

**Lutte technique
contre la pollution atmosphérique
dans la sidérurgie**

Rapports et informations au sujet des recherches
effectuées avec l'aide financière de la C.E.C.A.

**Lutte technique
contre la pollution atmosphérique
dans la sidérurgie**

Rapports et informations au sujet des recherches
effectuées avec l'aide financière de la C.E.C.A.

*Document élaboré par
Kurt Guthmann et Gerhard Will*

SOMMAIRE

	Page
Avant-propos	9
1. Introduction	11
1.1 – Sources de pollution atmosphérique dans la sidérurgie	11
1.2 – Mesures prises par la C.E.C.A. dans le domaine de la lutte contre la pollution de l'air	15
1.3 – Groupes de recherche et d'information	15
2. Mesure des poussières et de gaz	16
2.0 – Importance et problèmes	16
2.1 – Comparaison, perfectionnement et mise au point d'appareils et procédés de mesure des poussières	17
2.11 – Comparaison des appareils et procédés de prélèvement d'échantillons (Recherche PS 150)	17
2.12 – Réalisation d'un appareil portable de mesure conimétrique à grand débit d'air (Recherche PS 139)	19
2.13 – Emploi de membranes à micropores (Recherche PS 10)	19
2.14 – Essai de mise au point d'une méthode simple pour l'évaluation de la teneur en SiO ₂ libre (Recherche PS 37)	21
2.15 – Établissement d'un étalon microscopique international pour le comptage des poussières (Recherche PS 135)	21
2.16 – Mise au point d'un système de détermination de la granulométrie des particules selon le principe de l'électro-acoustique (Recherche PS 141)	23
2.17 – Détermination de l'origine des poussières (Recherche PS 35)	23
2.18 – Mise au point d'appareils de mesure enregistreurs des poussières (Recherches PS 15 et PS 138)	23
2.2 – Mesures de l'empoussiéragé aux postes de travail	26
2.21 – Étude de l'empoussiéragé dans des usines sidérurgiques allemandes (Recherche PS 20)	26
2.22 – Étude de l'empoussiéragé dans des usines sidérurgiques italiennes (Recherches PS 11 et 12)	27
2.23 – Étude de l'empoussiéragé dans l'industrie sidérurgique luxembourgeoise (Recherches PS 49 et PS 144)	28
2.24 – Étude de l'empoussiéragé dans les fonderies de fonte et d'acier néerlandaises (Recherche PS 17)	28
2.3 – Études concernant l'émission et l'immission de poussières et de gaz	29
2.31 – Études concernant l'émission et l'immission de gaz d'aciérie contenant du fluor et du SO ₂ (Recherche PS 129)	29
2.32 – Détection et élimination du fluor dans les gaz brûlés (Recherche PS 149)	30
3. Lutte contre les fumées rousses	31
3.0 – Importance et problèmes	31
3.1 – Dépoussiéragé des fumées rousses de convertisseurs Thomas à l'aide d'électrofiltres à voie sèche (Recherche «Huckingén»)	34
3.2 – Précipitation des fumées rousses à températures élevées dans des filtres électrostatiques de conception nouvelle (Recherches PS 18, 43, 131)	36
3.3 – Dépoussiéragé des fumées rousses de convertisseurs LD au moyen de filtres à poche (Recherche PS 128)	39
3.4 – Dépoussiéragé humide des gaz de convertisseurs captés sans combustion (Recherches PS 130 et PS 132)	41
3.41 – de convertisseurs LD (Recherche PS 130)	41
3.42 – de convertisseurs LDAC (Recherche PS 132)	45
3.5 – Aspiration des poussières et fumées des fours à arc (Recherche PS 45)	48
3.6 – Utilisation des fumées rousses précipitées (Recherche PS 102)	52

4. Lutte contre les autres poussières et gaz résiduels	53
4.0 – Importance et problèmes	53
4.1 – Lutte contre les poussières pour la protection des maçons de fours contre les poussières siliceuses (Recherche PS 101)	55
4.2 – Utilisation de produits minéraux non silicogènes au lieu de sable quartzeux pour le sablage à l'air comprimé (Recherche PS 119)	55
4.3 – Lutte contre les poussières dans les ateliers d'agglomération par frittage et au chargement des hauts fourneaux par transporteurs à bande (Recherche PS 1)	56
4.4 – Lutte contre les poussières au déchargement des minerais fins et à la préparation du lit de fusion (Recherche PS 121)	56
4.5 – Lutte contre les poussières lors de la granulation à sec du laitier de haut fourneau (Recherche PS 120)	58
5. Récapitulation et conclusions	62
6. Illustrations et tableaux	11
<i>Figures</i>	
1 – Nappe de fumées et vapeurs au-dessus d'une région industrielle	11
2 – Sources de pollution atmosphérique dans la sidérurgie	12
a – production de la fonte	13
b – production de l'acier	13
c – dénaturation de l'acier	14
d – services généraux	15
3 – Sphère à poussières du Bouchet (Recherche PS 150)	18
4 – Collecteur de poussières portatif d'un type nouveau (Recherche PS 139)	20
5 – Étalon pour le comptage des particules de poussières (Recherche PS 135)	22
6 – Appareil «Konitest» de mesure électrostatique des poussières (Recherche PS 15)	24
7 – Appareil (Bonn) de mesure électrostatique (Recherche PS 138)	25
8 – Émission de fumées rousses de convertisseurs	32
9 – Particules de fumées rousses (prises de vues au microscope électronique)	33
10 – Dépoussiérage de convertisseurs Thomas par électrofiltre (Schéma Huckingen)	34
11 – Dépoussiérage de convertisseurs Thomas par électrofiltre (installation Huckingen montée)	35
12 – Fumées rousses en champ électrostatique (Recherche PS 18)	37
13 – Installation expérimentale avec filtre électrostatique (Recherche PS 131)	37
14 – Électrofiltre expérimental. Principe de l'équipement intérieur (Recherche PS 131)	38
15 – Dépoussiérage de convertisseurs LD par filtres à poches (Schéma – Recherche PS 128)	40
16 – Dépoussiérage de convertisseurs LD par filtres à poches (Installation montée – Recherche PS 128)	40
17 – Dépoussiérage de gaz de convertisseurs LD captés sans combustion (Schéma – Recherche PS 130)	42
18 – Convertisseur avec hotte de captation des gaz (Recherche PS 130)	43
19 – Torchères (Recherche PS 130)	44
20 – Dépoussiérage humide de gaz de convertisseurs LDAC captés sans combustion (Schéma – Recherche PS 132) a) Installation initiale, b) Installation modifiée	46
21 – Installation expérimentale d'aspiration sur un four à arc (Schéma – Recherche PS 45)	49
22 – Installation expérimentale d'aspiration sur un four à arc (Installation montée – Recherche PS 45)	50
23 – Émission de fumées au four à arc (Recherche PS 45)	51
24 – Agglomérés de poussières rousses (Recherche PS 102)	52
25 – Ouvriers à la sableuse (Recherche PS 119)	56
26 – Pulvérisation d'eau au-dessus d'une bande transporteuse dans un atelier d'agglomération (Recherche PS 1)	57
27 – Pulvérisation d'eau contenant des éléments tensio-actifs sur les aires de stockage de fines de minerais (Recherche PS 121)	58
28 – Parties d'une installation de hauts fourneaux encrassées faute de dépoussiérage lors de la granulation à sec du laitier (Recherche PS 120)	59
29 – Granulation à sec du laitier (Schéma – Recherche PS 120)	60
30 – Granulation à sec du laitier (Installation montée – Recherche PS 120)	61

31 – Tableau synoptique comportant des indications succinctes sur les organismes chargés des recherches, l’objet des recherches, les résultats obtenus et les publications ou documents de la C.E.C.A. parus à ce sujet	66
a – Mesure des poussières et des gaz. (Comparaison, perfectionnement et mise au point d’appareils et de procédés de mesure des poussières)	66
b – Mesure des poussières et des gaz. (Mesure de l’empoussiérage aux postes de travail. Études de l’émission et de l’immission de poussières et de gaz)	68
c – Lutte contre les fumées rousses	70
d – Lutte contre les autres pollutions atmosphériques	72

AVANT-PROPOS

Au cours des vingt dernières années, en plusieurs lieux du territoire de la Communauté, la pollution de l'atmosphère a pris des proportions tellement inquiétantes pour la population que certains pays membres ont dû promulguer des lois nouvelles ayant pour objet de limiter les émissions de poussières, de fumées, de gaz et de vapeurs.

La pollution de l'air à bien des postes de travail est souvent particulièrement dangereuse à cause de la concentration, plus forte à la source, des éléments nocifs.

Par conséquent, si les émissions de substances étrangères dans l'atmosphère exigent, en tout cas, des mesures préventives, il apparaît absolument nécessaire que des précautions particulièrement efficaces soient prises sur les lieux de travail, afin d'assurer une protection adéquate aux personnes présentes en ces endroits.

Il y a lieu de constater que dans le passé bien des incertitudes se sont malheureusement manifestées tant en ce qui concerne la nature et l'importance de la pollution atmosphérique que les procédés les plus propres à la prévenir; des incertitudes parfois subsistent encore aujourd'hui. Or, la protection de la santé des ouvriers dépend — dans ce domaine — entièrement de la réponse qui sera donnée à ces questions. Par ailleurs la rentabilité des entreprises en dépend également, au moins pour une bonne part.

Consciente de ce fait, la Haute Autorité, exécutif de la Communauté européenne du charbon et de l'acier jusqu'au milieu de 1967, s'était préoccupée de lutter contre les poussières et les gaz résiduels dans les secteurs relevant de sa compétence.

Ayant reçu par le traité instituant la C.E.C.A. notamment la mission de développer dans les industries du charbon et de l'acier la production et la sécurité du travail et de promouvoir l'amélioration des conditions de vie et de travail de la main-d'œuvre, elle a établi, dès 1957, des programmes de recherche en vue de la lutte technique contre les poussières dans les mines et dans la sidérurgie et accordé, depuis lors, son aide financière pour de nombreuses recherches dans ce domaine. L'une des dernières décisions de la Haute Autorité a été l'adoption d'un nouveau programme-cadre de recherche pour la prévention et la lutte technique contre la pollution atmosphérique causée par la sidérurgie (14 juin 1967).

C'est à la Commission des Communautés européennes qu'il incombe à présent d'assurer la mise en œuvre de ce dernier programme de recherche lequel en est pratiquement à son stage de démarrage. La Commission estime actuellement utile de présenter aux milieux intéressés un aperçu général des travaux effectués dans ce domaine depuis 1958, au cours de 10 années de recherches encouragées par la C.E.C.A. En même temps elle tient à exprimer ses remerciements et sa reconnaissance à tous les membres des commissions et groupes de travail chargés de discuter et de suivre ces recherches ainsi qu'à toutes les autres personnes qui ont contribué à leur réussite.

Le présent rapport se propose d'être plus qu'un simple résumé des résultats obtenus grâce aux recherches effectuées avec l'aide de la Communauté. En effet, il permet au lecteur de se rendre compte de la difficulté des problèmes auxquels la sidérurgie doit faire face pour lutter contre les poussières et les gaz résiduels; il fait aussi ressortir que les efforts entrepris pour combattre la pollution atmosphérique rencontrent des difficultés tant d'ordre technique qu'économique: elles ne peuvent être surmontées que graduellement, avec un effort considérable et commun de tous les intéressés. Ces efforts devront permettre de parvenir à satisfaire aux exigences inéluctables que pose le problème, hautement humain, de la protection efficace de la santé des travailleurs et de leurs familles.



Lionello LEVI SANDRI

*Vice-président de la Commission
des Communautés européennes*

1. INTRODUCTION

1.1 Sources de pollution atmosphérique dans la sidérurgie

Lorsqu'on parle de la ou des pollution(s) atmosphérique(s) causée(s) par la sidérurgie, cela ne concerne fréquemment que la pollution de l'air que connaît bien le grand public par les déjections de poussières et de gaz des cheminées de convertisseurs, des aciéries Martin, des ateliers d'agglomération, des centrales thermiques, etc. (fig. 1).



Figure 1

Nappe de fumées et vapeurs au-dessus d'une région industrielle.

En fait, en dépit de tous les efforts faits jusqu'ici pour conserver la pureté de l'air, il existe des zones résidentielles proches des industries où les retombées quotidiennes dépassent 1 g par m² et où, dans certaines conditions atmosphériques, la teneur en SO₂ et autres pollutions gazeuses atteint des valeurs qui ne peuvent pas seulement être considérées comme critiques pour les plantes sensibles.

Néanmoins, cela ne doit pas faire oublier qu'il y a aussi de nombreux postes de travail où s'accumulent des substances étrangères à l'air, en concentrations souvent bien supérieures à celles qui sont mesurées dans l'atmosphère et qui peuvent causer une gêne et des troubles de santé considérables aux personnes travaillant à ces postes. Les schémas des figures 2a-d donnent un aperçu des principales sources de pollution atmosphérique dans la sidérurgie, tant aux postes de travail qu'à l'air libre.

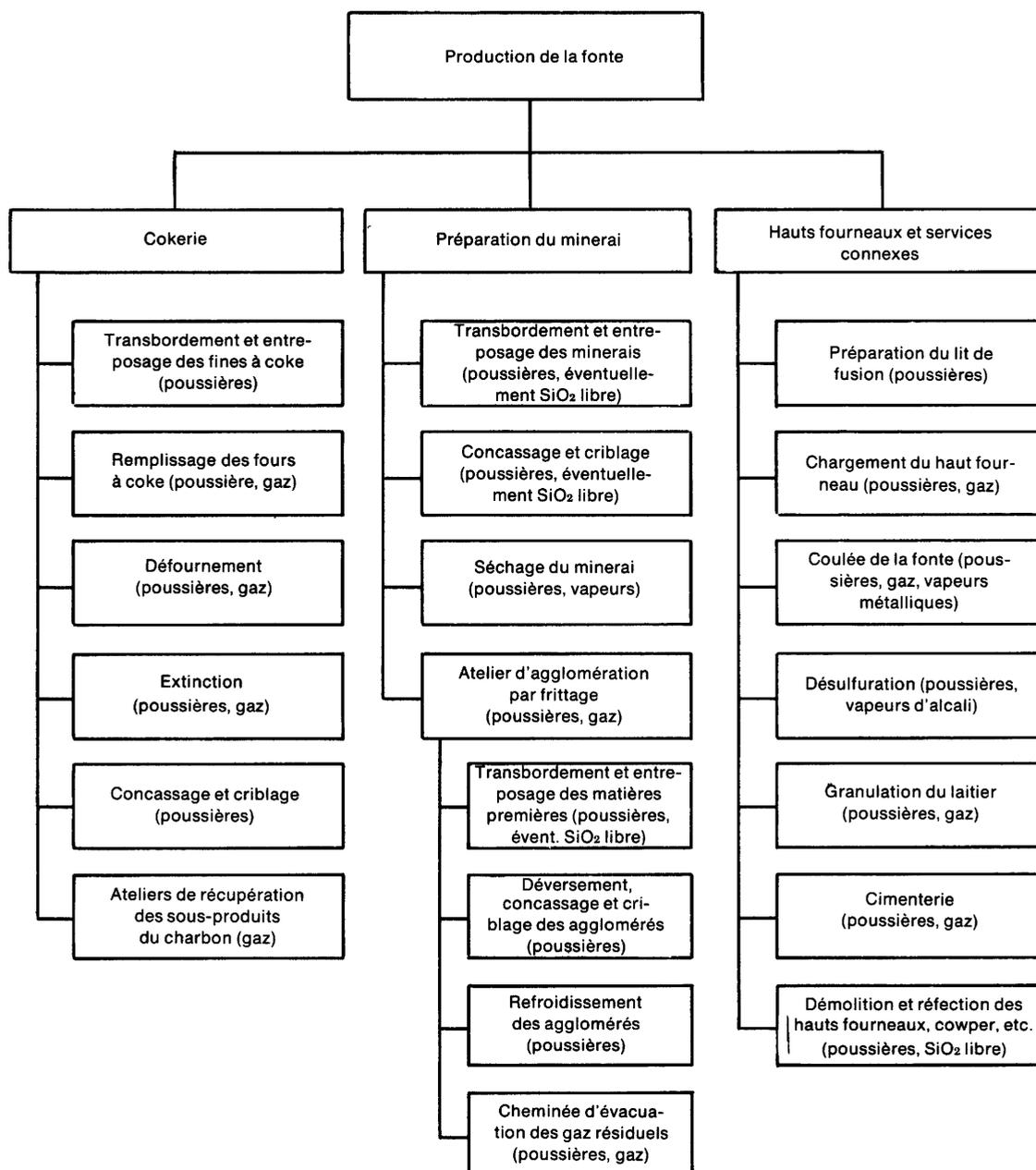


Figure 2 a

Sources de pollution atmosphérique dans la sidérurgie

a) Production de la fonte

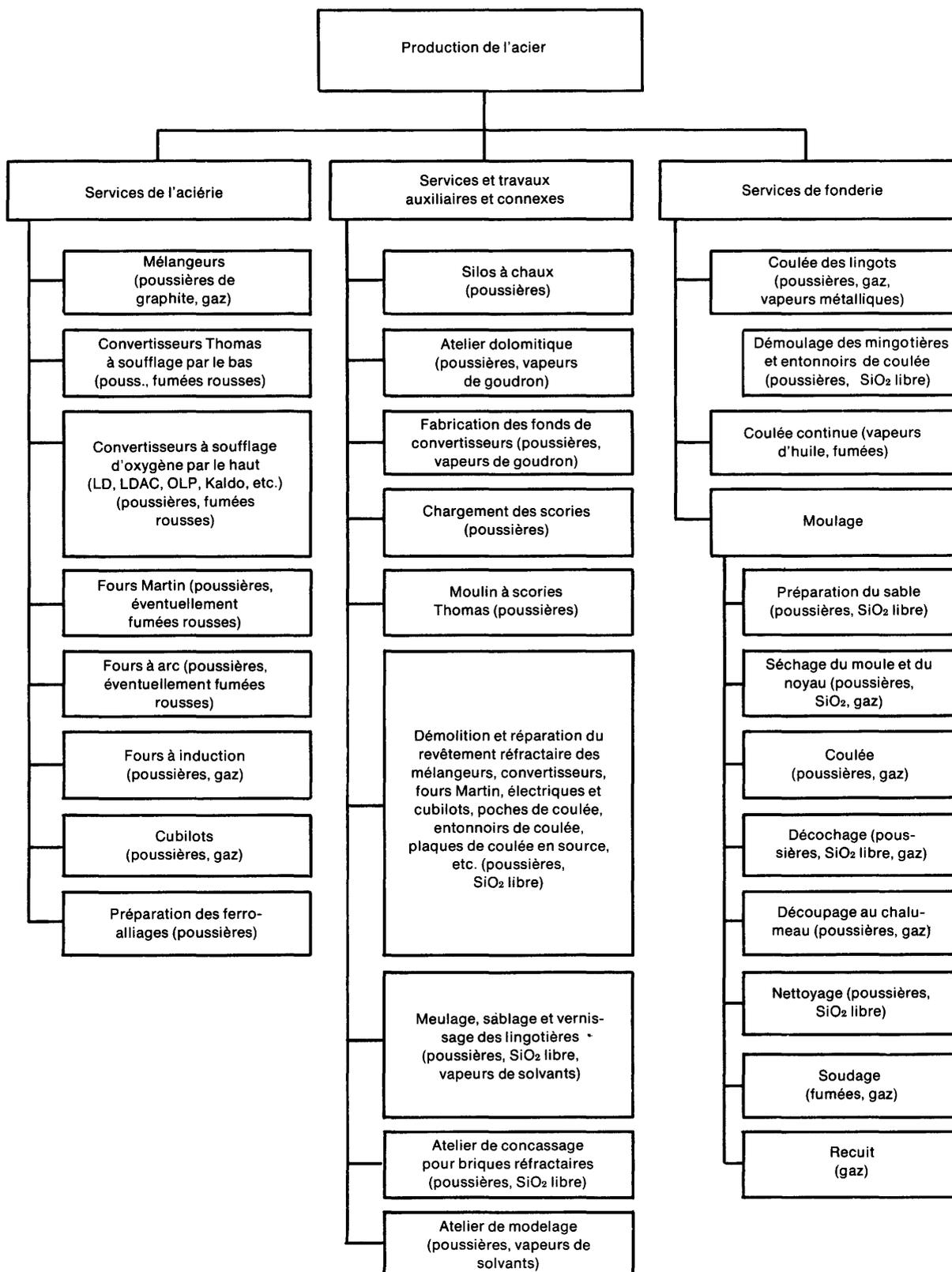


Figure 2 b

Sources de pollution atmosphérique dans la sidérurgie

b) Production de l'acier

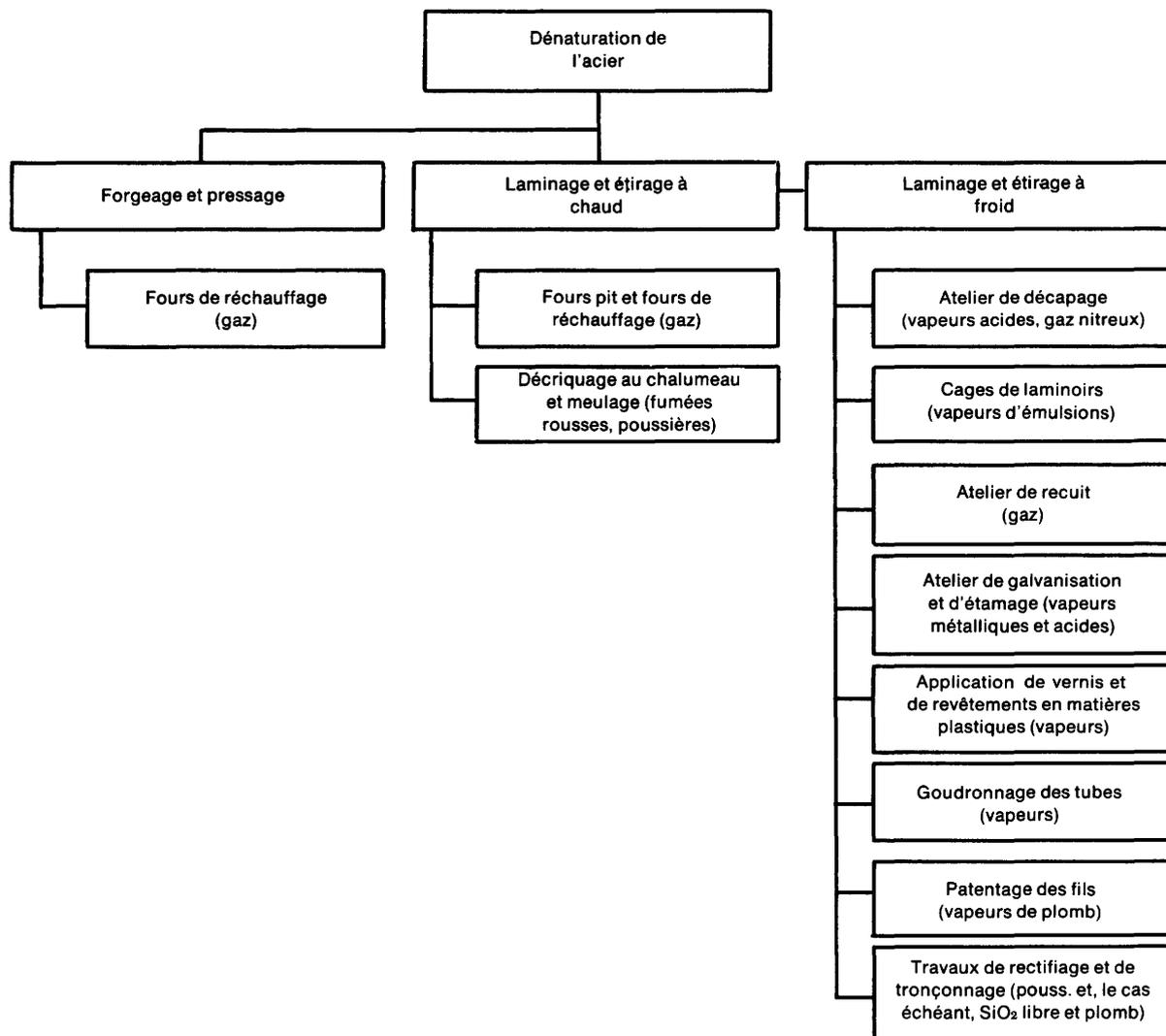
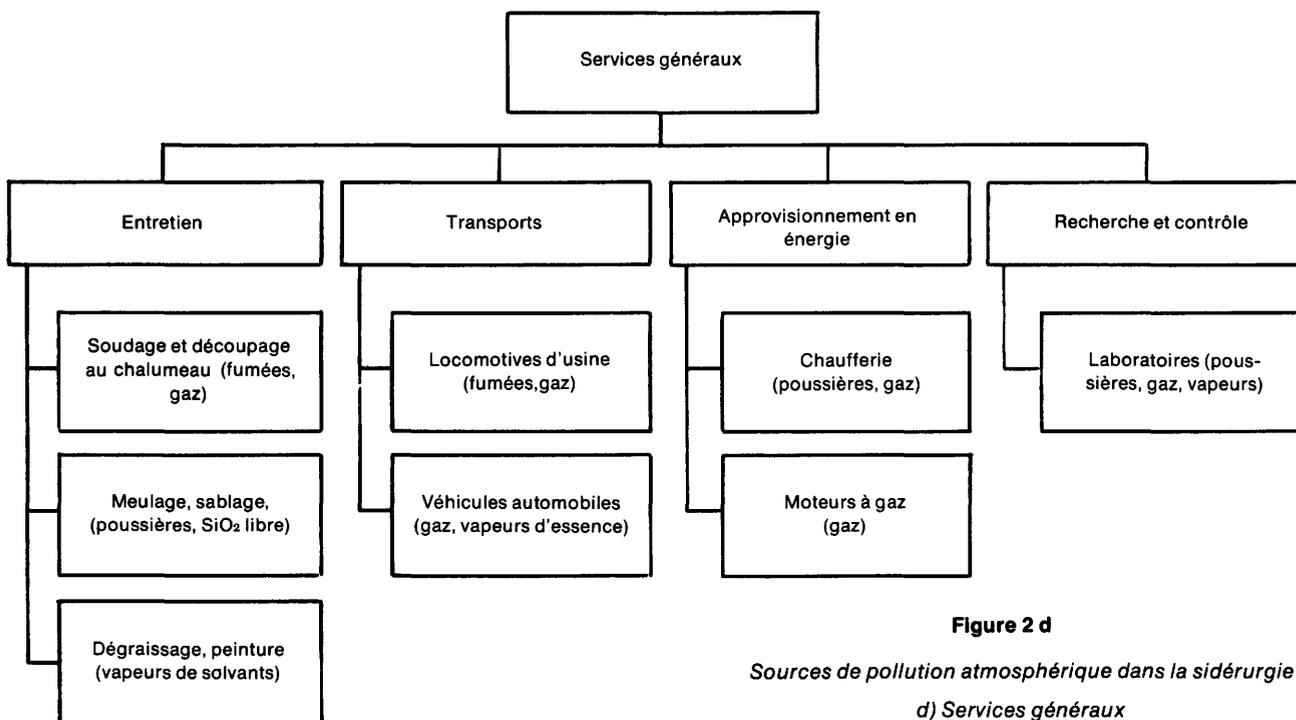


Figure 2 c

Sources de pollution atmosphérique dans la sidérurgie

c) Transformation de l'acier brut

Dénaturation de l'acier



1.2 Mesures prises par la C.E.C.A. dans le domaine de la lutte contre la pollution de l'air

Dans ces conditions, la Communauté européenne du charbon et de l'acier a consacré depuis plus de dix ans des crédits importants à des recherches visant à l'amélioration des connaissances sur la nature et l'importance de la pollution de l'air et au développement des possibilités pratiques de la combattre. Ces crédits s'élèvent, dans le secteur de la sidérurgie à quelque trois millions d'unités de compte ⁽¹⁾.

Ces fonds proviennent du prélèvement. Ils sont octroyés au titre des dispositions de l'article 55 du traité instituant la C.E.C.A., tant à des recherches isolées qu'à d'autres, incluses dans un programme de recherche.

Pour l'examen des demandes d'aide qui lui sont adressées, de même que pour l'établissement des programmes, la C.E.C.A. fait appel au concours de représentants qualifiés de la science et de la technique, des organisations professionnelles compétentes et des gouvernements des six pays de la Communauté.

Pour chaque recherche qui bénéficie d'une aide de la C.E.C.A., il est passé un contrat de recherche définissant en détail les obligations réciproques des parties.

Les résultats de ces recherches constamment suivies par des experts sont mis à la disposition de l'ensemble des intéressés de la Communauté, sous une forme appropriée, par exemple par des publications.

Pour plus de détails à ce sujet, le lecteur intéressé se reportera à certaines publications antérieures de la C.E.C.A. ⁽²⁾, ⁽³⁾.

1.3 Groupes de recherche et d'information

Lors de la mise en œuvre du premier programme-cadre de recherche, ⁽⁴⁾, ⁽⁵⁾ il est apparu qu'il serait utile, pour procéder à l'examen préliminaire des demandes d'aide, suivre les recherches bénéficiant de l'aide de la C.E.C.A. et favoriser les échanges d'expériences appropriées, de constituer les trois groupes suivants :

- Mesure des poussières et des gaz résiduels,
- Lutte contre les «fumées rousses»,
- Lutte contre les autres poussières et gaz résiduels.

La présente publication suit le même schéma pour l'exposé des résultats des recherches.

⁽¹⁾ Unité de compte de l'accord monétaire européen = 1 dollar U.S.

⁽²⁾ Bulletin n° 41 de la C.E.C.A., (1963) «Politique de recherche technique de la Haute Autorité».

⁽³⁾ Bulletin n° 60 de la C.E.C.A., (1966) «Politique de la Haute Autorité dans le domaine de la promotion des études et recherches concernant l'hygiène, la médecine et la sécurité du travail».

⁽⁴⁾ Journal officiel de la Communauté européenne du charbon et de l'acier, 6e année, n° 37, page 610 du 16 décembre 1957.

⁽⁵⁾ Journal officiel des Communautés européennes, 1ère année, n° 16, pages 379/80 du 20 septembre 1958.

2. RECHERCHES CONCERNANT LA MESURE DES POUSSIÈRES ET DES GAZ

2.0 Importance et problèmes

La première condition nécessaire pour lutter efficacement contre les poussières et les gaz résiduels est d'en connaître la nature chimique et physique ainsi que la quantité et la concentration au poste de travail, dans l'atmosphère ou à la source d'émission.

C'est ainsi, par exemple, qu'il est indispensable de procéder à des *mesures précises de la pollution atmosphérique à un poste de travail*, par exemple dans les cas suivants :

- lorsqu'il s'agit d'apprécier l'empoussiérage auquel sont exposées les personnes travaillant à ce poste ou de surveiller le non-dépassement des valeurs VLC ⁽¹⁾,
- si l'on projette d'incorporer un dispositif de dépoussiérage ou s'il faut en vérifier l'efficacité après la mise en service,
- si l'on envisage de se procurer des appareils respiratoires de protection individuelle, tels que, par exemple, masques à poussières et à gaz,
- si l'on doit étudier les effets d'un changement de la méthode de travail, d'une réorganisation de la production ou de l'utilisation d'autres matières premières et auxiliaires sur la pollution de l'air de l'atelier.

