

9°, et le thermomètre marque rarement plus de 25°. — En Suisse, les meilleures espèces de poudre sont séchées d'abord à l'ombre, puis au soleil.

Le séchage dans les ateliers dure, en moyenne, de 8 à 10 jours.

Lorsqu'on n'est pas pressé par la fabrication et que l'on a assez d'espace et du soleil, on peut préférer ce mode d'opération au séchage artificiel : il économise, en effet, le combustible et n'altère que d'une manière insignifiante la constitution du grain. Mais les transports occasionnent une main-d'œuvre considérable, car le séchoir doit être situé loin des usines ; de plus, par suite de l'exposition en plein air, la poudre est sale et poussiéreuse et l'époussetage en devient difficile. Enfin, les effets du séchage naturel sont essentiellement variables suivant le temps, et dépendent surtout de l'état hygrométrique de l'atmosphère.

§ II.

SÉCHAGE ARTIFICIEL.

Ce mode de séchage a l'avantage de s'appliquer dans toutes les saisons et de pouvoir produire une dessiccation complète de la matière.

Le séchage artificiel de la poudre a été successivement réalisé de quatre manières différentes :

- 1° Par l'air chaud d'un fourneau ou d'un poêle ;
- 2° Par l'air chauffé au moyen de la vapeur d'eau ou de l'eau chaude ;
- 3° Par l'air froid préalablement séché ou non séché ;
- 4° Par l'exposition dans le vide.

I. SÉCHAGE A L'AIR CHAUFFÉ DIRECTEMENT.

A l'origine, le séchage naturel était seul employé. On chercha bientôt à le perfectionner, en produisant un échauffement artificiel de la matière. Furtenbach rapporte, à la date de 1632, que la poudre était directement séchée sur le feu dans des chaudières en cuivre ; mais ce procédé ne tarda pas à être abandonné, à la suite des accidents qui se produisirent.

On fut ainsi amené à utiliser la chaleur rayonnante du foyer, au lieu de laisser la matière au contact direct de la source calorifique : à cet effet, un poêle, placé au milieu de l'atelier de séchage, était alimenté pendant toute la durée de l'opération. Une série d'accidents, causés par des imprudences, fit transporter le poêle à une extrémité de l'atelier et disposer le foyer proprement dit dans une chambre voisine, complètement indépendante de l'atelier de séchage : un manteau en cuivre, entourant le poêle, était destiné à préserver les matières placées dans les environs d'un échauffement trop rapide. Ce mode de séchage est encore employé dans l'Allemagne du Nord, en Hollande et en Suède. Dans le Harz du Nord, le poêle, revêtu d'un enduit de terre glaise, est placé à l'extérieur de l'atelier, et l'air chaud y pénètre à travers des ouvertures munies de clapets et disposées à la partie inférieure de la cloison séparatrice.

Cette méthode offre, en général, peu de garanties au point de vue de la constance et de l'uniformité de la température : le poêle, qui s'échauffe facilement, se refroidit aussi très-vite. Ce dernier inconvénient peut être, il est vrai, en partie évité par le revêtement en terre glaise adopté dans le Harz.

II. SÉCHAGE A LA VAPEUR OU A L'EAU CHAUDE.

Le séchage à la vapeur a été, pour la première fois, pratiqué en Angleterre, vers 1780. Des plaques de cuivre, sur lesquelles on versait la poudre, servaient de couvercles à des caisses en bois ou à de petits réservoirs, dont les parois conduisaient mal la chaleur et dans lesquels arrivait la vapeur, à travers une série de tubes en cuivre, à une température de 54 à 75° ; on remuait constamment la poudre pendant l'opération, pour empêcher qu'elle ne se prit en masse. Cette méthode est encore en usage dans quelques fabriques anglaises, mais elle est depuis longtemps abandonnée dans les grandes poudreries.

Les procédés de séchage artificiel actuellement employés se rattachent à un petit nombre de types, dont le principe commun consiste à faire traverser une couche de poudre d'épaisseur déterminée, étendue sur une table inclinée ou sur des étagères, par un courant d'air chauffé à une température de 40 à 60° au moyen de la vapeur d'eau ou de l'eau chaude.

