l'aide d'un registre placé dans la dernière partie de chaque tuyauterie;

» g) *Autres mesures.* — Pour permettre les calculs relatifs à l'essai, il faut encore posséder diverses données, notamment :

» 1) les renseignements relatifs à l'allure de la chaudière : eau, charbon et cendres;

» 2) les renseignements relatifs à la qualité du charbon utilisé : pouvoir calorifique, analyse du charbon et des suies;

» 3) une idée de la répartition des courants gazeux dans chacune des sections considérées des gaines d'entrée et de sortie du dépoussiéreur. Les vitesses de ces courants ont été mesurées au tube de Pitot, en de nombreux points de ces sections, et les diagrammes dressés à l'aide de ces mesures ont permis d'admettre que les prélèvements opérés par chaque sonde, dans les quinze positions adoptées, donnent la composition moyenne des fumées;

» h) *Pesée des suies.* — La totalité de la poussière recueillie dans le cyclone est pesée à l'état brut. Puis, un petit échantillon est pesé d'abord à l'état brut et ensuite, après dessiccation, dans une étuve chauffée électriquement à environ  $115^\circ$ . On obtient ainsi le poids de la totalité de la poussière sèche.

» Chaque sac de captage est pesé à l'état sec avant l'essai, puis il est pesé après l'essai, après séjour dans l'étuve chauffée électrique-

ment à  $115^\circ$  environ. La différence donne le poids de la poussière sèche, recueillie par le sac.

» Enfin, après les quatre essais successifs du 14 septembre 1932, les tuyauteries ont été soigneusement vidées, les suies recueillies dans chacune des tuyauteries du capteur amont et du capteur aval ont été séchées et pesées séparément. Elles ont été réparties également sur les quatre essais et ajoutées aux suies recueillies dans le cyclone et les sacs. »

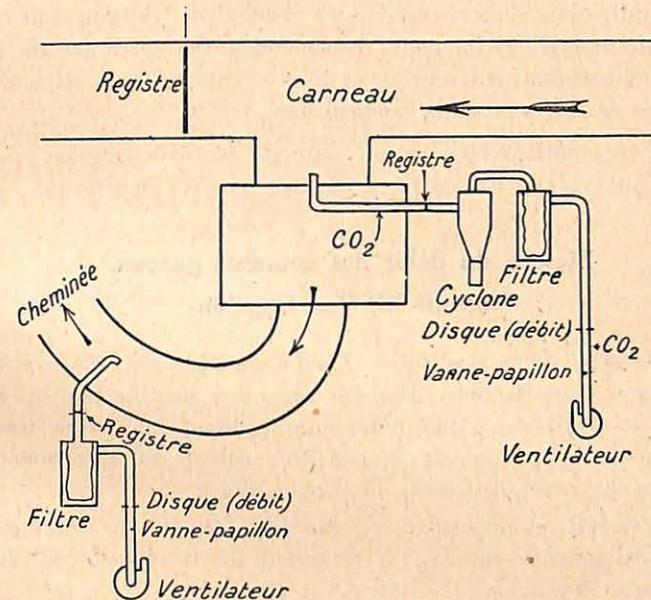


Fig. 4.

Le but essentiel assigné à la Commission était de mettre à la disposition des industriels et des administrations publiques des procédés simples et suffisamment précis, permettant de contrôler l'efficacité des mesures adoptées spontanément ou imposées par les arrêtés d'autorisation, en vue de dépoussiérer les fumées. Ces procédés ne sont évidemment pas les mêmes suivant qu'il s'agit : ou bien de rechercher si des mesures doivent être prises ou imposées à l'égard de fumées qui sont peu ou pas dépoussiérées, ce qui peut être fait avec une approximation suffisante par un essai de longue durée, d'après la méthode dite du bilan des cendres; ou bien de déterminer la teneur en grammes, par mètre cube, d'une fumée après

dépoussiérage, ce qui exige l'emploi des sondes, sans qu'il soit nécessaire de mesurer le volume de cette fumée, ni de calculer le rendement du dépoussiéreur; ou bien encore, et c'est le cas le plus général et le plus complexe, de contrôler ce rendement pour diverses conditions de marche des installations, ce qui rend nécessaire non seulement l'usage des sondes, mais aussi la mesure des débits de fumées avant et après dépoussiérage, ainsi que la détermination des quantités de poussières récupérées par l'appareil capteur utilisé.

Les difficultés de cet usage des sondes, de cette mesure des débits de fumées et de cette détermination des quantités de matières pulvérulentes, enlevées à ces fumées ont été mises en lumière au cours des travaux de la Commission.

Nous reproduisons ci-après une note de M. Van Engelen, en la faisant suivre d'une observation présentée par M. Daubresse.

### Mesure du débit des courants gazeux.

#### Note de M. Van Engelen.

« 1°) *Débit dans les carneaux.* — La détermination du poids de gaz passant dans les carneaux d'une chaudière peut se faire, si l'on connaît le poids de combustible brûlé pendant l'unité de temps, ainsi que la composition des gaz. Cette méthode est peu pratique, parce qu'elle exige des essais de longue durée.

» Comme il est impossible, d'autre part, de mesurer directement de grands volumes gazeux, on recourt à un facteur lié au débit d'une façon invariable : la vitesse.

» Dans ce but, on détermine la différence entre la pression totale existant dans le cameau et la pression statique au même point.

» La première se mesure à l'aide d'un tube de Pitot dont l'ouverture est orientée contre la direction du courant gazeux, la seconde par un tube placé perpendiculairement au même courant. La différence entre ces deux pressions peut se mesurer en reliant les deux tubes de mesure aux extrémités d'un même tube manométrique.

» Il existe actuellement des tubes de Pitot de forme spéciale, donnant directement la différence en question.

» Si  $V$  représente, en mètres par seconde, la vitesse à déterminer,  $\rho$  le poids spécifique du liquide remplissant les deux branches du manomètre,  $h$ , en mètres, la dénivellation donnée par le manomètre,

$d$  le poids spécifique exprimé en kilogramme par mètre cube du gaz à l'endroit où l'on mesure la vitesse, on a :

$$V = \sqrt{\frac{2g}{d} \rho h}$$

» Si le liquide employé dans le manomètre est de l'eau distillée,  $\rho h$  est égal à la dénivellation exprimée en millimètres d'eau.

» La mesure de  $h$  est très délicate, car les différences de pression sont généralement très faibles, de l'ordre de quelques millimètres d'eau. Il est donc utile de se servir d'appareils de précision, par exemple de micromanomètres. On peut aussi amplifier les déplacements du liquide dans les branches du manomètre en se servant d'un liquide de faible poids spécifique. Il importe, dans ce cas, de déterminer celui-ci.

» La mesure de la vitesse doit se faire dans un élément de conduite rectiligne et régulière, éloigné de tout accident, tel que : coude, registre, branchement, etc. Malgré cela, la vitesse varie sensiblement dans une même section : elle diminue lorsqu'on s'écarte du centre.

» La variation de la vitesse dans une même section peut se déterminer en promenant le tube de Pitot suivant deux diamètres perpendiculaires. Si l'on divise la section en  $n$  couronnes circulaires, d'épaisseur égale et si, pour chacune de ces couronnes, on fait la moyenne arithmétique  $(\sqrt{h})_m$  des quatre valeurs de  $h$ , déduites des mesures ci-dessus, la valeur moyenne de  $\sqrt{h}$ , d'où découlera la vitesse moyenne dans la section, sera donnée par la formule :

$$\sqrt{h} = \frac{2}{nR} \sum_1^n r_m (\sqrt{h})_m$$

où  $R$  est le rayon de la conduite et  $r_m$  le rayon moyen de chaque couronne circulaire envisagée;

» 2°) *Détermination du volume aspiré par la sonde.* — Ce volume peut être mesuré directement au moyen d'un compteur. On peut aussi l'obtenir à l'aide d'un orifice ou d'un ajutage calibré, intercalé dans la conduite, mais à l'aval du filtre, sinon des accumulations de poussières pourraient fausser les indications de ce dispositif.

» Comme les gaz se refroidissent, en passant par la sonde et les appareils de retenue des poussières, il importe de mesurer leur température à l'endroit où se détermine le volume.

» Il faut veiller particulièrement à ce qu'il ne puisse se produire de rentrées d'air entre la sonde et les appareils de détermination du volume des gaz. »

Observation de M. le Professeur Daubresse :

« M. Van Engelen a donné une formule pour calculer la valeur moyenne de  $\sqrt{h}$ ; cette façon de calculer la moyenne n'est pas la plus expéditive. La sommation qu'elle exige conduit à de longs calculs, en raison de l'inégalité des surfaces des diverses couronnes. Il y a une autre façon de faire basée sur la division en couronnes de surfaces égales et où la moyenne générale  $\sqrt{h}$  se trouve être la moyenne arithmétique pure et simple des moyennes partielles  $(\sqrt{h})_m$ . »

### Rendement du dépoussiérage — Note du président.

« Quel que soit le procédé utilisé, le rendement du dépoussiérage des fumées peut s'exprimer par le rapport  $\frac{P-p}{P}$ , où les poids  $P$  et  $p$  se rapportent aux quantités de poussières emportées, par unité de temps, d'une part à l'entrée et d'autre part à la sortie de l'installation étudiée.

» Si on considère l'ensemble d'une chaufferie, il se dépose des suies non seulement dans l'appareil dépoussiéreur proprement dit, mais encore, tant avant qu'après celui-ci, dans des cameaux, sur les tubes des réchauffeurs d'eau ou d'air, dans des caisses ou des chambres à poussières, à la base des cheminées et même sur les parois internes de celles-ci.

» On peut donc distinguer le rendement de l'ensemble des installations de celui de chacune de ses parties.

» A noter que ces derniers rendements ne peuvent s'ajouter, qu'ils sont établis au moyen de valeurs de  $P$  et de  $p$  qui sont essentiellement différentes :

» 1°) Pour l'ensemble de l'installation,  $P$  c'est le poids de matières solides pulvérulentes, s'échappant par unité de temps des foyers ou de la chambre de combustion. Pour établir ce poids, il suffit de retrancher du poids calculé des cendres pures du combustible brûlé pendant l'essai celui des cendres pures, contenues dans les résidus extraits des cendriers; puis de majorer le résultat obtenu, en tenant compte de la teneur en cendres pures d'un échantillon de

poussières retiré des fumées, à la sortie des foyers ou des chambres de combustion. La détermination de  $p$  exige la pesée et l'analyse de toutes les matières déposées dans les cameaux, caisses à poussières, dépoussiéreurs et cheminées, l'établissement complet du bilan des cendres et la correction de la perte par les cheminées, en tenant compte également de l'analyse d'un échantillon;

» 2°) Pour chacune des sections à considérer, on peut agir de même, en calculant  $P$  à l'entrée de la section et  $p$  à la sortie; il suffit de tenir compte, pour  $P$ , de toutes les quantités de cendres récupérées en amont de l'entrée et, pour  $p$ , de ce qui s'échappe à la sortie.

» Pour déterminer  $P$ , il faut faire des pesées et des analyses de cendres, tandis que  $p$  s'obtient par différence, en appliquant toujours la correction basée sur l'analyse d'un échantillon prélevé dans les fumées.

» Au surplus, l'erreur ne serait pas grande si on admettait, à titre d'approximation, que les matières qui s'échappent d'une section ont la même composition que celles qui s'y déposent.

» Quoi qu'il en soit, je pense que le résultat du bilan des cendres serait faussé, si on faisait abstraction de tous les dépôts recueillis ailleurs que dans le dépoussiéreur proprement dit.

» Cette façon de faire a d'ailleurs l'inconvénient de réduire à néant l'idée cependant intéressante, de l'efficacité du dépoussiérage réalisé sur les réchauffeurs, dans les chambres et les cameaux des installations ne comportant pas d'appareil dépoussiéreur, spécialement destiné à épurer les fumées, alors que cependant certaines installations de chaudière à foyer mécanique ne possèdent pas d'appareil de ce genre, tout en réalisant un véritable dépoussiérage. »

### Utilisation de la méthode du bilan des cendres. Note de M. Daubresse.

« La méthode du bilan des cendres permet la détermination du débit de poussières véhiculées par les gaz en tous points de leur parcours que l'on aurait à considérer, entre autres donc et notamment, à l'extrémité du circuit.

» Elle permet *ipso facto* la détermination des divers rendements de dépoussiérage que l'on voudrait envisager : rendement global de toute l'installation prise dans son ensemble (qu'elle comporte ou

non des appareils de dépoussiérage spéciaux), rendement propre d'une section ou portion quelconque du circuit, prise isolément, enfin rendement d'un appareil dépoussiéreur éventuel.

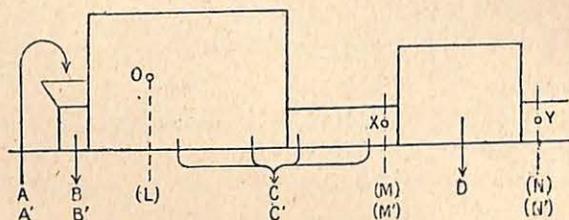


Fig. 5.

» Ci-après nous considérons la méthode en question successivement du point de vue théorique (celui de son principe et de son mécanisme) et du point de vue de sa mise en pratique (fig. 5) :

» I. — Principe et mécanisme de la méthode.