En revanche, la mesure des émissions ⁽²⁾ des différentes sources de pollution atmosphérique à prendre en considération, par exemple d'un atelier d'agglomération par frittage ou d'une chaufferie, est nécessaire pour

- apprécier les risques, les dommages ou la gêne pouvant être causés au voisinage par les gaz résiduels,
- déterminer la hauteur de la cheminée nécessaire pour assurer une dilution suffisante de ces gaz,
- choisir, fixer les dimensions d'une installation d'épuration des gaz éventuellement nécessaire, et mettre celle-ci au point,
- contrôler le fonctionnement d'une installation d'épuration des gaz déjà existante (par exemple, pour se conformer aux dispositions éventuellement édictées par les autorités en ce qui concerne la limitation des émissions),
- choisir des combustibles ou des matières premières appropriées, ainsi que pour déceler rapidement les perturbations dans la marche des opérations.

Il est tout aussi nécessaire de *mesurer l'immission* ⁽³⁾ de poussières et de gaz lorsque, par exemple,

- il faut déterminer les causes de dommages subis par la végétation à proximité des installations industrielles,
- il s'agit de démontrer les résultats obtenus grâce à des mesures de lutte contre les poussières et les gaz brûlés (par exemple, modification du processus de production, reconversion en vue d'utiliser d'autres combustibles, matières premières et auxiliaires, mise en service d'installations d'épuration des gaz résiduels).

⁽¹⁾ On appelle «valeur limite de concentration» (VLC) d'une substance se présentant sous forme de gaz, de vapeur ou de poussières, la concentration dans l'air de l'atelier, mesurée à hauteur de la respiration, et dont on peut estimer qu'en général elle ne porte pas préjudice à la santé des personnes qui s'y trouvent même si elles y sont exposées quotidiennement pendant 8 heures.

Les valeurs VLC de gaz et de vapeurs sont généralement indiquées pour une température de 20°C et une hauteur barométrique de 760 Torr en ppm (centimètre cube de gaz par m³ d'air), celles de matières en suspension (poussières, fumées, brouillard), en mg/m³ (milligrammes de substance par mètre cube d'air). Elles sont rassemblées par les ministères ou les organisations compétents des différents pays et publiées dans des tableaux mis à jour de temps à autre. Ces valeurs coïncident largement dans les pays occidentaux et sont connues sous la désignation de «MAK-Werte = Maximale Arbeitsplatzkonzentration» dans les pays de langue allemande, de «Valori limite di concentrazione media nell'aria di sostanze tossiche industriali» en Italie, de «maximaal aanvaardbare concentratie» (MAC) dans l'aire linguistique néerlandaise, et de «Threshold limit values» (TLV) ou «Maximal acceptable concentrations» (MAC) dans les pays anglo-saxons.

⁽²⁾ On appelle ici «émissions» les substances solides, liquides ou gazeuses de toute nature et origine polluant l'atmosphère, qui s'échappent à l'air libre (par exemple, la fumée sortant d'une cheminée ou les gaz d'échappement d'un moteur d'automobile).

⁽³⁾ Par «immission» on entend ici la dissémination de substances solides, liquides et gazeuses, qui polluent l'air et qui demeurent en suspension, constamment ou passagèrement, à proximité du sol. Selon leur composition chimique et leur nature physique, et selon les conditions atmosphériques régnant généralement, les immissions peuvent causer uniquement une gêne ou bien entraîner des troubles chez l'homme, l'animal et les plantes; elles peuvent aussi dégrader les bâtiments, constructions métalliques, etc. De tels troubles peuvent être causés par la respiration, l'irritation de la peau, ou encore par des actions chimiques sur la surface des plantes ou celle des bâtiments. Il faut aussi mentionner les effets indirects, tels que la réduction du rayonnement solaire (cloche de brouillard au-dessus de nombreuses zones industrielles). Le terme «immission» est à peu près comparable aux termes de «Ambient air quality» ou «ground level concentration» utilisés dans les ouvrages anglo-saxons.

Toutes ces mesures consistent, au fond, en deux opérations séparées, à savoir :

- prise d'échantillons et
- analyse.

Toutefois, dans l'usage normal et même dans la littérature spécialisée, il arrive souvent que cette distinction ne soit pas faite. C'est ainsi, par exemple, que des appareils servant exclusivement au prélèvement d'échantillons sont souvent qualifiés d'«appareils de mesure des poussières».

Tant pour le prélèvement d'échantillons que pour l'analyse, il existe déjà de nombreux procédés et appareils dont l'emploi nécessite généralement, outre un personnel particulièrement bien formé, sûr et expérimenté, beaucoup de temps et de grands moyens techniques, sans toutefois que l'on aboutisse en règle générale à des résultats concordants.

Dans ces conditions, il est compréhensible que, malgré les efforts déployés jusqu'ici par les chercheurs,

- il existe une certaine incertitude quant à la fiabilité et à la comparabilité des résultats obtenus avec les diverses sortes d'appareils et de procédés servant à déterminer la pollution atmosphérique;
- nos connaissances en matière de pollution atmosphérique aux différents postes de travail des diverses usines sidérurgiques soient encore très incomplètes;
- en général, on ne sache encore pas grand-chose sur la pollution atmosphérique à proximité des usines sidérurgiques (immission);
- jusqu'ici les possibilités pratiques de contrôler les déjections de poussières et de gaz (émission) de la sidérurgie se soient révélées assez modestes.

Ainsi se trouvent à la fois esquissées les tâches auxquelles ont été consacrées les recherches en matière de mesure des poussières et des gaz effectuées avec l'aide de la C.E.C.A., à savoir :

- Comparaison, perfectionnement et mise au point de nouveaux appareils et procédés de mesure.
- Étude de la pollution atmosphérique à divers postes de travail.
- Étude des émissions et immissions.

2.1 Comparaison, perfectionnement et mise au point d'appareils et procédés de mesure des poussières

2.1.1 Comparaison des appareils et procédés de prélèvement d'échantillons (Recherche PS 150)

Pour les raisons qui précèdent, une recherche ayant pour objet la comparaison des appareils et procédés de prélèvement d'échantillons revêt sans conteste une importance particulière.

En fait, les recherches à ce sujet, auxquelles ont participé 7 instituts de 5 pays groupant au total 10 appareils de mesure gravimétrique des poussières et 12 types d'appareils pour la détermination du nombre des particules, ont permis de faire des découvertes et d'acquérir une expérience extrêmement intéressantes.

Les essais ont été effectués aussi bien dans les conditions de la pratique que dans des conditions de laboratoire; ils l'ont été une fois dans l'atelier d'agglomération par frittage d'une usine sidérurgique allemande et dans celui d'une usine néerlandaise et deux fois dans la grande sphère à poussières de l'Ircha, au Bouchet (fig. 3) d'une contenance de 2 000 m³.

Dès les premières recherches en 1961, on a pu constater que si la détermination de la concentration gravimétrique des poussières ne faisait pas apparaître de différences essentielles, les résultats du comptage de particules présentaient, en revanche, des écarts considérables et que ceux-ci étaient dus notamment à la limite de perceptibilité des divers procédés de mesure.

Au cours de nouvelles recherches effectuées en 1963, 194 valeurs moyennes de concentration de particules ont été calculées. On a alors constaté un fait très important, à savoir que les résultats obtenus avec n'importe quel appareil placé dans la sphère à poussières pouvaient être convertis pour chacun des autres appareils. L'écart standard est à cet égard de 15 %.

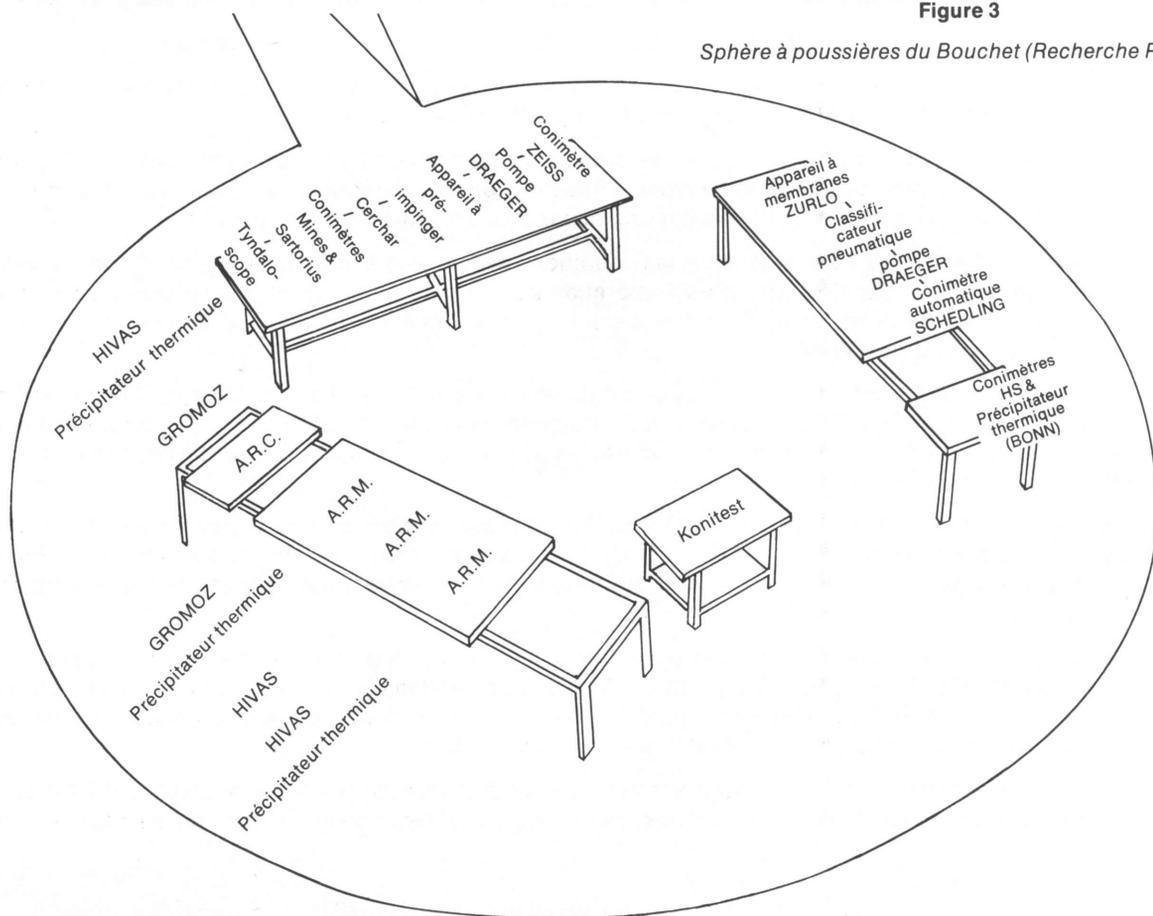
La même conversion est apparue aussi généralement possible pour la mesure dans les usines sidérurgiques. Comme, ainsi qu'on le sait, l'empoussiérage dans l'industrie est soumis à des variations fortuites considérables, la conversion n'est toutefois valable que pour les valeurs moyennes ou les valeurs obtenues sur une assez longue durée, mais non pour les chiffres constatés sur une courte durée.

La recherche commune précitée n'a naturellement pas permis de supprimer un inconvénient fondamental inhérent à tous ces appareils. Il s'agit du fait que, si ces appareils permettent de mesurer les concentrations



Figure 3

Sphère à poussières du Bouchet (Recherche PS 150)



de poussière à un endroit déterminé, celles-ci ne correspondent pas nécessairement à l'empoussiérement auquel le travailleur est réellement exposé pendant son activité.

2.12 Réalisation d'un appareil portatif de mesure cinématique à grand débit d'air (Recherche PS 139)

Dans la plupart des cas, l'ouvrier sidérurgiste ne se tient pas à un endroit déterminé, mais il se déplace dans un secteur plus ou moins étendu où l'empoussiérement varie considérablement en fonction de l'endroit et du moment.

Or, les appareils jusqu'ici habituellement utilisés pour déterminer l'empoussiérement au poste de travail sont mal adaptés à ces circonstances. En raison de leur volume, de leur poids et de leur système d'alimentation en énergie, ils ne sont pas suffisamment mobiles ou fonctionnent de manière discontinue; en outre, leur débit d'air est si faible que, de ce simple fait, les résultats obtenus ne peuvent être considérés sans réserve comme pleinement valables.

La recherche suivante a permis d'apporter ici un perfectionnement capital; elle concernait *la mise au point d'un petit appareil collecteur de poussières que le travailleur peut porter sur le dos* et dont la tête d'aspiration se trouve à proximité immédiate du nez et de la bouche du porteur (Fig. 4).

L'appareil, qui a 24 cm de hauteur, autant de largeur et une profondeur d'environ 14 cm, pèse un peu plus de 8 kg. Il comporte une soufflerie électrique alimentée par des accumulateurs au plomb qui fournit un débit d'air de 10 m³/h, avec une résistance du filtre de 190 mm de colonne d'eau; il est muni d'un dispositif de mesure des quantités d'air et comprend une partie flexible pour l'aspiration. Ceci permet de connaître très exactement l'empoussiérement dans la zone respiratoire du travailleur, même lorsque son travail oblige celui-ci à se déplacer très fréquemment.

La demande d'un tel appareil était si importante qu'il est maintenant fabriqué industriellement.

2.13 Emploi de membranes à micropores (Recherche PS 10)

Dans bien des cas, les poussières précipitées sur les filtres des appareils collecteurs doivent être non seulement pesées et mises en relation avec la quantité d'air aspiré, elles doivent être également soumises à une analyse chimique ou physique, notamment à l'aide du microscope.

A cet effet, on utilise souvent, ces dernières années, des filtres dits à micropores. Il s'agit de membranes de 1 à 2/10 mm d'épaisseur en acétate ou en nitrate de cellulose, qui peuvent être rendues transparentes ou même entièrement dissoutes sous l'action de certains liquides.

Mais l'emploi de ces filtres très pratiques n'a pas tardé à poser un certain nombre de problèmes, tels que, par exemple, celui de la fixation des particules recueillies sur les membranes (pour éviter des pertes pendant le transport des échantillons de poussières), ou celui de l'estimation des erreurs de comptage dues à la superposition des particules.

Ces problèmes et quelques autres ont pu trouver une solution grâce à une recherche ayant pour objet *l'emploi de membranes à micropores pour la détermination de l'empoussiérement dans la sidérurgie*.

L'objet de la recherche était la mise au point définitive du procédé de comptage des cendres volantes à l'aide de filtres à membranes. On a étudié à cette occasion les points suivants :

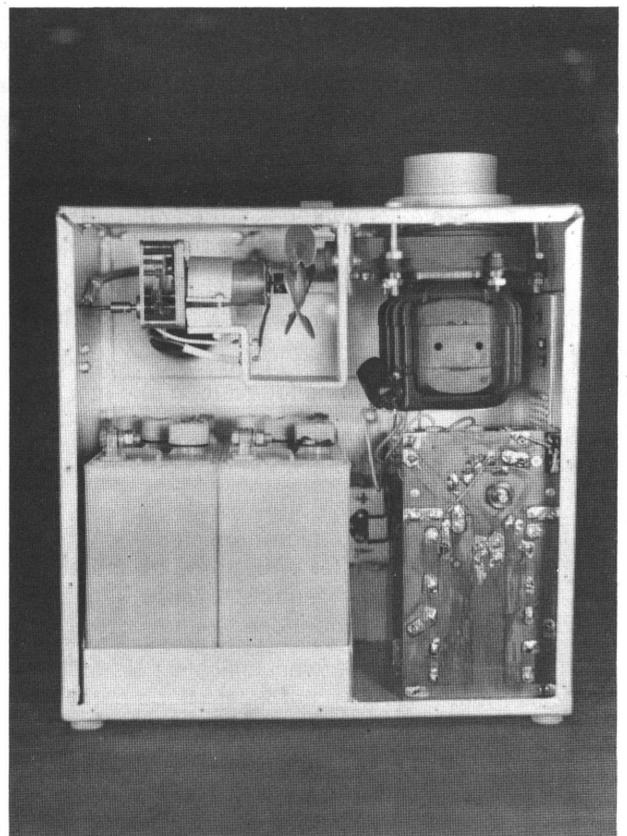
- Effet de l'humidité et de la vitesse de l'air. Il a été constaté que l'humidité de l'air n'a aucune influence et que la vitesse de l'air ne joue aucun rôle non plus lorsqu'elle ne dépasse pas 3 m/sec.
- Solubilisation de la membrane.
La solubilisation de la membrane a permis de faire apparaître au microscope toutes les poussières sur un seul plan au lieu de plusieurs.
- Comptage à l'aide du microprojecteur.
Il a été constaté que les poussières de couleur sombre, telles que, par exemple, l'oxyde de fer et le charbon, donnent les mêmes résultats qu'avec le comptage direct en champ clair. Par contre, avec les poussières transparentes, on obtient des résultats de 10 à 15 % plus faibles.
- Fixation des particules recueillies sur les membranes.
La méthode mise au point à cet effet a permis d'éviter les pertes lors du transport des échantillons de poussières.
- Erreurs de comptage par suite de la superposition des particules de poussière.
Il a pu être indiqué comment on peut calculer théoriquement l'erreur et comment la marge d'erreur peut être pratiquement déterminée au moyen de deux analyses effectuées simultanément.



Figure 4

*Collecteur de poussières portatif d'un type nouveau «Portikon»
(Recherche PS 139)*

a) Utilisation de l'appareil lors de la démolition d'un four Martin



b) Vue intérieure de l'appareil

2.14 Essai de mise au point d'une méthode simple pour l'évaluation de la teneur en SiO₂ libre (Recherche PS 37)

Une autre recherche a permis de s'apercevoir que le résultat du comptage de particules de poussière sur des membranes filtrantes dépend beaucoup du clarifiant choisi dans chaque cas.

On a voulu, par ces travaux, rechercher une *méthode simple pour l'évaluation de la teneur en SiO₂ libre*.

Ceux-ci ont d'ailleurs démontré que, contrairement à ce que laissaient supposer les résultats de recherches précédentes, il n'existe pas de corrélation entre la teneur en SiO₂ libre des poussières, déterminée chimiquement, et le rapport du nombre de particules de moins de 5 μm⁽¹⁾ comptées, d'une part, à la lumière polarisée et ensuite en champ clair.

2.15 Établissement d'un étalon microscopique international pour le comptage des poussières (Recherche PS 135)

Ainsi qu'il ressort des diverses recherches précitées, le comptage des particules de poussière joue un rôle important.

Les forts écarts des résultats du comptage constatés à plusieurs reprises lors de mesures comparatives des poussières (des différences de 1 à 10 et plus ne sont pas rares) sont dus en partie à des différences du pouvoir séparateur sélectif des divers appareils échantillonneurs, mais aussi et surtout au procédé d'exploitation microscopique appliqué.

La limite inférieure des granulométries dénombrables dépend, en premier lieu, de l'optique de l'appareil de dénombrement; toutefois, pour apprécier exactement les petites particules, les réactions physiologiques sensorielles de la vision et les réactions psychologiques de l'observateur jouent aussi un très grand rôle.

Pour pouvoir tenir compte de l'influence de l'optique et celle de l'observateur sur les résultats du comptage, une recherche C.E.C.A. a donc été engagée en vue d'établir un *étalon approprié pour la visibilité microscopique et le comptage des particules de poussières*. Cet étalon devait :

- être invariable, tant numériquement que du point de vue de la technique de mesure,
- être défini avec précision à la fabrication,
- et permettre de fabriquer un nombre suffisant d'étalons secondaires, résistants et maniables, dont les écarts par rapport à l'étalon primaire seraient connus.

Il semble que la recherche PS 135 ait permis de fabriquer un tel étalon d'une façon aussi simple qu'appropriée.

Jusqu'à une trentaine de tubes de verre d'un diamètre intérieur de 1 à 3 mm et d'une épaisseur de paroi de 0,25 à 0,50 mm sont introduits dans un tube de verre d'environ 5 à 6 mm de diamètre intérieur. Ce faisceau est étiré dans un petit four électrique, en capillaires multiples dont le diamètre extérieur est de 0,2 à 0,5 mm.

Environ 30 de ces capillaires multiples sont introduits dans un tube de verre d'environ 3 mm de diamètre intérieur, et ce faisceau, contenant maintenant 30 × 30 capillaires, est étiré une nouvelle fois dans le four en un capillaire de 0,2 mm de diamètre extérieur.

Le tube de verre étiré se compose d'une partie centrale plus ou moins cylindrique et de deux extrémités coniques. A l'aide d'un couteau à verre, on découpe dans chacune des extrémités un morceau que l'on microphotographie. Si l'on constate — et c'est ce qui arrive dans la plupart des cas — que ces deux morceaux sont strictement homothétiques, on découpe aussi la partie cylindrique centrale en tranches de 6 à 8 mm de longueur qui, après montage, serviront d'étalon de comptage.

En éclairage incohérent (incidence oblique, condensateur à grande ouverture numérique), le verre formant l'étalon sert de conduit de lumière et est fortement éclairé, tandis que les tubes remplis d'air apparaissent complètement noirs (fig. 5).

Les tranches d'extrémités représentent un grossissement physique (non optique) de la partie centrale la plus étirée. La valeur numérique de ce grossissement physique est établie par la mesure microscopique des diamètres extérieurs des tranches respectives (pour le premier étalon de ce genre fabriqué par l'Ircha, le diamètre des extrémités présente, par rapport à celui de la partie centrale, un rapport de 2,25 : 1).

Cet étalon pourra être utilisé :

- 1) pour établir la limite de visibilité d'un système microscopique plus observateur,
- 2) pour mesurer l'erreur de comptage d'un certain observateur avec un microscope donné en fonction du diamètre des particules.

⁽¹⁾ 1 μm = 1/1000 mm.

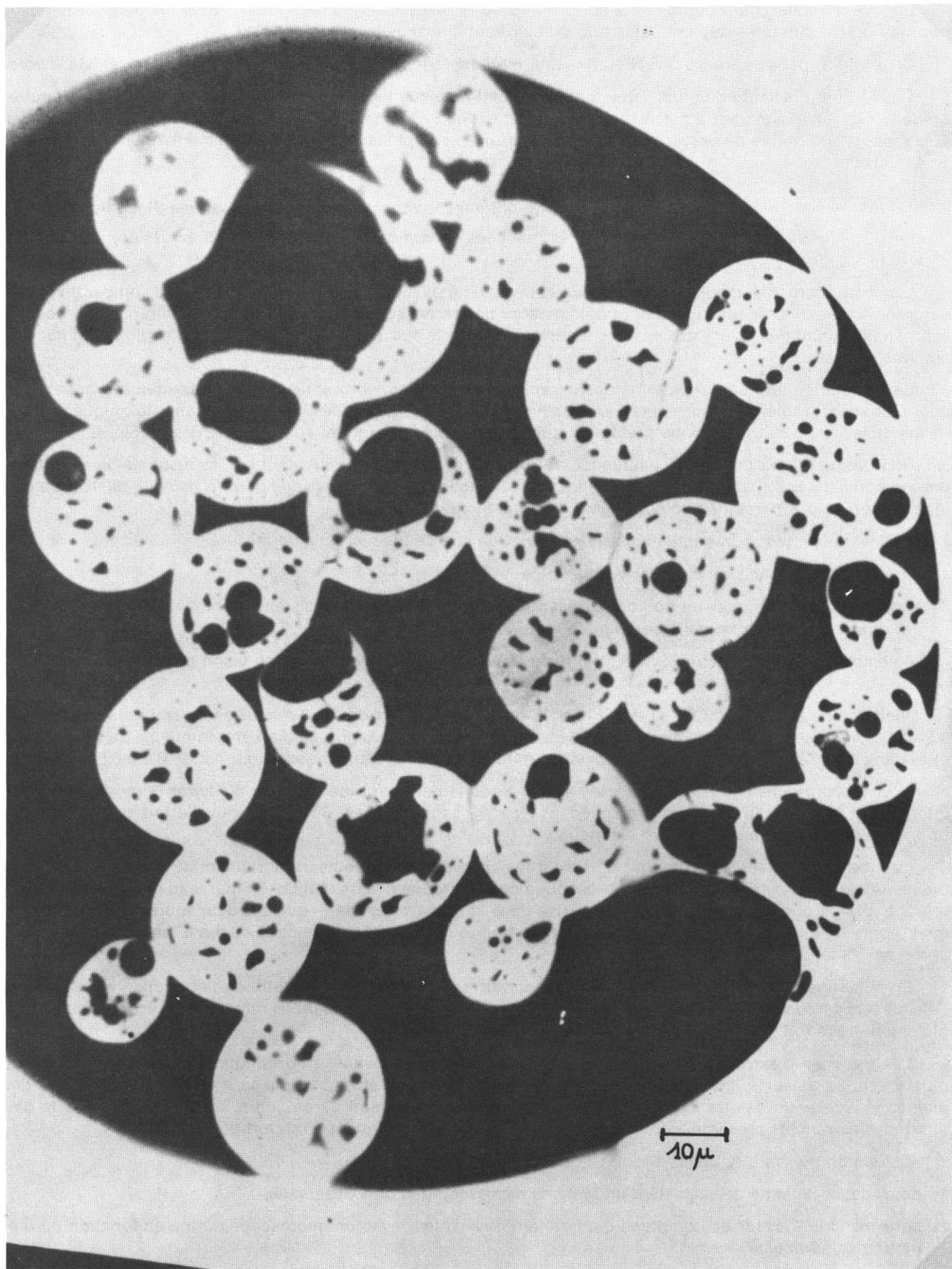


Figure 5

Étalon pour le comptage des particules de poussières (Recherche PS 135)

2.16 Mise au point d'un système de détermination de la granulométrie des particules selon le principe de l'électro-acoustique (Recherche PS 141)

La détermination de la granulométrie des particules, importante pour caractériser les poussières, est malheureusement assez compliquée avec les méthodes classiques et prend beaucoup de temps.

A la recherche de procédés plus simples, une aide a été accordée pour une recherche visant à la mise au point d'un appareil de détermination de la granulométrie des particules d'aérosols fonctionnant suivant le principe de l'électro-acoustique. On se proposait de mettre au point un capteur de poussières, réagissant sous l'influence d'une particule unique et capable même d'enregistrer les différents niveaux de réaction, liés à la masse de la particule individuelle agissante, c'est-à-dire de déterminer le nombre de particules et leur granulométrie.

L'appareillage utilisé pour l'expérience se composait d'un grand récipient dans lequel on avait fait le vide et où était placé un microphone électrodynamique avec membrane libre sur mousse artificielle (en vue d'une protection aussi efficace que possible contre les bruits extérieurs). Après amplification appropriée à l'aide d'un oscillographe, cet appareil doit permettre de déterminer les particules de poussières pénétrant avec l'air par une ouverture de 0,5 mm de diamètre environ dans le récipient et venant heurter le microphone.

Grâce à la sensibilité de l'appareil, on a pu déceler des particules isolées jusqu'à un diamètre de 5 μm , mais pas plus de 100 particules par seconde. En ce qui concerne le dénombrement des particules individuelles, l'appareil est tributaire de la dilution contrôlée des aérosols. C'est là un inconvénient pour la fabrication d'un capteur de poussière pouvant être utilisé pour des mesures de ce genre sur le lieu même du travail.

Pour la mesure en continu d'une concentration de poussière globale relativement élevée de 100 mg/m^3 environ, dans les cheminées par exemple, le procédé pourrait cependant, le cas échéant, prendre de l'importance puisqu'il peut être utilisé à de très hautes températures.

2.17 Détermination de l'origine des poussières (Recherche PS 35)

Vu le grand nombre de sources d'émission de gaz et de poussières dans les zones de concentration industrielle, il arrive facilement qu'en cas de dommages ou de gêne causés par la pollution atmosphérique, les soupçons se portent sur des entreprises qui n'y sont pour rien, ou que le véritable coupable continue à polluer l'atmosphère sans être reconnu parce qu'on n'a pas pu déceler l'origine de la pollution.

Les résultats d'une recherche ayant pour but de déterminer l'origine des poussières dans le cadre d'une enquête sur l'empoussiérement dans le secteur «*agglomération des minerais*» donnent les moyens d'améliorer cet état de choses peu satisfaisant.

Grâce à un perfectionnement des méthodes d'analyse, notamment à une étude hygroscopique en lumière réfléchie, directe ou polarisée, on a pu déterminer l'origine de diverses particules contenues dans des échantillons de poussières mixtes se produisant ordinairement dans les usines sidérurgiques. C'est ainsi qu'on a pu distinguer divers oxydes de fer contenus dans des échantillons et reconnaître s'ils provenaient de minerais suédois ou lorrains ou d'opérations métallurgiques. De même, les particules de coke provenant d'un four à coke peuvent désormais être distinguées de celles provenant d'un foyer à charbon pulvérisé.

La microsonde s'est révélée très utile pour identifier les poussières très fines souvent transportées à de grandes distances. Avec cette nouvelle méthode, un faisceau électronique frappe l'échantillon de poussière. Les rayons X émis au point d'impact des électrons sont repris par un détecteur. En résumé, on obtient par le moyen du détecteur une analyse chimique élémentaire ponctuelle.

Lors de l'étude de la composition du gaz brut de deux installations de dépoussiérement à cyclone, on a constaté, entre autres, qu'une des installations avait une capacité de dépoussiérement de 92,5 %, celle de l'autre étant de 84 %. On a souligné le fait qu'avec une même installation de dépoussiérement, le rendement n'est théoriquement pas le même pour chaque granulométrie, mais qu'il varie selon la nature des poussières. Les chercheurs concluent de leurs observations qu'il convient, dans certaines circonstances, de veiller davantage au rendement qualitatif d'une installation de dépoussiérement plutôt qu'à son rendement purement pondéral.

2.18 Mise au point d'appareils de mesure enregistreurs des poussières (Recherches PS 15 et PS 138)

Si l'on connaît la nature des poussières rencontrées à certains endroits déterminés, il suffit dans bien des cas, pour assurer un contrôle régulier, d'en déterminer simplement la concentration.

Toutefois, les procédés classiques présentent un inconvénient, à savoir qu'il faut procéder à de très nombreuses mesures isolées si l'on veut connaître de manière tant soit peu certaine les variations dans le temps de la concentration de poussières.

Outre le fait que ces nombreuses mesures exigent des dépenses importantes de personnel et de matériel, les résultats ne sont obtenus qu'avec un retard plus ou moins grand.

