

Transport hydraulique du charbon

par R. A. ACTON TAYLOR, M.Sc., A.R.C.S., F.R.I.C.

(Fuel Research Station - Greenwich — Department of Scientific and Industrial Research).

Extrait de « Fluid Handling » de mars 1952.

Traduit par L. DENOEL, Professeur émérite de l'Université, à Liège.

SAMENVATTING

In deze studie over een probleem dat tot nu weinig publiciteit kende en dat nochtans een groot actueel belang vertoont, bewijst M. Acton Taylor dat het hydraulisch vervoer van steenkool economisch is op lange afstand en voordelig op korte afstand, op voorwaarde dat het debiet een zeker minimum overtreft, afhankelijk van de capaciteit der inrichting en van de kosten van de bewerking.

RESUME

Dans cette étude d'un sujet qui n'a reçu jusqu'ici que peu de publicité et qui cependant présente un grand intérêt d'actualité, M. Acton Taylor montre que le transport hydraulique du charbon est économique à longue distance et très avantageux à petite distance, pourvu que le débit dépasse un certain minimum qui dépend de la capacité de l'installation et des frais de l'opération.

Le transport du charbon par des canalisations hydrauliques est un procédé vieux d'un demi-siècle. Il a été appliqué de temps en temps à une échelle modeste, mais c'est tout récemment qu'il a été considéré comme économique et pratique et susceptible d'entrer en concurrence avec d'autres modes de transport. Depuis 50 ou 60 ans, il y a eu divers exemples de transport de fines ou de grains, et l'on a reconnu les conditions requises pour un transport avantageux de ces qualités, mais en ce qui concerne les gaillettes, seules ou en mélange avec des grains plus fins, un examen plus approfondi s'impose et fait l'objet des études actuelles.

Des brevets américains ont été accordés en 1895 à W.C. Andrews pour le pompage et le dépôt de schlamms et de remblai dans les mines d'anthracite, et en 1905, à W.T. Donnelly, pour le transport des anthracites au sortir des ateliers de triage. Une canalisation de 5 km est en cours d'installation pour transporter des fines de 0-3 mm des Houillères de Lorraine à la centrale électrique E. Huchet à Carling (Moselle). La reconnaissance d'utilité publique a été accordée à la Mine Hanna de la Pittsburgh Consolidation Coal Cy pour un pipeline de 100 milles de Cadix à Cleveland (Ohio), amenant du menu à une centrale d'énergie. Cette ligne a été précédée d'une installation d'essai qui vient d'être achevée et qui a 3 milles de longueur et 30 cm de diamètre.

De 1913 à 1923, une installation réalisée par G.G. Bell, alors Directeur de la centrale électrique de Hammersmith, a servi au transport du charbon par une conduite de 20 cm de diamètre, sur une longueur de 600 m, entre un quai de déchargement et le magasin proche de la centrale. Cette conduite présentait plusieurs coudes et une relevée de 4,50 m de verticale. On se servait d'une pompe centrifuge; le débit variait entre 25 et 50 tonnes à l'heure et la vitesse du courant entre 1,20 m et 2,10 m/sec. Le charbon transporté comprenait des gaillettes atteignant la grosseur de 6 cm. Le rapport de l'eau au charbon était de 1 : 1 pour les menus et augmentait avec la grosseur du grain. Sur la base de cette expérience, Bell avait élaboré un projet pour le transport de 2,5 millions de tonnes depuis les Midlands jusqu'à Londres, par une canalisation de 35 cm de diamètre, longue de 100 milles et divisée en dix sections avec une pompe de relais à chaque palier.

Application du transport hydraulique.

Le transport hydraulique du charbon peut être envisagé sous trois aspects, différant principalement par l'importance des installations :

- a) extraction du charbon dans les mines du fond au jour;

- b) transport à moyenne distance, c'est-à-dire à environ dix milles entre un charbonnage et un centre important de consommation;
- c) transport à très longue distance entre un bassin houiller et un centre industriel ou urbain très important.

On peut imaginer des combinaisons de ces trois groupes. Par exemple, l'installation Emile Huchet est conçue pour transporter une partie du charbon directement à partir du front de taille. Un transport à très longue distance pourrait comprendre des embranchements, soit entre la ligne et des charbonnages isolés, soit vers des consommateurs placés sur le parcours. La distinction entre longues et moyennes distances se ramène aussi à celle d'une longue conduite unique avec une seule station motrice ou d'une installation à relais multiples.