» 1°) Détermination du débit de poussières en un point donné du circuit et rendement de dépoussiérage de la partie du circuit précédant ce point :

» Sur le schéma ci-dessus, soit X le point donné, soient :

A le poids de combustibles introduit au foyer;

B le poids des cendres et machefers retirés du cendrier;

C le poids des poussières retirées des cameaux et chambres de chauffe en amont du point X;

M le poids des poussières ayant traversé la section X, pendant toute la durée d'un essai et soient A', B', C', M' les poids des résidus qui seraient obtenus par l'incinération complète des quantités précédentes.

» A la condition que l'état interne (foyers, cendriers, dépôts dans les cameaux et chambre de chauffe) soit exactement le même à la fin qu'au début de l'essai, on devra évidemment avoir :

$$M' = A' - B' - C' \quad (1)$$

» Les poids A', B', C' étant déductibles, par analyse, de ceux A, B, C, obtenus par pesée directe, l'équation (1) permettra donc le calcul de M'.

» En soumettant alors à l'analyse un échantillon moyen, recueilli de manière adéquate, des poussières contenues dans les gaz à leur passage par la section X, on connaîtra le rapport  $m' = M'/M$ , et on pourra calculer le poids M lui-même par :

$$M = \frac{M'}{m'} \quad (2)$$

» Finalement, on obtiendra comme suit le rendement de dépoussiérage  $\eta_{ox}$  de la partie du circuit précédant le point X, et dont l'origine O doit être prise immédiatement à la sortie du foyer :

» L étant le poids de poussières entré dans ce circuit en O, on aura évidemment :

$$L = M + C \quad (3)$$

et dès lors :

$$\eta_{ox} = \frac{C}{L} = \frac{C}{M + C} \quad (4)$$

» Observation. — Les opérations, telles que présentées ci-avant, avec détermination du débit et de la composition des poussières en un seul point X, ne permettent aucun contrôle. Il n'en sera plus de même, comme on va le voir ci-après, si ces déterminations sont effectuées en deux ou plusieurs points;

» 2°) Détermination des débits de poussières en deux points donnés du circuit et rendement de dépoussiérage de la section de circuit comprise entre ces deux points :

» Sur le schéma ci-avant, soient X, Y les deux points en question et, de la même manière que ci-avant :

M le débit total de poussières en X;

D le poids des poussières extraites entre X et Y;

N le débit total de poussières en Y,

pendant toute la durée de l'essai, et M', D', N' les poids des résidus qui seraient obtenus par l'incinération complète des poids M, D, N.

» En procédant pour le point Y comme on a procédé ci-avant pour le point X, c'est-à-dire en ajoutant aux pesées et analyses déjà indiquées celles donnant D, D' et  $n' = N'/N$  (cette dernière par

incinération d'un échantillon moyen des poussières traversant la section Y), on pourra écrire :

$$N' = M' - D' \quad (5)$$

$$N = \frac{N'}{n} \quad (6)$$

mais comme on a aussi :

$$N = M - D \quad (7)$$

la double détermination de N par (6) et par (7) constituera le contrôle ci-avant annoncé.

» Le rendement  $\eta_{xy}$  de la section XY du circuit sera finalement :

$$\eta_{xy} = \frac{D}{M} = \frac{D}{N + D} \quad (8)$$

» 3<sup>o</sup>) *Essai d'un appareil de dépoussiérage :*

» Il résulte immédiatement de ce qui vient d'être exposé en prenant comme points X et Y les points d'entrée et de sortie de l'appareil.

» II. — *Mise en pratique de la méthode.*

» Il va d'abord de soi que, comme pour tout essai en général, on doit opérer en allure de régime, établie depuis un temps suffisant ou maintenue aussi constante que possible, pendant toute la durée de l'essai.

» D'autre part, si on veut que le résultat de l'essai soit bien comme il se doit, celui de la marche industrielle ordinaire, il faut, en ce qui concerne les extractions des cendres et poussières des cameaux et chambre de chauffe, observer très régulièrement la même périodicité qu'en service ordinaire, et il doit évidemment en être de même pour le soufflage des tubes.

» On saisira immédiatement ce qui motive ces précautions :

» S'il n'était procédé, pendant la marche, à aucun soufflage ni extraction, les dépôts sur les tubes comme dans les cameaux et les chambres de chauffe tendraient assez rapidement, comme l'expérience le prouve, vers un état de régime dépendant essentiellement de l'allure de marche, c'est-à-dire de la vitesse du courant gazeux en ses différents points, variable donc avec celle-ci et, par le fait, se

modifiant lors de chaque changement d'allure. Une diminution de la vitesse des gaz aura comme corollaire une augmentation des dépôts déjà produits. Au contraire, une augmentation de cette vitesse aura comme corollaire le soulèvement et le réentraînement d'une partie des dépôts déjà formés. A tout instant donc, la production de dépôts, positive, nulle ou négative, suivant ce qu'on vient de voir, dépendra à la fois de l'allure de marche et de la configuration des dépôts déjà effectués.

» Enfin (conséquence encore de ce qui précède), pour que les instants du début et de la fin de l'essai correspondent bien à des états identiques, au point de vue des dépôts en question, on devra les situer à un même intervalle de temps des soufflages et extractions précités (par exemple immédiatement après ou immédiatement avant, etc.).

» La durée à donner à l'essai dépendra de la mesure dans laquelle on aura pu observer toutes les conditions qui précèdent, en tout premier lieu et surtout de la régularité qu'on aura pu maintenir pour le régime de marche. Dans les conditions les plus favorables à cet égard, elle ne semble pas pouvoir être inférieure à une vingtaine d'heures et, dans les conditions moins favorables, elle pourra, par contre, devoir s'élever à une centaine d'heures et plus.

» Le critérium à cet égard sera l'établissement d'un résultat moyen par heure, semblant bien définitivement acquis, par le fait qu'il se sera maintenu un temps suffisant sans plus varier autrement que dans d'étroites limites et surtout sans subir aucune variation suspecte. »

*Essais faits à la Centrale de Farcienne par M. Morisseaux et l'Association Vinçotte pour la surveillance des appareils à vapeur.*

M. R. Vinçotte a remis à la Commission un rapport relatif à ces essais, rapport qui est repris ci-après avec son titre :

### **Quelques remarques sur l'essai des dépoussiéreurs et particulièrement sur l'utilisation des sondes.**

Nous avons résumé ci-dessous des observations qui ont pu être faites au cours d'essais de dépoussiéreurs. Nous avons cherché à en tirer des conclusions d'une portée générale. Les plus importantes de ces observations ont été faites au cours d'essais de dépoussiéreurs exécutés en avril et mai 1953, en février et mars 1955, à la Centrale de Farciennes de la Société de Gaz et d'Electricité du Hainaut.

Grâce à l'intérêt porté par la Société de Gaz et d'Electricité du Hainaut à cette question, nous avons pu exécuter des essais systématiques, qui ont fourni des renseignements utiles, particulièrement sur les conditions dans lesquelles il convient d'utiliser les sondes et sur l'ordre de grandeur des erreurs que l'on peut commettre en utilisant ces appareils.

Pour rendre plus clair ce qui suit, nous commençons par rappeler quelques notions générales :

#### **I. — Remarques générales.**

Si l'on appelle  $P_1$  le poids de poussières transportées par les gaz entrant dans un dépoussiéreur,  $P_2$  le poids des poussières retenues par cet appareil et  $P_3$  le poids des poussières transportées par les gaz qui en sortent, on a la relation :

$$P_1 = P_2 + P_3 \quad (1)$$

Les trois quantités  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  caractérisent le fonctionnement de l'appareil. Techniquement, on définit le plus souvent le résultat que doit donner un dépoussiéreur en fixant  $P_3$  ou en stipulant la valeur du rendement.

On peut substituer aux poids  $P_1$  et  $P_3$  les teneurs en poussières d'un mètre cube de gaz, respectivement à l'entrée et à la sortie du dépoussiéreur.

Pour donner une image de l'effet de l'appareil, il est nécessaire, lorsqu'on utilise cette notion, de préciser le débit de gaz qui le parcourt. Il faut avoir soin aussi de définir les conditions de température et de pression. Enfin, on ne doit pas perdre de vue qu'il arrive fréquemment que le poids de gaz qui sort d'un dépoussiéreur ne soit pas égal au poids de gaz, chargé de poussières, qui y pénètre, en raison de l'air qui est souvent aspiré par les joints de l'appareil.

Dans ce qui suit, nous désignerons respectivement par  $P_1$  et par  $P_3$ , ou bien les poids de poussières véhiculées par les gaz entrant et sortant de l'appareil ou bien la teneur en poussières par mètre cube de ces gaz ramenés aux mêmes conditions de température et de pression, après déduction du volume sortant, du volume de l'air pénétrant dans l'appareil.

Etant donné la relation (1), il suffit de connaître deux des trois quantités  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  pour fixer la valeur de la troisième. La mesure de deux de ces quantités suffit donc en principe. Si on les détermine toutes les trois indépendamment l'une de l'autre, on dispose d'un moyen de vérifier l'exactitude des résultats obtenus.

On peut donc, pour calculer le rendement, partir de la valeur de deux des trois quantités  $P_1$ ,  $P_2$  et  $P_3$ . Suivant le mode de calcul adopté, on peut exprimer le rendement sous l'une des trois formes :

$$r_1 = \frac{P_2}{P_1}$$

$$r_2 = \frac{P_2}{P_3 + P_2}$$

$$r_3 = \frac{P_1 - P_3}{P_1}$$

Appelons  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  les erreurs relatives commises sur les poids  $P_1$ ,  $P_2$  et  $P_3$ . Ces erreurs entraînent pour  $r$  des erreurs relatives que nous appelons respectivement  $E_1$ ,  $E_2$  et  $E_3$  suivant que l'on calcule  $r$  par le premier, par le second ou par le troisième procédé indiqué ci-dessus.

On voit facilement que :

$$E_1 = e_1 + e_2 \quad (2)$$

$$E_2 = e_2 \frac{P_3}{P_2 + P_3} + e_3 \frac{P_3}{P_3 + P_2} = (e_2 + e_3) \frac{P_3}{P_2 + P_3} \quad (3)$$

$$E_3 = e_3 \frac{P_3}{P_1 - P_3} + e_1 \frac{P_3}{P_1 - P_3} = (e_3 + e_1) \frac{P_3}{P_1 - P_3} \quad (4)$$

On peut le plus souvent déterminer exactement  $P_2$  (poids des poussières retenues par le dépoussiéreur). Cette détermination n'offre pas de difficulté de principe, lorsque le dépoussiéreur fonctionne à sec. Dans ce cas, l'erreur  $e_2$  est faible.

Lorsqu'il s'agit d'un dépoussiéreur humide, la détermination exacte du poids  $P_2$  est plus difficile. L'expérience nous a toutefois montré que, même dans ce cas, cette détermination est possible avec une approximation très suffisante, moyennant des précautions convenables.

L'erreur commise sur le poids  $P_2$  est donc presque toujours inférieure aux erreurs commises sur les poids  $P_1$  et  $P_3$ .

Nous envisagerons surtout, dans ce qui suit, la détermination de  $P_1$  et  $P_3$  par la méthode de la sonde. On sait que cette méthode comprend l'exécution des opérations suivantes :

- 1) Prélèvement d'un échantillon de gaz, dont on mesure le volume et qu'on dépoussière complètement;
- 2) Mesure du débit de gaz.

Pour que la méthode puisse être appliquée, il faut que la teneur en poussières du gaz prélevé soit égale à la teneur moyenne en poussières du courant dont il provient. Il faut aussi que le débit de gaz puisse être déterminé avec une exactitude suffisante.

On doit procéder de façon à réduire le plus possible l'influence des erreurs de mesure commises sur le résultat cherché.

Le poids  $P_1$  est évidemment supérieur au poids  $P_3$ . Lorsque le rendement du dépoussiéreur est élevé, la différence est considérable.

Dans le cas d'un dépoussiéreur dont le rendement serait de l'ordre de 97 %, ces deux poids seraient approximativement dans le rapport de 30 à 1. Le dénominateur du 2<sup>e</sup> membre des expressions (3) et (4) a donc, dans bien des cas, à peu près la même valeur.

Si l'on admet — comme c'est généralement le cas — que la mesure de  $P_2$  est celle qui est affectée de l'erreur relative la plus

faible, si l'on admet aussi que l'erreur relative commise dans la détermination des poids  $P_1$  et  $P_3$  est la même, on voit, en se rapportant aux expressions des erreurs  $E_1$ ,  $E_2$  et  $E_3$  que le résultat le plus exact pour  $r$  s'obtiendra en basant le calcul de ce rendement sur les valeurs trouvées pour  $P_2$  et  $P_3$ .

Si, outre  $P_2$  et  $P_3$ , on a également mesuré  $P_1$ , on dispose d'un moyen de vérifier l'exactitude des résultats obtenus.

Il est intéressant de remarquer que l'erreur  $e_1$  commise sur  $P_1$  entraîne une erreur plus forte pour  $r_1$  que pour  $r_3$ .

Il arrive bien souvent que l'on peut en fait, déterminer  $P_3$  avec une erreur relative moindre que celle que l'on commettrait sur  $P_1$ . Lorsque c'est le cas, l'avantage de principe qu'il y a à baser le calcul de  $r$  sur les valeurs de  $P_2$  et  $P_3$  est plus grand encore.