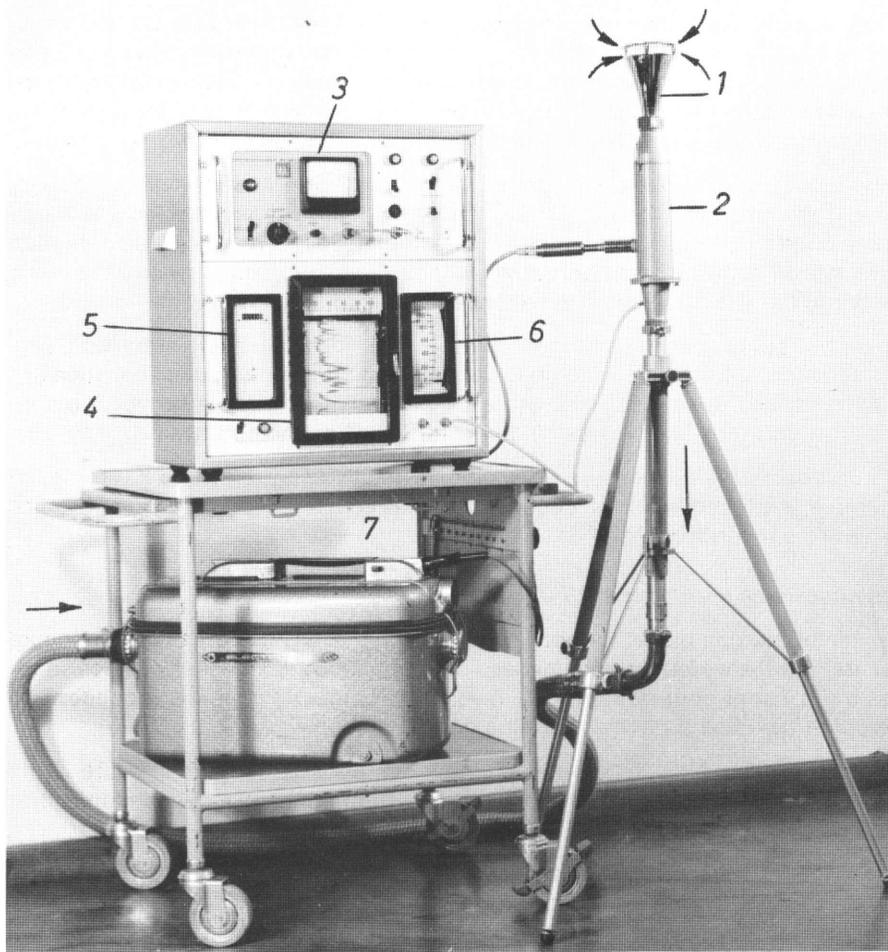
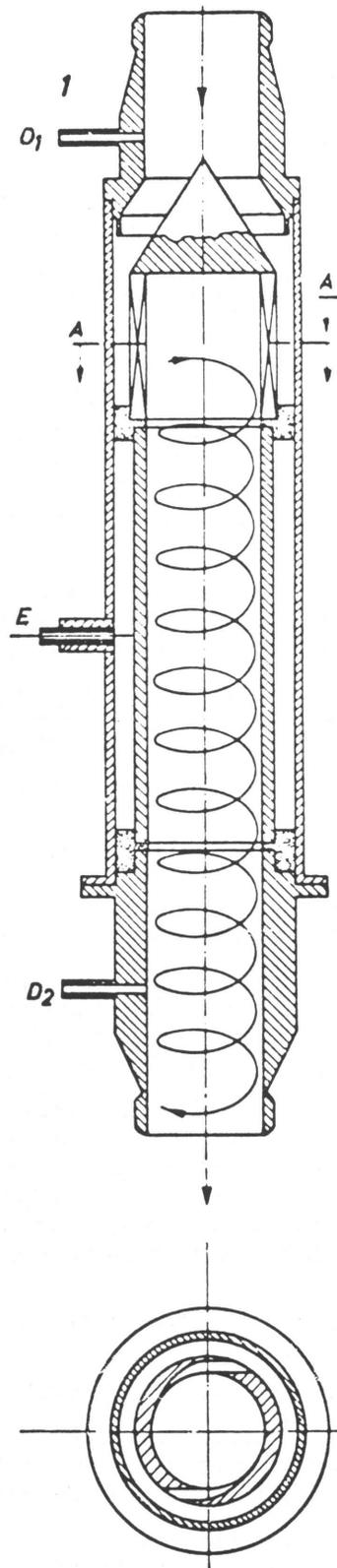


Figure 6

Appareil «Konitest» de mesure électrostatique des poussières
(Recherche PS 15)

a Vue d'ensemble

- 1) Entonnoir d'aspiration avec opercule et fente annulaire
- 2) Détecteur de poussières «Konitest» type tube-cyclone
- 3) Amplificateur de mesure de courant continu
- 4) Scripteur
- 5) Intégrateur
- 6) Manomètre différentiel pour la mesure du débit d'air
- 7) Aspirateur



b Coupe par le détecteur à poussières

Or, il peut être de la plus grande importance de connaître rapidement les variations dans le temps de la concentration de poussières, non seulement pour le contrôle de l'empoussiéragé au poste de travail, mais aussi, par exemple, pour la surveillance du bon fonctionnement des installations de dépoussiéragé et pour pouvoir discerner en temps utile les perturbations dans maints processus de production.

Pour ces raisons, la C.E.C.A. a accordé son aide pour deux recherches ayant pour objet la *mise au point d'appareils de mesure enregistreurs continus des poussières*.

La première de ces *recherches (PS 15)* concerne la mise à l'épreuve et le perfectionnement d'un appareil qui mesure l'empoussiéragé par contact électrique (fig. 6).

Dans le cas de cet appareil, un mouvement giratoire est imprimé par un appareil directeur d'entrée au courant d'air empoussiéragé aspiré. Les particules de poussières entrent par force centrifuge en contact avec la paroi interne d'un tube dit exciteur. Il se produit ainsi entre les particules de poussières et la paroi du tube exciteur une interaction électrique de contact qui engendre une charge électrostatique des particules de poussières et du tube exciteur. Tandis que la charge des particules n'intervient plus, la charge électrostatique du tube exciteur est conduite à la terre sous forme de courant dérivé, passant par un galvanomètre ou par la résistance d'entrée d'un amplificateur de mesure. Le courant dérivé peut alors être indiqué et enregistré par un enregistreur à tracé continu.

Comme le courant dérivé, pour un tube exciteur donné (de tous les matériaux examinés jusqu'ici pour la fabrication de tubes excitateurs, stéatite — $Mg_3H_2 [Si_4O_{12}]$ — fournit la plus grande sensibilité d'excitation), dépend de la nature des poussières provenant de l'endroit où l'appareil sera utilisé. A cet effet, la quantité de poussières traversant le conitest est captée dans un filtre monté à la sortie de l'appareil, pesée, puis mise en relation avec le débit et avec le courant dérivé moyen, selon une caractéristique de charge.

Grâce à son débit d'air allant actuellement jusqu'à 50 m³/h, la zone d'aspiration de cet appareil est très étendue. Fournissant une indication presque immédiate, il enregistre même des variations très rapides de la concentration des poussières. Dans la gamme de mesure de 0 à environ 3 g/m³, qui présente de l'intérêt dans la pratique, il existe un rapport linéaire et reproductible entre la valeur mesurée et la concentration des poussières déterminée par gravimétrie.

Au cours des recherches, la sensibilité de l'appareil a pu être accrue suffisamment pour lui permettre de réagir à des concentrations de poussières de 1 millionième de gramme par m³, ainsi qu'à des aérosols d'oxyde de fer à fines particules de moins de 0,3 millièrme de mm (particules primaires des fumées rouges). L'appareil peut être commuté en actionnant une manette sur diverses gammes de sensibilité.

Avec la mise au point d'une variante de cyclone séparateur permettant la séparation continue des fractions granulométriques de l'ordre de 5 millièrmes de mm, il est possible de mesurer et d'enregistrer simultanément la concentration de poussières fines respirables et la concentration globale de poussières; cette possibilité peut être très utile, par exemple pour apprécier et contrôler l'empoussiéragé aux postes de travail comportant des risques de silicose.

Une autre innovation apportée à l'appareil (emploi, comme tube exciteur, d'une tuyère Venturi en matériau sensible au contact électrique) a permis de réduire considérablement les dimensions et le poids de l'appareil. Ainsi conçu, il peut aussi être porté à dos par un ouvrier pour mesurer l'empoussiéragé aux postes de travail et enregistrer continuellement la concentration de poussières existant dans la zone respiratoire.

Pour permettre de mesurer et d'enregistrer des empoussiéragés très intenses, par exemple dans les gaz bruts en amont des dépoussiéragés, il a été mis au point une sonde à grille composée de plusieurs barres rondes en matériau sensible au contact électrique.

Cette sonde a permis, au cours d'essais préliminaires effectués avec du charbon pulvérisé destiné à être brûlé dans des foyers, de constater encore, pour des concentrations de poussière de 500 g/m³, l'existence d'un rapport linéaire entre l'empoussiéragé et le courant de mesure. Avec le tube exciteur normal, de même qu'avec la tuyère Venturi, ce rapport linéaire n'est que de 0 à environ 8 g/m³.

Dans le cadre de la seconde *recherche de ce type (PS 138)*, il a été mis au point un appareil (fig. 7) dont la tête de mesure est traversée par environ 6 m³ d'air par heure, cet air étant porté à une vitesse approximative de 130 m/s dans une tuyère. En face de la fente de la tuyère, à une distance de 2,5 mm, se trouve un filament-sonde de 0,5 mm. Les particules de poussière, en atteignant la sonde, produisent une charge électrique qui est dérivée de façon continue et dont l'intensité est mesurée par un électromètre à condensateur oscillant et enregistré. En vue de l'établissement de courbes d'étalonnage et de l'analyse des poussières, toute la poussière ayant traversé la tête de mesure est captée dans un appareil à filtre muni du filtre microsorbant. Cet appareil permet de mesurer encore bien des concentrations de poussière de 0,1 mg/m³ inférieures à 5 microns.

Le filament-sonde présente cet avantage qu'il n'y a pas à craindre, avec celui-ci — contrairement à ce qui se passe avec divers autres matériaux, tels que, par exemple, la stéatite — que se produise une inversion de la polarité du courant dérivé de certains éléments de poussières mixtes qui fausse les indications.

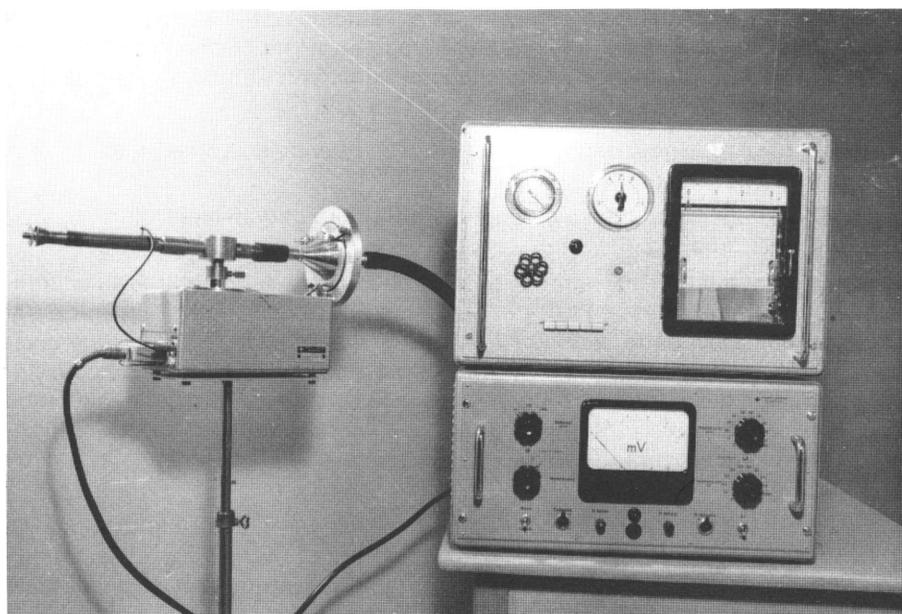


Figure 7

Appareil (Bonn) de mesure électrostatique des poussières
(Recherche PS 138)

2.2 Mesures de l'empoussiérage aux postes de travail

Afin d'obtenir des données sur l'empoussiérage existant à divers postes de travail de la sidérurgie, la C.E.C.A. a encouragé des recherches à ce sujet dans quatre pays de la Communauté.

De prime abord, ces travaux n'étaient considérés, tant par leur ampleur que par leur ordonnancement, que comme des études-pilotes. Aussi intéressants qu'ils puissent être dans le détail, les résultats obtenus ne doivent donc nullement être considérés comme ayant une portée générale. Ils constituent plutôt des éléments d'une mosaïque dont l'image est encore loin d'être achevée.

2.21 Étude de l'empoussiérage dans des usines sidérurgiques allemandes (Recherche PS 20)

L'étude effectuée par le Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der Gewerblichen Berufsgenossenschaften, Bonn, dans huit usines sidérurgiques allemandes, a surtout porté sur les postes de travail où l'on a constaté l'existence de poussières silicogènes. C'est ainsi que dans des aciéries, des mesures d'empoussiérage ont été effectuées lors de la démolition des fours Martin, au taillage, au meulage et au maçonnerie des briques réfractaires, ainsi qu'au nettoyage des poches de coulée; dans les fonderies, les mesures ont porté sur l'empoussiérage à la préparation du sable, ainsi qu'au moulage, au décochage, au meulage et à l'ébarbage des pièces moulées. Le rapport soumis à un examen critique les conditions d'empoussiérage rencontrées, qui sont parfois très préoccupantes du point de vue de l'hygiène, et suggère la réalisation d'autres études comparatives.

Pour apprécier le risque silicotique, le Staubforschungsinstitut applique la formule qu'il a mise au point :

$$C (\text{SiO}_2 < 5 \mu\text{m}) \times (C_{\text{total}} < 5 \mu\text{m}) = Z$$

Dans cette formule, le premier facteur représente la concentration de silice cristalline libre dans la granulométrie respirable inférieure à 5 millièmes de mm et le second facteur, la concentration des poussières fines respirables < 5 millièmes de mm de toutes les sortes de poussières rencontrées dans l'échantillon. Les concentrations sont exprimées chaque fois en mg/m³.

Lorsque le produit Z, c'est-à-dire le chiffre d'appréciation, ne dépasse pas 0,5 ⁽¹⁾, on considère qu'il n'y a pas de risque silicotique.

Pour mesurer ces concentrations de poussières, une quantité déterminée d'air a été aspirée à travers un filtre (filtre microsorbant, et filtre papier aux postes de travail particulièrement chauds). La quantité de poussières pulmonaires a été déterminée par décantation.

⁽¹⁾ D'après le rapport de recherche final de 1964. L'appréciation Z a été ultérieurement modifiée.

- Z inférieur à 0,2 sans risque apparent de silicose
 - Z entre 0,2 et 1,0 risque de silicose à craindre
 - Z supérieur à 1,0 risque grave de silicose
- (cf. Staub-Reinhold. Luft (26) 1966, p. 2/8).

Pour déceler les minéraux silicogènes, on a appliqué la méthode radiographique qui se caractérise par une limite inférieure de détection de 1 %.

Le critère d'appréciation de la concentration de toutes les poussières de l'échantillon s'énonce ainsi : C total ne doit pas dépasser 15 mg/m³, même en cas d'absence d'éléments silicogènes.

Dans les cas où la durée du travail était trop courte pour qu'une mesure granulométrique fournisse une quantité suffisamment grande et bien utilisable de poussières (par exemple, dans les cas où il s'agissait de tailler occasionnellement à la main des briques réfractaires), les mesures de concentration des particules ont été effectuées à l'aide du conimètre HS (Hasenclever-Sartorius) et du microscope à projection avec un grossissement total de 370 fois. Une concentration moyenne des particules de 200 P/cm³ (incinéré) de poussière silicogène a été considérée comme dangereuse en cas de travail permanent.

Les chiffres d'appréciation trouvés oscillent d'ailleurs entre 0,035 (travaux de moulage dans la fonderie d'une aciérie) et 442 (nettoyage de l'intérieur de coquilles avec des meuleuses).

Les rapports finals sur les résultats de cette recherche et de celle effectuée en Italie, dont il va être question ci-dessous, ont attiré l'attention de la commission de recherche sur le fait que le calcul du risque silicotique dans divers pays est établi d'après des formules différentes. Elle a proposé que cette affaire soit examinée dans le cadre des échanges d'expériences à l'occasion de recherches futures et que l'on étudie si les formules adoptées pour des considérations d'ordre théorique et pratique ne pourraient pas être uniformisées.

2.22 Étude de l'empoussiérement dans des usines sidérurgiques italiennes (Recherches PS 11 et 12)

Le rapport établi par la Clinica del Lavoro, Milan, traite tout d'abord des mesures de l'empoussiérement produit par l'exploitation de 11 fours électriques dans 5 aciéries italiennes.

Dans des conditions atmosphériques défavorables, on a relevé à 2 mètres du sol d'une aciérie de type ancien équipée de fours sans hotte, une concentration des fumées dépassant 5 000 particules (de 0,7 à 5 millièmes de mm) par cm³. Elle limitait la visibilité à quelques mètres. Dans les autres aciéries, on a constaté que la pollution atmosphérique est négligeable.

L'étude des briques réfractaires employées pour la réfection des fours et des poches de coulée a démontré que le pourcentage élevé de silice libre dans la fraction des poussières inférieure à 5 millièmes de mm entrant dans les poumons n'est inférieur que d'environ 20 % au pourcentage moyen de toutes les classes granulométriques. Pour la plupart des autres matériaux, la fraction de moins de 5 millièmes de mm contient au contraire un pourcentage de silice libre de 2 à 3 fois inférieur.

Dans l'ensemble, on n'a pas observé de différences importantes entre les diverses aciéries pour ce qui est de la teneur en silice libre des poussières suspendues dans l'air de ces usines.

En appliquant la formule retenue par la Clinica del Lavoro pour calculer le degré du risque silicotique, on a constaté que les ouvriers occupés dans les aciéries ne sont généralement pas exposés à ce risque, mais que le personnel affecté à certains travaux — démolition et réfection de fours surtout — est parfois très exposé.

La formule précitée est la suivante :

$$\text{Risque silicotique } R = \frac{N \cdot q}{500} \left(1 + \frac{2}{1 + q} \right)$$

Dans cette formule :

N = particules totales des poussières atmosphériques, comprises entre 0,7 et 5 millièmes de mm.

q = pourcentage numérique des particules de silice libre silicogène dans la fraction de moins de 5 millièmes de mm des poussières atmosphériques.

$\frac{2}{1 + q}$ = le coefficient qui tient compte de la capacité silicogène des poussières inertes, particulièrement élevé pour les teneurs réduites en silice libre silicogène.

Pour des valeurs de R = 1, on n'admet pas de risque silicotique. Plus R dépasse 1, plus le risque sera grand.

A cet égard, la Clinica del Lavoro fait encore une différence entre le risque spécifique et le risque effectif. Si, par exemple, le travail effectif de l'ouvrier chargé du revêtement des creusets se limite à environ 65 % du poste, on considère que le risque effectif ne s'élève qu'à 65 % du danger d'empoussiérement inhérent au travail et calculé à l'aide de la formule. Ainsi qu'il a déjà été dit, il faudra éclaircir quelles sont les raisons des différences de calcul du risque silicotique dans les pays de la Communauté.

2.23 Étude de l'empoussiérement dans l'industrie sidérurgique luxembourgeoise (Recherches PS 49 et PS 144)

Pour le Luxembourg, il existe deux recherches sur l'empoussiérement dans la sidérurgie de ce pays.

La première de ces recherches, effectuée par la direction de la santé publique du grand-duché de Luxembourg (PS 49) avait pour but d'obtenir une idée générale de l'empoussiérement aux divers postes de travail, afin de déterminer les endroits les plus dangereux qui feront ultérieurement l'objet de recherches plus détaillées.

Pour déterminer l'empoussiérement, on a appliqué tant le procédé gravimétrique que celui du comptage des particules. Pour les mesures gravimétriques, on a employé essentiellement l'«Electrostatic Sampler» et pour le comptage des particules, le comimètre HS (Hasenclever-Sartorius).

Les comparaisons avec d'autres appareils utilisés (par exemple, capteur Dräger et appareil de contrôle de l'empoussiérement d'après Ernst Haage) se sont avérées difficiles, voire impossibles. C'est pourquoi le rapport préconise l'adoption d'un appareil unique pour les mesures comparatives.

Les plus grandes concentrations de poussières pulmonaires inférieures à 5 millièmes de mm ont été enregistrées dans les entreprises de hauts fourneaux, tant en ce qui concerne le nombre de particules contenant du SiO₂ que le poids.

Viennent ensuite les aciéries Thomas, les broyeurs à laitier Thomas, les laminoirs et les fonderies.

Les grandes fluctuations de l'empoussiérement à divers postes de travail ont rendu l'appréciation plus difficile. Selon les opérations exécutées par un ouvrier à un poste de travail déterminé, on a noté par exemple des dispersions de 50 à 3 000 particules/cm³. C'est pourquoi le rapport précise qu'il serait très souhaitable d'utiliser dans ces cas un appareil de mesure et d'enregistrement continu.

La seconde recherche, effectuée par le laboratoire de minéralogie au Musée d'histoire naturelle, Luxembourg (PS 144), visait surtout à déterminer les propriétés cristallographiques des différentes sortes de minéraux contenus dans les poussières de la sidérurgie luxembourgeoise, ce qui est important pour en permettre l'identification. Dans cette mesure, elle présente un certain parallélisme avec la recherche belge PS 35, mentionnée au paragraphe 2.17.

120 échantillons de poussière captés à divers postes de travail à l'aide de l'Electrostatic Sampler ont pu être classés sur la base de leur composition minéralogique, de leur teinte et de leur forme granulométrique dans un fichier comportant des microphotographies et des radiogrammes. D'après les résultats, les espèces de poussières trouvées ont été classées en douze types de poussières. Dans le domaine des hauts fourneaux, par exemple, on a distingué trois types de poussières, à savoir celle que l'on rencontre

- 1) lors de la coulée de la fonte,
- 2) lors de la coulée du laitier,
- 3) lors de l'évacuation des poussières de gueulard.

Pour comparer plus facilement les échantillons de poussière inconnue et pour déterminer les principaux constituants, une série de substances rencontrées fréquemment dans l'industrie sidérurgique, telles que la magnétite, l'hématite, la sidérite, le quartz, la cristobalite, la tridymite, la chaux, la calcite, la dolomie, etc., ont été représentées individuellement.

Les divers échantillons de poussière ont été microphotographiés :

- en éclairage naturel : pour distinguer les constituants opaques des constituants translucides,
- en éclairage polarisé : par des plaquettes rouges I : pour distinguer les composants isotropes des constituants anisotropes,
- en contraste par interférence : pour déterminer les constituants transparents et observer l'état de surface.

La conclusion du rapport de recherche est qu'une extension ultérieure du fichier pourrait être indiquée et apporter des enseignements précieux lors des études de la participation des diverses sources de poussières à la pollution de l'air à proximité des usines sidérurgiques.

2.24 Études de l'empoussiérement dans les fonderies de fonte et d'acier néerlandaises (Recherche PS 17)

La recherche sans doute la plus importante de cette catégorie a été effectuée aux Pays-Bas par la Gezondheidsorganisatie T.N.O. de Delft.

Cette recherche avait pour but de déterminer l'empoussiérement à différents postes de travail de la sidérurgie et d'étudier les relations entre l'empoussiérement et les lésions pulmonaires. Au moment où ces lignes sont rédigées, l'exploitation des résultats des recherches qui se sont poursuivies durant plusieurs années n'est pas encore tout à fait terminée.

En ce qui concerne l'étude des poussières, il a fallu, au cours de cette recherche :

- déterminer le poids, le nombre de particules, la répartition granulométrique ainsi que la composition chimique et physique des poussières au poste de travail, notamment les particules de poussières respirables;
- effectuer les mesures de manière à obtenir un tableau représentatif de la quantité de poussière inhalée pendant une assez longue période (environ un an) et avec une précision telle que les différences éventuelles entre les diverses catégories de travailleurs apparaissent clairement.

Dans le cadre de cette recherche, il a été procédé à environ 7 000 relevés conimétriques dans neuf fonderies. Une exploitation statistique des résultats était donc nécessaire.

La détermination de la concentration moyenne des poussières a présenté les plus grandes difficultés en raison des fortes variations de l'empoussiéragé selon le lieu et l'heure; il en a été de même pour la détermination de la composition des poussières en raison de la nécessité de procéder à l'analyse de très nombreux échantillons.

Il est apparu qu'un plan fondé sur les données statistiques est nécessaire pour pouvoir établir la concentration moyenne des poussières relative à différentes catégories de travailleurs. C'est ainsi, par exemple, qu'au cours de six mois, six séries de mesures à un poste ont été nécessaires pour déterminer les différences que présente l'empoussiéragé pour les mouleurs et les décocheurs.

Il n'y a pas de corrélation entre les différentes unités de mesure, poids et nombre de particules par exemple. On n'est pas parvenu à déterminer le nombre des particules de quartz inférieures à 2 millièmes de mm environ. Le nombre des particules de quartz entre 2 et 5 millièmes de mm a pu être déterminé à l'aide de l'examen par contraste de phase. La détermination pondérale de la quantité de quartz dans les particules de poussières < 5 millièmes de mm n'a pas présenté de difficulté, mais elle ne présente pas de corrélation avec le nombre de particules de quartz.

Dans les mouleries d'acier, on a souvent trouvé de très nombreuses particules de poussières qui étaient en majeure partie solubles dans l'acide chlorhydrique. Dans les fonderies de fonte, le pourcentage des particules solubles dans l'acide chlorhydrique est généralement moindre. On n'a pratiquement trouvé de la cristobalite que dans les mouleries d'acier.

2.3 Études concernant l'émission et l'immission de poussières et de gaz

Des dommages causés à l'agriculture et à la sylviculture ont été fréquemment imputés à l'action de composés fluoriques et de SO₂ qui seraient émis par des usines sidérurgiques.

C'est pourquoi deux recherches ont été effectuées dans ce domaine avec l'appui financier de la C.E.C.A.

2.31 Études concernant l'émission et l'immission de gaz d'aciérie contenant du fluor et du SO₂ (Recherche PS 129)

La première de ces recherches concernait *l'émission et l'immission de gaz d'aciérie contenant du fluor et du SO₂ et provenant d'une usine sidérurgique située au milieu d'un environnement rural.*

Elle a notamment porté sur l'influence de la quantité et de la composition des différentes matières entrant dans le processus de fusion, ainsi que sur l'influence des cheminées et des conditions atmosphériques sur la quantité et la composition des gaz résiduels et précipitations contenant des poussières à l'intérieur et à l'extérieur de l'usine.

Le fluor et le SO₂ étaient émis par les fours Martin et un four électrique isolé, non raccordé à une cheminée. Les valeurs relevées tant à l'émission qu'à l'immission étaient très intéressantes.

On a ainsi constaté que, par exemple pour un bain de four électrique sans spath-fluor, l'émission contenait 16 % du soufre introduit et 4 % du fluor introduit; pour un bain de four électrique avec spath-fluor, ces valeurs étaient de 15 % et de 38 %.

Avec un bain de four sans spath-fluor (l'aciérie n'utilise plus celui-ci dans les fours de ce type), on a obtenu une émission de 45,6 % du soufre (S) introduit et de 70,6 % du fluor (F) introduit.

En ce qui concerne les mesures d'immission, on a relevé dans l'air libre provenant de l'aciérie, à une distance de 250 à 400 m de celle-ci, des teneurs allant de 2 à 12 millièmes de g de F/m³ au maximum et de 0,05 à 1,0 mg SO₂/m³.

L'exécution, à une distance de 600 à 3 000 m de l'aciérie, de mesures de fluor, celui-ci provenant également des émissions d'autres entreprises, a permis de trouver une valeur à blanc d'environ 2 millièmes de g de F/m³, alors que l'atmosphère soumise à l'influence des gaz résiduels de l'usine atteignait des valeurs de 5 à 8 millièmes de g de F/m³.

Ayant analysé des échantillons de végétaux prélevés en des points situés à des distances et dans des directions différentes par rapport à l'aciérie, on a constaté que les teneurs en S et F des végétaux ayant poussé à proximité de l'aciérie et dans la direction des vents dominants (vents d'ouest) sont plus élevées que celles des végétaux appartenant aux mêmes espèces qui avaient poussé à une plus grande distance de l'aciérie ou dans une direction autre que celle des vents dominants.

Parmi les méthodes d'analyse employées, il y a notamment lieu de citer la mesure et l'enregistrement, à l'aide de l'appareil «Wösthoff», du SO₂ contenu dans les gaz résiduels et l'atmosphère, et la mesure et l'enregistrement des composés gazeux de fluor au moyen de l'appareil «Mini-Adak».

Lors de l'étude des gaz résiduels d'un four Martin de 250 t, ces appareils ont permis de constater qu'une émission accrue de SO₂ ne se produisait pas au moment du chargement, mais toujours lors de l'addition de fonte liquide, ainsi que de bauxite et de minerai. Une pointe de SO₂ apparaissait également à chaque inversion des brûleurs. Une émission accrue de fluor n'était observée qu'à une température plus élevée du bain, lors du bouillonnement. On estime qu'une élévation soudaine de la teneur en F des gaz résiduels est due à l'agitation du bain. Dans les cas où l'on n'ajoutait pas de spath-fluor, d'importantes quantités de fluor pouvaient parvenir dans le bain avec le minerai.

2.32 Détection et élimination du fluor dans les gaz résiduels (Recherche PS 149)

Au cours de la seconde recherche exécutée quelques années plus tard par une usine sidérurgique dans une zone de concentration industrielle, il s'agissait de détecter et d'éliminer le fluor contenu dans les gaz résiduels.

On commença par vérifier les procédés analytiques de détermination du fluor. La recherche permit, sur ce point, de faire de nouvelles découvertes importantes qui, entre temps, sont devenues pour la plupart partie intégrante de la chimie du fluor. Il apparut ainsi que les concentrations de fluorure indiquées dans les ouvrages spécialisés doivent être considérées avec prudence. Si, par exemple, on prélève dans des gaz acides des échantillons de poussières pour en déterminer la teneur en fluor, il faut alcaliniser immédiatement l'échantillon, faute de quoi on trouve des valeurs de fluor beaucoup trop faibles. De même le choix du filtre est d'une importance décisive.

Les mesures d'immission effectuées pendant des années à proximité d'une importante usine sidérurgique, à l'aide d'un grand nombre d'appareils Bergerhoff et Hibernia, ont montré que la position des appareils de mesure peut, dans certaines circonstances, influencer beaucoup sur le résultat. Si l'on opère selon la méthode prescrite dans la directive VDI ⁽¹⁾ 2119 (mesure des retombées de poussières) et que l'on place les appareils de façon que l'arête supérieure de ceux-ci soit à 150 cm au-dessus du sol, ils peuvent, par exemple, enregistrer aussi la poussière de minerai soulevée à proximité du sol par le trafic automobile ou au moment du chargement, poussière qui, en raison de son poids, ne se diffuse que dans un secteur localement très limité. Après élimination des erreurs de ce genre, on a mesuré une immission de fluorures de 2-6 mg/m³. Une petite partie seulement de ceux-ci est soluble et peut, par conséquent, avoir une action physiologique.

Les mesures effectuées parallèlement en vue de constater la teneur de l'air en fluorures ont indiqué, dans l'ensemble du périmètre de Duisbourg, des valeurs allant de 1 à 3 millièmes g/Nm³. Il n'y a pas ici de concentration plus importante à proximité des usines sidérurgiques.

