

c) Résultats généraux.

Les principaux avantages que le système des cylindres mobiles présente sur celui des cylindres fixes peuvent se résumer comme il suit :

1° Chaque cylindre étant disposé dans un fourneau spécial, la sortie des gaz ayant lieu à peu près également aux deux extrémités, et la combustion des produits de la distillation s'effectuant dans toute la longueur du foyer, les causes précédemment indiquées (A, h) comme déterminant le défaut d'homogénéité des charbons cessent de subsister.

2° L'appareil de distribution des gaz permet d'en régler la combustion à volonté, de manière à rendre leur emploi comme combustible aussi facile pour la production des charbons roux que pour celle des charbons noirs.

3° La totalité des gaz peut être employée comme combustible, de sorte que, en travail continu et en dehors de la mise en train de la première charge, l'emploi de tout combustible étranger est rendu à peu près inutile.

4° Le chargement et le déchargement se font de la manière la plus simple, à l'aide des cylindres de rechange, en dehors du massif des fourneaux et pendant la durée même des cuites. Par suite, l'orifice de chaque fourneau n'est ouvert que pendant le temps très-court nécessaire à l'introduction et à la sortie des cylindres, et il n'y a pas de perte de chaleur.

5° Enfin, la lecture de la température intérieure sur l'appareil pyrométrique permet de conduire l'opération avec toute la précision désirable.

C. Propriétés générales des charbons distillés.

a) Composition du charbon des cylindres fixes.

Nous avons vu que les produits de la carbonisation dans les cylindres fixes ne sont jamais homogènes : à côté du charbon noir, on trouve régulièrement du charbon roux, dont la proportion peut atteindre la moitié du rendement total. C'est ce qu'ont montré les expériences exécutées par Violette à la poudrerie d'Esquerdes sur du bois de bourdaine à 10 ou 12 p. 100 d'humidité, et résumées dans le tableau suivant :

ANNÉE de l'expérience.	COMBUSTIBLE (bois) employé p. 100 de charbon produit.	RENDEMENTS.		
		Charbon roux.	Charbon noir.	Total.
1843	65,2	12,79	20,12	32,91
1844	77,0	16,39	14,89	31,28
1845	75,7	15,47	16,00	31,47
1846	93,8	12,07	20,25	32,32
Moyennes.	74,2	14,18	17,81	31,99

Par suite du défaut d'homogénéité de la charge, les charbons pris dans différentes parties du cylindre ne doivent pas présenter la même composition. Les analyses faites par Kahl à la poudrerie de Dresde ont, en effet, donné les résultats ci-après :

POINTS DU CYLINDRE où ont été pris les charbons.	COMPOSITION CENTÉSIMALE.			
	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Cendres.
Partie antérieure et supérieure; température faible.	83,88	3,24	11,56	1,33
	85,36	3,82	9,21	1,61
	83,43	3,30	11,80	1,47
	79,22	3,29	16,24	1,25
Milieu.	77,83	2,71	18,21	1,55
	90,39	2,51	5,49	1,61
Partie postérieure et inférieure; température maxima.	91,08	2,69	4,58	1,65
	90,27	2,18	6,14	1,41
	91,10	1,97	5,06	1,87
	92,24	2,03	3,85	1,88

Enfin, si l'on opère un mélange intime des diverses sortes de charbon contenues dans un même cylindre, les produits ainsi obtenus seront encore notablement différents suivant les poudreries, comme le prouvent les analyses suivantes :

LIEU de la fabrication.	NATURE de la poudre.	COMPOSITION CENTÉSIMALE.			
		Carbone.	Hydrogène.	Oxygène, azote et pertes.	Cendres.
Le Bouchet. . .	Chasse extrafine. . .	71,1805	2,5210	23,9855	0,3085
Le Bouchet. . .	Chasse fine.	74,0110	2,6465	22,3475	0,5130
Esquerdés. . . .	Chasse extrafine. . .	72,0900	4,3410	22,7105	0,8730
Esquerdés. . . .	Chasse fine.	75,6640	3,3820	20,2225	0,7855
Angoulême. . . .	Chasse fine.	70,3765	2,6550	26,4955	0,4815

b) Résultats comparatifs des divers systèmes de carbonisation.