Un exemple numérique permettra de préciser ce qui précède :

Supposons que l'on ait déterminé  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ; supposons aussi que les erreurs relatives commises sur ces poids soient respectivement de :

$e_1$ :	10 %
$e_2$ :	1 %
$e_3$ :	10 %

Supposons que la valeur réelle du rendement du dépoussiéreur soit de 90 %.

Suivant que l'on base le calcul du rendement sur les poids  $P_1$  et  $P_2$ ,  $P_2$  et  $P_3$ ,  $P_1$  et  $P_3$ , le résultat du calcul est affecté d'une erreur relative qui sera, en admettant que le signe des erreurs soit tel que leur effet s'ajoute :

$E_1$ =	11 %	dans le premier cas;
$E_2$ =	1,1 %	dans le second cas;
$E_3$ =	2,2 %	dans le troisième cas.

Si l'on fait le calcul suivant le premier mode, on pourra donc trouver une valeur du rendement comprise entre 80 et 100 %; la différence entre la valeur donnée par le calcul et la valeur réelle sera ramenée approximativement à 1 % dans le second cas et à 2,2 dans le troisième.

Ce qui précède fait reconnaître qu'il y a intérêt, aussi bien au point de vue des conventions commerciales qu'au point de vue des prescriptions réglementaires, à définir le résultat donné par un appa-

reil d'une façon qui tienne compte, de la façon la plus rationnelle, de la nature et du degré d'exactitude des méthodes de mesure qui peuvent être employées.

## II. — Résultats des observations.

Les remarques qui suivent sont basées, surtout, sur des observations faites au cours d'un certain nombre d'essais exécutés à la Centrale de Farciennes.

Les chaudières de cette centrale sont, comme on le sait, chauffées au moyen de charbon pulvérisé.

Au cours de ces essais, nous avons pu comparer les résultats donnés par diverses sondes. Il nous a été possible de faire fonctionner celles-ci dans diverses conditions. Nous avons pu, dans plusieurs cas, déterminer les trois quantités  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ .

Outre les observations faites à Farciennes, nous avons également pu utiliser quelques observations faites au cours d'essais de dépoussiéreurs exécutés ailleurs.

Quelques-uns des essais basés sur l'emploi de la sonde, ont pu être doublés par des essais exécutés d'après la méthode du bilan des cendres. Certains de ces bilans ont également été effectués à la Centrale de Farciennes.

### A) REMARQUES INTERESSANT LES CONDITIONS GENERALES DANS LESQUELLES IL CONVIENT D'OPERER.

#### a) Répartition inégale des poussières dans les gaz :

Quelques remarques qui ont pu être faites à Farciennes, offrent à ce point de vue un intérêt particulier.

Au cours d'un essai de dépoussiéreur électrique, les mesures avaient pu être organisées de façon à déterminer les poids  $P_1$ ,  $P_2$  et  $P_3$ .

La détermination de  $P_1$  par la méthode de la sonde se faisait en prélevant un échantillon de gaz dans un cameau horizontal, très court, qui reliait la chaudière au dépoussiéreur. On avait choisi, dans le cameau, l'endroit qui paraissait offrir le plus de chance d'une répartition uniforme des vitesses.

Le prélèvement de l'échantillon de gaz nécessaire pour la détermination de  $P_3$  se faisait dans une cheminée verticale, cylindrique, qui faisait suite au dépoussiéreur.

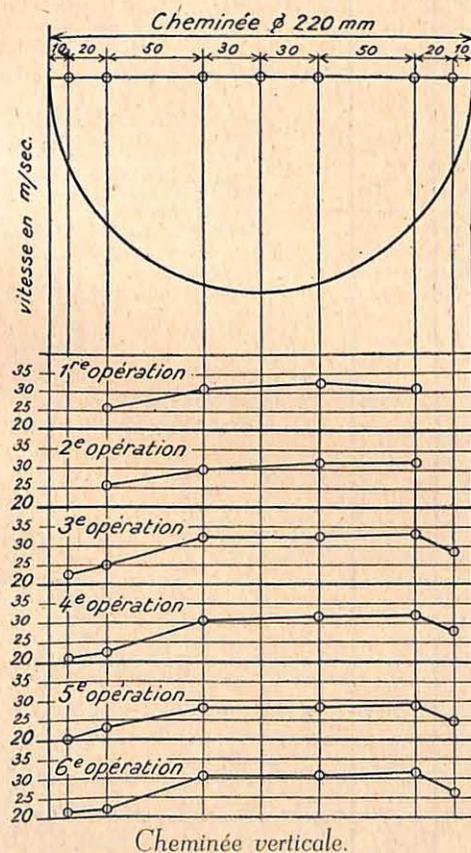
Les diagrammes ci-après (n<sup>os</sup> 973 et 978) donnent la répartition des vitesses dans les deux sections choisies.

Nous avons exécuté une première série d'essais, au cours desquels nous déterminions  $P_1$  en déplaçant verticalement la sonde utilisée, suivant une loi convenablement choisie.

La sonde était déplacée dans toute l'étendue de la section des mesures.

Le tableau I donne les résultats qui découlent des mesures faites.

On remarque que si l'on détermine le rendement du dépoussiéreur sur la base des valeurs trouvées pour les poids  $P_1$  et  $P_2$ , on obtient, pour les deux essais exécutés, des valeurs qui sont respectivement 18 et 47 %.



Diagrammes n<sup>os</sup> 973. — Répartition de la vitesse des gaz, mesurée au tube de Pitot.

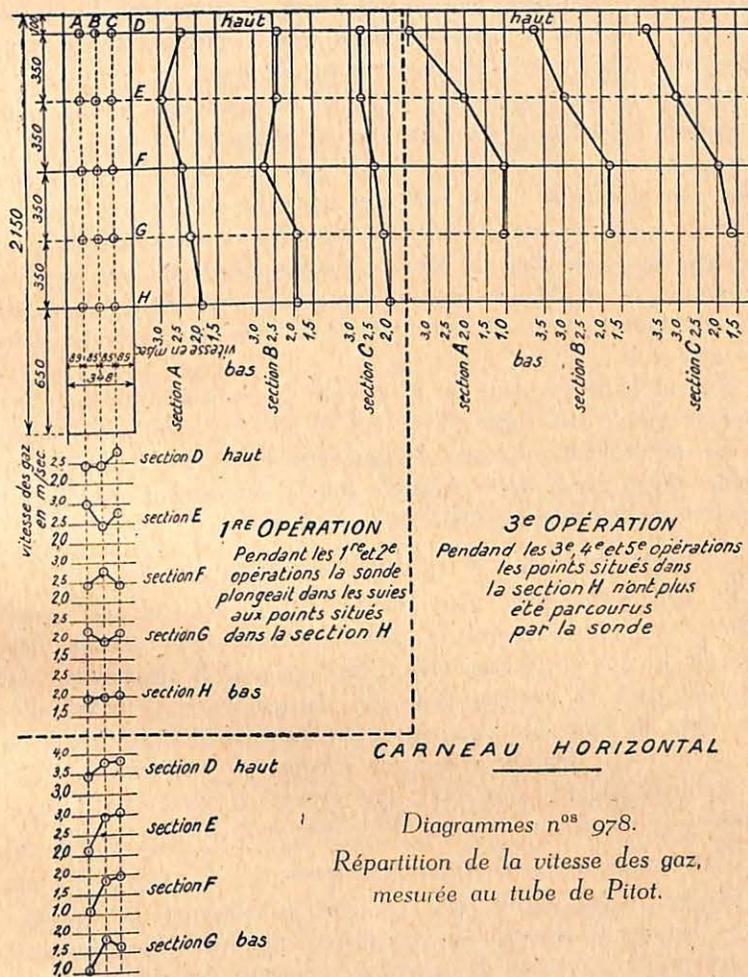
Calcul du rendement d'un élément de dépoussiéreur électrique basé :

- 1) sur les résultats de la mesure des poids  $P_3$  et  $P_1$ ;
- 2) sur les résultats de la mesure des poids  $P_1$  et  $P_2$ .

TABLEAU I

		TABLEAU II				
		1	2	3	4	5
Rendement basé :						
1)	sur les résultats de la mesure des poids $P_3$ et $P_1$ . . . . . %.	96,80	98,91	94,00	95,59	82,55
2)	sur les résultats de la mesure des poids $P_1$ et $P_2$ . . . . . %.	47,43	18,15	141,40	117,70	158,70
N. B. — Ces deux valeurs du rendement sont l'une et l'autre erronées à des degrés divers, comme le montrent les remarques faites dans le texte.		La sonde n'a pas été promenée dans la partie inférieure du cameau.				

N. B. — Les différences entre les résultats du calcul basé sur ces deux méthodes ont permis de constater que l'une des quantités  $P_1$ ,  $P_2$  et  $P_3$  était affectée d'une erreur. L'analyse a montré que cette erreur portait sur la mesure de  $P_1$ .



Si le rendement est calculé sur la base des valeurs trouvées pour  $P_1$  et  $P_2$ , on obtient respectivement 96,8 et 98,9 % pour les deux opérations exécutées.

Il est donc évident que la mesure de l'une au moins était affectée d'une erreur considérable. Nous avons reconnu que cette erreur portait sur la détermination du poids  $P_1$  et qu'elle était due à la particularité suivante : dans le bas du cameau horizontal dans lequel se faisaient les mesures, s'était déposée une couche de pous-

sières. La sonde pénétrant dans cette couche aspirait dans cette dernière des poussières qui augmentaient apparemment la teneur des gaz à l'entrée et faussaient donc complètement la valeur attribuée au poids  $P_1$ , qu'elles augmentaient du reste.

L'effet de cette erreur sur le calcul du rendement est moindre — comme le laissait du reste attendre une remarque faite plus haut — lorsqu'on calcule le rendement sur la base des poids  $P_1$  et  $P_3$  que lorsqu'on le calcule sur la base des poids  $P_1$  et  $P_2$ .

Nous avons ensuite recommencé les mesures en évitant de faire pénétrer la sonde dans le bas du cameau horizontal, de façon à écarter la cause d'erreur reconnue au cours des essais précédents. Les résultats obtenus en procédant de la sorte sont rapportés dans le tableau II.

Suivant la façon dont on le calcule, le rendement trouvé varie pour le même essai entre 82 et 158 %. Il est certain qu'ici aussi, la mesure de l'une au moins des grandeurs  $P_1$ ,  $P_2$  et  $P_3$  est affectée d'une erreur. Nous avons reconnu que la détermination de  $P_1$  est affectée d'une erreur considérable.

Ceci nous paraît dû à la circonstance suivante :

En procédant comme nous l'avons fait, au cours de ce second essai, nous avons négligé la partie inférieure du cameau dans laquelle les gaz circulent pourtant. En raison de la décantation qui s'opérait dans ce cameau horizontal, la teneur en poussières des gaz dans la zone que nous avons négligée, était supérieure à sa valeur moyenne dans le reste de la section. L'échantillon que nous avons ainsi prélevé, avait donc une teneur en poussières  $P_1$  inférieure à la teneur moyenne du débit tout entier.

Ceci conduit à une remarque importante :

Lorsque le gaz circule dans un conduit horizontal, la pesanteur provoque une décantation des poussières, décantation qui augmente la teneur en poussières des couches inférieures du gaz en mouvement. Il peut aussi se produire, à la partie inférieure d'un conduit horizontal, un dépôt dont l'épaisseur est *a priori* inconnue. Le prélèvement d'un échantillon de gaz d'une teneur en poussières égale à la teneur moyenne pour la section entière est par conséquent difficile ou impossible.

Le pesanteur n'est pas la seule cause qui puisse provoquer une répartition irrégulière des poussières dans la masse gazeuse. Certaines particularités du mouvement — effets d'inertie dus à des

changements brusques de direction, effets de centrifugation dus à des mouvements hélicoïdaux — peuvent agir de la même façon et entraîner par conséquent les mêmes conséquences.

Dans le cas des essais auxquels se rapporte le tableau I, il est intéressant de noter qu'il s'agissait d'une chaudière chauffée au moyen de charbon pulvérisé et que les poussières étaient par conséquent relativement fines. La vitesse moyenne des gaz était assez considérable et le cameau était court.

Le bon sens indique que ces causes d'erreurs sont d'autant plus à craindre que les vitesses sont moindres, les poussières plus grosses, le cameau horizontal plus long.