Le fluor libre est une substance si réactive qu'elle ne se trouve guère dans les gaz brûlés, pas même dans les usines sidérurgiques. Il ne peut s'agir ici que de combinés fluoriques qui peuvent être mesurés dans des concentrations très variables. Il a été constaté que derrière tous les fours métallurgiques, et notamment là où se forment des fumées rousses, les combinés fluoriques sont en pratique entièrement adsorbés par les éléments solides des gaz d'échappement. Cela signifie qu'il n'est même plus possible de procéder à une séparation en fluorures «gazeux» et «solides». Si la poussière est retenue par des installations de dépoussiérage de quelque type qu'elles soient, les émissions de fluorures sont réduites en conséquence. Même les additions très importantes de spath-fluor, tant au convertisseur LD de 90 t (900 kg) qu'au four électrique de 80 t (500 kg) ne produisent aucune émission de fluorures derrière de bonnes installations de dépoussiérage.

Le processus d'agglomération par frittage libre aussi certains composés fluoriques, heureusement en faibles quantités il est vrai. Comme toutefois les gaz brûlés de l'atelier de frittage sont acides, une partie seulement de ces fluorures est adsorbée par la poussière et précipitée avec celle-ci au dépoussiérage. L'addition de poussières alcalines, par exemple de MgO, pourrait permettre d'améliorer cet état de choses. Mais le problème se résoudra de lui-même grâce à la mise en service future d'équipements de désulfuration. Pour le moment, on n'a pas poussé plus loin les recherches, la teneur en fluor de ces gaz résiduels n'ayant pas une importance essentielle en raison de la hauteur des cheminées.

L'émission de fluorures des installations fonctionnant au charbon dépend principalement de la basicité des cendres. Des immissions de fluor peuvent donc aussi se produire dans des zones uniquement résidentielles lorsque les scories ne se combinent que peu avec des fluorures. En tout cas, les émissions de fluor des installations importantes sont fortement réduites par des installations de dépoussiérage.

⁽¹⁾ Verein Deutscher Ingenieure (Association des ingénieurs allemands), Düsseldorf.

3. LUTTE CONTRE LES FUMÉES ROUSSES

3.0 Importance et problèmes

Les émissions les plus voyantes de la sidérurgie sont, sans aucun doute, les fumées rousses qui se forment en quantités énormes au soufflage de vent enrichi d'oxygène dans les convertisseurs Thomas, au soufflage d'oxygène pur dans les convertisseurs LD et LDAC, à l'addition d'oxygène aux fours Martin et électrique et au décriquage des lingots (fig. 8). Sans être directement nocives, ces fumées rousses viennent s'ajouter à la « cloche de brouillard » suspendue au-dessus des zones industrielles, laquelle peut porter atteinte à la santé humaine, et nuire aux animaux et aux végétaux, ne serait-ce qu'en diminuant le rayonnement solaire.

Du point de vue physique, il s'agit de gaz résiduels contenant en suspension des particules microscopiques d'oxyde de fer (fig. 9) dont la dimension est à peu près comparable à celle des particules contenues dans la fumée du tabac. La finesse de ces particules s'explique par la manière dont elles se forment : la réaction de l'oxygène sur le fer liquide porte localement le bain à des températures si élevées qu'il se produit à ces endroits une évaporation sensible. Les vapeurs de fer se combinent à l'oxygène contenu dans les gaz brûlés ou dans le courant d'air, ce qui a pour effet de les condenser en d'innombrables particules très fines d'oxyde de fer qui donnent une coloration brun rouge très nette des gaz résiduels, même lorsque, par dilution dans l'atmosphère, la teneur en poussières de ceux-ci ne dépasse guère 0,15 g (150 mg) au mètre cube normal.

Un dépoussiérage techniquement parfait et d'un coût supportable de ces fumées rencontre un certain nombre de difficultés parmi lesquelles nous nous bornerons à citer ici :

- l'extrême finesse des particules de substance solide,
- la température élevée et
- le débit important de gaz brûlés par seconde.

Quelques chiffres illustreront ce fait :

Environ 95 % des fumées rousses consistent en particules d'un diamètre d'à peu près :

- 100 à 800 nm ⁽¹⁾ lorsqu'il s'agit de convertisseurs à soufflage d'oxygène par le haut et
- 15 à 80 nm pour les convertisseurs à soufflage par le bas.

La température des gaz résiduels atteint, à la sortie du convertisseur, environ 1 600 °C et, dans certaines circonstances, elle est portée ensuite à plus de 2 000 °C selon les conditions du mélange avec l'air entrant (la température théorique pour un facteur « air de combustion » $n = 1$, serait d'environ 2 700 °C).

La capacité des installations de dépoussiérage doit être prévue en fonction du débit maximal de gaz brûlés par seconde. Celui-ci dépend des dimensions du convertisseur ou du tonnage traité, de la vitesse maximale de combustion du carbone et des quantités d'air et de vapeur d'eau qui se mêlent aux gaz de convertisseur proprement dits pendant le reste de leur parcours.

A l'affinage de la fonte, 1 kg de carbone brûle 0,93 Nm³ d'oxygène et forme 1,86 Nm³ de CO. Pour une vitesse de combustion de 0,4 % C/min, il s'échappe donc d'un convertisseur de 150 t à soufflage d'oxygène par le haut 67 000 Nm³ CO/h. A cette quantité de gaz qui, à une température d'environ 1 600 °C, occupe en réalité un espace 6 fois plus grand que le nombre exprimé en mètres cubes normaux ne l'indique, vient s'ajouter par l'apport d'air, selon les circonstances données, une quantité de gaz plus ou moins grande qui se mélange au gaz du convertisseur proprement dit, ou réagit avec celui-ci (combustion) augmentant ainsi considérablement la quantité de gaz résiduel à traiter.

C'est ainsi, par exemple, qu'un convertisseur à l'oxygène de 150 t qui peut fonctionner avec une décarburation de 0,4 % par minute et une combustion complète des gaz de convertisseurs avec un excès d'air de 50 % (facteur air $n = 1,5$), a besoin d'une installation de dépoussiérage correspondant à une quantité de gaz résiduel d'environ 275 000 Nm³/h.

En raison de la décarburation plus forte d'environ 0,8 % C/min. et de la charge résiduelle supplémentaire d'azote, un convertisseur Thomas soufflé par le fond, d'une capacité de 50 t de fonte seulement, produit presque les mêmes quantités spécifiques de gaz résiduels.

(1) 1 nm = 1 millimicron = 1 milliardième de mm.



Figure 8

Émission de fumées rouges de convertisseurs

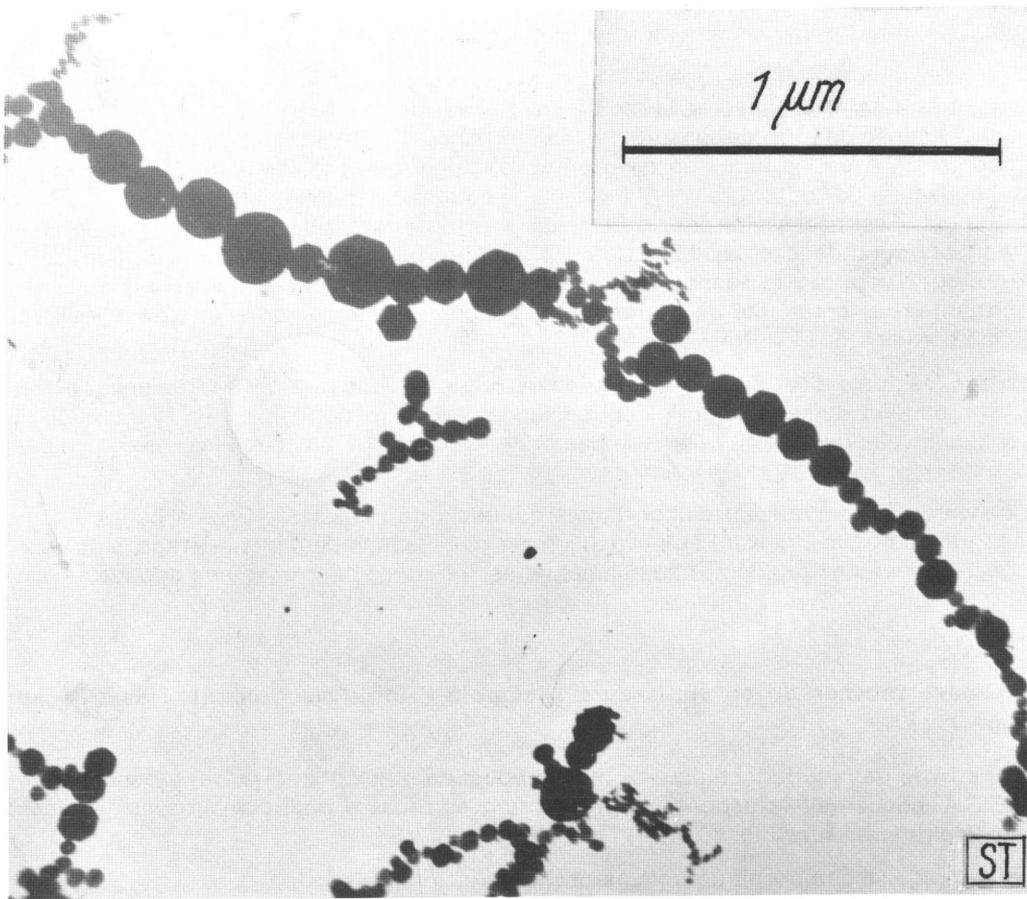
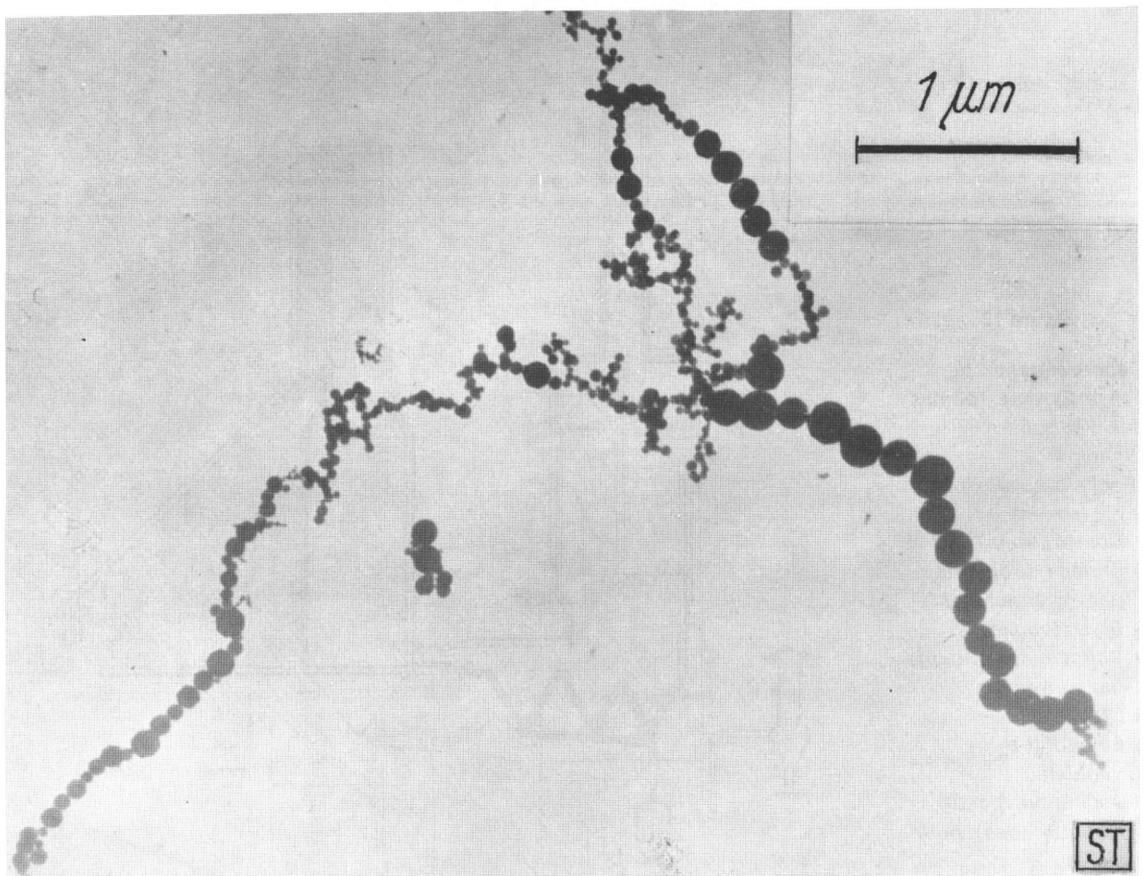


Figure 9 (a et b)
*Particules
de fumées rouges
(Prises de vue au
microscope électronique)*



Pour pouvoir être dépoussiérés, les gaz doivent être d'abord refroidis à des températures qui, selon le procédé de dépoussiérage choisi, se situent généralement entre environ 50 et 300 °C.

Pour les 275 000 Nm³/h admis par hypothèse dans l'exemple ci-dessus, cela signifie qu'il est nécessaire de traiter environ 240 à 220 millions kcal/h. En général, la moitié environ est perdue par refroidissement indirect (chaudière de récupération, cheminée de refroidissement), la chaleur résiduelle étant réduite au niveau de température voulu par injection d'eau. Avec les filtres en tissu on évite, autant que possible, l'injection d'eau, et la chaleur est réduite essentiellement par refroidissement indirect. Toutefois, l'humidification (conditionnement) des gaz résiduels, qui est aussi nécessaire pour obtenir un pouvoir séparateur satisfaisant des électrofiltres à sec que ne l'est leur saturation dans le cas d'électrofiltres humides ou de laveurs Venturi, a pour résultat, selon l'absorption de vapeur d'eau, que la quantité effective de gaz devant être mue par les soufflantes est deux à trois fois plus importante que la quantité de gaz débitée dans des conditions normales (c. à d. environ 550 000 à plus de 800 000 m³/h au lieu des 275 Nm³ précités).

L'empoussiérage des gaz résiduels n'est pas constant pendant la durée de la charge. Il est d'environ 150 à 200 g/Nm³ dans le gaz non dilué et diminue selon les circonstances données, notamment en fonction de la quantité d'air parasite jusqu'au niveau de 15 à 40 g/Nm³ de gaz brûlé. En poids, la fumée rousse représente environ 1 à 2 % de l'acier soufflé.

Ainsi, les aciéries à convertisseur produisent d'importantes quantités de poussières fines à haute teneur en Fe qui, sèches ou sous forme de boues, doivent être évacuées des installations de dépoussiérage, stockées, transportées et traitées. Ceci soulève des problèmes supplémentaires, inhérents au procédé de dépoussiérage utilisé.

3.1 Dépoussiérage des fumées rouges de convertisseurs Thomas à l'aide d'électrofiltres à voie sèche (Recherche «Huckingen»)

La première recherche en vue de la lutte technique contre la pollution atmosphérique, qui a bénéficié de l'aide financière de la C.E.C.A. concernait le *dépoussiérage des fumées rouges d'un convertisseur Thomas classique de 40 t à l'aide d'électrofiltres secs* (fig. 10 et 11).

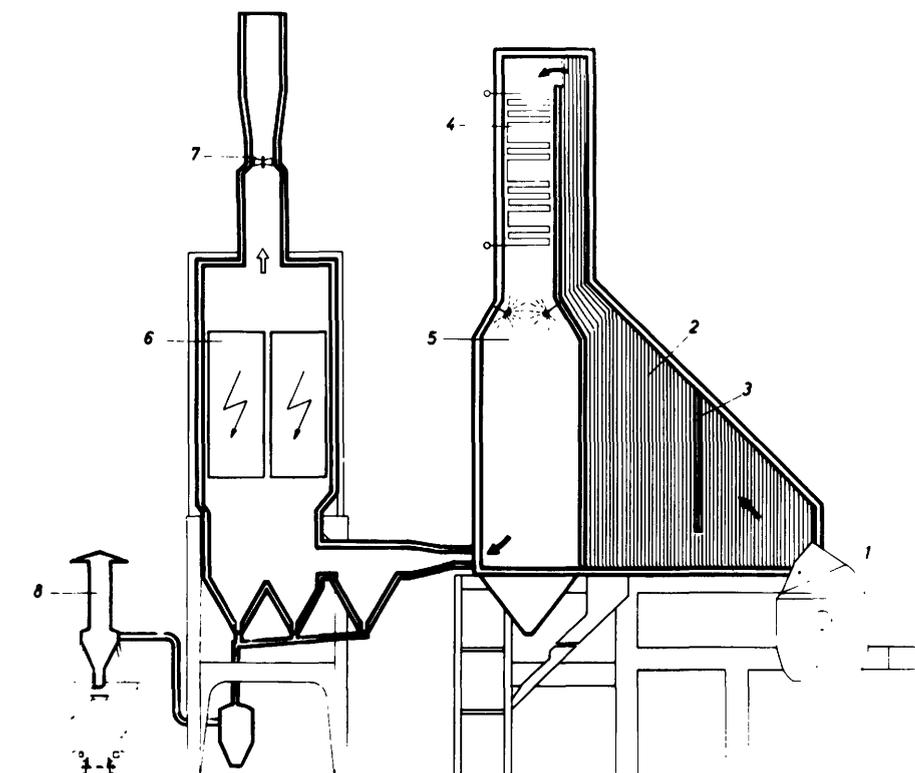
L'installation de dépoussiérage se composait de trois parties, à savoir :

- la chaudière de récupération dans laquelle les gaz sont refroidis et où la chaleur libérée est récupérée,

Figure 10

Dépoussiérage de convertisseurs Thomas par électrofiltre (Schéma) (Recherche Huckingen)

- 1 Convertisseur
- 2 Surface de chauffe par rayonnement
- 3 Ecran tubulaire
- 4 Surface de chauffe par convection
- 5 Stabilisateur
- 6 Électrofiltre
- 7 Ventilateur
- 8 Aspiration pneumatique des poussières



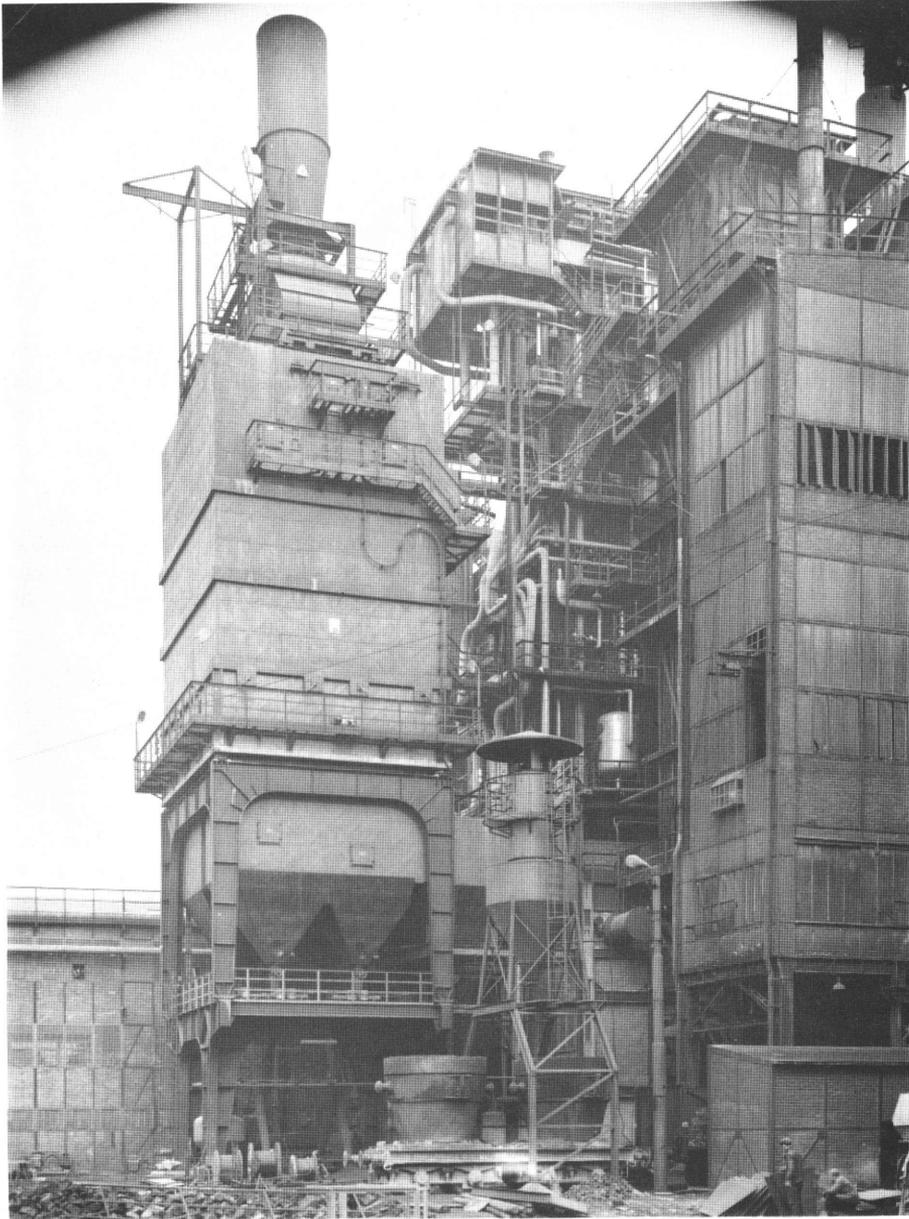


Figure 11

*Dépoussiérage de convertisseurs
Thomas par électrofiltre (Instal-
lation montée)*

(Recherche Huckingen)

- le stabilisateur dans lequel, par un dispositif de pulvérisation d'eau et de vapeur, les gaz sont encore refroidis et portés au degré d'humidité nécessaire,
- l'électrofiltre sec pour la séparation des poussières.

La vapeur saturée produite dans la chaudière de récupération était envoyée dans un ballon à vaporisation, utilisé comme accumulateur Ruths, et, de là, à la centrale à vapeur. Grâce au montage d'un surchauffeur alimenté au gaz de haut fourneau et à des dispositifs de régulation spéciaux, la vapeur produite par à-coups selon les périodes de soufflage du convertisseur était débitée aussi régulièrement que possible sur le réseau de l'usine.

Cela permettait d'obtenir, grâce à la vapeur produite par la chaudière de récupération, des avoirs venant réduire en conséquence les frais d'exploitation de l'installation de dépoussiérage.

Comme il y a en général peu de place disponible autour des aciéries Thomas, on a adopté pour l'installation d'essai la disposition verticale qui réduit l'emplacement nécessaire. Cette disposition présente, par rapport au type horizontal, l'inconvénient qu'on ne peut travailler que difficilement avec plusieurs champs de tension et qu'il n'est pas possible de pratiquer le secouage en cours de précipitation.

Les poussières précipitées étaient soutirées des trémies à l'état sec, par un dispositif pneumatique; elles étaient transportées à l'abri de l'air dans des wagons-trémies jusqu'à l'installation de décantation de l'usine,

où elles étaient mélangées, ainsi que la poussière de gueulard sèche, aux boues épaisses retirées des bassins de décantation, de manière à obtenir un produit qui peut être directement aggloméré. Mais il est apparu ensuite qu'il était beaucoup plus simple de transformer, par addition d'eau, les poussières dans un dispositif nouvellement mis au point, à proximité immédiate de la trémie collectrice, en boulettes suffisamment consistantes pour qu'elles puissent être utilisées au convertisseur ou dans la poche à fonte.

La recherche, par laquelle on s'engageait sur un terrain parfaitement inconnu, a apporté, au prix des plus grands efforts de tous les intéressés, et après que d'innombrables modifications et perfectionnements eurent été apportés au procédé, la preuve qu'en principe le dépoussiérage d'un convertisseur Thomas est possible avec les moyens mis en œuvre. Il est vrai que l'appareillage technique important et l'espace nécessaire pour loger l'installation de dépoussiérage fait obstacle à l'adoption générale de ce procédé dans les aciéries Thomas encore existantes.

3.2 Précipitation des fumées rousses à températures élevées dans des filtres électrostatiques de conception nouvelle (Recherches PS 18, 43, 131)

Avec les électrofiltres ordinaires à électrodes d'émission, il peut se produire, lorsque le dépôt des particules de fumée rousse s'accroît sur les électrodes de précipitation, une diminution du pouvoir séparateur par «rétro-effluve», notamment en cas d'une très forte résistance spécifique des poussières. Cette résistance est si forte que la charge électrique reçue ne peut plus passer assez rapidement. Selon l'importance de la résistance des poussières, il faut procéder à des aménagements de structure ou modifier les procédés techniques pour obtenir une séparation satisfaisante avec les électrofiltres classiques, par exemple en humidifiant les gaz résiduels en fonction de leur température.

Dans le secteur de résistance des poussières compris entre 10^4 et 10^{11} Ohm-centimètre, il n'y a pas de difficultés particulières à prévoir en ce qui concerne la séparation. En outre, l'électrofiltre classique exige certains temps d'exposition, ce qui peut avoir une incidence sur la dimension et, par conséquent, sur le coût de l'installation.

Or, des observations ont montré que les aérosols d'oxyde de fer possèdent des propriétés qui pourraient permettre la *précipitation des fumées rousses en champs électrostatiques* (c'est-à-dire dans des électrofiltres fonctionnant sans électrodes d'émission et qui ne présentent pas les inconvénients ci-dessus décrits du procédé par électrofiltre classique).

Afin de vérifier la justesse de ces observations et la possibilité d'en tirer une application pratique, 3 recherches successives ont bénéficié de l'aide de la Haute Autorité.

La première de ces *recherches (PS 18)* avait trait à des études de laboratoires sur une installation permettant un débit d'un peu plus de $5 \text{ Nm}^3/\text{h}$ d'air empoussiéré (fumée rousse). La seconde (*PS 43*) a été effectuée avec une installation édifée sur le toit d'une aciérie Thomas et prévue pour un débit de $2\,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

Ces deux recherches ont donné les résultats suivants.

Avec le nouveau procédé fonctionnant avec des électrodes sans effet couronne, c'est-à-dire sans traversée de courant :

- les fumées rousses du convertisseur s'assemblent spontanément en nuages caténiformes (fig. 12) qui précipitent bien sur les électrodes,
- lorsque le dépôt de poussières s'accroît sur les électrodes, cela n'entraîne pas une diminution du pouvoir séparateur,
- on peut opérer même à des températures de précipitation de plus de 200° et renoncer à humidifier les gaz résiduels, technique qui entraîne des difficultés de réglage pour les gaz brûlés de convertisseurs et l'emploi d'un stabilisateur encombrant,
- la poussière précipitée est sèche, elle possède une bonne fluidité et se laisse facilement extraire du filtre, ce qui est très avantageux pour ramener la poussière dans le cycle de production,
- le temps d'exposition nécessaire des fumées rousses n'est que de $1/5$ du temps nécessaire avec l'électrofiltre classique, de telle sorte que les dimensions du filtre peuvent être réduites,
- on peut parvenir à un empoussiérage inférieur à $100 \text{ mg}/\text{Nm}^3$.

La troisième *recherche (PS 131)* avait pour but de résoudre les problèmes à prévoir lors du passage d'une petite installation expérimentale à l'échelle industrielle.

Elle portait sur la mise au point et les essais de filtres expérimentaux pour un débit de gaz de $25\,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$, équipés de systèmes d'électrodes à la dimension utilisée à l'échelle industrielle et placés à nouveau sur le toit de l'aciérie Thomas précitée (fig. 13 et 14).

Figure 12

Fumées rouges en champ électrostatique (Recherche PS 18)

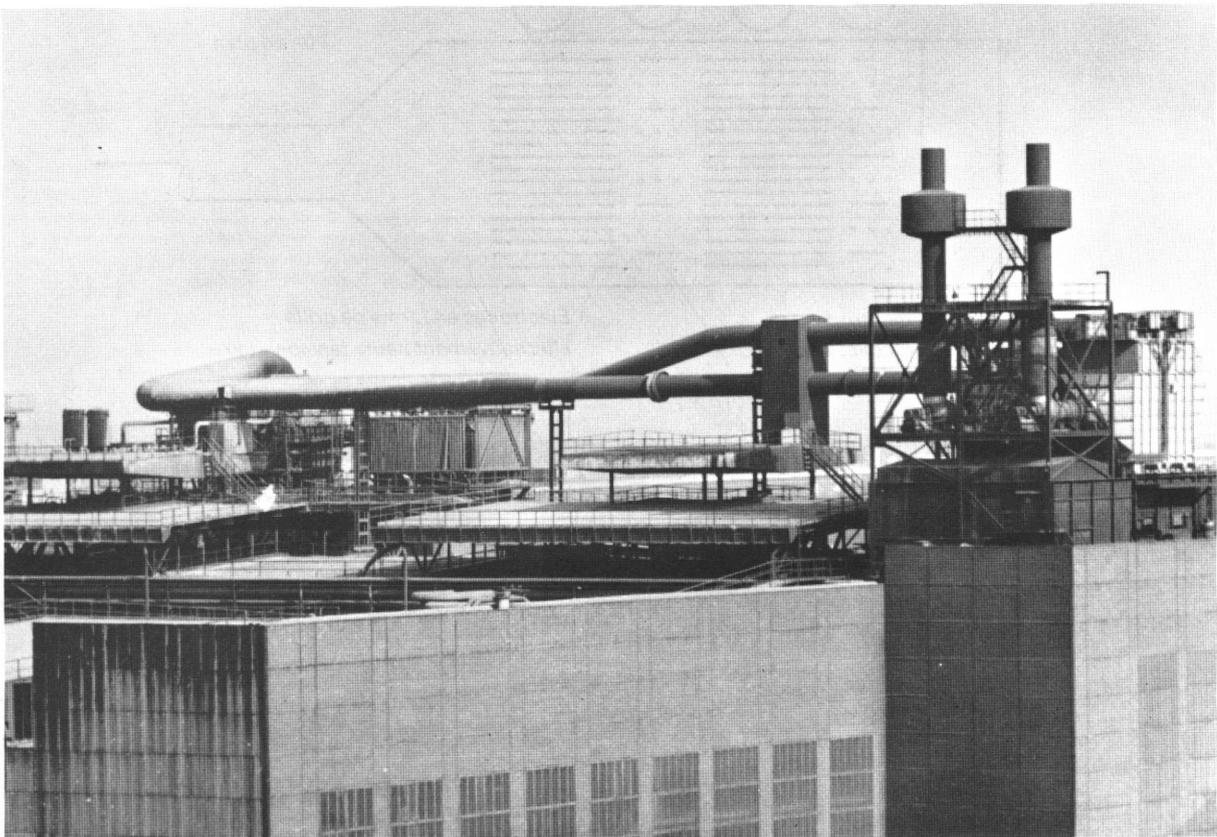
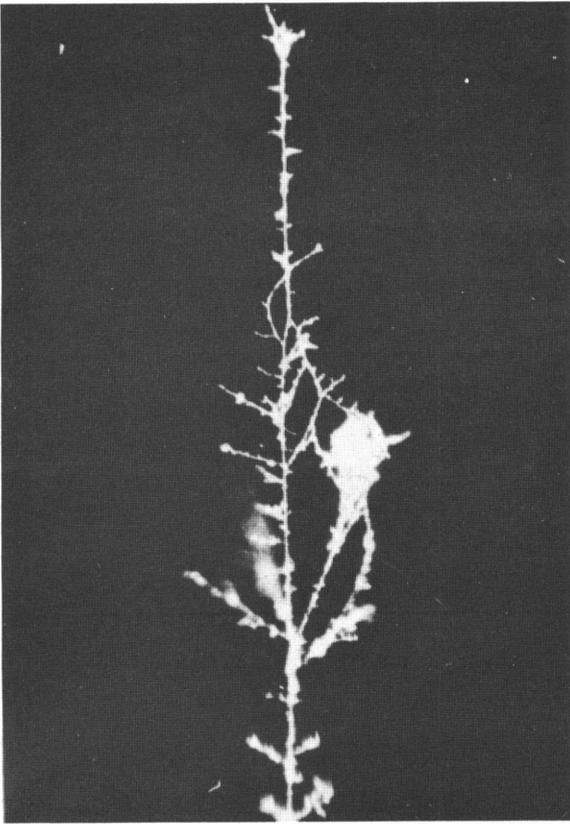
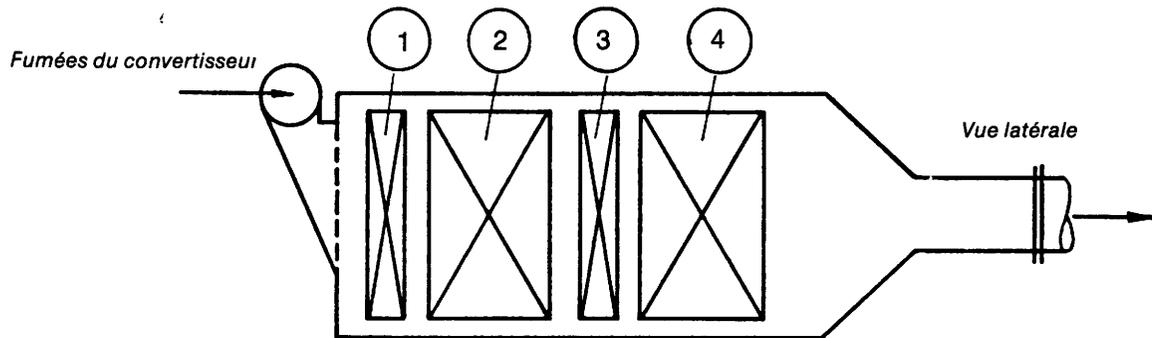


Figure 13

Installation expérimentale avec filtre électrostatique et conduit raccordé à la cheminée du convertisseur (Recherche PS 131)



- 1) 1er système à électrodes d'émission (longueur env. 0,3 m)
- 2) 1er champ électrostatique (long. env. 1,7 m, hauteur env. 4,5 m)
- 3) 2e système à électrodes d'émission (long. env. 0,3 m)
- 4) 2e champ électrostatique (comme le 1er champ électrostatique)

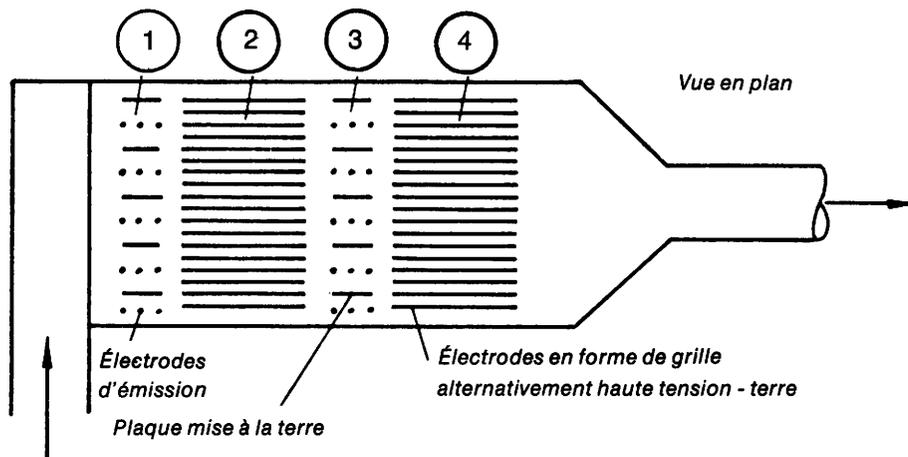


Figure 14

(Recherche PS 131)

Électrofiltre expérimental. Principe de l'équipement intérieur.