La figure 1 montre la variation du rapport de l'eau au charbon en fonction de la densité volumétrique. Quand le volume d'eau est suffisant, le mélange se comporte comme un fluide; il y a alors un certain domaine dans lequel le transport se fait facilement. Tout accroissement de la quantité d'eau au-delà devient dispendieux parce que cet excès d'eau à pomper consommera de l'énergie sans utilité pour le transport du charbon.

Une certaine vitesse minimum est nécessaire pour maintenir le courant; cette vitesse dépend du diamètre du plus gros grain et, dans une certaine mesure, du diamètre de la conduite. Il est reconnu avec une assez grande exactitude que la vitesse du courant doit être de 1,20 m à 4,20 m/sec, et qu'il faut 2,10 m/sec s'il y a autre chose que du menu. Le

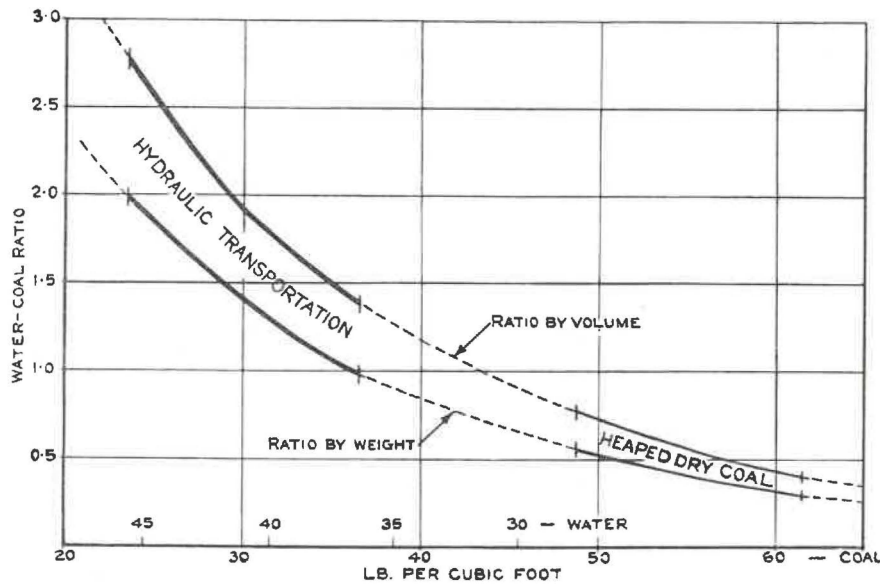


Fig. 1.

Conditions de succès.

On ne possède pas de données quantitatives concernant les conditions du transport, sauf pour les menus. Cependant, de nombreuses indications sont fournies par des installations établies de longue date pour le transport de minerais, limons, sables et graviers. Mais, toute information glanée de ces sources demande confirmation et beaucoup de circonspection avant qu'on puisse en déduire les conditions du transport du charbon.

Conditions physiques.

La première question qui se pose dans un transport hydraulique est celle du rapport eau/solide nécessaire pour assurer le transport. A priori, le plus simple est d'exprimer ce rapport en poids. Il y a de fortes présomptions pour que le rapport de l'eau au charbon soit compris entre 1 et 2, et variable en fonction de la grosseur des grains. Ceci équivaut à environ la moitié de la densité du charbon en tas (1).

Le tableau I résume quelques chiffres qui ont été cités.

TABLEAU I.
Vitesse du courant en fonction du diamètre de la conduite et de la grosseur du charbon.

Diamètre de la conduite mm	Grosseur du charbon mm	Vitesses en m/sec
75	5	1,50
200	50 à 75	2 à 2,7 (sûr à 2,5 à 3)
250	50 à 75	2 à 2,7 (sûr à 2,8 à 3,3)
500-1200	—	1,30 à 3,0

Comme on l'a déjà dit, le menu se transporte facilement, mais les gros morceaux présentent certaines difficultés. On connaît de nombreux exemples où des cailloux et même des blocs ont été entraînés dans les tuyaux de dragues juste assez

(1) Chiffres exprimés en mesures anglaises.

larges pour les laisser passer. On présume que les gros matériaux sont plus facilement entraînés quand ils sont mélangés à d'autres plus fins que s'ils sont pris isolément; en d'autres termes, du charbon tout-venant serait plus facile à transporter que des gros grains calibrés. Il n'y a pas de doute que dans n'importe quelle conduite, la grosseur des morceaux doit être plus petite que la moitié du diamètre si l'on veut éviter les obstructions.