#### b) Répartition inégale des vitesses dans une section :

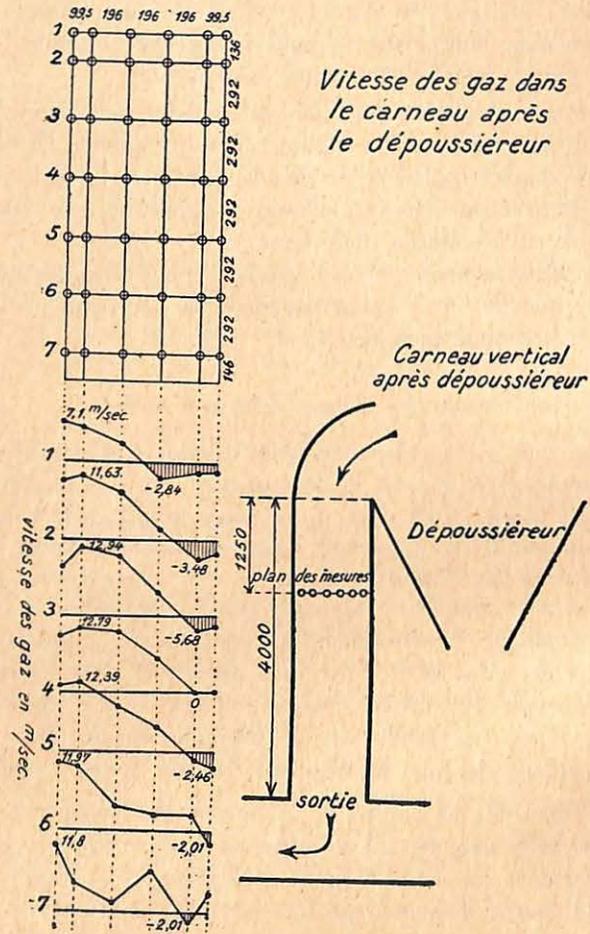
Il arrive que la répartition des vitesses dans une section des carneaux précédant et suivant le dépoussiéreur soit très irrégulière. Les diagrammes ci-après (n<sup>os</sup> 1041, 1042, 1043, 1044) sont, à cet égard, caractéristiques. Ils se rapportent aux déterminations faites dans les carneaux verticaux d'entrée et de sortie d'un dépoussiéreur sec.

On constate, dans les deux cas, que la répartition des vitesses est très irrégulière; il existe même une zone morte considérable dans le cameau de sortie. Il est arrivé que, dans cette zone, nous constations l'existence de vitesses dirigées en sens inverse de la vitesse moyenne. Dans ces conditions, la détermination du débit de gaz par la méthode du tube de Pitot est difficile, sinon impossible.

Ainsi, dans le cas auquel se rapportent les diagrammes susdits, malgré les soins apportés à l'exécution de mesures répétées, les débits calculés d'après les mesures faites respectivement à l'entrée et à la sortie, différaient d'environ 50 %.

Lorsque la répartition des vitesses est aussi irrégulière, la méthode de la sonde ne peut permettre d'évaluer la quantité totale des poussières traversant une section donnée. Les coudes brusques, les variations de section, le voisinage d'un ventilateur, le voisinage d'un dépoussiéreur, qui souvent contient des dispositifs imposant une loi déterminée à la circulation des gaz, sont les causes les plus répandues de répartition inégale des vitesses.

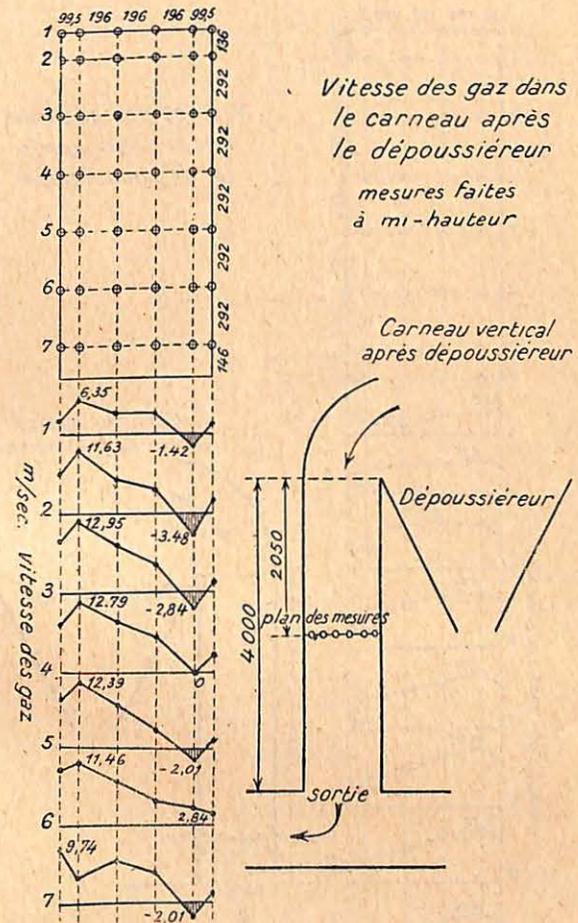
Nous avons pu observer, dans certains cas, l'existence de mouvements hélicoïdaux; ceux-ci peuvent produire, ainsi qu'il est rappelé plus haut, une centrifugation des poussières. La détermination exacte du débit, par la méthode du tube de Pitot, est dans ce cas



Diagrammes n°s 1041.

difficile et la détermination exacte de la teneur moyenne en poussières des gaz, par la méthode de la sonde, est impossible. Dans le cas de mouvements hélicoïdaux notamment, nous avons pu améliorer considérablement les conditions d'écoulement en plaçant dans le carneau un dispositif établi de façon à contrarier la propagation de ce mouvement hélicoïdal.

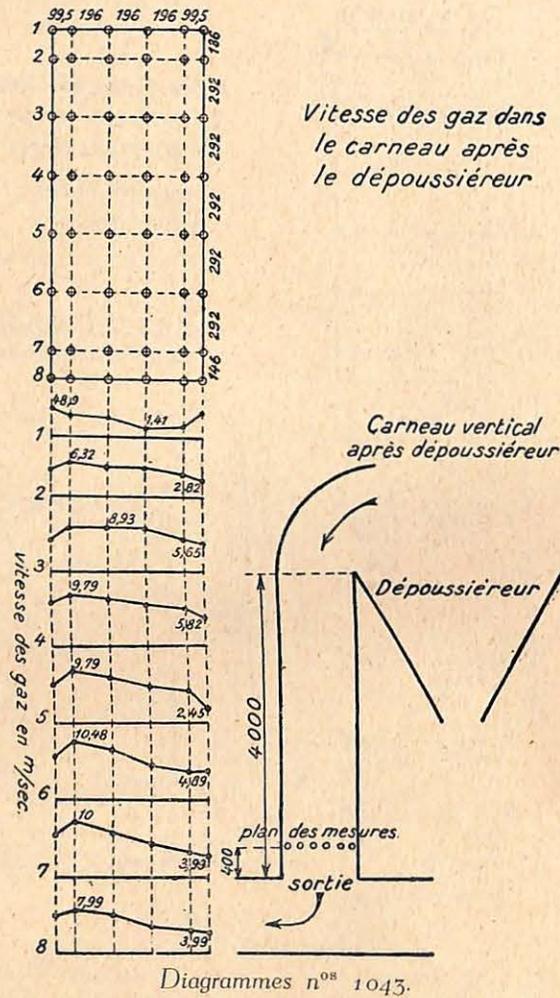
On observe parfois, à la sortie d'une cheminée, que la majeure partie des poussières est concentrée dans une petite portion de la section d'évacuation, formant une espèce de pinceau qui est quel-



Diagrammes n°s 1042.

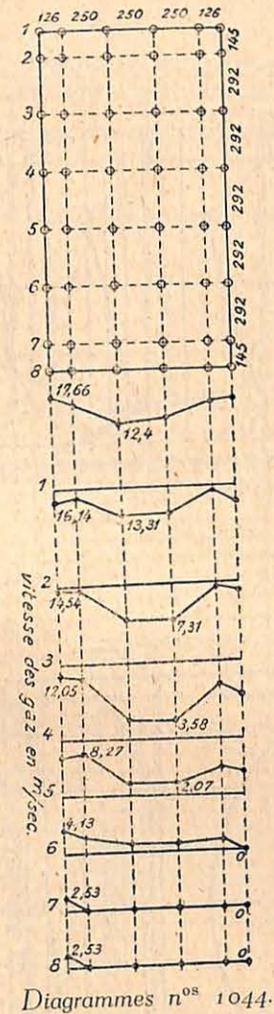
quefois très nettement visible. Cette concentration des poussières résulte de particularités de l'écoulement. Lorsque c'est le cas, il n'est guère possible de déterminer par la méthode de la sonde la teneur moyenne en poussières des gaz.

La présence d'un ventilateur produit souvent un débit pulsatoire ou tourbillonnaire. Lorsque ces tourbillons sont accentués, les résultats donnés par la méthode de la sonde peuvent être affectés d'erreurs considérables.

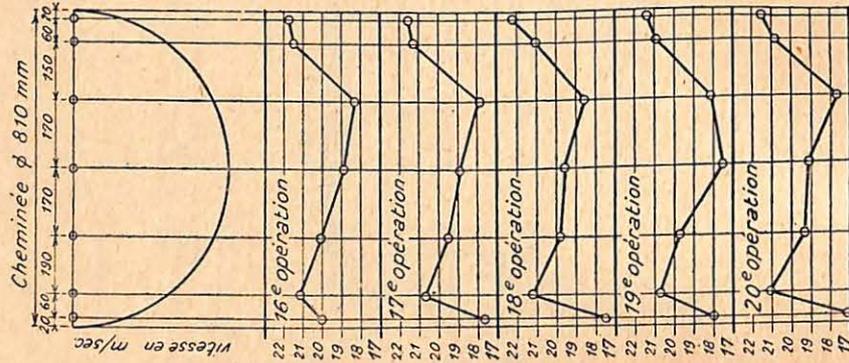


A titre d'exemple d'écoulement dont les vitesses sont régulièrement réparties, nous annexons les courbes de répartition des vitesses relevées dans un certain nombre de cheminées de la Centrale de Farciennes (n° 973, 974, 975, 976). Ces cheminées constituaient des carneaux bien appropriés pour l'étude des sondes.

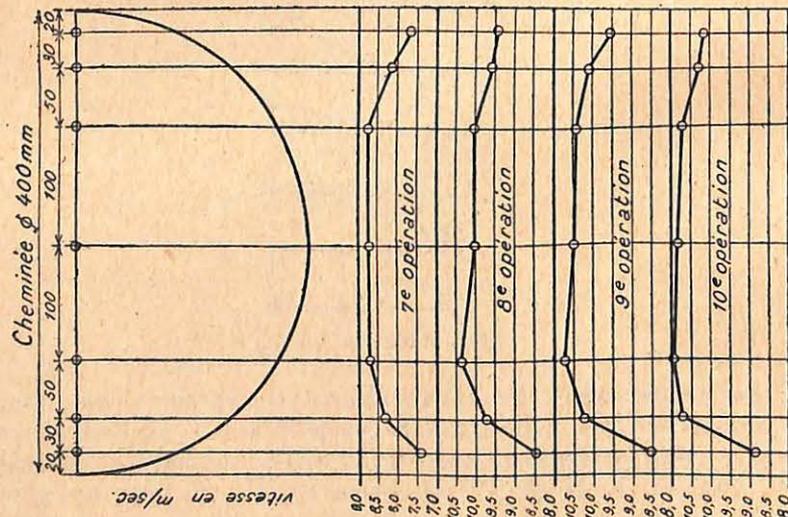
Il faut retenir de ce qui précède qu'au double point de vue de la détermination du débit et du prélèvement d'un échantillon de



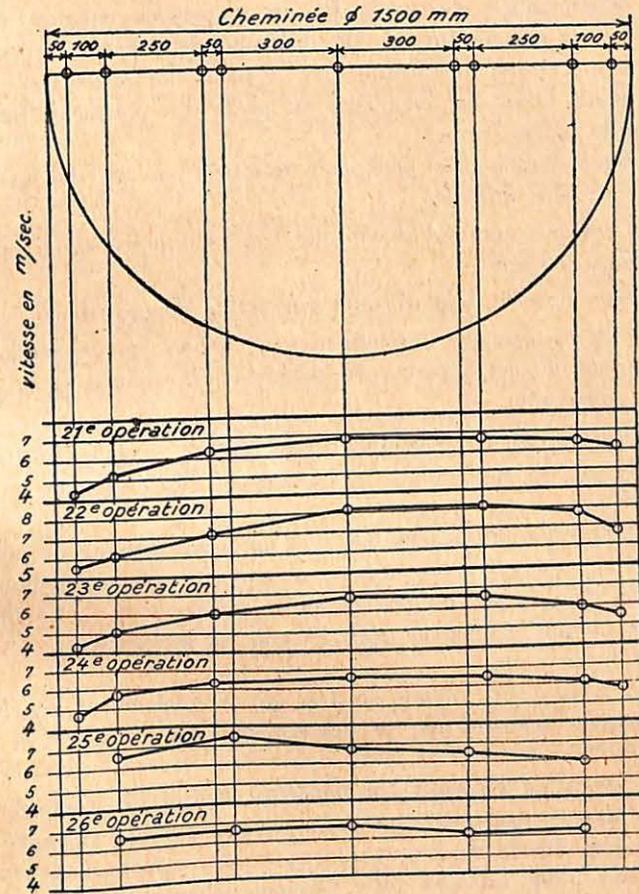
gaz à dépoussiérer, les mesures doivent être étendues, avec grand soin, à la section tout entière. La sonde et le tube de Pitot doivent être placés en différents points de la section, suivant une loi convenablement choisie. Pour le placement du tube de Pitot, ces points doivent être d'autant plus rapprochés que les vitesses sont plus inégalement réparties. Pour le placement de la sonde, ils doivent



Diagrammes n° 975.



Diagrammes n° 974.



Diagrammes n° 976.

