

SCHUBERT

FABRICATION
DE LA CELLULOSE

PARIS & LIÈGE

CH. BÉRANGER EDITEUR

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

TRAITÉ PRATIQUE
DE LA
FABRICATION DE LA CELLULOSE

TRAITÉ PRATIQUE
DE LA
FABRICATION DE LA CELLULOSE

A L'USAGE
DES DIRECTEURS TECHNIQUES OU COMMERCIAUX
DES FABRIQUES DE PAPIER ET DE CELLULOSE,
DES CHEFS D'ATELIERS ET DES ÉCOLES PROFESSIONNELLES

PAR
MAX SCHUBERT
Directeur d'Usine

TRADUIT DE L'ALLEMAND AVEC NOTES ET ADDITIONS

Par **ED. BIBAS**
Ancien élève de l'École Polytechnique
Ingénieur civil des mines
Sous-Directeur de la Société Anonyme des Papeteries du Marais et de Sainte-Marie



PARIS
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE BAUDRY ET C^{ie}. ÉDITEURS
15, rue des Saints-Pères, 15
MÊME MAISON A LIÈGE, RUE DES DOMINICAINS, 7
1893

PRÉFACE DU TRADUCTEUR

Ce petit livre traite uniquement de la préparation de la cellulose de bois, ou pâte de bois, destinée à la fabrication du papier.

Sous ces deux appellations, qui ont peut-être le défaut opposé d'être l'une trop scientifique, l'autre trop peu précise, ce produit n'est qu'une forme moderne d'une substance connue et utilisée dès la plus haute antiquité.

Le domaine industriel de la cellulose, tant comme provenances que comme emplois, est en effet extrêmement étendu. Elle nous représente tout d'abord l'élément essentiel et constitutif des textiles d'origine végétale. Les fibres des fils et des tissus de coton, de lin, de chanvre sont de la cellulose plus ou moins pure. Il en est de même, à un degré inférieur, de celles du jute, du phormium, de l'aloès et de leurs similaires. Dans le sparte, l'alfa, la paille

même, la cellulose forme encore l'élément souple et tenace, mais elle reste associée à des matières raides et dures dans une proportion telle que les produits ne sont plus susceptibles d'être filés. Dès lors le tressage se substitue au tissage et donne les nattes, les paillassons, les paniers. Enfin la vannerie seule utilise à ce point de vue la cellulose du bois ; encore n'est-ce qu'à la condition de choisir des tiges jeunes et flexibles.

Il est une autre sorte de produits fabriqués, qui tout en se rapprochant des tissus par leur aspect et leurs emplois, en diffèrent complètement par leur constitution mécanique, ce sont les feutres proprement dits (qu'il ne faut pas confondre avec les tissus feutrés, quelquefois désignés par analogie sous le même nom). Dans les feutres comme dans les tissus la matière fibreuse est l'élément constitutif par excellence, mais la cohésion des fibres ne procède plus d'un entrecroisement régulier comme dans le tissage ou le tressage ; elle résulte de l'enchevêtrement confus, et pourtant homogène, de fibres de longueur quelconque, généralement très courtes, dont l'adhérence est souvent augmentée par la compression. L'industrie du vêtement emprunte au règne animal les

fibres qui entrent dans la fabrication de ses feutres ; les poils de certains animaux et l'effilochage des vieilles laines lui fournissent la matière première. Les fibres végétales de leur côté, c'est-à-dire la cellulose, se prêtent également à la fabrication d'un véritable feutre dont la consommation a pris de nos jours une grande extension, le papier.

Tout le monde sait qu'on obtient le papier en recueillant sur un tamis, sous forme de feuille mince, une masse fibreuse convenablement préparée et mise en suspension dans l'eau. Un léger mouvement de va-et-vient imprimé à la matière demi-fluide pendant son égouttage, puis une compression énergique assurent le feutrage, autrement dit l'enchevêtrement et l'adhérence des fibres entre elles.

Jusqu'au commencement, nous pourrions même dire jusqu'au milieu de ce siècle, on voit les chiffons, les cordes, en un mot les rebuts neufs ou vieux, et surtout vieux, de l'industrie textile et de la corderie suffire à la consommation de cellulose des papeteries, et de même les cuves à bras de celles-ci, couvrir les besoins des presses à bras des imprimeurs d'alors.

Mais avec l'invention des moteurs à vapeur,

et le développement général des arts mécaniques qui en est la conséquence, la papeterie et l'imprimerie, subissent parallèlement l'une à l'autre une transformation complète. Tandis que les premières presses à cylindre, se substituant aux presses à bras, viennent accroître dans des proportions énormes la puissance de l'imprimerie et par suite ses demandes, la machine à papier continue (basée elle aussi sur le jeu d'organes cylindriques) fait son apparition et, au point de vue mécanique, met la production des papeteries au niveau des nouvelles exigences du marché.

Alors se pose une autre question, celle de la matière première. L'accroissement de la population et de l'aisance générale, la plus grande facilité des communications ont bien pu dans une certaine mesure augmenter la quantité de chiffons disponible dans les centres producteurs, mais cette progression reste insignifiante auprès de celle de la consommation du papier et des moyens mécaniques désormais acquis à la conversion de la cellulose en papier.

Ce ne sera donc plus seulement à la cellulose existant dans les fils et les tissus (représentés par les chiffons), dans les cordes, dans les déchets de fabriques que la papeterie demandera ses

matières premières ; elle ira les chercher directement dans les végétaux eux-mêmes. Elle aura recours en Angleterre aux spartes de l'Espagne et de l'Afrique, sur le continent à la paille indigène. Les fibres de la cellulose que, par un traitement chimique, elle parvient à en extraire à un degré de pureté plus ou moins grand, ne sauraient plus, il est vrai, donner des filés comme le coton, le chanvre et le lin ; peu lui importe, puisqu'elles sont aptes au feutrage par lequel elle procède.

Mais la production du sparte est limitée, les frais de transport en sont considérables ; la paille, recherchée d'ailleurs pour d'autres usages, s'emploie difficilement seule, et cependant les presses des imprimeries et des machines à papier voient croître sans cesse leurs dimensions, leur vitesse et leur nombre. On veut moins cher, on veut plus. De la série énumérée au début de ces lignes le bois seul reste, le bois doit avoir son tour. Toutefois, ce ne sera pas des jeunes tiges, dont la flexibilité décèle la présence de la cellulose, qu'on obtiendra la précieuse substance ; il faut faire vite et beaucoup, opérer en grand, et l'industrie se basant non plus sur d'apparentes analogies, mais sur une donnée chimique précise,

amassera dans ses usines des troncs d'arbres tout entiers, pour en extraire la cellulose qu'ils renferment, soit telle que l'a formée la nature et pour ainsi dire brute, en désagrégeant le bois simplement à la meule dans un rapide et abondant courant d'eau (1), soit presque aussi pure que dans le coton, en éliminant par un énergique traitement chimique les substances étrangères, qui, intimement associées à elle, donnent au bois sa raideur et sa dureté.

Les fibres d'ordre supérieur continueront cependant à trouver leur emploi, mais presque exclusivement dans des circonstances et pour des qualités déterminées. Il en sera comme des fers au bois dans l'industrie métallurgique.

L'évolution de la papeterie,

Si parva licet componere magnis,

n'est d'ailleurs pas sans analogie avec celle de la sidérurgie. Par la nature des organes nouveaux adoptés, ainsi que par la puissance de leur débit, la substitution des machines

(1) Le produit ainsi obtenu est appelé pâte mécanique, par opposition à la pâte chimique, ou cellulose. Elle est relativement grossière et sans consistance.

continues aux cuves et aux presses à bras, représente bien celle des laminoirs modernes aux anciens martinets. Aux unes comme aux autres il faut la matière première en plus grande abondance et à plus bas prix, et le papier de bois succède au papier de chiffon de même que le fer au coke a succédé au fer au bois. Enfin, dernier et remarquable rapprochement, le lessiveur colossal va précisément demander aux forêts ce même bois, que dédaigne aujourd'hui le haut-fourneau monstrueux.

Malgré la longueur et le soyeux de ses fibres, la cellulose de bois n'est pas susceptible d'être filée, ou du moins tous les efforts faits en ce sens sont restés jusqu'à ce jour sans résultat. Le procédé du Chardonnet, pour la production de la soie artificielle, rentre dans un ordre d'idées absolument différent, et se rapproche plutôt des emplois chimiques de la cellulose, c'est-à-dire de la fabrication du celluloïd, du fulmi-coton, etc. qui entraînent la dénaturation, la disparition complète de la structure fibreuse.

En fait, c'est donc bien uniquement comme matière première destinée aux papeteries que la cellulose de bois doit être actuellement considérée. Cependant son importance au point de

vue des quantité produites, aussi bien que certaines exigences de situation, en ont fait une industrie à part, ayant son existence propre, surtout depuis l'immense développement que, dans ces douze dernières années, elle a pris dans les pays forestiers de l'Europe, et notamment en Allemagne. Le traité technique spécial de M. Max Schubert (Berlin, 1892) y répondait donc bien à un besoin du moment. La France, beaucoup moins riche en forêts et en essences appropriées à ce genre de travail, n'a pu prendre qu'une faible part à l'exploitation de ces nouvelles découvertes et a dû suppléer par une large importation à l'insuffisance de sa production propre. L'étude de cette industrie y est, par conséquent, d'une application moins générale et moins immédiate. Quoiqu'il en soit, le sujet nous a paru présenter encore des côtés scientifiques, économiques, industriels et commerciaux d'un assez haut intérêt pour justifier la tâche que nous nous sommes imposée en donnant une édition française du *Traité pratique de la fabrication de la cellulose*.

Ed. B.

FABRICATION DE LA CELLULOSE

I. Cellulose

La cellulose est une des substances qui jouent dans la nature le rôle le plus important, et de celles aussi qui s'y trouvent le plus répandues. Depuis des milliers d'années qu'elle se développe sous l'action de la vie végétale, elle a constitué, en se transformant en charbon, d'énormes gisements qui ont survécu aux révolutions géologiques de notre globe et le monde des végétaux modernes, poursuivant l'œuvre ininterrompue, la produit et la renouvelle sans cesse. A ne considérer que l'infinie variété des milieux où elle prend naissance, on s'explique bien qu'au point de vue tant mécanique que chimique la cellulose puisse se présenter dans des conditions très différentes. Le mot *cellulose* est donc à proprement parler une désignation générale et, pour lui donner une acception plus précise, il y aurait lieu, ainsi qu'on l'a déjà proposé

plus d'une fois, de le compléter dans chaque cas particulier par une désignation d'origine. Mais comme, dans la pratique industrielle, il ne peut être question que d'un petit nombre d'espèces de celluloses, principalement de celles du bois, du sparte, de la paille, et qu'en outre ce livre ne doit traiter spécialement que de la plus importante, celle du bois, le seul nom de cellulose nous suffira, et son acception ne pourra donner lieu à aucune doute, c'est de la cellulose de bois que nous entendrons parler. C'est par Tessié du Motay que le mot cellulose a été pour la première fois employé.

La fibre végétale, comme on sait, à l'exception de celle du coton, ne se trouve presque jamais dans la nature à l'état libre, mais elle est entourée de matières incrustantes variées, dont il est plus ou moins facile de la dégager. Même en amenant par des actions mécaniques le bois à un état de division extrême, on ne parvient pas à éliminer ces matières. On obtient bien ainsi le bois moulu, qui, sous le nom de pâte de bois mécanique, joue grâce à son bas prix, un rôle important dans la papeterie, et qui seul a rendu possible la production en grand du papier à bon marché pour journaux ; mais, par le peu de longueur de ses éléments, sa raideur, son feutrage difficile, son inap-

titude à se blanchir, cette matière ne pouvait suppléer la fibre de chiffon. Ce n'est qu'après avoir réussi en grand et dans des conditions relativement économiques à débarrasser la fibre de son enveloppe qu'on a obtenu un succédané capable d'opérer dans la fabrication du papier une véritable révolution. Alors seulement, en effet, cette nouvelle fibre se prête à des emplois extrêmement variés et est tout à fait susceptible de remplacer dans beaucoup de cas celle du chiffon.

Les premières tentatives faites dans ce but remontent à 1840. Il a donc fallu, comme pour toutes les grandes inventions, bien du temps avant que ces essais aboutissent aux procédés pratiques appliqués aujourd'hui sur une si vaste échelle. Marchant par des voies différentes, apportant des améliorations successives aux méthodes de leurs prédécesseurs, de nombreux chercheurs sont arrivés à produire la cellulose, et finalement ils ont formé, suivant leur mode respectif d'opérer, un certain nombre de groupes principaux qui obtiennent des celluloses se distinguant entre elles par la force de leurs fibres, leur solidité, leur pureté, leur flexibilité ou leur blancheur. Les fabricants de papier y trouvent leur avantage, car, les qualités, envisagées au point de vue du papier à fabriquer, variant à l'infini, ils peuvent choisir les sortes qui

leur conviennent le mieux, ou même les combiner et en travailler plusieurs à la fois.

Malgré la variété des méthodes et les nombreuses divergences de détail dans le mode d'opérer, la fabrication de la cellulose ne semble pas près d'avoir dit son dernier mot, car, récemment encore, l'électricité, qu'on pourrait nommer la caractéristique de notre époque, a fait son entrée en scène, et vient maintenant avec sa puissante action dans le domaine des phénomènes chimiques, nous prêter son concours pour la dissolution des matières incrustantes du bois. Dans quelle mesure cette méthode prendra-t-elle place dans la pratique ? Quelle révolution est-elle appelée à y opérer ? C'est ce qu'on ne saurait encore prévoir.

Rien ne peut mieux donner une idée de la marche et des développements de la découverte de la cellulose, ainsi que de ses phases si importantes au point de vue de la fabrication du papier, que la série, par ordre chronologique, des noms de ceux qui ont soit indiqué de nouvelles méthodes, soit introduit des perfectionnements, ou réalisé des appareils pratiques. Sur ce tableau, l'auteur a, en regard de chaque nom, mentionné très brièvement, mais dans la mesure du possible, le moyen de séparation qui caractérise chaque procédé.

ANNÉE	NOM	MOYEN DE SÉPARATION	PROCÉDÉ
1840	Payen	Acide nitrique	Acide
1852	Coupier et Mellier	Soude	Alcalin
1853	Watt et Burgess	Alcalis	—
1855	Juillon	—	—
1857	Houghton	—	—
1861	Barre et Blondel	Hydracides	Acide
1864	Bachet et Machard	Acide muriatique	—
1866	Tilghmann	Sulfite de chaux en dissolution dans SO_2	Sulfureux
1866	Eckmann	Sulfite de magnésie	—
1867	Fry	Eau à haute température	Neutre
1870	Dresel	Soude	Alcalin
1871	Mitscherlich	Acide sulfureux	Sulfureux
1872	Ungerer	Soude	Alcalin
1872	Ritter-Kellner	Acide sulfureux	Sulfureux
1873	Römer de Nettingsdorf	Acide nitrique à froid	Acide
?	Orioli	Eau régale	—
1880	Cross	Eau et sulfite neutre	Neutre (?)
1881	Francke	Acide sulfureux	—
1882	Pictet	— en dissolution dans l'eau.	Sulfureux
1882	Graham	Acide sulfureux	—
?	Flodquist	—	—
1883	Blitz	Alcali et sulfite (Vanadate d'Ammoniaque)	—
1883	Dahl	Sulfate	Alcalin
1885	Kellner	Electricité	Elect.-Chim.
1890	Lifschütz	Acide nitrosulfurique	Acide

Un rapide coup d'œil sur la constitution chimique du bois expliquera le choix des agents employés par ces divers inventeurs.

La cellulose, quelle que soit son origine, a toujours une composition chimique identique, exprimée par la formule $C^{12}H^{10}O^{10}$. La chimie est donc impuissante à

déterminer la provenance d'une cellulose donnée et c'est au microscope qu'on doit avoir recours pour arriver à ce résultat, en se fondant sur les caractères physiques très différents des diverses celluloses, la structure, la longueur, la finesse de leurs fibres. La solidité et la souplesse sont également très variables.

La cellulose contient l'oxygène et l'hydrogène dans les mêmes proportions que l'eau ; elle est isomère aux matières amylacées, amidon et dextrine, et comme elles, sous l'influence des acides chlorhydrique, sulfurique et phosphorique, à froid quand ils sont concentrés, à chaud quand ils sont étendus, elle fixe les éléments de l'eau et donne un sucre bien caractérisé, le glucose $C^{12} H^{14} O^{14}$.

L'acide nitrique concentré se combine avec la cellulose en modifiant sa composition et donne le coton poudre.

Les acides faibles ou étendus, les acides organiques sont sans action sensible sur la cellulose.

Les autres éléments du bois, auxquels dans la nature la cellulose se présente associée, sont encore peu connus. Ils sont encore désignés, suivant les auteurs, sous le nom de lignine (mélange, suivant Payen, de divers composés tous solubles dans les alcalis caustiques, mais ne se comportant pas tous de la même manière avec l'alcool, l'éther et l'ammoniaque) ou de vasculose $C^{36} H^{20} O^{16}$, et plus généralement de matières incrustantes, parce qu'on les considère comme remplissant et enveloppant les cellules.

Ces matières sont peu attaquables aux acides, même assez concentrés, mais subissent l'action des corps oxydants, qui les transforment en acide résineux. Les

alcalis ont, à une température élevée (130°), le même effet et dissolvent le produit formé ; leur action est favorisée par l'oxydation préalable qui permet d'opérer à une température moins élevée. Enfin l'acide sulfureux, à la faveur d'une température de 110 à 120°, jouit également, grâce à des réactions encore peu connues, de la propriété de dissoudre les matières incrustantes.

De la dernière colonne du tableau, comme de cet exposé sommaire, il ressort qu'on peut distinguer pour la dissolution des matières incrustantes quatre méthodes principales, à savoir :

- 1° Le procédé acide ;
- 2° Le procédé alcalin ;
- 3° Le procédé sulfureux ou au bisulfite ;
- 4° Le procédé électro-chimique.

Le premier de tous, le procédé acide, n'est pas à considérer au point de vue pratique, car il n'a aujourd'hui qu'une valeur théorique et historique. En dehors de l'acide nitrique mentionné ci-dessus, les sels de nitre, l'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique ont été employés par plusieurs pour la préparation de la cellulose, mais abandonnés après qu'on eut reconnu et les divers inconvénients auxquels ils donnaient lieu, et la valeur pratique des autres méthodes.

Les trois autres procédés, envisagés à un point de vue général, offrent ceci de commun que le bois

est d'abord réduit en petits fragments, qu'il subit ensuite dans un appareil de cuisson un lessivage sous pression, et qu'enfin, après lavage et trituration, l'on recueille la cellulose. Les détails varient naturellement beaucoup, mais plusieurs opérations, notamment les manipulations initiales et finales, sont les mêmes dans tous les procédés. Par conséquent, dans ce traité qui est rédigé spécialement au point de vue pratique, les procédés, pour éviter beaucoup de redites, ne seront pas exposés isolément, mais toute la fabrication sera décrite dans ses phases successives, sauf les divisions que comportent les systèmes énumérés et qui se feront d'elles-mêmes.

II. Du bois et de sa préparation

On n'a pas manqué de chercher à extraire la cellulose de toutes les essences le permettant par leur prix peu élevé, des bois feuillus comme des résineux, mais c'est toujours avec le bois des pins et des sapins qu'on a obtenu les fibres de cellulose les plus longues et les plus belles, encore que ces bois eux-mêmes, selon le sol où ils ont poussé, selon leur croissance plus lente ou plus

rapide, présentent des différences de qualité dans les fibres qu'on en extrait. Les cellules du bois de sapin ont jusqu'à 9^{mm} de longueur, tandis que dans les bois feuillus elles sont de beaucoup plus courtes; dans le peuplier par exemple elles n'atteignent que 0^{mm}4.

La quantité de cellulose qu'on peut extraire des différentes essences ressort du tableau suivant, dressé par R. B. Griffin et A. D. Little :

Essences	Sucres Gommés etc. Solubles dans l'eau	Corps gras, rési- nes etc. solubles dans l'alcool et l'éther	Cellulose	Matières incrus- tantes et agglu- tinantes	Rendement en fibres écruës par le procédé au bisulfite.
Sapin.....	2.81	2.73	66.32	28.14	50.75
Peuplier...	4.80	1.85	80.35	13.00	55.18
Bouleau ...	2.14	0.93	82.99	13.94	42.80
— Jaune..	1.88	0.97	82.36	14.79	53.80

Pour la cellulose à la soude, on consultera avec intérêt le tableau suivant, qui donne le rendement en cellulose d'un stère des différentes essences et fait ressortir en même temps la perte à l'écorçage et au nettoyage.

Essences (bois nouvellement abattu)	1 Stère pèse Kg	Perte		1 Stère écor- cé et séché se réduit à Kg	Produit en cellulose	
		par écorçage et nettoyage Kg	par dessicca- tion à 100° Kg		absolu Kg	P. 100
Épicéa (pinus picea)	617.5	80	230	307.5	108.2	35
Sapin des Vosges (pinus abies)	566	136	491.7	238.3	88.2	37
Pin sylvestre (pin. sylvestris)	697.5	170	252.2	275.3	105.7	38
Pin d'Autriche (pin. Austriaca)	707.5	147	285.6	274.9	89.	34
Pin Laricio (pin. larix)	597.5	90	160.37	347.13	116.8	33
Pin rabougr (p. pumilio).	449.3	55.1	124.8	269.4	99.81	37
Hêtre commun (fagus syl- vatica)	865.	70	327.54	467.46	139.80	30
Bouleau verruqueux (betula alba)	623.5	144.5	215.04	296.96	85.60	29
Peuplier tremble (populus tremula)	695	135	227.36	332.64	108.42	32
Peuplier blanc (popul. alba)	650	175	226.5	248.5	88.14	35
Sorbier des oiseleurs (sorbus aucuparia)	725.5	131.5	269.67	324.33	100.6	31
Alisier des bois (sorb. tomi- nalis)	756.5	166.5	224.2	365.8	103.96	28
Saule marceau (salix caprea)	572.5	80.5	241	251	85.7	34
Saule fragile (sal. fragilis)	583.5	111	181.4	291.1	104.8	36
Frêne commun (fraxinus ex- celsior)	593.5	91	100.1	402.4	103.95	26
Aune commun (alnus gluti- nosa)	516.5	97.5	181	238.	81.3	34

La comparaison des deux tableaux montre que le rendement en cellulose d'un même bois serait plus élevé par le procédé au bisulfite que par le procédé à la soude : « Le traitement du bois par les bases, dit M. Othon Petit (*Les emplois chimiques du bois*) donne une perte très notable de cellulose, car, si théoriquement la vasculose commence à être attaquée par les alcalis à partir de la température de 130°, il faut pratiquement dépasser de beaucoup celle-ci pour arriver à la résoudre suffisamment pour en désincruster complètement la cellulose, et dans ces conditions celle-ci se trouve elle-même plus ou moins altérée et transformée en oxalate, acétate et formiate alcalin. » D'autre part dans la pâte au bisulfite écrue, il reste encore souvent des éléments autres que la cellulose pure (1).

Les chiffres de la dernière colonne de l'un et de l'autre tableau montrent que les rendements en cellulose des différentes essences ne présentent par le fait que peu d'écart entre eux, mais qu'en général ceux des résineux sont un peu plus forts. Comme en outre ces bois donnent la meilleure cellulose et sont les plus abondants et les plus avantageux comme prix, ce sont à peu près les seuls dont on ait à s'occuper dans la pratique.

Maintenant que l'industrie de la cellulose a pris

(1) De semblables tableaux se rapportant non à la cellulose écrue, mais à la cellulose blanchie, c'est-à-dire amenée à un degré de pureté plus comparable, donneraient probablement moins d'écart (N. d. T.).

en Allemagne une extension si grande et dépassant toutes les prévisions, que de plus il se produit des quantités énormes de pâte mécanique, il semble qu'il y ait lieu de se demander si les usines n'arriveront pas dans un avenir plus ou moins prochain à épuiser les ressources forestières du pays, et s'il n'y a pas à redouter les dangers qui sont, comme l'on sait, les inévitables conséquences d'un déboisement irréfléchi. On trouve une réponse rassurante à ces appréhensions dans les considérations et les chiffres suivants, empruntés à une conférence du D^r Frank, qu'a reproduite en son temps la *Papier-Zeitung* (année 1888, n^o 27).

« Il y a en Allemagne environ 60 fabriques de cellulose, qui traitent journellement quelque 2.000 mètres cubes, répondant à 3.000 stères de bois, et mettent ainsi chaque année en mouvement plus de 35 millions de francs dont un tiers revient à la caisse des forêts. Cette consommation journalière de 2.000 mètres cubes exige le déboisement d'une superficie de forêts de 6 à 8 hectares. D'après des informations prises auprès des personnes compétentes, on peut admettre que, pour l'Allemagne, dans des peuplements de 60 ans, le rendement annuel moyen en bois parfait est pour les pins de 3^m³,1 pour les sapins de 4^m³,9 à l'hectare, en sorte que pour les 600.000^m³ représentant la demande

annuelle des fabriques de cellulose de ce pays, il faut une superficie totale de 150 à 160.000 hectares.

Comme le bois de sapin est celui qui convient le mieux à la fabrication de la cellulose, les prix de ce bois, qui antérieurement, à cause de sa moindre valeur comme bois d'industrie, étaient au dessous de ceux du bois de pin, ont rapidement monté, et l'administration royale prussienne des forêts a très-sagement tenu compte de cette circonstance en augmentant les plantations de sapins à croissance rapide de façon que, sur les 274.416 hectares de forêts de sapins que comprend le domaine de l'État, il se trouve aujourd'hui :

Bois de 100 ans	8.308	hectares.
de 81 à 100 »	17.727	»
» 61 » 80 »	30.752	»
» 41 » 60 »	48.413	»
» 21 » 40 »	65.616	»
» 1 » 20 »	92.675	»

Ce développement de la culture du sapin, pour lequel la propriété forestière privée marchera dans la même voie, est d'autant plus important que l'industrie allemande de la cellulose devra compter avec la concurrence d'autres pays qui ont la matière première à bien plus bas prix qu'elle ; du nombre sont la Scandinavie et les provinces mari-

times de la Russie, contrées placées de plus les unes et les autres dans une situation très favorable à l'exportation de leurs produits. En Amérique, le Canada, doué des mêmes avantages, est déjà entré en lice.

L'Allemagne n'en est pas moins un pays assez riche en forêts, car sur une superficie d'environ 54 millions d'hectares en rapport, environ 13.900.000 hectares, soit 25,7 % sont en forêts.

Sur ces 13.900.000 hectares de superficie forestière, plus de 9 millions sont plantés en résineux, qui à leur tour se répartissent approximativement en 6 millions pour les pins et 3 millions pour les sapins. Un fait important au point de vue qui nous occupe est que non seulement ces bois présentent pour la fabrication de la cellulose une supériorité reconnue, mais qu'en même temps ils se rangent parmi les essences les mieux appropriées au sol et au climat. Le pin tout d'abord est l'arbre par excellence des pays pauvres et sablonneux du nord de l'Allemagne; le sapin est déjà un peu plus exigeant; il réclame pour sa radication traçante un sol un peu plus riche et notamment des conditions climatiques plus favorables comme humidité et température; il n'en couronne pas moins une partie des régions montagneuses de l'Allemagne et s'avance en groupes serrés jusque dans les pro-

vinces du nord de la Prusse. Conformément d'ailleurs à ses exigences plus grandes dans le choix du sol, le sapin croît aussi plus rapidement que le pin, c'est-à-dire que dans le même espace de temps il produit une quantité de bois plus grande. Le pin sur un sol de qualité moyenne et bien aménagé peut donner en coupes de 60 ans une moyenne de $4^{\text{m}^3}4$ par hectare et par an et en coupes de 80 ans une moyenne de $4^{\text{m}^3}64$ par hectare et par an, tandis que le sapin dans des terrains intermédiaires à la 2^e et à 3^e classe, bien aménagés, donne, en coupes de 60 ans seulement, 7^{m^3} de bon bois par hectare et par an. Or 1^{m^3} de bois de sapin pèse environ 450 kil. ; donc ces 7^{m^3} correspondent à 3.150 kil de bois parfait, et comme 6 mètres cubes de bois de sapin donnent environ 1.000 kil. de cellulose pure, le produit annuel à l'hectare de sapin, évalué en cellulose, est de 1.166 kilos.

Il ressort clairement de cet exposé qu'avec un aménagement rationnel des forêts tel qu'il se pratique partout en Allemagne, une bonne partie de leur produit peut sans dommage aucun pour la richesse forestière nationale être transformée en cellulose.

La dernière statistique française remonte à la date déjà un peu ancienne de 1876 et ses chiffres, destinés à être dans un an ou deux remplacés par ceux d'un nou-

veau travail actuellement en préparation, sont aujourd'hui considérés par les personnes compétentes comme sensiblement au-dessous de la réalité, en raison des travaux de reboisement poursuivis avec activité depuis cette époque par le service des forêts.

D'après les renseignements qu'elle nous donne, la forêt occupe en France une superficie de 9.400.000 hectares qui se répartissent de la manière suivante :

Bois de l'Etat.	1.075.000 hect.
Bois des communes et établissements publics soumis au régime forestier	1.910.000
Bois particuliers et forêts communales non gérées par l'administration forestière	6.415.000
	<hr/>
	9.400.000 hect.

Sur ce total les résineux entrent pour 1.838.000 hectares répartis comme il suit :

Sapin	643.000
Epicéa	276.000
Pin Sylvestre	413.000
Pin maritime	276.000 (1)
Mélèze.	184.000
Pin d'Alep	46.000
	<hr/>
	1,838,000 hect.

Ce chiffre s'écarte peu de celui qu'indique plus récemment la statistique agricole de 1882 qui donne :

Forêts résineuses pures . . .	1.631.000 hect.
» » mélangées	327.000 »

(1) Cette surface a été considérablement augmentée.

Si de la superficie nous passons au produit annuel, nous trouvons dans la même statistique de 1876 pour les bois résineux :

Sapin et épicéa bois d'œuvre .	1.038.000 m ^c .
Pins » .	1.569.000
Mélèze » .	11.000
<hr/>	
Total du bois d'œuvre . . .	2.618.000
Total du bois de corde (à feu) .	2.205.000
<hr/>	
	4.823.000 m ^c .

Mais au point de vue de la cellulose il convient d'écartier le pin maritime, à cause de la forte proportion de résine qu'il contient et qui en rend d'ailleurs l'exploitation si profitable à un autre point de vue, ce qui réduit à 4.000.000^{m^c} environ le produit ci-dessus. Ce chiffre lui-même, bien qu'intéressant à connaître, ne présente au point de vue qui nous occupe qu'une donnée fort incomplète, car les bois d'œuvre de trop fortes dimensions et les bois de corde trop menus ne sont pas à entrer en ligne de compte. Ensuite les disponibilités pour une industrie donnée dépendent moins du stock absolu que des prix qu'elle peut offrir au regard des diverses industries qui lui font concurrence sur le marché de la matière première.

A ce titre la comparaison des superficies respectivement occupées en France et en Allemagne par les résineux propres à la fabrication de la cellulose paraîtra certainement plus suggestive :

9 millions d'hectares en Allemagne.

1,5 million » en France.

A la simple inspection de ces chiffres, on comprend

que la fabrication de la cellulose, tout en étant en France honorablement représentée, n'ait pu s'élever, comme en Allemagne, à la hauteur d'une industrie nationale.

En fait les fabriques qui produisent en France la cellulose au bisulfite emploient une quantité considérable de bois importés. Elles reçoivent un quart ou un tiers des 500.000 stères qu'exporte annuellement la péninsule scandinave pour cet usage, et dont la plus grande partie va en Angleterre. Le bois arrive dans nos ports en rondins écorcés de 1^m 10 de longueur, au prix de 14 fr. environ le stère.

Sans infirmer ce qui a été dit plus haut de l'emploi à peu près exclusif des résineux, il faut cependant après eux mentionner le tremble, qui, malgré le peu de longueur et de solidité de ses fibres, donne une pâte souvent appréciée par sa blancheur, son moëlleux et son prix un peu moins élevé. Les quantités traitées sont comparativement infimes, mais le produit est positivement de fabrication et de vente courantes. C'est un fait qu'il importe de constater.

Comment les fabriques doivent-elles s'approvisionner du bois nécessaire à leur consommation ? Ceci est à voir à chacune d'elles en se plaçant à son point de vue particulier ; chaque établissement devra rechercher les bois qui répondent le mieux à son genre de fabrication, qu'il peut obtenir le plus facilement, avec les moindres frais de transport, en un mot aux conditions les plus avantageuses.

Les fabriques travaillant au procédé sulfureux écartent les essences trop chargées en résine, comme le pin sylvestre ; celles qui appliquent le procédé alcalin sont moins exclusives et ont un champ d'approvisionnement plus étendu. L'emploi de déchets de bois provenant de fabriques, quoique fort rare, n'est cependant pas sans exemple. En France plusieurs établissements se sont fondés au bord de la mer pour recevoir et traiter les bois du Nord. La qualité du produit obtenu et le prix marchand qu'il peut atteindre sont aussi à considérer dans le choix du bois. Il est telle fabrique belge qui vend la pâte faite avec l'épicéa de Norvège 3 fr. plus cher aux 100 kilos, que celle qu'elle extrait des pins de la Campine.

Il faut remarquer que le bois nouvellement abattu est celui qui se travaille le mieux et qui donne la meilleure cellulose, mais par contre il est le plus lourd et donne lieu par conséquent aux frais de transport les plus élevés. Il convient, dès l'arrivée des bois à l'usine, de leur faire subir à ce point de vue un classement sommaire et d'empiler à part les plus vieux, c'est-à-dire les plus secs. Dans les bois secs et notamment dans ceux qui sont restés longtemps sur place après l'abatage, il y a lieu de vérifier soigneusement si le cœur du bois n'est pas attaqué.

Un bois dont quelques parties sont déjà devenues rougeâtres ne peut donner qu'une cellulose

de qualité inférieure. En tout cas, dans le découpage subséquent, les morceaux où l'on remarquera quelque altération de la blancheur naturelle du bois seront mis de côté comme bois à feu, ou tout au plus, si l'on en trouve assez pour cela, traités à part pour en extraire de la cellulose dite de 3^e qualité.

Préparation du bois. — Le bois doit tout d'abord être écorcé avec soin, ce qui se fait soit à la main, à l'aide d'une plane, soit avec une machine spéciale, soit en employant successivement les deux manières de procéder.

Si l'on travaille du bois de fortes dimensions et si l'écorçage doit être fait à la machine, les grumes doivent tout d'abord être débitées en rondins d'environ 0^m,60 de longueur, au moyen d'une scie circulaire à suspension pendulaire. Les figures 1 et 2 représentent un dispositif très-pratique de ce genre de scie : Un cadre en bois A, dont la hauteur dépend de celle du local, est suspendu à sa partie supérieure par 2 tourillons reposant sur 2 chaises pendantes BB. A la partie inférieure du cadre oscillant est un arbre de courte dimension, portant à son extrémité gauche une scie d'environ 0^m,860 de diamètre, laquelle reçoit de la transmission une vitesse d'environ 900 tours par minute. Devant la scie règne une pièce de bois munie de

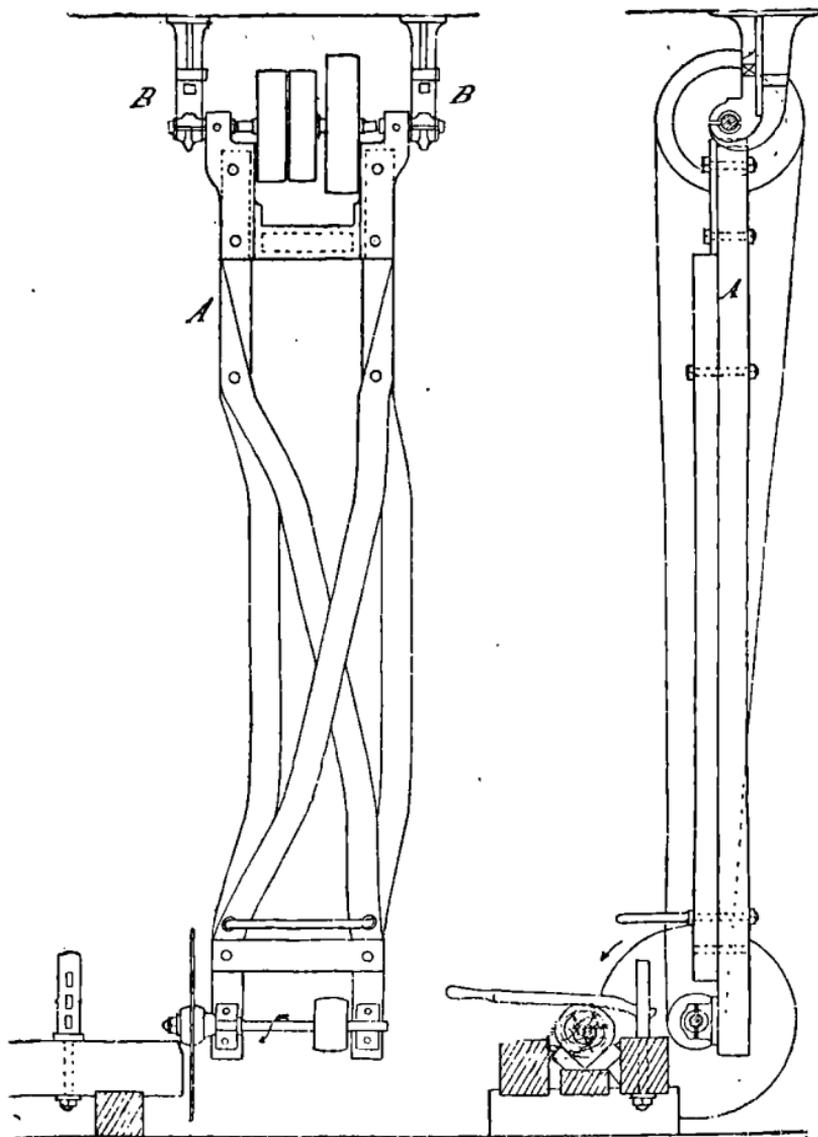


Fig. 1.

Fig. 2.

Scie à suspension pendulaire pour débiter les grumes.

galets, sur laquelle on place le tronc d'arbre et qui permet de le faire facilement avancer par degrés devant la scie. De la main droite l'ouvrier appuie sur la grume un levier denté qui la maintient fixe, et sa main gauche, saisissant une poignée, amène le cadre avec la scie circulaire au contact du bois, en sorte que celui-ci se trouve coupé très rapidement. Le cadre, abandonné à lui-même, reprend par l'effet de son propre poids la position verticale, un second ouvrier fait avancer la grume pour une nouvelle coupe, et le travail se poursuit ainsi.

On constate alors facilement dans le trait de scie si le bois est frais ou si quelque partie du cœur se trouve attaquée, et l'on met à part les mauvais morceaux.

Le bois est ensuite rapidement dépouillé de son écorce sur la machine à écorcer, dont les fig. 3, 4 et 5 montrent une très bonne disposition : la pièce principale est un plateau A de 0^m,830 de diamètre ; ce plateau est calé sur un arbre vertical, maintenu dans un bâti en fonte, et faisant 330 tours à la minute ; il porte dans la partie voisine de la circonférence, comme on le voit fig. 4, cinq rainures dans lesquelles sont fixés par en dessous des couteaux mobiles. Ces lames ne présentent que quelques millimètres de saillie, et, dans leur ra-

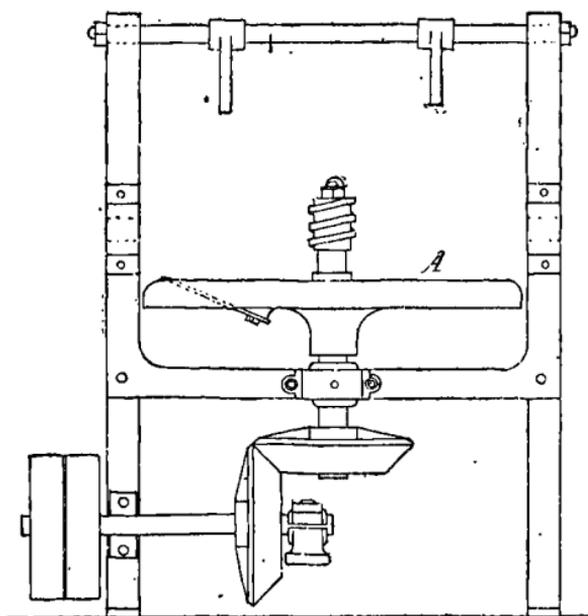


Fig. 3.

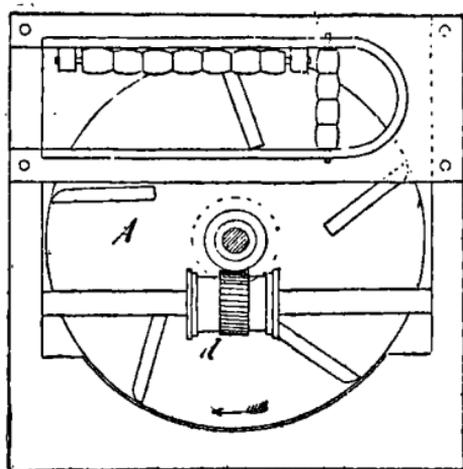


Fig. 4. — Machine à écorcer.
Élévation et plan.

pide mouvement de rotation, elles enlèvent en longs copeaux l'écorce de la bûche *c*, placée sur le plateau et maintenue par la pression du levier *b*. Comme de son côté la bûche tourne également sur elle-même sous l'action de l'arbre denté *d*, elle se

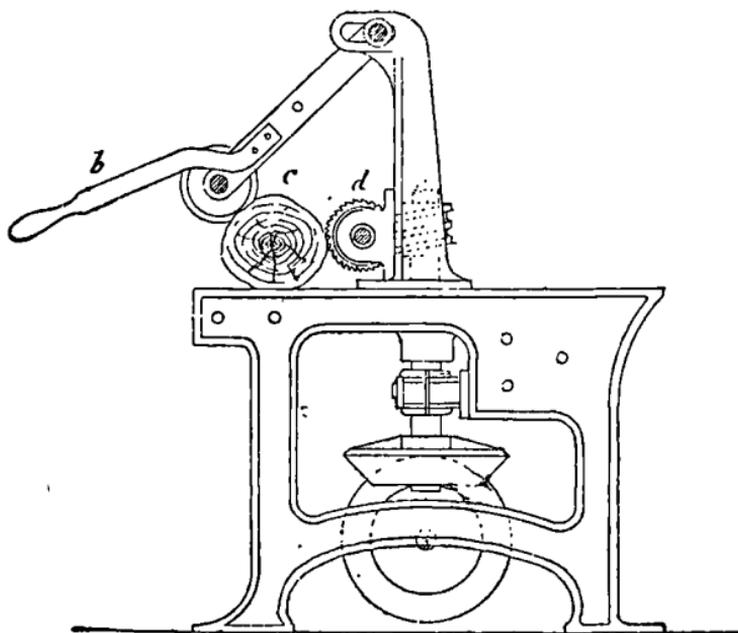


Fig. 5. — Machine à écorcer, vue de côté.

trouve régulièrement pelée sur toute sa surface. Si les rondins étaient tous de forme suffisamment cylindrique, le travail, fait de la manière qui vient d'être décrite, serait suffisant, mais, comme nombre de morceaux sont plus ou moins tortus, et pré-

sentent soit des excroissances, soit des cavités, comme il faut enlever non seulement l'écorce brune, mais encore le liber blanc qui est dessous, il est de plus nécessaire, pour obtenir une bonne cellulose, de faire encore un nettoyage supplémentaire à la hachette, ou à la plane sur un banc à planer ordinaire. Des recherches précises de l'auteur, faites sur du bois pesé et aussi régulier que possible, ont donné les résultats suivants : si le bois est écorcé à la machine avec nettoyage complémentaire à la main, la main-d'œuvre pour 10^m^3 est de 6 fr. 90, tandis qu'elle est de 12 fr. 50 quand l'écorçage se fait complètement à la main. Il est vrai que dans ce dernier cas, le déchet résultant de l'opération est de 1.4 % plus faible, mais le travail mécanique n'en est pas moins préférable au point de vue de l'économie de temps et d'argent.