Installation.

Les pompes à piston ont été employées pour le transport des menus, mais elles sont moins bien adaptées quand il y a du gros; d'autre part, leur mode d'action propulsive est un avantage du point de vue obstruction. De nombreux modèles de pompes centrifuges paraissent convenables, cependant Bell qui avait installé une pompe centrifuge à Hammer-smith, préconisait après expérience les injecteurs. Il semble que les pompes centrifuges ont été conçues sans assez de considération des exigences spéciales de cette application. Récemment cependant, on a reconnu qu'il faut des précautions pour empêcher le bris du charbon dans ces pompes tout en gardant un bon rendement. Aux Etats-Unis, on est d'avis qu'il faudrait instituer des bancs d'essai pour ce genre de pompes.

La fuite au bourrage des pompes centrifuges est un inconvénient et, pour cette raison, les experts américains sont d'avis de limiter la hauteur de charge à 240 m d'eau. Cependant, on a construit en Angleterre un type de pompe dans lequel le bourrage est sous une petite dépression intérieure, ce qui supprime la fuite et empêche toute introduction du mélange d'eau et de particules solides à l'intérieur du bourrage. Les propulseurs peuvent être doublés de caoutchouc; ce revêtement se détériore au passage des gros morceaux, mais on ignore s'il peut être utile quand il n'y a que du menu.

N'ayant pas d'organes mécaniques, les injecteurs hydrauliques ont l'avantage de réduire les frais d'entretien. Cependant, la forme de la gorge et le centrage du tuyau d'injection demandent de la précision; et, puisque le tuyau d'injection entre dans la conduite par la paroi, la section de passage est réduite de plus de moitié, ce qui limite la grosseur maximum du charbon à transporter. L'inconvénient est moindre si le tube entre par le point le plus haut.

Il est probable que le choix d'une pompe dépend des circonstances et particulièrement de la grosseur des grains et de la capacité de l'installation.

Etant donné le débit horaire et la vitesse optimum du courant comprise entre 1,50 m et 5 m/sec, on en déduit le diamètre du tuyau, mais avec des écarts possibles, car, si la conduite est trop large ou trop étroite, elle occasionnera un gaspillage d'énergie, soit par excès de volume d'eau, soit par un excès de résistance.

Une canalisation transportant des matériaux solides s'use assez uniformément dans le haut sur une hauteur égale aux deux-tiers du diamètre inté-

rieur, mais le tiers inférieur s'use beaucoup plus vite et une rainure en forme de V tend à se produire. On ignore la vitesse d'usure d'une conduite de charbon, elle dépend de la dureté et d'après les indications obtenues jusqu'ici, elle est moindre qu'on ne le croyait. Il est de pratique courante d'installer la canalisation de telle manière qu'on puisse la retourner après un certain temps et par tronçons. On a proposé de placer des gaines d'usure dans la partie inférieure de la conduite, mais ce procédé ne semble pas avantageux du point de vue prix, toutefois on manque d'essais à grande échelle pour établir ce point. Dans les coudes, l'usure se produit surtout à la paroi et à la sortie du coude, et ici il n'y a pas de retournement possible.

L'expérience acquise dans le dragage des graviers montre que des garnitures cannelées en caoutchouc placées dans les coudes peuvent être tournées par rapport aux sections droites adjacentes sans démontage et que l'usure est moindre qu'avec de l'acier.

L'eau devient acide au contact du charbon et, par conséquent, corrosive, ce qui est dû entre autres à l'oxydation des pyrites, et l'on peut craindre que la corrosion soit sérieuse, mais cette opinion n'est pas confirmée par les premiers essais. Il paraît difficile de neutraliser l'eau économiquement.

La résistance à l'usure et à la corrosion peut être accrue par l'emploi d'un métal bien approprié. Les fontes à graphite noduleux résistent mieux que l'acier doux et l'on a combiné des alliages spéciaux pour les conduites d'eau sableuse.