être d'autant plus rapprochés que l'on a à attendre une répartition plus irrégulière des poussières. Une répartition irrégulière des vitesses entraîne souvent l'hétérogénéité du gaz au point de vue de sa teneur en poussières. Une répartition égale des vitesses ne suffit pas pour assurer l'homogénéité de la masse gazeuse à ce point de vue.

c) Détermination du poids  $P_2$  des poussières retenues par le dépoussiéreur :

La détermination du poids  $P_2$  des poussières retenues par le dépoussiéreur sec n'offre pas de difficulté de principe. Il est évidemment nécessaire de s'assurer que le poids des poussières recueillies pendant l'essai est bien égal au poids des poussières retenues pendant le même temps.

La détermination des poussières retenues par un dépoussiéreur humide est plus difficile.

Nous sommes pourtant d'avis que l'on peut procéder en opérant de la façon suivante :

1) Déterminer le débit d'eau traversant le dépoussiéreur;

2) Prélever, avec des précautions convenables, un échantillon de l'eau sortant de cet appareil; en déterminer le volume et le filtrer avec le soin voulu.

La filtration de cet échantillon offre parfois quelques difficultés qui peuvent être surmontées en choisissant des filtres de qualité appropriée.

Le prélèvement de l'échantillon doit aussi être entouré de précautions convenables, de façon à éviter notamment une décantation des poussières dans la section où se fait le prélèvement. Cette décantation se produit notamment sous l'action de la pesanteur dans les conduits horizontaux.

Il faut aussi tenir compte du fait que l'entraînement par l'eau, des poussières retenues par le dépoussiéreur est souvent fort irrégulier.

Nous avons eu l'occasion, à plusieurs reprises, de comparer les résultats donnés par cette méthode avec ceux que donnait une détermination directe de la quantité de poussières véhiculées par un débit d'eau. Pour exécuter cette dernière détermination, on laissait décanter dans des réservoirs, de capacité convenable, l'eau qui avait traversé le dépoussiéreur pendant l'essai; on recueillait les poussières et on les pesait lorsque la décantation était terminée.

Nous avons tiré, de ces expériences, la conclusion que la méthode est délicate, mais qu'avec des précautions convenables, elle donne des résultats d'une exactitude suffisante.

La détermination directe du débit de poussières par la méthode directe indiquée plus haut — décantation et évaluation du poids des poussières entraînées par l'eau — nécessite un travail considérable.

## B) OBSERVATIONS FAITES SUR LE FONCTIONNEMENT DES SONDÉS.

Nous avons pu comparer, à Farciennes, les résultats donnés par différentes sondes utilisées dans des conditions diverses.

La première partie de nos essais nous a conduits à nous limiter aux mesures faites dans les cheminées de sortie, parce que nous ne pouvions trouver que dans ces cheminées, la régularité d'écoulement nécessaire à des mesures exactes. Elles étaient toutes verticales; les vitesses y étaient assez également réparties.

Les diagrammes ci-avant n<sup>os</sup> 974 et 975, qui donnent la répartition des vitesses observées dans plusieurs des cheminées utilisées, montrent que cette répartition était bien uniforme.

Il est important de se rappeler que la comparaison des résultats donnés par deux sondes ne fournit pas une donnée certaine quant à la valeur absolue des résultats donnés par l'une d'elles.

Nous manquons du reste, jusqu'à présent, du moyen de déterminer sûrement la valeur absolue de ces résultats. Il est toutefois utile, à ce point de vue, de rappeler que nous avons précédemment exécuté à la Centrale de Farciennes, sur des dépoussiéreurs électriques, des essais approfondis, à la fois par la méthode de la sonde et par la méthode du bilan des cendres. La précision des résultats donnés par la méthode du bilan des cendres est médiocre. Il est néanmoins utile de noter que les résultats donnés par ces deux méthodes concordaient d'une façon très satisfaisante.

Au cours des essais exécutés à cette époque, les prélèvements de gaz ont été faits avec plusieurs sondes différentes :

Une sonde de 4 mm. appartenant à la Société Siemens;

Une sonde de 13 mm. du modèle étudié par la Société Delbag;

Une sonde de 30 mm. appartenant à l'École des Mines de Liège.

Toutes ces sondes ont donné des résultats concordants à 10 ou 15 % près.

Nous avons également eu l'occasion d'exécuter, par la méthode du bilan des cendres, l'essai d'un dépoussiéreur placé à la suite d'une chaudière chauffée au moyen de charbon pulvérisé. Nous déterminions, par la méthode décrite plus haut, la quantité de poussières retenue par le dépoussiéreur.

Voici les résultats généraux obtenus :

	Kgs
Poids des poussières introduites au dépoussiéreur (méthode du bilan des cendres) . . . . .	49.200
Poids des poussières retenues par le dépoussiéreur . . . . .	46.600
Poids des poussières transportées par les gaz pénétrant dans l'appareil (méthode de la sonde) . . . . .	54.000
Poids des poussières véhiculées par les gaz sortant de l'appareil . . . . .	2.540

La sonde utilisée avait un diamètre de 150 mm. Les conditions d'écoulement à l'entrée de l'appareil, n'étaient pas très favorables à l'exactitude des mesures; néanmoins, on voit que le résultat donné par la sonde, pour le poids  $P_1$ , diffère de moins de 10 % du résultat donné par le bilan des cendres. Cette concordance doit être considérée comme satisfaisante.

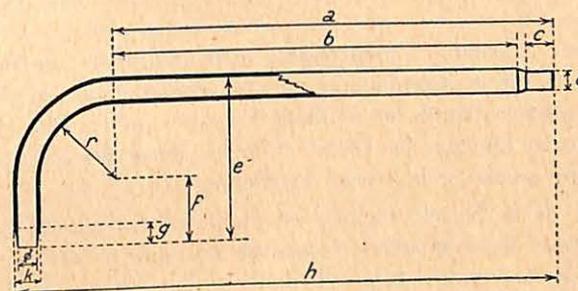
L'analyse de ces résultats montre du reste que le poids  $P_1$  déterminé par la méthode du bilan des cendres est probablement exact et que c'est le poids  $P_1$  déterminé par la méthode de la sonde, qui est affecté de l'erreur relative la plus forte.

Voici comment nous avons opéré pour étudier, d'une façon aussi précise qu'il a été possible, le fonctionnement des sondes :

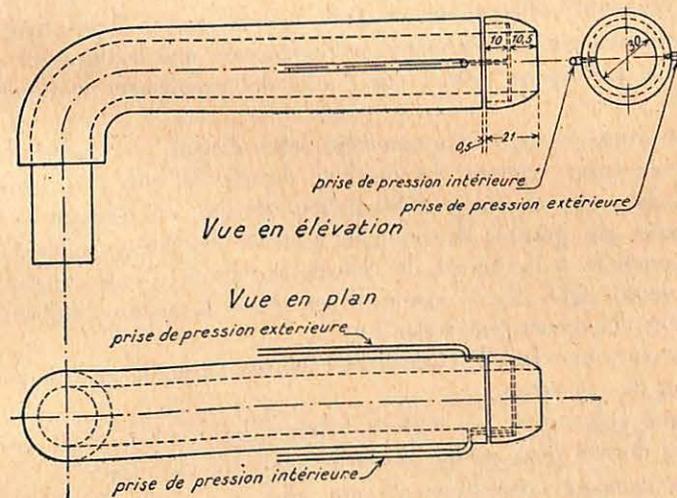
Nous disposions des sondes suivantes :

- Une sonde de 4 mm. de la Société Siemens;
- Une sonde de 13 mm. de la Société Delbag, obligeamment mise à notre disposition par la Société Générale Métallurgique de Hoboken, à Oolen (croquis 988);
- Une sonde de 30 mm. du même modèle;
- Une sonde de 11,5 mm. du type ordinaire, établie suivant le croquis 987;
- Une sonde de 25,4 mm. du même modèle;
- Une sonde de 27,5 mm. du même modèle;
- Une sonde de 30 mm. du même modèle;
- Une sonde de 45 mm. du même modèle;
- Une sonde de 133 mm. du même modèle, construite par la Société Intercommunale d'Electricité.

Les essais ont été exécutés à Farciennes en 1933 et en 1935.



Croquis n° 987. — Sonde ordinaire.



Croquis n° 988. — Dispositif de la sonde Delbag.

On sait actuellement qu'il faut, si l'on veut obtenir des résultats exacts, établir autant que possible à l'entrée de la sonde, une vitesse des gaz égale à la vitesse qui existe dans le cameau. Il reste à évaluer l'erreur que l'on commet si cette condition n'est pas réalisée.

L'ingénieur allemand Zimmermann a donné, dans un mémoire qu'il a publié sur la détermination des poussières dans les gaz, une courbe qui donne, d'après les résultats des essais qu'il a faits, l'erreur d'une sonde en fonction de l'écart entre la vitesse des gaz à l'intérieur de cette sonde et la vitesse extérieure.

La sonde de la Société Delbag est munie d'un dispositif particulier, qui permet de comparer les pressions statiques à l'intérieur et à l'extérieur de la sonde, dispositif dont le but est de faciliter la réalisation d'une vitesse d'aspiration égale à la vitesse dans le cameau. Le principe de ce dispositif revient à admettre que si les pressions statiques extérieure et intérieure sont égales, il en est de même des vitesses.

Au cours des mesures que nous avons faites avec cette sonde, nous avons utilisé ce dispositif. Nous avons toujours mesuré, soit au moyen d'un orifice en mince paroi, soit au moyen d'une tuyère, le volume des gaz aspirés. Nous avons constaté que le dispositif de la Société Delbag ne permet pas d'atteindre exactement le résultat visé.

Nous avons exécuté une première série d'essais, au cours desquels nous avons comparé les résultats donnés par plusieurs sondes placées dans une cheminée d'évacuation des gaz, en réalisant aussi exactement que possible la condition d'égalité des vitesses à l'entrée de la sonde et à l'extérieur de celle-ci; la vitesse d'entrée dans la sonde étant réglée par l'organe d'aspiration, la vitesse extérieure ayant été déterminée préalablement.

Nous reprenons dans le tableau III ci-après une partie des résultats généraux de ces essais.

Chaque colonne de ce tableau exprime les résultats d'un essai au cours duquel deux sondes différentes ont été comparées.

On a comparé successivement entre elles une sonde de Siemens de 4 mm., une sonde de Delbag de 15 mm. et des sondes établies suivant le profil annexé, d'un diamètre de 11,5, 25,4, 45 et 133 mm.

Pendant ces essais, nous nous sommes efforcés de réaliser, dans les sondes essayées, une vitesse égale à la vitesse dans la cheminée; cette concordance a pu être réalisée à 10 ou 15 % près.

TABLEAU III

Sonde I . .mm.	15	15	15	15	25.4	25.4	25.4
Sonde II . .mm.	4	11.5	11.5	25.4	45	133	133
Vitesse réelle dans le cameau . . .	10,2	28	10	26	8,25	7,1	6
Teneur en poussière du gaz aspiré par la sonde I . . .	0,296	0,294	0,238	0,218	0,120	0,477	0,196
Teneur en poussière du gaz aspiré par la sonde II . . .	0,245	0,329	0,211	0,251	0,136	0,498	0,236

Le dispositif employé permet difficilement d'arriver à une égalité rigoureuse. La difficulté principale dérive du fait que la vitesse varie d'un point à l'autre de la conduite. Les opérations seraient par conséquent facilitées dans une mesure considérable, si les sondes étaient munies d'un dispositif permettant de contrôler directement et avec certitude, la vitesse à l'entrée de la sonde et la vitesse extérieure.

Quoi qu'il en soit, le tableau III montre que toutes les sondes ont donné des résultats concordants à 10 ou 15 % près. Cette concordance est suffisante pour la très grande partie des besoins pratiques. Elle constitue, dans l'état actuel des choses, une limite qu'on ne peut guère espérer dépasser, ce qu'il convient de ne pas perdre de vue dans l'appréciation de toutes les questions de ce genre.

Il faut du reste remarquer que les écarts entre les résultats donnés par des sondes différentes cumulent l'effet des sondes elles-mêmes et des autres imperfections des mesures exécutées.

Nous avons ensuite comparé entre elles plusieurs séries de sondes, en réalisant systématiquement des vitesses différentes à l'entrée de la sonde et à l'extérieur de celle-ci.

Nous avons ainsi successivement comparé la sonde de Delbag de 15 mm. et la sonde de Siemens de 4 mm. (tableau IV), la

sonde de Delbag de 15 mm. et la sonde ordinaire de 25.4 mm. (tableau V), la sonde de Delbag de 15 mm. et la sonde ordinaire

TABLEAU IV

Sonde I . . . . .	.mm.	15	15	15
Sonde II . . . . .	.mm.	4	4	4
Vitesse réelle dans le cameau . . . . .		10.2	19.7	19.5
Teneur en poussières du gaz ( $P_1$ ) aspiré par la sonde I . . . . .	grs/m <sup>3</sup> .	0.296	2.97	5.1
Teneur en poussières du gaz ( $P_2$ ) aspiré par la sonde II . . . . .	grs/m <sup>3</sup> .	0.245	2.62	7.1
Rapport des vitesses $V_2$ dans la sonde II et $V_1$ dans la sonde I . . . . .		1.11	1.0	0.51
Rapport des poids $P_2$ à $P_1$ . . . . .		0.85	0.88	2.5

TABLEAU V

Sonde I . . . . .	.mm.	15	15	15
Sonde II . . . . .	.mm.	25.4	25.4	25.4
Vitesse réelle dans le cameau . . . . .		26	20.5	19.6
Teneur en poussières du gaz ( $P_1$ ) aspiré par la sonde I . . . . .	grs/m <sup>3</sup> .	0.218	4.5	5.15
Teneur en poussières du gaz ( $P_2$ ) aspiré par la sonde II . . . . .	grs/m <sup>3</sup> .	0.251	4.6	4.8
Rapport des vitesses $V_2$ dans la sonde II et $V_1$ dans la sonde I . . . . .		0.98	0.89	0.71
Rapport des poids $P_2$ à $P_1$ . . . . .		1.16	1.02	1.52

de 45 mm. (tableau VI), la sonde ordinaire de 25.4 mm. et la sonde ordinaire de 155 mm. (tableau VII).