Au lieu de la machine à écorcer telle que nous venons de la décrire, on en emploie aussi une dite double, sur laquelle on peut travailler deux rondins à la fois, et une autre dans laquelle le plateau tournant est dans un plan vertical.

L'atelier de l'écorçage se trouve généralement au rez-de-chaussée de la fabrique. Les rondins écorcés sont alors remontés par une chaîne sans fin ou par un élévateur quelconque à l'étage supérieur pour y être réduits en fragments plus petits.

Beaucoup de fabricants font préalablement forer les nœuds, parce que ceux-ci ne s'amollissent pas à la cuisson et ne donnent pas de cellulose, et même les fibres qui sont en contact avec eux restent généralement dures ou tout au moins jaunâtres. Mais le forage ne les enlève pas entièrement et il faut y revenir encore plus tard pour en faire disparaître toute trace.

Le bois est alors prêt à être réduit en petits fragments, ce qui est nécessaire pour faciliter la pénétration de la lessive pendant la cuisson. Cette opération se fait soit avec des scies circulaires qui débitent les rondins en disques de 25 à 30^{mm} d'épaisseur, soit au moyen d'une machine à hacher ou à déchiqueter.

Dans le premier cas cet outillage se compose, suivant l'importance de l'établissement, ou d'un grand nombre de scies circulaires ordinaires, c'est-à-dire isolées, ou d'un jeu de ces mêmes lames, juxtaposées avec l'écartement voulu. La présentation du bois à l'outil devant se faire à la main, exposé à des accidents les ouvriers employés à ce travail ; il est donc nécessaire de prendre tous les dispositifs protecteurs possibles, et surtout de recouvrir les scies. De crainte que les ouvriers, qui le plus souvent exécutent ce débit à prix fait, ne produisent des disques d'une épaisseur supérieure

à celle fixée, il est bon d'adapter au bâti, devant la scie, une petite cornière en fer, qui, disposée parallèlement à la lame et à une distance de 25 à 30^{mm} du plan de celle-ci, sert de guide. Or, à mesure que le rondin se raccourcit par l'effet du débit, le danger de se blesser va croissant pour l'ouvrier, surtout s'il présente le bois et le presse contre la lame simplement à la main. Il est aisé de

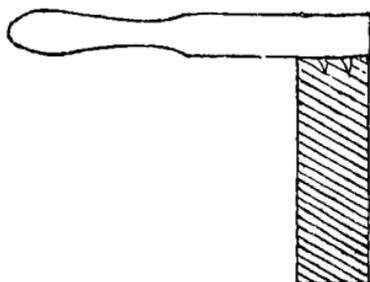


Fig. 6.

parer à ce danger. L'ouvrier peut par exemple se servir d'un petit morceau de bois qui d'un bout se termine en forme de poignée et porte vers l'autre extrémité quelques pointes d'acier. Il fixe chaque fois les pointes dans les parties rondes de la bûche en découpage, qu'il conduit ainsi facilement, tout risque d'accident étant écarté ou à peu près. La fig. 6 ci-contre montre l'application de ce moyen très simple.

Les figures 6a et 6b montrent deux coupes transversales d'une machine employée en Amérique dans le même but (*Papier Zeitung* 1892 n° 6).

Les rondins arrivent automatiquement de l'écorçage sur le râteau d'alimentation T, d'où quatre rangées de

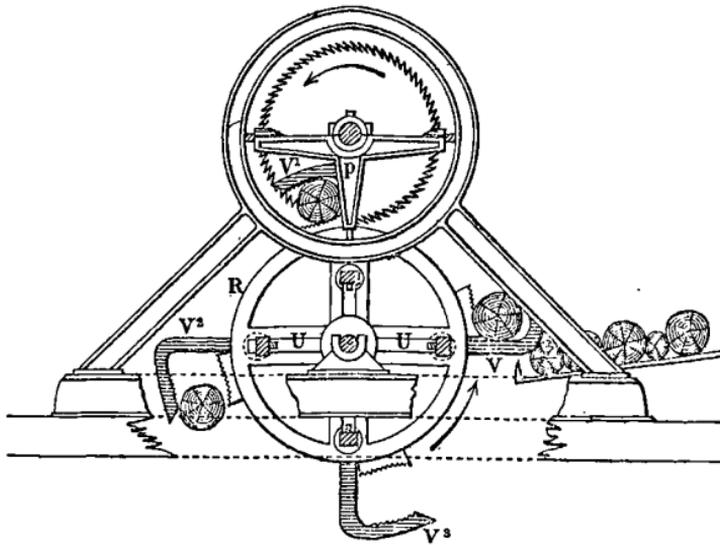


Fig. 6 a.

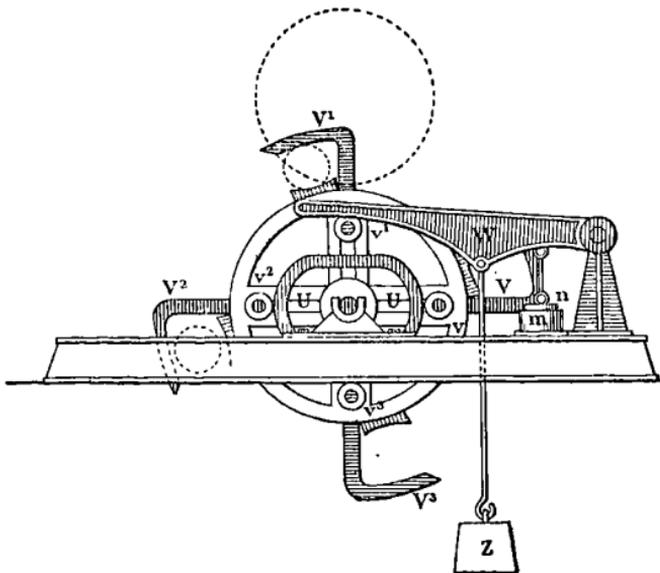


Fig. 6 b.

Scie américaine pour le débit en disques des rondins

doigts V, V¹, V², V³, formant elles-mêmes quatre râteaux qui tournent avec un même arbre et dont les dents passent entre celles de T, les enlèvent et, les entraînant dans le mouvement du tambour R, les font passer entre des scies circulaires alignées sur l'arbre supérieur P.

On voit que chacune des rangées de doigts est montée à coulisse dans le tambour R. De cette manière un cadre guide U U ouvre les doigts qui passent par la position horizontale pour leur permettre de recevoir le bois à l'entrée et de le lâcher à la sortie et les abandonne dans la position verticale (en haut) à l'action du levier W, placé à l'une des extrémités, qui a pour effet de leur faire maintenir fortement le bois pendant le sciage. Chaque doigt est de plus muni d'un ressort convenablement disposé qui en assure indépendamment le serrage, précaution nécessaire lorsque le diamètre des rondins présente entre l'une de leurs extrémités et l'autre un écart sensible.

On monte jusqu'à 20 scies sur la même machine. Les doigts de chaque rangée sont naturellement alors au nombre de 21.

La machine débite, dit-on, 50 à 60 cords, soit environ 200 stères (1 cord = 3 2/3 stère) en 10 heures.

Il est très important, lorsqu'on emploie des scies circulaires d'avoir des lames aussi minces que possible et dont la voie soit juste assez forte pour que la scie ne se coince pas en travaillant. Même en observant cette précaution, le déchet résultant du sciage est déjà relativement très grand, et, si elle était négligée, il pourrait s'accroître encore

beaucoup. Quoique ces sciures paraissent à première vue très propres, elles contiennent cependant beaucoup de petits débris de nœuds, qui, lorsque les sciures sont traitées avec le bois, donnent des points noirs dans la cellulose. Si l'on n'a pas de grandes exigences pour la qualité du produit, on peut mêler les sciures en totalité ou au moins en partie avec les disques, et charger tout à la fois dans le lessiveur, on doit alors seulement s'arranger pour que les premières se trouvent à peu près au milieu de la charge, de crainte qu'autrement elles ne viennent à obstruer les valves au moment de la vidange, ou bien encore qu'elles ne surnagent à la partie supérieure, ce qui pourrait compromettre toute la cuisson.

Il est assurément préférable de laisser la sciure complètement de côté, ou tout au moins de ne l'employer que, concurremment avec des bois de rebut, à la production d'une sorte à bas prix. Remarquons, avant d'aller plus loin que, dans le procédé de division que nous venons de décrire, la règle générale est de ne pas enlever avant la cuisson les nœuds qui se rencontrent dans les disques, parce que les plus petits ne peuvent être tous retirés, et que par conséquent un triage après cuisson serait encore nécessaire, tandis que, le bois une fois cuit, et par conséquent ramolli, chaque nœud

se sent entre les doigts et peut facilement être enlevé à la main.

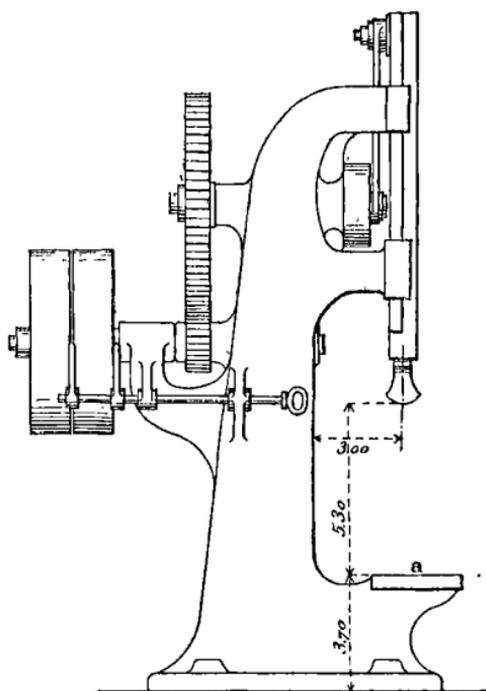


Fig. 6 c.

Machine à refondre les rondins de Th. Bell et C^{ie}.

Par contre les fabriques qui débitent le bois en petits copeaux lui font souvent subir une préparation plus complète.

Dans un premier système on enlève les nœuds dans les rondins entiers par forage, avec une machine à percer. L'ouvrier, manœuvrant la bûche à deux mains sur la table de l'appareil pour la présenter dans la direction convenable à l'outil, détermine le mouvement en avant.

de la mèche au moyen d'une pédale. Les très-gros bois seuls sont refendus avec une robuste lame en forme de hache, chariotant sur un banc vertical et pouvant ainsi pénétrer dans la partie supérieure du rondin qu'on lui présente debout.

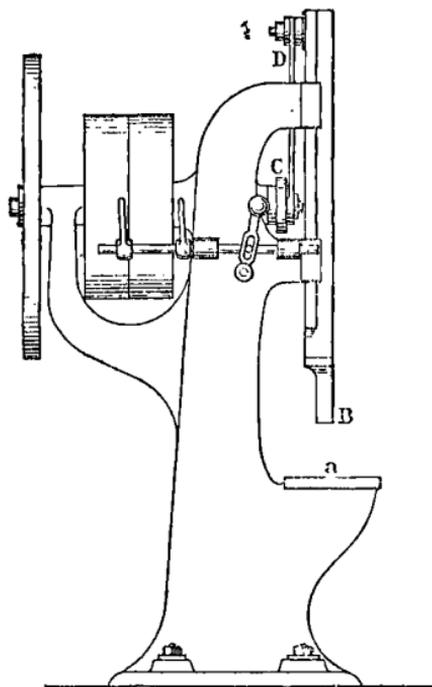


Fig. 6 d.

Machine à enlever les nœuds du bois de Th. Bell et C^{ie}

Suivant un autre système les rondins coupés à une longueur de 0^m40 environ et ayant ainsi subi l'écorçage, sont ensuite refendus suivant la longueur, et, dans chacun des quartiers ainsi obtenus dont l'inspection est dès lors très rapide et très complète, tous les nœuds sont enlevés avec le plus grand soin. Les figures 6 c et

6 *d* montrent des types de machines contruits pour ces opérations par la maison Théodore Bell et C^{ie} (de Krienz près Lucerne). Dans l'un et dans l'autre l'outil est animé d'un mouvement vertical de haut en bas assez rapide au dessus de la table sur laquelle l'ouvrier appuie et présente le bois dans la position convenable. Pour la refente (fig. 6 *c*) l'outil est une hache à faible course ; pour l'enlèvement des nœuds (fig. 6 *d*) c'est une sorte de forte gouge. Dans ce système les nœuds peuvent également être enlevés au moyen d'une toupie à laquelle le quartier de bois est présenté horizontalement aux points voulus. Le travail est ainsi plus facile à diriger qu'à la gouge, et la partie enlevée plus exactement limitée au nœud à faire disparaître. Il semble par contre que la refente préalable doive être alors plus soignée, car il serait plus difficile de chercher un nœud en plein bois avec la toupie qu'avec la gouge.

Avec la machine à hacher ou à déchiqueter l'inconvénient d'une grosse perte en sciure disparaît, car le bois est haché transversalement, dans une direction quelque peu oblique à la fibre, en copeaux d'environ 30^{mm}. De plus ces petits fragments, brusquement détachés, sont du même coup exfoliés et présentent des fentes qui ultérieurement favoriseront la pénétration de la lessive.

La pièce principale des machines à déchiqueter est un robuste disque de 1.400^{mm} de diamètre et de 90^{mm} d'épaisseur, calé sur un fort arbre horizontal. Pour plus de sûreté et dans le but de prévenir

toute rupture on y adapte un bandage en fer de 50^{mm}, posé à chaud. A peu de distance de la circonférence sont fixés par 9 vis deux solides couteaux qui présentent sur le disque une saillie d'environ 5^{mm} et dans leur rapide mouvement de rotation rasant de très-près une platine fixe sur laquelle est engagé le bois. Si le bois que l'on travaille est d'un diamètre plutôt faible, les rondins, préalablement écorcés à la main, sont amenés par deux hommes à la machine. Celui qui les engage doit à chaque coup les tourner légèrement. Un troisième ouvrier charge à la pelle le bois émietté sur un élévateur qui le transporte à l'étage supérieur. Cet appareil peut en douze heures déchiqeter environ 35 stères de bois en rondins ayant jusqu'à 2^m,50 de longueur.

Les figures 6e et 6f montrent en plan et en élévation une machine analogue, brevetée en 1885 sous le n° 166.578 par M. Cuvier fils, à Seloncourt, Doubs.

Le plateau A, muni d'une frette en fer est horizontal, et porté par un arbre vertical B, auquel un mouvement rapide est communiqué par l'intermédiaire de roues d'angles C et C', ou autrement. Il porte trois forts couteaux E, logés dans un encastrement et maintenus solidement en place par une série de boulons à tête noyée. Une pièce en fer F, fixée dans l'ouverture devant le tranchant du couteau, sert à régler l'épaisseur que l'on désire donner au bois tranché.

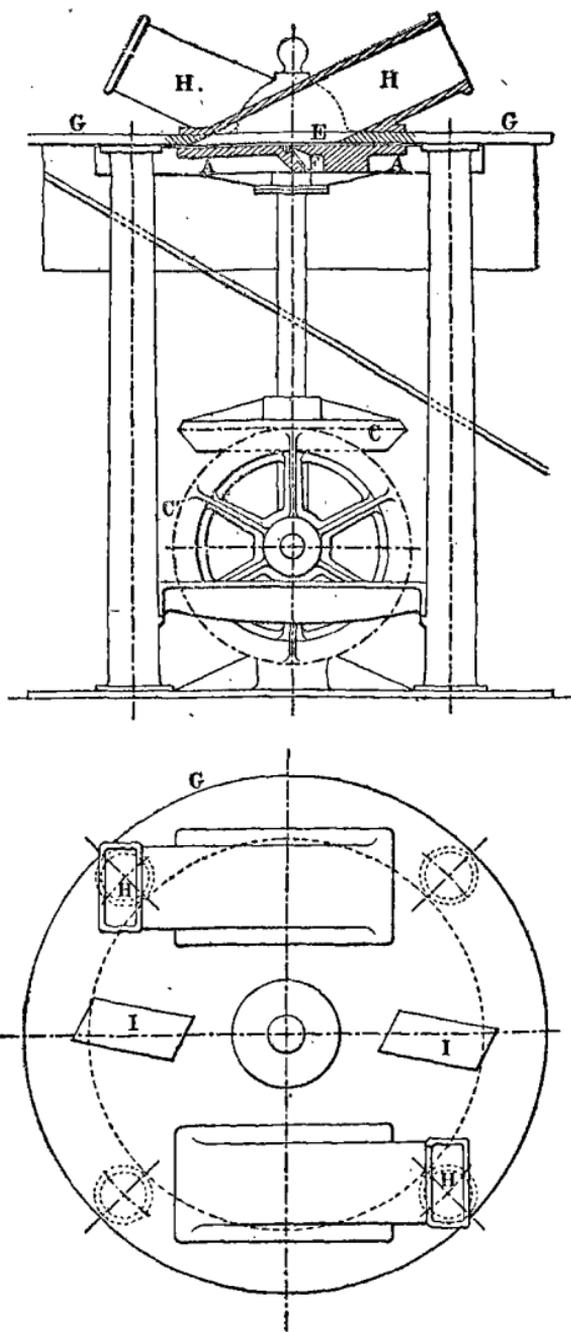


Fig. 6e et 6f. — Machine à déchiquter de M. Cuvier fils.

Un plateau G est fixé et supporté parallèlement au-dessus du porte-couteaux par quatre colonnes, de telle façon que la surface inférieure bien dressée rase presque les couteaux E ; il sert en même temps de guide et de support pour la partie supérieure de l'arbre B, et porte deux embouchures H par lesquelles on engage le bois à trancher, et deux ouvertures I permettant d'enlever les couteaux E.

L'appareil est présenté comme pouvant couper 100 stères en 10 heures.

Les machines de ce genre exigent naturellement une assez grande force et, comme elles subissent des chocs répétés, il est bon à ce point de vue de les placer au rez-de-chaussée, d'où le bois réduit en petits copeaux sera remonté comme on vient de le dire.

Cependant dans beaucoup de fabriques l'installation est faite à l'étage supérieur ; le bois, débité en morceaux plus courts, est écorcé à la machine, et les bûches, remontées par une sorte de courroie sans fin, sont amenées automatiquement à la déchiqueteuse.

Lorsqu'on ne fait pas de la cellulose de première qualité, le bois ainsi émiétté est directement chargé dans le bouilleur, mais le plus souvent il est préalablement trié avec soin par une équipe nombreuse de fillettes ou de jeunes garçons. Il est à cet effet remué sur une claie où passent les or-

dures et le fin, tandis que tous les petits morceaux qui présentent des nœuds sont enlevés à la main. Ce procédé est assurément assez coûteux, et l'on doit dans chaque cas particulier calculer si les frais

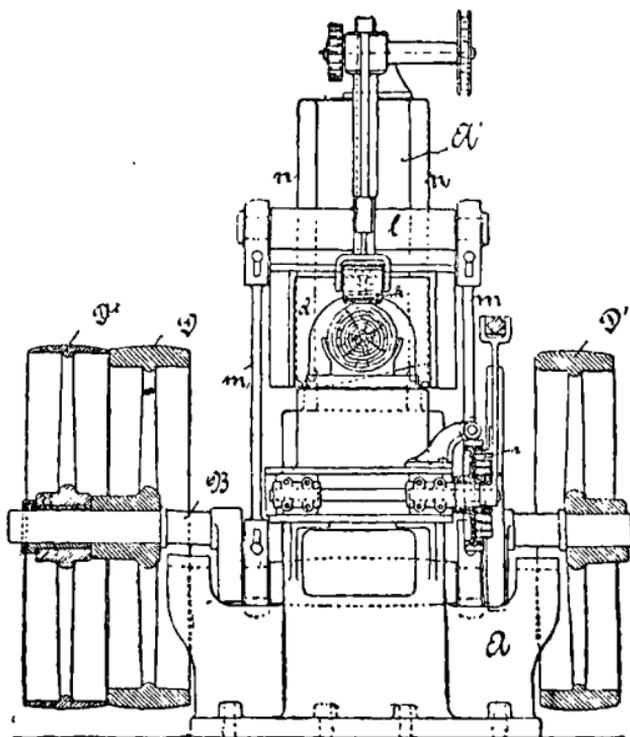


Fig. 7.

Machine à déchiqueter de Niethammer, vue de face.

de triage sont effectivement couverts par la plus-value que donne à la cellulose sa plus grande pureté.

Un des types les plus récents de machine à dé-

chiqueter est décrit dans le n° 68 de l'année 1889 de la *Papier Zeitung*. Il est dû à M. le conseiller

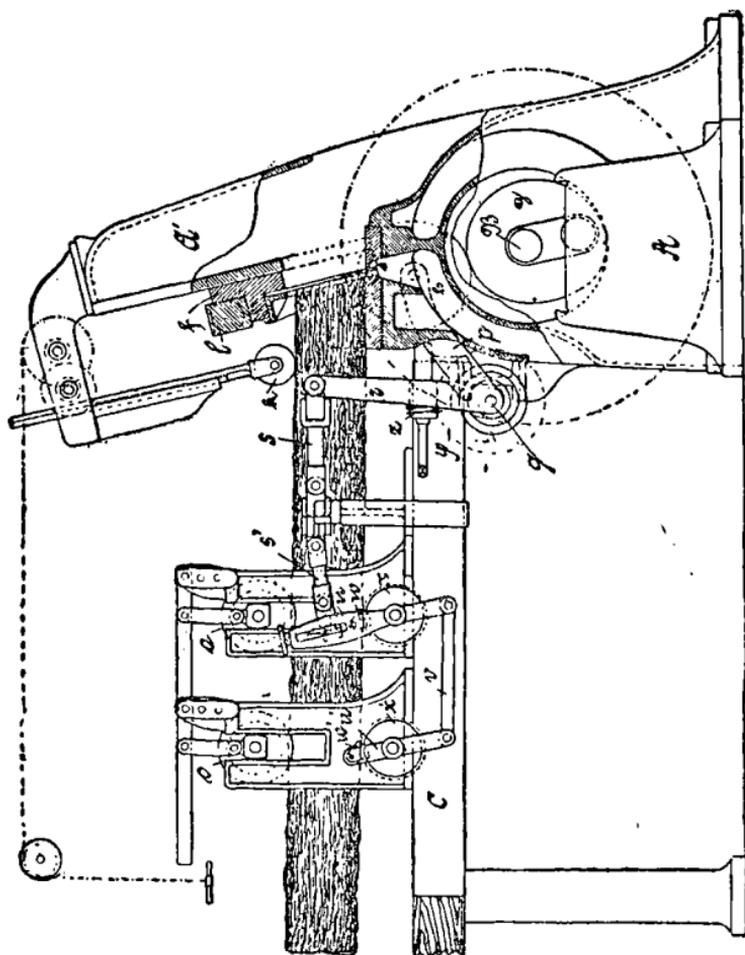


Fig. 8. — Machine à déchiqueter de Niethammer, vue de côté.

de commerce Niethammer, de Kriebstein. Le principe de cet appareil se rapproche de celui qu'on

applique en taillant un crayon et il offre par suite cet avantage que le bois n'est pas attaqué de front comme dans les autres machines, mais plutôt réduit en copeaux détachés suivant sa longueur, d'où moins de force absorbée et des chocs moins violents.

Comme permettent de le voir les figures 7, 8, 9

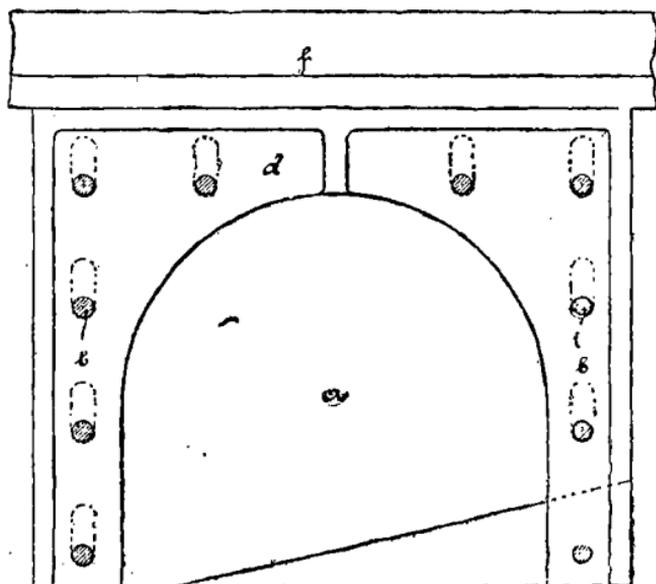


Fig. 9.

Machine à déchiqueter de Niethammer. — Couteau.

(couteau dans son cadre) et 10, la lame du couteau, nécessairement très mince, est maintenue dans un cadre animé d'un mouvement alternatif de bas en haut suivant un plan légèrement oblique à la ver-

ticale, tandis que le rondin, poussé automatiquement devant la lame arrive dans une direction horizontale, mais oblique à l'axe de la machine.

Le bois découpé en disques présente sur le bois déchiqueté l'avantage de foisonner beaucoup moins.

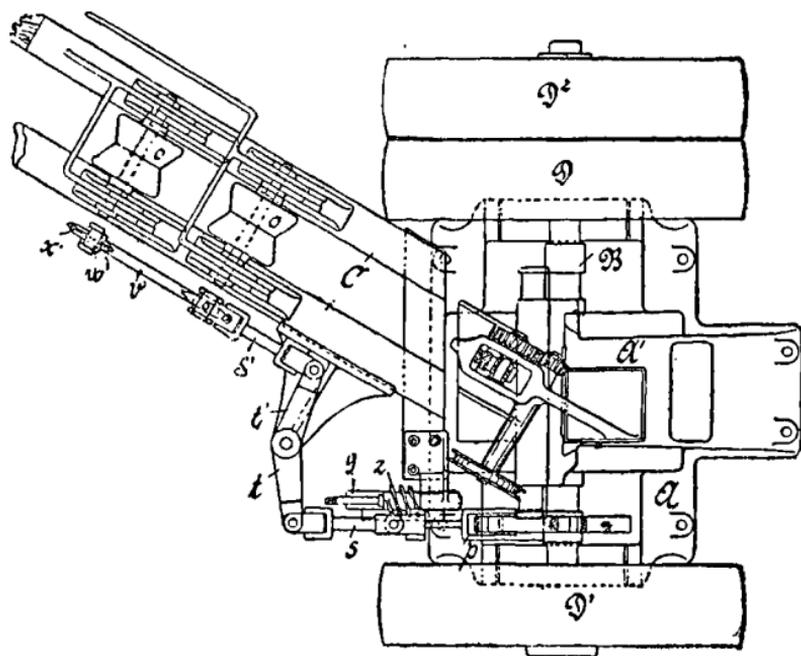


Fig. 10.

Machine à déchiqueter de Niethammer. — Plan.

Ainsi un lessiveur Mitscherlich d'une contenance de 120 mètres cubes contient en bois déchiqueté de 56 à 70 stères, en moyenne 64 stères, et en bois découpé en disques 90 stères (Aug. Harpf). Le foisonnement peut de même varier avec la forme et la dimension des copeaux.

Cette considération n'est pas sans importance, car à l'opération de la cuisson la quantité de lessive employée se proportionne au volume à traiter et non au poids qu'il représente.

Pour finir ce chapitre, nous donnons un tableau dressé à la suite d'observations pratiques par l'auteur pour déterminer s'il est plus avantageux d'employer des bois de gros ou de faible diamètre. Les chiffres répondent au cas exposé en premier lieu, dans lequel le bois est coupé en disques à la scie circulaire. On admet pour la facilité des calculs, ce qui n'est pas absolument exact en fait, qu'en prenant des bois de 10 centimètres et que, en les empilant par rangées de 10, 10 couches ou 100 rondins représentent en bout une surface de 1 mètre carré. L'examen du tableau montre que le maximum de surface d'écorçage et par conséquent le maximum du déchet résultant de cette opération répond au plus faible calibre, donc que, à prix d'achat égal, il est préférable de travailler de gros rondins. La section à couper par stère de bois est à peu près la même dans les calibres les plus forts et dans les plus faibles, environ 25 mètres carrés. Par contre il y a des écarts énormes dans le temps exigé par le travail, suivant qu'on découpe en disques de 30^{mm} des bois petits, moyens ou gros.

Grosseur en centimètres	Mètres de longueur par stères de bois	Circonférence en centimètres	Surface d'écorçage par stère m ²	Nombre de traits de scie par stère	Nombre de traits de scie pour disques de 30mm	Section du trait de scie cm ²	Section totale pour 1 stère m ³	Temps moyen nécessaire pour une coupe secondes	Temps par mètre cube	
									à 1 scie — minutes	à 2 scies — minutes
9	121	28.26	34.2	242	3.936	63.6	23.00	4.3	98	8.17
10	100	31.4	31.4	200	3.200	78.5	23.12	1.85	59	4.91
15	44	47.1	20.7	88	1.408	176.5	24.83	2.2	51.6	4.3
20	25	62.8	15.7	50	800	314	25.12	3.6	48	4
25	16	78.5	12.5	32	512	489.8	25.07	8.8	75	6.25
28	14	87.9	12.3	28	470	615.4	28.9	13.6	94	7.8
30	11	94.2	10.4	22	332	706.5	24.86	18.5	115	9.3
34	9	106.7	9.6	18	269	907.4	22.4	34	152	12.7

Dans les bois de faible calibre c'est le grand nombre de traits nécessaire et le temps perdu entre deux traits de scie consécutifs qui font ressortir un désavantage marqué. Par contre dans les bois de très-gros diamètre la scie rencontre une trop grande résistance, la lame, se trouvant serrée comme par un frein, tourne plus lentement et demande pour produire le même travail un temps relativement beaucoup plus long. Or le temps est de l'argent, et, comme en même temps les bois très-gros sont généralement recherchés pour des usages qui leur donnent une forte plus-value, il n'y a pas lieu d'en recommander l'emploi. Le tableau montre clairement en effet qu'il y a tout avantage à acheter des bois de grosseur moyenne, d'environ 20 centimètres de diamètre.

III. — Des lessives et de leur préparation.

A. — PROCÉDÉ A LA SOUDE.

Dans le procédé à la soude la cuisson s'opère, comme le nom même l'indique, à l'aide d'une lessive de soude, la matière première étant le carbonate de soude qu'on caustifie par la chaux. On arrive ainsi à dissoudre la substance nommée lignine et les autres matières incrustantes du bois, pour en extraire la fibre pure. Pour que la soude opère cette action dissolvante, il lui faut le concours de l'eau et d'une température élevée. Or la chaleur et la vapeur d'eau ont déjà à elles seules le pouvoir d'opérer la dissolution d'une bonne partie des matières à éliminer. Il se forme alors de nouvelles combinaisons et notamment des acides, qui, possédant à leur tour, comme il a été dit au commencement de cet ouvrage, un pouvoir dissolvant, exerceraient une action nuisible sur les fibres proprement dites, sans la présence de la soude, prête à les neutraliser au fur et à mesure de leur formation.

L'important est donc d'arriver à une concentra-

tion convenable de la lessive, à la température convenable (représentée par la pression, donc exprimée en atmosphères), enfin à une durée de cuisson bien en rapport avec la quantité de bois traitée. Il est tout naturel que, dans les premiers temps surtout, ces données aient présenté des écarts considérables. Voici ce qu'écrivait à ce sujet le professeur Hoyer : « en 1869, à Keegan, une pression de 4 1/2 atm. (150° C.) était considérée comme suffisante, alors que Lee en 1870 montait jusqu'à 11 atm. (210° C°). Ungerer (dans la même année) recommande une pression de 3 à 4 atm. (134 à 144°) pour les bois feuillus, et de 5 à 6 atm. (152 à 159°) pour les résineux, tandis que Rosenhain en 1878 revient à 10 atmosphères, (180°). Les indications d'Ungerer paraissent les plus pratiques. On devrait en tout cas, en raison des dangers qu'offrent les hautes pressions dans des bouilleurs d'aussi grandes dimensions, ne pas dépasser la pression de 10 atm. (180°). De même que les températures la proportion de soude caustique employée et le degré de concentration de la lessive offrent de grandes variations. D'après le brevet de Watt et Burgess, on donne à la lessive une densité de 12° B^e, et l'on en prend une quantité suffisante pour avoir 21 parties de soude caustique à 60 % pour 100 parties de bois supposé sec. Sinclair em-

ploie 25 parties de soude pour 100 parties de bois et fait sa dissolution à 14° B°. D'après Ungerer, on peut, en appliquant son système, se contenter de 4 à 5 % de soude caustique à la teneur de 60 % pour les bois feuillus et de 6 à 8 % pour les résineux. Il y a beaucoup moins d'écart dans les données relatives à la cuisson, que l'on trouve être presque partout de 5 à 6 h. pour une opération. »

Le même auteur fait encore sur la nature et la solubilité des substances organiques du bois des remarques très intéressantes qui font bien ressortir la série des actions successives de la lessive caustique : « Les substances organiques constitutives du bois (dit-il page 95) forment plusieurs groupes distincts en ce sens que les uns sont solubles dans l'eau et peuvent par conséquent être éliminés par un traitement à l'eau seule, tandis que les autres sont insolubles dans l'eau. Au premier groupe appartiennent les gommés, l'albumine végétale, l'acide tannique, les matières colorantes ; au second plus spécialement les résines, les baumes, et en dernière ligne la matière incrustante ou lignine, qui s'est déposée sur les membranes et dans les cavités des cellules, et dont par conséquent la cellulose est intimement pénétrée. On peut, d'après cela, se représenter la structure d'une fibre de

bois ainsi qu'il suit : la cellulose forme la charpente ; la lignine, le remplissage ; par dessus est une couche de résine insoluble dans l'eau, revêtue, elle-même d'un enduit composé d'éléments solubles dans l'eau. Ce mode d'assemblage admis, on doit en conclure que chaque couche protège plus ou moins celle qui est dessous contre l'action des agents dissolvants, et que par l'élimination de ces couches dans un ordre inverse à celui dans lequel elles ont été énumérées on arrive à mettre à nu la cellulose. Puis donc que la couche extérieure est décomposée par l'eau et notamment par la vapeur, il suffit pour s'en débarrasser de traiter le bois par l'eau ou par la vapeur d'eau à une température telle que l'altération de la lignine, caractérisée par une coloration brune, ne se produise pas. Comme la résine se dissout dans une lessive alcaline étendue, c'est à une semblable lessive qu'on aura ensuite recours pour décomposer la deuxième couche, et l'on terminera en éliminant la lignine sous l'action d'une température élevée et d'une lessive concentrée. C'est en se basant sur ces principes qu'Ungerer de Vienne a imaginé son procédé de cuisson, lequel doit être considéré comme le plus parfait, car il traite le bois méthodiquement, par la vapeur d'abord, et ensuite par des lessives dont la concentration et la température

vont constamment en augmentant. Il obtient ainsi ce double résultat d'utiliser la lessive jusqu'à épuisement complet, et de produire des fibres de qualité supérieure ». Ce procédé sera décrit avec plus de détails dans le chapitre suivant.

La préparation de la lessive, qui doit seule nous occuper en ce moment, est en principe très peu compliquée.

Le carbonate de soude (sel de soude, soude Solvay, du commerce, sel régénéré de l'usine) est mis dans un bac en tôle plein d'eau, chauffé à la vapeur, et muni d'un agitateur, avec de la chaux calcinée. Après une ébullition et un brassage suffisamment prolongés, la chaux, en suspension dans l'eau à l'état de lait de chaux, se précipite à l'état de carbonate de chaux et la soude reste en dissolution et est décantée. Le dépôt de carbonate de chaux est lavé une ou deux fois, et les eaux de ce lavage servent à alimenter pour les opérations suivantes le bac de caustification, ou à ramener le cas échéant au titre voulu des lessives trop concentrées.

La solution de soude est étendue d'eau jusqu'à ce qu'elle atteigne, ainsi qu'on s'en assure par l'aéromètre, le degré de concentration exigé par la méthode que l'on applique.

Mais la soude est passablement chère, et il serait peu économique de rejeter, une fois l'opération terminée, la lessive noire qui la contient.

Aussi, bientôt après la mise en pratique de la fabrication de la cellulose à la soude, on s'est avisé qu'après évaporation on pourrait retirer la soude de la lessive noire et qu'en même temps on trouverait ainsi le remède, jusqu'alors vainement cherché, à la pollution des cours d'eau.

Naturellement le produit obtenu n'est plus de la soude pure, car diverses combinaisons se sont formées, mais, en même temps qu'on réalisait ce progrès, on reconnut que le sulfate de soude, produit intermédiaire de la fabrication de la soude, permet d'obtenir le même résultat que le carbonate. Dahl, de Dantzig, fit cette découverte vers 1883 et employa le premier une lessive qui contenait du sulfate de soude, du carbonate de soude, de la soude caustique et du sulfure de sodium. « On prépare la lessive avec le sulfate de soude dissous dans l'eau chaude et 23 à 25 % de chaux vive. Cette lessive pourrait servir ainsi (?) mais on y ajoute des sels récupérés des opérations précédentes pour lui donner sa composition exacte.

Les lessives ayant servi sont concentrées par évaporation, fortement calcinées et retirées du four après tout dégagement de gaz, sous forme de coke. Cette masse est traitée par lavage et la solution obtenue sert pour la préparation de lessive nouvelle.

Pour obtenir des sels purs, sans mélange de charbon, la lessive concentrée est retirée du four d'évaporation et incinérée dans un four à réverbère à la chaleur rouge sombre : la masse obtenue prend au refroidissement une teinte rouge brun, est facilement soluble dans l'eau et a à peu près la composition suivante :

Sulfate de soude	16
Carbonate de soude	50
Soude caustique hydratée	20
Sulfure de sodium	10
Matières diverses	4
	<hr/>
	100

Cette composition est très variable selon les propriétés de la matière traitée, sans que pour cela la puissance dissolvante des lessives préparées plus tard avec les sels régénérés en soit influencée.

Les sels régénérés doivent être dissous le plus tôt possible afin de les soustraire à l'action de l'air.

Pendant la cuisson et la régénération 10 à 15 % des sels contenus dans la lessive sont perdus, et dans le cours normal des opérations, on les remplace par du sulfate de soude. Ainsi 85 à 90 % de sels régénérés, 15 à 10 % de sulfate de soude, dissous et bouillis avec 20 à 23 % de chaux vive, donnent une lessive convenable.

La composition de la solution traitée par la chaux et la quantité de cette dernière varient cependant avec la perte constatée.

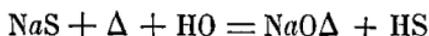
Pertes sur les sels recouvrés	Proportions de sels recouvrés	Proportions de sulfate de soude	Proportions de chaux
10	90	10	20
15	85	15	23
20	80	20	25
25	75	25	28
30	70	30	32

En général la lessive obtenue contient 37 % de sulfate de soude, 8 % de carbonate, 24 % de soude caustique, 3 % de sulfure de sodium ; cette composition doit varier cependant suivant la nature des matières végétales soumises au lessivage.

On voit par ce qui précède que le procédé de traitement des matières végétales décrit ci-dessus diffère de l'ancien procédé de lessivage à la soude caustique, en ce que, dans la préparation de la lessive, la soude caustique perdue au lessivage et à la récupération est remplacée par du sulfate de soude au lieu de soude caustique et que la quantité de chaux employée à la caustification est réduite de 45 à 20 ou 23 %. (*La Papeterie*, 25 octobre 1887).

Il paraît difficile d'admettre, ainsi qu'on l'avance dans cet exposé, que le sulfate de soude traité par la chaux puisse à lui seul être employé comme lessive, car l'action de la chaux caustique sur ce sel, neutre et incapable d'ailleurs par lui-même d'attaquer le bois, est à peu près nulle. S'il y a déplacement momentané de la soude, celle-ci décompose à son tour le sulfate de chaux formé pour redonner le sulfate de soude initial. Au lessivage du bois et à la concentration de la lessive noire, le sulfate de soude ne doit subir, ni par conséquent exercer, aucune action. A la calcination seulement, intimement mélangé à une forte proportion de matières charbonneuses, il est réduit et transformé en sulfure.

L'élimination subséquente du soufre à l'état de gaz sulfhydrique est attestée par l'odeur fétide et insupportable qui se dégage aussi bien au lessivage qu'à la concentration et à la calcination. Dans les masses plus ou moins liquides cette réaction doit résulter du déplacement du soufre par les acides Δ de la matière organique :



On peut donc admettre qu'une grande partie du sulfate existant dans la lessive est transformée en sulfure à la calcination et se retrouve à cet état dans les sels récupérés, et qu'ensuite, aux opérations du lessivage et de la concentration, l'évolution se complète et le soufre est éliminé comme il vient d'être dit, laissant place à un composé susceptible d'être transformé en carbonate à la calcination suivante. Les réactions sont d'ailleurs toujours incomplètes, ainsi que le montrent la composition approximative des sels donnée plus haut et les analyses que nous citerons tout à l'heure.