Avant de décrire les différentes dispositions adoptées pour les appareils de séchage, nous résumerons les principales expériences destinées à déterminer les diverses conditions de leur fonctionnement.

A. Travail des sécherics.

Nous supposerons que l'air, porté à une température déterminée, est chassé sous la table de séchage par un ventilateur animé d'une vitesse connue, et nous examinerons successivement : 1° le mode d'utilisation de la chaleur qu'il renferme; 2° l'influence de divers éléments sur la durée de l'opération; 3° le mode de détermination du débit du ventilateur, correspondant à une vitesse de l'appareil donnée et à une pression sous la table également donnée.

a) Mode d'utilisation de la chaleur.

Toutes choses égales d'ailleurs, le séchage sera d'autant plus rapide et le poids d'air sec à envoyer sous la table d'autant plus faible que la température de cet air sera plus élevée. On sait, en effet, que le poids de vapeur d'eau contenu dans 1^m d'air saturé croît avec la température et que, par suite, le poids d'air sec nécessaire pour évaporer 1^k d'eau diminue avec la température à laquelle se fait la saturation. C'est ce qui résulte du tableau suivant :

TEMPÉRATURE de la saturation.	POIDS DE VAPEUR D'EAU contenu dans 1 ^m d'air saturé.	POIDS D'AIR SEC nécessaire pour évaporer 1 ^k d'eau.
	kil.	kil.
5°	0,007	180,60
10	0,009	137,50
20	0,017	69,59
30	0,031	36,19
40	0,051	20,61
50	0,078	12,71
60	0,122	7,02
70	0,185	3,83
80	0,274	1,95
90	0,423	0,71

Dans la pratique, le poids d'air employé pour ramener la poudre à une humidité déterminée est toujours supérieur au poids théorique, calculé d'après le tableau précédent. En effet, on prend généralement de l'air à la température extérieure et à des états d'hygrométrie variables suivant les conditions atmosphériques; en outre, une portion de la chaleur fournie sert à élever la température de la masse à sécher ou de diverses parties de l'appareil; il faut enfin tenir compte des pertes de chaleur par rayonnement et de celles qui peuvent provenir du mode de séchage lui-même.

Ces différentes causes de déperdition de la chaleur ont été mises en évidence par une série d'expériences exécutées à Esquerdes sur de la poudre de mine ronde à 8,50 p. 100 d'humidité. On avait étendu 1000^k de cette poudre, en une couche de 0^m,13 d'épaisseur, sur une table ayant 9^m,59 de surface: l'air étant pris à la température extérieure de 12°, on notait, toutes les demi-heures, sa température à l'entrée et à la sortie de la matière, et l'on déterminait en même temps l'humidité de la poudre située au fond et au-dessus de la couche. On est ainsi arrivé aux résultats suivants :

DURÉE du séchage.	TEMPÉRATURE DE L'AIR		HUMIDITÉ DE LA POUDRE, POUR 100.			
	à l'entrée de la couche.	à la sortie de la couche.	au fond de la couche.	au-dessus de la couche.	moyenne.	différences.
0 ^h ,00	17°,0	17°,0	8,50	8,50	8,50	0,78
0,30	36,5	23,5	6,65	8,80	7,72	0,30
1,00	39,5	23,5	6,35	8,60	7,42	0,50
1,50	40,0	23,5	5,20	8,75	6,92	0,85
2,00	40,0	24,0	4,10	8,05	6,07	0,92
2,50	39,5	28,0	3,00	7,30	5,15	0,35
3,00	40,0	33,0	2,20	7,40	4,80	0,80
3,50	39,0	32,5	2,10	5,90	4,00	1,20
4,00	37,0	32,0	1,80	3,80	2,80	0,13
4,50	37,5	33,5	1,70	3,65	2,67	0,50
5,00	38,0	34,0	1,80	2,55	2,17	0,45
5,50	38,5	35,0	1,25	2,20	1,72	0,20
6,00	38,5	35,5	1,25	1,80	1,52	0,20
6,50	38,5	36,5	1,00	1,65	1,32	0,35
7,00	38,5	36,5	0,85	1,10	0,97	0,05
7,50	38,5	36,5	0,70	1,15	0,92	0,17
8,00	38,5	36,5	0,70	0,80	0,75	0,13
8,50	38,5	37,0	0,60	0,65	0,62	