Chaque colonne de ces tableaux donne les résultats généraux des essais au cours desquels deux sondes ont été comparées.

Tous ces essais montrent que si l'on peut admettre, d'après le tableau III, que lorsque la condition d'égalité des vitesses est réalisée avec une approximation suffisante, les sondes donnent des résultats qui concordent, un changement dans la vitesse du gaz aspiré modifie profondément cet état de choses. Une diminution de la vitesse du gaz dans la sonde entraîne une augmentation de la teneur en pous-

TABLEAU VI

Sonde I . . . . .	.mm.	15	15	15
Sonde II . . . . .	.mm.	45	45	45
Vitesse réelle dans le cameau . . . . .		8.2	8.9	19.9
Teneur en poussières du gaz ( $P_1$ ) aspiré par la sonde I . . . . .	grs/m <sup>3</sup> .	0.120	4.1	5.6
Teneur en poussières du gaz ( $P_2$ ) aspiré par la sonde II . . . . .	grs/m <sup>3</sup> .	0.156	5.8	6.7
Rapport des vitesses $V_2$ dans la sonde II et $V_1$ dans la sonde I . . . . .		0.85	0.76	0.5
Rapport des poids $P_2$ à $P_1$ . . . . .		1.11	1.42	1.85

TABLEAU VII

Sonde I . . . . .	.mm.	25.4	25.4
Sonde II . . . . .	.mm.	155	155
Vitesse réelle dans le cameau . . . . .		7.1	6
Teneur en poussières du gaz ( $P_1$ ) aspiré par la sonde I . . . . .	grs/m <sup>3</sup> .	0.477	0.186
Teneur en poussières du gaz ( $P_2$ ) aspiré par la sonde II . . . . .	grs/m <sup>3</sup> .	0.498	0.256
Rapport des vitesses $V_2$ dans la sonde II et $V_1$ dans la sonde I . . . . .		1.12	0.66
Rapport des poids $P_2$ à $P_1$ . . . . .		1.06	1.27

Pendant les essais dont les résultats sont rapportés dans les tableaux IV, V, VI et VII, la vitesse dans la sonde I, n'a pas été maintenue strictement égale à la vitesse du gaz dans le cameau.

sières trouvée; une augmentation de la vitesse entraîne, au contraire, une diminution de cette teneur en poussières. Ces résultats découlent qualitativement, très nettement, des mesures faites.

La difficulté des mesures exécutées et les erreurs qui en découlent rendent difficile une évaluation quantitative de l'effet de ce facteur. On peut pourtant tirer certaines conclusions plus précises des observations faites. Ces conclusions ont du reste été confirmées au cours d'une série d'essais exécutés à Farciennes en 1935, série d'essais dont les résultats détaillés sont donnés dans le tableau IX.

Au cours de cette deuxième série d'essais, nous avons comparé les résultats donnés par des sondes de 21, 27.5 et 55 mm. Dans la

sonde de 21 mm., nous maintenions aussi exactement que possible une vitesse égale à la vitesse moyenne dans la cheminée.

Nous avons, au contraire, fait varier dans d'assez fortes proportions, la vitesse du gaz pénétrant dans les sondes de 27,5 et 35 mm.

Il nous semble que l'on peut tirer de l'ensemble de ces renseignements les conclusions suivantes :

1) Lorsque la vitesse dans la sonde diffère de la vitesse extérieure, la teneur en poussières du gaz prélevé est faussée. Une augmentation de la vitesse du gaz dans la sonde diminue la teneur de l'échantillon recueilli; une diminution de cette vitesse l'augmente, au contraire. Une augmentation de la vitesse a relativement moins d'importance qu'une diminution, l'augmentation et la diminution étant exprimées en % de la vitesse extérieure;

2) Un écart donné entre la vitesse intérieure et la vitesse extérieure exerce sur les résultats une influence d'autant plus grande que le diamètre de la sonde est plus petit.

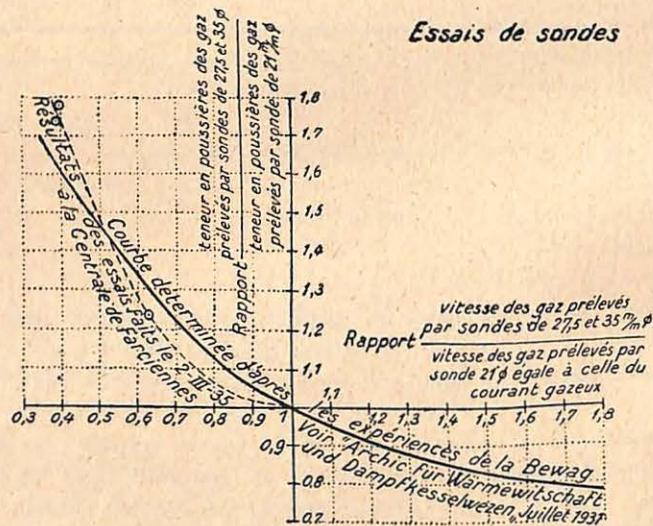


Diagramme n° 1040.

Sur le diagramme ci-dessus n° 1040, nous avons reporté les résultats obtenus en 1935, à Farciennes, sur les sondes de 27,5 et 35 mm. Nous avons reproduit en même temps une courbe publiée par M. Zimmermann et qui exprime, d'après cet expérimentateur, l'effet d'un écart entre la vitesse intérieure de la sonde et la vitesse extérieure sur les résultats donnés par cet appareil. On voit que

pour les sondes de diamètres moyens — 20 à 30 mm. — la courbe de M. Zimmermann concorde à peu près avec les résultats que nous avons obtenus. Il semble, d'autre part, que pour des sondes de diamètre plus faible, les écarts de vitesse exercent une influence plus grande et que l'inverse se produise pour les sondes de diamètre plus grand. Pour la sonde de 4 mm. par exemple (voir tableau IV), une diminution de la vitesse de 70 % entraîne une augmentation de la teneur en poussières de 130 %;

3) La sonde de la Société Delbag présente, comme nous l'avons rappelé précédemment, un dispositif particulier dont le but est de permettre de régler l'aspiration du gaz à travers la sonde, de façon à réaliser le plus exactement possible, les conditions d'égalité des vitesses, en ramenant la comparaison de ces vitesses à une comparaison des pressions statiques.

Les mesures faites nous ont montré que le but visé n'était pas atteint et qu'en réalité, lorsque les pressions statiques intérieure et extérieure mesurées étaient égales, il n'en était pas de même des vitesses, la différence étant de l'ordre d'une quinzaine de %. Les observations faites montrent que ceci s'applique aussi bien à la sonde de 11,5 qu'à la sonde de 30 mm. que nous avons expérimentée. D'autre part, la remarque faite plus haut sous le n° 1 montre l'importance qu'il y aurait à disposer d'une sonde munie d'un dispositif exact, réalisant cet objectif. On pourrait ainsi arriver à augmenter certainement l'exactitude des résultats obtenus, particulièrement lorsque les vitesses ne sont pas les mêmes dans tous les points des sections choisies pour les mesures. L'usage d'une sonde donnant ce résultat faciliterait dans une large mesure l'exécution des essais;

4) Nous avons déterminé, au moyen de tamis convenablement choisis, la grosseur des grains retenus par les différentes sondes au cours de plusieurs essais. Aux résultats donnés plus haut, j'en ajoute quelques-uns (voir tableaux VIII et IX).

TABLEAU VIII

Rapport de la vitesse $V_1$ dans la sonde de 15 mm. et de la vitesse $V_2$ dans la sonde de 25,4 mm.					
		1.02		1.4	
Sondes	. . . . . mm.	15	25,4	15	25,4
Refus au tamis de 100 mailles	. . . . . %.	12,5	12,5	5	9,2
Passé au tamis de 200 mailles	. . . . . %.	75	72	82	77

TABLEAU IX

Essais comparatifs de sondes. — Centrale de Farciennes.

1) Date de l'essai .....	2-III-35	2-III-35	2-III-35	2-III-35	2-III-35	
2) Durée de l'essai .....	2 heures	2 heures	2 heures	2 heures	2 heures	
<i>Combustible.</i>		Mélange : 0-2 mm.				
3) Nature du charbon brûlé pendant l'essai .....	Charbonnage du Gouffre et Charbonnage d'Aiseau-Presles					
4) Analyse du charbon :						
Teneur en cendres .....	18,55	18,65	17,70			
Teneur en mat. volatiles .....	10,80	9,40	10,50			
<i>Détermination de la vitesse des gaz à la cheminée.</i>						
5) Diamètre des sondes .....	21	35	21	55	21	27,5
6) Température des gaz à la cheminée au droit des sondes .....	119,6	115,7	120,1	116,2	123,9	120,0
7) Pression absolue id. ....	739,7	739,7	740,9	740,9	744,2	744,2
8) Analyse des gaz id. ....	9,45	9,22	9,30	9,15	9,31	9,15
9) Vitesse des gaz id. ....	20,76	21,07	20,85	21,05	21,04	21,19

*Calcul du nombre de m<sup>3</sup> de gaz soutiré au moyen des sondes après dépoussiéreur.*

10) Diamètre de la tuyère .....	25	25	25	25	25	25
11) Diamètre de la conduite .....	50	50	50	50	50	50
12) Température moyenne des gaz, mesurée à la tuyère .....	45,9	25,1	46,5	26,5	51,1	27,7
13) Analyse du gaz soutiré :						
Teneur en CO <sup>2</sup> .....	9,15	8,78	9,05	8,85	9,15	8,82
Teneur en O <sup>2</sup> .....	11,25	11,50	11,27	11,58	11,09	11,45
Teneur en CO .....	0	0	0	0	0	0
Pression barométr. ....	741,1	741,1	742,5	742,5	745,6	745,6
14) Dépression statique du gaz en amont de la tuyère .....	57,1	98,2	57,1	118,0	57,0	117,2
15) Chute de pression mesurée à la tuyère au moyen d'un micromanomètre de l'Ass.; moyenne pour la durée de l'essai .....	10,196	12,319	9,547	11,664	9,680	11,484
16) Nombre de m <sup>3</sup> de gaz ayant traversé la tuyère par heure, en m <sup>3</sup> dans les conditions des mesures .....	24,925	27,201	24,079	27,004	24,564	26,775

TABLEAU IX (suite)

17) Nombre de m <sup>3</sup> de gaz ayant traversé la tuyère pendant l'essai, en m <sup>3</sup> ramenés dans les conditions existant à la cheminée au droit des sondes .....m <sup>3</sup> .	54,769	59,107	53,240	57,377	54,160	56,957
18) Vitesse des gaz à l'entrée de la sonde .....m./sec.	21,96	8,53	21,35	8,28	21,72	13,32
<i>Suies recueillies au moyen de sondes après dépoussiéreur.</i>						
19) Poids des suies recueillies au moyen de la sonde pendant l'essai ...grs.	68,940	135,580	79,920	151,430	111,750	147,260
20) Teneur en imbrûlés de ces suies ...%.	59,90	52,15	49,95	57,50	26,95	30,35
21) Tamisage des suies :						
Refus au tamis 40 mailles par pouce linéaire français .....%	0,10	0,30	0,10	0,10	0,05	0,35
Passé au tamis 40 id. et refus au tamis 100 .....%	2,20	2,80	3,30	2,80	1,00	0,70
Passé au tamis 100 id. et refus au tamis 200 .....%	20,20	24,50	26,70	25,55	13,30	10,00
Passé au tamis 200 id. et refus au tamis 300 .....%	16,80	26,30	23,40	39,40	49,80	41,65
Passé au tamis 300 id. ....%	60,70	46,10	46,50	52,15	55,86	47,30
22) Poids des suies recueillies au sac filtrant par m <sup>3</sup> de gaz évacué à la cheminée .....grs.	1,2588	2,2938	1,5009	2,6392	2,0633	2,5854

*Résultats généraux.*

23) Diamètre des sondes .....mm.	21	35	21	35	21	27,5
24) Vitesse des gaz à la cheminée au droit des sondes .....m./sec.	20,76	21,07	20,85	21,03	21,04	21,19
25) Vitesse d'aspiration des gaz à l'entrée des sondes .....m./sec.	21,96	8,63	21,35	8,28	21,72	13,32
26) Rapport des vitesses à l'entrée de la sonde et à la cheminée .....	—	0,405	—	0,394	—	0,629
27) Poids des suies recueillies par m <sup>3</sup> de gaz soutiré à la cheminée .....grs.	1,2588	2,2938	1,5009	2,6392	2,0633	2,5854
28) Rapport des poids de suies recueillies au moyen des sondes de 35 et de 21 mm. ....	—	1,82	—	1,76	—	1,26

*Conditions générales de marche.*

29) Nombre de m <sup>3</sup> de gaz évacués à la cheminée à la seconde ...m <sup>3</sup> /sec.		10,64		10,65		10,74
30) Température moyenne des gaz à la cheminée au droit des sondes ..deg.	119,6	115,7	120,1	116,2	123,9	120,0
31) Teneur moyenne en CO <sup>2</sup> des gaz à la cheminée au droit des sondes .....%	9,45	9,22	9,30	9,13	9,31	9,15
32) Teneur moyenne en carbone non brûlé dans les suies recueillies au moyen des sondes .....%	39,90	52,15	49,95	57,50	26,95	30,35

D'une façon générale, nous basant sur les mesures faites, il nous semble que lorsque la condition d'égalité des vitesses est réalisée, la composition granulométrique de l'échantillon recueilli par la sonde se rapproche de celle des poussières réellement contenues par les gaz.