Une addition donnée de sulfate neuf n'est pas entièrement transformée en sulfure dès la première calcination, mais, si l'on a soin d'opérer d'une manière toujours identique, un régime s'établit et l'on obtient alors des sels de composition constante qui assurent ainsi la régularité du travail et du produit.

De ce qui précède on est tenté de conclure que l'introduction du sulfate de soude dès la caustification n'offre aucune utilité et qu'il est bien préférable de ne l'ajouter que sur la sole de calcination. Tel n'est pas cependant l'avis de praticiens distingués. M. Henefeld (fabrique de Delary, Suède) affirme, sans l'expliquer d'ailleurs, que l'introduction du sulfate de soude dans la cuve de caustification exerce une influence très favorable sur la qualité de la cellulose obtenue : « Les avis sont à cet égard très partagés, écrit-il dans la *Papier-Zeitung* du 19 mai 1892 ; ceux-ci font l'addition en une seule fois, dès la caustification, et sont en cela à mon avis dans le vrai ; ceux-là ne la font qu'à la sole de calcination, prétendant qu'autrement le double traitement augmente les pertes ; d'autres enfin ajoutent le sulfate partie à la caustification et partie à la calcination. Lesquels ont raison ? » Peut-être l'introduction du sulfate de soude dans la lessive avant la cuisson avec le bois donne-t-elle un mélange de ce sel avec les matières charbonneuses plus intime et par conséquent plus favorable à la réduction du sulfate en sulfure.

Nous avons vu plus haut la composition, donnée d'ailleurs comme approximative et essentiellement variable, des sels récupérés. Quelques analyses plus modernes offrent un rapprochement qui n'est pas sans intérêt.

En 1889 l'auteur de cette note a eu l'occasion de faire

analyser les sels d'une grande fabrique de Scandinavie dont les produits sont de qualité supérieure, ainsi qu'il a été également à même de le vérifier par un emploi prolongé et de nombreuses comparaisons. Voici les résultats de cette analyse :

	N° 1. Gris clair.	N° 2. Gris, avec un noyau dur et rosé.
Carbonate de soude	75,71	76,70
Soude caustique	2,26	1,40
Sulfure de sodium	1,78	3,52
Sulfate de soude	2,54	1,95
Chlorure de sodium	3,05	2,30
Impuretés diverses	14,66	14,13
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00

Les éléments désignés sous le nom d'impuretés sont du charbon, du carbonate de chaux, du sulfure de calcium, du sulfure de fer, etc. Les échantillons présentaient l'aspect d'une matière fondue et dégageaient, même dans un air sec, une odeur sulfhydrique extrêmement forte.

La teneur en sulfate de soude et en sulfure de sodium est très faible. Il est vrai que, d'après les indications données, on remplace « principalement », c'est-à-dire pas entièrement, les pertes par du sulfate de soude.

Analyse des sels de la fabrique de cellulose annexée à la papeterie d'Aschaffenburg (Communication faite à la *Papier-Zeitung* en 1890, par M. Wilhelm A. Müller).

Carbonate de soude	70,89	} Partie soluble dans l'eau
Sulfure de sodium	14,45	
Sulfate de soude	4,87	
Silice (ou silicates),	2,35	
Fer et alumine	traces	
Résidu insoluble	6,18	
	<u>98,74</u>	

« Le résidu insoluble dans l'eau se composait de sulfure de fer, d'argile et de sable. L'absence presque absolue d'alumine dans la dissolution est à remarquer. La silice provient sans aucun doute de l'action des sels fondus sur les briques du four.

« La proportion assez grande de sulfure de sodium pourrait suggérer l'emploi du bicarbonate de soude (procédé Kynaston et Sutherland pour éliminer des sels récupérés les silicates et aluminates de soude et le sulfure de sodium. *Paper Trade Review* 1890), mais il n'y a pas lieu d'y recourir lorsqu'on n'attache aucune importance à la proportion du sulfure de sodium qui, par le fait, attaque le bois aussi bien que la soude ».

Analyse des sels de la fabrique de Delary, Suède. (Communication de M. Hennefeld à la *Papier-Zeitung*, mai 1890).

Carbonate de soude	55,40
Sulfure de sodium	28,38
Sulfate de soude	8,12
Hyposulfite de soude	1,26
Silicate de soude	2,54
Oxyde de fer	1,03
Chaux	0,52
Chlorure de sodium	2,75
	<u>100,00</u>

Dans le procédé au sulfate les pertes de soude à l'état de silicate sont, comme on le voit, augmentées par ce fait que les sels récupérés sont calcinés jusqu'à fusion complète. Il tend à en résulter en même temps une destruction plus rapide des fours, inconvénient qui, joint à celui des émanations sulfhydriques, a contraint certaines fabriques à revenir à l'emploi du carbonate de soude.

Comme les fabricants sont obligés par la concurrence toujours croissante de ne négliger aucune économie, le progrès réalisé par l'emploi du sulfate de soude a pris pour eux, surtout depuis l'apparition du procédé au bisulfite, une grande importance. Ils substituent peu à peu aux sulfates exempts de fer et d'acide, et par conséquent relativement chers, qu'ils employaient d'abord, les sortes qui se trouvent dans le commerce aux plus bas prix, étant donné que le fer et l'acide sulfurique libre peuvent d'après le mode d'emploi du sulfate dans chaque fabrique, être facilement rendus inoffensifs, soit dans la caustification où ils se transforment en sulfate de fer et en plâtre, soit dans la calcination. Plusieurs établissements favorisés par l'existence dans leur voisinage de fabriques de dynamite en sont venus à employer exclusivement un résidu de ces fabriques, un sulfate de soude acide, qui n'est autre chose que du sulfate

de soude contenant encore de l'acide sulfurique libre, souvent dans une proportion assez élevée. Ainsi que nous venons de le dire, ce dernier peut, par un traitement chimique approprié, être éliminé ou même utilisé. En tout cas cet emploi de sulfates divers n'apporte aucune modification essentielle au procédé Dahl tel que nous l'avons décrit, lequel est maintenant presque exclusivement employé dans la fabrication de la cellulose à la soude.

D'après le D^r Frank, l'utilisation de l'acide sulfurique libre peut être réalisée au moyen d'une addition de sel marin (chlorure de sodium) qui se trouve ainsi donner du sulfate de soude. Mais comme dans la caustification l'acide libre se transforme tout naturellement en plâtre, matière inerte, le traitement habituel de la lessive paraît encore mieux justifié pour obtenir la neutralisation cherchée.

Le brevet Wolff (n° 185.066 du 28 juillet 1887) a pour objet d'utiliser les résidus calcaires de la fabrication de la cellulose à la soude ou au sulfate de soude pour neutraliser le sulfate de soude acide et récupérer simultanément les sels alcalins, carbonate et sulfate de soude, et la soude caustique laissés dans les résidus par un lavage incomplet.

« Lorsque le précipité de carbonate de chaux obtenu dans la caustification du carbonate de soude, résultant

de la calcination des résidus de lessive, est suffisamment lavé, on l'étend d'eau, et on ajoute, dans un panier en fer suspendu dans la cuve, du sulfate de soude acide, en quantité déterminée suivant celle de la chaux. La décomposition du carbonate de chaux a lieu sous l'action de l'acide sulfurique libre, avec un dégagement violent d'acide carbonique et on obtient du sulfate de soude neutre et du sulfate de chaux. Ce dernier peut être utilisé comme engrais. Le résidu de la caustification contient en outre du fer, de l'alumine, de la magnésie, nuisibles à la cuisson des substances végétales ; ces matières sont également éliminées si l'on a soin de faire bouillir la masse pendant un quart d'heure environ en l'agitant fortement et avec de la vapeur à une pression élevée. La chaux et la magnésie se précipitent à l'état de carbonate, le fer à l'état d'oxyde hydraté.

« Le liquide obtenu, après repos, est une dissolution de sulfate de soude neutre, presque chimiquement pure ».

Avant de terminer cet exposé relatif aux lessives alcalines et de passer à la description des procédés de régénération de la soude, il convient de bien remarquer ici que, quoique consacrée par l'usage, la désignation de cellulose au sulfate n'est pas rigoureusement juste ; le sulfate de soude n'a par lui-même aucune action dissolvante sur les matières incrustantes, ce pouvoir appartient à la soude caustique et au sulfure de sodium auxquels il donne naissance dans la préparation de la les-

sive. La soude (qui en grand s'extrait pareillement de son sulfate), au lieu d'être comme jadis achetée par les fabricants de cellulose, est obtenue directement par eux, grâce à une transformation chimique. Il n'y a donc de rigoureusement juste qu'une seule désignation, celle de « cellulose à la soude ».

Récupération de la soude.

Dans le principe on employait presque exclusivement, pour atteindre ce résultat, des fours d'évaporation semblables à ceux des fabriques de soude. Nous reproduisons (fig. 11 et 12) le four de ce genre décrit par Lunge dans son traité de la fabrication de la soude : *g* est la bassine d'évaporation, portée par des piliers en maçonnerie de telle manière que le fond, libre en partie, puisse être légèrement refroidi au contact de l'air. Le feu nécessaire à l'évaporation est entretenu sur la chauffe *a*, à la gauche du dessin ; sa flamme passe d'abord par dessus l'autel, refroidi par une circulation d'eau, puis sur la sole de calcination, ensuite sur la sole préparatoire à la calcination, et en dernier lieu au-dessus de la bassine d'évaporation,

d'où elle s'échappe par le rampant de la cheminée. La lessive marche en sens contraire. Elle est d'abord évaporée dans la bassine jusqu'au moment où des parties solides commencent à se for-

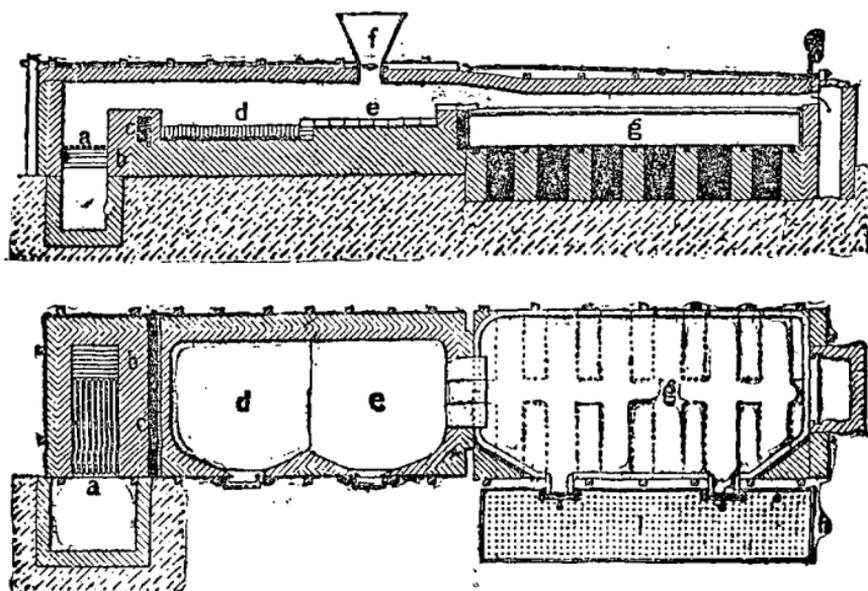


Fig. 11 et 12.
Four des fabriques de souce.

mer. On extrait alors ces matières et on les fait tomber sur le crible d'égouttage *i*. Le liquide s'écoule dans un réservoir placé au-dessous, d'où une pompe le renvoie à la bassine continuer son évaporation. Le résidu solide est introduit par la trémie *f* sur la première sole, et de là, après que les dernières traces d'eau ont disparu, poussée au

moyen d'un râble sur la sole *d*, où s'opère la calcination. Quand celle-ci est terminée, la masse, qui ne renferme plus que du carbonate de soude, est tirée du four par la porte latérale et reçue dans des brouettes en fer, dans lesquelles on la transporte directement aux bassines de dissolution, où elle est reprise par l'eau. Elle est ensuite caustifiée pour servir de nouveau à la cuisson du bois.

Un autre type de four d'évaporation est celui construit par Rœckner, à Newcastle. La lessive coule d'abord dans une chaudière cylindrique horizontale, où elle se concentre par ébullition. La vapeur qui s'y forme est rassemblée dans un condenseur et recueillie à l'état d'eau bouillante dans une citerne. De son côté la lessive concentrée s'écoule par un tuyau partant du fond de la chaudière dans une bassine ouverte placée à un niveau bien inférieur, où elle continue à s'épaissir, et de là dans le four de calcination encore plus bas, où s'achève la transformation complète en soude ; la masse est alors retirée au moyen d'un râble, et jetée sur l'aire de refroidissement qui se trouve en dessous. Là un vif courant d'air passe au travers des matières brûlantes et en active la combustion, dont les gaz sont dirigés dans le foyer servant à chauffer les autres parties de l'appareil. L'on évite ainsi l'odeur qui se dégage lorsque la soude est simple-

ment retirée du four et abandonnée à elle-même pour se refroidir.

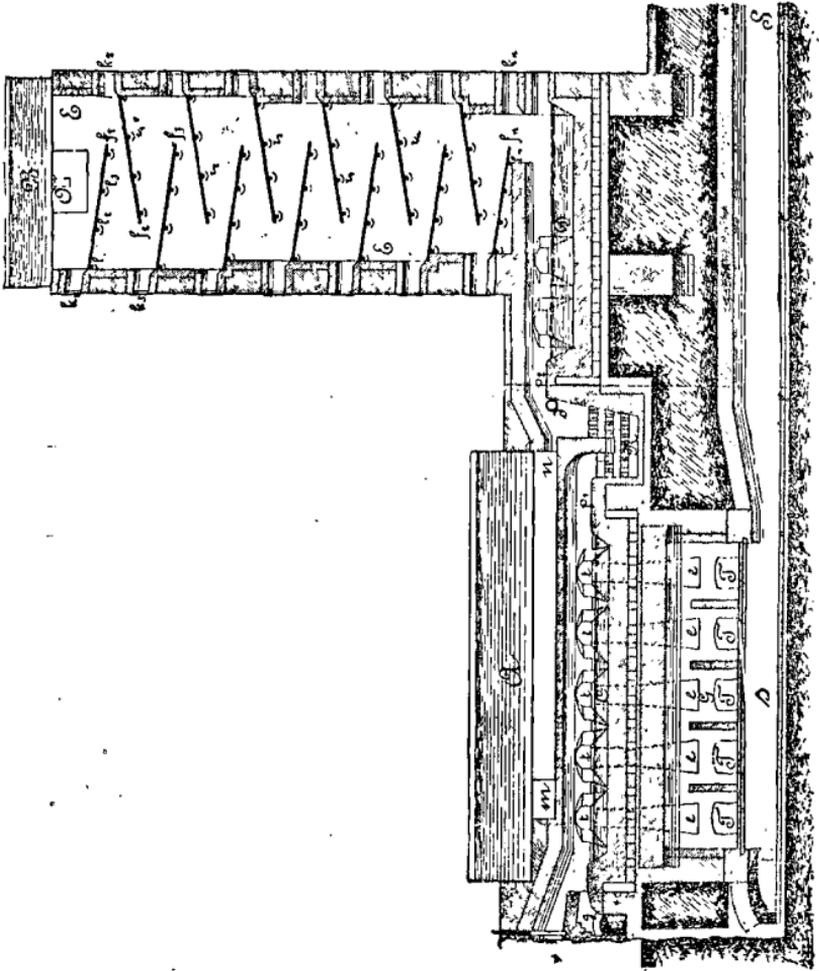


Fig. 13. — Four avec tour d'évaporation de Richard Schneider.

Pour remédier à l'usure rapide et par conséquent à l'entretien coûteux inhérents à tous les ap-

pareils jusqu'alors employés, Richard Schneider de Dresde a construit une « tour avec surfaces d'écoulement mobiles, déplaçables à volonté », que l'on peut appliquer avec avantage aux fours de récupération de la soude. Indépendamment du gazogène et de la cheminée, ce four (qui est un four à régénération de chaleur) (fig. 13) se compose d'une chambre de combustion II, dans laquelle s'enflamment les gaz surchauffés, et qui peut, d'après sa construction, admettre simultanément ou séparément, soit ces gaz surchauffés, soit l'air surchauffé ; à la suite de II est une sole de calcination C double ou simple. A l'autre extrémité se trouve une courte chambre R, couverte en briques réfractaires, dont la disposition rappelle celle d'un régénérateur de chaleur et qui, pendant l'opération de la calcination, a surtout pour objet d'amener une combustion parfaite de tous les gaz s'échappant de la sole de calcination, et d'obtenir ainsi une marche sans fumée ni odeur. Près de la chambre R se trouve, placé un peu plus haut, un réservoir assez profond D, servant à la concentration. C'est au-dessus de ce réservoir que s'élève la tour d'évaporation E, avec ses surfaces d'écoulement mobiles, qui doivent présenter une inclinaison de moins de 30° sur l'horizon. Le nombre de ces volets ou surfaces d'écoulement se détermine d'après la

quantité de lessive à traiter dans l'unité de temps considérée. Au-dessus de C et de R est installé pour l'utilisation de la chaleur perdue un grand réservoir A, où puise un pulsomètre qui alimente un bac plus petit B placé au sommet de la tour E. Au-dessous de C se trouve la chambre de refroidissement G, dans laquelle, grâce à la construction spéciale des portes pratiquées le long de C, sont jetées les matières brûlantes, mais non encore calcinées à fond, sans qu'il soit nécessaire de les sortir préalablement sur le devant du four. Les produits de la combustion d'une partie des gaz surchauffés arrivant en H sont entraînés par le carneau s vers la cheminée S. La partie de ce carneau qui passe au-dessous de G n'est recouverte que d'une voûte de faible épaisseur, ou mieux encore d'une double couche de minces panneaux réfractaires. Cette disposition et cette construction du carneau s ont pour but d'utiliser le plus possible le chaleur des produits de la combustion qui le parcourent, ainsi que d'entretenir et de hâter la calcination des matières tombées en G. Les gaz qui s'en échappent (gaz empyreumatiques) sont ramenés à la chambre de combustion par un carneau spécial. A des intervalles de temps réguliers correspondant aux différentes charges, les matières calcinées à fond sont retirées des divers com-

partiments de G par les portes F pour être réemployées. De plus il y a des orifices à ouverture variable en m pour l'admission de l'air et en D pour celle du gaz. L'air qui entre en m s'échauffe au contact de l'extrados de la voûte et arrive par l'ouverture n en p , soit pour assurer la parfaite combustion des gaz arrivant de C, soit pour brûler le gaz arrivant en D et y développer une plus haute température.

Donc la lessive est amenée en premier lieu dans le réservoir A, de là élevée en B, puis, descendant d'étage en étage les volets de la tour et y dégageant sa vapeur, elle arrive en D. Là elle prend une consistance sirupeuse et est alors conduite en C où le travail s'achève. La flamme venant de II, comme dans les autres fours d'évaporation, suit un parcours inverse. Cette disposition présente, outre l'avantage de la suppression de la bassine, celui d'être plus resserrée et par conséquent d'occuper moins de surface.

Ungerer a fait breveter une tour analogue dans laquelle les surfaces mobiles étagées sont remplacées par un grand nombre de chaînes ou de câbles en fer pendant librement de haut en bas. La lessive s'évapore en descendant lentement le long de ces câbles et, lors des nettoyages, on peut en les agitant d'en bas en détacher les croûtes qui se forment peu à peu à leur sur-

face. Dans cet appareil il paraît assez difficile d'obtenir que la lessive se répartisse assez également sur tous les câbles et ne tende pas à former sur quelques-uns d'entre eux des courants principaux qui diminuent beaucoup l'effet utile de l'ensemble.

M. Carl Kellner a construit en 1870, pour la récupération de la soude provenant du lessivage de la paille, un four, dans lequel la flamme et les produits de la combustion étaient chassés au-dessus de bassines étagées au moyen d'un jet de vapeur surchauffée. Le foyer et la sole de calcination travaillaient sous l'action d'un appel d'air, tandis que la partie arrière, où se faisait la concentration, était soumise à une faible compression, équivalant à peu près à une colonne d'eau de 2^m. On obtenait ainsi ce résultat de pouvoir faire circuler lentement les gaz du foyer sur une surface d'évaporation aussi étendue qu'on le désirait, ce qui n'est possible avec le tirage d'une cheminée que dans une certaine mesure, à cause de la force élastique de la vapeur d'eau formée.

Mentionnons encore le four Porion, dans lequel deux agitateurs en fonte, placés à la partie la plus basse du four, brassent mécaniquement la lessive et la projettent ainsi très divisée dans le courant des gaz brûlants du foyer, et les fours à sole de calcination rotative, très répandus en Angleterre et en Amérique.

Une autre installation pour la récupération de la soude, qui a donné de très-bons résultats et qui fonctionne toujours, se trouve dans la fabrique de cellulose de Ranheim en Norwège, et a été décrit comme il suit dans le n° 11 de 1889 de la *Papier-Zeitung*. La récupération des sels contenus dans les lessives présente trois phases principales :

1° Evaporation de l'eau jusqu'à ce que la lessive atteigne une concentration d'environ 10° B°, dans des chaudières à vapeur, chaudières tubulaires et bassines, où les flammes et les produits de la combustion sont dirigés en sens inverse de la marche de la lessive, et de manière que les gaz n'aient plus dans le rampant de la cheminée qu'une température de 150 à 200° ;

2° Épaississement jusqu'à consistance botteuse de la lessive concentrée dans une cuve réfractaire à feu nu ;

3° Distillation des matières incrustantes dans un four analogue à une cornue, lequel est en communication avec la bassine de concentration de telle manière que les gaz dégagés viennent y brûler dans la flamme de la chauffe principale et concourir ainsi à l'épaississement de la lessive.

L'évaporation de l'eau commence dans 2 chaudières A qui sont reliées par un tuyau *d*. Des pompes refoulent par des tuyaux *b*, *b*, la lessive noire

dans les chaudières, et elle y reste jusqu'à ce qu'elle ait atteint la densité voulue, tandis que la vapeur qui s'en dégage abandonne dans les dômes D, munis d'un double fond en tôle perforée, la lessive qu'elle peut avoir entraînée. A des intervalles de temps déterminés la lessive épaisse est évacuée par les tuyaux de vidange *g*, et amenée par la conduite *h* dans la chaudière tubulaire B. Là une prise de vapeur *r* conduit la vapeur que dégage de nouveau la lessive dans les cylindres sécheurs de la machine à papier (cette vapeur pourrait naturellement servir à tout autre usage). Quant au chauffage de la chaudière tubulaire, il se fait par la vapeur qui se dégage de la lessive dans la chaudière A, sort du dôme D par le tuyau *r* et pénètre dans le faisceau tubulaire de B. En marche ordinaire la lessive, qui arrive à une densité de 13 à 21° B^é dans la chaudière tubulaire, y est concentrée jusqu'à 21 à 27° B^é et est alors envoyée dans la plus élevée des 4 bassines de concentration. Celles-ci étaient dans le principe placées les unes au-dessus des autres, de telle façon que les gaz chauds, ayant léché les chaudières dans la direction des flèches, passaient, toujours comme l'indiquent les flèches, au-dessus de la bassine inférieure, puis en continuant en C leur marche vers la cheminée, successivement sur les 3 autres. Mais

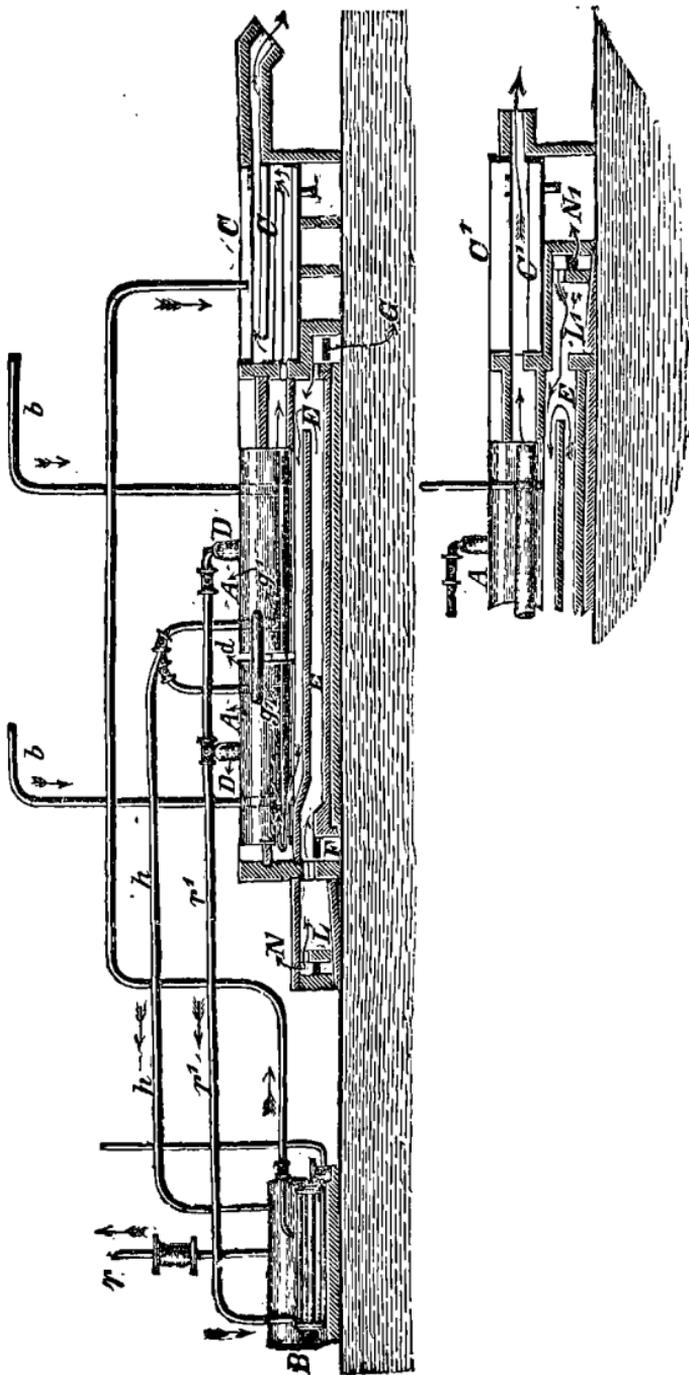


Fig. 14 et 15. — Appareil de Ranheim pour la concentration et la calcination des lessives noires.

ce long parcours refroidissait trop les gaz, le tirage en souffrait ; de plus on avait besoin de place en dessous pour un four de fusion ; on supprima donc les cuves étagées et l'on se contenta de laisser passer directement les gaz entre deux bassines remplies de lessive, pour se rendre de là à la cheminée comme le montre la figure 15. La lessive est concentrée dans ces bassines jusque vers 30° B^é, et de la plus basse elle est envoyée sur la sole de concentration E. Cette dernière est une aire plate, garnie et voûtée de matières réfractaires, que la lessive recouvre jusqu'au niveau du bord supérieur de l'autel. La flamme produite sur la grille du foyer F est entraînée sous l'action du tirage naturel au-dessus de la sole ; rabattue par la forme très surbaissée de la voûte, elle lèche la surface de la lessive et active ainsi la vaporisation. Pendant ce temps on brasse la lessive par des ouvertures pratiquées sur le côté long du four, pour activer l'évaporation. Elle s'épaissit peu à peu et, quand elle prend une consistance de boue gluante, le feu est éteint en F et elle est extraite par les ouvertures, puis jetée dans un four de fusion L en forme de cornue. Là, sous l'action du foyer N, les dernières traces d'eau sont expulsées, le grillage des matières incrustantes et la fusion des sels s'opèrent.

Les produits de la combustion circulent dans le four de la manière suivante : les gaz de L se mêlent avec ceux de F, rasant la sole de concentration E et se réunissent à la flamme du 2^e four de fusion L¹ (fig. 15). Ils passent ensuite tout le long des deux chaudières d'arrière en avant, là se partagent, reviennent par deux carneaux et se réunissent pour passer au-dessus de la bassine C. Ce long parcours les dépouille de la plus grande partie de leur chaleur, et, lorsqu'ils parviennent à la cheminée, ils n'ont plus que la température strictement nécessaire pour entretenir le tirage.

Contrairement à la plupart des méthodes employées jusqu'ici en Europe, celle que nous venons de décrire donne, grâce à la parfaite utilisation des produits de la combustion, une économie de combustible considérable. Avec 1 kil. de charbon l'on arrive à récupérer 2 k. 5 de sels fondus purs, et l'on obtient de plus la chaleur nécessaire au séchage de 1 k. 5 de cellulose.

On peut citer encore une grande fabrique de Belgique, où le problème de l'évaporation des lessives noires a été résolu d'une façon extrêmement remarquable et fonctionne ainsi depuis de longues années avec un plein succès. Plusieurs chaudières tubulaires reçoivent la lessive noire, ramenée, si besoin est, par une addition d'eau à un degré uniforme, et fournissent ainsi de la vapeur

pour les divers besoins de l'usine. Un roulement est établi entre ces chaudières pour que le liquide qu'elles contiennent soit évacué lorsqu'il a atteint une certaine densité déterminée. La concentration est ensuite poussée au degré voulu dans des appareils à triple effet.

Un appareil breveté en Amérique, et que son inventeur Homer T. Yaryan a fait aussi breveter en Allemagne sous le n° 42592 est présenté comme donnant, au point de vue de l'économie de com-

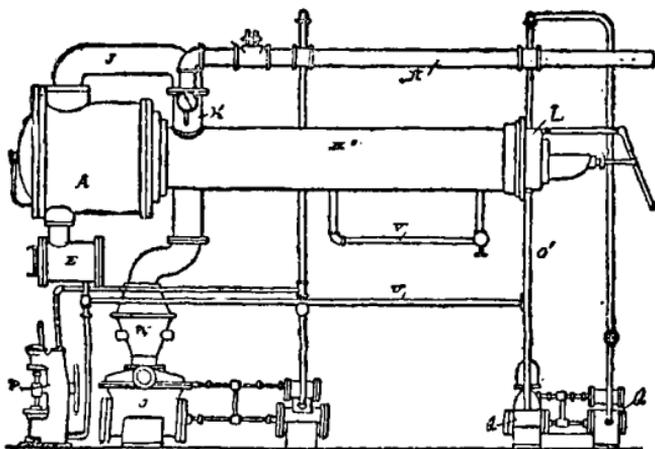


Fig. 16.

Appareil à triple effet Yaryan. — Élévation.

bustible, les meilleurs résultats. Le n° 100 de l'année 1888 de la *Papier Zeitung* en donne la description suivante :

La concentration se fait, non plus sous l'action directe du feu, mais sous celle de la vapeur (voir fig. 16 et 17 vue de côté et en plan) et s'opère à cet

effet dans 3 corps cylindriques placés les uns à côté des autres ; les parties médianes II'', II''', II''', de ces corps portent à leurs extrémités des capacités L, L', L'' et A, B, C qui en sont séparées par des diaphragmes. Dans chaque corps cylindrique ces capacités terminales sont mises en communication

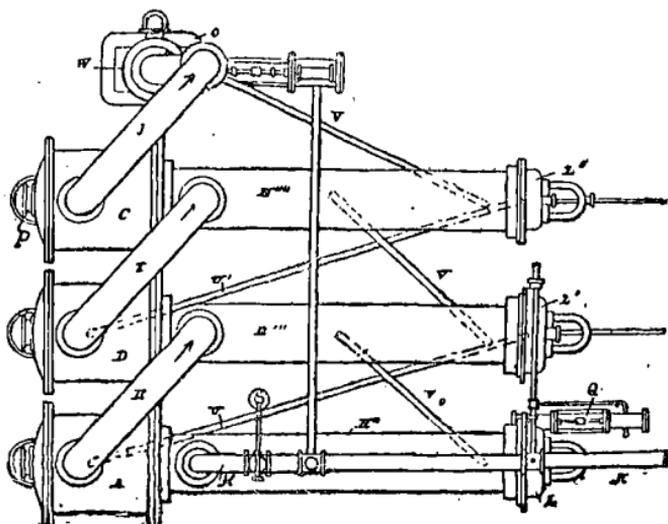


Fig. 17.

Appareil à triple effet Yaryan. — Plan.

l'une avec l'autre par des faisceaux tubulaires qui traversent la partie médiane en allant d'un diaphragme à l'autre. La lessive noire à concentrer, refoulée par une pompe, pénètre par le tuyau O' dans la chambre L, et traverse le faisceau tubulaire pour se rendre en A. En même temps la con-

duite K amène dans la partie intermédiaire II'' de la vapeur qui circule autour des tubes, et communique à travers leurs parois sa chaleur à la lessive, son eau de condensation étant constamment évacuée par le tuyau V. La lessive échauffée se répand dans la chambre A, dégage une certaine quantité de vapeur et coule alors, concentrée dans une certaine mesure, dans le récipient E placé au-dessous de A, pour être de là chassée par le tuyau U dans la capacité L', formant l'extrémité du 2° corps. Elle passe ensuite de la même manière, par le faisceau tubulaire de II''', dans la chambre B, puis par le tuyau U' en L'' et de L'' en C. La vapeur qui se dégage de la lessive dans la chambre A passe par le gros tuyau II dans le milieu II''' du 2° corps cylindrique, pour jouer le même rôle que la vapeur du générateur en II'', c'est-à-dire pour agir sur la lessive noire en enveloppant le faisceau tubulaire; elle évacue son eau de condensation par le tuyau V. La vapeur qui se dégage de la lessive noire dans la chambre B passe par le tuyau I dans le milieu II''' du 3° corps cylindrique pour y agir encore comme il a été indiqué. Enfin celle qui se forme dans la chambre C est aspirée au moyen du tuyau J par la pompe à air du condenseur W, tandis que la pompe P envoie dans une autre direction la lessive noire concentrée.

Le vide produit par la pompe à air agit d'une façon décroissante dans les 3 chaudières : minimum dans la chambre A, il atteint son maximum dans la chambre C.

On voit donc que le premier corps II" est seul à recevoir la vapeur du générateur, tandis que dans les suivants l'évaporation se fait au moyen de la vapeur des lessives elles-mêmes. La consommation de vapeur est par cela même réduite, un appareil à triple effet Yaryan pouvant vaporiser environ 15 kil. d'eau par kil. de charbon. La concentration de la lessive noire est poussée jusqu'à 40° B^e ; toutes les opérations de la récupération se font avec beaucoup plus de propreté que cela ne se passe généralement, enfin l'on n'emploie que 10 hommes en tout en 24 heures pour récupérer la soude de 20 tonnes de cellulose, tandis qu'à Rancheim, par exemple, il faut pour 8 tonnes 20 hommes. L'appareil Yaryan a déjà fait ses preuves dans plusieurs fabriques américaines ; dans l'une d'elles l'économie réalisée sur l'ancien procédé par son emploi serait de 18 tonnes de charbon par jour. Ce qui l'a empêché de se répandre en Allemagne, du moins jusqu'ici, c'est le coût très élevé de l'installation, par suite notamment du prix exorbitant de la licence. En général ces appareils fonctionnant avec le concours du vide étant très coû-

teux, imposant par cela même des frais d'amortissement considérables, n'ont pu être appréciés et payés que par certaines industries, soit par exemple celle du sucre, dans laquelle la cuisson de la matière ne peut sans inconvénient se faire à l'air libre, soit encore celles qui disposent de beaucoup de vapeur d'échappement et qui ont gratuitement ou à peu près la force motrice nécessaire pour actionner les pompes à air ou condenseurs.

On pourrait citer plusieurs types d'appareils à triple ou multiple effet construits pour l'évaporation et la concentration des lessives noires : celui des papeteries de Hendon (Sunderland, Angleterre) formé de 4 corps cylindriques verticaux (*Papier-Zeitung* du 9 février 1890, d'après le *Paper trade Review*), celui de Lewis D. Armstrong, à Lock Haven, Etats-Unis (*ibid.*, n° 34 de la même année), mais le principe est toujours le même, il n'y a de différence que dans la disposition et dans les détails.

Un mot en terminant sur la reprise par l'eau des résidus de la calcination pour l'obtention d'une nouvelle lessive.

Quand on a affaire à des sels fondus, presque entièrement solubles, comme c'est généralement le cas dans la fabrication au sulfate de soude, l'opération est très simple. Il en va autrement quand le résidu de la calcination se présente sous forme de coke. Il faut alors épuiser à fond par l'eau des matières assez volumineuses en n'employant que des quantités limitées de liquide. Dans ces conditions un lavage méthodique à contre courant s'impose. On le réalise au moyen des appareils à déplace-

ment système Shank, très usités dans les fabriques de produits chimiques.

Un laveur Shank se compose d'un nombre quelconque de bacs identiques, qui reçoivent sur un double fond perforé les matières à épuiser. Les bacs disposés en série sont reliés 2 à 2 par des tuyaux partant du bas de l'un, sous le double fond, pour aboutir dans le suivant en un

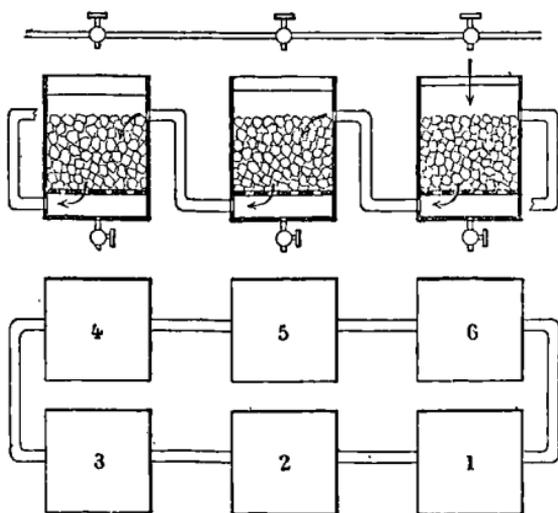


Fig. 17 bis. — Laveur méthodique à déplacement Shank.

point tel qu'entre ce point et le haut du vase il reste encore la hauteur nécessaire aux variations de niveau successives sur lesquelles est basé le fonctionnement de l'appareil.

Si l'on suppose les bacs chargés de matières à épuiser et l'eau entrant par le bac 1 et sortant par le bac 6 en rencontrant des matières de moins en moins épuisées, on voit :

1° Que cette eau ira toujours en se concentrant.

2° Qu'elle prendra son mouvement en vertu de la différence de niveau entre le bac 1 et le bac 6, cette différence ayant de plus à compenser l'accroissement de densité des colonnes successives de liquide.

Quand le contenu du bac 1 sera épuisé à fond, on isolera ce bac pour le décharger, le remplir de matière neuve, et commencer alors par le bac 2 et finir par le bac 1 ; mais l'eau qu'on en retirera à ce moment n'aura été en contact qu'avec une matière épuisée ; on aura donc à chaque changement de bac une certaine quantité, de semblable liquide, qu'on appelle « Eaux faibles ou petites eaux ».

On comprend que par un réglage convenable on arrive d'une part à une dissolution presque saturée et d'autre part, à un épuisement presque complet de la matière.

B. — PROCÉDÉ SULFUREUX.

Contrairement au procédé à la soude, que nous venons de décrire, le procédé sulfureux repose sur le traitement du bois par les acides. L'acide sulfureux (SO^2), dont l'emploi a aujourd'hui prévalu dans la pratique industrielle, est, ainsi que le montre sa formule, une combinaison d'un équivalent de soufre et de deux équivalents d'oxygène. C'est un gaz d'une odeur forte et piquante. Mêlé à l'air, il rend la respiration difficile, mais il n'est cependant pas aussi nuisible à l'organisme qu'on pourrait le croire, A une très

basse température ou sous une très forte pression l'acide sulfureux peut être liquéfié. L'eau l'absorbe en forte proportion et lui-même absorbe l'humidité de l'air. C'est précisément sur cette tendance à s'unir à l'eau, sa dissolution aqueuse étant par suite facile à obtenir, que repose son adoption dans la pratique.

Comme on le voit par la table chronologique donnée au commencement du livre, c'est l'américain Tilghmann qui le premier, en 1866, a proposé l'acide sulfureux pour opérer la dissolution des matières incrustantes ; il prit à cet effet un brevet qu'en fait il n'a jamais exploité. C'est au professeur Mitscherlich que revient le mérite et la véritable paternité de la fabrication de la cellulose par le procédé sulfureux.

Bien que son brevet ait été par la suite l'objet de plusieurs contestations, bien que, se fondant sur un cas de priorité, les tribunaux allemands en aient prononcé l'annulation pour une grande partie, ce n'en est pas moins lui qui, par des essais pratiques poursuivis à grands frais pendant de longues années, est enfin parvenu à constituer le procédé de toutes pièces et à en réaliser l'application par des installations bien appropriées. Il a donc bien légitimement acquis tout ce que lui a valu l'extraordinaire développement industriel résultant au-

jourd'hui de ses essais. Or comme l'acide sulfureux est un gaz qui attaque tout particulièrement et très-énergiquement le fer, il fallait soit éviter, soit protéger toute pièce de fer dans les appareils employés ; le problème n'était donc pas facile à résoudre.

Tout d'abord il convient d'exposer, d'après Mitscherlich, comment se prépare la lessive sulfureuse.

L'acide sulfureux s'obtient par la combustion du soufre ou de divers sulfures. A ce dernier titre on rencontre, comme matière relativement à bas prix, la pyrite martiale, qui contient à peu près autant de fer que de soufre (Fe S_2 , 28 de fer et 32 de soufre). Lorsque le soufre est à bon marché, c'est-à-dire lorsque son prix ne dépasse pas le triple de celui de la pyrite dont on peut disposer, on se décidera en faveur du soufre, dont la combustion se fait presque sans perte, tandis que dans la pyrite on retrouve, au centre des morceaux, du soufre non brûlé, dont la proportion varie de 4 à 10 % du soufre total contenu.

Le four à brûler le soufre natif est d'une construction très-simple ; il suffit d'une chambre en maçonnerie dont une forte plaque de fer ou de fonte forme le sol ; quelques basses cloisons, également en fer, partagent cette sorte de foyer en

plusieurs compartiments dont chacun est accessible par une porte spéciale, en sorte que la charge, la surveillance, le nettoyage de chacun d'eux peut se faire en marche et à tour de rôle. Le four est recouvert d'une plaque de fer, constamment refroidie par un courant d'eau, afin d'empêcher l'entraînement du soufre volatilisé qui se trouverait ainsi échapper à la combustion. La surveillance et le réglage de l'admission d'air se font par des regards pratiqués dans les portes.