Si l'on considère d'abord l'ancien système des chaudières et le système des cylindres fixes en fonte, il résulte d'expériences comparatives (1855-1859), exécutées sur du bois de bourdaine coûtant 11^{fr},00 les 100^{kg}, que les cylindres donnent lieu à une dépense de main-d'œuvre et de combustible plus élevée, mais que le prix de revient final est sensiblement moindre, à cause de l'augmentation du rendement :

SYSTÈME de carbonisation.	RENDEMENT en charbon noir.	DÉPENSES de main-d'œuvre et de combustible pour 100 kil. de charbon produit.	PRIX DE REVIENT total par 100 kil. de charbon produit.
Chaudières.	20 p. 100	3 ^{fr} ,00	53 ^{fr} ,78
Cylindres fixes.	30 p. 100	4 ^{fr} ,99	41 ^{fr} ,79

Le système des cylindres mobiles présente encore de sérieux avantages sur celui des cylindres fixes, au point de vue de l'uniformité du rendement et du prix de revient total. Si l'on compare, en effet, les résultats obtenus à la poudrerie de Metz pendant la première quinzaine de juillet 1864 avec les relevés comparatifs des résultats de la carbonisation dans les différentes poudreries françaises pour l'année 1863, on arrive à former le tableau suivant :

SYSTÈME de carbonisation.	NATURE du charbon obtenu.	RENDEMENT en charbon, p. 100 de bo s.			PROPOR- TION de brûlots, p. 100 de charbon.	DÉPENSE pour 100 ^{kg} de charbon.			CHARGE d'un cylindre en bois	
		Maxi- mum.	Mini- mum.	Moyen		Main- d'œuvre.	Combus- tible.	Totale.	brut.	sec.
Cylindres mobiles Metz, juill. 1864.	noir (guerre).	30,24	29,83	30,00	0,01	fr. 1,50	fr. 0,52	fr. 2,02	kil. 90	kil. 80,100
	noir (mine).	36,94	35,41	36,10	0,03	0,92	0,39	1,31	90	109,200
	roux (chasse).	40,95	39,04	40,01	0,90	2,02	0,69	2,71	90	80,100
Cylindres fixes (poudreries fran- çaises, 1863).	noir (guerre).	33,35	29,34	30,99	»	»	»	6,31	61	»
	noir (mine).	38,64	34,03	36,05	»	»	»	4,25	88	»
	roux (chasse).	50,09	37,01	41,87	»	»	»	10,09	61	»

On voit, d'après ce tableau, que la charge brute des cylindres mobiles a pu être portée à 90^{kg} de bois de bourdaine et à 130^{kg} de bois blanc, au lieu de 61^{kg} et de 88^{kg}, qui constituaient les charges maxima des cornues fixes de même capacité au moyen de bottes préparées à l'avance. En outre, les rendements en charbon, qui sont d'une grande uniformité, se rapprochent autant que possible de la moyenne des rendements réglementaires, lesquels sont de 30 p. 100 pour le charbon noir de guerre (bourdaine), de 36 p. 100 pour le charbon noir de mine (bois blancs) et de 40 p. 100 pour le charbon roux de chasse (bourdaine); la proportion de brûlots est, par suite, complètement insignifiante pour les charbons noirs de guerre et de mine, et n'atteint 0,90 p. 100 que pour les charbons roux, dont l'état de cuisson convenable est si voisin du brûlot qu'il est presque impossible d'éviter la présence de quelques parties insuffisamment carbonisées. Enfin, les dépenses de fabrication des charbons et, par conséquent, le prix de revient total sont notablement diminués par l'emploi des nouveaux appareils.

c) Absorption de gaz et d'humidité et inflammation spontanée.

Le charbon fraîchement préparé possède au plus haut point la propriété d'absorber l'humidité et de condenser les gaz à sa surface. D'après des essais exécutés par Kahl sur du charbon de bourdaine préparé dans les cylindres, cette absorption était, dans un intervalle de 2 à 4 jours, de 7,5 p. 100 du poids de la matière par un temps très-sec, et de 10 p. 100 par un temps très-humide; la vapeur d'eau pouvait être complètement chassée par un séchage convenable, mais

il n'en était pas de même des gaz proprement dits. Ainsi du charbon, qui avait absorbé à l'air libre 6,98 p. 100 de gaz et d'humidité, n'a perdu en moyenne, par un courant d'air sec chauffé à 150°, que 4,85 p. 100 d'eau, conservant encore les 2,13 p. 100 de gaz condensés à sa surface, et il a en outre absorbé 0,69 p. 100 de gaz provenant de l'air chaud; ce charbon, séché à 150°, contenait donc encore 2,82 p. 100 de gaz, qui n'ont pu être chassés par une dessiccation ultérieure à 270°.