La pente maximum d'une canalisation doit être beaucoup moindre que l'angle de frottement du solide mouillé; en aucun cas, il ne peut y avoir de tronçon vertical. Si l'on observe ces précautions, il y a peu de risques d'obstructions. Dans le même ordre d'idées, il faut éviter toutes les irrégularités dans la section d'alésage et particulièrement les vannes et autres accessoires.

Il ne paraît pas y avoir de grandes difficultés à démarrer après un temps de repos, bien que naturellement le charbon se tasse dès que le courant cesse. C'est donc une bonne précaution de purger la conduite par une chasse d'eau claire avant chaque arrêt. La gelée dans les hivers rigoureux peut endommager les tuyaux ou causer une interruption du service. Enterrer la canalisation équivaut à doubler ou à tripler le prix de la pose. Dans une grande étendue des Etats-Unis, l'hiver est tellement dur qu'il faut absolument enterrer la conduite; mais en Grande-Bretagne, cela ne paraît pas nécessaire, vu les conditions climatiques et le fait que toutes les résistances passives produisent un réchauffement de l'eau. L'accroissement de température dû à cette cause est de 2 à 5° C et il favorise les canalisations de grand diamètre. On peut se rendre compte que le risque de congélation se limite à quelques jours par an: par routine ou sur l'avis du Service Météorologique, il serait possible d'interrompre à temps les opérations et de purger les conduites pendant les courtes périodes pendant lesquelles on prévoit de la gelée.

Consommation d'énergie.

L'énergie dépensée dans le transport hydraulique du charbon ne peut qu'être estimée puisqu'on ne possède pas de données précises sur ce point. On suppose que le mélange se comporte comme l'eau, à la densité près, et les calculs faits dans cette hypothèse peuvent donner une bonne évaluation de l'énergie requise.

Le travail dépensé pour faire circuler un fluide dans un tube est :

$$P = Q \cdot p \cdot h.$$

Q : volume ou débit; p : poids spécifique; h : hauteur motrice.

Comme :

$$h = h_e \cdot \frac{p_e}{p}$$

h_e : hauteur correspondant à l'eau pure de poids p_e .

$$P = Q h_e p_e.$$

Une vérification expérimentale a été publiée par Turtle; elle est représentée par la figure 2.

Il y a trois groupes de diagrammes et chacun représente le travail correspondant à une perte de charge déterminée. Ces courbes se rapportent au Perplex, au sable, au gravier et à la pyrolusite et elles montrent l'influence du poids spécifique et, à

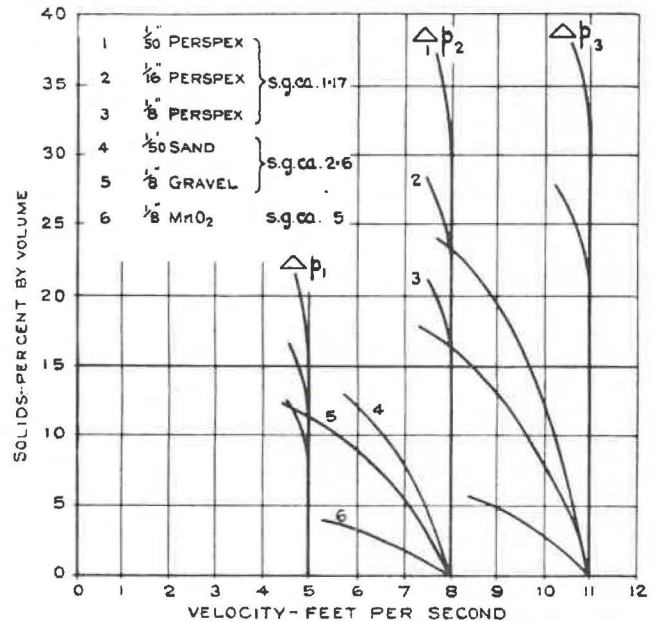


Fig. 2.

poids égal, l'influence de la grosseur des particules. On observe des écarts de la loi lorsque la densité et la grosseur augmentent toutes les deux, mais les résultats montrent qu'en ce qui concerne le menu et les petits grains, l'expression théorique est valable.

TABLEAU II.