Ce four en maçonnerie est souvent remplacé aujourd'hui par des brûleurs de soufre tout en fonte. Ces appareils de formes diverses, les uns circulaires avec tuyau d'abduction central, les autres aplatis comme des soufflets, sont tous en principe assimilables à une cornue convenablement inclinée, qui, à une petite distance du fond, serait munie de portes pour le chargement et la prise d'air. Ces brûleurs sont très-peu encombrants et dans certaines installations trouvent, ainsi que le siphon qui leur fait suite et dont il sera parlé plus loin, leur place au pied même des tours qu'ils alimentent, et dans la même construction.

Mais très-souvent on ne peut compter pour s'approvisionner que sur la pyrite. La pyrite se casse au marteau, à la main, en morceaux de la grosseur d'une noix ; les morceaux doivent être aussi réguliers que possible ; il n'est par suite pas facile de faire exécuter ce travail à la tâche. On pourrait

bien il est vrai employer des concasseurs mécaniques, mais ces machines donnent trop de fin, ce qui est à éviter. Lorsque, par le cassage, une certaine quantité de fin s'est peu à peu accumulée, on peut encore en tirer parti, en mélangeant ce fin avec de la terre glaise, de manière à en former des boulettes que l'on sèche bien sur le four, et qui peuvent alors être introduites dans le foyer sans risque d'obstruer la grille. A ce point de vue on peut citer le four à étages Malétra, dont le mode de construction permet de brûler des fines, autrement dit de la poussière de pyrites (1).

La pyrite concassée doit, en attendant qu'on l'emploie, être conservée dans un endroit aussi sec et aussi chaud que possible. Le mieux est donc de l'entreposer dans le local même des fours.

Les fig. 18, 19 et 20 donnent deux coupes et un plan d'un four à pyrite. Le four est de forme qua-

(1) Voir pour la description de ce four et de ceux d'autres systèmes ainsi que pour la marche et la conduite des fours à pyrite, *La grande industrie chimique*, par G. Lunge et J. Naville (G. Masson, éditeur) ou *La fabrication de l'acide sulfurique* de l'*Encyclopédie chimique* de Fremy (Dunod, éditeur). Il y a lieu toutefois de remarquer que tout ce qui est dit de l'allure des fours destinés à alimenter les chambres de plomb ne s'applique pas nécessairement à l'allure de ceux qui travaillent à la préparation du bisulfite, car dans le premier cas l'acide sulfureux n'est produit que pour être oxydé, tandis que dans le second on redoute tout particulièrement son oxydation. Pour cette même cause les marchés de pyrites à désulfurer sont difficilement praticables pour les fabriques de cellulose (N. d. T.).

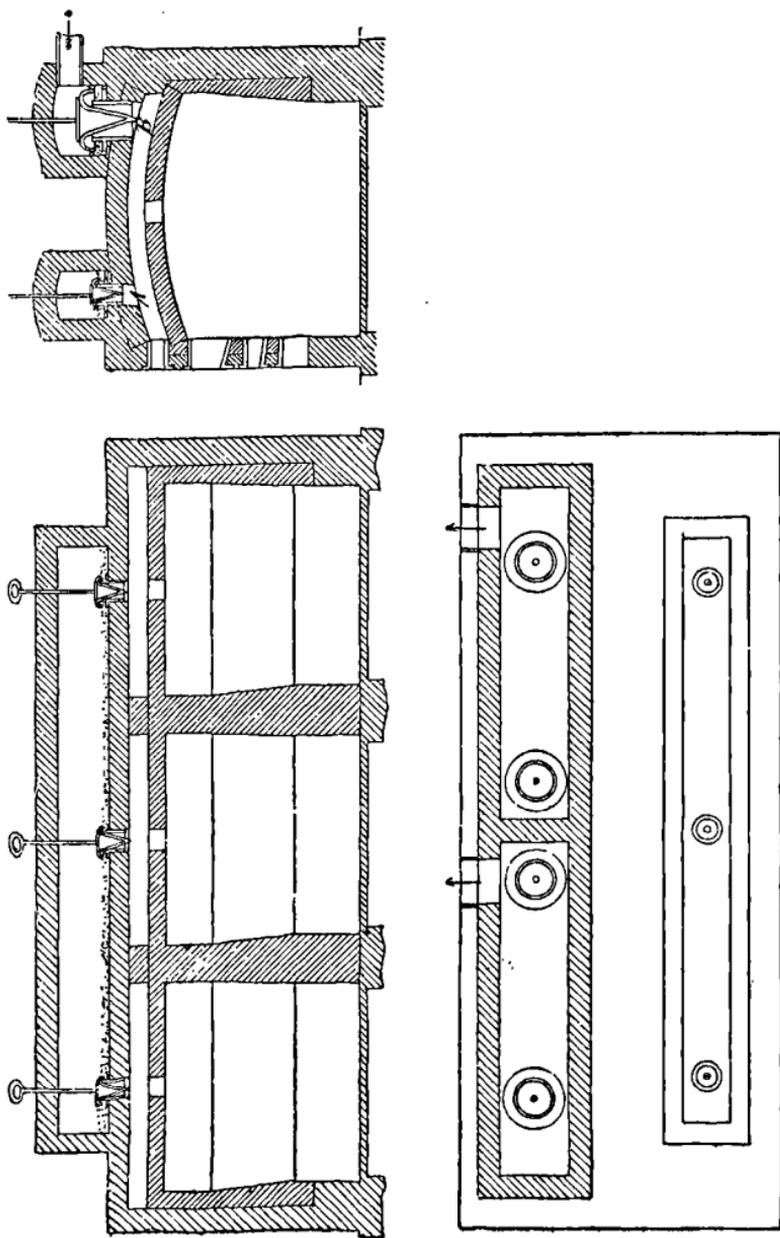


Fig. 18, 19 et 20. — Four à pyrite.

drangulaire, et garni intérieurement de briques réfractaires. Il a environ 1^m,50 de largeur intérieure. Au sommet de la voûte réfractaire surbaissée qui le recouvre, se trouve une ouverture pour l'abduction des gaz, qui se rendent d'abord dans un espace intermédiaire formé par une seconde voûte construite au-dessus de la première. En général, les fours à pyrite, au nombre de 3 de 4, ou même plus, selon l'importance de l'exploitation, sont juxtaposés, ou mieux encore adossés les uns aux autres : or, tous ne sont pas en marche en même temps ; il faut donc que tous soient reliés et entre eux, et avec les différentes tours que nous décrirons plus loin. On obtient ce résultat en disposant au-dessus des fours deux carreaux qui se trouvent mis en communication, l'un par l'ouverture A, l'autre par l'ouverture B, avec l'espace intermédiaire dont nous venons de parler. Ces ouvertures sont fermées par des soupapes de construction spéciale, analogues aux soupapes à joint hydraulique ; seulement, à cause de la haute température, la garniture du joint est, non pas de l'eau, mais du sable, ou de la poussière de pyrite. La deuxième voûte extérieure susdite sert aussi à protéger la voûte intérieure contre le refroidissement. A 0^m,50 du sol environ, est une grille composée de forts barreaux à section carrée, indépen-

dants et assez rapprochés les uns des autres, que l'on peut, au moyen d'une clef qui s'adapte à leur extrémité sur le devant du four, faire tourner sur eux-mêmes pendant la marche, ce qui facilite le nettoyage de la grille, autrement dit la chute des scories. L'ouverture par laquelle on donne aux barreaux leur mouvement de rotation et par laquelle aussi l'on extrait la pyrite une fois grillée, ainsi que l'ouverture de chargement C, sont munies de bonnes fermetures, généralement lutées avec de l'argile, et portant un regard, fermé avec une petite plaque ou un morceau de verre, pour permettre de surveiller la marche de l'opération.

Une fois le four en marche, le grillage se trouve réalisé de la manière suivante : sur la pyrite, portée par sa propre combustion au rouge clair, arrive une certaine quantité d'air atmosphérique, dont l'oxygène, à cette température élevée, s'unit d'une part au fer pour former de l'oxyde de fer, et d'autre part au soufre en dégageant de l'acide sulfureux. Le réglage de l'air doit se faire de telle façon qu'il n'en pénètre pas trop, mais qu'on en introduise cependant assez pour maintenir le four à la température voulue. Il faut aussi veiller à ce que les morceaux de pyrite brûlent bien jusqu'au centre, autrement les scories renferment, non seulement de l'oxyde de fer, mais encore une partic

du soufre, ce qui peut, ainsi que nous l'avons déjà dit, occasionner une perte sensible. Par conséquent, une admission trop réduite a aussi des conséquences fâcheuses : il arrive alors qu'une partie du soufre se volatilise sans brûler, ce qui peut présenter ultérieurement à la cuisson de grands inconvénients. Pour obtenir, en vue des opérations ultérieures, une lessive aussi concentrée que possible, il faut que le courant gazeux qui s'échappe des fours soit aussi riche que possible en acide sulfureux (ce qui ne s'obtient qu'en réglant l'admission de l'air au strict nécessaire) et qu'en même temps les gaz soient tenus à une température aussi basse que possible. En conséquence, on ne les envoie pas directement à la tour servant dans le système Mitscherlich à la production de la lessive, mais on les refroidit en les faisant passer dans un tuyau de gros diamètre en forme de siphon, qui les amène au pied de la tour, après les avoir d'abord élevés aux $\frac{2}{3}$ ou aux $\frac{3}{4}$ de sa hauteur. Pour le même motif la lessive faite pendant les mois d'été a toujours un peu moins de force que celle qu'on obtient en hiver, ce qui est, il faut le reconnaître, nuisible à la marche régulière des opérations. On peut y remédier dans une certaine mesure en arrosant constamment d'eau froide l'extérieur du siphon, mais le résultat obtenu reste encore au-dessous de

celui que produit l'influence favorable du froid hivernal.

L'influence de la température sur la force de la lessive produite ressort à l'inspection de la table suivante, indiquant le pouvoir absorbant de l'eau aux différentes températures :

1 mètre cube d'eau à	2°	4°	6°	8°	10°	12°	14°	16°	18°
absorbe	75	70	65	61	57	53	49	45	42
mètres cubes d'acide sulfureux.									

Il est bon d'adapter dans le voisinage du four au siphon refroidisseur deux petites tubulures que l'on réunit par un tube de verre, comme les indicateurs de niveau des chaudières. De cette façon l'on peut observer dans leur circulation les gaz qui s'échappent du four. S'il y a volatilisation, c'est-à-dire s'il y a du soufre mélangé aux gaz, le verre laisse voir une coloration jaune et il faut immédiatement donner un meilleur tirage et augmenter la quantité d'air introduit.

Pour transformer, ainsi qu'il a été dit au commencement de ce chapitre, l'acide sulfureux gazeux en une dissolution aqueuse, il faut diriger l'eau en pluie fine contre le courant gazeux ; mais la dissolution aqueuse ainsi obtenue est d'une composition très-irrégulière, et par conséquent peu appropriée à l'opération ultérieure de la cuisson. Par suite, on préfère employer les combinaisons de cet

acide avec les bases, composés qui sont d'une conservation plus facile, et, par des considérations pratiques, on choisit à cet effet la chaux, qu'on peut à peu près partout se procurer à bas prix, quelquefois aussi la magnésic. Mitscherlich préconise l'emploi de la chaux, c'est-à-dire du calcaire, et veut qu'il soit aussi poreux que possible, pour présenter plus de surface, sans cependant être trop tendre, car alors il se désagrègerait trop vite et amènerait l'obstruction de la tour. La pierre est concassée en morceaux d'environ 100^{mm} de diamètre. Des fabriques travaillant d'après le même système emploient, au lieu du tuf calcaire, la dolomie ou le calcaire jurassique et prétendent en obtenir, en raison de leur dureté, un meilleur usage. Carl Kellner s'est le premier servi de la dolomie et a pris un brevet pour l'emploi de cette matière.

La « tour », déjà bien souvent mentionnée, ce trait caractéristique de la plupart des fabriques de cellulose (se reporter aux croquis sommaires donnés par les fig. 21 et 22) est construite de la manière suivante : sur une forte fondation carrée reposent au moins 2 et souvent 4 réservoirs en maçonnerie, ouverts à leur partie supérieure sur laquelle s'élèvent les tours en bois. Il faut, même pour une petite exploitation, au moins deux tours que l'on puisse faire travailler alternativement.

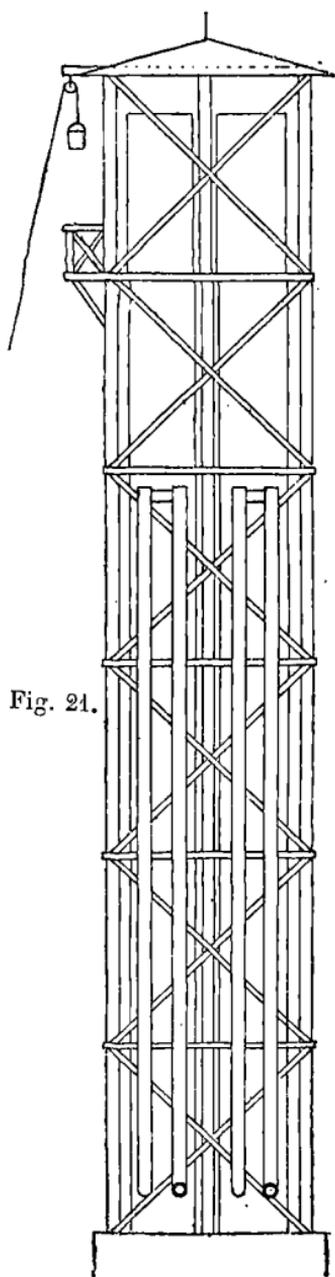


Fig. 24.

Ces tours de 30 à 35^m de haut, sont formées d'une série de fûts, ou, si l'on veut, de tronçons cylindriques creux, faits du bois de sapin le meilleur et le plus serré, maintenus par de forts cercles en fer et placés les uns au-dessus des autres. Les joints sont enduits de suif, et le tout est recouvert d'une bonne couche de goudron. Comme la tour une fois remplie de calcaire représente, étant donnée sa largeur (1^m ordinairement) et sa hauteur, un poids de plus de 1,000 quintaux, ses parties inférieures se trouvent supporter une très forte charge et doivent avoir leurs parois renforcées, en même temps que le nombre des cercles y doit être augmenté.

Tour Mitscherlich. — Elévation.

Directement sur le réservoir en maçonnerie, au-dessus duquel pénètrent après refroidissement les produits du grillage venant du four, et au fond duquel se rassemble la dissolution aqueuse, pour être de là envoyée aux réservoirs à lessive, repose une forte grille en bois de chêne ; la section de

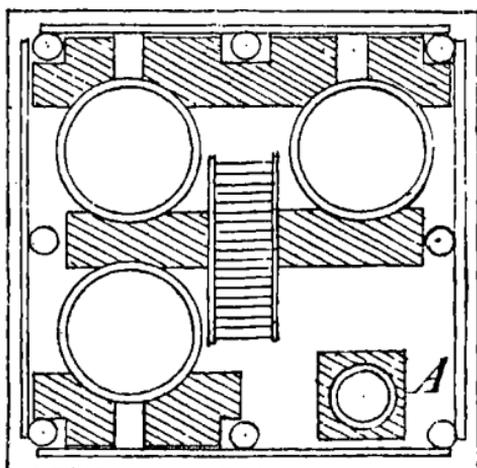


Fig. 22. — Tour Mitscherlich. — Plan.

chacune des poutrelles qui la composent va en s'aminçissant vers le bas comme celle d'un barreau de chauffe. Pour que le poids du calcaire ne porte pas tout entier dessus, il y a encore deux fortes pièces de bois, étayées au dehors qui sont passées au travers de la tour. La fermeture de la tour à sa partie supérieure est formée par un réservoir d'eau qu'alimente une pompe placée sur le sol, et du-

quel un courant d'eau, réglable au moyen d'un robinet, est déversé sur le calcaire. Lorsqu'on a besoin de lâcher subitement une grande quantité d'eau, ou même tout le contenu du réservoir pour rincer la tour, on dispose à cet effet d'une bonde ou d'une soupape. Juste au-dessous du réservoir est une ouverture latérale pour l'introduction du calcaire. Cet orifice doit naturellement être muni d'une fermeture ; il en est de même de plusieurs autres de petite dimension qui sont pratiqués à différentes hauteurs.

Les différentes tours sont entourées et réunies par une forte charpente à plusieurs étages, et le tout est recouvert d'un toit de façon à fermer une seule tour. En raison de la grande prise qu'il offre au vent, cet édifice est parfois maintenu de tous côtés par des haubans fortement ancrés dans le sol. Habituellement l'étage supérieur offre une saillie en forme de balcon ; c'est là qu'au moyen d'une poulie on hisse le calcaire destiné au remplissage. Si la tour se trouve à proximité d'une transmission, il sera préférable d'effectuer mécaniquement ce montage. Il est telle grande installation, possédant un grand nombre de tours, où ces tours sont toutes sur une seule ligne. Les siphons ensuite, et enfin les fours à soufre sont pareillement alignés et le tout est renfermé dans un

même bâtiment en charpente, long, étroit et élevé.

Attendre l'achèvement de la tour pour la remplir ne serait pas pratique : la grille serait endommagée par le choc des pierres tombant d'une aussi grande hauteur ; la pierre elle-même serait broyée et l'on se trouverait ainsi, dès la mise en marche, exposé aux obstructions. Il faut donc remplir les compartiments au fur et à mesure de leur construction.

Mentionnons encore que le siphon de fonte doit en son point le plus haut, là où il se recourbe pour descendre, être muni d'un couvercle bien luté. Lorsqu'un four à pyrite est remis en feu, on souève ce couvercle pendant toute la période d'allumage, et on ne le replace que lorsque la pyrite brûle avec une flamme bleue, indice de la marche régulière de l'opération. Alors seulement, le gaz sulfureux entre dans la tour par sa partie inférieure, et s'élève en sens inverse du courant d'eau ruisseant sur le calcaire.

Il est aisé de concevoir que ce sera précisément contre les parois de la tour que se produiront, lors de l'entassement du calcaire, les plus larges cavités ; que, d'autre part, l'arrosement ne se fera pas partout d'une façon absolument régulière, et que par conséquent, le gaz sulfureux appelé par le tirage sera assez irrégulièrement absorbé. Pour atté-

nuer cet inconvénient, on place en différents endroits de la tour des cloisons horizontales de forme annulaire pour arrêter au passage aussi bien les gaz que les courants liquides qui se glissent par directions isolées le long des parois, et les ramener au centre du remplissage calcaire.

Du contact prolongé du calcaire et du gaz sulfureux circulant lentement sur toute la hauteur de la tour résulte la formation de sulfite de chaux, et l'acide carbonique, mis en liberté, se dégage. L'eau, en se saturant d'acide sulfureux, acquiert à son tour la propriété de dissoudre le sulfite de chaux, très peu soluble dans l'eau seule, lequel se transforme en bisulfite de chaux.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, la température extérieure a une grande influence sur cette réaction ; il en est de même de la quantité d'air introduite pour le grillage. Il faut donc apporter à ce dernier point une constante attention, ainsi qu'au réglage du courant d'eau descendant, car le degré de concentration de la lessive en dépend. Laisse-t-on pénétrer trop d'eau, alors le produit final, la lessive, autrement dit la dissolution aqueuse de bisulfite de chaux, est trop étendue. Du réservoir maçonné qui forme la fondation de la tour, cette dissolution est amenée par un tuyau de plomb dans un grand cuvier en bois, qu'il est bon de placer

assez haut pour qu'ensuite on puisse faire directement, par une conduite, écouler la lessive dans le bouilleur. Lorsque la disposition des lieux ne permet pas cet agencement, le mieux est d'avoir recours à une citerne de maçonnerie, soigneusement couverte, d'où la lessive est, à la demande, refoulée dans le bouilleur. Toutefois, dans ce cas, on fera bien de la recevoir préalablement dans un cuvier intermédiaire, car il est nécessaire que la lessive soit très fréquemment, pendant la marche, vérifiée à l'aréomètre par l'ouvrier chargé de la conduite des fours à pyrite et par le service technique de l'établissement, afin qu'on puisse, dès que la lessive est reconnue trop faible, y porter remède aussitôt. La force moyenne est en été de $4\frac{1}{2}$ à 5° B^e, et en hiver de 7° et plus.

Quand la lessive a été faite dans de bonnes conditions, on peut du degré marqué par l'aréomètre conclure à sa teneur en bisulfite de chaux, mais il n'en est plus de même s'il y a eu volatilisation partielle du soufre. Il doit se former alors dans la tour des acides de la série thionique (telle n'est pas cependant l'opinion du D^r Frank, qui déclare la chose impossible), qui amènent des perturbations fâcheuses dans l'opération de la cuisson. Leur poids serait alors mis faussement au compte du bisulfite de chaux, et l'on conclurait à une concentration de celui-ci supérieure à la réalité.

Nous avons déjà parlé plusieurs fois de l'obstruction de la tour : cet inconvénient se produit après un jour ou deux de marche, parfois aussi plus souvent, lorsque le calcaire, partiellement dissous, mais aussi désagrégé et entraîné par l'eau, vient s'accumuler sur la grille ou en d'autres points, rendant ainsi impossible le passage des gaz. Alors le tirage manque et les fours fument, c'est-à-dire que le gaz s'échappe par les divers joints. On doit aussitôt mettre en marche la deuxième tour et travailler à dégager la première. Pour cela, l'on retire une plaque qui ferme une ouverture pratiquée juste au-dessus de la grille, on enlève la couche inférieure de pierres, et l'on rince la tour à grande eau une ou plusieurs fois. Ces opérations produisent dans toute la charge calcaire un mouvement de descente dans lequel les morceaux prennent d'autres arrangements, et l'appareil se retrouve en état de fonctionner.

Dès que le remplissage de la tour manifeste un affaissement sensible, il faut rajouter de la matière. Les morceaux provenant du nettoyage de la tour peuvent, s'ils ne sont pas trop petits, être réemployés. On les arrose à grande eau et on les mêle avec le calcaire neuf.

Il faut dans chaque installation, en dehors des tours que nous venons de décrire, une autre tour

plus petite dite tour d'échappement. Elle est moins large et moins haute que les autres, souvent même formée simplement de fûts à pétrole ou à huile superposés ; elle a comme les autres tours sa grille et sa distribution d'eau (voir A, fig. 22). Elle sert seulement lorsqu'une opération de cuisson est achevée ; on y chasse alors sous pression l'acide sulfureux qui reste dans le lessiveur. Les deux appareils communiquent à cet effet l'un avec l'autre par un tuyau de plomb. Dès que l'eau, préalablement lâchée au haut de la tour, apparaît en bas, on ouvre la valve d'échappement du bouilleur, les vapeurs sulfureuses se précipitent en sens inverse du courant d'eau, et pendant presque toute la durée de leur dégagement, on recueille une lessive très concentrée, marquant environ 12°, qui vient souvent fort à propos augmenter la concentration de celle du réservoir principal.

A la place des hautes tours préconisées par Mitscherlich, lesquelles ne sont pas sans inconvénient, mais doivent cependant présenter cette hauteur, parce que l'acide sulfureux met un temps assez long à attaquer les composés carbonatés et à les transformer en sulfites, on a proposé postérieurement des tours plus basses, que l'on représente comme devant être parfaitement suffisantes, si l'on substitue au calcaire la magnésie calcinée. On

n'a plus à donner alors aux tours qu'une hauteur de 5 à 6 mètres. Le professeur Hoyer écrit à ce sujet dans son traité de la fabrication du papier, page 203, ce qui suit : « La marche des opérations dans les tours de grande hauteur est fréquemment incommode et peu sûre, non pas seulement à cause de la nécessité d'élever les matières premières à leursommet, mais surtout parce que, sous la charge énorme qu'elles supportent, les pierres qui se trouvent à la partie inférieure sont broyées, et livrent alors difficilement passage au courant ascendant de gaz acides. Comme en outre les tours élevées sont en raison de leurs fondations, etc., etc., très coûteuses à installer, on propose de remplacer une tour élevée par plusieurs tours basses, de 3 à 6 ou 8 mètres de haut, par exemple, placées à la suite les unes des autres, et reliées entre elles par des conduites amenant à la suivante les gaz non absorbés par la précédente. Toutefois cette division soulève une difficulté : si l'on n'apporte pas un soin extrême à régler l'arrosage, on obtiendra des dissolutions de bisulfite de forces très différentes les unes des autres, puisque, à la dernière tour, il ne restera dans le courant gazeux que peu d'acide à absorber. Comme à mesure que l'on augmente la section de la tour, on donne aussi plus de temps au gaz pour exercer son action, il paraît tout indi-

qué d'employer, au lieu de tours étroites et hautes, des tours basses et larges, non plus de forme cylindrique, mais d'un profil intérieur déterminé par cette considération que la plus sûre méthode pour

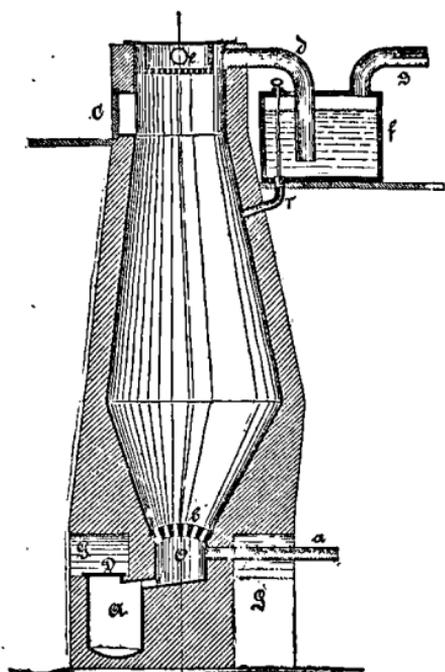


Fig. 23.

Tour basse à grande capacité.

obtenir une dissolution saturée de bisulfite est de produire, après un enrichissement progressif, le contact immédiat du sulfite prêt à sortir de la tour avec le gaz sulfureux dans toute sa force. La section doit donc être réduite au point où le gaz a son premier contact avec la matière de remplissage. Elle s'élargira ensuite peu à peu afin de donner au

gaz plus de temps pour produire son action, et se rétrécira enfin vers le haut pour accroître la vitesse du gaz en raison de sa raréfaction. La fig. 23 donne la coupe verticale d'une tour de ce genre.

Formée de deux troncs de cône superposés, accolés par leur grande base, elle offre encore l'avantage d'avoir à la fois moins de hauteur et plus de capacité, et de supporter par la surface du cône inférieur une partie de la charge du calcaire, en sorte que celui-ci ne se désagrège que dans la mesure nécessaire à sa dissolution, sans qu'on soit exposé à le voir obstruer les trous du fond *b*, lesquels vont en s'élargissant de haut en bas. De cette manière, et en conservant les proportions indiquées par la figure, on gagne sur une tour de 7^m de hauteur totale une capacité utile de 7^m³ 5. D'après la description faite antérieurement, on reconnaît en *a* le tuyau pour l'introduction du gaz, en *e* le distributeur d'eau, et la conduite d'introduction d'eau *r*. Le réservoir *A*, dans lequel s'écoule la dissolution de bisulfite venant de la chambre *O* est, par une disposition très pratique, placé sous la voûte *G*, en dehors de l'axe de la tour. On peut ainsi, en retirant la plaque *D* qui le recouvre, le nettoyer commodément, et enlever les parties terreuses entraînées qui s'y amassent. L'extraction du liquide a lieu par un tuyau de plomb, muni d'un robinet, ou par un siphon également en plomb. En raison de l'action nuisible du gaz sulfureux sur la végétation, il faut veiller très-soigneusement à son absorption complète, et, avant de lâcher dans l'at-

mosphère l'air qui sort de la tour, lui faire traverser une masse liquide qui enlève les dernières traces d'acide. On emploie à cet effet soit un lait de chaux, soit une dissolution de soude. La disposition la plus pratique est de renfermer cette dissolution dans un récipient *f* parfaitement clos, où l'air de la tour entre par le tuyau *d*, pour traverser le liquide et s'échapper ensuite par le tuyau *g*. Après saturation l'on envoie directement dans la tour par le tuyau *r* le sulfite de chaux formé et là il trouve les éléments qui lui manquaient pour arriver à la composition voulue. Si, au lieu de chaux, le récipient *f* contient une lessive alcaline, le sulfite de soude obtenu est mis en bonbonnes pour être employé comme antichlore. La tour porte un revêtement intérieur de plomb. Pour protéger cette enveloppe contre les avaries qu'elle éprouverait fréquemment du fait de la charge des matières de remplissage, on conseille de la garnir, notamment dans le cône inférieur, de lattes de bois, qui forment des rigoles très propices à l'écoulement de la lessive de bisulfite. Il suffit d'ailleurs parfaitement, pour protéger la maçonnerie de la tour contre l'action de l'acide, de l'enduire d'une bonne couche de goudron ou d'asphalte. »

L'auteur ne saurait dire si ce projet a été mis industriellement à exécution.

Un autre mode de préparation de la lessive comporte aussi l'emploi des tours, c'est le procédé Ritter-Kellner. M. Kellner a, comme il l'a relaté lui-même en 1885 dans la *Papier Zeitung*, par une circonstance tout à fait accidentelle, mais absolument en dehors des recherches de Mitscherlich, reconnu les avantages de l'acide sulfureux pour la préparation de la cellulose, (1) et par conséquent découvert et monté de toutes pièces le procédé au bisulfite, en sorte qu'une grande partie des fabricants de cellulose travaillent aujourd'hui sur ses données (modifiées d'ailleurs fort diversement par les uns et les autres) et obtiennent ainsi un produit différant à certains égards de celui de Mitscherlich, mais cependant de qualité supérieure.

Dans l'ouvrage de Hoyer (page 214) la représentation schématique de son système pour l'ob-

1. Les recherches de M. Kellner se portaient alors sur le procédé à la soude. Il reprenait les essais faits par Tessié du Motay pour provoquer par un courant d'acide carbonique le dépôt des matières ulmiques des lessives noires. Devant l'insuffisance des résultats obtenus, il se trouva logiquement amené à recourir à l'acide sulfureux. Il produisait ainsi du bisulfite de soude dans lequel il déplaçait ensuite le premier équivalent d'acide sulfureux par la chaleur et le second par la caustification. Au cours de ses essais, son préparateur prit par erreur une dissolution de bisulfite de soude, au lieu de soude caustique, pour opérer la cuisson du bois, ce qui donna un résultat aussi remarquable qu'inattendu et changea la direction des recherches de l'illustre inventeur. (N. d. T).

tention de la lessive est empruntée au brevet français n° 157 754, et il en est donné la description suivante : la formation complète du bisulfite est réalisée dans un cycle dont le point de départ est au réservoir A : la dissolution étendue de sulfite de chaux dans l'acide sulfureux qui s'y trouve s'écoule

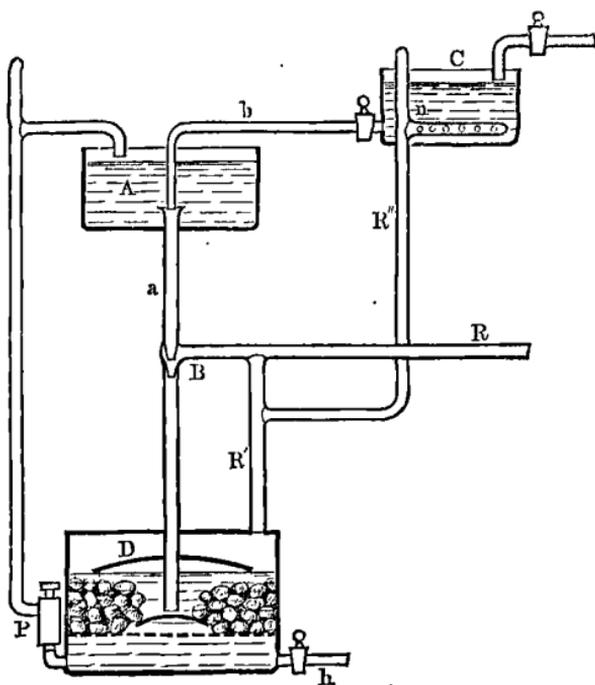


Fig. 24.

Appareil Kellner pour la préparation de la lessive sulfureuse.

par le tuyau *a* dans le récipient D ; elle rencontre sur sa route, en B, un aspirateur, au moyen duquel elle appelle par le tuyau R, communiquant

avec le brûleur de soufre, le gaz sulfureux purifié et refroidi, et l'entraîne avec elle dans le récipient D garni de calcaire. Ce récipient est muni d'un double fond, sous lequel la dissolution de bisulfite se rassemble. Là une pompe la prend et la remonte au réservoir A, entretenant ainsi sa circulation jusqu'à ce qu'elle soit arrivée au degré de concentration voulu. Elle est alors extraite par le robinet de plomb *h*. L'acide carbonique qui s'échappe en D de la chaux, l'acide sulfureux non absorbé, l'air enfin provenant des fours à pyrite ou à soufre arrivent en partie par le tuyau R' et son embranchement R" au réservoir C, tandis que le reste est entraîné par l'aspirateur B dans le tuyau R, qui le ramène dans la circulation. Le tuyau R" porte un bout perforé *n*, qui se prolonge au fond de l'eau dans le réservoir C; le reste de l'acide sulfureux est ainsi absorbé par cette eau, tandis que l'air et l'acide carbonique s'échappent dans l'atmosphère. L'eau du réservoir est à son tour soutirée par le tuyau *b*, muni d'un robinet de réglage, conduite par le tuyau à injecteur *a* dans l'appareil d'absorption et utilisée à la dissolution du sulfite.

Dans une autre combinaison (fig. 25) on se sert de tours pour cette opération. Le gaz sulfureux des fours est aspiré par des injecteurs de vapeur, et d'abord conduit dans une vaste chambre surbaissée

A pour s'y dépouiller des poussières entraînées et s'y refroidir. Dans ce but, la chambre est munie de cloisons qui forment des chicanes multipliées et

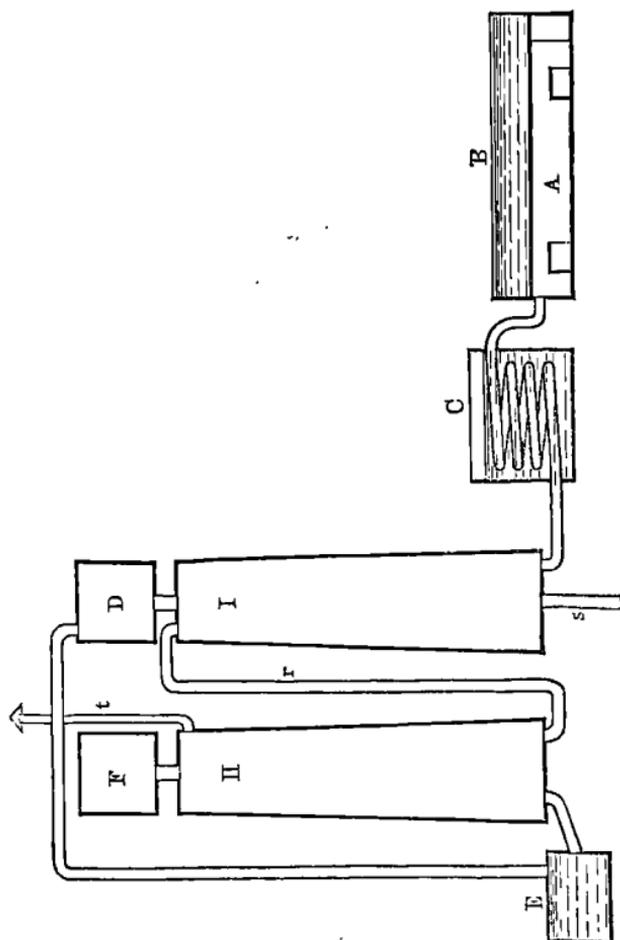


Fig. 23. — Tours Kellner pour la préparation de la lessive sulfureuse.

couverte par un réservoir B plein d'eau froide. Le gaz passe ensuite dans un serpentin réfrigérant C

et arrive comme habituellement dans des tours ordinaires I et II remplies de calcaire. Au-dessus de la première tour I se trouve un réservoir D, dans lequel la dissolution faible obtenue dans la tour II et recueillie dans le récipient E est remon-
tée au moyen d'une pompe, pour être de nouveau mise au contact du gaz, en servant, au lieu d'eau, à l'arrosage intérieur de la tour I. Un réservoir d'eau F, placé sur la tour II y projette son contenu en forme de pluie. Pour ramener dans la circulation l'acide sulfureux qui échappe au pouvoir absorbant de la tour I, on met les 2 tours en communication par un tuyau r, grâce auquel le gaz amassé à la partie supérieure de la tour I gagne le bas de la tour II. La conduite S dirige la dissolution concentrée dans des citernes, et le tuyau t sert au dégagement de l'acide carbonique, de l'air, etc., etc., dans l'atmosphère.

On voit d'après cette description que la préparation de la lessive par ce système, tout en ayant beaucoup d'analogie avec le procédé Mitscherlich, paraît cependant encore plus rationnelle sous certains rapports. Par la réunion des deux tours (qu'il n'est plus nécessaire d'avoir aussi hautes), l'adjonction de quelques conduites avec pompe et injecteur, on crée une circulation qui permet d'obtenir plus facilement et plus sûrement une concen-

tration régulière de la lessive, et ce point doit toujours être considéré comme très avantageux pour l'opération ultérieure de la cuisson.

Plus tard, M. Kellner a encore indiqué et installé plusieurs autres procédés pour la préparation de la lessive. Il y a, par exemple, une grande fabrique allemande dans laquelle il aspire le gaz sulfureux des fours à pyrite, le refoule ensuite à travers un réservoir de lavage, puis successivement dans 4 cuiviers en bois garnis de calcaire. L'eau dont ces cuiviers sont remplis, obéissant aux lois de la pesanteur, descend de l'un dans l'autre et s'écoule du dernier à l'état de dissolution préparée. Dans une fabrique américaine, il a introduit un procédé d'après lequel la dissolution sulfureuse, produite d'abord dans des tours d'absorption basses, à courants contraires alternatifs, est ensuite saturée méthodiquement de la quantité de base voulue dans une succession de caisses remplies de calcaire.

Pour éviter les inconvénients fréquemment signalés des tours et faciliter l'emploi de la chaux calcinée qui se combine plus rapidement avec l'acide sulfureux, on a eu recours à une série de récipients remplis de lait de chaux, et l'on a ainsi imaginé les appareils dits « à chambres ». Les chambres maçonnées, fermées par le haut, sont remplies jusqu'aux trois quarts de leur hauteur

d'un lait de chaux, que doit traverser le gaz arrivant des fours. A cet effet, les chambres sont recouvertes de cloisons partant du sommet et s'arrêtant à quelque distance du fond, de sorte que dans chaque compartiment le gaz sulfureux se trouve contraint de descendre jusqu'au fond pour remonter ensuite de l'autre côté à la surface. Comme ce mouvement ne s'exécute pas de lui-même avec une rapidité suffisante, on l'active généralement en plaçant après la dernière chambre un ventilateur qui agit par aspiration. On peut aussi employer dans ce but soit un injecteur, soit une cheminée qui donne le tirage nécessaire. Ce système a été surtout employé par W. Flodquist, de Gothenbourg, qui a installé une série de 10 chambres, disposées de telle façon que la lessive les parcourt jusqu'à ce qu'elle ait atteint une densité de 5° B°.

L'anglais Dougall a fait breveter un système tout à fait analogue à celui des chambres. Le brevet américain qu'il a pris (n° 811,595), a été décrit dans la *Papier Zeitung*, 5885, page 801, avec un croquis que nous reproduisons (fig. 26). Voici la marche du procédé : on brûle le soufre ou la pyrite dans de fortes cornues, où, une fois la combustion bien en train, on envoie par le moyen d'une soufflerie de l'air comprimé. L'acide sulfureux est amené par un système de tuyaux dans une série de cuiviers

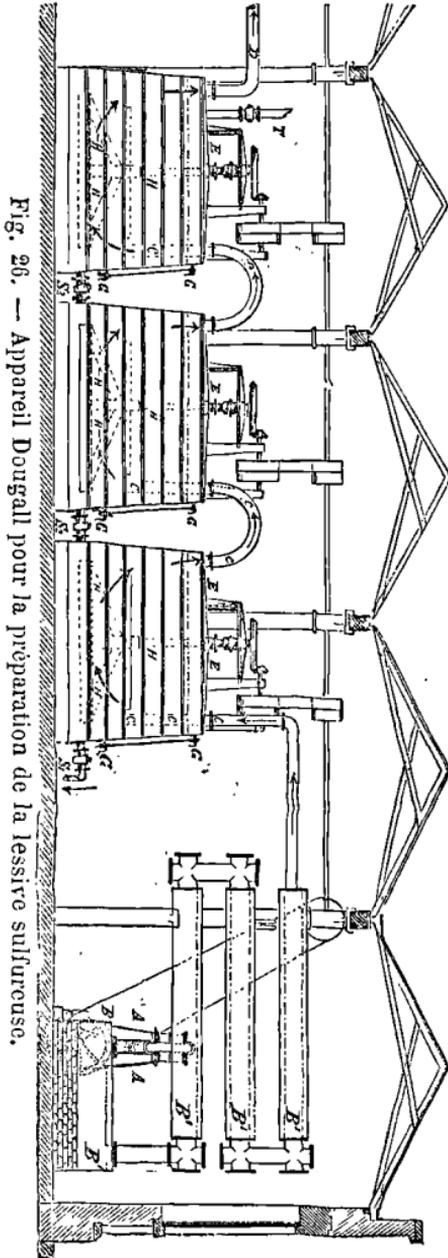


Fig. 26. — Appareil Dougall pour la préparation de la lessive sulfurique.

fermés, remplis d'eau ou de dissolutions alcalines. Dans ces cuiviers, le gaz est mis au contact du liquide jusqu'à complète dissolution. Au lieu de le refouler à travers les cornues, on peut aussi employer un aspirateur qui lui imprime le même mouvement. Dans tous les cas, les cornues sont tenues, pour réduire la perte des gaz, à une température aussi basse que possible, et elles sont à cet effet revêtues d'une enveloppe à circulation d'eau. Le système de tuyaux qui conduit le gaz aux bacs de dissolution est également

refroidi par un dispositif de même nature. Le gaz entre dans les cuiviers au-dessous du niveau du liquide, et ceux-ci sont munis d'agitateurs. D'après ces indications, les diverses parties du dessin sont faciles à reconnaître. A est la machine soufflante qui refoule l'air dans les cornues B. Là le soufre est enflammé au moyen d'un fer rouge et l'opération se continue sans qu'il y ait à fournir de l'extérieur aucun appoint de chaleur, tout au contraire : l'enveloppe d'eau froide B' a pour but de prévenir toute élévation trop grande de la température, qui compromettrait la marche de l'opération. Les tuyaux qui font suite à la cornue B sont pareillement revêtus d'enveloppes réfrigérantes B'', Des tuyaux C conduisent le gaz dans les cuiviers E, où se trouvent des agitateurs II ayant pour objet d'assurer le contact intime du liquide et du gaz. Il y a plusieurs de ces cuiviers E; ils sont disposés à la suite des uns des autres et reliés entre eux au moyen des robinets S₁, S₂, S₃, etc. Aussi longtemps que l'insufflation du gaz continue, ces robinets restent fermés. L'eau est introduite dans le dernier cuvier au moyen d'un tuyau T, et, avant que le soufflage commence, les cuiviers sont remplis par le jeu des robinets S, à une hauteur telle que les tuyaux C plongent à une certaine profondeur et que le gaz traverse de lui-même le liquide.