Cette condensation des gaz à la surface du charbon est toujours accompagnée d'un dégagement de chaleur qui, dans des conditions déterminées, peut produire l'inflammation spontanée de la matière, surtout lorsque le charbon est fraîchement préparé, pulvérisé et conservé en grandes masses sous une épaisseur considérable.

d) Conditions de l'inflammation spontanée.

Les diverses circonstances de cette inflammation ont fait l'objet d'une série d'expériences entreprises à l'ancienne poudrerie de Berlin sur des charbons préparés dans les cylindres, et qui ont donné les résultats suivants :

1° Du charbon de bourdaine au rendement de 28 p. 100 s'enflamme d'autant plus facilement qu'il s'est écoulé moins de temps entre sa préparation et sa mise en caisse à l'état pulvérisé.

2° Du charbon noir, fortement carbonisé, s'échauffe et s'enflamme plus facilement que du charbon roux, peu carbonisé.

3° Une masse de 60^k de charbon fraîchement préparé et pulvérisé ne s'enflamme spontanément que si elle est conservée dans un vase ayant au moins 0^m,62 de hauteur.

4° Enfin, l'inflammation commence presque toujours à se produire à l'intérieur de la masse, rarement à la surface.

En outre, pour déterminer les variations correspondantes du poids de la matière et de sa température, on a trituré, environ 36 heures après la sortie des cylindres, une masse de 50^k de charbon au rendement de 28,5 p. 100, on l'a versée dans un cylindre en tôle ouvert à sa partie supérieure et placé sur le plateau d'une balance, et l'on a observé de temps en temps l'augmentation de poids et l'élévation de température. Les résultats trouvés sont consignés dans le tableau ci-dessous :

INTERVALLES des observations.	TEMPÉRATURE.	AUGMENTATION de poids.	INTERVALLES des observations.	TEMPÉRATURE.	AUGMENTATION de poids.
heures.		grammes.	heures.		grammes.
0	17°,50 C.	»	14	70°,00 C.	»
1	28,75	»	15	72,50	203
2	32,50	»	16	75,00	»
3	38,75	39	18	77,50	»
4	41,25	»	21	80,00	230
5	43,75	»	22	82,50	359
6	46,25	37	24	98,75	390
7	48,75	»	26	102,50	»
8	53,75	105	28	112,50	421
9	56,25	121	30	133,75	437
10	58,75	140	31	158,75	»
11	61,25	156	33	176,25	476
12	63,75	172	36	Inflammation.	»
13	67,50	»			

L'accroissement de poids correspondant à l'inflammation est ainsi de près de 500^{gr} ou d'environ 1 p. 100, ce qui, en supposant l'air parfaitement sec, indiquerait une absorption finale de 356 litres de gaz. Au début, l'échauffement est lent et assez régulier; il se précipite quand on approche de l'instant de l'inflammation.

Les résultats furent tout différents quand on opéra sur de petites quantités de charbon, pulvérisé 18 heures après la sortie des cylindres. La température du lieu d'expérience variant de 5° à 8°,5, celle du charbon avant l'essai fut trouvée de 18°,75. On le soumit alors aux épreuves rapportées dans le tableau suivant :

Charge de charbon.	50 ^k	20 ^k	16 ^k	11 ^k	7 ^k ,500	6 ^k ,500	2 ^k ,500
Nature du récipient.	cyl. en fer	tine en bois	cyl. tôle en tôle	tine en bois	tine en bois	tine en bois	tine en bois
Diamètre du récip.	0 ^m ,67	0 ^m ,59	0 ^m ,35 et 0 ^m ,57	0 ^m ,38	0 ^m ,336	0 ^m ,344	0 ^m ,234
Épais ^r de la couche.	0 ^m ,59	0 ^m ,468	0 ^m ,468	0 ^m ,417	0 ^m ,365	0 ^m ,313	0 ^m ,261
TEMPÉRATURE DU CHARBON.							
TEMPS ÉCOULÉ à partir du moment où le charbon a été versé dans le récipient.	heures.	12	15	18	21	23	48
		88°,75 C.	33°,75 C.	28°,75 C.	25°,00 C.	16°,25 C.	20°,00 C.
		91,25	31,25	26,25	23,75	15,00	20,00
		245,00	30,00	26,25	23,75	12,50	18,75
		inflammation	»	»	»	»	»
		»	30,00	26,25	21,25	12,50	18,75
		»	28,75	25,00	21,25	12,50	17,50
	»	17,50	13,75	13,75	11,25	13,75	
	»	12,50	11,25	11,25	11,25	12,50	