Si la vitesse dans la sonde diffère de la vitesse du gaz à l'extérieur de la sonde, la composition granulométrique de l'échantillon est faussée. Une diminution de la vitesse dans la sonde tend à augmenter la proportion des gros éléments recueillis; une augmentation de cette vitesse tend à augmenter la proportion des éléments fins.

### III. — Conclusions.

De ce qui précède, il nous semble que l'on peut déduire les conclusions suivantes :

1) Il est possible de déterminer au moyen de sondes, la teneur en poussières d'un débit de gaz avec une approximation de 10 à 15 %.

2) Pour obtenir ce résultat, il faut que les vitesses soient réparties d'une façon suffisamment uniforme dans toute la section; il faut aussi que la teneur en poussières du gaz soit suffisamment régulière. Si ces deux conditions ne sont pas réalisées à un degré suffisant, la méthode de la sonde peut donner des résultats tout à fait erronés;

3) Il est difficile d'obtenir une répartition uniforme des poussières dans un cameau horizontal. Pour les mesures, on doit donc donner la préférence à des cameaux verticaux.

La traversée d'un ventilateur, dans certains cas la traversée du dépoussiéreur lui-même, le voisinage de coudes trop marqués, produisent dans l'écoulement et la répartition des poussières des perturbations qui peuvent affecter les résultats donnés par les sondes;

4) Pour obtenir le résultat indiqué plus haut, il est nécessaire de réaliser à l'entrée de la sonde, une vitesse d'aspiration approximativement égale à la vitesse du courant de gaz dans lequel la sonde est plongée. Cette condition doit être réalisée d'une façon d'autant plus stricte que le diamètre de la sonde est plus petit;

5) La sonde doit être établie de façon à ne pas troubler l'écoulement en amont du point où elle est placée. Les sondes très simples, constituées par un tuyau cylindrique, dont la paroi est finement biseautée à l'entrée, donnent des résultats satisfaisants;

6) Il faut autant que possible éviter les sondes de petit diamètre; l'influence des écarts entre la vitesse intérieure et la vitesse extérieure paraît, en effet, plus grande pour ces dernières. Il faut, autant que possible, ne pas descendre en dessous d'un diamètre de 20 mm. Il semble que pour des diamètres de 20 à 30 mm., l'influence d'une différence entre la vitesse à l'entrée de la sonde et la vitesse extérieure soit assez exactement exprimée par la courbe donnée par M. Zimmermann. Cette courbe paraît sous-évaluer l'importance de ce facteur pour les sondes plus petites et la sur-évaluer pour les diamètres plus grands;

7) Les essais faits à Farciennes montrent que l'on doit s'attendre à une augmentation des erreurs des petites sondes lorsque les gaz contiennent plus d'éléments de grosses dimensions;

8) L'ensemble des essais montre qu'on est exposé à des erreurs considérables, lorsque la vitesse réelle des gaz comporte une composante importante, qui n'est pas normale dans la section des mesures. Il est utile de remarquer, à ce point de vue, que les ventilateurs ou certains organes de dépoussiéreur produisent souvent, dans les conduits d'évacuation, des mouvements giratoires. Lorsque ces derniers existent à un certain degré, les résultats donnés par les sondes ont toujours été incohérents;

9) Lorsqu'il existe des tourbillons accentués, les résultats donnés par les sondes peuvent être inexacts. On peut parfois améliorer les conditions d'écoulement en plaçant dans le courant de gaz des dispositifs appropriés;

10) Il est toujours nécessaire de prélever l'échantillon de gaz en plaçant la sonde en plusieurs points de la section. Ces points doivent être d'autant plus rapprochés que l'on craint davantage une répartition irrégulière des poussières. Cette répartition irrégulière des poussières est fréquemment due à la présence d'un ventilateur, d'un coude, d'un changement brusque de section, d'un dépoussiéreur, de plusieurs systèmes qui ajoutent systématiquement à la vitesse une composante qui n'est pas perpendiculaire aux sections normales.

Il faut prendre des précautions du même genre pour l'emploi du tube de Pitot. Une répartition uniforme des vitesses n'entraîne pas nécessairement une répartition uniforme des poussières;

11) Si les conditions nécessaires ne sont pas réalisées, les résultats des essais peuvent être faussés dans une proportion énorme;

12) Parmi les autres précautions dont l'expérience nous a montré la nécessité, figure une vérification constante de l'étanchéité du

circuit d'aspiration. Il importe, en effet, de s'assurer que la mesure du débit aspiré par la sonde n'est pas faussée par de l'air s'introduisant dans le circuit;

13) Il importe aussi de s'assurer que toutes les poussières contenues dans les gaz sont bien recueillies. Il est nécessaire de recueillir très exactement toutes celles qui se déposent dans le conduit reliant la sonde au filtre utilisé.

Pour éviter la condensation de la vapeur dans ces tuyaux, il est quelquefois nécessaire de les chauffer;

14) Les essais seraient facilités et leur exactitude accrue, si l'on disposait d'une sonde de 30 mm. de diamètre environ, munie d'un dispositif permettant de comparer directement la vitesse à l'entrée de la sonde et la vitesse extérieure. Aucun des dispositifs qui nous sont connus et qui ont été établis dans ce but ne remplit en réalité, convenablement cette condition.

Le rapport de M. R. Vinçotte a été complété par une note de M. Morisseaux sur la détermination du rendement des dépoussiéreurs et spécialement sur l'utilisation des sondes.

Nous croyons utile de reproduire ci-après la partie de cette note qui est relative à l'utilisation des sondes :

### Note de M. Morisseaux.

#### « RESULTATS OBTENUS PAR L'EMPLOI DES SONDES.

» De longues séries de déterminations ont été effectuées en 1933 et 1935, dans différentes installations et notamment à la Centrale électrique de Farciennes, où les dispositions locales permettaient des essais méthodiques.

» Ces déterminations furent effectuées avec :

- une sonde de 4 mm. de diamètre, de la Société Siemens;
- une sonde de 13 mm. de la Société allemande Delbag (appartenant à la Société Générale Métallurgique de Hoboken, à Oolen).

» Cette sonde était munie d'un dispositif particulier, permettant de comparer les pressions statiques à l'intérieur et à l'extérieur de

la sonde, dispositif dont le but est de faciliter la réalisation d'une vitesse d'aspiration égale à la vitesse dans le cameau;

une sonde simple	de 11,5 mm.;
une id.	de 25,4 mm.;
une id.	de 30 mm.;
une id.	de 45 mm.;
une id.	de 133 mm., construite par la Société Intercommunale Belge d'Electricité.

» On sait qu'il faut, pour obtenir des résultats exacts, réaliser autant que possible, à l'entrée de la sonde, une vitesse égale à celle qui règne dans le cameau.

» Le but principal des essais effectués était de déterminer l'influence sur les résultats obtenus de l'inégalité dans ces vitesses.

» Un ingénieur allemand, M. Zimmermann, a fait connaître, dans un mémoire sur la détermination des poussières dans les gaz, une courbe qui donne, d'après les essais qu'il a faits, l'erreur d'une sonde en fonction de l'écart entre la vitesse des gaz à l'intérieur de la sonde et la vitesse du cameau.

» Les essais ont montré que la courbe de Zimmermann traduit assez exactement l'influence des écarts de vitesse pour des sondes de 20 à 30 mm. de diamètre. Elle semble sous-évaluer l'importance de ce facteur pour des sondes de plus petit diamètre et la surévaluer pour des sondes de plus grand diamètre.

» Comme la courbe de Zimmermann le montre, lorsque la vitesse dans la sonde est supérieure à celle du cameau, la teneur de l'échantillon diminue; lorsque la vitesse dans la sonde est inférieure à celle du cameau, la teneur de l'échantillon augmente. La courbe montre aussi qu'une augmentation de vitesse dans la sonde a relativement moins d'importance qu'une diminution, les deux étant exprimées en pourcent de la vitesse extérieure.

» Un écart entre les vitesses exerce une influence d'autant plus grande que le diamètre de la sonde est plus petit. On a, par exemple, trouvé qu'avec une sonde de 4 mm., une diminution de la vitesse de 70 % entraîne une augmentation de la teneur en poussières de 130 %.

» Les mesures ont montré également que l'objectif visé par le dispositif d'égalisation de la sonde Delbag n'était pas atteint et que, même avec des pressions statiques intérieure et extérieure égales, les

vitesse n'étaient pas identiques, la différence pouvant atteindre une quinzaine de pour cent.

» *Granulométrie.* — Les essais effectués ont montré aussi que lorsque l'égalité des vitesses est réalisée dans la sonde et dans le cameau, la composition granulométrique de l'échantillon prélevé se rapproche sensiblement de celle des poussières contenues dans les gaz.

» Une diminution de la vitesse dans la sonde tend à augmenter la proportion des gros éléments recueillis; une augmentation; par contre, de la vitesse entraîne un accroissement des éléments fins.

### Conclusion générale.

» Les essais effectués ont permis de conclure qu'il est possible de déterminer, au moyen de sondes, la teneur en poussières d'un courant gazeux, avec une approximation de 10 à 15 %, moyennant les précautions suivantes :

» a) *Régularité de l'écoulement et de la composition des gaz.*

» Il faut tout d'abord, que les vitesses des filets gazeux soient réparties de façon suffisamment uniforme dans toute la section du cameau et que la teneur en poussières soit sensiblement régulière; si ces deux conditions ne sont pas réalisées à un degré suffisant, il saute aux yeux que la méthode de la sonde peut conduire à des résultats tout à fait erronés.

» Spécialement, les mesures seront très incertaines dans les carneaux horizontaux et on devra rechercher de préférence les parties verticales des conduites gazeuses, en évitant soigneusement le voisinage des ventilateurs, des coudes brusques et des changements de section;

» b) *Egalité des vitesses.*

» Il faut réaliser à l'entrée de la sonde une vitesse sensiblement égale à celle du courant dans lequel le prélèvement est opéré. Cette condition est d'autant plus impérieuse que le diamètre de la sonde est plus petit; aussi paraît-il opportun de ne pas utiliser des sondes d'un diamètre inférieur à 20 mm. Pour des sondes de 20 à 30 mm. de diamètre, la courbe de M. Zimmermann paraît traduire assez fidèlement l'influence des écarts de vitesse, tout en fournissant des indications trop faibles dans le cas de sondes plus petites, et des indications exagérées dans le cas de sondes plus grandes;

» c) *Forme de la sonde.*

» La sonde doit être établie de façon à ne pas troubler le régime d'écoulement en amont du point où elle est placée. Les sondes très simples, constituées par des tuyaux cylindriques dont les parois sont finement biseautés à l'entrée, fournissent des résultats satisfaisants;

» d) *Influence de la grosseur des poussières.*

» Les essais ont montré que l'on doit s'attendre à une augmentation des erreurs des petites sondes, lorsque les gaz contiennent une proportion plus forte d'éléments de grosses dimensions;

» e) *Obtention des résultats moyens.*

» Il est nécessaire de prélever l'échantillon de gaz en plaçant la sonde en différents points de la section; ces points seront d'autant plus rapprochés que l'on craint une répartition irrégulière des poussières.

» De même, lorsque l'on fait la détermination préalable de la vitesse dans le cameau, à l'aide du tube de Pitot, il faut prendre des précautions analogues.

» Toutefois, même dans le cas où les essais au tube de Pitot accuseraient une répartition particulièrement uniforme des vitesses, il faudrait se garder de conclure à une répartition uniforme aussi des poussières;

» f) *Étanchéité du circuit de la sonde.*

» Il importe de s'assurer que la mesure du débit dans la sonde (débit qui se mesurera par des tuyères ou par des diaphragmes) ne soit pas faussée par des rentrées d'air s'introduisant dans le circuit;

» g) *Filtre.*

» Il est nécessaire que toutes les poussières contenues dans les gaz aspirés par la sonde soient bien retenues par le filtre, et il faut recueillir soigneusement la partie de ces poussières qui viendrait à se déposer dans le tuyau réunissant la sonde au filtre; on pourra être amené à chauffer ce tuyau pour y éviter la condensation de la vapeur d'eau.

» Des sacs en tissu serré, soigneusement vérifiés, peuvent être employés comme filtres.

» On peut, en s'inspirant des remarques ci-dessus, espérer déterminer, avec une erreur ne dépassant pas 10 à 15 %, la teneur en poussières des gaz sortant d'un dépoussiéreur et évacués par une cheminée verticale.