Le gaz en excès s'échappe du dernier cuvier par le tuyau D. Des tubes de verres GG, munis de robinets de puisage, permettent d'observer la hauteur du liquide dans chaque cuvier et de prélever des échantillons.

Le travail doit être conduit de la manière suivante : le gaz est envoyé dans les cuiviers jusqu'à ce que la dissolution contenue dans le premier d'entre eux soit arrivée au degré de concentration voulu. On arrête alors la soufflerie, on soutire le contenu du cuvier, et, en ouvrant les robinets S₂, S₃ et T, on ramène le liquide à la même hauteur qu'auparavant. On recommence ensuite à insuffler de l'air et l'on continue jusqu'à ce que le premier cuvier soit de nouveau arrivé à la concentration voulue. On aura un nombre de cuiviers tel que le tuyau D ne laisse échapper qu'un très faible excès de gaz sulfureux. Avant Dougall et déjà signalé dès 1872, W. S. Turner avait pris en Amérique, sous le n° 123,799, un brevet pour l'insufflation de l'air dans les fours à soufre.

C'est sur le même principe que repose un appareil de préparation de lessive que fait construire le D^r A. Frank, à Charlottenbourg, et avec lequel on doit éviter les inconvénients des méthodes décrites jusqu'ici. Dans une conférence faite en 1887, à Berlin, au congrès des fabricants de cellulose, le

D^r Frank a exposé les avantages de ce mode d'installation et, parlant des inconvénients des procédés de préparation de lessive jusqu'alors employés, a dit en substance ce qui suit : « Si l'on considère en premier lieu les tours, on doit reconnaître qu'en principe elles réalisent l'installation la plus simple, mais on remarque tout d'abord dans quelle dépendance des conditions atmosphériques se trouve le tirage, et par conséquent la marche de toute l'exploitation : c'est une grande cause de perturbation, qui, dans bien des cas, a nécessité des installations mécaniques (souffleries et autres) pour activer la circulation de l'air. Une autre circonstance donne lieu à des troubles non moins graves, c'est le petit nombre de roches calcaires se prêtant bien au rôle de matières de remplissage. Une pierre trop dure est difficilement attaquable aux acides faibles ; une pierre tendre ou impure se désagrège et s'oppose par suite au passage régulier des gaz. Un autre inconvénient inhérent aux tours est qu'une fraction non négligeable du gaz sulfureux qui les traverse est oxydé et transformé en acide sulfurique et alors non seulement se trouve perdu pour la fabrication, mais encore recouvre le calcaire d'une couche de plâtre très-peu soluble, qui le soustrait à l'action ultérieure de l'acide sulfureux. Par suite de toutes ces circonstances, il arrive fréquemment que les

lessives sont irrégulières, notamment en été, et, comme une correction en marche ne peut s'exécuter dans de bonnes conditions, il faut recourir à l'opération laborieuse du vidage de la tour. Dans la seconde méthode basée sur l'emploi du calcaire, batterie d'appareils marchant à l'air comprimé, on évite bien les difficultés que donne le réglage du tirage dans les tours, mais les autres inconvénients énumérés, notamment la formation du plâtre et la désagrégation persistent, et s'augmentent des frais de marche et d'entretien de la pompe qui sert à refouler le gaz sulfureux. Un autre défaut, commun aux appareils de l'un et de l'autre genre, à signaler, est que, en vue de la marche continue, ils contiennent toujours un excès de calcaire. Donc, tant que tout fonctionne régulièrement, c'est-à-dire, tant que leur remplissage calcaire n'est pas recouvert d'une couche de plâtre trop épaisse, ils fournissent des lessives très riches en sulfite de chaux, mais, par contre, pauvres au regard de l'élément actif, de l'acide sulfureux libre, ainsi que le démontre le degré élevé marqué par l'aéromètre, comparé à la faible teneur en acide sulfureux. On a cherché à remédier à cet inconvénient en remplissant la tour, partie seulement avec du calcaire et partie avec des corps poreux inertes, n'ayant d'autre objet que de diviser la lessive et de faciliter ainsi

l'absorption du gaz sulfureux. Cette tentative n'est pas restée absolument sans résultat, mais elle a beaucoup compliqué les installations, et a plutôt augmenté leurs autres inconvénients (perte d'acide sulfureux par oxydation).

« Mais si, au lieu de carbonate de chaux solide, on emploie la chaux caustique sous forme de lait de chaux, une grande partie des difficultés susmentionnées s'évanouissent, l'absorption de l'acide sulfureux se fait par la chaux caustique d'une façon plus rapide et plus parfaite que par le carbonate de chaux, ce qui premièrement diminue les risques d'oxydation, et en second lieu rend les appareils plus petits et plus faciles à surveiller. Comme de plus, avec la chaux caustique, la marche n'a plus besoin d'être continue comme avec le carbonate de chaux, on est toujours à même de vérifier dans chaque opération la teneur en chaux de la lessive et de la régler à la demande.

« Il y a, ainsi que nous venons de le dire, deux manières de faire pénétrer le gaz dans le lait de chaux, à savoir l'aspiration ou le refoulement. De ces deux méthodes, on a d'abord choisi celle qui paraissait la plus simple : au moyen d'un appareil à jet de vapeur (éjecteur), on faisait dans le dernier cuvier d'absorption le vide à un degré suffisant pour produire l'appel d'air nécessaire à l'entretien

de la combustion du soufre et à l'entraînement des gaz, préalablement refroidis et lavés, au travers du lait de chaux. Mais un essai attentif de cette manière de procéder ne tarde pas à déceler de nombreux et sérieux inconvénients : on est tout d'abord frappé de l'énorme consommation de vapeur de l'éjecteur ; d'après l'estimation la plus modérée, pour un appareil qui produit journellement de 25 à 30^{m³} de lessive, la consommation de vapeur est aussi élevée que celle d'une machine de 30 chevaux. Un autre défaut, plus grave encore, de l'entraînement des gaz par aspiration, est la diminution de la faculté que possède la lessive de dissoudre l'acide sulfureux : la dépression qui règne dans les appareils est précisément cause que la dissolution absorbe moins d'acide sulfureux libre que si elle était saturée de ce gaz à la pression atmosphérique ou à une pression légèrement supérieure. Il en est comme d'un verre d'eau de seltz, qui laisse dégager de grosses bulles d'acide carbonique dès qu'on le porte dans un endroit où l'air est raréfié. C'est principalement pendant les chaleurs que les liqueurs obtenues ainsi sont faibles. Par contre, on réalise tous les avantages que procure l'emploi du lait de chaux lorsque, au lieu d'aspirer l'acide sulfureux à travers le liquide, on l'y fait passer par refoulement ».

Le D^r Frank énumère comme il suit les avantages de son appareil :

1° Il donne la possibilité d'obtenir des lessives d'une composition toujours régulière et indépendante des variations atmosphériques, et dans lesquelles la teneur en chaux, aussi bien qu'en acide sulfureux peut toujours être fixée et maintenue entre des limites certaines. La concentration peut être poussée jusqu'à 10° B^é.

2° Le fonctionnement peut à tout instant être interrompu et repris.

3° La force motrice nécessaire est faible : 5 à 6 chevaux suffisent à une production de 30^{m³} en 24 heures ; un seul ouvrier peut faire tout le service.

4° L'absorption de l'acide sulfureux est parfaite et l'on n'est incommodé par aucun échappement de gaz, de telle sorte que l'installation ne demande qu'un espace réduit, peut être faite n'importe où, et n'exige pas de constructions spéciales. Un emplacement de 12^m de long, 8^m de large, 5 à 6^m de hauteur est suffisant.

5° Comme conséquence de la parfaite absorption du gaz et de la sûreté du réglage de la combustion du soufre dans les fours, on arrive à une meilleure utilisation des matières sulfurées employées. Par là et par la préparation rationnelle des lessives, on réalise en fin de compte des économies très im-

portantes sur les matières premières, le soufre et la chaux. La formation de dépôts gypseux ou boueux est impossible dans ces appareils.

6° L'appareil d'une construction simple et solide dans toutes ses parties est d'un abord et d'une surveillance faciles, et complètement exempt de pièces délicates ou sujettes à se déranger.

7° Bien que construit pour l'emploi du soufre, l'appareil peut aussi être combiné avec des fours à pyrite et enfin

8° Il permet, sans que cela cause une sensible augmentation de frais, sans porter atteinte aux droits établis par les brevets existants, de récupérer et de réutiliser l'acide sulfureux à l'échappement des lessiveurs.

9° La quantité d'eau nécessaire au fonctionnement du système réfrigérant est, pour un grand appareil, de 2 à 300 litres par minute.

10° Les perturbations résultant de la volatilisation du soufre et de l'obstruction des tuyaux sont complètement écartées ; ni les ouvriers, ni le voisinage ne sont plus incommodés par le gaz sulfureux.

Il faut cependant remarquer, à l'égard du paragraphe 7, que de diverses communications reçues par l'auteur il résulterait que l'appareil ne se comporterait pas bien avec les fours à pyrite, parce que,

les gaz provenant de ceux-ci étant plus pauvres en acide sulfureux et plus riches en oxygène et l'oxydation du bisulfite étant plus active dans une dissolution, il se formerait dans les cuiviers un fort dépôt de sulfate de chaux.

Grâce aux renseignements qu'a bien voulu lui communiquer M. le D^r Frank, l'auteur est en mesure de donner de son appareil la description détaillée ci-après. L'installation complète en est représentée par les fig. 27 et 28.

A, four à soufre complètement fermé.

B, pompe à air, munie d'un réservoir d'air C, qui insuffle dans le four l'air nécessaire à la combustion du soufre, en quantité réglable, de manière à obtenir des gaz ayant une teneur très élevée en acide sulfureux.

Le four lui-même, ainsi que le refroidisseur D et la chambre à poussières E qui lui font suite étant munis d'un système réfrigérant, l'admission et la répartition de l'air dans le four A étant faits suivant une méthode spéciale qui assure la combustion du soufre éventuellement volatilisé, l'on n'est plus exposé à aucun entrainement de soufre, à aucune obstruction des tuyaux. De la chambre à poussière E les gaz vont dans un réfrigérant tubulaire F, construit suivant le principe du refroidissement méthodique par la marche inverse des deux cou-

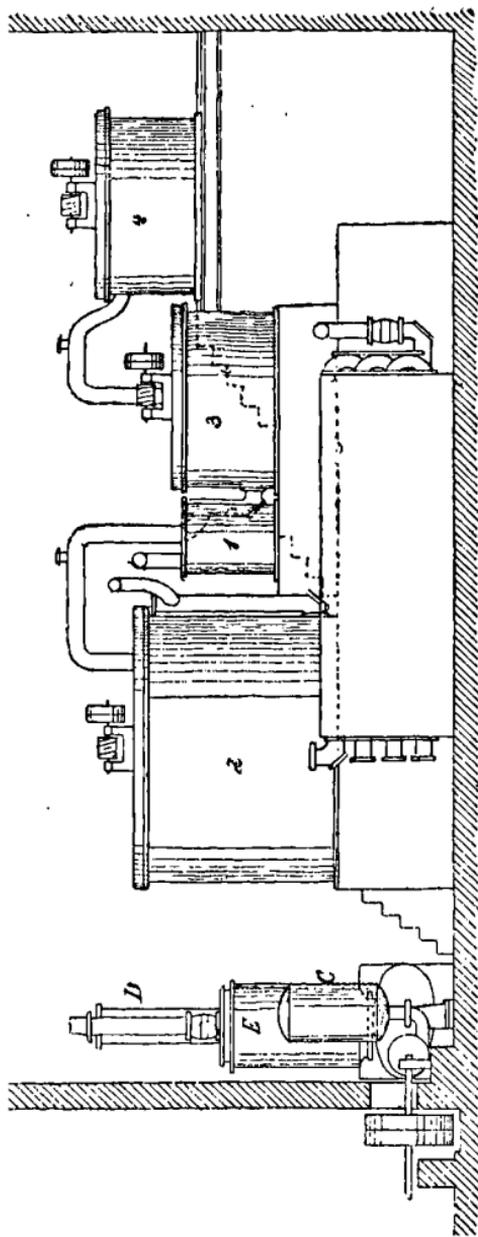


Fig. 27. — Appareil du Dr Franck pour la préparation de la lessive sulfureuse. Elevation.

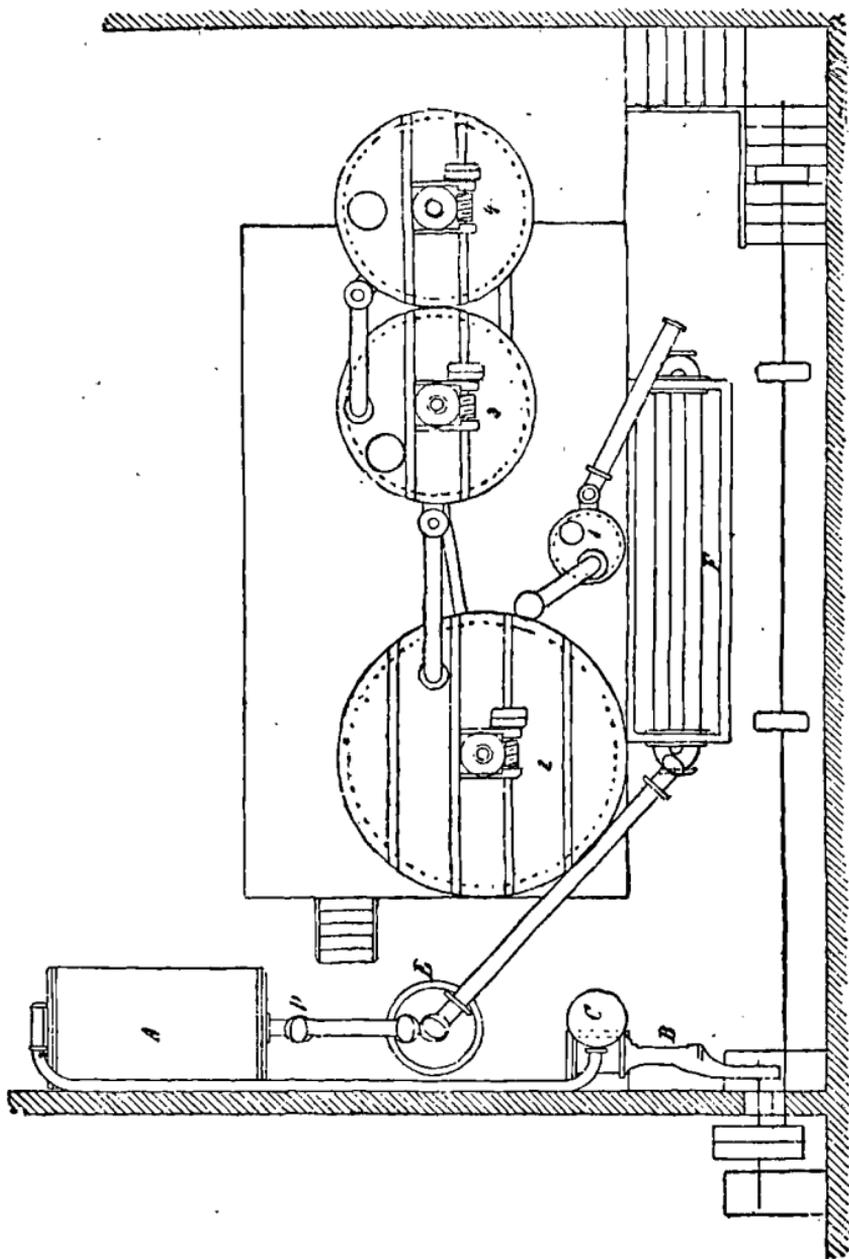


Fig. 28. — Appareil du Dr Frank pour la préparation de la lessive sulfureuse. Plan.

rants et ne consommant qu'une très-faible quantité d'eau. Après avoir abandonné dans le laveur 1 les dernières traces d'acide sulfurique qu'ils contiennent, les gaz refroidis et purifiés passent dans la batterie d'absorption formée de la réunion de trois cuviers. Ces trois cuviers sont échelonnés de telle façon que les gaz traversent d'abord, dans le grand cuvier 2, la dissolution de sulfite la plus saturée d'acide sulfureux, ramenée par une addition d'eau au degré voulu de concentration, puis dans le cuvier 3 un lait de chaux déjà enrichi, et entrent enfin, dans le cuvier 4, le plus élevé, au contact du lait de chaux fraîchement introduit pour alimenter l'appareil. Pour permettre la propulsion des gaz refoulés, les cuviers 2 et 3 ont leur partie supérieure hermétiquement fermée ; le cuvier 4 peut aussi se fermer, mais reste habituellement ouvert, les dernières traces d'acide sulfureux qui y pénètrent étant rapidement et parfaitement absorbées, puisque par le fait on ne constate autour de l'appareil, bien que dans un local clos, aucun des effets fâcheux dûs à toute émanation du gaz.

Une fois la lessive parfaitement saturée d'acide sulfureux dans le cuvier 2 (ce que l'on peut vérifier en 3 minutes sur une prise d'échantillon prélevée en marche à n'importe quel moment) on éteint,

rien qu'en arrêtant la soufflerie, la combustion du soufre dans le four A, et l'on fait cesser en même temps tout dégagement d'acide sulfureux, sans qu'il puisse s'en répandre dans le local occupé par l'appareil, puisque le four est fermé. On soutire alors du cuvier 2 la lessive dont la préparation est terminée ; le lait de chaux concentré, à demi saturé du cuvier 3, reçoit une addition d'eau et vient, par un tuyau partant du fond et muni d'une valve, prendre sa place. Le cuvier 3 se trouvant alors vide reçoit à son tour le contenu du cuvier 4 et ce dernier est à nouveau rempli d'un lait de chaux très-fort, préparé avec un poids déterminé de chaux calcinée dans 4 bacs à éteindre la chaux placés à un niveau supérieur. L'opération complète de la vidange et du remplissage ne dure pas plus d'une trentaine de minutes. Dès qu'on l'a terminée, on ouvre le four qui pendant ce temps s'est refroidi, on le recharge de soufre neuf en poids déterminé, et, dès que la combustion commence, on remet la soufflerie en mouvement et le travail reprend son cours.

D'après la grandeur, qui se calcule exactement d'avance, des diverses parties de l'appareil, on peut produire en une fois de 10 à 20 mètres cubes de lessive prête à être employée, et, comme la durée d'une opération, en y comprenant les manu-

tentions accessoires telles que l'alimentation du four et le remplissage des cuiviers, est d'au plus 7 heures, la production à double équipe d'un petit appareil est de 30 à 35 mètres cubes, celle d'un grand de 54 à 60. Pour obtenir ces quantités, le travail de l'ouvrier se borne à la surveillance de la combustion du soufre, à la manœuvre des quelques robinets, et à l'extinction de la chaux qui se fait trois fois par deux postes.

On peut aussi disposer facilement l'appareil pour le travail en continu, c'est-à-dire pour qu'il laisse constamment écouler la lessive et pénétrer à nouveau le lait de chaux. Toutefois le Dr Frank accorde une préférence marquée à la marche intermittente telle qu'elle a été décrite, c'est-à-dire dans laquelle le contenu du grand cuvier, une fois amené au point voulu, est soutiré tout d'une fois; de cette manière en effet la surveillance de l'opération, notamment en ce qui concerne le contrôle de la régularité absolue de composition de la lessive, s'exerce d'une façon beaucoup plus sûre, et l'on peut aussi à chaque moment régler suivant les besoins, par le jeu de la soufflerie, la force des gaz dégagés par le four.

Dans l'appareil Frank la lessive de bisulfite peut être obtenue avec la chaux, la dolomie, la

magnésie pure ou même la soude, à tout degré de concentration jusqu'à 10° B°. Toutefois, grâce à la teneur élevée des lessives en acide sulfureux libre, c'est-à-dire actif, qui empêche tout dépôt de monosulfite dans les lessiveurs, la matière première qui est toujours et partout la moins chère, la chaux, est parfaitement suffisante.

Les critiques, très fondées d'ailleurs, formulées par le D^r Frank contre les tours ne s'appliquent cependant pas au procédé Kellner. Mitscherlich utilise ses tours comme aspirateurs. Or le tirage est constamment influencé et modifié par le poids spécifique de l'air extérieur (variations de température) ainsi que par les changements incessants qui se produisent dans les intervalles libres laissés par le calcaire et dans la distribution de l'eau. Il faut bien aussi que les gaz soient introduits dans la tour à une température assez élevée, car autrement il n'y aurait aucune différence de densité entre le gaz sulfureux, naturellement lourd d'ailleurs, et l'air extérieur, et par conséquent aucun tirage.

Kellner évite ces causes de perturbation, en effet dans son système 1° l'acide sulfureux est énergiquement refroidi (ramené à la température de l'eau froide dont on dispose) et 2° la propulsion des gaz soit à travers les chambres remplies de calcaire, soit à

travers les tours ou les cuiviers est le résultat d'une légère compression. On est ainsi complètement à l'abri des perturbations mentionnées et l'on peut multiplier à son gré les appareils d'absorption consécutifs de manière à bien dissoudre la totalité de l'acide sulfureux. Il est également facile de régler la proportion de l'acide sulfureux à la chaux, autrement dit de l'acide sulfureux libre à l'acide sulfureux combiné ; on opère alors une partie du remplissage, non plus avec du calcaire, mais avec des matières inertes comme des fragments de briques ou de roches siliceuses, et la dissolution de bisulfite formée par la pierre à chaux se trouve enrichie dans la mesure où on le juge convenable.

Le rendement du soufre est vérifié par un procédé très simple, indiqué dans la *Papier Zeitung* par le D^r Frank (voir à la fin du chapitre).

La lessive produite est mesurée et sa teneur en acide sulfureux est titrée au moyen de l'iode : 1 % d'acide sulfureux répond à une teneur de 10 kilos au mètre cube ; or comme 1 partie de soufre chimiquement pur donne après combustion parfaite 2 parties d'acide sulfureux, 5 kilos de soufre pur doivent théoriquement suffire à la production de 10 kilos d'acide sulfureux. Par le fait, le soufre de deuxième qualité employé dans la plupart

des fabriques ne contient guère que 98 % de soufre pur ; sous l'action de l'humidité de l'air introduit pour la combustion il se forme nécessairement de petites quantités d'acide sulfurique ; enfin de petites pertes de lessive sont inévitables tant dans le soutirage que dans le remplissage. Le D^r Frank d'ailleurs ne garantit pas le rendement du soufre au delà de 95 % de la quantité employée, en sorte qu'avec 100^k de soufre on obtiendra 190^k effectifs d'acide sulfureux dans la lessive. On peut toutefois, dans une usine très soigneusement conduite, arriver à des résultats encore supérieurs. Les fabriques de J. Spiro u. Söhne, à Bömisch Krumau et de Kymmene Bruck en donnent la preuve par les résultats qu'elles ont publiés et suivant lesquels le rendement du soufre va de 96,8 à 97 %, c'est-à-dire qu'avec 100 de soufre on obtient 193,6 à 194 d'acide sulfureux dans la lessive.

Composition des lessives produites dans l'appareil Frank : ainsi que nous l'avons dit plus haut, le D^r Frank, partant de recherches scientifiques qui ont trouvé dans la marche en grand leur pleine confirmation, est arrivé à cette conclusion que la teneur en chaux des lessives doit être aussi réduite que possible, car leur efficacité réelle réside dans l'acide sulfureux libre, actif, tandis qu'une teneur élevée en chaux représente, entre autres inconvé-

nients, une dépense inutile en acide sulfureux, donc en soufre, matière première. Il en donne l'exemple suivant :

Une lessive de fabrique A, à 7° B^é, contenait :

Acide sulfureux total	4,35
dont libre	2,35
combiné	2

Chaux correspondant à ce dernier chiffre 1,75

Une lessive B, produite dans l'appareil Frank et marquant juste 5°, avec laquelle la cuisson s'est faite dans le même temps, mais sans dépôt gypseux, contenait :

Acide sulfureux total	3,254
dont libre	2,382
combiné	0,874

Chaux correspondant à ce dernier chiffre 0,764

Comme on le voit, la lessive B, malgré sa plus faible densité, est plus riche en acide sulfureux libre, actif, que la lessive A. Or tandis que cette dernière, dans l'appareil Frank, en admettant un rendement du soufre de 95 %, exige en nombres ronds 23 kilos de soufre par mètre cube de lessive, il ne faut, pour obtenir une même quantité de lessive B que 17 kilos de soufre, de sorte que, outre la production plus forte obtenue de tous les appareils avec cette lessive d'une densité moindre et d'une composition plus rationnelle, on réalise en-

core une économie de 6 kilos de soufre soit de 0 fr.80 à 0 fr.90 par mètre cube de lessive.

Les produits obtenus avec l'une et l'autre de ces lessives dans la fabrique en question présentaient de plus une différence bien caractéristique : la cellulose cuite avec la lessive à 7° avait une teneur en cendres de 1.85 %, tandis que la cellulose cuite avec la lessive légère, ne laissait à l'incinération que 0.36 % de résidu.

Pas n'est besoin, pour les personnes tant soit peu au courant de la question, d'ajouter qu'il n'existe pas une formule unique donnant la composition de la lessive pour toutes les sortes de bois, non plus que pour toutes les méthodes de cuisson. Bien au contraire cette composition doit être appropriée aux matières traitées, ainsi qu'au procédé suivi pour le traitement.

C'est ici le lieu de faire observer que dans un lessiveur où la vapeur n'entre pas directement, par conséquent ne vient pas diluer la lessive, on peut travailler avec une lessive plus étendue que dans celui où la vapeur, entrant librement, vient étendre et affaiblir la lessive, ce qui se produit surtout lorsque cette vapeur arrive chargée d'eau entraînée. Voici par exemple une lessive employée par la fabrique de Krumau dans des lessiveurs système Mitscherlich :

Acide sulfurique total	3,035
dont libre	2,023
combiné	1,012

Chaux correspondant à ce dernier chiffre 0,827 qui n'exige que 16 kilos de soufre par mètre cube et qui a été reconnue comme ayant une force parfaitement suffisante.

Comparée à la lessive à 7° dont nous avons donné plus haut la composition, elle fait réaliser, rien qu'en soufre, sur une consommation journalière d'environ 80 mètres cubes, une économie de 75 fr.

Depuis plusieurs années un grand nombre d'appareils Frank sont en fonctionnement, fournissant la lessive à des lessiveurs des systèmes les plus variés.

D'après les communications des ateliers de construction de Golzern, le prix d'un appareil pouvant produire 50 mètres cubes de lessive par 24 heures, complètement installé, mis en marche, après vérification du rendement garanti pour le soufre, est fourni, licence et frais de montage compris, pour environ 30.000 fr.

Le prix de revient d'une production journalière de 50 mètres cubes de lessive, ayant une teneur moyenne de 3,3 % d'acide sulfureux et de 1 % de chaux s'établit comme il suit :

870k. de soufre à 13 fr. 75 les 100 k. rendus à la fabrique	fr. 119,60
550k. de chaux calcinée, perte à l'extinction comprise, à 1 fr. 87 les 100 k.	10,30
Main d'œuvre à 2 postes, à 3 fr. 10 l'un	6,20
Force motrice, 5 à 6 chevaux (s'il n'y a pas de moteur hydraulique) à 2 k. 5 de charbon par cheval et par heure, en comptant les 100 k. à 1 fr. 85	7,55
Élévation de l'eau du réfrigérant, 2 à 300 ^l par minute, éclairage, graissage, etc.	6,25
5 % d'impôts, 10 % d'amortissement sur 30000 fr. soit par jour	15, »
	<u>fr. 164 90</u>

ou par mètre cube 3 fr. 30

Non seulement ce prix de revient est fort bas, mais cette méthode, comparée à l'emploi de la pyrite, présente encore les avantages suivants : la possibilité d'arrêter et de remettre en marche à n'importe quel moment, et l'absence des scories, si encombrantes dans certains établissements, laissées par la combustion des pyrites.

Un appareil qu'on pourrait presque appeler une variante de celui du D^r Frank est celui de Wendler et Spiro (Watertown, Etat de New-York). On y retrouve la pompe à air *a*, le four fermé *b*, (marchant à volonté à

alimentation intermittente ou continue), les tuyaux en fonte, la chambre à poussières et l'appareil réfrigérant *g*. Le cuvier *c* renferme le lait de chaux, et les cuiviers d'absorption *f* et *h* (ce dernier exactement recouvert par *f*, sur la figure 28 bis), au lieu de recevoir l'un de l'autre la lessive faible, sont soumis alternativement à l'admission directe du gaz sulfureux, pour la saturation complète par ce gaz de leur contenu. De plus une caisse d'absorption *d*, présentant de grandes surfaces à l'écoulement du lait de chaux et par suite à son contact avec le gaz est placée entre *c* et les 2 cuiviers inférieurs.

La marche de l'appareil est continue. Tandis que le contenu du cuvier *f* par exemple achève de se saturer, le gaz suivant le parcours *g f h d c*, le cuvier *h* se remplit peu à peu de lessive faible. On vide alors *f* et l'on amène le gaz directement de *g* en *h*, et, pendant que le contenu de *h* arrive à saturation, *f* se remplit peu à peu de lessive faible, et ainsi de suite.

On trouve de notables différences avec les méthodes qui viennent d'être décrites et une grande analogie avec le procédé Dougall dans le système de préparation de la lessive de l'anglais Partington dont le brevet austro-hongrois a été reproduit et décrit comme il suit dans le *Centralblatt für die OE. U. Papier-Industrie* : pour obtenir d'une façon continue une dissolution aqueuse de l'acide sulfureux ou de ses composés, on fait descendre, sous l'action de la pesanteur, de l'eau ou une dis-

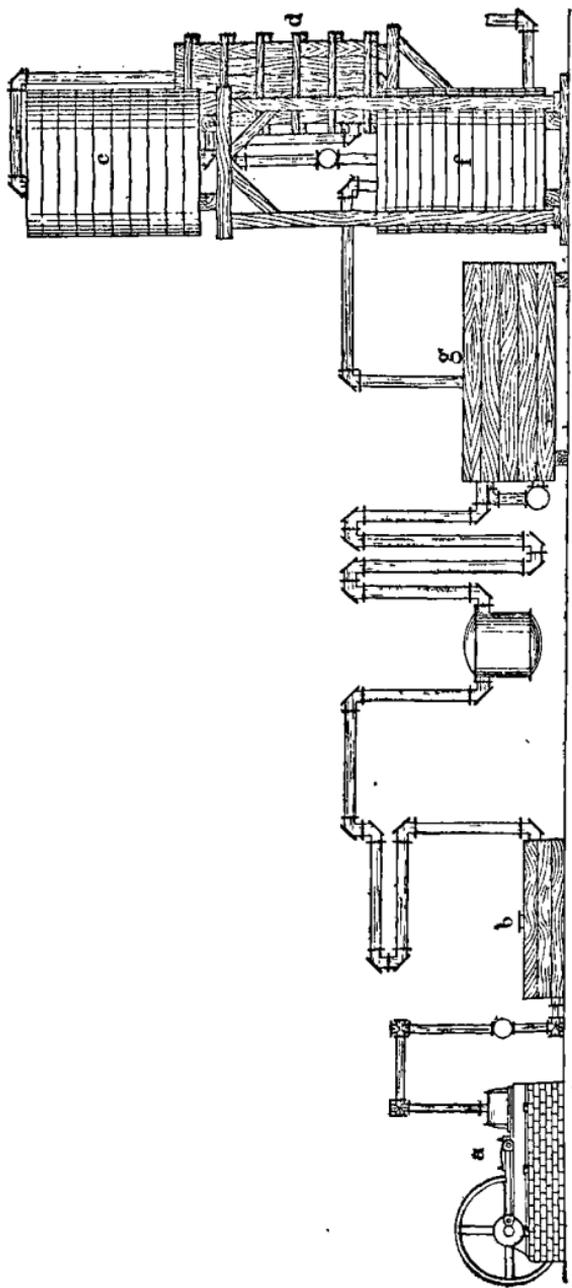


Fig. 28 bis. --- Appareil Wendler et Spiro pour la préparation de la lessive sulfureuse.

solution alcaline dans une série de cuiviers échelonnés, tandis que le gaz sulfureux traverse en sens inverse ces liquides, incessamment brassés au moyens d'agitateurs rotatifs. Dans la figure 29, ci-jointe, sont représentés 3 cuiviers, A, A¹, A², qui, dans un but indiqué plus bas, sont en communication entre eux aussi bien par leur couvercle que par leurs fonds. Chacun de ces cuiviers, construits en bois ou en toute autre matière susceptible de résister à l'action de l'acide sulfureux, des sulfites ou bisulfites alcalins ou des terres alcalines, se compose d'un couvercle *a*, d'un fond *a*¹ et de la paroi cylindrique *a*². Les parois portent les traverses *b*, sur lesquelles sont rapportées les chaises *b*¹ servant de support aux arbres *b*²; sur ces arbres sont calées les poulies fixes et folles de la transmission par courroies; chaque arbre *b*² porte à l'une de ses extrémités un engrenage conique *b*⁴ qui attaque la roue *b*⁵, portée elle-même par un arbre vertical *b*⁶. Ce dernier pénètre dans le cuvier dont il traverse le couvercle par un presse-étoupe; son extrémité supérieure étant maintenue par un cadre, il descend jusque tout près du fond du cuvier, et porte des bras *d*, reliés entre eux par des pièces transversales *d*¹, en sorte que l'ensemble de l'arbre et des bras forme un agitateur maintenant le liquide du cuvier constamment en mouvement.

Le liquide destiné à la préparation de la lessive

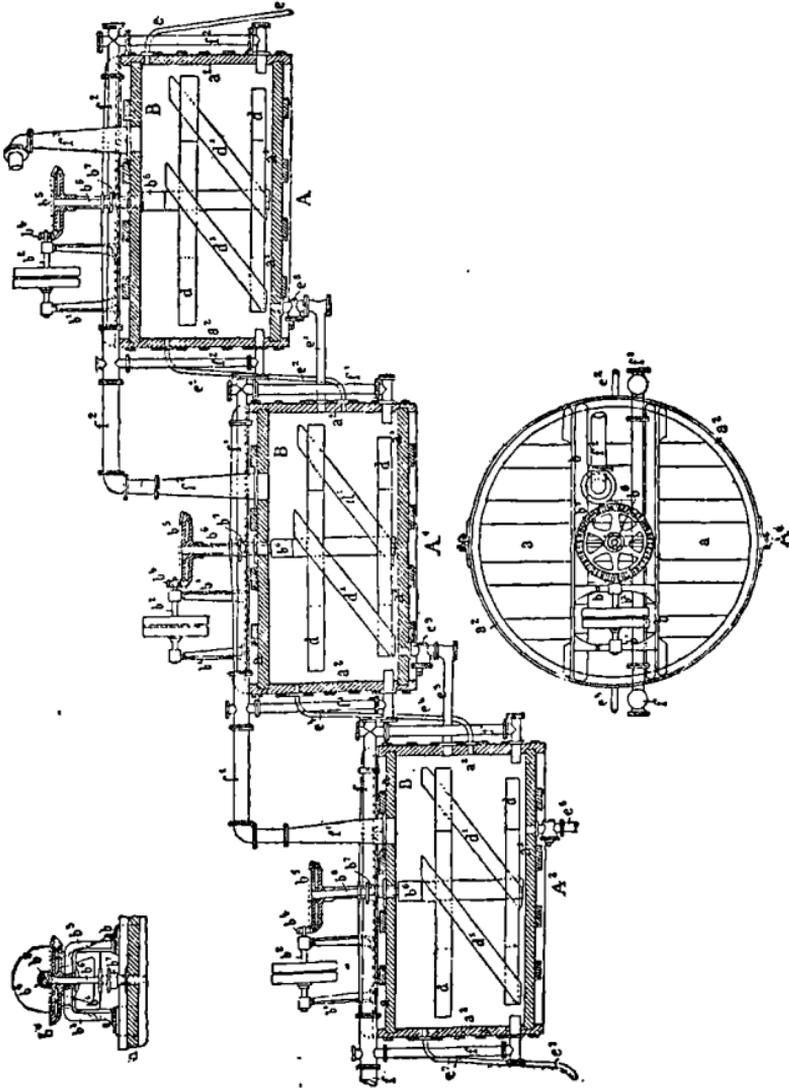


Fig. 29 et 30. — Appareil Partington pour la préparation de la lessive sulfureuse.

sulfureuse peut être soit de l'eau, soit toute disso-

lution contenant des éléments susceptibles de former avec cet acide des sulfites ou des bisulfites, soit par exemple un lait de chaux qui sera introduit dans le cuvier A, tout près de son couvercle, par le tuyau *e*. Les cuiviers A et A¹ sont, comme on le voit, reliés par les tuyaux *e*¹ et *e*²; le tuyau *e*¹ part du fond de A pour pénétrer dans A¹ un peu au-dessous de son couvercle, tandis que le tuyau *e*² a son point de départ auprès du couvercle de A et son point d'arrivée auprès du fond de A¹. A¹ et A² sont pareillement reliés par les tuyaux *e*³ et *e*⁴. Les tuyaux *e*⁵ et *e*⁷, destinés à relier A² avec un autre cuvier placé à la suite sont figurés seulement en amorce sur le dessin. Les tuyaux *e*¹ et *e*³ sont munis de robinets au moyen desquels la communication entre les cuiviers peut être interrompue, A la mise en train les robinets sont fermés et l'on introduit le liquide par le tuyau *e* dans le cuvier A. Dans la pratique on préfère produire un courant constant du liquide qui va d'un cuvier à l'autre, sous l'action de la pesanteur, par les tuyaux *e*², *e*⁴, *e*⁷, tandis qu'un courant d'acide sulfureux est dirigé en sens inverse à travers le liquide, sous l'action d'un aspirateur qui n'est pas figuré sur le dessin et qui est adjoint au cuvier A par l'intermédiaire d'un tuyau *f*³. Le gaz est introduit d'abord par le tuyau *f* dans le cuvier A, près du fond

d'où il passe par le tuyau f^1 dans le cuvier A^1 ; de A^1 le tuyau f^2 le conduit au cuvier A et il s'en échappe enfin par le tuyau f^3 . Pendant la marche le liquide et le gaz qui le traverse sont énergiquement brassés par les agitateurs actionnés de la manière qui a été décrite ou de toute autre appropriée. La dissolution acide, sulfureuse ou bisulfite, coule du cuvier A^3 par le tuyau de sortie e^7 et est alors prête à être employée. Elle est recueillie dans 4 réservoirs hermétiquement fermés, ayant pour base un carré de 10' de coté, et une hauteur de 8', d'où elle est, à la demande, refoulée par une pompe dans les lessiveurs. Ajoutons encore que dans le système Partington l'acide sulfureux est produit par la combustion de soufre pur « récupéré » à 99 % et de pyrite contenant 48 % de soufre et que la lessive ainsi obtenue traverse une série de tuyaux refroidis par un courant d'eau avant de pénétrer dans la citerne.

Après avoir ainsi décrit d'une façon détaillée la préparation de la lessive, suivant les différents procédés les plus employés en Allemagne et en Angleterre, nous devons, en terminant, mentionner rapidement quelques autres méthodes indiquées par le Prof. Hoyer dans son ouvrage.

Elkmann emploie comme lessive une dissolution de sulfite de magnésie qui contient 2 équivalents

d'acide sulfureux pour un de magnésie, à un degré de concentration tel qu'elle renferme approximativement 1,4 % de magnésie et 4,4 % d'acide sulfureux. Pour la préparation du sulfite on calcine dans des fours à chaux de la magnésie de Grèce ou d'Allemagne, puis on l'expose, dans des tours dont la surface intérieure est garnie de plomb (protégé par un revêtement de bois), à un courant ascendant d'acide sulfureux combiné avec un arrosage d'eau. La lessive de bisulfite est recueillie au bas de la tour.

Procédé *Francke* à Mölndal (Suède). On emploie une dissolution sulfureuse de sulfite de chaux. Pour l'obtenir, on dirige tout chaud l'acide sulfureux obtenu par le grillage de la pyrite dans une tour de 13^m de haut partagée en plusieurs compartiments verticaux, remplis de calcaire et pouvant être chargés et desservis indépendamment les uns des autres. Un courant d'eau les parcourt du haut en bas, réglé de telle manière qu'on obtienne en bas une dissolution chaude, prête à être employée. Cette dissolution est recueillie dans des réservoirs de ciment garnis de plomb et refoulée par une pompe dans les lessiveurs.

Graham, de Londres, est l'auteur d'une méthode de lessivage dans laquelle il s'écarte notablement des errements des autres inventeurs. Il remplit

d'abord son lessiveur avec une dissolution, à l'état de sulfite simple, d'une base non absolument déterminée (potasse, soude ou magnésie) puis après en avoir expulsé l'air et l'acide carbonique, il y refoule au moyen d'une pompe l'acide sulfureux à l'état de gaz ou de dissolution, pour produire ainsi la combinaison destinée à jouer un rôle actif. Il prétend par cette manière de procéder, pour laquelle il use d'un lessiveur vertical : 1° éviter toute perte d'acide sulfureux ; 2° être toujours à même, par une addition se faisant par le fond de l'appareil du principe actif, d'entretenir constamment la lessive au même degré d'efficacité.