Les grandes électrodes de 1,7 sur 4,50 m devaient permettre de produire un champ électrostatique non homogène aussi fort que possible, mais restant inférieur à l'intensité de rupture.

Cela exige que l'intervalle séparant les électrodes soit faible et, autant que possible, constant. Celui-ci a été garanti à $30 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ par les fabricants, tant pour le filtre expérimental subventionné par la C.E.C.A que pour un second, financé par l'usine elle-même.

Les deux installations ne différaient que par la forme des plaques d'électrodes. Pour l'une des installations, il s'agissait de tôles estampées épaisses de 0,7 mm, dans l'autre de grillages en fil métallique dont les mailles avaient un écartement de 8 mm et le fil une épaisseur de 2,2 mm.

Les systèmes électrostatiques ont été conçus de telle sorte qu'au débit nominal de $25\,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ le gaz avait, dans chaque champ, un temps de séjour de 1,25 s, soit au total 2,5 s. Si les tolérances étaient respectées, la tension maximale possible à température normale devait, sans éclatement d'étincelles, être au moins de 27 kV, ce qui correspondrait à une intensité de champ de $E = 9 \text{ kV/cm}$.

Afin d'étudier également l'influence des effluves en couronne supplémentaires sur la précipitation dans le champ électrique, un système de décharge courte a été monté sur les deux filtres en amont des systèmes électrostatiques. Le temps de séjour du gaz dans les champs d'effluves était d'environ 0,3 s. Les fils à effluves consistaient en bandes de tôles pourvues de pics ou de fils de section carrée.

Afin de régulariser l'arrivée des gaz, des dispositifs de répartition ont été montés sur les deux filtres. La régularité de la répartition des gaz a été garantie par les fabricants avec un écart maximal de $\pm 10 \%$ par rapport à la vitesse moyenne.

Lorsque l'installation fut terminée on s'aperçut néanmoins que, tant la répartition des gaz que l'intervalle séparant les électrodes dépassaient parfois considérablement les tolérances garanties. En dépit de plusieurs essais d'amélioration, il n'a pas pu être remédié aux défauts de construction constatés.

Les essais de précipitation effectués avec ces installations défectueuses, s'ils ont en principe confirmé les résultats précédents, n'ont toutefois pas permis d'abaisser les teneurs en poussières des gaz purs jusqu'aux valeurs maximales exigées de 150 mg/Nm^3 .

Malheureusement les délais impartis par les autorités pour le dépoussiérage de l'aciérie n'ont pas permis de procéder à d'autres essais avec des montages d'électrodes fondamentalement différents, par exemple, avec des électrodes cylindriques. L'entreprise en question a donc renoncé à poursuivre la recherche dont toutes les possibilités n'étaient pas épuisées; il a été décidé de transformer l'aciérie Thomas pour adopter le procédé à soufflage d'oxygène par le haut et de dépoussiérer les fumées de convertisseurs à l'aide d'électrofiltres secs classiques. Ces filtres ont été mis en service en février 1966. Toutefois, au moment où ces lignes ont été écrites, en juin 1968, ils ne donnaient pas encore de résultats satisfaisants. . . .

3.3 Dépoussiérage des fumées rousses de convertisseurs au moyen de filtres à poche (Recherche PS 128)

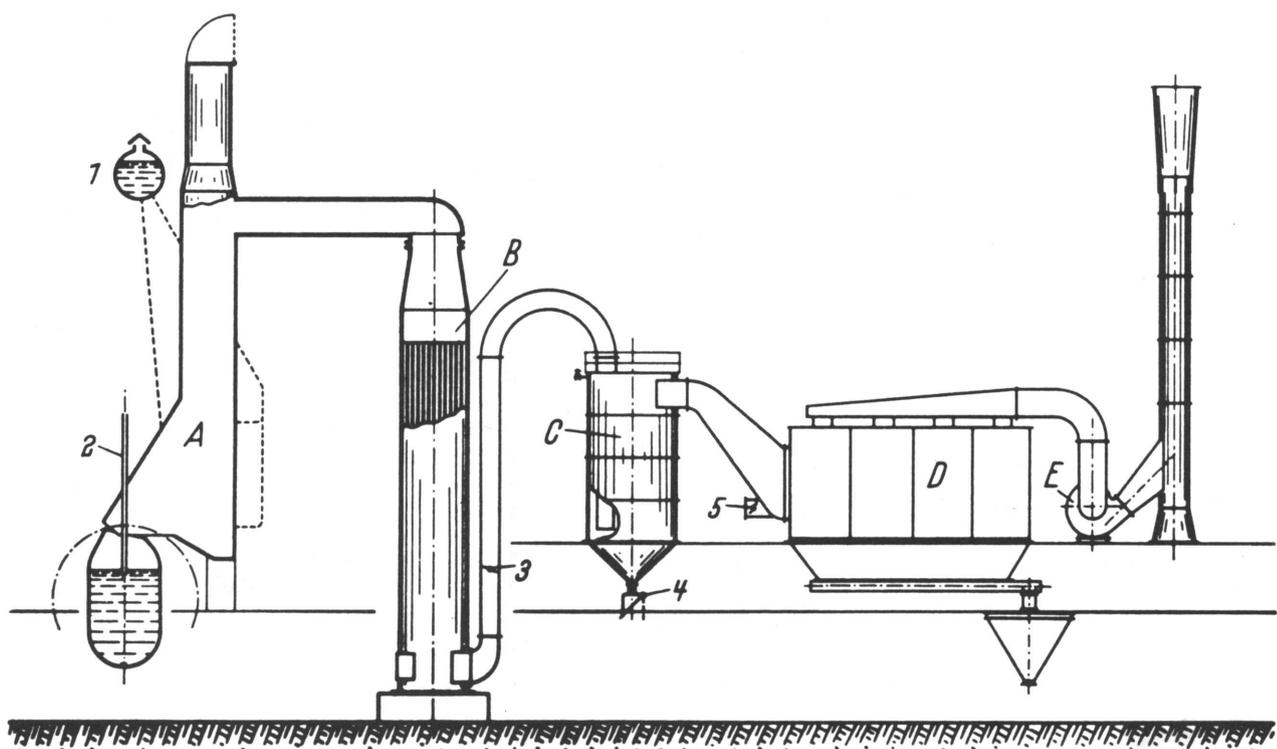
Une autre recherche portait sur le *dépoussiérage des gaz résiduels émis par un convertisseur LD de 18 t traitant de la fonte phosphoreuse, au moyen de filtres à poche.*

On connaît depuis longtemps l'excellent pouvoir séparateur des filtres en tissu. Néanmoins, ils ont l'inconvénient de se boucher très vite lorsque la température descend au-dessous de 100° , de telle sorte que les particules de poussières s'humectent par suite de l'absorption de vapeur d'eau. Mais lorsque les températures dépassent environ 100 à 150°C les tissus en matière synthétique, en coton et matières similaires se détériorent très vite. Ces circonstances avaient jusqu'ici empêché d'obtenir de bons résultats avec de tels filtres en tissu pour le dépoussiérage des fumées rousses.

On est parvenu à pallier ces défauts, au cours de la recherche en question, principalement en disposant derrière la cheminée du convertisseur un échangeur de chaleur du genre Cowper. Dans celui-ci, les gaz du convertisseur, préalablement refroidis dans une hotte à double paroi parcourue par un courant d'eau, cèdent la plus grande partie de la chaleur restante. Dans une tour de refroidissement montée en aval de l'échangeur de chaleur, une pulvérisation d'eau abaisse leur température — pour autant que cela soit encore nécessaire — au niveau voulu de 85 à 130°C . Les gaz entrent ensuite dans le filtre à poches, à la sortie duquel leur teneur en poussières résiduelles s'élève à peine à 6 mg/Nm^3 .

Divers dispositifs de mesure, de régulation et de sécurité assurent le fonctionnement irréprochable de l'installation (fig. 15 et 16).

La hotte d'aspiration est constituée par une véritable chaudière à circulation d'eau naturelle. La vapeur produite était évacuée dans l'atmosphère sans être utilisée, l'emploi d'une chaudière de récupération ne paraissant pas rentable dans les circonstances données.



A = Hôte à double paroi avec circulation naturelle
 B = Échangeur thermique
 C = Tour de refroidissement (par pulvérisations d'eau)
 D = Filtre à poches
 E = Ventilateur

1 = Réservoir d'expansion
 2 = Lance à oxygène
 3 = Registre de réglage
 4 = Évacuation des boues
 5 = Entrée d'air de dilution

Figure 15

Dépoussiérage de convertisseurs LD par filtres à poches (schéma)
 (Recherche PS 128)

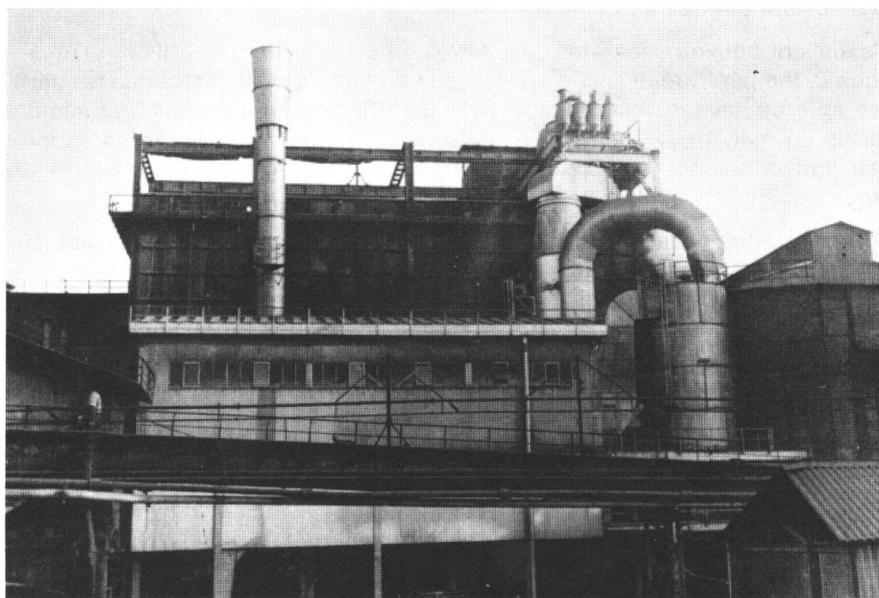


Figure 16

Dépoussiérage de convertisseurs LD par filtres à poches (installation montée)

(Recherche PS 128)

Le filtre à poche était composé de 22 cellules comportant chacune 24 poches filtrantes, soit au total 528.

Les cellules étaient mises hors service toutes les 7 minutes dans un ordre de succession réglé et les filtres à poche nettoyés par secousses transversales et soufflage simultané dans le courant d'air inverse.

Les poussières étaient recueillies dans des entonnoirs de remplissage disposés sur le sol de la cellule, acheminées à l'aide d'hélices transporteuses jusqu'à un dispositif d'ensachage automatique et remises dans le convertisseur par sacs en papier de 50 kg.

Au bout d'un an et demi de service totalisant à peu près 3 500 heures de marche, les poches filtrantes en tergal ne présentaient encore aucun signe d'usure.

L'installation décrite a été ultérieurement agrandie et assure depuis lors le dépoussiérage des gaz résiduels d'un convertisseur de 60 t remplaçant celui de 18 t. Les poussières précipitées sont maintenant amenées à un atelier d'agglomération par frittage.

Entre temps, plusieurs autres installations de dépoussiérage pour les gaz résiduels de convertisseurs et de fours électriques, fonctionnant selon le même principe, ont été édifiées à l'intérieur et à l'extérieur de la Communauté; pour autant que l'on sache, elles paraissent, en général, avoir donné de bons résultats.

Néanmoins, dans l'une de ces installations, où les gaz de convertisseurs étaient brûlés avec un excédent d'air de 25 % seulement, il s'est produit, par suite d'un concours de circonstances malheureuses, une explosion de CO qui a entraîné l'arrêt du dépoussiérage pendant plusieurs mois. Les mesures de sécurité supplémentaires prises entre temps permettent d'espérer qu'un tel accident, qui heureusement n'a provoqué que des dégâts matériels, ne se renouvellera pas.

3.4 Dépoussiérage humide des gaz de convertisseurs captés sans combustion (Recherches PS 130 et PS 132)

Comme il a déjà été montré plus haut, les quantités de gaz empoussiérés provenant du convertisseur sont encore fortement accrues par les apports d'air parasite. Aussi l'encombrement ainsi que les frais d'investissement et d'exploitation des installations nécessaires pour le captage, l'acheminement, le refroidissement et le dépoussiérage de ces quantités de gaz résiduels sont-ils importants.

Deux recherches ont été exécutées pour résoudre ce problème épineux de la combustion et de l'air parasite. L'idée de base — sinon le procédé choisi — était de capter pratiquement non brûlés les gaz de convertisseurs contenant du CO, de les dépoussiérer et de les brûler dans une torchère.

Eu égard au risque de formation, avec les gaz contenant du CO, de mélanges explosibles, il a été appliqué dans les deux cas des procédés de dépoussiérage mécanique par voie humide, de type néanmoins différent.

3.4.1 Dépoussiérage humide des gaz de convertisseurs LD captés sans combustion (Recherche PS 130)

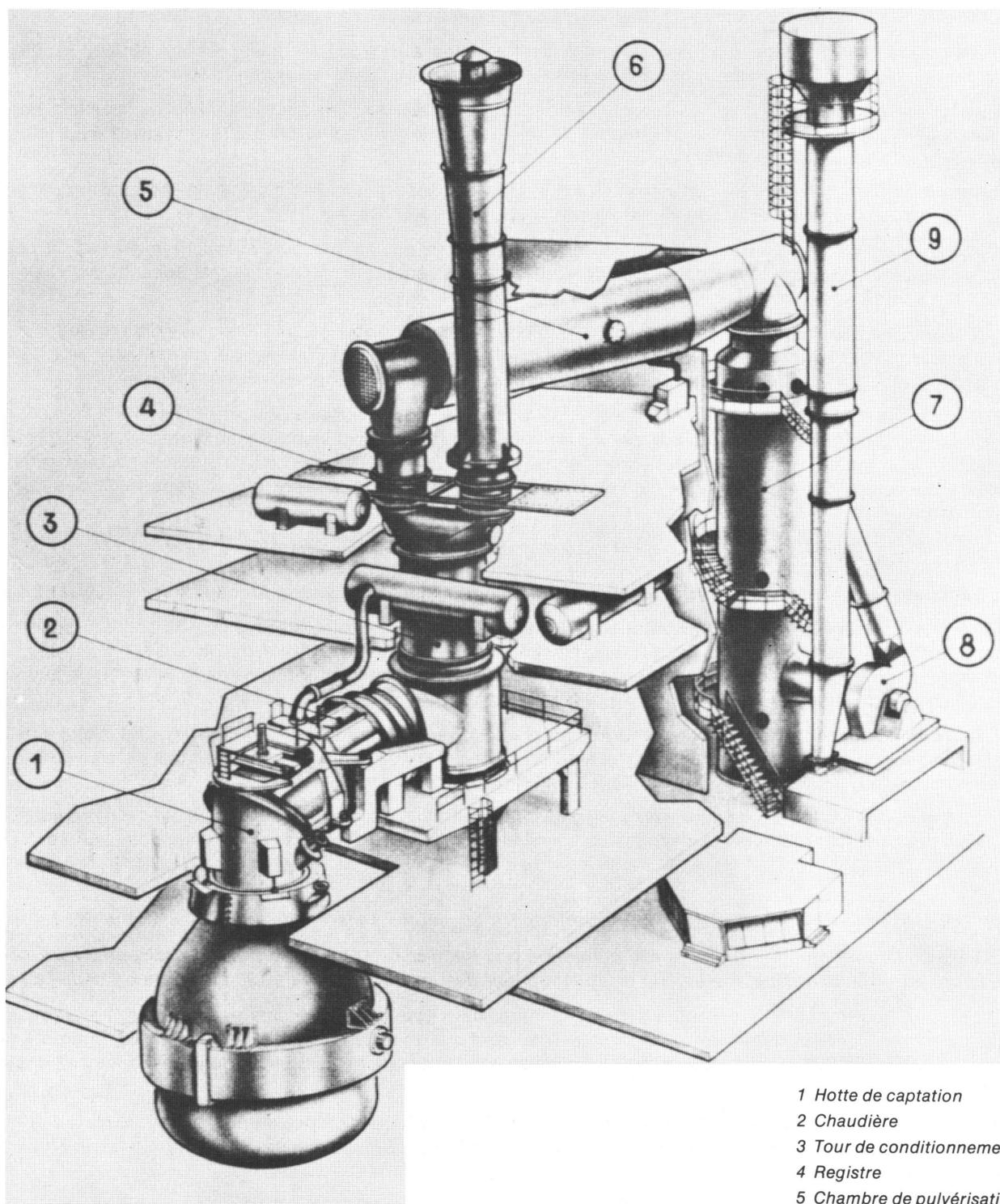
La première recherche portant sur le dépoussiérage humide des gaz de convertisseurs captés sans combustion a été exécutée dans une aciérie où fonctionnent des convertisseurs de 130 t selon le procédé LD.

Lors de cette recherche, on entendait expérimenter deux procédés différents de captation. Le premier se caractérise par l'emploi d'une hotte refroidie à l'eau et d'une manchette mobile également refroidie à l'eau, montée sur le bec du convertisseur. Cette manchette doit être étanchéifiée par un joint de vapeur à l'endroit où elle touche le bec.

L'autre procédé utilise la même hotte, celle-ci n'étant toutefois pas équipée d'une manchette, mais d'un dispositif mobile, ayant la forme d'un abat-jour («jupe»). Ce dispositif est placé à une distance d'environ 50 cm du bec du convertisseur.

L'intérêt du premier procédé réside dans le fait que le gaz capté ne reçoit pas d'air infiltré. Le deuxième procédé a le mérite de permettre l'observation directe de la flamme du convertisseur, ce qui apparaissait utile pour des raisons d'ordre technique. En outre, la hotte utilisée est moins abîmée par les projections du convertisseur que ne le serait la manchette.

Dans les deux cas, on a raccordé aux hottes une chaudière à tubes d'eau faisant avec l'horizontale un angle de 20°. De là, les gaz gagnent une tour munie d'un surchauffeur à vapeur, dans lequel ils subissent un refroidissement supplémentaire par pulvérisation d'eau suivie d'évaporation abaissant leur température à 450°. Dans le saturateur horizontal «Granivore», les gaz sont ensuite sursaturés par une nouvelle vaporisation d'eau, après quoi ils sont soumis à un nouveau dépoussiérage dans le laveur vertical «Solivore», à quatre étages équipé d'un grand nombre de cônes de Venturi. Le ventilateur refoule ensuite les gaz dépoussiérés dans une cheminée qui se termine par une torchère où ils sont brûlés. (Fig. 17, 18, 19).



- 1 Hotte de captation
- 2 Chaudière
- 3 Tour de conditionnement
- 4 Registre
- 5 Chambre de pulvérisation
- 6 Cheminée de tirage direct
- 7 Laveur Solivore
- 8 Ventilateur - extracteur
- 9 Cheminée torchère

Figure 17

Dépoussiérage humide de gaz de convertisseurs LD captés sans combustion (Schéma)

(Recherche PS 130)



Figure 18

*Convertisseur avec hotte de captation des gaz
(Recherche PS 130)*



Figure 19
Torchères
(Recherche PS 130)

L'épuration des eaux résiduelles sortant du laveur de gaz est assurée successivement par une installation de refroidissement, une installation de floculation et une installation de décantation.

Afin d'empêcher les gaz de creuset de se répandre dans le hall de l'aciérie et l'air de s'introduire dans la hotte d'aspiration, un clapet d'étranglement monté devant l'aspirateur règle automatiquement le débit de gaz en fonction de la pression, constamment mesurée, qui règne dans la hotte.

Le gaz aspiré contient, en moyenne, 60 à 80 % de CO. Aussi l'usine se propose-t-elle de reprendre d'anciens projets d'utilisation de ce gaz pour le chauffage des fours pit, etc.

La formation constante de loupes à l'intérieur de hottes et l'encrassement de la chaudière ont causé de grandes difficultés, elles ont été à l'origine d'arrêts d'exploitation fréquents et de longue durée. En remplaçant la chaudière par une chambre à scories et en tenant en réserve des hottes de remplacement, on a trouvé une première solution qui, sans être entièrement satisfaisante, autorisait à tout le moins une exploitation normale de l'aciérie. Une modification apportée au procédé de soufflage (lance à triple jet) a permis de faire cesser les projections de fonte et d'acier liquide de telle sorte qu'il ne se forme plus de loupes adhérant aux hottes.

Les manchettes montées sur les becs des convertisseurs ayant causé de nombreuses perturbations, on n'utilise désormais que des hottes ouvertes.

Au début, l'obstruction des canaux, des conduites et du dispositif de refroidissement a perturbé l'épuration des eaux résiduelles. C'est que la nature et la granulométrie des poussières captées lors de l'aspiration et du dépoussiérage des gaz des convertisseurs se sont révélées totalement différentes de ce qu'on avait supposé.

Une source de danger rapidement décelée et éliminée était constituée par les joints hydrauliques ouverts de la tour pulvérisatrice, du saturateur, etc. Des bulles d'oxyde de carbone passaient à travers ces joints, et portaient jusqu'à une valeur préoccupante de la teneur en CO de l'air sur le plancher de travail de l'aciérie. C'est pourquoi tous les joints hydrauliques ont été munis d'un couvercle et d'un conduit d'évacuation débouchant au-dessus du toit. Le caniveau d'écoulement des eaux usées a été pourvu de couvercles étanches ainsi que d'un ventilateur aspirant.

La sécurité d'emploi du procédé est obtenue par établissement, dans le circuit des gaz résiduels au début et à la fin de chaque période de soufflage, d'un tampon de gaz neutre (CO₂ et N₂) correspondant à un certain volume de gaz totalement brûlé, qui isole l'un de l'autre le gaz contenant du CO de la période d'affinage et l'air qui remplit le circuit des gaz résiduels lors des arrêts de l'installation.

Il est cependant survenu quelques explosions sans conséquences autres que matérielles, les clapets d'explosion ayant parfaitement joué leur rôle.

Une explosion s'est produite à une époque où la conversion en deux phases était fréquemment employée, à savoir au début de la deuxième phase de soufflage après un retard d'amorçage particulièrement long. Pour prévenir un nouvel incident de ce genre, les instructions de service ont été améliorées et le débit minimum de l'installation a été porté de 15 000 à 35 000 m³/h.

Les autres explosions ont été dues à une fuite d'eau importante dans le convertisseur pendant le soufflage (lance, hotte), soit à la projection de scorie liquide dans le fond de la tour de conditionnement où de l'eau pouvait s'accumuler par suite de l'obstruction de la conduite d'évaporation. Les causes d'explosion de ce type ont été éliminées en grande partie par l'amélioration de la technologie des lances, l'agrandissement de la tuyauterie d'évacuation de la tour de conditionnement et le remplacement de la chaudière par un cendrier. Le convertisseur est arrêté impérativement en cas de fuite du water-jacket à l'intérieur du cendrier.

En outre, la cheminée torchère a été munie en son sommet d'un convergent accroissant de la vitesse des gaz pour empêcher des retours de flamme.

De plus, on a monté un clapet de sécurité sur la volute du ventilateur. Enfin, pour éviter leur corrosion, les clapets d'explosion en zinc ont été échangés contre des membranes en acier inoxydable et certains d'entre eux ont été déplacés.

Malgré de multiples essais et de nombreuses modifications apportées au système de dépoussiérage, on n'a pas réussi pendant longtemps à réduire l'empoussiérage du gaz pur au-dessous du niveau de 200 à 250 mg/Nm³. Une amélioration considérable a été obtenue finalement grâce au montage de nouveaux ventilateurs de tirage par aspiration de 290 kW et ayant un débit de 100 000 m³/h (auparavant 110 kW et 70 000 m³/h). La teneur moyenne en poussière des gaz résiduels derrière le dispositif d'épuration pour la durée d'une charge a été maintenant mesurée : elle était de 160 mg/Nm³ dans un cas, et de 85 mg/Nm³ dans l'autre.

3.42 Dépoussiérage humide des gaz résiduels de convertisseurs LDAC captés sans combustion (Recherche PS 132)

La seconde recherche se poursuit depuis plusieurs années dans une aciérie équipée de convertisseurs LDAC de 160 t.

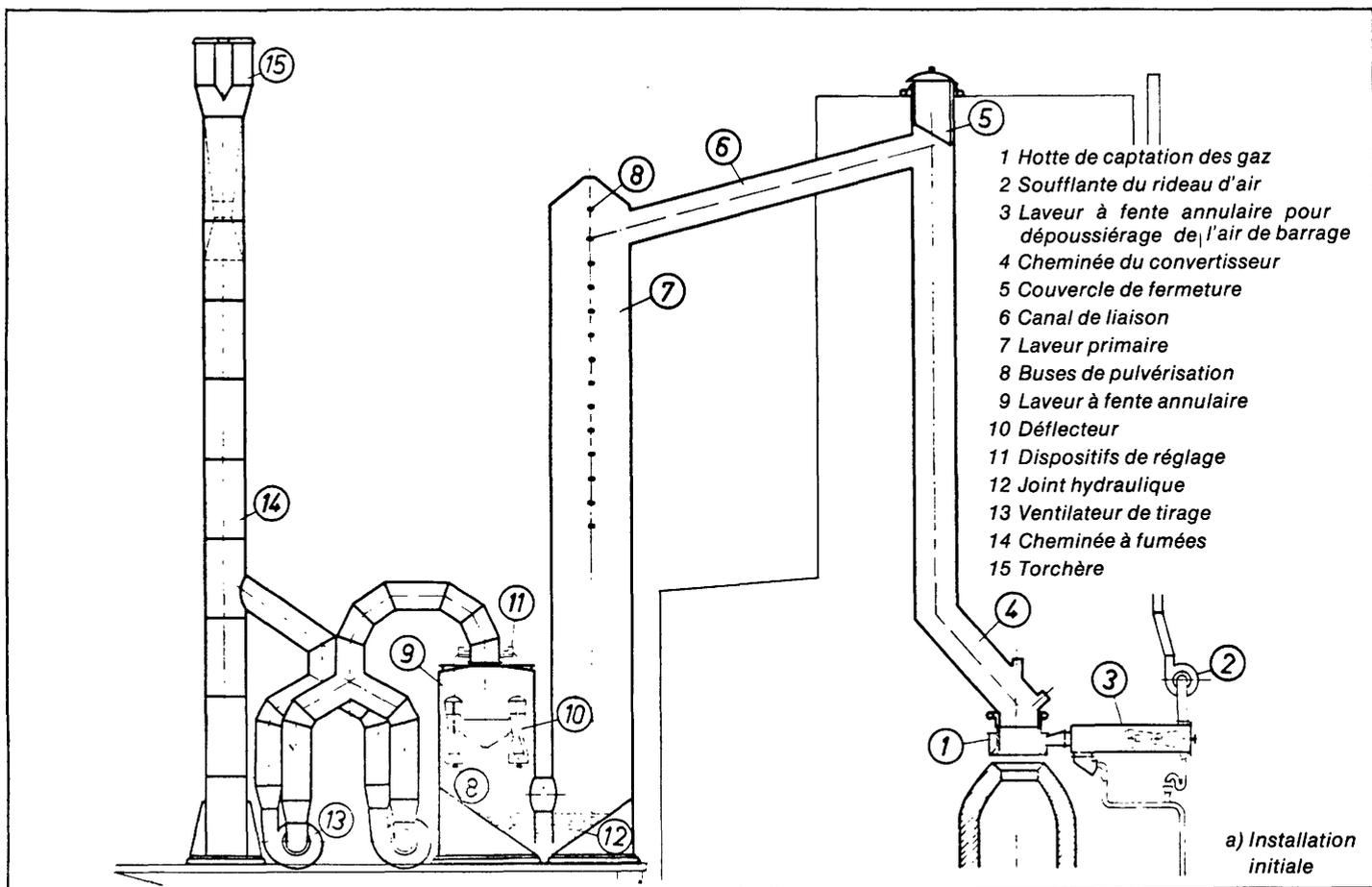


Figure 20 a

Dépoussiérage humide de gaz de convertisseur LDAC captés sans combustion (Schéma)
(Recherche PS 132)

On ne souhaitait pas produire de la vapeur de récupération. C'est pourquoi, selon les projets, les gaz résiduels de convertisseurs devaient être, autant que possible, aspirés non brûlés, puis dépoussiérés par voie humide par des moyens mécaniques. Les gaz résiduels ne trouvant aucune utilisation rentable en raison des deux périodes de soufflage et de la faible teneur en carbone de la fonte, devaient être brûlés en torchère. La figure 20a montre la disposition d'ensemble de l'installation de refroidissement et d'épuration des gaz résiduels.