Consommation d'énergie pour un transport de 10 milles

Rapport eau : charbon (poids)	1:1	1:1	1,5:1	1,5:1	2:1	2:1
Poids spécifique du charbon ...	1,35	1,40	1,35	1,40	1,35	1,40
Eau consommée m ³ /h	290	290	435	435	580	580
Vitesse m/sec	1,40	1,36	1,80	1,78	2,48	2,16
Charge en mètres d'eau	100	97,50	160	156	240	235
Energie	210	205	430	420	775	760
Prix par t/mille (pence)	0,082	0,080	0,170	0,165	0,304	2,297
Temps du parcours de 10 milles en heures	3,2	3,2	2,5	2,5	2,0	2,0

Le tableau II donne une idée de quelques conditions et de l'énergie calculée par Bell dans son projet d'un transport de 2.500.000 tonnes annuelles et d'une distance de 10 milles, par une canalisation de 35 cm de diamètre. Les chiffres de l'énergie calculée concordent avec ceux de la loi théorique de Turtle. On a compté le kWh à 1,5 d.

Consommation d'eau.

Une règle pratique pour déterminer la consommation d'eau est de compter un gallon par jour et par tonne annuelle. Cela correspond à une dilution de

5:3. Un transport hydraulique doit être assuré d'une provision d'eau constante et suffisante; la quantité dépend évidemment de la capacité du système. Ainsi, le projet de Bell exige 2 1/2 millions de gallons d'eau par jour et une centrale électrique de l'importance de Battersea exigerait un million de gallons par jour. Des sources aussi abondantes ne sont pas absolument nécessaires. La même eau peut circuler en cycle fermé si on la renvoie à son point de départ par une canalisation parallèle et un système de pompes. S'il n'est pas nécessaire de renvoyer l'eau, la source doit se trouver de

préférence aussi près que possible de la station de départ. Si l'on réutilise la même eau, la source peut se trouver en n'importe quel point du trajet.

Manipulation à la recette.

Le charbon arrivé à destination doit être séparé de l'eau qui a servi à le transporter. Ceci ne présente aucune difficulté pour le gros charbon ni même pour les grains calibrés. Mais, si le charbon est constitué de fines ou en contient, la séparation est difficile, demande du temps et un emplacement considérable.

Dans tous les cas, des fosses de décantation des schlamms sont indispensables. Si l'eau est réutilisée, cette décantation n'a pas besoin d'être complète, mais il en va tout autrement si la décharge se fait dans un cours d'eau naturel.

Une ligne de grande capacité ou de grande longueur sera très probablement appelée à transporter différentes sortes de charbon. Si ces différentes qualités sont transportées par une seule et même conduite, on peut croire, en se basant sur la pratique des pipelines de pétrole, que le changement opéré dans l'alimentation se manifesterait assez clairement à l'arrivée pour qu'on n'ait pas besoin d'un dispositif de séparation; un jeu de vannes et de dériviatives dirigera les différentes sortes vers leurs compartiments de stockage.

Une ligne de grande capacité ou de grande longueur signifie aussi une grande variété dans les exigences. Si différentes sortes de charbon doivent être transportées à partir de la même source, on peut se demander, surtout en tenant compte de la nécessité de la déshydratation, s'il ne serait pas plus économique de placer l'atelier de préparation mécanique à la station d'arrivée. C'est une solution qui ne pourra être envisagée que dans l'avenir, quand le système sera largement entré dans la pratique. Cependant, cette considération pourrait être déterminante dans l'étude d'une installation.

Frais.

En Grande-Bretagne, le prix du transport du charbon par rail ou route est d'environ 2 1/2 d par tonne/mille; aux petites distances, il est plus élevé et revient à environ 1 sh pour 3 milles.

Pour tout système de transport hydraulique, il existe un débit minimum en dessous duquel l'opération n'a pas d'intérêt. Plusieurs devis ont été faits pour des débits différents en tenant compte du premier établissement et des frais courants, droits de passage, salaires, consommations, entretien et toutes ces estimations montrent que le transport hydraulique serait moins cher que le rail ou la route. Pour de très longues distances, le rapport des prix de revient serait de l'ordre de 1/3 à 1/2; pour des distances moyennes ou courtes, il serait encore moindre. Il est à noter que dans ces estimations n'entre pas le prix de la déshydratation à la station de recette. Le choix du système de transport hydraulique dans un cas donné est uniquement une question de prix de revient. Nous n'avons rien à ajouter aux prévisions hypothétiques. Le prochain pas à faire est d'installer un transport de ce genre dans un cas où il semble prometteur de succès, même

s'il s'agit d'une installation modeste, et de recueillir soigneusement tous les résultats de cette expérience afin de pouvoir en faire l'application à d'autres projets.