Procédé de *Pictet (de Genève) et Brélaz (de Lausanne)*. Ce procédé (Brevet allemand n° 26331) est basé sur cette considération que, aux températures élevées actuellement presque partout en usage, les gommés et les matières résineuses du bois se transforment en goudron et augmentent alors la difficulté du blanchiment à un point tel que l'on a, suivant eux, tout avantage, à faire l'élimination des matières incrustantes par une dissolution d'acide sulfureux à basse température. Pictet propose pour cet objet l'acide sulfureux simplement dissous dans l'eau. Mais comme il faut dissoudre de 100 à 150 grammes d'acide sulfureux par litre d'eau, ce qui à une température de 80 à 90° donnera

une pression de 5 à 7 atmosphères dans le lessiveur, on y introduit sous pression, dans la proportion susdite, de l'acide sulfureux anhydre liquéfié. L'acide, se mêlant à l'eau, donne la dissolution désirée, que l'on porte dans un bouilleur chauffé par un serpentín à la température de 85° au plus, parce que vers 90° la carbonisation paraît commencer. Pour assurer la parfaite pénétration de la lessive il est recommandé d'opérer, avant qu'elle y soit introduite, dans le lessiveur, au moyen d'une pompe, une raréfaction d'air qui lui laisse un plus libre accès dans les pores du bois. On emploie encore suivant ce même procédé (sans alcali) une lessive qui ne contient qu'environ 1,5 à 2 % de gaz sulfureux. Lorsque le bois et la quantité voulue de cet acide ont été mis dans un lessiveur, une dissolution de même nature contenue dans une autre chaudière est chauffée à environ 100° et l'acide sulfureux qu'elle dégage est ainsi chassé dans le bouilleur en travail jusqu'à ce que la lessive de ce dernier contienne 7 % d'acide. Après la cuisson finie l'acide est chassé du lessiveur par le même procédé pour servir à la préparation d'une nouvelle lessive. La plus haute température qui se produise au cours de l'opération ne dépasse pas 105°. Le caractère essentiel qui distingue cette méthode des autres procédés sulfureux est que la dissolution

employée ne contient aucune base ; une base en petite proportion paraît cependant nécessaire pour neutraliser l'acide sulfurique qui peut venir à se former. Le produit obtenu serait un peu plus blanc que dans les autres procédés.

Dans le procédé *Flodquist* de Gothenbourg on produit la lessive en dirigeant l'acide sulfureux sur du calcaire et des os bien décharnés, entassés par couches alternatives dans destours ou dans des chambres, pour former un mélange de sulfite et de phosphate de chaux, et obtenir en même temps de la colle gélatine. Il y a à cet effet un grand nombre de chambres (on le porte jusqu'à 10) toujours en roulement, de manière qu'on puisse les garnir et les vider l'une après l'autre sans arrêt.

Le procédé *Archbold*, à Oswego, consiste à produire la formation du sulfite de chaux directement sur les fibres, afin de profiter de l'état naissant pour obtenir une action plus vive. A cet effet la matière première, c'est-à-dire le bois réduit en petits copeaux, est d'abord imbibée dans la chaudière d'un lait de chaux formé de 1 à 6 parties de chaux et de 100 parties d'eau, et additionnée pour les bois durs de 1 partie d'azotate de chaux. L'acide sulfureux est alors introduit dans le lessiveur, soit à l'état gazeux soit à l'état liquide, et, 5 minutes environ plus tard, la masse est soumise à une

pression de 4 à 5 atmosphères durant 1 heure ou 1 heure et demie, suivant la nature du bois.

En terminant ce chapitre sur les lessives et leur préparation, il importe de remarquer que la mesure de la concentration au moyen de l'aréomètre, telle qu'elle est pratiquée dans plusieurs usines, ne donne que des indications fort peu exactes, alors qu'on a au contraire, en vue de l'opération ultérieure de la cuisson, le plus grand intérêt à vérifier par l'analyse avant emploi la teneur de la lessive en acide sulfureux actif. Cette recherche peut très bien se faire sans une installation de laboratoire complète, en appliquant une méthode dont les principes ont été donnés par Pisani en 1881 dans le *Chemical News*. Cette méthode repose sur la réaction chimique que donnent dans l'eau l'iode et l'acide sulfureux, en produisant de l'acide iodhydrique et de l'acide sulfurique. Si l'on titre une dissolution d'acide sulfureux pur et que l'on se trouve employer par exemple 10^{cc} d'iode normal-décime, la liqueur après réaction complète contiendra une certaine quantité d'acide iodhydrique, celle qui correspond à 10^{cc} d'iode normal-décime, et une quantité équivalente d'acide sulfurique, en sorte que, pour saturer par un alcali les acides formés, il faudra employer 20^{cc} de soude normal-décime. Mais, si dans la dissolution à éprouver il

se trouve au lieu d'acide sulfureux libre un sulfite acide, du sulfite de chaux par exemple, il se forme toujours bien dans le titrage par l'iode la même quantité d'acide sulfurique, mais celui-ci est partiellement saturé par la base existante, en sorte que dans la contre-épreuve, c'est-à-dire dans le titrage des deux acides formés, le nombre de centimètres cubes de soude normal-décime n'est plus le double de celui de l'iode, mais il se trouve réduit d'autant. Donc, pour raisonner sur les chiffres déjà donnés, s'il faut pour bleuir 1^{cc} de lessive sulfureuse 10^{cc} d'iode normal-décime, on en conclut pour cette lessive à une teneur de 3,2 % en acide sulfureux; et si dans la contre-épreuve du titrage jusqu'à neutralisation il faut 15^{cc} de soude normal-décime, on en conclura que, déduction faite des 10^{cc} de soude normal-décime nécessaires pour la saturation de l'acide iodhydrique, il y a eu encore 5^{cc} employés à la saturation de l'acide sulfurique formé par l'acide sulfureux non combiné, existant à l'état libre dans la lessive. La teneur de la lessive en acide sulfureux non combiné répond donc à $15 - 10 = 5$ cc d'iode normal-décime, est donc 1,6 %, et par conséquent la teneur en acide sulfureux combiné à la chaux est $3,2 - 1,6 = 1,6$ %. Comme d'ailleurs, d'après les équivalents, la proportion des éléments du bisulfite est $\frac{\text{SO}^2}{\text{CaO}} = \frac{32}{28}$, on

en déduit pour la proportion de chaux $\frac{28}{32} \times 1,6 = 1,4$.

La composition de la lessive examinée est donc :

Acide sulfureux total	3,2
Dont libre.	1,6
combiné.	1,6
Chaux répondant à ce dernier chiffre	1,4

Si la lessive essayée avait donné par l'iode un titre de 10^{cc}, et dans la contre-épreuve de neutralisation à la soude un titre de 17^{cc}, le calcul aurait été :

Acide sulfureux total.	3,200/0
dont libre. . . . 17 — 10 = 7 ^{cc} et 7 × 0,32 =	2,24 »
combiné à la chaux 10 — 7 = 3 ^{cc} » 3 × 0,32 =	0,96 »
Chaux répondant à ce dernier chiffre 0,96 × $\frac{28}{32}$ =	0,84 »

Dans l'application pratique de cette méthode on ne doit pas faire porter la recherche sur une trop petite quantité de lessive. Il faut en prendre au moins 5^{cc} et l'étendre dans un vase suffisamment grand, contenant 250^{cc} d'eau distillée (ou eau de condensation refroidie et filtrée). De cette dernière lessive ainsi étendue l'on prend avec une pipette de 50^{cc}, préalablement bien nettoyée, ce même volume de 50^{cc}, lequel, puisque la dilution a été faite dans la proportion de 1 à 50 (5 : 250), répond exactement à 1^{cc} de la liqueur primitive.

L'iode normal-décime et la soude normal-décime nécessaires à l'opération se trouvent dans le commerce, et l'on se procure un bon empois d'amidon de la manière suivante : on délaie une partie d'amidon pur dans 100 parties d'eau froide et l'on chauffe, en agitant sans cesse, jusqu'à l'ébullition. Puis on filtre ou bien on laisse déposer dans un verre cette dissolution très-étendue, pour séparer la partie claire, qui vient au-dessus du dépôt du fond, et l'on y ajoute autant de sel marin qu'elle en peut dissoudre. Elle se conserve ainsi très longtemps sans se décomposer, et il suffit de quelques gouttes pour déceler très-nettement la présence du moindre excès d'iode, qui se révèle par une coloration bleue.

Lors donc qu'on a sous la main, tout préparés, la lessive diluée, l'empois d'amidon et les deux dissolutions normal-décime, l'essai proprement dit peut être fait au besoin par un simple ouvrier. Les opérations qu'il comporte se succèdent sans interruption : dans la quantité jaugée de lessive diluée, additionnée d'un peu d'amidon, on verse avec une burette graduée d'abord l'iode jusqu'à l'apparition d'une légère coloration bleue ; puis avec une ou deux gouttes d'une dissolution étendue d'hyposulfite de soude on fait disparaître la coloration bleue, on ajoute quelques gouttes

de phénolphtalcéine et l'on fait la contre-épreuve du titrage avec la soude normal-décime, jusqu'à l'apparition d'une légère couleur rougeâtre. On a choisi comme réactif indicateur la dissolution de phénolphtalcéine parce qu'elle dénote avec une extrême sensibilité le moindre excès d'alcali, et que, d'absolument incolore qu'elle était, la liqueur vire au rouge avec une netteté qui ne laisse rien à désirer, même dans des conditions d'éclairage défectueuses. Toute l'analyse est terminée en 5 minutes et le calcul se fait suivant la méthode indiquée, en calquant sur les exemples donnés, si l'on n'aime mieux l'abréger encore au moyen des tables construites d'avance.

Dans les analyses de lessive, il faut tenir compte du point où sont prélevés les échantillons essayés, car l'acide sulfureux, facilement absorbé par l'eau, est facilement abandonné par elle, et de la teneur en acide sulfureux au sortir de la tour on ne peut pas absolument conclure à celle de la lessive dans les différents réservoirs ou à son entrée dans le lessiveur. L'action d'une pompe, le fait de la chute libre de l'orifice d'un tuyau dans un bassin, d'une circulation un peu prolongée à l'air suffisent à provoquer un dégagement gazeux qui diminue l'acide sulfureux libre, et même l'acide combiné, par suite du dépôt de monosulfite de chaux dû à la diminution d'acidité du liquide.

Dans des circonstances défavorables à ces divers points de vue, on a constaté (Aug. Harpf, 1888) des pertes allant

jusqu'à 30 % de l'acide sulfureux libre et 2 % de l'acide sulfureux combiné.

Réciproquement on voit que l'analyse aux divers points soit de production, soit d'emmagasinage, soit d'emploi de la lessive est parfois fort utile pour constater les pertes en acide sulfureux qu'elle peut éprouver et remédier soit aux dispositions vicieuses soit aux accidents qui les provoquent.

IV. Lessiveurs et Cuisson du bois

A. PROCÉDÉ A LA SOUDE

La soude, comme d'une façon générale les alcalis, n'attaquant pas le fer, les lessiveurs dans lesquels on obtient la cellulose à la soude sont naturellement d'une construction plus simple que ceux employés pour la cellulose au bisulfite, lesquels sont munis intérieurement de tous les revêtements protecteurs imaginables.

Leurs dimensions varient d'un établissement à un autre ; ils sont de grande ou de faible capacité, fixes ou rotatifs, horizontaux ou verticaux. On préfère généralement les lessiveurs fixes verticaux, car la cuisson s'opère surtout par la circulation de la lessive ; un mouvement rotatif de l'appareil

et l'agitation qu'il produit ne sont pas absolument nécessaires. Ce ne serait d'ailleurs pas sans de grandes difficultés et sans s'exposer à de graves inconvénients qu'on imprimerait ce mouvement à des appareils présentant souvent des dimensions et une masse considérables.

Prenons par exemple une fabrique un peu ancienne, celle de M. Max Dresel à Dalbke : les lessiveurs y sont verticaux et d'une faible capacité, car ils ne mesurent qu'environ 1^m de diamètre et 4 à 5^m de hauteur. L'emplissage et la vidange s'en font très rapidement. Ce qui caractérise ces bouilleurs et la méthode employée c'est spécialement la manière dont se fait la circulation et l'échauffement de la lessive. Plusieurs lessiveurs sont les uns auprès des autres dans le même local. Dans un foyer spécial, qui se trouve dans un endroit séparé mais attenant, sont chauffés à feu direct des faisceaux tubulaires ou plusieurs serpents communiquant avec le haut et le fond de chaque lessiveur ; de sorte que, pendant toute la durée de la cuisson, la lessive peut se mouvoir d'une façon continue dans le circuit formé par les bouilleurs remplis de bois déchiqueté et par les tubes.

Dans une fabrique américaine, les lessiveurs ont 1^m,50 de diamètre et 5^m de hauteur ; à l'intérieur, près de la base et du sommet, sont des dou-

bles fonds en tôle perforée, disposition généralement adoptée dans les lessiveurs de ce genre, pour que le bois, se trouvant retenu dans une chambre de grande capacité au milieu de l'appareil, ne vienne pas boucher l'entrée des tubes. La lessive, à une concentration de 12° B^é, est lentement portée à l'ébullition par un chauffage à feu direct jusqu'à une pression de 6 à 8 atmosphères (160 à 172°) et 6 heures après la cuisson est terminée.

Dahl, dont le procédé emploie approximativement 26 kilos de sels par 100 kilos de bois à siccité moyenne (comme il a été indiqué page 50 à la préparation des lessives), ce qui correspond à une concentration de lessive de 6 à 14° B^é, opère la cuisson dans des bouilleurs en tôle, à une pression de 5 à 10 atmosphères, pendant une durée de 30 à 40 heures.

Dans le principe le chauffage à feu nu a été assez employé, mais toujours sous cette condition que les parois métalliques léchées à l'extérieur par la flamme ou les gaz chauds fussent à l'intérieur isolées de la masse pâteuse et tenues au contact de la lessive seule. Ainsi dans le lessiveur vertical de Sinclair (Hofman, *Traité pratique de la fabrication du papier, édition française*) le contact du bois et de la paroi chaude de la chaudière est évité par l'emploi d'une double enveloppe intérieure de tôle perforée, reliée au corps cylindrique extérieur par

des boulons, de façon à retenir la pâte et à laisser la lessive circuler librement dans l'espace annulaire.

Dans le lessiveur horizontal de Lee, dont la coupe transversale représentée dans la fig. 30 *bis* peut donner une idée, le bois est fortement tassé dans des cages ou wagonnets en tôle perforée de 1,5 mètre de longueur environ, avec lesquels on remplit totalement la chaudière. Celles-ci est munie intérieurement de rails qui règnent sur toute sa longueur et sur lesquels on fait rouler les wagonnets pour le chargement. Le lessiveur Houghton ne diffère du lessiveur de Lee que par le mode de chauffage, qui est obtenu au moyen de serpentins de vapeur. La figure 30 *ter* donne une représentation schématique des lessiveurs de ce système montés autrefois dans la fabrique de Mios (Gironde) et rachetés et réinstallés depuis par la fabrique de Visé (Belgique). Le chauffage de la lessive s'y fait au thermosiphon et la grille est formée par les tubes mêmes de cet appareil.

Pour obtenir une bonne circulation de la lessive et éviter le chauffage à feu direct, Koerting, de Hanovre, qui a pour spécialité la construction des injecteurs, applique aux lessiveurs un dispositif d'injection qui est figuré dans l'ouvrage de Hoyer, page 190. La figure 31 représente en coupe verticale une installation de ce genre. Le bouilleur lui-même A est cylindrique, avec extrémités arrondies ; il est muni d'un double fond perforé B. Le trou d'homme C sert à l'introduction de la charge de bois, et la vidange se fait par une ou-

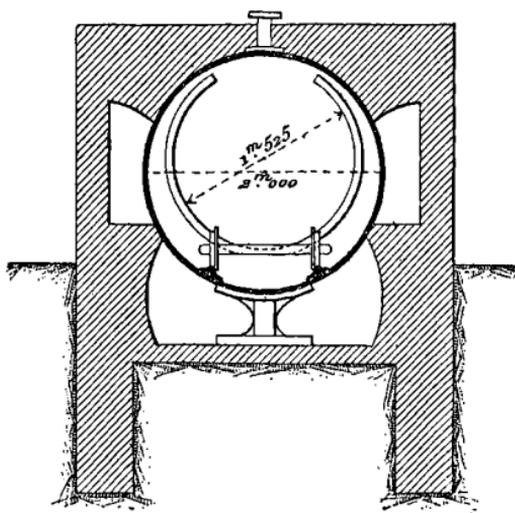


Fig. 30 bis.
Lessiveur Léo.

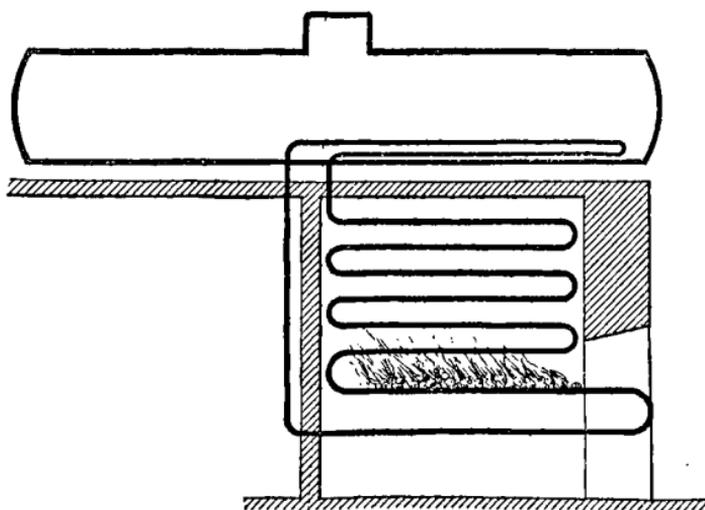


Fig. 30 ter.
Lessiveur Houghton.

verture latérale, pratiquée un peu au-dessus de ce faux fond et non visible sur le dessin. Après du lessiveur est le tuyau d'ascension F, relié d'une part avec le tuyau de vapeur D, et d'autre part, au moyen de branchements, avec le haut et le fond du lessiveur, et portant en E l'injecteur bien connu du système Koerting. La vapeur, venant de la chaudière par le tuyau D, aspire par le tuyau r, au moyen de l'injecteur E, la lessive qui se ramasse dans le fond, et la chasse par le tuyau F dans la calotte supérieure, lui communiquant non seulement sa propre chaleur, mais encore un énergique mouvement de circulation. Après que la lessive a produit son effet, on ferme l'arrivée de vapeur et on la laisse s'écouler par le tuyau s. Pour produire et entretenir le mouvement de la lessive, il faut bien entendu que la vapeur introduite soit à une pression supérieure d'une atmosphère à celle du lessiveur. On règle le rapport des deux pressions à l'aide des indications d'un manomètre M et du jeu d'une soupape de sûreté, dont la charge répond à la pression admise pour le lessiveur.

Nous avons déjà mentionné (page 47) le procédé d'Ungerer, de Vienne, comme le plus rationnel et celui qui réalise la meilleure utilisation de la lessive,

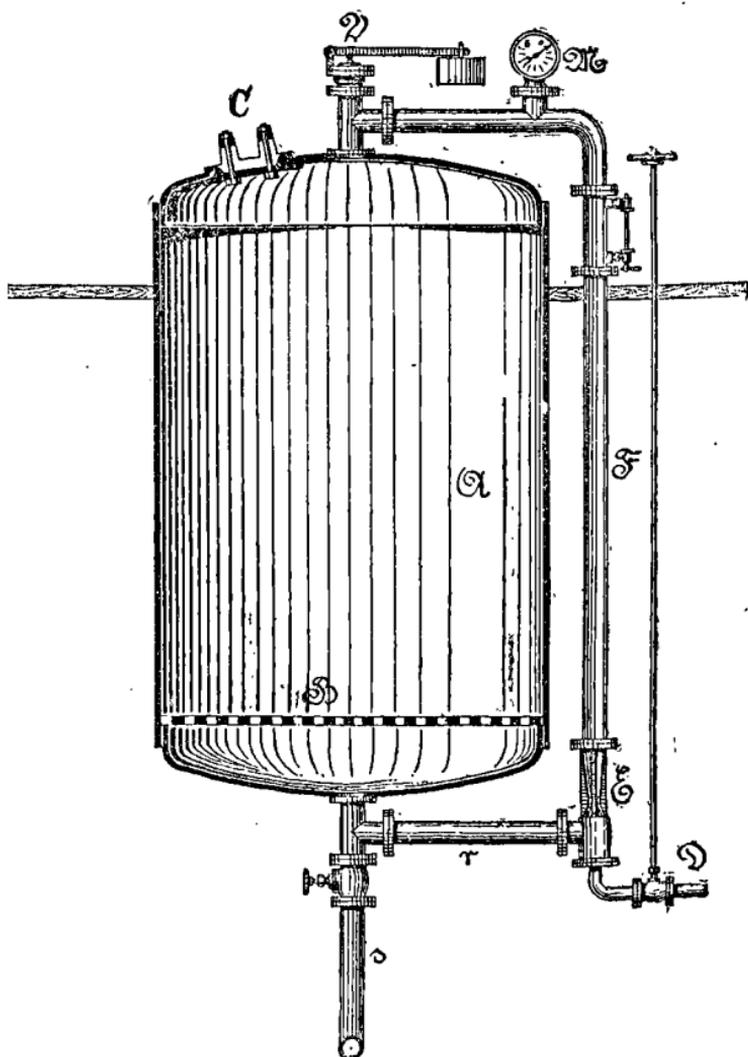


Fig. 31.

Application de l'injecteur Kœrting à un lessiveur,

Le principe qu'il applique est celui du contre courant, réalisé comme dans les appareils de diffusion, le four annulaire, le laveur Shank, en ce sens que le courant n'existe que pour un des éléments, tandis qu'on peut se représenter la matière qui constitue l'autre élément, lequel est fixe, comme répartie en amas égaux sur un certain nombre de points d'un cercle ; le courant décrivant le cercle entier passe constamment par tous ces points, mais y pénètre successivement par chacun d'eux, de manière à sortir toujours par celui où se trouve la matière la dernière admise au traitement, traversant ainsi les divers amas dans l'ordre même de leur admission au traitement, commençant par les matières prêtes à sortir et finissant par celles qui viennent d'entrer. Mais tandis que dans le laveur Shank on n'a qu'une propulsion très lente, due à de petites différences de hauteur de liquide, le procédé Ungerer utilise la propulsion énergétique déterminée par la vapeur à haute pression et fait ainsi passer la lessive dans une série de lessiveurs (au nombre de 7 à 12 par batterie) où elle rencontre tout d'abord du bois dont la cuisson s'achève et finalement, après avoir passé par tous les intermédiaires, du bois dont la cuisson ne fait que commencer. Elle sort aussisaturée que possible de matières organiques qui sont ultérieurement, par leur combustion propre, un puissant auxiliaire de la régénération de la soude.

On peut donner aux lessiveurs la forme représentée par la figure 31 bis. Elle rappelle celle d'un gros flacon, dont le goulot très court, émergeant du massif qui renferme la batterie et servant à l'indroduction de la charge, est fermé par un autoclave ou un couvercle soli-

dement boulonné. A la partie inférieure une tôle perforée empêche le bois d'obstruer le tuyau du fond. Un peu au-dessus une tubulure horizontale sert à l'extraction

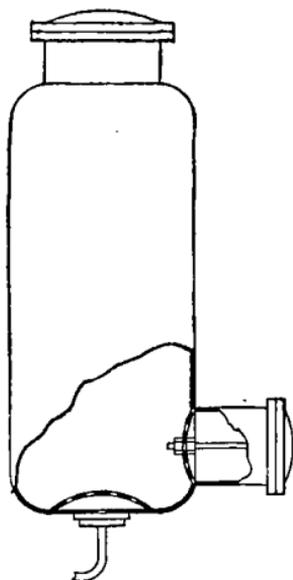


Fig. 31 bis

tion de la cellulose, et un double fond en tôle perforé, fixé au couvercle de cette tubulure par une tige de fer empêche le bois de se loger dans cet appendice, où il échapperait à l'action du courant alcalin.

Les lessiveurs peuvent être disposés en cercle, comme le sont souvent les diffuseurs dans les sucreries, ou alignés, en assurant la communication des extrémités, dans un massif rectangulaire, de façon que la tuyauterie soit sur le devant, la vidange de la cellulose se faisant du côté opposé. Une tuyauterie convenablement disposée

permet de mettre 2 lessiveurs quelconques en communication entre eux, et chacun d'eux peut individuellement recevoir la lessive provenant d'une chaudière tubulaire à la pression voulue, ou la vapeur d'un générateur ordinaire à la même pression.

Le tableau ci-joint donne, sans avoir égard aux proportions ni aux emplacements nécessaires, le schéma de la circulation des matières dans une usine appliquant le procédé Ungerer. La chaudière à vapeur n'y est pas figurée.

A, B, C... H sont les lessiveurs.

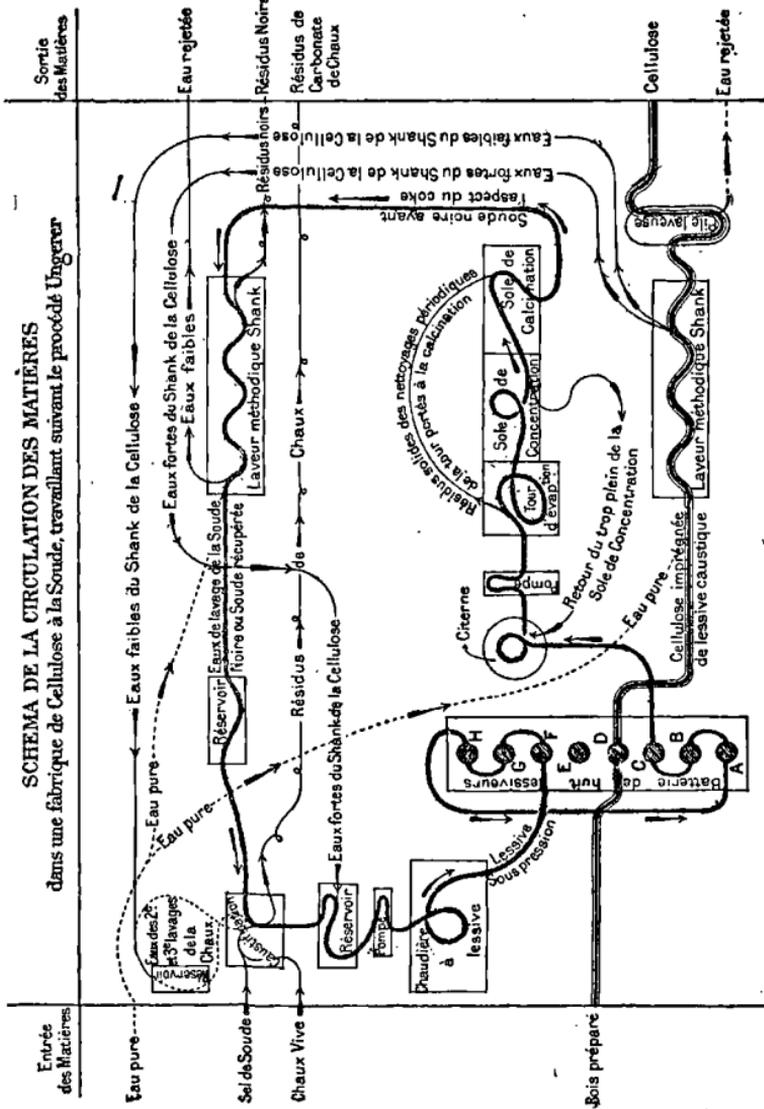


Fig. 34 ter. — La ligne ———— représente le bois et vient successivement passer par chacun des lessiveurs A, B, C, ... H. La ligne ———— représente la lessive et subit à chaque fois un déplacement correspondant.

D est ouvert pour l'extraction de la cellulose et l'introduction d'une nouvelle charge de bois.

C commence sa cuisson.

E vient de terminer la sienne.

La pression va en décroissant suivant FGHABC.

On isole E de la chaudière à lessive et on le met en communication avec la chaudière à vapeur ; la vapeur chasse la lessive de E en F, et, faisant avancer d'autant tout le liquide en digestion, fait évacuer par G la lessive la plus chargée, la plus noire. On isole alors E de la chaudière à vapeur et de F, et on le met en communication avec D, préalablement rebouché, pour en chasser l'air et en étuver le contenu. Puis une propulsion de lessive, produite par la chaudière à lessive en F, remplit F de lessive neuve, et, faisant avancer toutes les lessives d'autant, amène la plus noire en D pour y commencer le travail du bois.

On voit que, en proportion même de l'appauvrissement en alcali libre que subit la lessive dans son évolution, il se produit également un abaissement de la température de cuisson, correspondant à celui de la pression. La température se trouve donc réglée dans les conditions les plus favorables à l'action de l'alcali dans le bouilleur qui a reçu la lessive neuve, soit à 6 ou 8 atmosphères pour les résineux, à 3 ou 4 pour les bois feuillus. La lessive neuve contient pour les premiers 5 à 6 % pour les seconds 3 à 4 % de soude caustique. La lessive du dernier bouilleur, saturée

des matières incrustantes et autres extraites du bois, est aussitôt soumise à l'évaporation et à la calcination, et, ainsi régénérée, rentre dans le cycle des opérations, en sorte que, d'après les données de l'inventeur, on ne doit perdre par 100 kilos de cellulose sèche que 5 à 6 k. de soude. Selon l'âge, le mode de croissance du bois et l'essence employée, 1 stère de bois fournit de 100 à 120 k. de cellulose pour les résineux, et un peu davantage (150 à 180 k.) pour les bois feuillus. Enfin l'on emploie par stère de bois 60 k. de soude à 90° que l'on soumet à la caustification et dont les neuf dixièmes sont récupérés.

Il semble difficile de réaliser en même temps d'une manière plus parfaite la circulation de la lessive, son chauffage sans produire la dilution par la vapeur et le traitement méthodique du bois. Mais on peut reprocher à ce système de nécessiter un matériel considérable et compliqué, d'une conduite délicate, pour une production relativement limitée.

En fait il n'a reçu que peu d'applications. D'après une obligeante communication de M. Abadie, qui a visité et étudié un grand nombre de fabriques de cellulose du continent, sur quatre usines qui l'avaient d'abord adopté il n'y en aurait plus que deux dans lesquelles il serait encore en fonctionnement, l'une en Autriche, l'autre dans la province de Saxe.

Par contre les lessiveurs dont l'usage est le plus ré-

pandu sont ceux qui travaillent isolément et qui sont chauffés par une admission directe de vapeur, en dépit du reproche de diluer la lessive que l'on fait à ce mode de chauffage.

B. PROCÉDÉ SULFUREUX

Les lessiveurs employés dans le procédé au bisulfite, et notamment dans le système Mitscherlich, dont nous parlerons en premier lieu, ne diffèrent essentiellement de ceux que nous venons de décrire qu'en ceci : tout leur intérieur, de même que celui de toutes les parties avec lesquelles il est en communication, doit être protégé contre l'action corrosive de l'acide sulfureux. Comme en outre le système Mitscherlich comporte une cuisson très-prolongée, on conçoit que l'on ait été amené à cuire le plus de bois possible à la fois et par conséquent à construire des bouilleurs de très grandes dimensions. Les fabriques qui travaillent suivant cette méthode n'ont pas nécessairement toutes des lessiveurs horizontaux ; plusieurs en possèdent de verticaux de dimensions assez réduites, mais le type le plus répandu est horizontal, de 4^m de diamètre intérieur et de 12^m de long, pouvant recevoir l'énorme masse d'environ 100 mètres cubes de bois en petits morceaux, plus 60 mè-

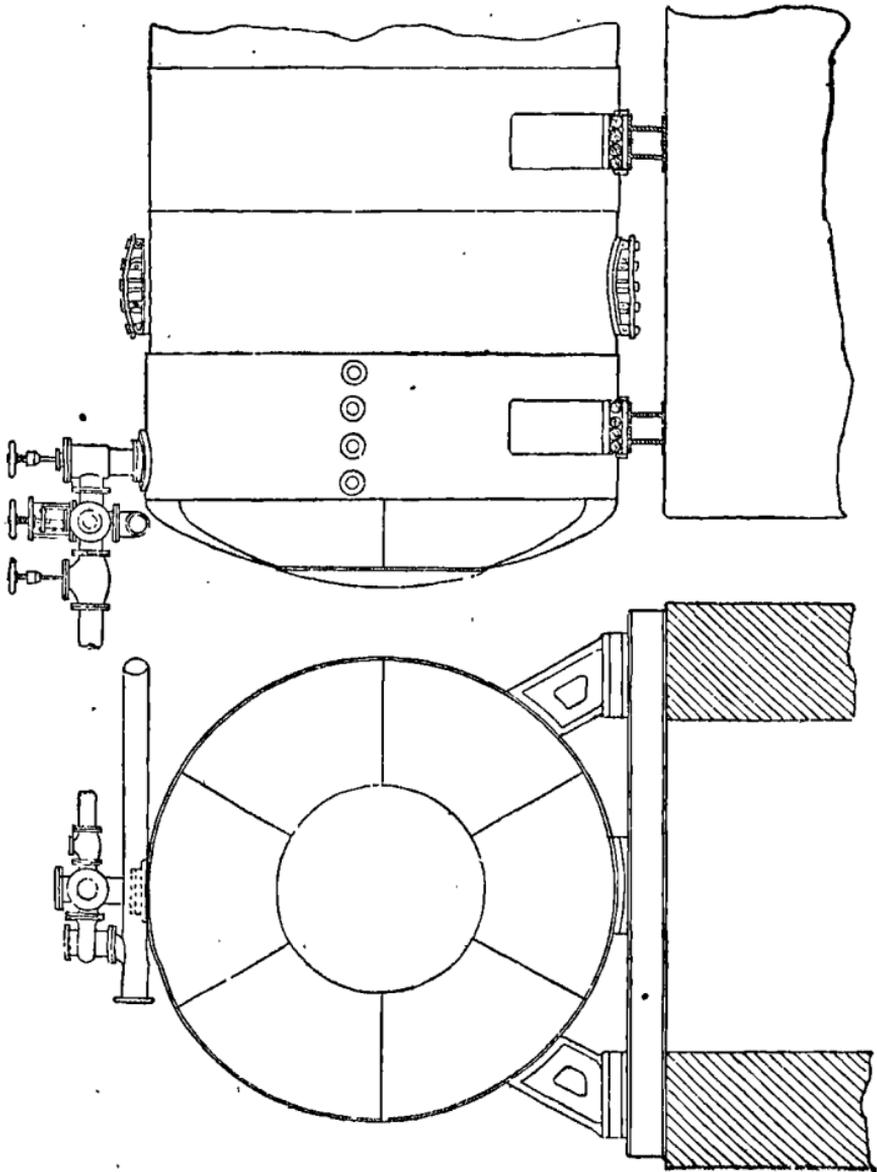


Fig. 32 et 33. — Lessiveur Mitscherlich.

tres cubes de lessive. Avec de semblables dimensions il faut des tôles épaisses, soit de 18^{mm} et plus encore dans les fonds arrondis, et l'on doit tenir compte en même temps de l'allongement que ces colosses de fer prennent sous l'influence de la chaleur.

Comme le montrent les figures 32 et 33, la fondation du bouilleur est formée de deux solides murettes, qui supportent 5 fortes traverses. Au corps cylindrique lui-même sont rivés 5 robustes pieds en fonte qui reposent sur les dites traverses, non pas directement, mais par l'intermédiaire de rouleaux de fer courts et assez gros, permettant, lorsque le bouilleur s'allonge, un léger déplacement dans le sens de la longueur. Sur le dessus 2 trous d'homme, munis d'autoclaves bien étanches et d'un démontage facile (le joint se fait au moyen d'anneaux de plomb et de pâte de cellulose) sont disposés pour que le chargement puisse se faire de deux côtés à la fois. Symétriquement au-dessous sont deux autres trous d'homme pour la vidange. Lorsque l'opération est terminée, on débouche ces quatre ouvertures à la fois; il se produit ainsi un courant d'air qui facilite un peu le refroidissement de la charge.

Les murs de fondation doivent être montés à hauteur d'homme, de façon à former au-dessous du

lessiveur une chambre cimentée ou garnie de plaques d'égouttage, assez grande pour que toute la charge y puisse tenir commodément.

Le corps cylindrique lui-même porte les appareils suivants : à une extrémité la valve principale pour fermer le lessiveur pendant la cuisson et un piétement à 4 tubulures respectivement munies de 4 valves, qui donnent la communication.

- a* avec la chaudière à vapeur,
- b* avec la pompe à eau ou un réservoir,
- c* avec le cuvier à lessive,
- d* avec la tour d'échappement,

à l'extrémité opposée la valve de décharge *e* ; enfin au milieu, à égale distance des deux fonds, un piétement pénétrant dans l'intérieur et portant un thermomètre, un manomètre, et un petit robinet pour faire des prises de lessive en marche, de manière à surveiller les progrès de l'opération et à en pouvoir fixer la durée.

Sur l'un des fonds ou sur le côté sont encore groupés 4 piétements qui donnent accès aux tubes intérieurs de chauffage ; chacun d'eux peut être fermé par une valve.

Comme la cuisson dure dans le procédé Mitscherlich beaucoup plus longtemps que dans les autres méthodes, la lessive serait beaucoup trop diluée si l'on laissait la vapeur affluer à même le lessiveur ; il

serait également difficile de bien régler la température, autrement dit la pression dans l'appareil : en conséquence le chauffage du bouilleur se fait au moyen de tout un système de tuyaux de plomb dur, qui couvre environ le tiers de la surface totale intérieure. Comme il arrive souvent qu'un de ces tuyaux crève pendant le travail et doit alors être fermé, on a par précaution divisé cet ensemble, dont la longueur est d'environ 900^m, en 4 canalisations indépendantes. Ces quatre circuits, dont les lignes sinueuses sont les unes contre les autres, vont à l'extrémité opposée du lessiveur et en reviennent, et à la sortie encore chacun d'eux peut être fermé au moyen d'une valve, disposition nécessitée par ce fait qu'il arrive souvent, comme il vient d'être dit, à un tuyau de crever pendant le travail. Dès lors ce tuyau, si l'arrivée de vapeur s'y trouve arrêtée, laisse pénétrer la lessive au point de rupture et la conduit au dehors ; l'odeur âcre qui s'exhale décèle aussitôt l'avarie intérieure, et, en fermant les 2 valves, on isole complètement tout le système endommagé. La cuisson en est un peu retardée, mais on évite la perte de lessive et les inconvénients d'un échappement d'acide sulfureux, et l'opération continue sans être en rien compromise.

La protection de la surface intérieure des tôles

du bouilleur se réalise de la manière suivante : après les avoir bien nettoyées, on les enduit de goudron et de poix, puis on applique dessus feuille à feuille du plomb en tables très-minces d'environ $\frac{1}{8}$ de millimètre d'épaisseur, en ayant soin que le plomb épouse bien, sans se déchirer, toutes les inégalités et toutes les parties anguleuses de la tôle. Cette application n'a lieu que pièce à pièce et toujours de telle manière que la maçonnerie, qui joue dans la constitution du revêtement protecteur le rôle le plus important, la suive de tout près. Pour cet emploi il faut choisir des briques aussi dures que possible, peu poreuses, résistantes aux acides et extrêmement cuites, de la forme et de la grosseur ordinaires, mais rainées de façon à obtenir des joints très-justes. Comme la corrosion est moins le fait de la lessive liquide que de l'acide sulfureux gazeux qui se dégage au sommet de la capacité du lessiveur, on est amené à protéger plus particulièrement la moitié supérieure de l'appareil ; on se contente donc de bien garnir la moitié inférieure de 2 lits de briques posées à plat, tandis que dans la moitié supérieure on construit généralement en 2 rouleaux de briques superposés une double voûte de 25^{cm} d'épaisseur. On relie ces matériaux avec du ciment de Portland de toute pre-

nière qualité, mêlé d'un peu de sable. Toute cette maçonnerie et notamment celle qui confine aux trous d'homme, dont les contours sont protégés par de fortes plaques de plomb, doit être faite avec le plus grand soin, autrement un lessiveur tout neuf peut être complètement détérioré en très peu de temps.

L'acide sulfureux sous pression exerce sur la tôle, dès qu'un seul joint est défectueux, une corrosion extrêmement rapide. On a cherché pour cette raison à réduire au minimum le nombre des joints, aussi a-t-on dans ces derniers temps remplacé les briques par des panneaux, et, pour avoir en définitive aussi peu de joints que possible, on donne à ces panneaux une forme telle qu'ils s'adaptent exactement à la surface intérieure du lessiveur, ce qui est, notamment dans les bouts arrondis, d'une très-grande importance. En même temps, par l'emploi de ces plaques, naturellement beaucoup plus minces que des briques, la capacité du bouilleur se trouve augmentée d'une quantité qui n'est pas négligeable, et son poids est quelque peu diminué.

À ce propos nous devons faire observer que, en exécutant la maçonnerie intérieure du lessiveur, il est presque inévitable d'endommager en plus d'un endroit la mince feuille de plomb. C'est assez

pour compromettre gravement cette protection si nécessaire. On a donc eu dans ces derniers temps recours à des feuilles de plomb d'environ 3^{mm} d'épaisseur, en rouleaux aussi longs et aussi larges que possible, que l'on soude ensuite ensemble dans l'intérieur (opération qui oblige à tourner le bouilleur) de telle façon que la tôle reçoit un revêtement protecteur de plomb complet et continu. Rien que le poids considérable de ce revêtement oblige à le fixer à la paroi du lessiveur par des vis munies de larges têtes, recouvertes à leur tour de plaques de plomb soudé. Il faut choisir sans hésiter du plomb de première qualité. Dans les variations de température que subit le bouilleur, le plomb ne présente pas les mêmes dilata-tions et les mêmes contractions que la tôle de fer ; par suite il se plisse, sa structure devient cristalline et il s'y forme des poches. Si alors le plomb est mou, les contractions produisent des fissures par lesquelles s'infiltrent les matières étrangères. Pour obtenir l'étanchéité la plus parfaite, il convient de prendre les plombs les plus minces, d'en superposer plusieurs feuilles, et de les laminier ainsi ensemble sous une forte pression jusqu'à ce qu'on obtienne l'épaisseur voulue.

Toutes les valves mentionnées au commence-ment de cette description doivent naturellement

avoir toutes leurs surfaces intérieures revêtues de plomb, puisque le plomb est le métal qui résiste le mieux à l'acide sulfureux. Il est prudent de placer entre le lessiveur et le générateur de vapeur un clapet d'arrêt, pour qu'en aucun cas la lessive ne puisse refluer dans le générateur, ce qui se produirait si sa pression venait par une cause quelconque à tomber au-dessous de celle du lessiveur.