Il résulte de ce tableau que le maximum d'évaporation, se rapportant à un travail de 1/2 heure, a été de 1,20 p. 100, soit environ de 2^e d'eau par mètre carré. Il est facile de voir que, dans les conditions de l'expérience, la quantité d'air théoriquement nécessaire pour effectuer cette évaporation était de 200^m par mètre carré, et correspondait à un débit du ventilateur d'un peu moins de 60' d'air par mètre carré et par seconde : or, le ventilateur employé devait fournir de 60 à 70'. L'utilisation de la chaleur, dans ce cas particulier, paraît donc satisfaisante.

On peut, en outre, conclure des résultats qui précèdent que l'opération du séchage présente trois phases distinctes. Dans la première, presque toute la chaleur est employée à élever la température de

la poudre, et l'air s'échappe saturé d'humidité à la température extérieure ; les couches inférieures se dessèchent, mais il peut arriver que, pour une épaisseur suffisamment grande, l'humidité des couches supérieures augmente. Après la période d'échauffement vient celle du séchage proprement dit : les couches supérieures commencent aussi à sécher, et l'air s'échappe encore saturé d'humidité, mais à des températures croissantes. Enfin, dans la troisième phase, l'activité du séchage diminue et les dernières parties de l'humidité que retient la poudre deviennent de plus en plus difficiles à évaporer : l'air sort non saturé, à une température de plus en plus élevée, et l'utilisation de la chaleur se trouve, par suite, considérablement amoindrie.

On a cherché à utiliser la chaleur que possède l'air à sa sortie de la poudre, dans la dernière partie de l'opération, en le forçant à traverser une seconde couche de poudre plus humide que la première : on pourrait ainsi, avec le même chauffage et en donnant à l'air une pression légèrement supérieure, sécher une quantité de poudre à peu près double dans le même temps. Des difficultés d'installation se sont jusqu'ici opposées à l'application de cette méthode aux tables de séchage ordinaires. Ce système de dessiccation méthodique se trouve, au contraire, en partie réalisé lorsqu'on emploie des étuves. en ayant soin de diriger le courant d'air chauffé de manière que celui-ci passe successivement sur des couches de poudre de plus en plus humides.

b) Durée du séchage.

La durée du séchage varie avec la nature et l'humidité de la poudre, l'état hygrométrique de l'atmosphère, la température et la pression de l'air chaud ; mais elle paraît être, dans de certaines limites, indépendante de l'épaisseur de la couche des matières à sécher. Ce dernier point résulte des expériences instituées à Angoulême (1860) sur de la poudre de mine, étendue en couches d'épaisseur variable sur une table de 16^m de surface et maintenue à la température de 50° ; le débit du ventilateur était de 69' environ par seconde et par mètre carré de table, avec une pression de 5^{mm},9 d'eau, et l'air s'échauffait de 50° en passant dans le circuit de vapeur. La marche de la dessiccation ayant été suivie, pour chaque essai, de demi-heure en demi-heure, on a obtenu la série des humidités suivantes :