Afin d'empêcher, d'une part, toute infiltration d'air dans le système de gaz résiduels, et, d'autre part, toute fuite de gaz par-dessus les bords de la hotte, une seconde hotte entourait la première; une soufflerie secondaire permettait d'en aspirer une quantité constante de mélange de gaz. Un régulateur giratoire commandé par la pression existante dans la hotte devait permettre que le tirage primaire n'aspire que la quantité de gaz réellement produite.

Eu égard au fait qu'avec le procédé LDAC ce système n'avait pas encore été essayé, la chaufferie et l'installation de dépoussiérage furent conçus de telle sorte que, même avec une carburation freinée de 0,3 %/mn au maximum, le fonctionnement soit encore assuré avec combustion complète des gaz résiduels. C'est pourquoi chaque convertisseur comportait deux souffleries ayant une capacité d'aspiration de 175 000 m³/h chacune.

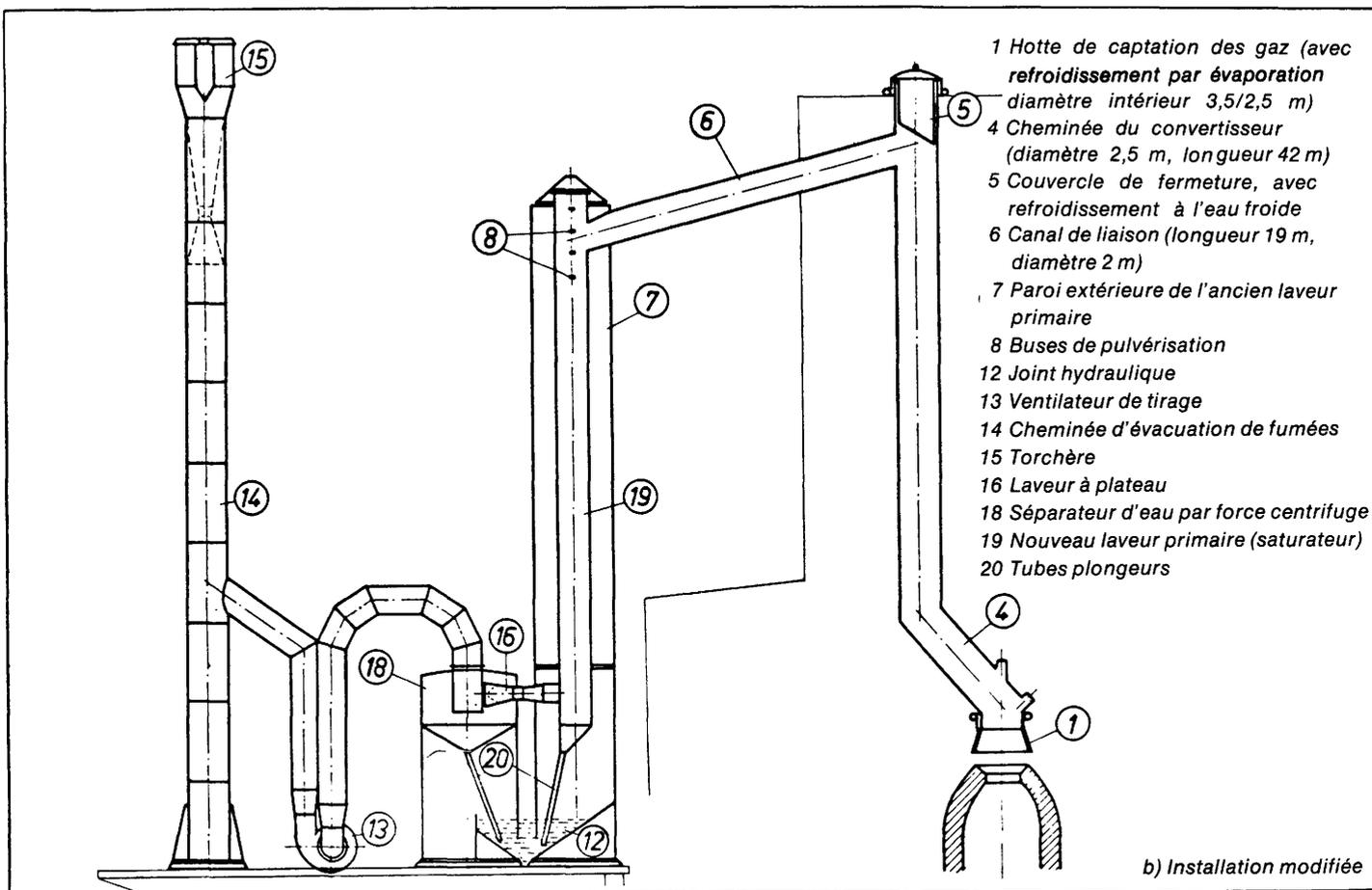


Figure 20 b

Dépoussiérage humide de gaz de convertisseur LDAC captés sans combustion (Schéma)
 (Recherche PS 132)

Après la mise en service de l'aciérie, on n'opéra tout d'abord qu'avec une combustion largement freinée. Comme toutefois la lance utilisée au début ne convenait pas pour le procédé LDAC, il se formait constamment des lours de métal et de scories qui obstruaient l'écran d'air de la hotte cylindrique d'aspiration ainsi que la cheminée même du convertisseur. De plus on utilisait au début de grandes quantités de chaux en pierre; or la combinaison des éléments fins de celle-ci avec le CO₂ contenu dans les gaz résiduels, il se forma des dépôts considérables dans les laveurs.

Enfin, des retours de flamme de la torchère et des étincelles projetées du convertisseur ayant produit de petites explosions dans le système des gaz résiduels, la hotte cylindrique à écran d'air utilisée jusque-là fut remplacée par une hotte conique monobloc, tandis que la quantité de gaz aspirée pendant le soufflage était réglée à un niveau fixe de 135 000 m³/h, ce qui correspond approximativement à 65 000 Nm³/h. Les graves difficultés causées par la formation de lours dans les cheminées des convertisseurs purent être éliminées par la mise en service d'une nouvelle lance à trois orifices et axes de jet parallèles tandis que la formation de dépôts calcaires dans les laveurs a pu être empêchée grâce à l'emploi exclusif de chaux en poudre.

Pendant deux ans l'aciérie a ainsi fonctionné sans difficultés jusqu'à ce qu'en 1966 il se produisit une violente explosion dans les installation de dépoussiérage de chacun des deux premiers convertisseurs. Dans l'un

des cas, outre le laveur à fente annulaire, le système d'aspiration fut aussi détruit. Les deux explosions eurent lieu pendant la pause entre la première et la seconde période de soufflage, après l'addition de ferraille. Il a été nettement établi que la cause de ces accidents était imputable à des sections trop grandes et à des variations brusques de section du circuit des gaz résiduels pour un régime à combustion freinée.

L'adoption d'un système de combustion complète n'étant pas justifiable du point de vue économique — la seconde soufflerie avait d'ailleurs été démontée dès 1965 — les installations de dépoussiérage des convertisseurs furent transformées. Le diamètre des préleveurs fut réduit de 5 à 2 m et le laveur à fente annulaire transformé en séparateur à eau, avec réduction considérable de son volume. En même temps, on mit en service un nouveau procédé de lavage fin avec lequel, à l'aide d'une seule tuyère tournante soufflant contre le courant des gaz, on a obtenu des teneurs en poussières des gaz purs régulièrement inférieures à 150 mg/Nm³ de gaz (fig. 20 b).

Il est encore prévu de fermer la fente entre le convertisseur et la hotte d'aspiration des gaz résiduels par une garniture abaissable, afin de pouvoir à nouveau opérer avec une combustion presque entièrement arrêtée. Il reste également un certain nombre d'autres essais à effectuer, par exemple pour améliorer la séparation de l'eau avant la sortie des gaz résiduels à l'air libre et améliorer la combustion en torche de ceux-ci.

La boue précipitée dans deux épaisseurs circulaires est drainée à l'aide de deux tambours filtrants à vide et elle est ensuite transformée en boulettes dans un four rotatif tubulaire. Mélangées à la boue brute recueillie en amont du bassin de décantation dans un séparateur par gravité et contenant encore environ 6 % d'humidité, les boulettes sont reprises par un atelier de frittage contre remise d'un avoir correspondant.

3.5 Aspiration des poussières et fumées des fours à arc (recherche PS 45)

Afin d'obtenir des données pour la conception des installations de dépoussiérage pour fours à arc produisant des aciers spéciaux, il a été accordé une aide financière pour une recherche portant sur une méthode efficace d'évacuation des gaz résiduels d'un four à arc basique de 15 t produisant des aciers à forte teneur en chrome.

Pour produire de tels aciers au four à arc, on opère, contrairement à la méthode employée pour produire des aciers non alliés, avec un gros apport d'oxygène lors de la fusion, afin d'obtenir le plus rapidement possible une température élevée du bain. Plus vite on y parvient, plus on brûle de carbone avant le chrome, ce qui réduit la perte de chrome. Cette méthode entraîne la formation pendant de courts intervalles, de grandes quantités de fumées à forte teneur en CO, dont l'évacuation et la combustion posent les problèmes techniques les plus divers en ce qui concerne la marche du four et le choix du système de dépoussiérage.

C'est ainsi, par exemple, que les hottes d'aspiration ouvertes, connues surtout aux U.S.A., placées au-dessus de l'ensemble du four et recouvrant les portes, les passages d'électrodes et le trou à laitier, ont causé des difficultés considérables dans l'exploitation des fours et ont exigé en outre, en raison des grandes quantités de fumées dues aux infiltrations d'air parasite, des installations de dépoussiérage vastes et coûteuses.

Lors de la recherche considérée, le gaz contenant des poussières et du CO était aspiré à la partie supérieure du four, mais il était évacué sans dépoussiérage à l'air libre au-dessus du toit de l'usine (fig. 21, 22, 23).

Si ce procédé supprime l'empoussiérage aux postes de travail des ouvriers sidérurgistes, il ne résoud évidemment pas le problème pour la population habitant aux environs de l'usine. Néanmoins, comme il a été dit, ces recherches visaient seulement à clarifier certaines conditions essentielles pour le dépoussiérage de telles fumées (qui a d'ailleurs été réalisé quelques années plus tard sur l'installation en question).

En fait des connaissances très utiles ont été acquises, non seulement sur le dimensionnement optimal du carneau du couvercle destiné à capter le gaz et la conception de la conduite d'aspiration qui y fait suite, mais aussi en ce qui concerne la composition, la quantité et la température des gaz résiduels, ainsi que le dégagement de poussières lors de la fusion et de l'affinage à l'oxygène gazeux.

C'est ainsi que, par exemple, on a constaté au cours des essais comportant des apports d'oxygène différents, que la section choisie du manchon du couvercle était trop petite pour capter les quantités de gaz produites avec un fort apport d'oxygène (environ 50 Nm³/min) et qu'il fallait, sur une grande longueur, refroidir par eau le tuyau d'aspiration afin de réduire la température des gaz résiduels du four. C'est pourquoi il n'a pas été possible de conserver le manchon d'aspiration mobile initial; un tuyau d'aspiration orientable dans sa partie antérieure et refroidi par eau sur une longueur de 13 m a été raccordé, en laissant subsister une petite fente de 10 mm environ, au manchon du four dont le diamètre intérieur avait été porté de 400 à 470 mm.

Il a été très intéressant de constater, entre autres, qu'il semble exister un rapport linéaire entre le dégagement d'oxyde de carbone et le dégagement de poussières. La teneur en poussières du gaz de gueulard produit s'est révélée lors des essais comme une constante s'établissant à 119 g/Nm³ de CO.

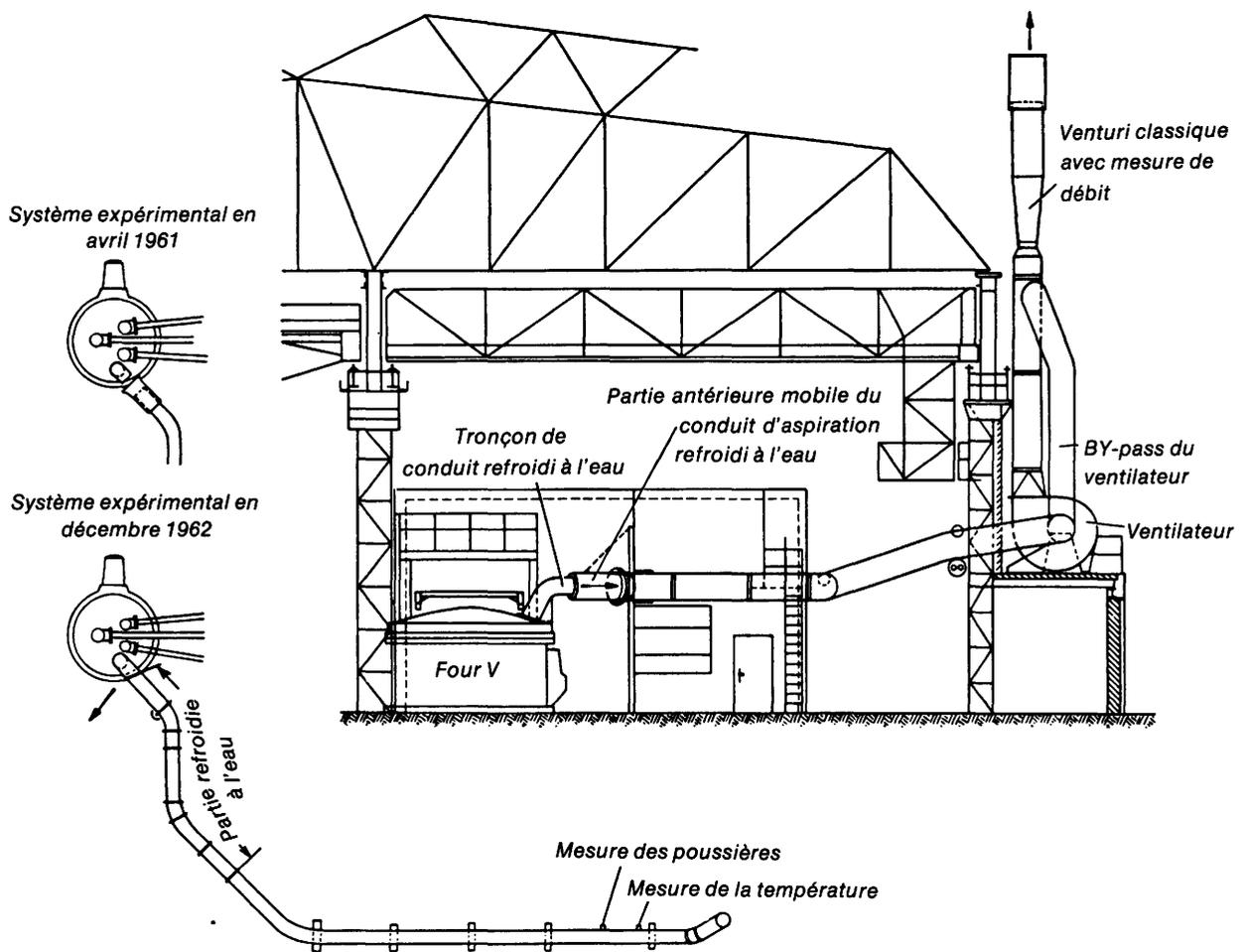


Figure 21

*Installation expérimentale d'aspiration sur un four à arc (Schéma)
(Recherche PS 45)*

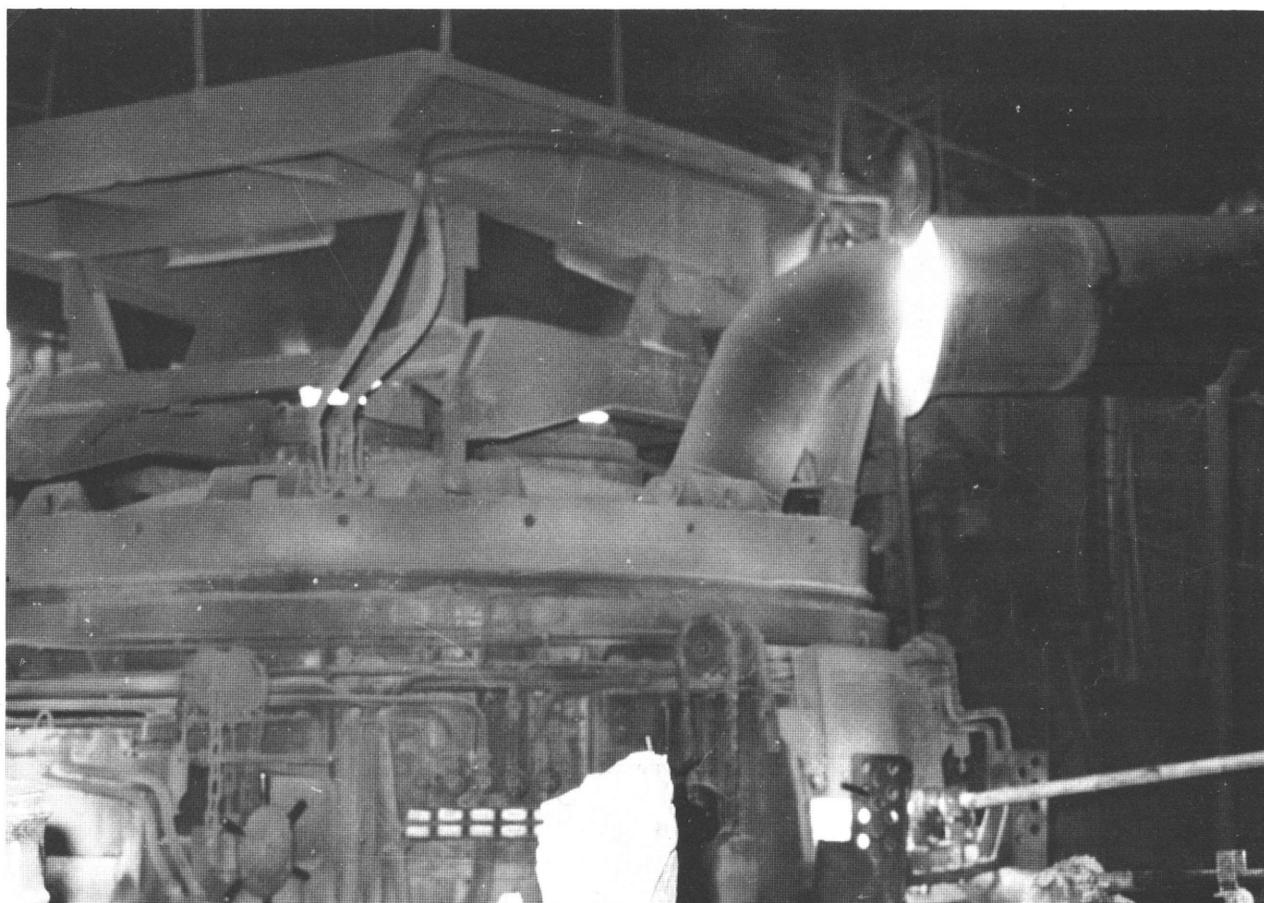


Figure 22

*Installation expérimentale d'aspiration sur un four à arc (Installation montée)
(Recherche PS 45)*

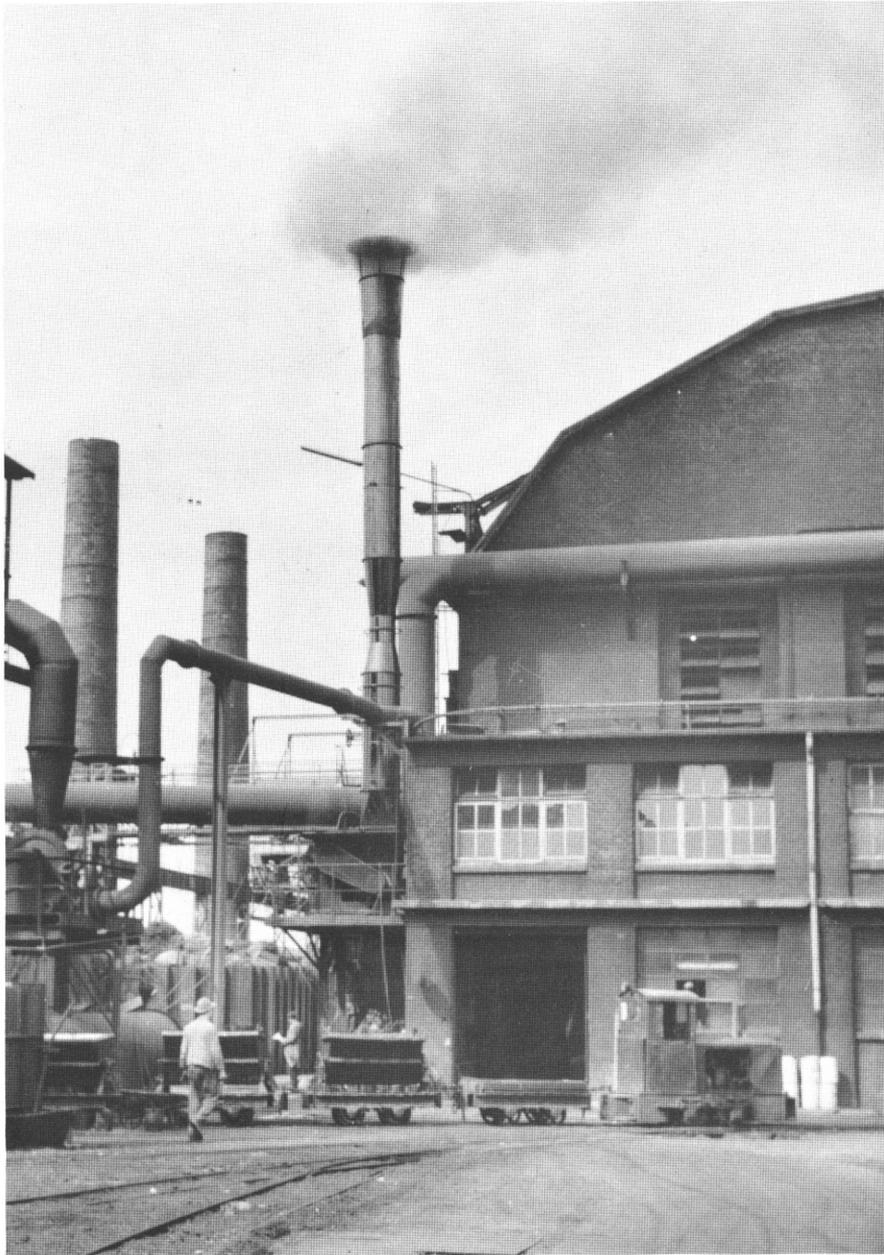


Figure 23

*Emission de fumées au four à arc
(Recherche PS 45)*

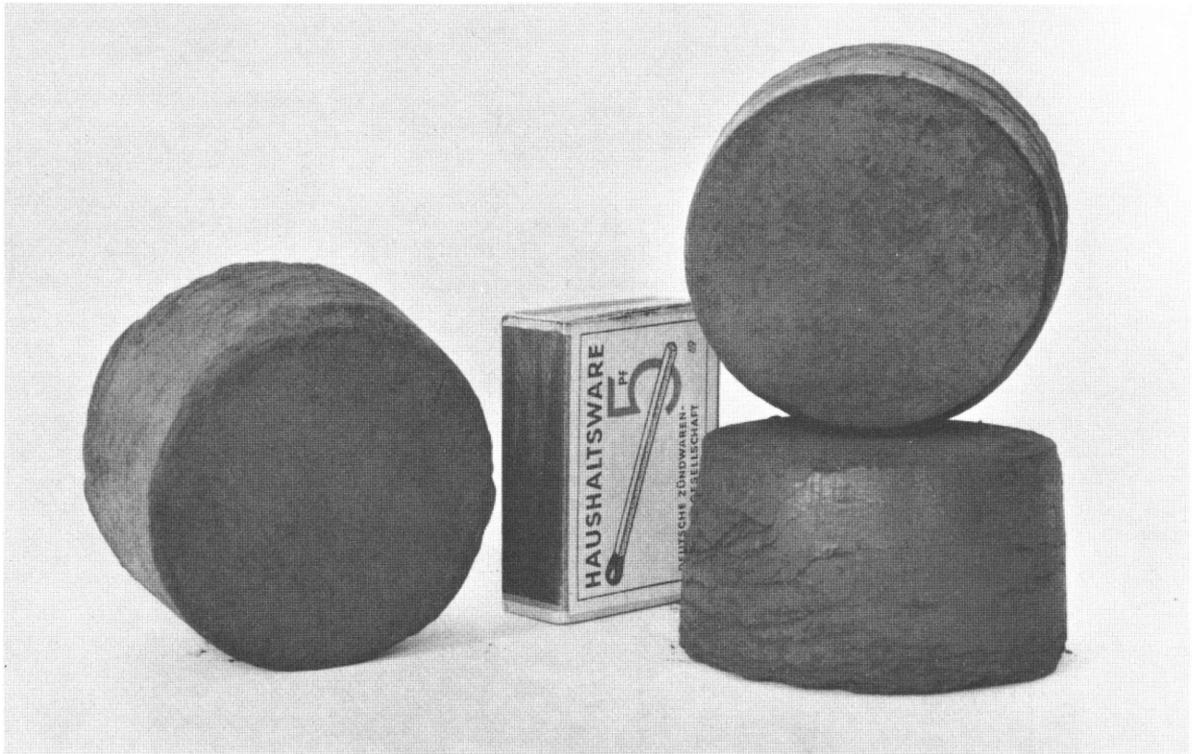


Figure 24

*Agglomérés de poussières rouges
(Recherche PS 102)*

3.6 Utilisation des fumées rouges précipitées (Recherche PS 102)

L'utilisation rentable des poussières et des boues provenant des fumées rouges a fait l'objet d'une recherche dont le but était de trouver, pour ce nouveau sous-produit des usines sidérurgiques, des possibilités d'emploi aussi favorables que celles qui existent, par exemple, pour le laitier de haut fourneau dont on fait du ciment ou pour les scories de convertisseur Thomas dont on tire la farine Thomas. En effet, cette idée vient naturellement à l'esprit étant donné les quantités importantes d'énergie de formation cristalline accumulées dans les particules des fumées rouges, la finesse et la stabilité chimique et thermique de celles-ci.

Dix emplois possibles ont été décrits de façon suffisamment précise pour pouvoir être essayés localement, après adaptation aux conditions de l'entreprise. Ceci a révélé que l'utilisation de ces poussières pour les travaux de consolidation du sol et des routes auxquels on avait pensé tout d'abord et qui, entre temps, ont aussi été expérimentés au Japon, ne correspondent pas assez à la valeur de la matière première.

On ne peut guère escompter trouver des utilisations entièrement nouvelles au sens de produits non encore offerts (ou pouvant l'être) sur le marché. Toutefois, une solution pourrait être trouvée avec la production de garnissages pour récipients à double paroi.

On peut également utiliser la poussière provenant de fumées rouges par la production de dalles et de carreaux, de mastic pour aires en ciment, de revêtements ou d'enduits muraux, ainsi que de matière colorante pour peintures.

Le chercheur recommande, comme étant la solution probablement la plus simple et la plus économique, d'agglomérer les fumées rouges, avec ou sans adjonction de poudre de chaux et/ou de tanin. Les agglomérés ainsi obtenus faciliteraient le réemploi des fumées rouges dans le convertisseur ou même au haut fourneau (fig. 24).

Il est actuellement encore difficile d'apprécier la rentabilité des divers emplois de la poussière provenant des fumées rouges, car cette matière première n'a pas encore de prix de marché. Celui-ci semble devoir être calculé différemment selon les usines.

4. LUTTE CONTRE LES AUTRES POUSSIÈRES ET GAZ RÉSIDUELS

4.0 Importance et problèmes

Si l'on considère les points d'émission des poussières et des gaz résiduels dans la sidérurgie (voir fig. 2 a-d), il n'est pas difficile de s'apercevoir que les «fumées rousses» dont il a été question au chapitre précédent ne constituent qu'une partie relativement faible, bien que très importante, des problèmes de lutte contre la pollution atmosphérique qui se posent à cette industrie.

Parmi les nombreux «autres problèmes» de lutte contre les poussières et les gaz résiduels, celui des «poussières silicogènes» s'est inscrit au premier plan lors de l'établissement des programmes-cadres de recherche.

Ceci a bon droit car, si le pourcentage des ouvriers de la sidérurgie exposés à un risque de silicose peut paraître faible, comparé par exemple à celui qui existe dans l'industrie minière, le triste sort des silicotiques ne laisse aucun doute sur l'importance primordiale de la lutte contre les poussières silicogènes.

Peuvent déclencher une silicose le quartz ou d'autres variétés d'acide silicique libre (SiO_2), sous forme cristallisée, contenues dans les poussières susceptibles de pénétrer dans le poumon. Soit considérées aujourd'hui comme ayant accès aux poumons, en général, les poussières d'une granulométrie inférieure à environ cinq millièmes de millimètre ($5\mu\text{m}$).

En dehors des différences de prédisposition personnelle et d'habitudes de vie de chacun, les éléments décisifs pour l'apparition d'une silicose sont la durée de l'exposition à la poussière, la concentration et la composition minéralogique des poussières respirées.

La nocivité des différentes variétés de silice augmente en allant du quartz à la cristobalite et à la tridymite.

Dans la sidérurgie, les poussières contenant de l'acide silicique se rencontrent principalement aux postes de travail suivants :

- réparation, restauration et enlèvement des revêtements réfractaires de fours industriels, cowpers, poches de coulée, jets de coulée, plaques de coulée en source, etc.,
- préparation du sable de moulage et du sable de noyautage à la fonderie, au vidage des châssis de moulage et à l'ébarbage des pièces moulées;
- sablage à l'air comprimé avec du sable quartzueux (par exemple de ponts, conduites de gaz de gueulard, etc., afin d'obtenir une surface propre à recevoir l'enduit protecteur nécessaire).