L'opération même de la cuisson se conduit de la manière suivante : les trous d'homme du bas étant fermés, le bois étant chargé, uniformément réparti et autant que possible égalisé à la surface, les autoclaves du haut sont à leur tour mis en place et serrés. On ouvre alors la grande valve, et l'on introduit par la valve *a* la vapeur dans le lessiveur. Dès qu'il en est rempli, l'on ouvre aussi à l'extrémité opposée la valve de décharge *e*, et on laisse la vapeur pénétrer la charge de bois pendant 9 à 10 heures, en veillant bien à ce qu'il ne se développe pas de pression dans le lessiveur. La vapeur qui se condense sur le bois s'écoule sous la forme d'un liquide brun foncé, dégageant une odeur de vanille, ce qui montre bien que la vapeur dissout déjà une partie des matières incrustantes du bois. Cet étuvage n'a cependant pour but principal que de bien préparer les pores du bois à s'imbibber de lessive ; la vapeur a

notamment pour effet de chasser l'air interposé entre les fragments de bois. Aussitôt l'étuvage fini, on ferme la valve de décharge ainsi que celle d'admission de vapeur, et l'on ouvre celle d'admission de la lessive, *c*. Le flot de lessive froide arrive dans le lessiveur, la vapeur se condense, le vide se fait, les intervalles libres et les pores mêmes du bois absorbent avidement la lessive, toute la masse s'en imbibe comme une éponge, et l'on obtient en même temps ce résultat que le bois ne vient pas flotter à la surface du liquide. L'acide sulfureux exerce ainsi son action dissolvante aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des fragments de bois. Quand le lessiveur est assez rempli pour qu'il ne reste plus qu'un petit espace vide au sommet, dans lequel la vapeur qui se dégage au cours de la cuisson pourra se loger, la valve *c* est fermée, et, tous les joints ayant été énergiquement serrés, la cuisson proprement dite commence.

On ouvre les 4 valves de chauffage en veillant à ce que la pression soit maintenue dans le générateur à son maximum, pour que la cuisson prenne dès le commencement toute son activité, et que de son point de départ 40 à 45° la température passe rapidement à 70°, car jusque-là l'action chimique de la lessive sur le bois est à peu près nulle,

Au commencement les valves qui se trouvent à l'extrémité des tuyaux de chauffage sont laissées ouvertes, pour que l'eau condensée puisse s'écouler librement, c'est seulement lorsqu'elles laissent échapper de la vapeur qu'on les ferme partiellement ; plus tard on les ferme tout à fait quand la température tend à trop s'élever dans le lessiveur. De cette façon chaque tuyau se remplit d'eau peu à peu, et l'on évite que la pression du lessiveur ne se trouve supérieure à celle du tuyau, ce qui se produirait si l'on ouvrait la valve d'échappement en fermant celle d'admission. Dans les premiers temps on posait comme principe fondamental de toute cuisson que la pression dans le lessiveur ne devait jamais s'élever au dessus de 3 atmosphères, ni la température au dessus de 114°. Dépassait-on cette limite, on devait aussitôt recourir à l'échappement, soit diriger sur la tour d'échappement une partie de l'acide sulfureux gazeux contenu dans le bouilleur. Mais la concurrence, l'abaissement des prix de la cellulose, les efforts provoqués par ces stimulants pour arriver plus vite au résultat avec les mêmes moyens d'exécution ont amené les fabricants non seulement à gagner du temps dans les opérations de remplissage et de vidange du lessiveur, mais encore à abrégé autant que possible l'opération même de

la cuisson. Ainsi l'auteur, par des tâtonnements dirigés avec précaution, a trouvé que l'on pouvait impunément, sans que le produit obtenu en souffrit, monter jusqu'à 3,4 ou 3,5 atmosphères, et à 120°. Par ce moyen la durée totale de la période de cuisson, qui était auparavant de 75 à 85 heures, chauffage compris, a été ramenée peu à peu à 58 heures et même moins, ce qui réduit la cuisson proprement dite à 32 heures.

Il faut ici remarquer que le système des tuyaux de chauffage a une grande influence sur la durée de l'opération. Leur longueur, leur épaisseur, le soin qu'on met à l'enlèvement des dépôts gypseux qui s'y forment, le fait que la totalité ou une partie seulement des tuyaux est en état de fonctionner accélèrent ou retardent la transmission de la chaleur et par conséquent la cuisson. On doit veiller à ce que ni la pression, ni la température ne s'abaissent avant la fin de la cuisson et les tenir aussi constantes et aussi régulières que possible jusqu'à ce moment, ce qui exige une stricte surveillance.

Pour permettre de bien suivre la marche de l'opération dans ces différentes phases, de voir et de raisonner l'intervalle de temps qui s'écoule nécessairement entre deux charges d'un même lessiveur, nous irons chercher des exemples dans la pratique même, en mettant sous les yeux du lec-

1. Cuisson N° 20, dans un lessiveur horizontal.

				OBSERVATIONS.
le 23/4	Matin	44 ^h 1/2	Pression 0	Température 45°
	Soir	8	» 0.6	» 72
	Nuit	4	» 0.75	» 85
le 24/4	Matin	6	» 1	» 96
	Matin	41 1/2	» 1.5	» 105
	Après-midi	2 1/2	» 1.75	» 108
	Soir	6 1/2	» 2	» 112
	Nuit	4	» 2.5	» 115
le 25/4	Matin	6	» 2.8	» 116.5
	Matin	9	» 3	» 119
	Midi	42	» 2.8	» 120
	Après-midi	3	» 2.25	» 119
	Soir	40	» 2.1	» 118
				Changement le 22/4 de 1 h. 1/2 après-midi à 11 h. du soir
				88m ³ de bois + 9m ³ de déchets.
				Acide à 5° B ^é introduit de 8 h. à 11 h. 1/2.
				Mis 27 h. pour arriver à 108°
				48 1/2 » » 120° } 21 1/2 h.
				maintenu à 118° 40 »
				Durée de la cuisson..... 31 1/2 »
				Plus haute pression..... 3 atm.
				» » température.. 120°.
				Cellulose : très-bonne.

2. Cuisson N° 101, dans un lessiveur vertical (d'une autre fabrique)

Chauffage commencé le 2/8 après-midi à 4 h. 1/2	Pression		Tempér.		OBSERVATIONS
	dans le bas du lessiveur	dans le haut du lessiveur	dans le bas	dans le haut	
3/8 après-midi, 4 h. 1/2	0	400	30°		Rempli le 1/8 après-midi avec du bois de grosseur mélangée. Etuvé le 2/8 de 1 h. du mat. à 1 h. après-midi. Lessivé à 5°5, pompée de 2 h. 3/4 à 4 h. 3/4 Hauteur de la lessive dans le réserv. 115mm Laisse dans le réservoir à 108° } 9 h. Mis 28 h. pour arriver à 116 } 30 » » 414 } 37 » » 418 } maintenu à 118 } 26 » 35 h.
» » 9 h.	0.3	87	87		
» » 11 »	0.4	89	89		
après-midi, 1 »	1.0	96	95		
» » 3 »	1.2	102	99		
» » 6 »	1.3	106	103		
4/8 matin 6 »	2.4	120	116		
» » 8 »	2.4	122	115		
» » 10 »	3	122	117		
» midi 12 »	3	122	117		
après-midi, 2 »	3	122	117		
» » 4 »	3	122	117		
» » 6 »	3	122	117		
» » 6 »	3	122	117		
5/8 matin 7 1/2 »	3	122	117		

Le lessiveur vertical dans lequel a été faite l'opération avait 4m de diamètre et 9m de haut, et contenait 60m³ de bois. Le bois avait été débité en disques.

3. Cuisson N° 207, dans un lessiveur horizontal (*d'une troisième fabrication*)

1/6 matin	6 h.	Pression	0	Température	40°	
»	41	»	0.5	»	73	Rempli le 1/6 de 4 h. après-midi à 3 h. 1/2 60 ^{m3}
après-midi	4	»	1	»	97	Etuvé de 3 h. 1/2 du matin à 3 h. 1/2 après-midi, sans pression, à 102°.
nuit	12	»	2	»	108	Acide à 5°5 Bé, pompé de 4 h. 1/2 à 6 h. du matin.
/6 matin	5	»	2.7	»	116	Mis 18 heures pour arriver à 108°
»	7	»	3	»	118	25 » » 118 } 7 heures
midi	12	»	3	»	118	maintenu à 118 30 »
soir	140	»	3	»	118	57 heures
/6 matin	8	»	3	»	118	Plus haute pression : 3 atmosphères. » température 118°.
après-midi	1	»	3	»	118	Cellulose belle.

teur les notes prises sur une quelconque des opérations, telles qu'elles sont consignées sur le « livre de cuisson » tenu dans toute fabrique de cellulose bien ordonnée.

De la lecture et de la comparaison de ces trois exemples, il ressort clairement que le chauffage de la masse jusqu'au commencement de la cuisson proprement dite, demande de 18 à 28 heures, et que la cuisson elle-même présente dans les 3-cas à peu près la même durée, soit 31 $\frac{1}{2}$, 35 et 37 heures. L'étuvage proprement dit a pris, 8, 12 et 12 heures, enfin l'introduction de la charge de bois et d'acide sulfureux a eu une durée variable avec les installations et les circonstances locales. Si l'on additionne les temps employés à toutes ces manipulations, depuis le commencement de la charge jusqu'à l'échappement, on trouve qu'elles représentent

dans la première fabrique	80 $\frac{1}{2}$ heures
dans la deuxième.	87 »
dans la troisième.	72 »

En ajoutant l'échappement du gaz, l'écoulement de la lessive, le refroidissement et le lavage, la vidange et enfin la visite intérieure du lessiveur qui se répète à chaque opération, on arrive, pour une cuisson, à un total de 90 à 100 heures,

d'où il résulte qu'un lessiveur ne peut faire que de 7 à 8 cuissons par mois.

Avec une lessive plus forte dans la mesure nécessaire, et toutes les autres conditions également favorables, ainsi que cela a lieu dans les grandes exploitations, un lessiveur Mitscherlich peut faire jusqu'à 11 et 12 cuissons par mois. Il faut pour obtenir ce résultat que la lessive contienne environ 2 parties d'acide sulfureux libre contre une d'acide sulfureux combiné.

La surveillance de l'opération, et notamment la constatation du moment où elle est achevée ne peuvent se faire autrement qu'en prélevant par des robinets de puisage placés sur le piétement du manomètre des échantillons de la lessive et en en faisant l'essai.

On prend à cet effet un tube de verre d'environ 200^{mm} de longueur fermé à un bout, on le remplit jusqu'à 60^{mm} de hauteur environ d'ammoniaque du commerce, on le saisit avec une pince en bois, on ajoute, en le plaçant sous le robinet de prise d'essai, de la lessive bouillante, et l'on agite bien le mélange ainsi obtenu, puis on fixe le tube de verre sur un pied en bois pour éprouvettes. L'ammoniaque s'unit à une partie seulement de l'acide sulfureux du bisulfite de chaux, par suite le monosulfite qui reste, étant insoluble, se précipite sous

la forme d'une poudre blanche. Plus la hauteur occupée par le précipité est grande, plus il reste encore de bisulfite de chaux dans la lessive et par conséquent moins il y en a encore d'employé. Comme dans la pratique la durée de la cuisson est toujours à peu près la même, il suffit de prendre des échantillons de temps à autre dans la 2^e moitié de l'opération, et moins il y a de dépôt, plus il faut rapprocher les prises. En dernier lieu il faut en faire tous les quarts d'heure, car on doit toujours s'arrêter avant que tout précipité ait entièrement disparu. Plus on se rapproche de la période finale, plus la précipitation est rapide et plus le dépôt prend un aspect granuleux ; sa couleur devient jaunâtre ; l'odeur change et n'a plus le même piquant, le liquide devient plus visqueux, et sa couleur plus foncée. Enfin lorsque le dépôt n'atteint plus que 6 à 8^{mm} de hauteur, la cuisson est terminée et il faut laisser échapper.

Donc, après avoir préalablement donné cours à l'eau dans la tour d'échappement, on ouvre la valve principale du bouilleur et la valve *d*, de sorte que le gaz sulfuré, passant par un serpentín de plomb dans un bac réfrigérant rempli d'eau, arrive à la tour d'échappement. Là, dès que la dissolution sulfureuse qui se forme atteint 4°, on la laisse couler dans le réservoir à lessive ; comme

souvent elle atteint jusqu'à 10 ou 12° B^é, elle est fort utile aux fabricants, qui l'utilisent pour relever la teneur de la quantité de lessive nécessaire à la cuisson suivante.

Dès que la pression est descendue dans le lessiveur à $\frac{1}{3}$ d'atmosphère, ce qui se produit au bout de quelques heures, on ouvre la soupape d'écoulement, et la lessive est chassée sous une légère pression dans un tuyau en plomb d'au moins 100^{mm} de diamètre, qui la conduit à la mare aux lessives, dont il sera plus loin parlé avec détail. Quand il n'y a plus de pression intérieure et que la lessive s'est écoulée, on ferme la valve d'écoulement, et, par la valve *d*, l'on remplit le lessiveur d'eau froide jusqu'à moitié, en même temps qu'on débouche les deux trous d'homme du dessus. Par ces ouvertures on peut alors, au moyen d'un petit instrument spécial, adapté au bout d'une tige, prélever le premier véritable échantillon de la cellulose produite, voir si la cuisson a réussi et arrêter en conséquence les dispositions à prendre pour le traitement ultérieur à faire subir à la matière obtenue. Disons tout de suite qu'en cas d'insuccès une reprise par la lessive et une cuisson à nouveau ne sauraient donner de bons résultats. Il faut de toute manière procéder à la vidange.

L'introduction d'eau froide a principalement pour but, non seulement de refroidir la masse bouillante et le lessiveur lui-même, mais aussi de la débarrasser le plus promptement possible de la lessive brune, et par conséquent d'opérer un lavage provisoire ou pour mieux dire un rinçage. Une fois l'eau de ce premier rinçage écoulée, on en fait un second de la même manière ; aussitôt après on procède à l'ouverture des trous d'homme de dessous, et l'on fait avec des ringards une trouée jusqu'aux ouvertures supérieures, de façon à établir un courant d'air qui facilite le refroidissement de la charge. Dès qu'il devient possible de le faire, deux hommes qui se sont tamponné le nez et la bouche avec de l'éponge entrent dans le bouilleur, et à l'aide de pelles de bois et de crochets commencent la vidange. Etant données l'odeur et la température élevée qui y règnent encore, c'est une tâche très rude ; les ouvriers doivent se relever souvent et naturellement ce travail doit être donné à prix fait et bien payé. Il n'a d'ailleurs pas d'effets nuisibles sur la santé, car des gens y ont été employés pendant des années sans offrir aucun symptôme de maladie.

La cellulose étant retirée, le lessiveur balayé, on frappe sur les tuyaux de chauffe avec des marteaux de bois, pour en détacher les dépôts gyp-

seux, parfois d'une assez grande épaisseur qui les ont recouverts; dépôts mauvais conducteurs de la chaleur, qui diminueraient beaucoup l'effet utile du chauffage. En outre chacun des quatre tuyaux doit être éprouvé isolément; on doit s'assurer qu'il ne laisse pas échapper de vapeur, qu'il ne se trouve pas obstrué par un dépôt gypseux qu'aurait formé la lessive en pénétrant à l'intérieur. Dans le premier cas la fuite doit être mâtée, ou bien il faut remplacer le bout de tuyau de plomb, ce qui se fait promptement lorsque, au lieu de souder les bouts, on les réunit par des collets taraudés en cuivre rouge. En cas d'obstruction, l'on introduit dans le tuyau de l'acide muriatique, et l'on y fait passer lentement un filet de vapeur. Enfin, après chaque cuisson, tout le revêtement de maçonnerie doit être soigneusement visité, surtout au sommet. La chaleur intérieure a bientôt fait de le sécher entièrement; aux places seules où la lessive a pénétré par quelque fissure on voit ressortir des taches d'humidité et l'on reconnaît ainsi parfaitement les endroits à réparer, ce qui se fait en enduisant soigneusement les joints avec du ciment. Néglige-t-on cette inspection d'importance capitale, la détérioration complète du lessiveur ne se fait pas attendre; ce n'est pas en cela qu'une économie de temps serait à conseiller.

Une opération de cuisson telle que celle que nous venons de décrire donne environ 10,000 k. de cellulose (poids estimé sec). D'après les essais répétés de l'auteur il faut en moyenne 0 st. 956 ou 0^m362 de bois (de sapin) pour obtenir 100 k. de cellulose. Ces chiffres concordent bien avec les données de Mitscherlich qui compte 0^m363 de bois pour 100 kilos de cellulose; le rapport du poids du stère à celui du mètre cube n'est donc pas, comme l'indiquent généralement les auteurs $\frac{70}{100}$, mais bien $\frac{65}{100}$, chiffre confirmé dans la pratique par un grand nombre d'essais.

Chaque fabrique de cellulose devra naturellement, selon sa manière de procéder, selon les bois qui constituent son principal approvisionnement, obtenir un rendement moyen en cellulose qui s'écartera plus ou moins de celui des autres établissements de production. Ainsi à Weissenborn, d'après une communication un peu ancienne de cette usine, on compte par 12 mètres cubes de bois 2,400 k. de cellulose, par suite pour 1 mètre cube 200 kilos et pour 1 stère 140 k. Ce chiffre très élevé ne peut être admis que pour un bois très-bon et écorcé. Il y a toutefois lieu de remarquer encore ici que, d'après l'*Agenda de l'Ingénieur de Stüh-*

len, le poids spécifique du bois de sapin séché à l'air est de 0.47, et que par suite 1 mètre cube pèse 470 kilos. D'après ce même ouvrage 1 stère de bois de sapin pèse 320 kilos ; le rapport de l'un à l'autre serait donc 0.68 ou près de 0.70, ce qui est, d'après les expériences de l'auteur, ainsi que nous venons de le dire, un peu trop élevé. La différence n'est pas sans intérêt, attendu que la réception et l'entrée du bois se font au stère, mais que pour le règlement il est calculé en mètres cubes et payé en conséquence. On peut donc ainsi, au cours d'une année, se trouver payer en trop un nombre important de mètres cubes.

Des comptes d'une fabrique de l'Allemagne du Sud il ressort qu'on y admet comme chiffre moyen 156 kilos de cellulose, siccité atmosphérique, par mètre cube de bois de sapin, soit 109 kilos par stère.

Une fabrique de l'Allemagne du Nord travaillait dans son année 5,210 stères de bois et produisait dans le même temps tout compris (1^{er}, 2^e et 3^e choix) 715,000 kilos de cellulose ; 1 stère donnait par conséquent 137 kilos de cellulose, siccité atmosphérique, chiffre intermédiaire aux deux précédents.

Avant de mettre en marche sa nouvelle installation la fabrique de cellulose de Waldhof avait

une production journalière de 1,400 centner secs, et la consommation de bois s'élevait à 170,000 mètres cubes par an. En admettant une production annuelle de 25 millions de kilogrammes, le rendement en cellulose montre qu'il faut compter 148 kilos par mètre cube, ou 104 kilos de cellulose par stère. Si maintenant l'on admet que ces 104 kilos proviennent de 1 stère non écorcé, la quantité se réduit en bois écorcé à 0,8 st. et l'on revient à un rendement de 130 kilos de cellulose pour 1 stère de bon bois écorcé, chiffre qui ne s'éloigne pas sensiblement de celui de Weissenborn.

Nous conformant à l'ordre adopté dans le chapitre qui traite de la préparation des lessives, nous mentionnerons ici brièvement le procédé de cuisson Ritter-Kellner : le matériel employé se compose de deux lessiveurs verticaux A et B, garnis de feuilles de plomb, maintenues assemblées par des anneaux et des bandes de plomb, et ayant deux faux fonds perforés entre lesquels est logée la charge de bois. A et B communiquent ensemble par des tuyaux (voir la fig. schématique 36, empruntée à la description du brevet). Le récipient C contient la dissolution d'acide sulfureux, le récipient C' de l'eau froide. Une conduite 1 va de C et de C' par des branchements 2 et 3, munis de robinets de réglage 5 et 6 dans les deux lessiveurs,

et y débouche un peu au dessus des grilles *a* et *b*, qui maintiennent le bois plongé dans la lessive. Le

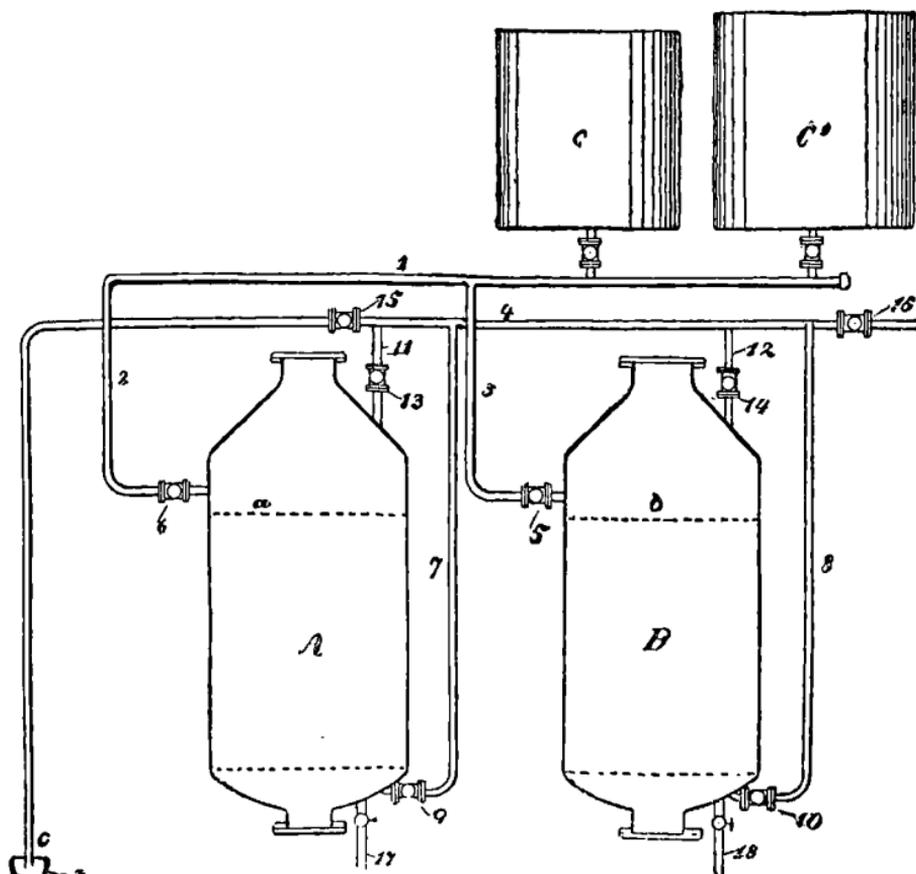


Fig. 36. — Procédé Ritter-Kellner. — Schema de l'installation des lessiveurs.

tuyau 4 est en communication vers la droite avec un générateur de vapeur et une chaudière remplie d'acide sulfureux. Ce tuyau 4, qui aboutit à gau-

che en *c* à un extracteur *c*² a deux branchements 7 et 8, munis de robinets de réglage 9 et 10, et entrant sous les faux fonds inférieurs des lessiveurs, et 2 autres branchements 11 et 12, munis de robinets de réglage 13 et 14, et entrant dans les lessiveurs au-dessus de leurs faux fonds supérieurs. La lessive contenue dans les bouilleurs a pour s'écouler les tuyaux 17 et 18.

Le travail se fait de la manière suivante : admettons que le lessiveur A contienne du bois en digestion dans une solution acide ayant déjà servi deux fois, tandis que le lessiveur B vient d'être rempli de bois. On ouvre les robinets 6, 9 et 10, tandis que les robinets 5, 13, 14, 15 et 16 restent fermés ; la dissolution neuve arrive par les tuyaux 1 et 2 en A, et chasse dans le lessiveur B par les tuyaux 7, 4 et 8 la dissolution déjà épuisée. Le lessiveur A étant ainsi rempli de lessive neuve, le tuyau 6 est fermé, le tuyau 14 est ouvert, par suite la vapeur arrive par les tuyaux 7 et 8 dans les deux lessiveurs et y opère la cuisson du bois.

Lorsque la cuisson est finie en B, le robinet 16 est refermé et les robinets 14 et 15 sont ouverts ; l'acide sulfureux et la vapeur sont chassés par les tuyaux 12 et 4 dans la conduite d'extraction *c*, ou dirigés dans des appareils appropriés pour la régénération. Puis tout le liquide est, par le tuyau

d'écoulement 18, extrait du lessiveur B où il ne reste plus que le bois lessivé. Alors, au moyen de l'eau froide du récipient C' on chasse le liquide du lessiveur A dans le lessiveur B, où il représente de la lessive ayant servi une fois et où l'on recommence la cuisson. Puis on ferme les tuyaux 2, 11 et 7. Le lessiveur A est vidé et rempli à nouveau de bois.

L'opération se continue ainsi par un roulement entre les deux lessiveurs. Au lieu de deux lessiveurs, on peut en employer simultanément un plus grand nombre, ce qui permet de faire servir la lessive quatre ou même huit fois et de pousser ainsi l'épuisement à son extrême limite. Chaque cuisson est naturellement abrégée d'autant et l'on obtient des produits à tous égards excellents.

La blancheur doit-elle être le principal caractère de la cellulose qu'on veut obtenir, on laissera le bois s'attendrir dans la lessive et avant de chauffer on refoulera au moyen d'une pompe de l'acide sulfureux dans le lessiveur jusqu'à ce qu'on ait atteint une pression d'au moins 2 atmosphères. Alors seulement on introduit la vapeur, ou la vapeur, mêlée d'acide sulfureux, à une température supérieure à celle de l'ébullition, assez longtemps pour que la pression atteigne de 3 à 5 atmosphères. On réalise ainsi pendant la première phase la décom-

position du bois, pendant la seconde le blanchi-

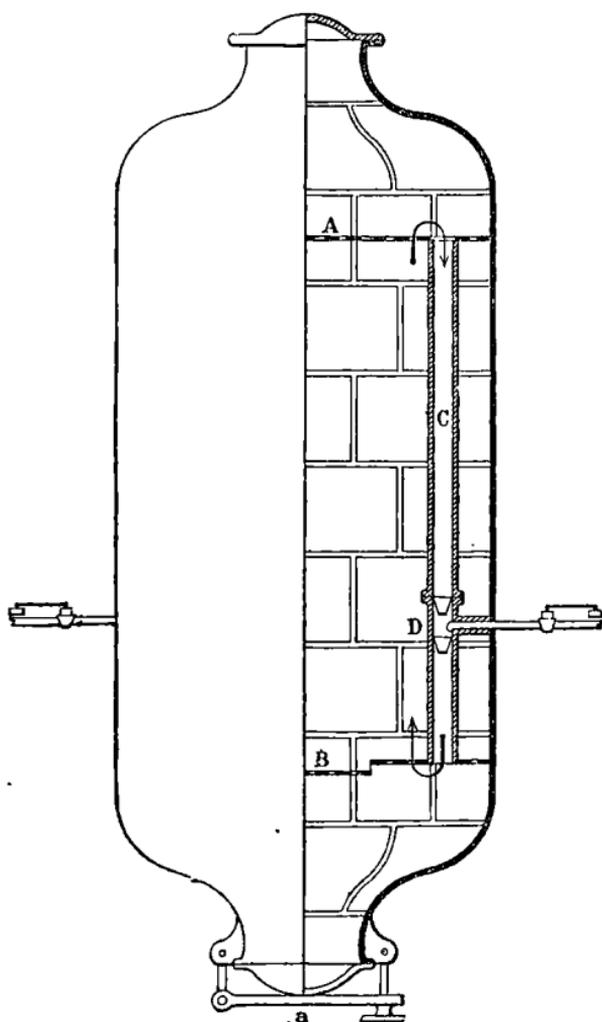


Fig. 36 bis. — Lessiveur Ritter-Kellner.

ment de la fibre. La cellulose est blanche, ne con-

tient plus de fibres dures et peut ensuite être travaillée sans un passage préalable à l'épurateur. La cuisson dure de 14 à 18 heures, mais peut cependant, en cas de basse pression, se prolonger pendant 36 heures.

Voici, d'après le brevet n° 157,154 du 24 sept. 1883, la description du lessiveur : il est fixe et de contenance variable. Il est fait en tôle et garni à l'intérieur de feuilles de plomb de petite dimension juxtaposées. Les joints horizontaux sont couverts par des cercles en plomb ; ceux verticaux par des bandes de même métal. Les dilatations, peu sensibles sur chaque feuille, empêchent les déchirures de se produire. B (fig. 36 bis) est un double fond perforé recevant la matière à lessiver, qu'un autre double fond également perforé A empêche de surnager. La vapeur est introduite dans le lessiveur par deux ou plusieurs tuyaux C, munis d'injecteurs D, pour produire un courant continu de la lessive à travers la masse. Ces tuyaux sont munis à l'extérieur de soupapes pour empêcher le retour de la lessive ; les soupapes ainsi que leurs sièges sont en argent.

Les autres procédés énumérés (d'après Hoyer) au chapitre de la préparation des lessives sont, au point de vue de la cuisson, caractérisés respectivement par les traits suivants :

Ekman emploie un lessiveur cylindrique, avec enveloppe de vapeur et garnissage de plomb ; mobile autour de tourillons latéraux pour facili-

ter la charge et la vidange. Cette chaudière, large d'environ 1^m30 et haute de 4^m est, après l'introduction du bois, remplie de lessive en quantité telle que le liquide recouvre le bois, maintenu par une charge de plaques de plomb perforées. On laisse alors pénétrer peu à peu dans la double enveloppe de la vapeur venant d'un générateur spécial, en observant pour ce chauffage la règle suivante : dans les deux premières heures la pression du lessiveur doit monter de 0,7 atmosphère ; dans les 2 heures suivantes de 1,4 à l'heure ; dans celle d'après de 1, et dans les 2 dernières encore de 0,7 atmosphère. On laisse le bouilleur à cette pression finale de 6 atmosphères durant 1 à 3 heures, jusqu'à ce que l'odeur caractéristique qui s'échappe d'une soupape, ou une prise d'échantillon, permette de constater que l'opération est terminée. On laisse alors échapper la vapeur ; le liquide s'écoule du bouilleur par une de ses extrémités, en filtrant au travers d'un tamis de plomb ; puis on fait tourner le bouilleur qui déverse son contenu, prêt ainsi à subir soit le lavage, soit la trituration habituelle. Le rendement obtenu par ce procédé serait 32,68 % du bois traité pesé frais, ou 40 % du même bois supposé sec.

Francke, de Möln dal, se sert d'un lessiveur cylindrique horizontal en tôle d'acier de 2^m2 de dia-

mètre et de 12^m5 de longueur avec un revêtement intérieur de plomb de 6^{mm} dont les feuilles, soudées ensemble, forment par elles-mêmes une véritable chaudière qui est appuyée et maintenue de mètre en mètre contre la chaudière extérieure par des cercles de laiton. Ces lessiveurs dont le mouvement de rotation est lent (un tour en dix minutes), sont munis à l'intérieur de courtes tiges, normales à la surface intérieure, pour entraîner et soulever la masse ; ils reposent par de larges cercles sur des rouleaux (1) et reçoivent leur mouvement par l'intermédiaire d'une vis sans fin. Ils sont d'abord remplis aux trois quarts environ de bois déchiqueté, et ensuite de lessive à 4 ou 5° B^é en quantité suffisante pour que le bois soit bien recouvert. La cuisson se fait sous une pression de 3,5 atmosphères, obtenue en introduisant par un des tourillons de la vapeur d'eau, dont une soupape de réduction règle l'entrée. Lorsque la cuisson a duré environ 11 heures, on prélève, au moyen d'un robinet de plomb, un échantillon de la masse en digestion, et l'on renouvelle de temps en temps cette prise d'essai jusqu'à ce qu'elle présente le caractère voulu, ce qui, suivant la qualité et le degré

(1) Ce dispositif est parfois appliqué à des lessiveurs fixes pour permettre de les faire tourner sur eux-mêmes lors de la pose ou des réparations du revêtement intérieur. (N. d. t.)

d'humidité du bois, demande de 12 à 17 heures. Après l'achèvement de la cuisson, le gaz et la vapeur sous pression du lessiveur sont envoyés dans la tour pour reformer du bisulfite. La lessive brune écoulee, on fait à deux fois le lavage ou rinçage du bois cuit, et l'on finit en le vidant dans des caisses d'égouttage. Ajoutons que pour une lessive telle que celle qui vient d'être décrite on compte pour 1000 kilos de bois 900 à 1250 litres de lessive,

Pour compléter ces indications, voici la description exacte du lessiveur, empruntée au brevet américain n° 304,092 *Papier Zeitung* (1885).

Le lessiveur, qui n'a plus ici comme celui dont nous venons de parler 12^m de long, mais seulement environ 6^m et 2^m de diamètre, est construit en tôle d'acier et muni d'un revêtement intérieur en plomb. La vapeur entre à droite et à gauche par des tuyaux, qui dans l'intérieur du lessiveur sont perforés, en sorte que la vapeur pénètre librement dans toute la masse. Le lessiveur tourne, ainsi qu'il a été dit, sur son grand axe, porté non par des coussinets mais par des rouleaux. Dans ce but on adapte à sa circonférence extérieure trois forts cercles qui reposent sur deux rouleaux. Le mouvement de rotation est communiqué à la chaudière par une vis sans fin qui engrène dans une roue à denture hélicoïdale, rapportée sur la circonférence

extérieure du lessiveur. Le plomb adapté à la tôle d'acier du bouilleur n'y est pas fixé, mais simplement maintenu par de forts cercles étré sillonnés. Les feuilles de plomb doivent, autant que possible, être assez grandes pour que chaque virole soit formée d'une seule feuille. Les joints sont soudés, et le revêtement une fois achevé est serré et maintenu contre la surface interne du lessiveur par les cercles dont il a été parlé. Chacun de ces cercles est ouvert en un point et peut ainsi au moyen d'un coin recevoir une extension qui serre le plomb contre la tôle ; il ne reste donc pas le moindre vide entre les deux. Pour permettre de découvrir les fissures qui peuvent se produire dans le plomb, le corps cylindrique est percé d'un très grand nombre de trous munis de robinets. Ces robinets restent ouverts pendant le travail. Un point de l'enveloppe de plomb vient-il à fuir, aussitôt la lessive sort à une ou plusieurs places par les robinets. On ferme alors provisoirement ceux-ci, pour pouvoir, une fois l'opération terminée, réparer les parties avariées, suffisamment repérées par les robinets correspondants.

Ces lessiveurs ont donné de bons résultats, et la fixation de l'enveloppe de plomb par ces anneaux de tension a été reconnue très-pratique. Pour ménager le revêtement intérieur, on peut ne pas laiss-

ser tourner constamment le lessiveur et ne le mettre en mouvement que de temps à autre, ou à la fin de l'opération pour accélérer la vidange. Ces lessiveurs ont encore cet avantage que, ne permettant aucun dépôt de monosulfite de chaux, ils excluent toute transformation d'une partie de la charge en un résidu sans valeur.

Les principaux traits du procédé *Pictet et Brélas* ont déjà été indiqués page 137. Il y a toutefois encore lieu de remarquer qu'après la cuisson on retrouve dans le liquide, non seulement une quantité utilisable de différentes matières, principalement gommes, résines, essences, mais encore la presque totalité de l'acide sulfureux. Comme conséquence, ce procédé résout directement la question de réutilisation de la lessive en faisant passer celle-ci après la cuisson dans un deuxième, puis dans un troisième lessiveur remplis de bois, jusqu'à ce qu'elle se soit ainsi saturée de matières organiques. Mais comme le liquide, retenu dans le bois par la capillarité, ne peut pas couler directement d'un lessiveur dans l'autre, on se trouve obligé de presser le bois après la vidange pour en exprimer le liquide qu'il contient. Par l'évaporation, l'on sépare l'acide sulfureux des autres substances dissoutes pour le recueillir à part et le faire servir de nouveau.

Si simple que paraisse ce procédé, l'on doit remarquer que l'acide sulfureux, d'abord liquéfié à -10 ou -13° , développe ensuite une pression considérable, et par le fait à une température de 85° la pression dans le lessiveur atteint, malgré la dilution relative de l'acide sulfureux, 7 atmosphères, parce qu'à cette température l'eau n'en retient plus en dissolution que de très-faibles quantités. Comme d'autre part il est très-difficile de se maintenir bien régulièrement aux basses températures voulues, ce procédé, si simple en apparence, présente des dangers sérieux pour peu que la température vienne à s'élever sensiblement.

Il y a encore à noter qu'à une température un peu élevée l'acide sulfureux tend à s'oxyder et par suite à noircir la masse en digestion, la liqueur ne contenant plus de monosulfite de chaux prêt à neutraliser l'acide sulfurique formé.

Flodquist, emploie un lessiveur sphérique de tôle d'acier avec revêtement de feuilles de plomb assujetties par de larges boulons, dont les têtes, ressortant à l'intérieur, sont également recouvertes de plomb. En outre la tôle d'acier est percée d'un grand nombre de petits trous qui laissent échapper l'air lors de l'application des feuilles de plomb. Lorsque le lessiveur est fourni de bois et de lessive à 5° B⁶, on donne la vapeur, de façon que la

pression monte progressivement à 4,7 atmosphères, le lessiveur faisant en même temps 4 tours environ à l'heure. Cette pression et ce mouvement sont maintenus jusqu'à ce que les prises d'essai permettent de constater que la matière est bien transformée en bouillie, ce qui demande en général de 8 à 9 heures. La cuisson terminée, le contenu du lessiveur est vidé dans une fosse qui se trouve au dessous et qui est munie de plaques d'égouttage, ou a simplement ses parois formées de planches perforées. On procède ensuite au lavage et à la trituration. La présence du phosphate de chaux acide (voir à la préparation des lessives) aurait pour effet de prévenir la nuance un peu rougeâtre que prend ordinairement la matière pendant la cuisson.

Avant de terminer ce chapitre, nous allons passer en revue divers dispositifs proposés pour le mode de garnissage intérieur des lessiveurs au bisulfite.

Un sieur *Wagg* (Amérique) revêt son lessiveur comme Mitscherlich d'abord d'une mince feuille de plomb, qu'il recouvre ensuite de carton d'amiante et enfin de briques de 1 pied carré, sur 8" d'épaisseur. Chaque brique est fixée à la tôle du lessiveur par un boulon disposé de telle manière que la tête soit noyée dans la brique et l'écrou

placé au dehors. Les briques portent sur tout leur pourtour une rainure en queue d'hironde, où l'on met une barre de plomb qui fait le joint. Les boulons ont leurs têtes également couvertes de plomb, et sur leur tige règne un plat qui permet à l'acide de couler tout le long et de sortir par une ouverture ménagée dans l'écrou, au cas où quelque fuite viendrait à se produire dans le revêtement. Alors, de même que dans le lessiveur de Francke, on reconnaît à l'extérieur les places où se sont produites les avaries, et l'on peut facilement y porter remède.

Lessiveur de *Frambach et Dart* à Kaukauna et Vollrath à Sheboygan, Wisconsin. Brevet américain n° 348 159. Alors qu'avant eux la pratique générale était de garnir intérieurement les lessiveurs avec du plomb, leur invention consiste à revêtir cette surface d'une couche d'émail résistant aux acides et possédant une certaine élasticité. Le lessiveur représenté fig. 37 se compose d'anneaux cylindriques distincts C, munis de brides, et des deux fonds supérieur et inférieur B. Les anneaux cylindriques sont boulonnés les uns aux autres sur leurs brides, entre lesquelles des rondelles annulaires de plomb forment un joint étanche. Les surfaces intérieures sont recouvertes d'une couche d'émail qui se prolonge en partie sur les brides.

Le chauffage se fait par un tuyau en U renversé E, qui est aussi émaillé extérieurement, et dont

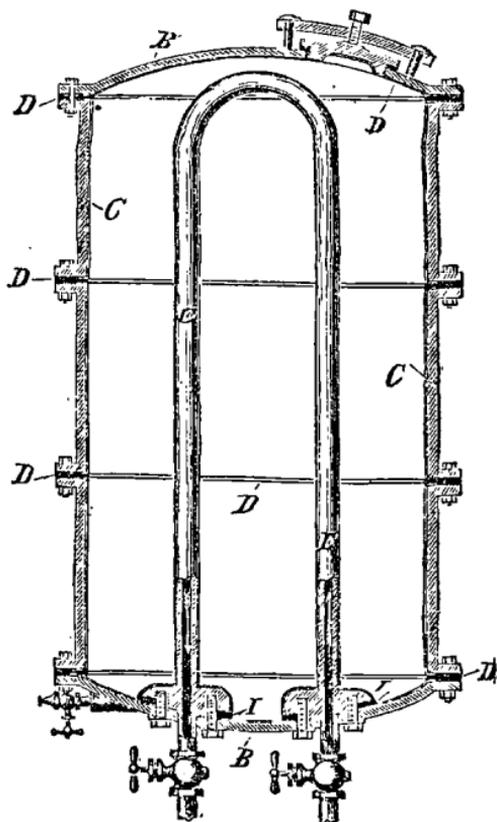


Fig. 37. — Lessiveur Frambach et Dart.

les joints sur le fond sont faits au moyen de rondelles de plomb I.

Pour émailler les diverses pièces du bouilleur, on les décape d'abord avec un acide, puis on les

frotte avec du sable, on les rince, on les immerge dans l'eau bouillante et on les fait sécher. On les passe alors à l'éponge et l'on pose la première couche d'émail. Lorsque celle-ci est sèche, on porte les pièces au moufle et on les chauffe jusqu'à fusion de l'émail. Une fois qu'elles sont refroidies on applique la seconde couche pour laquelle on procède de même à la dessiccation et à la vitrification. On peut employer comme émail toute matière vitrifiable, résistante aux acides et suffisamment élastique. On obtient un mélange convenable pour la première couche avec 5 parties de chaux, 10 parties de spath fluor, 5 parties de carbonate de soude, 50 parties de sable blanc, 50 parties de litharge et 20 parties d'acide borique qui sont mêlées et fondues ensemble, puis broyées et mises en suspension dans l'eau à l'état de bouillie claire. Pour la couche de dessus on peut employer les mêmes substances avec addition de 10 parties de cendres d'os, 5 parties de talc et 4 parties de kryolithe. Le tout est mêlé, fortement chauffé, coulé dans l'eau à l'état de verre fondu (pour obtenir la matière à l'état granuleux), finement pulvérisé et mis en suspension dans l'eau.