DURÉE du séchage.	CHARGE DE LA TABLE.						
	1200 ^k	1000 ^k	800 ^k	600 ^k	300 ^k	150 ^k	100 ^k
	ÉPAISSEUR DE LA COUCHE DE POUDRE.						
	83 ^{mm}	71 ^{mm}	56 ^{mm}	43 ^{mm}	21 ^{mm}	11 ^{mm}	7 ^{mm}
HUMIDITÉ MOYENNE DE LA COUCHE, POUR 100.							
0 ^h ,00	8,26	8,00	7,90	7,90	8,43	8,15	8,20
0,50	6,80	5,50	5,80	5,80	5,40	5,20	4,30
1,00	5,60	4,00	4,00	4,00	3,80	3,00	3,70
1,50	4,70	2,00	2,50	2,50	2,00	2,80	2,00
2,00	3,60	1,40	1,50	1,50	1,50	1,80	1,40
2,50	2,70	1,00	0,90	0,90	1,40	1,60	1,20
3,00	2,00	0,50	0,80	0,80	1,00	1,50	0,80
3,50	1,70	0,50	0,70	0,70	0,60	1,00	0,40
4,00	1,00	0,20	0,40	0,40	"	0,30	0,20
4,50	0,70	"	"	"	"	"	"
5,00	0,30	"	"	"	"	"	"

On voit que, pour des épaisseurs de couche inférieures à 71^{mm} et dans les conditions de température et de débit des expériences d'Angoulême, la durée du séchage reste sensiblement constante. Au-dessus de 71^{mm}, cette durée a paru augmenter notablement avec l'épaisseur de la couche : elle a atteint 7^h 50^{min} pour une charge de 3350^k de poudre, correspondant à une épaisseur de 230^{mm} environ. On pouvait ainsi, dans ces mêmes conditions, sécher 375^k de poudre par mètre carré en 14^h, soit 26^k par heure ; l'air, pris à la température moyenne de 13°, était porté à 63°, et la dépense en houille par 100^k d'eau enlevée, qui était en moyenne de 73^k, a varié de 62^k,4 à 88^k. Ces résultats ne s'appliquent qu'à la poudre de mine.

En général, dans les installations actuelles des séchoirs à vapeur, on peut sécher, par heure et par mètre carré de table, 25^k de poudre de mine et 7 à 15^k de poudres de guerre ou de chasse. C'est surtout pour ces dernières poudres, dont les grains sont plus fins et opposent une plus grande résistance au passage de l'air, que l'on est obligé de diminuer l'épaisseur des couches (p. 307).

c) Débit du ventilateur et pression de l'air.

Le débit du ventilateur varie de 80 à 120^l d'air par seconde et par mètre carré de table, et la pression de l'air de 6 à 12^{mm} d'eau.

Les expériences d'Angoulême (1860) ont permis de calculer les débits du ventilateur correspondant à une pression connue sous la table.

A cet effet, on a commencé par charger la table de séchage comme à l'ordinaire, et l'on a déterminé, pour des vitesses du ventilateur croissant de 50 à 300 tours par minute, la série des pressions de l'air en un point de la caisse choisi de manière que l'air n'y possédât pas de vitesse sensible ; ces pressions ont été appelées *normales*. Puis on a enlevé la poudre, on a couvert la surface de la table avec des draps et des planches, destinés à empêcher le passage de l'air, et l'on a remplacé les portes antérieures de la caisse par des portes mobiles dont l'ouverture pouvait être modifiée à volonté : on déterminait alors, pour chaque vitesse du ventilateur, les pressions de l'air au point repère de la caisse correspondant à des ouvertures croissantes des portes mobiles.

La représentation graphique des résultats obtenus permettait ainsi de trouver, pour chaque vitesse, l'ouverture correspondant à la pression normale précédemment observée. De la connaissance de cette pression et de la surface totale de l'ouverture, on a pu déduire les débits du ventilateur indiqués dans le tableau ci-après :

VITESSE du ventilateur par minute.	PRESSION normale de l'air sous la table en colonne d'eau.	SURFACE des orifices de sortie.	VITESSE de l'air par seconde.	DÉBIT CALCULÉ du ventilateur par seconde,	
				total.	par mèt. carré.
tours	millim.	mq.	mèt.	litres	litres
300	11,6	0,2324	13,526	1922	120
250	8,5	0,2157	11,661	1527	95
200	5,9	0,1911	9,674	1102	69
150	3,7	0,1665	7,558	767	48
100	1,7	0,1365	5,194	432	27
50	0,5	0,0870	3,161	165	10

Ce mode d'opérer comporte quelques causes d'erreur, dues aux fuites d'air qui pouvaient se produire par les parois de la caisse,