Selon les diverses sollicitations d'ordre thermique, chimique et physique auxquelles ses appareillages sont soumis, la sidérurgie utilise des pierres et terres réfractaires qui diffèrent beaucoup entre elles, non seulement par leurs propriétés physiques, mais aussi par le degré de risque silicotique qu'elles présentent.

Alors que, par exemple, les pierres basiques de magnésie, dolomie et de chrome-magnésie ne contiennent pas de substances silicogènes, les diverses briques de chamotte contiennent des quantités plus ou moins grandes de quartz et de cristobalite. Les pierres siliceuses sont même constituées pour plus de 90 % de quartz, de cristobalite et de tridymite.

Selon les températures atteintes dans la pierre et la durée de la campagne du four, le quartz se transforme, pour une grande partie, en cristobalite et en tridymite. La même chose se produit dans les couches de sable de moulage et de sable de noyautage composés de quartz qui touchent directement la pièce moulée. Les poussières soulevées lors du vidage des châssis de moulage, de l'ébarbage des pièces moulées et de la démolition des fours garnis de telles matières sont donc plus silicogènes que celles qui se dégagent dans les opérations effectuées avec du sable nouveau et de nouvelles pierres de chamotte et briques de silice.

Lors du sablage au sable quartzueux, le bris des grains forme des poussières très fines dont les surfaces fraîchement brisées paraissent avoir une activité silicogène particulièrement intense. C'est ainsi que l'on connaît des cas où, malgré le soin apporté aux mesures de sécurité (isolement du travail dans les locaux spéciaux avec système d'aspiration, port de vêtements protecteurs et d'appareils respiratoires), une forte proportion des ouvriers occupés à de tels travaux ont été atteints de silicose; cette affection s'est manifestée même chez des personnes qui ne travaillaient pas directement au sablage, mais séjournaient seulement souvent à proximité des installations.

Dans bien des cas, l'adoption de l'ébarbage humide avec pression d'eau et du sablage à la grenaille d'acier a permis d'obtenir une amélioration considérable des conditions d'hygiène. Mais dans divers autres cas, le procédé humide n'est pas applicable pour des raisons d'ordre technique et l'emploi de grenaille d'acier n'est pas possible, tant pour des raisons techniques, que pour des motifs ayant trait au prix de revient. Tel est le cas notamment lorsque les travaux de sablage ont lieu à l'air libre où, en règle générale, les abrasifs ne peuvent être récupérés et réemployés.

C'est la raison pour laquelle il a fallu jusqu'ici accorder régulièrement des autorisations exceptionnelles, par exemple aussi dans des pays où le traitement au sable (quartzeux) est, en principe, interdit.

La recherche de solutions techniques appropriées pour éliminer les risques silicotiques ci-dessus mentionnés doit, en particulier, porter sur les points suivants :

- trouver ou mettre au point des substances inoffensives appropriées pour remplacer les substances silico-gènes qui, jusqu'ici, paraissent irremplaçables pour des raisons d'ordre technique et économique;
- mettre au point des machines et des méthodes de travail qui permettent de réduire au minimum en durée et en nombre la présence de personnes dans la zone exposée aux poussières;
- éviter, grâce à l'emploi de liants, de soulever les poussières déposées, et précipiter les poussières en suspension dans l'atmosphère;
- mettre au point des installations appropriées pour aspirer et précipiter efficacement les poussières et assurer un apport d'air frais lors de travaux en ambiance chaude et dans des locaux étroits (maçons de fours);
- mettre au point des appareils de protection individuelle ne gênant pas ou guère le porteur dans son travail.

Parmi les autres problèmes de lutte contre la pollution atmosphérique dans la sidérurgie, il faut mentionner notamment les processus de travail en rapport avec la fabrication de la fonte.

Dans la mesure où les usines sidérurgiques disposent de leurs propres cokeries, la lutte contre les poussières et les gaz résiduels lors du défournement et de l'extinction du coke y pose les problèmes les plus difficiles, problèmes qui, jusqu'ici, n'ont pas encore été abordés dans le cadre des recherches patronnées par la C.E.C.A.

Mais la production d'agglomérés par frittage pose aussi, de plus en plus, des problèmes particuliers de lutte contre la pollution atmosphérique auxquels la C.E.C.A. s'est attaquée en partie.

Comme on le sait, pour des raisons d'ordre technique et économique, on utilise aujourd'hui, pour produire de la fonte, non seulement des minerais en morceaux et de la ferraille, mais aussi une forte proportion d'agglomérés. Ceux-ci se composent de fines de minerai à haute teneur en Fe, de cendres de pyrites provenant des fabriques d'acide sulfurique, de boues rouges de l'industrie de l'aluminium, de poussières de gueulard, de poussières des gaz résiduels de convertisseurs, etc., qui, par chauffage, ont reçu la forme de blocs poreux propres au traitement dans le haut fourneau.

Dans les installations de concassage et de calibrage du minerai, ainsi qu'au transbordement et à l'entreposage des matières premières d'agglomération de fine granulométrie, il se forme souvent de gros nuages de poussière qui, non seulement, incommode les travailleurs occupés à ces endroits, mais qui, lorsque le vent souffle dans certaines directions, peuvent même causer sur de grandes distances une gêne plus ou moins forte à l'intérieur et à l'extérieur des usines.

Dans les ateliers d'agglomération eux-mêmes, on compte parmi les principales sources d'empoussièrement, d'une part, les installations de transport, les appareils mélangeurs ainsi que les dispositifs de déversement des matières premières ainsi que, par ailleurs, les points où le gâteau aggloméré est déversé, concassé et criblé. On s'efforce, par précipitation des poussières sous pulvérisation d'eau, ou par aspiration desdites poussières suivie de séparation dans un dispositif central de dépoussièrement (par exemple appareil Multiklon, filtres à poche ou électrofiltres) de maintenir dans des limites supportables la gêne subie par le personnel du fait des poussières.

Les grandes quantités de gaz résiduels contenant des poussières qui sont aspirées sous les berlines et les poches chargées du mélange aggloméré incandescent, si elles ne posent pas de problème particulier de protection du personnel, constituent néanmoins un problème général de lutte contre la pollution atmosphérique.

Cette quantité de gaz résiduels dépend de l'importance de la surface d'aspiration; en général, on peut admettre que 70 m³ d'air environ sont aspirés par m² de surface d'aspiration. A une bande d'agglomération moyenne prévue pour environ 100 t d'agglomérés à l'heure, correspond une quantité d'environ 250 000 m³ de gaz résiduels à l'heure. Ces gaz sont plus ou moins dépoussiérés dans un ou plusieurs grands cyclones, ou dans des électrofiltres lorsqu'il s'agit d'installations modernes, avant d'être lâchés dans l'atmosphère par une haute cheminée. Mais ils contiennent, selon les matières premières et les combustibles utilisés, des quantités variables de substances nocives telles que plomb, arsenic, fluorures et SO₂.

Jusqu'ici, on ne connaît encore aucun procédé qui permette de précipiter ces substances nocives, dans les conditions données, d'une manière techniquement satisfaisante et économiquement supportable.

4.1 Lutte contre les poussières pour la protection des maçons de fours contre les poussières siliceuses (Recherche PS 101)

Une recherche concernait la protection des maçons de fours contre les poussières silicogènes dégagées par de vieux fours Martin chauffés au gaz. La partie inférieure de ces fours était surtout en briques de chamotte et de silice, tandis que la sole était en briques de dolomie et de chrome-magnésie. Mais des briques de silice avaient également été employées pour la voûte tout entière et une partie des carneaux à gaz et à air.

A l'occasion de travaux de démolition de ces fours, on a pu constater trois faits signifiant un risque coniotique accru :

- 1) Les changements fréquents de température rendent la pierre très friable. Aussi les travaux de démolition soulèvent-ils une poussière particulièrement fine, les briques étant déjà très fissurées. Par conséquent, la concentration de poussières fines est considérable à cette occasion.
- 2) Au moment des travaux de démolition, il règne dans les parois des fours des températures très élevées. En conséquence, la sécheresse de la maçonnerie, liée à la poussée ascensionnelle des gaz sous l'effet de la chaleur, a pour effet de disperser très rapidement les poussières fines.
- 3) Du fait de la température élevée de l'air, le travail est particulièrement pénible. D'où une intensité respiratoire particulière des maçons de fours. L'action filtrante des voies respiratoires supérieures est fortement sollicitée; elle est d'ailleurs moins efficace que dans les conditions normales de travail.

Afin de diminuer la température et la concentration des poussières, on a installé, pendant les travaux de démolition des parois et du foyer, ainsi que pour le nettoyage des chambres, un ventilateur aspirant de grande puissance qui devait produire un mouvement d'air du haut vers le bas. Toutefois, cette mesure n'a pas donné de résultats décisifs.

Le travail dans la partie supérieure, mais surtout dans la partie inférieure du four, était effectué à de très hautes températures. Les briques très chaudes provoquaient la formation d'un fort courant thermique qui gênait considérablement l'action du ventilateur. C'est ainsi que put se former, à hauteur de tête des maçons de four, une concentration de poussière considérable. Lorsque la température de l'air et de la maçonnerie est plus basse, les conditions sont sensiblement meilleures. Le courant d'air de haut en bas créé par le ventilateur peut agir plus efficacement et maintenir plus facilement le taux d'empoussiéage dans des limites supportables.

Pour améliorer la situation, trois mesures apparaissent possibles au premier chef :

- 1) Ne commencer les travaux de déblaiement et de démolition que lorsque la paroi du four s'est sensiblement refroidie;
- 2) Accroître le débit du ventilateur de manière à assurer un refroidissement rapide des chambres et assurer un aérage suffisant pendant le travail;
- 3) Accélérer le refroidissement des chambres de la partie inférieure du four en défonçant en temps utile les panneaux de maçonnerie au niveau du sol du four et du côté de la fosse de coulée.

En fin de compte néanmoins, le problème de la protection contre l'empoussiéage n'a pas été résolu par d'autres essais dans ce sens; il a trouvé une solution radicale par la transformation des fours à gaz mixte, dont la voûte et le revêtement des chambres étaient acides, en des fours chauffés au fuel, pourvus d'un garnissage basique et dont le déblaiement des chambres s'effectue désormais à l'aide de machines.

4.2 Utilisation de produits minéraux non silicogènes au lieu du sable quartzéux pour le sablage à l'air comprimé (Recherche PS 119)

Ainsi qu'il a déjà été indiqué plus haut, il n'était pratiquement pas possible, jusqu'ici, de *remplacer le sable quartzéux par des produits non silicogènes*, notamment lorsque le sablage est effectué à l'air libre.

Cela était dû au fait que l'on ne connaissait pas de substances de remplacement dont les poussières soient non seulement inoffensives, mais qui puissent aussi supporter la comparaison avec le sable quartzéux du point de vue de l'efficacité et du coût.

C'est la raison pour laquelle, dans le cadre d'une recherche bénéficiant de l'aide de la C.E.C.A., un grand nombre de produits minéraux (naturels et scories), dont la teneur en acide silicique libre devait être au maximum de 1 %, ont été étudiés en laboratoire afin d'établir si, en principe, ils pouvaient convenir à l'usage voulu. Des essais à grande échelle de sablage à jet libre ont été ensuite effectués, avec les matériaux reconnus les plus



Figure 25

*Ouvriers à la sableuse
(Recherche PS 119)*

prometteurs (il s'agit de certaines scories cuivreuses et de laitier de haut fourneau) (fig. 25). Ces essais ont également donné de bons résultats.

Si l'espoir devait se confirmer que les couches de peinture ne sont pas moins durables sur les surfaces traitées avec ces substances non silicogènes que sur celles qui l'ont été au sable quartzeux, rien ne s'opposerait plus à l'adoption générale de ces produits de remplacement.

4.3 Lutte contre les poussières dans les ateliers d'agglomération par frittage et au chargement des hauts fourneaux par transporteurs à bande (Recherche PS 1)

Une recherche a été consacrée à la lutte contre les poussières, notamment par pulvérisation d'eau, à la préparation du lit de fusion et dans les ateliers d'agglomération par frittage, aux points d'émission suivants :

- a) transport et déversement du coke dans les accumulateurs,
- b) transport et déversement des agglomérés dans les accumulateurs,
- c) chargement par bandes transporteuses du coke, du minerai et des agglomérés dans les hauts fourneaux.

La pulvérisation d'eau (fig. 26) a donné des résultats très intéressants.

Pour le transport du coke dans les accumulateurs, le nombre de particules de poussières de 5 à 0,5 millièmes de mm a diminué de 45 à 50 %; cette diminution a atteint 60 % pour le criblage du coke lors du chargement des hauts fourneaux par transporteurs à bande.

En un autre endroit où se forment des poussières très chaudes (transport des agglomérés directement à la sortie du système de refroidissement par air pulsé), la pulvérisation d'eau n'a donné aucun résultat. Aussi a-t-on recouvert les sources d'émission de poussières et précipité ces dernières à l'aide d'un dépoussiéreur humide «Airmix». On est ainsi parvenu à réduire de 80 % la concentration de particules de poussière respirables.

En ce qui concerne les pulvérisateurs, on a constaté, entre autres, que l'emploi d'eau épurée est de la plus grande importance pour assurer un fonctionnement satisfaisant; il semble aussi que celui-ci dépende davantage du choix d'un filtre approprié que du type de pulvérisateur.

L'empoussiérage a été mesuré à l'aide de précipitateurs thermiques.

4.4 Lutte contre les poussières au déchargement des minerais fins et à la préparation du lit de fusion (Recherche PS 121)

Une autre recherche a été consacrée à la lutte contre les poussières, au déchargement des minerais fins et à la préparation du lit de fusion.

Lors du déchargement de minerais fins (résidus Follidall) contenus dans des bennes spéciales dans les accumulateurs de l'atelier d'agglomération (fig. 27), on a réussi à réduire l'empoussiérage de 40 à 90 % par pulvérisation d'eau à laquelle étaient mêlées de petites quantités de mouillants tensio-actifs (environ 0,1 % de texapon).



Figure 26

Pulvérisation d'eau au-dessus d'une bande transporteuse dans un atelier d'agglomération (Recherche PS 1)

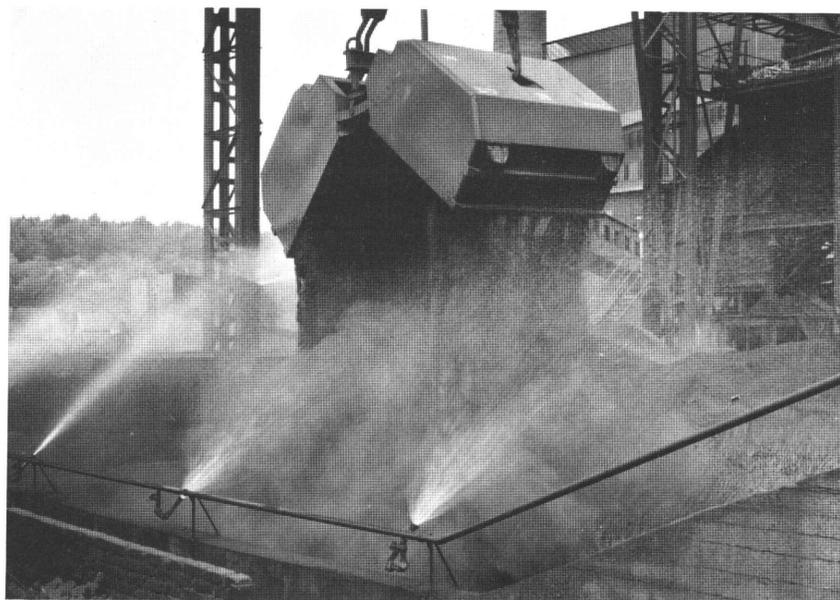


Figure 27

Pulvérisation d'eau contenant des éléments tensio-actifs sur les aires de stockage de fines de minerais

(Recherche PS 121)

En utilisant des feuilles adhésives de Diem, on a mesuré, par exemple, les retombées suivantes de poussières par m² et par mois, à 10 m et à 50-60 m de la trémie, avec une hauteur de chute de 2 à 3 m et une consommation spécifique d'eau de 0,16 m³ par t de minerais très fins.

	10 m	50-60 m
Sans pulvérisation d'eau	7,0 kg	1,0 kg
Avec pulvérisation d'eau recyclée	4,5 kg	0,25 kg
Avec pulvérisation d'eau recyclée additionnée de mouillants	3,0 kg	0,1 kg

La hauteur de chute et le taux d'humidité des fines de minerai livrées ont une influence considérable sur la quantité de poussières précipitées.

Les essais ont été effectués à l'aide de pulvérisateurs simples, en employant d'abord de l'eau normale, puis, plus tard, pour des raisons d'économie, de l'eau recyclée provenant de l'installation d'épuration des gaz. Cette eau avait une teneur en matières en suspension de 25 mg/m³ et une température voisine de 60° C, ce qui a eu des effets favorables sur la tension superficielle.

Le procédé a été essayé avec d'aussi bons résultats au culbuteur de wagons, lors du déchargement de matières premières dégageant beaucoup de poussières; entre temps, il a été aussi adopté pour le transport du minerai fin entre le minéralier et les wagons par bande transporteuse.

L'aspiration des poussières aux trappes obturatrices des accumulateurs a permis de réduire d'environ 80 % l'empoussiérage au poste de travail du conducteur de chariots de chargement et d'environ 50 % au couloir de préparation du lit de fusion situé à environ 3 m des trappes obturatrices. C'est ainsi, par exemple, que la concentration moyenne de poussières au soutirage des agglomérés était la suivante :

	au poste de travail	au couloir
– sans aspiration	219,1 mg/m ³	53, - mg/m ³
– avec aspiration	38, - mg/m ³	25,5 mg/m ³

4.5 Lutte contre les poussières lors de la granulation à sec du laitier de haut fourneau (Recherche PS 120)

Jusqu'ici la lutte contre les poussières lors de la granulation à sec du laitier de haut fourneau présentait de grandes difficultés.

Alors que la granulation humide donne un laitier contenant de 20 à 40 % d'humidité qui doit être éliminée à la cimenterie, les granulés obtenus par granulation à sec ⁽¹⁾ peuvent être traités tels quels. En effet, on n'emploie dans ce cas que la quantité d'eau nécessaire pour refroidir le laitier et cette eau s'évapore entièrement.

⁽¹⁾ Toutefois tel n'est pas le cas pour la production de ciments de haute qualité. Pour que les propriétés hydrauliques de ceux-ci soient bonnes, il faut une solidification amorphe, vitreuse du laitier, telle qu'on l'obtient par le refroidissement brusque sous l'effet de l'eau avec le système de granulation humide, mais non avec la granulation à sec.

Dans l'entreprise en question, le laitier du haut fourneau est transmis, en fusion, par les rigoles à laitier aux tambours rotatifs de granulation où il est effrité et refroidi par le vent d'une soufflante. Les tambours, qui sont enclinés dans le sens de l'écoulement, déversent les granulés obtenus sur un convoyeur ascendant à plaques de tôles bombées, qui amène le laitier dans deux accumulateurs de chargement.

Pour lutter contre les poussières soulevées, tous les points de déversement et voies d'écoulement étaient munis de carters et raccordés à un système de dépoussiérage à cyclone. Après la mise en service de l'installation, on a toutefois constaté que les particules de laine de laitier et de poussière mélangées à l'air d'échappement bouchaient les conduites d'évacuation et la soufflante, et formaient dans les accumulateurs de poussières un dépôt de fibres, au point qu'il devenait impossible de vider ces accumulateurs.

Il a donc fallu arrêter l'installation de dépoussiérage, si bien que les gaz s'échappaient directement à l'air libre, sans avoir été épurés. Cette situation a entraîné un encrassement inadmissible des installations voisines et des environs (fig. 28). Avec la recherche en question, bénéficiant de l'aide de la C.E.C.A., on a d'abord essayé d'empêcher la formation de laine de laitier et de poussière lors de la granulation en réglant le débit de laitier, le débit de vent et la vitesse du vent à la sortie de la tuyère (fig. 29). Mais il apparut que l'amélioration de l'opération de granulation ne permettait pas de renoncer totalement au dépoussiérage de l'air d'échappement; finalement, on a monté au-dessus de la sortie des tambours de granulation une hotte double en tôle d'acier (fig. 30), chaque hotte étant munie de deux conduites comportant en tout 50 buses débitant chacune 2 m^3 d'eau par heure sous une pression de 4 kg/cm^2 eff., qui ramènent la poussière des gaz d'échappement de $4,5$ à $0,5 \text{ g/m}^3$. Ainsi, les exigences des services de contrôle étaient intégralement satisfaites.

Au bout de quelques semaines de marche, on a constaté que la partie inférieure de la hotte, qui était en contact avec l'eau de lavage, était soumise à une forte usure par les gaz d'échappement contenant du soufre et les substances solides particulièrement abrasives mélangées à l'eau sale.

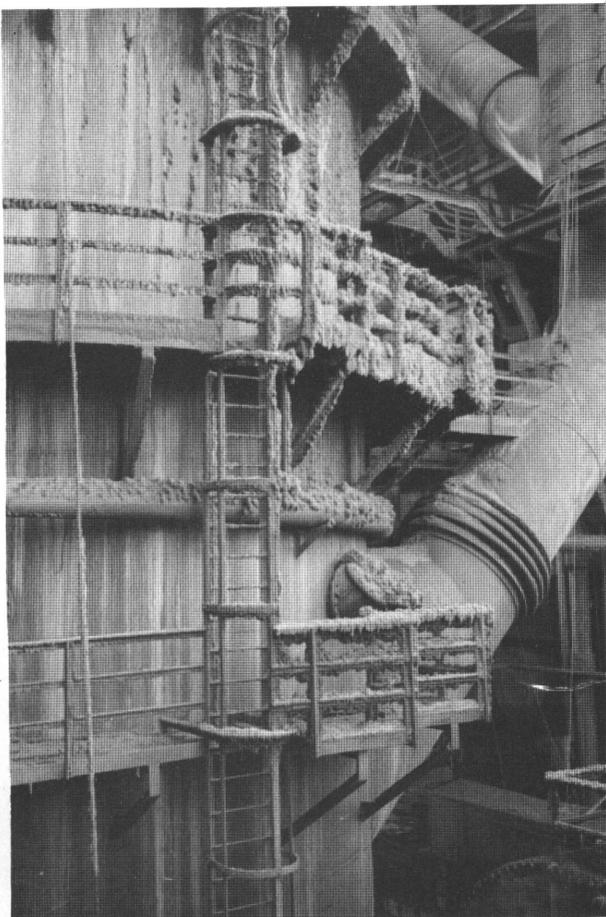
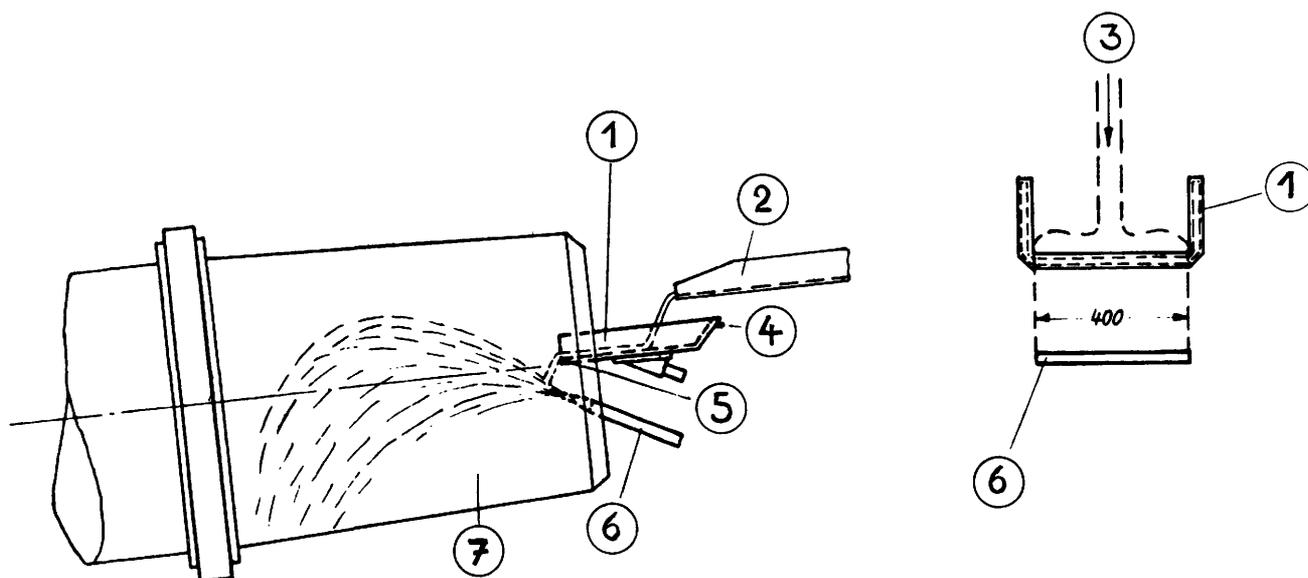


Figure 28

Parties d'une installation de hauts fourneaux encrassées faute de dépoussiérage lors de la granulation à sec du laitier

(Recherche PS 120)



1 Rigole vibrante refroidie
2 Rigole à laitier

4 Entrée d'eau
5 Sortie d'eau
6 Soufflage d'air
7 Tambour granulateur

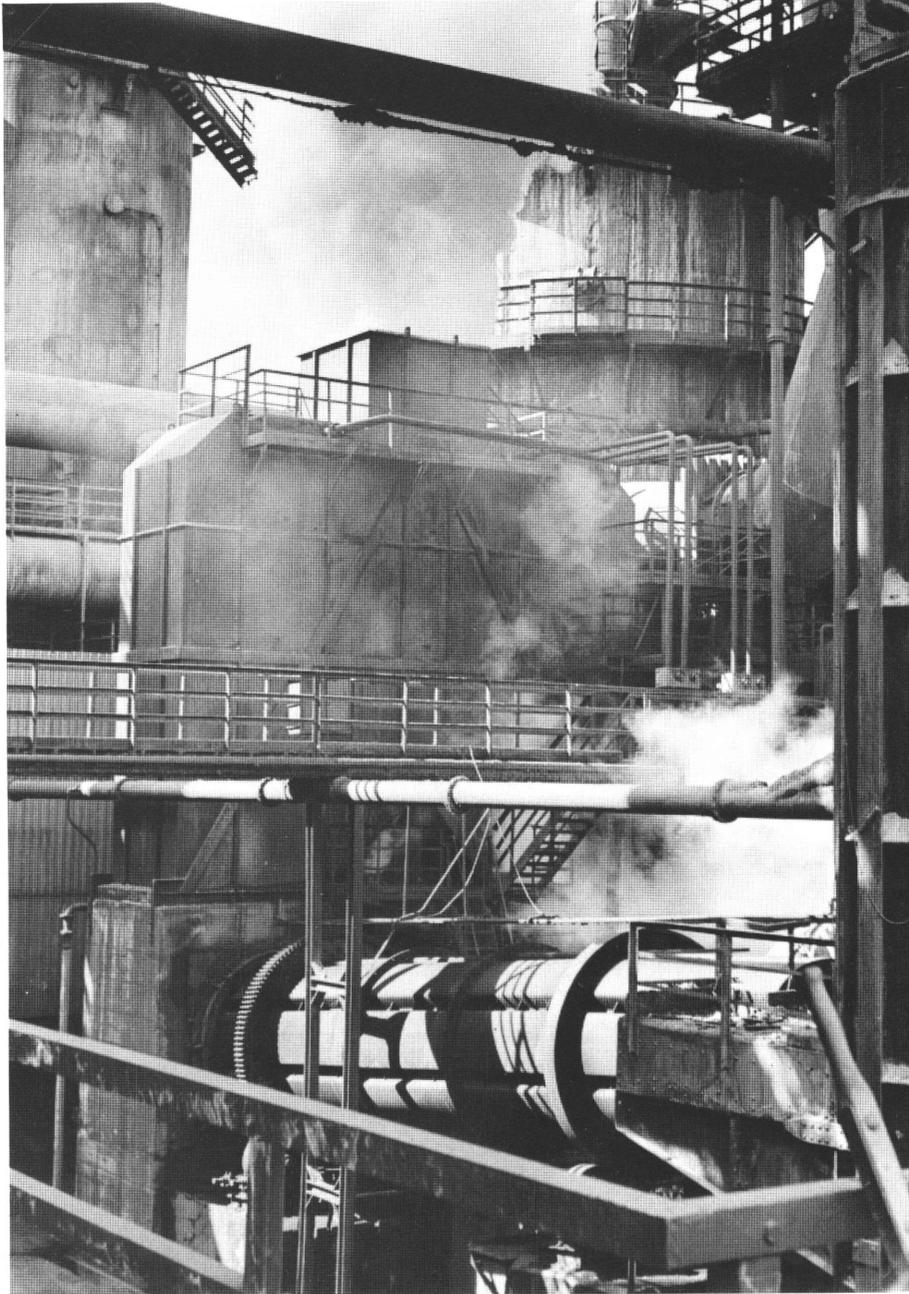
Figure 29

Granulation à sec du laitier (Schéma)
(Recherche PS 120)

On y a porté remède avec succès en prenant les mesures suivantes :

- pour l'infrastructure de la hotte qui, pour des raisons techniques de construction, devait être conçue en béton armé, on a utilisé un béton isolant résistant aux acides qui a été appliqué et lissé sous pression (gunitage) sur l'infrastructure en béton armé,
- pour les éléments en tôle en contact avec l'eau, on a utilisé un acier ferritique-perlitique (Novonox F 13 AL comportant environ 0,06 % C, 13 % Cr et, pour réduire le durcissement à l'air et la sensibilité aux criques de soudage, une teneur en AL d'environ 0,16 % ajoutée par alliage), les autres éléments en tôle ayant été réalisés en tôle d'acier Thomas calmé dans la qualité TR 37, DIN 17 100.

Après filtrage des substances solides, les eaux résiduaires contenant du cyanogène sont épurées, en même temps que les eaux résiduaires provenant de l'installation d'épuration électrique du gaz de gueulard, dans un bassin de décantation équipé d'un cyclone et, après traitement, elles sont réutilisées dans un circuit commun et entièrement fermé.



- 1 Hotte de dépoussiérage humide
- 2 Tambour granulateur

Figure 30

*Granulation à sec du laitier (Installation montée)
(Recherche PS 120)*

5. RÉCAPITULATION ET CONCLUSIONS

L'introduction de ce rapport rappelle les sources principales de poussières et de gaz résiduaux, provenant de la sidérurgie, et qui provoquent la pollution de l'atmosphère à l'extérieur et à l'intérieur des installations sidérurgiques. On y indique également les modalités de la promotion des recherches par la Communauté européenne du charbon et de l'acier dans ce domaine.

Dans les trois chapitres suivants, après avoir traité d'abord des problèmes généraux, sont rapportés les résultats relatifs à 30 recherches ayant bénéficié de l'aide financière de la C.E.C.A.

A la fin du rapport, on trouvera un rapport synoptique (fig. 31) qui donne un aperçu rapide sur les divers organismes chargés des recherches, l'objet des recherches, les résultats obtenus et les publications ou documents C.E.C.A. parus à ce sujet.