» Les essais seraient grandement facilités, s'il était possible d'établir un dispositif du genre de celui de la sonde Delbag et réalisant, par l'égalité des pressions statiques, l'égalité des vitesses dans la sonde et dans le cameau. De nouvelles recherches pour la réalisation d'un tel dispositif seraient désirables. »

#### Discussion des conclusions de M. Vinçotte.

En ouvrant la discussion du rapport de M. Vinçotte intitulé « Quelques remarques sur l'essai des dépoussiéreurs et particulièrement sur l'utilisation des sondes », le Président s'est exprimé dans les termes suivants :

« Je tiens à féliciter M. le Professeur Vinçotte du très beau rapport qu'il nous a fourni. Ce travail, d'une clarté parfaite, résultat d'une étude scientifique d'une question fort complexe, constitue une contribution importante à la solution du problème de la détermination du rendement des dépoussiéreurs.

» Je remercie M. le Professeur Vinçotte de nous avoir apporté le fruit de ses travaux. J'associe à ces remerciements la Société Gaz et Electricité du Hainaut, qui a mis les installations de sa Centrale de Farciennes à la disposition de M. Vinçotte, en y apportant les appropriations reconnues nécessaires pour mener à bonne fin l'étude entreprise. Je remercie particulièrement notre collègue M. Morisseaux, Directeur de cette Centrale, dont la collaboration agissante a permis à M. Vinçotte d'amener son étude à bonne fin. Nous lui devons une reconnaissance toute spéciale.

» Personnellement, j'ai été heureux de trouver dans le rapport du Professeur Vinçotte, l'explication des difficultés rencontrées pendant le concours de dépoussiérage de Liège, en 1930 et la confirmation expérimentale de plusieurs opinions que j'ai eu l'occasion alors de formuler.

» Je citerai :

» 1°) Les difficultés souvent inextricables de la détermination de la teneur en poussières d'une fumée brute, chargée d'éléments plus ou moins grossiers et qui constitue un milieu essentiellement hétérogène;

» 2°) L'inexactitude des résultats fournis par les sondes de petites dimensions, pour lesquelles l'inégalité des vitesses d'aspiration et de circulation est une cause d'erreur très importante. »

Au cours de la discussion, M. le Professeur Gillet a rappelé, en ce qui concerne l'emploi des sondes, certains passages de l'étude qu'il a faite à la suite du concours de dépoussiérage de Liège, en 1930. Il a cité notamment certaines conclusions de cette étude suivant lesquelles, dans les expériences futures, il faudrait absolument :

« 1°) Se servir avec rigueur de l'instrument de zéro, qui paraît bien avoir fonctionné normalement dans nos essais chaque fois qu'on s'est réglé méticuleusement sur ses indications pour l'égalité des vitesses des filets gazeux. Il y aurait lieu sans doute de le mettre au point et, par exemple, de rendre les indications de moyennes plus aisément lisibles, en accroissant à la fois l'amortissement (très long tube en U) et la sensibilité (liquide très peu dense);

» 2°) Avec notre sonde à embout fendu, nous avons obtenu des dosages acceptables, même pour de grands écarts (100 %) entre la vitesse d'aspiration dans la sonde et la conduite dans le cas de fumées à éléments ultrafins (exemple : les fumées en aval des dépoussiéreurs); au contraire, un réglage défectueux entraîne des erreurs notables dans les cas où les fumées tiennent des éléments plus gros (fumées d'amont et essais préliminaires);

» 3°) Trouver, avant de commencer, une surface filtrante retenant toutes les poussières jusqu'au degré de dispersion le plus fin;

» 4°) Faire des prélèvements d'assez longue durée : l'erreur systématique du non colmatage tend à devenir négligeable quand la durée croît;

» 5°) Tenir compte du fait qu'un petit diamètre de l'orifice de la sonde (même 5 mm. comme dans nos expériences) ne présente aucun inconvénient grave, pour la précision que l'on peut espérer de ces mesures, et profiter des facilités expérimentales relativement très grandes que donne l'emploi de petites sondes, pour en disposer plusieurs en divers endroits de la section que traversent les fumées à analyser. »

M. Nuyens ayant demandé quel est, de l'avis de M. Vinçotte, la forme la plus avantageuse pour la section des cameaux verticaux, il lui a été répondu qu'on obtient les résultats les plus exacts dans un conduit vertical de forme circulaire. Il faut évidemment que la partie verticale, précédant la section d'essai, soit suffisamment longue, pour qu'on y soit à l'abri des mouvements tourbillonnaires, produits par le coude d'entrée.

### Conclusions adoptées par la Commission.

Ainsi qu'il a été précisé par M. le Directeur Général des Mines, lors de l'installation de la Commission, le but assigné à celle-ci était l'étude de dispositifs de contrôle simples, permettant de vérifier, avec des garanties suffisantes d'exactitude, le degré d'efficacité des dépoussiéreurs.

Les travaux de la Commission ont tout d'abord confirmé combien est malaisée et sujette à erreur, non seulement la détermination du rendement des installations de dépoussiérage, mais aussi la simple mesure de la teneur en poussières d'une fumée, spécialement s'il s'agit des fumées brutes, non dépoussiérées, provenant du chauffage au moyen de charbon pulvérisé, c'est-à-dire de fumées fortement chargées de quantités variables, dans le temps et dans l'espace, de particules de diverses natures et de grosseurs très différentes.

L'organisation d'une série complète d'essais d'un dépoussiéreur, en vue du contrôle de son rendement, implique nécessairement l'utilisation, par un personnel nombreux et expérimenté, d'un matériel spécial, encombrant et coûteux, ce qui exclut, tout au moins dans les conditions actuelles, la possibilité de confier la réalisation de tels essais à des fonctionnaires non spécialisés, par exemple à ceux qui assurent la surveillance des appareils à vapeur.

Au surplus, ce qu'il importe de connaître, au point de vue administratif, c'est bien plutôt la teneur en poussière des fumées déversées dans l'atmosphère et le volume de ces fumées, que le rendement de l'appareil utilisé pour leur épuration. Même s'il est supérieur à 90 %, ce rendement peut être insuffisant, si la fumée à dépoussiérer est très chargée de poussière; si sa teneur atteint ou dépasse 40 grs par mètre cube de gaz, à zéro degré et à la pression atmosphérique, ce gaz aura encore, après un dépoussiérage à 90 %, une teneur de 4 grs par mètre cube, qui paraît exagérée.

Il n'est peut-être pas impossible de concevoir un matériel transportable, spécialement étudié pour la mesure de la teneur des fumées peu chargées de poussière, matériel qui serait utilisé par quelques fonctionnaires spécialisés, chargés du contrôle du dépoussiérage des fumées.

Mais nous devons constater que jusqu'à présent, ce matériel n'a pas été réalisé; que donc, l'Administration ne dispose ni de l'outillage nécessaire, ni des agents susceptibles d'en faire usage; qu'au

surplus, la détermination de la teneur en poussière des fumées, même si elles ont été préalablement dépoussiérées, ou bien encore si elles sont originairement peu chargées de particules solides, constitue une mesure délicate.

Cette détermination ne peut fournir des renseignements exacts, dignes de confiance, que pour autant qu'elle soit confiée à des opérateurs possédant à la fois une grande expérience et un matériel perfectionné, réalisant notamment l'égalité des vitesses des fumées dans la sonde et dans le conduit exploré par celle-ci.

Il est d'ailleurs indispensable de mesurer également le débit de fumée dans ce conduit, afin de rendre possible le calcul de la quantité de matière pulvérulente, qui y passe par unité de temps.

La nécessité de l'égalité des vitesses, surtout lorsqu'on utilise des petites sondes, a été démontrée par les résultats des belles recherches faites à la Centrale de Farciennes par MM. Morisseaux et R. Vinçotte.

Ces résultats ayant fait l'objet d'une importante note du Professeur Vinçotte, dont la grande compétence d'expérimentateur est bien connue, nous renvoyons le lecteur au texte et aux conclusions de cette note, qui est annexée au rapport de la Commission.

### Bibliographie.

- V. Firket. — « Le Concours de dépoussiérage des Fumées industrielles à l'Exposition Internationale de Liège 1930. » — Revue Universelle des Mines, 15 juin, 1<sup>er</sup> et 15 juillet, 1<sup>er</sup> août 1931.
- A. Gillet. — Concours de dépoussiérage de Liège 1930. — « Essais pour le dosage des poussières dans les fumées. Etude des résultats. » — Revue Universelle des Mines, 1<sup>er</sup> et 15 mars et 1<sup>er</sup> avril 1932.
- Renaud Dienne. — « Rapport sur le dépoussiérage des fumées de chaudières. » — III<sup>e</sup> Congrès (Bruxelles, septembre 1930) de l'Union internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique; siège social : 26, rue de la Baume, Paris (VIII<sup>e</sup>).
- Société Française des Constructions Babcock et Wilcox. — Bulletin technique de mars 1929 : « Le dépoussiérage des Fumées des Foyers industriels. »
- A. Delacour. — « Essais de deux appareils dépoussiéreurs. » — Bulletin des Associations françaises de Propriétaires d'Appareils à vapeurs, avril 1931.

- Pauthenier, N. — « Les récents progrès du dépoussiérage électrique industriel. » — Recherches et inventions, juin 1929 (pp. 129-133), Paris.
- « Procédé de précipitation électrique des poussières. » — Ind. Chim., septembre 1930 (pp. 640-641), Paris.
- Froger, P. — « Purification électrique des gaz. » — La Revue Industrielle, juin 1930, Nancy.
- « Praktische Ergebnisse auf dem Gebiete der Flugasche-Beseitigung und Staubmessung. » — Berichte von der Tagung in Dortmund am 27-9-1929. — Herausgegeben vom Fachausschuss für Staubtechnik beim Verein deutscher Ingenieure, V. D. I. Verlag, Berlin, 1930.
- Zwanzigste Berichtfolge des Kohlenstaubausschusses des Reichskohlenrates : E. Heitmann, « Theorie und Technik der Flugaschenabscheidung mit besonderer Berücksichtigung der Kohlenstaubanlagen im europäischen Auslande. » — V. D. I. Verlag, Berlin, Juli 1929.
- Zweiundzwanzigste Berichtfolge des Kohlenstaubausschusses des Reichskohlenrates :
- 1°) R. Meldau : « Der Nachweis von Flugasche fern vom Entstehungsort »;
  - 3°) W. Otte : « Dampfkessel als Flugaschenabscheider »;
  - 5°) E. Rammler : « Neuere Flugaschenabscheidungsanlagen »;
  - 6°) W. Arend : « Flugstaubbildung und-beseitigung ».
- V. D. I. Verlag, Berlin, septembre 1930.
- Siebenundzwanzigste Berichtfolge des Kohlenstaubausschusses des Reichskohlenrates :
- 1°) « Richtlinien für die Bestimmung von Flugstaub in Rauchgasen »;
  - 2°) Zimmermann : « Messung von Flugstaub in Rauchgasen »;
  - 3°) Rosin Rammler und Doerffel : « Flugstaubmessungen an einem Braunkohlenkessel »;
  - 4°) Prockat : « Flugstaubabscheidung in den Vereinigten Staaten von Amerika »;
  - 5°) Arend : « Wirtschaftlichkeit der Flugstaubabscheidung ».
- V. D. I. Verlag, Berlin, Oktober 1931.
- Rapport van de Commissie tot onderzoek inzake den hinder van vliegash en kolenstof. — 's-Gravenhage, 22 Maart 1929.
- « Vliegashproblemen », door Prof. Ir. A. J. ter Linden. — Warmt Techniek, December 1931, Januari 1932, Maart 1932. Den Haag.
- « Vliegashmetingen », door Prof. Ir. A. J. ter Linden. — De Ingenieur, 1932, n° 40.
- Transactions of the Institution of Mining Engineers, March 1930 : « Some Problems of Dust Collection », bij Mr J. W. Gibson, A.M.I.E.E., F. Inst. F.

- Jötten, K. W. und Sartorius, F. — « Eine neue Staubbestimmungsapparatur. » — Ztbl. f. gewerbhyg und Unfallverh, Nov. 1930, S. 312-320, Berlin.
- Bodenmüller, A. — « Der Industriestaub und eine Bekämpfung. » — Rauch u. Staub, N° 5, 1929, S. 49, Düsseldorf.
- Karg H. R. — « Theorie der Staubsaugungen. » — Rauch u. Staub, N° 2, 1929, S. 17; N° 3, S. 29; N° 4, S. 39, Düsseldorf.
- « Umbau eines Rauchgas - Speisewasservorwärmers mit Glattrohren in einen Rippenrohrvorwärmer mit Flugaschenabscheider », von Dipl.-Ing. A. Sauermann. — Glückauf, 1 Juni 1935, N° 22, Seite 523.
- « Abscheidung und Wiedergewinnung von staubartigen. Gut nach dem Verfahren von van Tongeren », von Dipl.-Ing. W. Reerink. — Glückauf, 18 August 1934, N° 33, Seite 764.
- « Neuer amerikanischer Fliehkraft-Staubabscheider », von Dr W. Gollmer, Essen. — Glückauf, 6 mai 1935, N° 18, Seite 405.
- Exposition d'appareils de mesure d'éléments poussiéreux tenue à Charlottenburg en novembre 1931. Compte-rendu par le Dr Ing. R. Meldau. — Zeitschrift V. D. I, n° 48 du 28 novembre 1931.