Recherches.

Même si l'on réalise une installation de transport hydraulique du charbon et si elle permet de faire des découvertes, il reste nécessaire de procéder à des recherches expérimentales à l'échelle du laboratoire, par exemple sur une ligne de 15 cm de diamètre et de quelque 400 m de longueur. Ces expériences auraient pour but de donner des renseignements concluants sur les points suivants :

- a) le rapport optimum eau/charbon, sa variation avec les circonstances telles que le calibrage du charbon;
- b) la meilleure vitesse du courant dans ses rapports avec le diamètre de la conduite et la grosseur des particules;
- c) la plus grande dimension admissible pour le charbon passant dans une conduite donnée, soit seul, soit en mélange avec des fines;
- d) consommation d'énergie;
- e) moyens de passer des résultats d'une expérience déterminée à l'évaluation des résultats probables dans d'autres conditions, spécialement en ce qui concerne le diamètre de la conduite et la grosseur des particules.

En ce qui concerne ce dernier point, il règne une obscurité inattendue. Le nombre de Reynolds qu'il faut appliquer ne se dégage pas nettement. Mais, il faut chercher à caractériser les conditions du transport par un nombre sans dimension qui comprendrait, non seulement la vitesse, le diamètre, la viscosité et la densité comme dans le Reynolds, mais en plus la grosseur, la concentration et la densité du charbon.

D'autres recherches analogues et assez longues paraissent nécessaires pour déterminer la dégradation du charbon au passage des pompes et le long du trajet, ainsi que l'usure et la corrosion des tuyaux et des pompes. Ces essais serviraient aussi à comparer les types de pompes, dont le nombre paraît d'ailleurs très restreint. On pourrait aussi en tirer quelques indications sur le prix de revient, bien que ce facteur, le plus important de tous, ne puisse être dégagé valablement que d'une installation en service.

Conclusion.

Le transport hydraulique du charbon a été essayé et est en train de se développer. Il n'y a pas de doute qu'il soit techniquement possible, bien qu'il n'y ait que peu d'applications du procédé et encore moins de publications. Les études du prix de revient probable montrent qu'à partir d'un certain débit minimum, fonction de la capacité et des possibilités de l'installation, le transport hydraulique peut être très économique sur de longues distances et nettement avantageux sur courtes distances.

Les opinions sont faites en ce qui concerne le matériel et les opérations et elles répondent avec précision aux exigences de fait. Le plus grand obstacle à l'adoption du procédé pourrait être, dans certains cas, la nécessité de la déshydratation et des manutentions du charbon à la station d'arrivée.

Des informations précises manquent encore au sujet des conditions physiques du transport. C'est pourquoi des expériences devraient être entreprises à bref délai pour déterminer les valeurs optima du rapport eau/charbon, de la vitesse, de l'énergie, la possibilité du transport des gaillettes et les formules d'extrapolation d'une installation à une autre. En attendant, on en connaît assez pour établir une installation pilote en reliant un centre de production à un consommateur bien disposé et distant de quelques milles.

Remerciements : Ce mémoire est publié avec la permission du Directeur du Fuel Research. M. Turtle et l'Institution of Chemical Engineers ont aimablement autorisé la publication de la figure 2 et des commentaires s'y rapportant.

Les sources suivantes ont été mises à profit :

- 1) Le rapport de feu M. Bell, celui de G.F. Zimmer « The mechanical handling and storing of material », 5^e édition, pp. 256-258; Crosby Lockwood and Son, London, 1922.
- 2) La centrale thermique Emile Huchet, à Carling (Moselle). *Le Génie Civil*, 1951, 128, 305.
- 3) A survey on the hydraulic transportation of coal. R.W. Dougherty, U.S. Bureau of Mines, Report of Investigations n° 4799. Publié par le U.S. Department of the Interior, Juillet 1951.
- 4) R.B. Turtle, Conférence on mixing and agitation, Institution of Chemical Engineers, Londres, Juillet 1951.
- 5) ARMCO special analysis dredge pipe. Report 437 of the American Rolling Mill Company, Middletown, Ohio, 1951.