En résumé on peut constater ce qui suit :

1. En ce qui concerne la mesure des poussières et des gaz, il a été effectué 16 recherches, dont :
 - 9 recherches ayant pour objet la comparaison, le perfectionnement ou l'élaboration de nouveaux appareils et procédés de mesure des poussières,
 - 5 recherches portant sur la mesure de l'empoussiérage aux postes de travail,
 - 2 recherches concernant l'émission et l'immission de poussières et de gaz.

En ce qui concerne la *comparaison d'appareils de mesure des poussières*, une recherche commune effectuée par 6 instituts (de 4 pays de la Communauté et d'Autriche) a permis d'acquérir des connaissances importantes pour l'harmonisation des procédés d'échantillonnage et de mesure de l'empoussiérage. Bien que certaines questions exigent encore une étude approfondie il est établi dès maintenant que les procédés par gravimétrie constituent la base la plus sûre pour procéder à des comparaisons des valeurs d'empoussiérage.

Néanmoins, pour certains usages, les mesures par comptage de particules conserveront leur importance.

Pour ce qui est du *perfectionnement et de l'élaboration de nouveaux appareils de mesure des poussières*, il convient tout d'abord de mentionner la mise au point d'un petit collecteur gravimétrique de poussières à grand débit d'air que l'ouvrier peut, sans difficulté, porter sur son dos même lorsqu'il se déplace fréquemment et qui, grâce à une tête d'aspiration, permet de mesurer l'empoussiérage dans la zone respiratoire du travailleur.

En ce qui concerne le comptage des particules des progrès considérables ont également été réalisés. Ils vont de la détection et de l'élimination de nombreuses possibilités d'erreurs dans le travail à l'aide de filtres à membrane et de clarifiants à l'établissement d'un étalon commode, invariable tant numériquement que du point de vue de la technique de mesure, pour la visibilité microscopique et le comptage des particules de poussières.

Des succès appréciables ont été obtenus dans la détermination de l'origine des poussières qui se concentrent en des zones d'immission quelconques. C'est ainsi, par exemple, que le perfectionnement des procédés au microscope a permis de distinguer, dans les poussières mixtes que l'on trouve d'ordinaire dans la sidérurgie, entre les particules d'oxyde de fer provenant de processus métallurgiques et celles de minerais de fer tant lorrain que suédois, de même qu'entre des particules de coke provenant de fours à coke et celles de foyers fonctionnant au charbon pulvérisé. De plus il est apparu qu'un procédé par microsonde était très utile pour identifier les poussières fines qui souvent proviennent de sources éloignées du lieu de l'immission.

Par ailleurs, des appareils de mesure et d'enregistrement automatique continu de la concentration de poussières, fonctionnant par contact électrique, ont été construits ou perfectionnés et se sont révélés extrêmement utiles pour la surveillance de certains postes de travail, installations de filtrage, etc. Il va s'agir maintenant d'éprouver la fiabilité de ces appareils dans les conditions de la pratique et d'éliminer les défauts de construction ou de procédés qui pourraient éventuellement apparaître.

Les *mesures d'empoussiérage à différents postes de travail*, considérées de prime abord seulement comme des recherches-pilotes, ont confirmé que, dans la sidérurgie, certains travaux tels que la démolition des fours Martin, la taille, le polissage et le maçonnerie des pierres réfractaires, ou le décochage, l'ébarbage et le polissage de pièces coulées dans des moules de sable, peuvent le cas échéant entraîner des risques de silicose considérables.

Pour avoir une idée plus précise de la pollution atmosphérique à l'intérieur des usines sidérurgiques et dans leurs environs immédiats, il faudra encore néanmoins procéder à des recherches systématiques bien coordonnées, et, autant que possible, en employant les mêmes procédés d'échantillonnage et d'analyse. A cette occasion il faudrait aussi s'efforcer, en collaboration avec d'autres organisations internationales intéressées, de parvenir à une harmonisation des formules pour l'appréciation des risques coniotiques, et notamment du risque de silicose.

Au cours des études sur l'émission et l'immission de poussières et de gaz, il a été clairement reconnu qu'il existait des rapports entre l'augmentation de la teneur en fluor et en soufre des plantes, d'une part, et la direction principale du vent, les matières enfournées et les gaz résiduels non dépoussiérés des fours électriques et Martin, d'autre part. En outre, les procédés analytiques de détermination correcte de la teneur en fluor ont été très considérablement perfectionnés.

De plus, les conditions d'adsorption des combinaisons de fluor — le fluor simple n'existe pratiquement pas dans les gaz résiduels des usines sidérurgiques — ont été mises en lumière, en même temps que les moyens de les supprimer.

2. Grâce à 9 recherches (les résultats définitifs d'une 10e recherche ne sont pas encore connus), *la lutte contre les «fumées rousses»* a enregistré des progrès considérables, bien que tous les objectifs des recherches n'aient pas été pleinement atteints et qu'il ait surgi entre temps bien des problèmes nouveaux qui ne pourront être résolus que par des recherches nouvelles.

Parmi les recherches couronnées de succès, il faut citer en premier lieu le dépoussiérage des gaz d'un convertisseur Thomas à soufflage par le fond, à l'aide d'un électrofiltre à voie sèche. Mais cette recherche a aussi montré que l'installation de dépoussiérage prend plus de place qu'il n'en existe, en général, dans les aciéries Thomas dont la plupart sont assez anciennes et que l'utilisation de la vapeur d'échappement, nécessaire pour assurer la rentabilité du procédé, exige des conditions qui ne sont pas remplies dans bien des usines.

Ainsi la question d'un procédé approprié de dépoussiérage demeure-t-elle toujours ouverte pour les aciéries Thomas encore en service; comme on le sait, beaucoup ont été remplacées entre temps par des aciéries à soufflage par le haut, notamment en raison du problème de la pollution atmosphérique.

Malheureusement, l'espoir de pouvoir diminuer très considérablement tant le coût des installations de dépoussiérage que leurs dimensions, grâce à la mise au point d'un procédé électrostatique de type nouveau pour la précipitation des fumées rousses à températures élevées, ne s'est pas encore réalisé. Après des débuts très encourageants, d'abord en laboratoire, puis au stade semi-technique, la troisième recherche engagée à ce sujet a donné des résultats décevants par suite de défauts de structure de l'installation expérimentale construite à l'échelle industrielle.

En revanche, des résultats excellents ont été obtenus pour le dépoussiérage avec des filtres à poche des gaz de convertisseurs LD entièrement brûlés. Les risques de combustion des tissus en matière synthétique, en coton et matières similaires lorsque les températures dépassent 100 à 150 degrés, ou d'engorgement par les poussières humidifiées lorsque l'aspersion d'eau de refroidissement est trop forte, risques qui s'opposaient jusqu'ici à l'emploi de tels filtres pour l'épuration de ces gaz, ont été éliminés notamment en disposant derrière la cheminée du convertisseur un gros échangeur de chaleur du genre Cowper. Dans l'intervalle, ce procédé a été adopté dans différentes aciéries, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de la Communauté.

Si l'on parvenait à fabriquer des filtres en tissu supportant des températures de 600° C et plus et suffisamment résistants aux contraintes mécaniques du nettoyage, cela pourrait, sans aucun doute, permettre de développer bien davantage l'emploi des filtres à poche dont l'efficacité au dépoussiérage est bien connue.

Afin de réduire au minimum les dimensions des installations de dépoussiérage et les frais d'exploitations de celles-ci, des procédés différents ont été perfectionnés dans le cadre de deux recherches. Ils consistent à empêcher, dans une large mesure, par un système approprié de captage et d'aspiration, la combustion des gaz de convertisseur avant l'épuration. Pour des raisons de sécurité, le dépoussiérage des gaz résiduels contenant de l'oxyde de carbone et dont le mélange avec l'air dans certaines proportions est explosif, s'effectue par voie humide.

Dans les deux cas, les résultats obtenus au dépoussiérage ont été satisfaisants. Toutefois, l'inconvénient principal de ces installations demeure la forte consommation d'énergie des laveurs par voie humide et le problème aussi gênant que coûteux que posent les eaux et les boues.

Dans ces circonstances, il serait incontestablement d'une grande importance pour la sidérurgie que les moyens récemment proposés de dépoussiérage à sec des gaz de convertisseurs, captés imbrûlés avec protection simultanée contre le risque d'explosion, se révèlent applicables.

En ce qui concerne le captage des fumées rousses produites au four électrique lors de l'affinage à l'oxygène, des connaissances utiles ont été acquises tant en ce qui concerne les dimensions à donner au manchon de captage dans le couvercle du four que la conception de la conduite d'aspiration qui fait suite au manchon.

Des essais d'utilisation rentable des poussières et des boues provenant des fumées rousses ont permis de mettre en lumière un certain nombre de possibilités, dont la plus simple et la plus économique est sans doute le réemploi facile après agglomération des poussières dans le convertisseur ou dans le haut fourneau.

3. Pour la lutte contre les autres sources de pollution atmosphérique, il a été effectué 5 recherches.

Bien que cela n'ait permis de combler qu'une petite partie des lacunes existant dans nos connaissances en cette matière, des progrès très considérables n'en ont pas moins été réalisés en l'espèce.

C'est ainsi, par exemple, que l'on a trouvé des moyens de protéger les maçons de fours contre les poussières siliceuses; la gamme de ces moyens s'étend du recours à une méthode de travail et à un aérage adéquats lors des travaux de démolition des fours Martin au garnissage basique des fours, en passant par le déblayage mécanique des chambres.

Pour remplacer le sable quartzéux silicogène, auquel on ne pouvait entièrement renoncer jusqu'ici pour le sablage à l'air comprimé, on a trouvé des abrasifs minéraux non silicogènes qui supportent très bien la comparaison avec le sable quartzéux pour ce qui est de l'efficacité et des coûts.

Il est vrai qu'on ignore encore quelle sera la durabilité des couches de peinture appliquées sur des surfaces débarrassées auparavant, à l'aide de ces nouveaux abrasifs, des traces de rouille, d'anciens vernis, etc. Toutefois, il ne devrait pas être difficile de dissiper par une nouvelle recherche cette incertitude qui, jusqu'ici, s'oppose encore à l'abandon complet du sable quartzéux pour le sablage à l'air comprimé des ponts, conduites de gaz de gueulard, etc.

Dans les ateliers d'agglomération et pour le chargement des hauts fourneaux par bandes, de même que pour le transbordement de minerais fins à l'aide de bennes spéciales et de basculeurs de wagons, ainsi qu'au poste de travail du conducteur de chariots de chargement, des mesures de lutte contre les poussières, spécialement adaptées aux conditions données, se sont révélées très efficaces. Elles consistent, pour une part, à capter les poussières à la source et aussi à pulvériser de l'eau, additionnée ou non d'agents mouillants.

Enfin, par pulvérisation d'eau dans une hotte d'aspiration spéciale, on a pu résoudre aussi un problème d'empoûssiérage extrêmement désagréable qui se posait lors de la granulation à sec du laitier de haut fourneau.

Comme il a été indiqué plus haut, en dépit de tous les succès obtenus, il reste aussi encore beaucoup à faire dans ce dernier secteur.

C'est ainsi, par exemple, que le problème de la lutte contre les poussières causées par le défournement du coke n'a pas encore trouvé de solution pratique, non plus que celui de la prévention des émissions de SO₂ dans les ateliers d'agglomération. De même il faut encore citer certains problèmes nés de l'application de mesures de lutte contre la pollution atmosphérique, tels que la décontamination des poussières, boues et eaux résiduaires.

De plus, un vaste champ de recherche reste ouvert, par exemple, pour l'élimination satisfaisante des poussières précipitées et l'amélioration des appareils de protection individuelle.

Tous les efforts déployés pour lutter contre la pollution de l'air devront à l'avenir, comme ce fut le cas jusqu'à présent, porter essentiellement sur la recherche de solutions applicables dans la pratique, c'est-à-dire que sur le plan technique, elles devront pleinement satisfaire aux exigences inéluctables que pose une protection efficace de la santé, tout en restant économiquement supportables pour la sidérurgie communautaire engagée dans une dure concurrence internationale.

Figure 31 a – Tableau synoptique des recherches C.E.C.A. pour

Mesure des poussières et des gaz

Comparaison, perfectionnement

Désignation abrégée (traitée au chapitre indiqué)	Recherche effectuée par	Objet de la recherche
PS 150 (2.11)	Clinica del Lavoro, Milan Institut Nat. de Recherche Chimique Appliquée (Ircha), Paris Silikose-Forschungsinstitut, Bochum Staubforschungsinstitut, Bonn Instituut voor Gezondheidstechniek, T.N.O., Delft Verein Deutscher Eisenhüttenleute, (V.D.E.h.), Düsseldorf Österreichische Staub-(Silikose)-Bekämpfungsstelle, Leoben	Harmonisation des procédés de mesure des poussières. Comparaison des appareils et procédés d'échantillonnage des poussières
PS 139 (2.12)	Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Bonn Langwartweg 103	Mise au point d'un appareil portatif de mesure des poussières à grand débit d'air
PS 10 (2.13)	Clinica del Lavoro dell'Università di Milano Via S. Barnaba 8, Milano	Emploi de membranes micropores
PS 37 (2.14)	Association des Industriels de Belgique (A.I.B.), Bruxelles 16 27-29, avenue André-Drouart	Essai de mise au point d'une méthode simple de détermination de la teneur en SiO ₂ libre
PS 135 (2.15)	Institut National de Recherche Chimique Appliquée (Ircha), Paris-4e 12, Quai Henri-IV	Établissement d'un étalon pour la limite de visibilité au microscope et pour le comptage des particules
PS 141 (2.16)	Ircha, Paris-4e 12, Quai Henri-IV	Mise au point d'un appareil électro-acoustique pour déterminer la granulométrie des aérosols
PS 35 (2.17)	Centre Belge d'Étude et de Documentation des Eaux (Cebedeau), Liège 2, rue Armand-Stévert	Détermination de l'origine des poussières à proximité des ateliers d'agglomération
PS 15 (2.18)	Prof. Dr. Ing. Eugen Feifel, Vienne, und Dr.-Ing. Rudolf Prochazka, Munich Pfarrstrasse 3 (Bayer. Landesinstitut für Arbeitsschutz)	Essais et perfectionnement d'un appareil enregistreur continu pour la mesure de l'empoussiéragé à grand débit d'air (50 m ³ /h) fonctionnant par contact électrique
PS 138 (2.18)	Staubforschungsinstitut, Bonn Langwartweg 103	Mise au point d'un appareil enregistreur pour les poussières, à faible débit d'air (6 m ³ /h) fonctionnant par contact électrique.

la lutte contre la pollution atmosphérique dans la sidérurgie

et mise au point d'appareils et de procédés de mesure des poussières

Résultats	Publications et documents CECA
Concordance satisfaisante pour la détermination granulométrique des concentrations de poussières. Concordance non satisfaisante pour la détermination du nombre de particules; toutefois, on a réussi à convertir les résultats obtenus pour les appareils utilisés avec un écart standard de 15 %.	Avy, A. P., Benarie M. et Hartogensis, F.: Staub-Reinhalt. Luft 27 (1967), p. 469/80. Poll. Atm. 10 (1968) n° 37, p. 1/16.
Appareil collecteur de poussières de 24 × 24 × 14 cm, pesant environ 8 kg et d'un débit d'air de 10 m ³ /h que l'ouvrier porte sur son dos. Un dispositif de mesure des quantités d'air avec élément flexible aboutissant à la tête d'aspiration permet de mesurer avec précision l'empoussiéragé de la zone respiratoire.	Winkel, A. und Coenen, W.: Staub-Reinhalt. Luft 26 (1966), p. 9/11. Le texte existe en traduction française doc. C.E.C.A. n° 1546/67 f
Constatation de possibilités d'erreurs et manière de les éviter lors du comptage de particules de poussières précipitées sur des filtres à membrane.	Document C.E.C.A. n° 5238/64 d, f et i.
Le but de la recherche n'a pas été atteint mais quelques résultats accessoires intéressants ont été obtenus en ce qui concerne les clarifiants pour membranes de filtres.	Doc. C.E.C.A. n° 5239/64 d et f.
On est parvenu à établir un étalon à la fois invariable quant aux chiffres et à la technique de mesure et commode.	Benarie, M.: Poll. Atm. 6 (1964) n° 21, p. 32/48 – Staub 24 (1964) p. 514/20 – Doc. C.E.C.A. n° 6874/65 f.
Le but de la recherche n'a pas été entièrement atteint, mais on a reconnu qu'il existe d'autres possibilités d'appliquer ce principe aux problèmes de mesure de l'empoussiéragé.	Rapport original de l'Ircha du 28-12-1964. Le texte existe en traduction allemande (doc. C.E.C.A. n° 485/65 d). Voir aussi Avy, A. P. et Benarie Staub 24 (1964), p. 343/44.
Par le perfectionnement des méthodes d'analyse, on est parvenu à identifier les poussières et à distinguer, par exemple, des particules de fer et de charbon d'origine différente, ce qui a permis de localiser des sources d'émission, même éloignées.	Doc. C.E.C.A. n° 7217/65 d et f.
Sensibilité réglable dans des secteurs étendus de 3 g à 1 millionième de g/m ³ . Possibilité de mesurer et d'enregistrer régulièrement à la fois la concentration de poussières fines respirables et la concentration totale de poussières.	Diverses publications, entre autres Prochazka, : Moderne Unfallverhütung, fascicule 6 (Vulkan-Verlag), Essen. Le texte existe en traduction française (doc. C.E.C.A. n° 5300/62 f. Prochazka R.: Arch. Eisenhüttenwes, 39 (1968), p. 439/47. Texte existant en traduction française, doc. C.E.C.A. 2100/68 f.
Il a encore été possible de bien déceler des concentrations de poussières de 0,1 mg/m ³ et de moins de 5 millièmes de mm. Aucune inversion des pôles du courant dérivé sous l'action de certains composants des poussières mixtes, qui fausserait les indications, n'est à craindre.	Schütz, A.: Staub 24 (1964), p. 359/63. Le texte existe en traduction française (doc. C.E.C.A. n° 6915/64 f). Également Schütz, A.: Staub-Reinhalt. Luft 26 (1966), p. 198/201. Le texte existe en traduction française doc. C.E.C.A. n° 1545/67 f.

Figure 31 b – Tableau synoptique des recherches C.E.C.A. pour

Mesures de l'empoussiérage aux postes de travail

Désignation abrégée (traitée au chapitre indiqué)	Recherche effectuée par	Objet de la recherche
PS 20 (2.21)	Staubforschungsinstitut, Bonn Langwartweg 103	Détermination de l'empoussiérage à différents postes de travail de la sidérurgie
PS 11 et 12 (2.22)	Clinica del Lavoro, Milan Via S. Barnaba 8	Détermination des qualités physico-chimiques et minéralogiques des poussières et fumées dans la sidérurgie
PS 49 (2.23)	Direction de la Santé Publique, Luxembourg 1, rue Auguste-Lumière	Étude de l'empoussiérage dans la sidérurgie luxembourgeoise
PS 144 (2.23)	Laboratoire de Minéralogie du Musée d'Histoire Naturelle, Luxembourg rue Sigefroi	Propriétés cristallographiques des types de minéraux existant dans les différentes poussières de la sidérurgie luxembourgeoise
PS 17 (2.24)	Instituut voor Gezondheidstechniek T.N.O., Delft Schoemakerstraat 97	Étude de l'empoussiérage à différents postes de travail des fonderies de fonte et d'acier
PS 129 (2.32)	Kloekner-Werke AG : Georgsmarienwerke, Georgsmarienhütte (Kreis Osnabrück)	Études de l'émission et de l'immission de gaz résiduels d'aciéries contenant du fluor et du SO ₂
PS 149 (2.32)	August-Thyssen-Hütte AG : Werk Ruhrort, Duisburg-Ruhrort	Détection et élimination du fluor dans les gaz résiduels

la lutte contre la pollution atmosphérique dans la sidérurgie

Études de l'émission et de l'immission de poussières et de gaz

Résultats	Publications et documents C.E.C.A.
Appréciation du risque de silicose selon une formule propre dans 8 aciéries et fonderies allemandes	Winkel, A. und Schütz, A. : Staub 24 (1964), p. 497/504. Texte existe en français, doc. C.E.C.A. n° 8304/65 f.
Appréciation du risque de silicose selon une formule propre dans 5 aciéries italiennes	Doc. C.E.C.A. n° 5237/64 d, f et i.
Mesures de l'empoussiérage dans des ateliers de hauts fourneaux, ainsi que dans des aciéries Thomas, moulin à scories Thomas, les laminoirs et fonderies.	Doc. C.E.C.A. n° 8114/64 d et f.
Distinction de divers types de poussières. Établissement d'un fichier photographique devant servir à l'étude des diverses sources de poussières.	Heyart, H.: Revue technique luxembourgeoise 59 (1967), n° 1, p. 9/20. Texte existe en traduction allemande (doc. C.E.C.A. n° 609/67 d).
Mesures de l'empoussiérage dans 9 fonderies néerlandaises. Dépouillement non encore achevé.	Divers comptes rendus intérimaires ont été publiés, par exemple, dans «Proceedings XVth Int. Congr. Occup. Health, Sept. 1966, Vienne, Section A III-123, p. 623/27». Le dernier compte rendu intérimaire a été reproduit dans le document C.E.C.A. n° 4066/67 d et f.
Les mesures et l'enregistrement des émissions et immissions de F et SO ₂ de plusieurs fours Martin et d'un four électrique d'une usine sidérurgique située dans un environnement rural ont permis, entre autres, de constater des teneurs nettement plus élevées de F et S dans la végétation se trouvant dans la direction générale du vent.	Doc. C.E.C.A. n° 4232/62 d et f (et en version abrégée : doc. n° 4516/64 d et f).
Amélioration des méthodes d'analyse. Les mesures des concentrations de F sur le territoire urbain n'ont pas permis de déceler des accumulations plus fortes à proximité des usines sidérurgiques. Adsorption pratiquement totale des composés fluorés par les particules solides contenues dans les gaz résiduels non acides.	Graue, G. und Nagel, H. : Staub-Reinhalt. Luft 28 (1968), p. 7/13. Texte existe en traduction française doc. C.E.C.A. n° 1117/68 f.

Figure 31 c – Tableau synoptique des recherches C.E.C.A. pour

Lutte contre les

Désignation abrégée (traitée au chapitre indiqué)	Recherche effectuée par	Objet de la recherche
Huckingen (3.1)	Mannesmann AG Hüttenwerke Usine Huckingen, Duisburg-Huckingen	Dépoussiérage des fumées rouges de convertisseurs Thomas classiques au moyen d'électrofiltres à sec.
PS 18 (3.2)	Staubforschungsinstitut, Bonn Langwartweg 103	Agglomération des fumées rouges en champs électriques à températures élevées.
PS 43 (3.2)	Phoenix-Rheinrohr AG (maintenant August Thyssen-Hütte), Usine Ruhrort, Duisburg-Ruhrort	Dépoussiérage des fumées rouges de convertisseurs par un nouveau procédé électrostatique.
PS 131 (3.2)	D°	D°
PS 128 (3.3)	Société des Aciéries de Pompey, S.A. Usine de Pompey, Pompey	Dépoussiérage des fumées rouges de convertisseurs LD au moyen de filtres à poche.
PS 130 (3.41)	Usinor S.A. Usine de Dunkerque	Dépoussiérage humide des gaz résiduels de convertisseurs LD captés non brûlés selon le procédé Irsid-Cafil.
PS 132 (3.42)	D.H.H.U. AG (maintenant Hoesch AG Hüttenwerke) Usine Phönix, Dortmund-Hörde	Dépoussiérage humide des gaz résiduels de convertisseurs LDAC captés par le procédé Krupp.
PS 45 (3.5)	Gebrüder Boehler AG Düsseldorf-Oberkassel	Aspiration des fumées de fours électriques.
PS 102 (3.6)	Laboratorium für Staubtechnik (Prof. Meldau), Gütersloh, Wilhelmstr. 4	Utilisation des fumées rouges de convertisseurs précipitées.
Sulzbach	Eisenwerk-Gesellschaft Maximilianshütte m. b. H. Sulzbach-Rosenberg-Hütte	Prévention de la formation de fumées rouges dans les convertisseurs Thomas classiques par l'emploi de fonds de convertisseurs à trous de soufflage de très petite dimension.

la lutte contre la pollution atmosphérique dans la sidérurgie

fumées rousses

Résultats	Publications et documents C.E.C.A.
Teneur moyenne en poussières des gaz résiduels épurés d'un convertisseur Thomas de 40 t inférieure à 100 g/Nm ³ . Abaissement des frais de dépolluage par utilisation de la vapeur d'eau obtenue par le refroidissement des gaz pour produire du courant électrique.	Dehne W. und Müller H. G. : Stahl u. Eisen 82 (1962), p. 762/71. Circ. Informat. Techn. 19 (1962), n° 11, p. 2345/65.
Bons résultats du dépolluage avec une installation de laboratoire pour 5 Nm ³ /h à 400° C en champs électrostatiques sans rétroeffluves et en champs électriques avec ionisation.	Winkel, A. W. Staub 22 (1962), p. 343/59. Il existe un résumé du texte (doc. C.E.C.A. n° 3079/63 d, f, i et n.
Avec une installation expérimentale de dépolluage de 2 000 Nm ³ /h, on a obtenu des teneurs en poussières inférieures à 100 mg/Nm ³ dans des champs purement électrostatiques.	Floßmann, R. und Schütz, A. : Staub 23 (1963), p. 443/51. Le texte existe en traduction française (doc. C.E.C.A. n° 8302/65 f).
En raison de défauts de structure de l'installation expérimentale prévue pour 25 000 Nm ³ /h, on n'a pas obtenu de teneurs en poussières des gaz épurés inférieures à 200 mg/Nm ³ , même en branchant des prises d'ionisation.	Graue, G. und Floßmann, R. : Staub-Reinhalt. Luft. 27 (1967), p. 434/37. Le texte existe en traduction française (doc. C.E.C.A. n° 1116/68 f).
Le dépolluage des gaz résiduels de convertisseurs LD de 18 t à l'aide d'un accumulateur de chaleur du genre Cowper a permis d'obtenir une teneur moyenne en poussières de seulement 6 mg/Nm ³ dans le gaz épuré.	Diverses publications dont Debruille, P. : Poll. Atm. Numéro spécial, septembre 1962, p. 123/49. Muhlrad, W. : Stahl u. Eisen 82 (1962), p. 1579/84. Aussi doc. C.E.C.A. n° 3684/63 d et i.
Dépolluage des gaz résiduels de convertisseurs LD de 130 t jusqu'à des teneurs moyennes en poussières allant de 85 à 160 mg/Nm ³ . L'utilisation des gaz à forte teneur en CO, actuellement encore brûlés en torchère, est prévue.	Dumont-Fillon, J., Namy, G. et Spreux, M. : Livre du «Congrès Internat. sur les aciéries à l'oxygène», sept. 1963, p. 455/66 (résumé en d, f et e à la page 455). Huysman M. et Maubon A. : Rev. Métallurg. 65 (1968) n° 5 p. 333/43. Le texte existe en traduction allemande doc. C.E.C.A. n° 1925/68 d.
Le dépolluage des gaz résiduels de convertisseurs LDAC de 160 t a permis d'obtenir des teneurs moyennes en poussières inférieures à 150 mg/Nm ³ . Des essais en vue d'assurer une meilleure combustion en torchère du gaz épuré sont encore en cours.	Simon, R. : Stahl u. Eisen 85 (1965), p. 385/91. Il existe en outre de nouveaux comptes rendus intérimaires (doc. C.E.C.A. n° 466/67 d et f, 5493/67 d et f.
Bons résultats obtenus au four à arc de 15 t par aspiration dans le couvercle du four et refroidissement des gaz résiduels par tubes d'aspiration refroidis à l'eau ainsi que par pulvérisation d'eau.	Kahnwald, H. und Etterich, O. : Stahl u. Eisen 83 (1963), p. 1067/70. Texte existe en traduction française doc. C.E.C.A. n° 3005/65 f.
Diverses possibilités d'emploi, et notamment agglomération pour faciliter la réutilisation au convertisseur ou dans le haut fourneau.	Meldau, R. : Arch. Eisenhüttenweg 35 (1964), p. 203/08. Texte existe en traduction française doc. C.E.C.A. n° 8303/65 f.
La recherche a été commencée trop récemment pour que l'on puisse déjà présenter des résultats.	

Figure 31 d – Tableau synoptique des recherches C.E.C.A. pour

Lutte contre les autres

Désignation abrégée (traitée au chapitre indiqué)	Recherche effectuée par	Objet de la recherche
PS 101 (4.1)	Niederrheinische Hütte AG, Duisburg-Hochfeld	Lutte contre les poussières pour la protection des maçons de fours contre les poussières siliceuses.
PS 119 (4.2)	Dipl.-Ing. W. Gesell, Staatl. Ingenieurschule Bochum, Kohlenstr. 70	Remplacement du sable quartzéux pour le sablage à l'air comprimé par des produits minéraux non silicogènes.
PS 1 (4.3)	Cockerill-Ougrée S.A., Seraing	Lutte contre les poussières dans l'atelier d'agglomération et au chargement du haut fourneau par bande transporteuse.
PS 121 (4.4)	Kloekner-Werke AG, Usine d'Haspe, Hagen-Haspe	Lutte contre les poussières au transbordement des minerais fins et à la préparation du lit de fusion.
PS 120 (4.5)	Hessische Berg- und Hüttenwerke AG, Wetzlar	Lutte contre les poussières à la granulation à sec de laitier de haut fourneau.

la lutte contre la pollution atmosphérique dans la sidérurgie

pollutions atmosphériques

Résultats	Publications et documents C.E.C.A.
Lors de travaux de démolition de fours Martin, il est possible de réduire les risques coniotiques par une méthode de travail spéciale et grâce à l'aération par ventilateurs puissants. Le risque de silicose a été supprimé radicalement grâce au déblayage mécanique des chambres et en appliquant aux fours un revêtement basique.	Doc. C.E.C.A. n° 3493/63 d et f.
Il a été trouvé des scories cuivreuses et des laitiers de haut fourneau qui sont au moins équivalents au sable quartzeux quant à l'action décapante et au coût, tout en n'étant pas silicogènes.	Gesell, W. : Stahl u. Eisen 86 (1966), p. 906/12. Texte existe en traduction française doc. C.E.C.A. n° 6471/66 f.
Diminution de 45 à 60 % de la concentration de poussières fines aux bandes d'agglomération par pulvérisation d'eau et de 80 % pour les poussières très chaudes par aspiration et précipitation dans un dépoussiéreur à voie humide.	Doc. C.E.C.A. n° 5618/63 d et f.
Diminution de 40 à 90 % de l'empoussiérage par pulvérisation d'eau recyclée, additionnée de mouillants, au déchargement des minerais fins par culbuteurs de wagons ou par bennes spéciales. Au poste de travail du conducteur de chariot peseur pour la préparation du lit de fusion réduction de 80 % de l'empoussiérage par aspiration des poussières.	Räbel, G., Neuhaus, H. und Vettebrodt, KH. : Staub 25 (1965), p. 218/21. Texte existe en traduction française doc. C.E.C.A. n° 4682/65 f.
Réduction de la teneur en poussières des gaz résiduels de 4,5 à 0,5 g/m ³ et moins par l'emploi d'une hotte d'aspiration avec pulvérisation d'eau.	Doc. C.E.C.A. n° 2903/63 d et f.