Nous citerons enfin des expériences de Kahl, se rapportant également à l'inflammation spontanée des charbons distillés. Pour déterminer la température d'inflammation, Kahl prenait un tube d'épreuve, qu'il remplissait de charbon pulvérisé jusqu'au tiers de sa hauteur; ce tube était fermé par un bouchon portant deux trous, dans lesquels passaient deux tubes de verre recourbés dont l'un pénétrait dans le charbon. L'appareil était ensuite plongé dans un bain métallique jusqu'à moitié de sa hauteur, et l'on appliquait contre la partie inférieure du tube la boule d'un thermomètre à mercure. A chaque élévation de température de 5°, on faisait passer, au moyen d'un aspirateur, un lent courant d'air à travers la couche de charbon, et l'on notait la plus basse température à laquelle se produisait l'inflammation. — En opérant ainsi sur cinq échantillons différents de charbons de bourdaine, dont deux étaient durs et sonores, deux assez tendres, le cinquième ayant des propriétés intermédiaires, Kahl a trouvé les températures suivantes : 360°, 352°, 342°, 320°, 325°, soit en moyenne 340°. Les charbons de bois d'aune ont donné 360°, 360°, 360°, 346°, 333°, soit en moyenne 352°; pour les trois premières expériences, l'inflammation ne s'étant pas produite à 355° dans le bain métallique, on a dû plonger le tube d'épreuve dans un bain de mercure porté à l'ébullition.

e) Causes de l'inflammation spontanée.

L'origine de l'inflammation spontanée du charbon est d'autant plus difficile à découvrir que ce phénomène ne se reproduit pas toujours identiquement dans les mêmes circonstances. Le colonel français Aubert rapporte qu'ayant placé, dans deux récipients identiques des quantités égales de charbons pulvérisés, fabriqués simultanément et de la même manière, il vit s'enflammer la charge de l'un des récipients, tandis que l'autre charge resta intacte. Il est même arrivé que du charbon en morceaux, fabriqué depuis trois jours, s'est enflammé pendant la nuit, après avoir subi un trajet de seize lieues anglaises; Hadfield, qui cite le fait, admet qu'il s'est formé, pendant le parcours, du poussier de charbon qui a déterminé l'inflammation. Cette explication paraît peu plausible, car le même accident s'est reproduit en Saxe pour du charbon entassé en morceaux et n'ayant subi aucun transport.

Parmi les circonstances qui influent sur l'inflammation spontanée du charbon, on doit compter, sans doute, les diverses conditions at-

mosphériques, telles que la température ambiante, la pression barométrique, l'état hygrométrique de l'air et sa tension électrique. Mais leur influence n'est que secondaire: d'après les résultats acquis jusqu'à ce jour, la cause principale réside dans la propriété plus ou moins prononcée que possède le charbon d'absorber et de condenser l'air atmosphérique avec production de chaleur, et dans sa conductibilité plus ou moins grande pour la chaleur ainsi dégagée.

Nous ne citons que pour mémoire l'hypothèse de Davies, lequel attribue le phénomène à l'oxydation du potassium qui se serait formé, pendant la carbonisation, par la décomposition du carbonate de potasse contenu dans le bois; on s'expliquerait ainsi qu'un mélange de charbon et de soufre prit feu plus difficilement que le charbon seul, parce qu'alors il se serait produit du sulfure de potassium. Mais la réduction du carbonate de potasse à la température de la carbonisation est tout à fait invraisemblable: on sait qu'il faut chauffer jusqu'au blanc pour réaliser cette transformation. En outre, l'hypothèse de Davies ne rendrait pas compte des nombreux cas d'inflammation survenus dans les usines à pilons, pendant la trituration simultanée des trois substances dans les mortiers.

VII. PROCÉDÉ DE CARBONISATION PAR LA VAPEUR D'EAU SURCHAUFFÉE.

Dès 1847, Violette avait proposé d'employer, pour la carbonisation du bois, un procédé déjà appliqué par Thomas et Laurens à la revivification du noir animal. Ce nouveau système fut mis en pratique d'abord à Esquerdes, puis à Wetteren, et plus tard à Dresde. Il consiste à décomposer le bois dans un courant de vapeur d'eau, portée à une température qui dépend de la nature du charbon qu'on veut obtenir; cette température étant toujours de beaucoup supérieure à celle de la vapeur saturée à la pression où l'on opère, il faut recourir au surchauffage.

A. Système Violette.

Ce procédé ne permet pas seulement de régler facilement la température: il offre, de plus, l'avantage d'effectuer la carbonisation du bois dans une atmosphère neutre, où il ne peut entrer en combustion; enfin, le goudron, étant entraîné au moment même où il se forme, ne peut altérer la pureté du produit. Pour obtenir ce dernier