Garniture pour lessiveurs au bisulfite de *Goldburg Harden Poud*, à Ruttand, Vermont, États-Unis d'Amérique. Brevet 351067. A la place des revêtements de plomb antérieurement employés,

l'inventeur se sert pour les lessiveurs et autres appareils qui se trouvent en contact avec les acides d'un bronze composé de 100 parties de cuivre, 33 1/2 parties de plomb, 10 parties d'étain et 4 parties d'antimoine. Ce bronze serait d'une grande durée et très résistant aux acides employés dans la préparation de la cellulose.

Plus nouvelle que les méthodes qui viennent d'être énumérées est l'application proposée par *Willh. Wenzel*, de Vienne, d'un enduit protecteur inattaquable par les acides. L'emploi paraît s'en être répandu dans la pratique. D'après ce procédé la matière préservatrice est moulée à l'état liquide, suivant la forme et les dimensions du bouilleur, sur une épaisseur de 60 à 200 millimètres. Dans les lessiveurs Mitscherlich de 4^m de diamètre l'épaisseur est de 125^{mm} ; au fond la couche doit, tout en se raccordant convenablement, être plus épaisse. Des lessiveurs rotatifs de 2^m5 à 3^m de diamètre nécessitent une couche de 80 à 100^{mm} tandis, que, pour un diamètre de 2^m à 2^m50, 70 à 80^{mm} d'épaisseur suffisent. Lorsque le revêtement est achevé, le lessiveur est soumis, pendant plusieurs heures, à une pression de vapeur correspondant à 140 ou 160°. On voit alors apparaître aux places non étanches des fentes que l'on dégage au burin et où l'on coule à nouveau de la

matière. L'opération est répétée jusqu'à ce qu'il ne se découvre plus de points défectueux et l'on termine en appliquant comme couverture un enduit très fin de 4 à 5 millimètres d'épaisseur. L'expérience a démontré que cette dernière couche est à peu près usée au bout de 2 ou 3 mois, mais elle peut facilement, en une heure, être refaite au pinceau par deux ouvriers, et 2 heures après le lessiveur se trouve en état de fonctionner. Cette couche de 4 à 5^{mm} s'usant peu à peu se mêle assurément à la cellulose, mais il n'en résulte pas d'inconvénient appréciable. On revendique comme principal avantage ce fait que le lessiveur reste constamment étanche et que jamais l'acide sulfureux n'arrive au contact de la tôle du lessiveur. Les trous d'homme sont toujours garnis de plomb. La dépense s'établit à 87 fr. 50 par mètre carré de surface de revêtement, somme à laquelle il faut ajouter encore les ports, salaires, etc. Le procédé est donc incontestablement coûteux. Si cependant la protection de la tôle est absolument garantie, ce revêtement remplacera avec avantage la plupart de ceux qui ont été employés jusqu'ici.

Plus tard M. Wenzel a encore apporté quelques changements à son mode de revêtement des lessiveurs : il remplace aux divers supports le plomb

par du bronze phosphoreux qui fait mieux corps avec la matière qu'il emploie. Les écrous de sûreté en usage dans les bouilleurs garnis de plomb sont supprimés et sont remplacés par autant de trous de contrôle qui, librement ouverts, permettent de voir de l'extérieur le revêtement. L'application de la masse protectrice se fait lentement et par couches successives, et il y a même été ajouté en dernier lieu des fils de fer entre-croisés, formant, comme dans les travaux de construction exécutés suivant le procédé Monier, une carcasse de fer qui donne une grande solidité et une grande cohésion à tout l'ensemble. L'épaisseur totale de la couche a été définitivement portée à une dizaine de centimètres. On la recouvre d'un enduit très dur, puis on la soumet lentement à une température de plus en plus élevée et l'on repasse les fentes avec du ciment au fur et à mesure de leur apparition, jusqu'à ce que le revêtement cesse de présenter la moindre altération. Si des fentes et des défauts se déclarent ultérieurement, on y remédie de la même manière. La composition de la matière est tenue secrète, mais le ciment et le verre soluble en sont les principaux éléments. Un des plus grands avantages attribués à ce revêtement est l'économie de combustible. Les essais faits sur la quantité de chaleur consommée auraient démontré qu'il cons-

titue une excellente enveloppe isolante, que la perte de chaleur rayonnante est par suite réduite à son minimum et qu'avec lui la consommation de calorique est inférieure de 25 % à celle des lessiveurs doublés de plomb.

Une invention qui paraît appelée à opérer une révolution dans le mode de revêtement intérieur des lessiveurs est celle de M. le Directeur *Brünger* à Cunnersdorf, car sa méthode est à la fois rapide, sûre, économique et elle a déjà pour elle la sanction d'une pratique de plusieurs années dans différentes usines. Son brevet repose sur ce principe que dans un lessiveur chargé de bois, chauffé par l'extérieur, une lessive de bisulfite ou une dissolution gypseuse produisent une incrustation mince, imperméable, recouvrant parfaitement la paroi intérieure. Cette incrustation empêche donc tout contact entre la tôle du lessiveur et l'acide sulfureux employé à la cuisson, et la protège ainsi contre l'action corrosive de l'acide.

Tandis que les moyens de préservation antérieurement employés, revêtements de plomb ou de maçonnerie de toute nature ne pouvaient être appliqués que moyennant une perte de temps et une dépense considérables, la formation d'une incrustation protectrice n'exige ni temps, ni argent. Cette incrustation une fois formée n'a besoin d'être ni réparée, ni renouvelée.

Avec les revêtements de plomb ou de maçonnerie de toute nature, les lessiveurs subissent les chômages prolongés nécessités par la pose ou par les réparations. Les lessiveurs de Cunnersdorf (près Hirschberg) par exemple, du temps où ils étaient doublés de plomb, faisaient environ 210 cuissons dans leur année, le reste du temps étant consacré aux réparations intérieures : ils en font près de 300 depuis qu'ils sont seulement préservés par leur incrustation ; encore le changement complet du doublage en plomb n'entre-t-il pas dans ces calculs. La production d'un lessiveur à incrustation protectrice est donc presque de moitié plus grande que celle d'un lessiveur garni de plomb.

Les inventeurs revendiquent comme un autre avantage de leur système la suppression des risques d'explosion que font courir aux lessiveurs les fuites aux revêtements intérieurs de plomb ou de maçonnerie, par suite de la rapide détérioration qui en est la conséquence. L'incrustation est absolument imperméable ; elle fait corps avec le bouilleur et l'on peut cependant l'enlever en quelques heures et la reformer avec la même rapidité. On peut donc en tout temps et dans un délai très court mettre à nu toute la surface intérieure de la tôle. Après une marche d'environ une année les inventeurs ont enlevé l'incrustation de leur

lessiveur et ont fait constater par les agents de l'administration chargés de la surveillance des chaudières que les parois intérieures ne présentaient aucune trace de corrosion. Il a été de la même manière, après une nouvelle marche de 4 mois, constaté par des personnes dont le nom fait autorité en la matière, que la coque de fer était dans un état irréprochable et que le métal avait le même aspect que s'il sortait du laminoir. Le lessiveur avec incrustation protectrice offre une sécurité d'autant plus grande qu'il travaille à une très-faible pression. La consommation de vapeur est également moindre, puisque le bouilleur, fonctionnant sans interruption, ne se refroidit jamais (1).

Comparée aux autres modes de revêtement, l'incrustation formée par la lessive de bisulfite présente cet avantage que, au cas où des fentes ou des trous viendraient à se produire, elle se complète et se renouvelle au cours même de la cuisson, en sorte qu'elle est toujours comme neuve et en parfait état. La chaleur transmise par une en-

(1) Sans prétendre discuter toutes les assertions des inventeurs contenues dans ce chapitre, nous ne pouvons nous empêcher de remarquer que la capacité calorifique totale de l'enveloppe, nécessairement refroidie d'ailleurs par le rinçage et la vidange, est bien peu de chose par rapport à celle de son contenu liquide, et que d'autre part pendant la cuisson cette enveloppe n'a pas le pouvoir isolant des revêtements de maçonnerie (N. d. T).

veloppe de vapeur extérieure facilite en même temps le réglage de la température et évite la dilution croissante de la lessive telle qu'elle résulte de l'emploi de la vapeur directe.

Au nombre des personnalités très-compétentes dont il a été parlé plus haut figurait le professeur Reuleaux, qui a établi qu'en général une incrustation de 2 à 3 millimètres d'épaisseur assure efficacement la préservation des lessiveurs, et il ressort de son témoignage que, une fois mise à nu, la surface du fer qui se trouvait sous cette couche, analogue à de la pierre de trass, était absolument exempte de rouille et de corrosions. Nulle part la paroi intérieure ne dénotait que la moindre place eût été laissée ou mise à découvert et exposée à l'action destructive de l'acide.

Ce procédé s'est introduit aussi en Amérique, ce qui n'a rien d'étonnant, car les lessiveurs rotatifs ne sont pas, ainsi qu'on l'a cru quelquefois, les seuls qui puissent se revêtir d'une incrustation préservatrice. Le succès est le même avec les lessiveurs horizontaux ou verticaux, à la seule condition qu'ils soient entourés d'une enveloppe de vapeur, car l'incrustation ne peut se produire à l'intérieur que sous l'action de la chaleur extérieure. Alors aussi la cellulose produite doit, conformément aux indications de la pratique, être d'une

qualité et d'une solidité supérieures, puisque la lessive de bisulfite conserve toute sa force et n'est pas étendue par l'eau de condensation de la vapeur. Cet avantage n'existe bien entendu que par rapport aux lessiveurs chauffés par introduction directe de la vapeur.

C. — PRÉPARATION DE LA CELLULOSE PAR PROCÉDÉ
ÉLECTROLYTIQUE.

Ce nouveau procédé sur lequel il n'a été jusqu'ici publié que des textes de brevets, résultats de la féconde activité de M. Karl Kellner, est-il appelé à opérer une révolution dans la pratique des fabriques de cellulose ? On ne saurait encore rien préjuger à cet égard.

Brevet allemand n° 46032 (classe 5). Ce procédé est basé sur l'emploi simultané d'un courant électrique et de la chaleur pour la production et la régénération continuelles d'éléments agissant sur la matière incrustante du bois, ou d'autres végétaux, pendant l'opération du lessivage. Ces éléments sont contenus dans la lessive, particulièrement dans celle des chlorures, et notamment dans la solution de chlorure de sodium, laquelle donne un dégagement de chlore décomposant les matières incrustantes du bois, de la paille, du sparte, etc.

et de certaines combinaisons oxygénées telles que l'acide hypochloreux.

Lorsque les matières à désagréger, divisées en menus fragments et mises en vase clos avec une solution de chlorure de sodium sont traversées par un courant électrique, il se forme d'une part de l'acide hypochloreux, et d'autre part un hydrate de soude, parce que les éléments devenus libres aux deux pôles forment avec l'eau d'un côté de l'acide hypochloreux et de l'autre de l'hydrate de soude.

Par suite de la décomposition des matières incrustantes par le chlore et l'acide hypochloreux et de l'échauffement de ce dernier, il se produit de l'acide chlorhydrique qui en réagissant sur l'hydrate de soude donne du chlorure de sodium de sorte qu'il s'établit un cycle complet et que la dissolution conserve sans altération ses principes actifs pendant toute la durée du travail.

L'opération se poursuit sans interruption aucune à une température d'environ 128°, à laquelle, suivant l'inventeur, on extrait du bois une fibre d'un blanc éclatant, d'un aspect soyeux et d'une grande solidité.

Pour réaliser le procédé, l'on se servira avantageusement d'un appareil composé de trois tubes verticaux communiquant haut et bas et situés dans

un même plan. Les électrodes sont adaptés au bas des tubes extérieurs et la matière à désagréger est placée dans celui des tubes dans lequel les deux ions négatifs (chlore et acide hypochloreux) s'élèvent sous l'influence de la chaleur. Les ions et les liquides contenant les substances dissoutes sous leur action montent dans les tubes, soumis à une température élevée, se rencontrent à leur sommet, se recombinent, et redescendent par le tube central pour subir en passant devant les électrodes une nouvelle décomposition. En renversant le courant on obtient des résultats encore meilleurs et l'on peut également remplir le 2^e tube extérieur de matière à désagréger. Les matières contenues dans les deux tubes seront alors soumises alternativement à l'action de solutions alcalines et acides et les matières incrustantes seront promptement dissoutes. Pour obtenir par exemple avec un bois résineux de la cellulose blanche, le bois déchiqueté à la manière ordinaire est mis à cuire dans l'appareil que l'on bouche et où l'on fait circuler la dissolution de sel marin. Il suffit en général d'une dissolution à 8 % et d'une durée de cuisson d'environ 3 heures et demie à une température voisine de 126° (le temps étant compté depuis le moment où cette température a été atteinte) pour obtenir avec du bois de sapin une cellulose solide et blanche, sus-

ceptible d'être employée dans les papiers fins.

La cuisson se fait dans des lessiveurs portant un revêtement intérieur en plomb ou en toute autre substance appropriée. L'appareil permettant la réalisation industrielle du procédé se compose de deux lessiveurs verticaux A et B, communiquant ensemble du bas par des tuyaux I et au sommet par des tuyaux II, et munis en haut d'une ouverture de remplissage E, et en bas d'une ouverture de vidange. Des doubles fonds perforés, placés au haut et au bas des lessiveurs empêchent les matières fibreuses traitées d'être entraînées par le courant liquide et d'obstruer les tubes. Les deux tuyaux II aboutissent à un petit ballon intermédiaire L, muni d'un indicateur de niveau, d'un manomètre et de soupapes de sûreté et de vidange, portant enfin un tuyau T que l'on peut fermer par un robinet V, et qui se prolonge en un serpentín plongé dans un bac réfrigérant P. Le ballon L porte à sa partie inférieure un tuyau K qui se prolonge plus bas que les fonds inférieurs des lessiveurs pour se bifurquer ensuite en deux branchements, lesquels, remontant à droite et à gauche, viennent aboutir dans ces mêmes fonds. C'est dans ces deux branchements que pénètrent respectivement, bien isolés, les deux électrodes.

Quant les deux lessiveurs sont remplis de bois et

qu'on a introduit de la dissolution de sel marin en quantité suffisante pour qu'elle apparaisse dans le tube indicateur de niveau du ballon L, le robinet

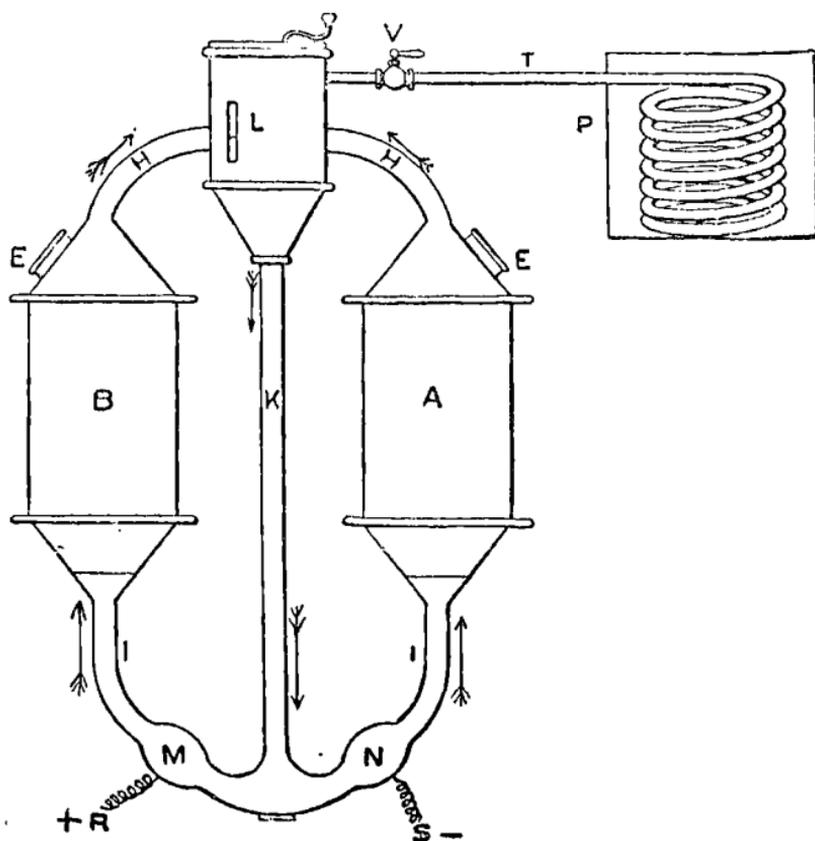


Fig. 38. — Dispositif de M. Kellner pour le traitement du bois par la chaleur et l'électricité.

V et toutes les ouvertures sont fermées, et l'on fait pénétrer de la vapeur aussi sèche que possible

dans les tubes de chauffage disposés à l'intérieur des lessiveurs.

Le liquide de A et de B, se dilatant par la chaleur monte par les tubes II dans le ballon L, ce qui a pour effet de produire un courant descendant dans le tuyau K. A la sortie de K le liquide se divise et remonte par les tuyaux I dans la direction des flèches, pour repasser en A et en B et continuer ainsi son mouvement de circulation. A son passage devant les électrodes, la décomposition électrolytique a lieu et les phénomènes déjà mentionnés se reproduisent. Si le courant positif entre en M, le courant négatif en N, les matières incrustantes du bois se trouvant dans B subiront du fait du chlore et de ses dérivés une forte oxydation, tandis que les résines du bois qui est en A seront saponifiées sous l'action de la soude formée au pôle négatif N. Les produits de la décomposition du sel et des matières incrustantes, en tant qu'ils sont solubles, se rencontrent dans le ballon L et réagissent les uns sur les autres du telle sorte qu'il se produit du chlorure de sodium. En effet l'acide chlorhydrique formé à l'anode décompose les combinaisons organiques de la soude venant de la cathode et redonne naissance à la dissolution primitive de sel marin, tandis que les matières organiques précipitées dans cette réaction sont, sous l'afflux sans cesse

renouvelé du chlore et de ses dérivés, transformés en substances qui restent dans la dissolution ou s'en échappent à l'état gazeux.

Après avoir fait fonctionner l'appareil ainsi qu'il a été dit pendant 15 ou 30 minutes, on renverse le courant, et l'on obtient ainsi une action alternative du chlore et de la soude qui accélère la décomposition du bois : on répète ces renversements de courant jusqu'à ce que la cellulose soit complètement dégagée, ce qui, à une température d'environ 126° se produit au bout de 3 heures à 3 heures et demie. Les gaz inertes qui se dégagent pendant la cuisson se rassemblent dans le ballon intermédiaire L et, en ouvrant de temps à autre le robinet V, on les fait passer dans l'appareil refroidisseur et condenseur P.

En opérant de la manière qui vient d'être dite, on obtient dans le lessiveur qui s'est trouvé du côté de l'anode à la fin de l'opération une cellulose d'un grand éclat, qui peut être employée sans blanchiment dans les papiers les plus fins, tandis que le produit du lessiveur voisin de la cathode est rendu jaunâtre par l'alcali formé à la fin de l'opération et doit, après le lavage, être traité par une dissolution très-étendue de chlorure de chaux.

En poursuivant les essais on a reconnu que pour le traitement électrolytique du bois les fosses ou-

vertes sont plus avantageuses que les lessiveurs métalliques. On y opère naturellement sans pression. Les fosses sont en maçonnerie cimentée et recouvertes de plaques de terre cuite. Le bois déchiqueté, avant d'y être mis, est imbibé de la dissolution de sel marin. Le courant électrique produit par des dynamos et dirigé dans la masse transforme le sel marin en chlore et en soude, qui, se dégageant aux deux pôles, agissent l'une comme dissolvant, l'autre comme décolorant. En touchant un bouton on renverse de temps à autre le courant, en sorte que la soude apparaît au pôle où se formait d'abord le chlore et *vice versa*. Par ce traitement alternatif à la soude et au chlore le bois est parfaitement désagrégé et blanchi, en même temps qu'il se reforme incessamment du chlorure de sodium.

Plus récemment encore M. Kellner a pris un brevet (patente allemande n° 60,616) pour la fabrication électrolytique de la cellulose sans le concours de la chaleur.

« Par ce procédé la cellulose est extraite des plantes au moyen du courant électrique, sans le concours de la chaleur ni de la pression. Selon que les tiges des plantes — et notamment du bois, — se trouvent à un état de division plus ou moins grand on se sert d'ions moins ou plus forts. La circulation

que doivent prendre les liquides employés s'obtient au moyen de dispositions particulières.

L'électrolyte (une dissolution de sel marin qui peut être additionnée d'acide chlorhydrique et de nitrate ou de sulfate de soude ou de potasse, ou encore d'hydrate ou de carbonate de soude ou de potasse) est, par le jeu de la pompe A, refoulé, à travers plusieurs ouvertures simultanément, dans le compartiment inférieur *b* d'un récipient B. Du compartiment *b* l'électrolyte passe par une plaque perforée *b*¹ dans le compartiment du haut *b*², dont la partie supérieure est divisée par un assez grand nombre de cloisons transversales en une série de cases ouvertes par en bas. Dans chacune de ces cases est suspendue une électrode de charbon, de zinc, de platine ou de porcelaine platinée ; toutes les électrodes des cases paires sont reliées avec l'un des pôles d'une dynamo génératrice, et toutes les électrodes impaires avec l'autre pôle. Pour extraire séparément les ions qui se forment dans les sommets des cases, à la partie supérieure des électrodes, deux tuyaux sont adaptés au récipient B, l'un devant, communiquant à toutes les cases des électrodes positives, l'autre derrière, communiquant à toutes les cases des électrodes négatives. Par les tuyaux D qui leur font suite, le cathion d'un côté, l'anion de l'autre pénètrent respectivement

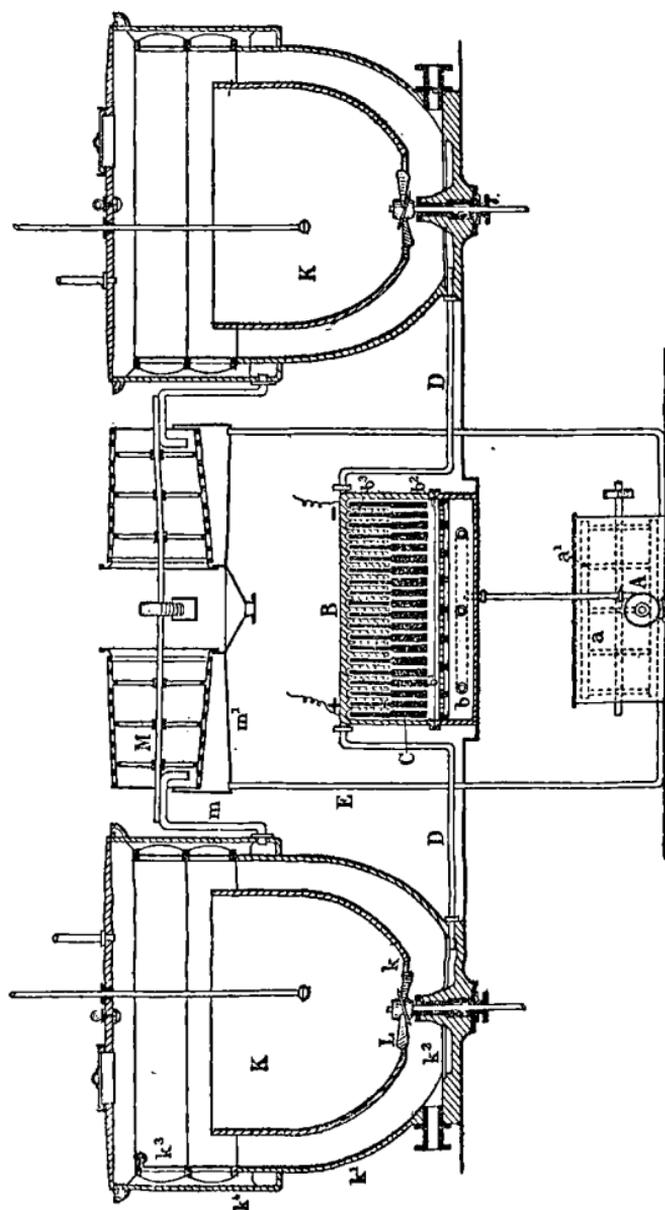


Fig. 41. — Dispositif de M. Kellner pour la fabrication électrolytique de la cellulose.

dans deux cuves de traitement, remplies avec les copeaux de la matière à attaquer, préalablement imprégnés de la dissolution servant d'électrolyte. Après que les liquides ont agi dans leurs cuves de traitement respectives, ils arrivent par des tuyaux à un récipient collecteur a , qui se relie au tuyau d'aspiration de la pompe A et est muni d'un agitateur a_1 . Dans le collecteur l'anion et le cathion se recombinent et sont de nouveau refoulés par la pompe A dans l'électrolyseur.

Si, au moyen d'ions concentrés, on veut convertir en cellulose, à l'air libre et sans le concours de la chaleur, du bois en morceaux un peu gros, ou quelque autre matière peu divisée, on doit employer plusieurs électrolyseurs placés à la suite les uns des autres.

Si l'on traite, ainsi qu'il vient d'être dit, du bois en gros morceaux, on obtient à la surface une couche de cellulose d'une blancheur éclatante, et il reste au centre un noyau de bois non attaqué. Pour empêcher cette couche superficielle de cellulose de s'énervier au contact prolongé des agents chimiques, on la détache constamment du bois par un brassage énergique de la masse ; elle est alors entraînée par le courant ascendant du liquide, et déborde avec lui de la cuve contenant la matière première. Autour de cette première cuve s'en trou-

ve placée concentriquement une autre de même forme, dont les bords constituent à leur partie supérieure une paroi perforée à la manière des épurateurs de papeterie ; la cellulose traversant les fentes de cette paroi arrive à un ramasse-pâte et le liquide retourne au récipient collecteur. Les cuves de traitement représentées par la figure montrent une disposition qui permet d'obtenir ce résultat.

Les morceaux de bois sont chargés dans la cuve K dont le fond présente une ouverture k permettant l'entrée du liquide dissolvant. Ce liquide, venant de l'électrolyseur B, arrive par un tuyau D dans la partie inférieure de la cuve k^1 qui constitue, avec des bords un peu plus élevés, une enveloppe concentrique au cuvier K. Le tuyau D débouche au-dessous d'un double fond perforé k^2 qui assure une égale répartition du liquide à son entrée. Dans l'ouverture k de la cuve K, se meut un agitateur (sorte d'hélice à axe vertical) L qui entretient le mouvement ascendant du liquide sur toute la section du cuvier. Ce courant détache constamment la cellulose formée à la surface des morceaux de bois et l'entraîne avec lui, la faisant ainsi se déverser par les bords de la cuve k^1 , à travers les fentes de la partie percée à jour. Le tout se trouve alors passer dans une double enveloppe,

qui revêt la partie supérieure de cette cuve et qui est fermée un peu au dessous la paroi munie de fentes. De l'espace annulaire formé par cette sorte de chapeau, le liquide et la cellulose coulent par des siphons relevés en col de cygne dans des tambours coniques M, garnis de toile métallique, tournant au-dessus de deux petites canalisations à pentes opposées. La cellulose se vide elle-même à l'état de pâte à l'extrémité la plus éloignée des tambours M, tandis que le liquide, coulant à travers les toiles métalliques, revient par les tuyaux E dans le récipient collecteur *a*.

Des recherches faites sur les modifications éprouvées au cours de l'opération par les matières incrustantes ont fait voir que sous l'action déshydrogénante du chlore ces matières passaient par divers degrés d'oxydation. Aux premiers de ces degrés, c'est-à-dire aux plus faibles oxydations, elles sont solubles dans les alcalis ; aux intermédiaires dans l'eau ou dans les dissolutions neutres ; aux plus élevés dans les dissolutions acides.

Cette remarque permet la production électrolytique de la cellulose avec une très-faible dépense de force motrice, en ce sens qu'il suffit de renverser fréquemment le courant dans les électrolyseurs : on obtient ainsi tout d'abord par une action peu prolongée du chlore une oxydation au premier

degré des matières incrustantes, et les combinaisons oxygénées qui en résultent sont dissoutes et entraînées par le liquide alcalin, puis viennent, au contact des électrodes, se résoudre en acide carbonique et en eau. »

Cette oxydation préliminaire à l'emploi de l'alcali repose sur un fait antérieurement connu des chimistes, et appliqué notamment par Thomas Graham Young et John Pettigrew (Patente anglaise du 14 nov. 1884, et brevet français, n° 166,182 du 20 février 1885) qui traitent le bois d'abord par l'acide nitrique ou nitreux, et ensuite par les alcalis.

M. Kellner vient d'installer à Hallein (petite ville peu éloignée de Salzbourg et connue pour ses importantes salines) dans une situation exceptionnellement favorable, une grande usine pour l'exploitation de ses nouvelles découvertes.

V. — Lavage, blanchiment, achèvement de la Cellulose.

Ces manipulations finales de la cellulose peuvent s'effectuer de bien des manières différentes, mais comme elles sont presque absolument indépendantes du procédé appliqué pour l'obtenir,

nous pouvons traiter ce sujet sans distinction d'origine.

Il y a cependant une exception pour le cas où, dans le procédé à la soude (ou au sulfate de soude), la cellulose est extraite du lessiveur encore plus ou moins chargée de lessive. Il peut alors être intéressant de séparer avant tout de la cellulose cette lessive, tout en l'étendant d'eau le moins possible. On obtient ce résultat soit avec le laveur méthodique Shank (voir page 77) soit avec celui de Lespermont qui au moyen de danaïdes et de tambours garnis de toiles métalliques fait marcher en sens inverse dans une série de fosses convenablement disposées, suivant le principe du contre-courant, la cellulose et les eaux de lavage. La lessive, ainsi obtenue à un degré de concentration qui a pour limite celui auquel elle se trouvait imprégner la cellulose, est renvoyée dans le circuit des lessives (voir page 154).

Lorsque les nœuds n'ont pas été enlevés par forage avant la réduction du bois en menus fragments ou par triage avant la cuisson, il faut qu' aussitôt après la vidange du lessiveur ils soient retirés à la main par des gamins ou des fillettes, opération particulièrement nécessaire quand le bois a été débité en disques. En ce cas ces jeunes ouvriers manipulent la cellulose sur une table, et, en serrant entre leurs doigts la matière friable, trouvent facilement tous les nœuds petits ou gros ou tout fragment qui n'aurait pas été suffisam-

ment désagrégé. Comme une certaine quantité de cellulose jaunâtre et un peu dure reste encore adhérente à ces nœuds, ils sont mis à part et ultérieurement repris pour la préparation d'une sorte inférieure ou troisième qualité.

Mais comme, en dépit de tout triage, on n'arrive jamais à enlever tous les nœuds, et comme une trituration énergique de la matière aurait pour effet d'en multiplier les fragments, on a dû s'ingénier à ne procéder à ce défilage qu'avec une grande précaution. L'appareil qui a donné à cet égard dans la pratique les meilleurs résultats est un moulin à maillets employé par Mitscherlich, qui désagrège la matière plutôt qu'il ne l'écrase, ainsi que le montre la description ci-après. La figure 42 en est une vue de côté, avec coupe partielle. Des chaises en fonte alignées, au nombre de sept par exemple, supportent l'arbre des cames qui fait environ 10 tours à la minute. Ces bâtis sont reliés entre eux par de fortes traverses de bois C'C'' et D'D'', qui servent en même temps de guides à une soixantaine de maillets placés sur un seul rang et atteignant presque le fond de la cuve de trituration, représentée en coupe en E. Cette cuve, longue d'une quinzaine de mètres, présente du point où elle commence à celui où elle finit une pente ascendante d'environ 0^m60. Les cames de

soulèvement sont calées sur l'arbre de telle façon que dans un tour les trois ou quatre maillets qui se succèdent immédiatement soient soulevés non pas en même temps, mais les uns après les autres et travaillent comme le montre la figure 43, qui représente une vue de face d'une partie de l'appareil. De cette manière le premier maillet qui s'abaisse à l'origine de la cuve pousse la matière vers le deuxième, celui-ci vers le troisième et ainsi de suite jusqu'à ce qu'enfin, entraînée en même temps par un courant d'eau continu elle atteigne, sous forme de bouillie claire, l'extrémité la plus élevée de la cuve. Les maillets ne vont, ainsi qu'il a été dit, pas tout à fait jusqu'au fond de la cuve ; ils ont un large sabot et sont dépourvus de tout mouvement latéral ; par conséquent lorsque l'un d'eux est en bas de sa course et que son voisin se soulève, la matière, chassée entre les deux, est facilement désagrégée sans que les fibres soient meurtries, sans que les nœuds ou les parties dures soient broyés.

La cellulose une fois triée est donc poussée par les ouvriers vers la partie la plus basse de la cuve, ou bien, lorsque le triage a lieu au premier étage, dans une grande trémie de bois qui alimente la cuve d'une manière continue. Un ouvrier est spécialement chargé de régulariser cette alimentation

ainsi que le courant d'eau, et doit de temps à au-

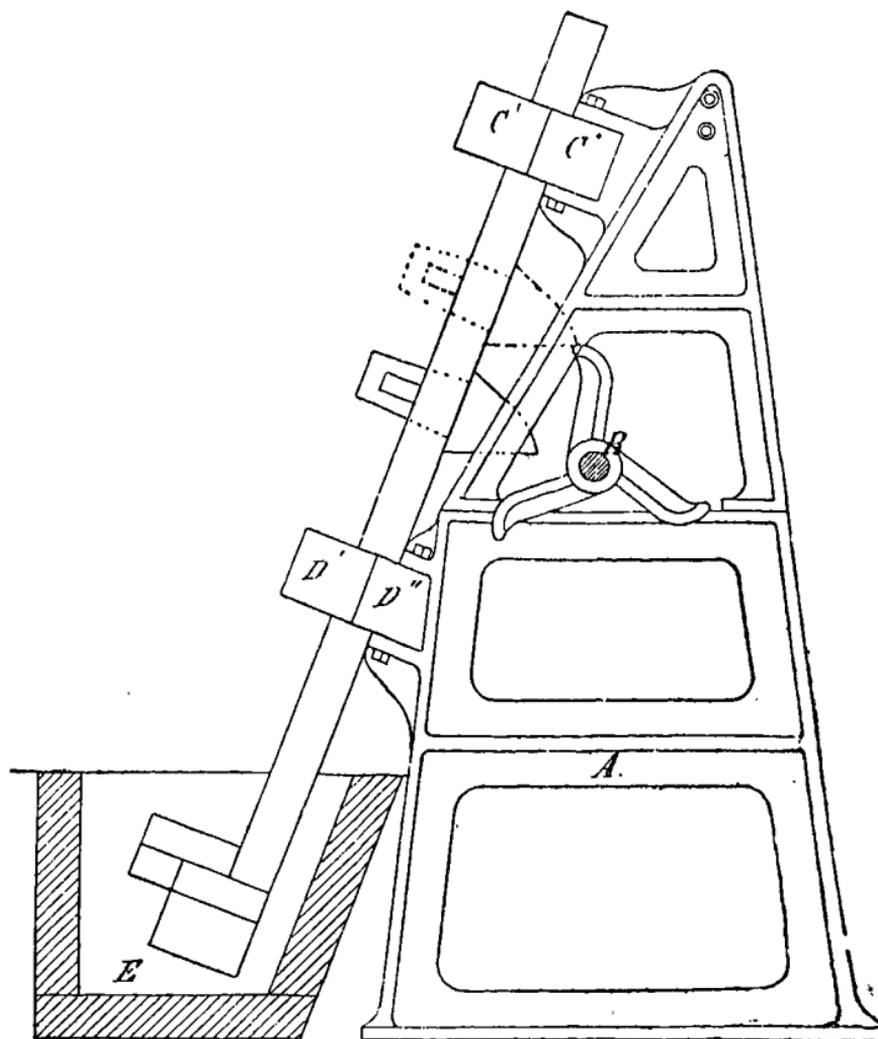


Fig. 42. — Moulin à maillets. Vue de côté.

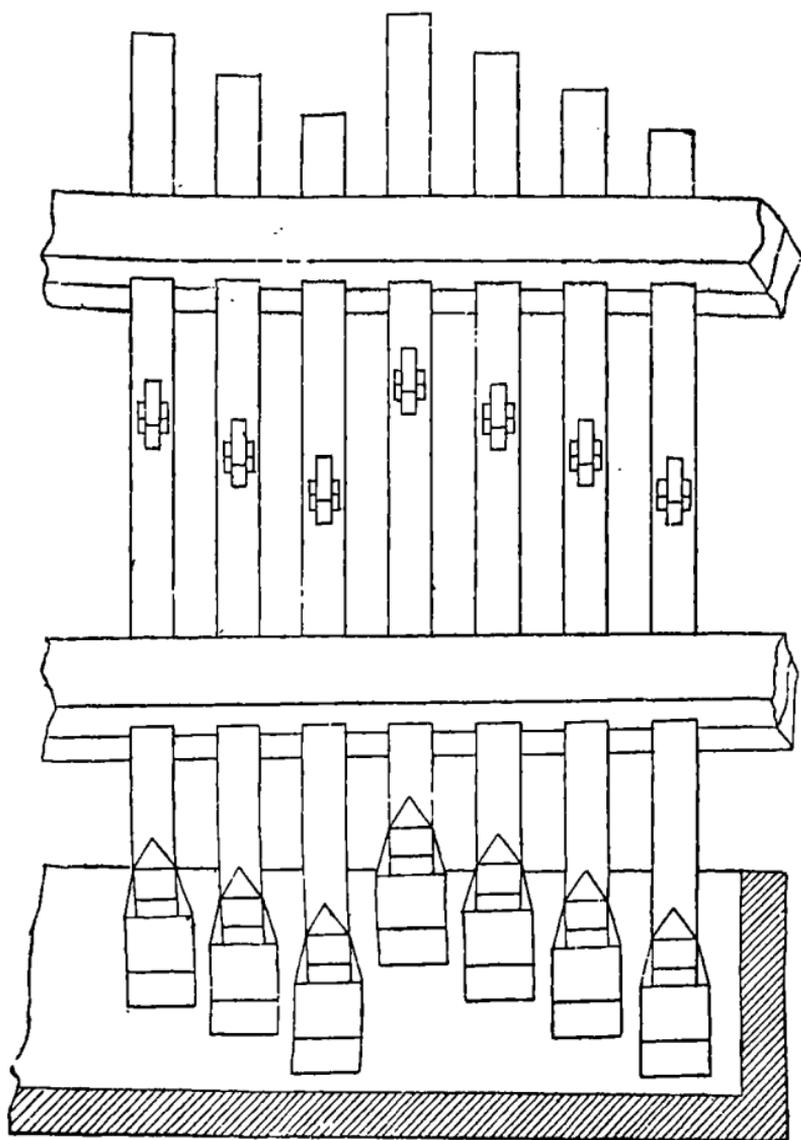


Fig. 43. — Moulin à maillets. Vue de face.

tre, au moyen d'une pelle, aider à la marche en avant de la matière dans la cuve. Suivant qu'à l'extrémité supérieure on donne plus ou moins d'ouverture pour l'écoulement, la cellulose reste moins ou plus longtemps dans la cuve et est plus ou moins travaillée en raison de la qualité que, d'après le résultat constaté de la cuisson, l'on se propose d'obtenir.

Une deuxième opération non moins nécessaire est le lavage à fond de la matière pour éliminer toute trace de lessive, c'est-à-dire d'acide sulfureux. Dans le système Mitscherlich, ce résultat s'obtient également non par des moyens violents, mais au moyen d'un ensemble de rigoles de lavage, qui, s'il exige beaucoup d'eau, produit un défilage et un lavage à fond très soignés, et en même temps, par lévigation, un classement en vertu duquel les fibres les plus fines arrivent au bout de l'appareil portées par le courant, tandis que les particules plus lourdes se déposent chemin faisant. Comme il convient naturellement de faire ces rigoles de lavage aussi longues que possible, on économise la place en en disposant deux l'une au-dessus de l'autre. On leur donne la forme qu'indique en coupe la figure 44. Elles consistent en un canal en bois ayant environ 1^m de largeur et 300^{mm} de profondeur ; le fond, tout à fait analo-

gue à celui des « sablières » des fabriques de papier, présente des parties rentrantes où se dépo-

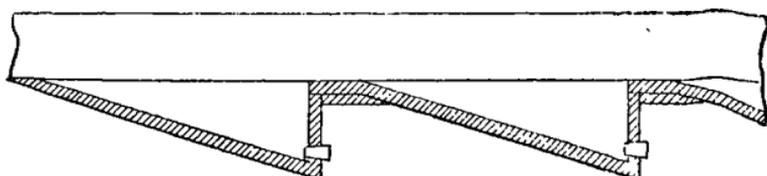


Fig. 44. — Rigole de lavage.

sent les nœuds, les parcelles de bois restées dures, les bûchettes. A des intervalles de temps déterminés on opère le nettoyage de la rigole en débouchant les trous pratiqués dans les parties rentrantes, et en laissant ainsi se vider tous ces dépôts.

Lorsque la matière sort de la cuve aux maillets elle est soumise à l'action d'un fort jet d'eau pure, qui a pour effet non seulement de la diluer, mais encore de diviser les amas de fibres encore adhérentes les unes aux autres, en sorte qu'elle ne présente plus que des fibres de cellulose librement en suspension dans l'eau. Souvent, pour opérer un meilleur brassage, on soumet la cellulose avant son arrivée dans la rigole à l'action d'un ou de plusieurs agitateurs ; ou bien l'on a recours à ce qu'on appelle une affleureuse, comme on le fait dans les papeteries qui travaillent avec des piles centrifuges ; ou bien enfin on laisse écouler la matière sur un simple épurateur formé de barreaux

de bois juxtaposés et animé d'un mouvement de trépidation.

Par toutes ces dispositions on arrive bien à séparer la chaux, le gypse et les parties de bois les plus grossières, mais les petites bûchettes qui ne sont à proprement parler que de petits faisceaux de fibres, des amas de cellulose encore imparfaitement désagrégée mais déjà attendrie, restent encore et doivent être retirées dans la mesure du possible. Cette tâche est dévolue à des épurateurs plats en nombre quelconque semblables à ceux des machines à papier. Il faut que la cellulose passe par les fentes étroites de ces épurateurs sous l'influence du mouvement de battement, c'est-à-dire de soulèvement et de chute dont ils sont animés, et de la succion qui en résulte. Une bonne installation de ce genre est représentée par les figures 45 et 46.

Un élévateur ou une vis d'Archimède remonte la pâte de la cuve aux maillets à la rigole de lavage en A. Le courant, très-étendu d'eau, suit la direction de la flèche, parcourt les différents compartiments, et arrive enfin dans un canal étroit B, d'où il se déverse sur 4 épurateurs plats battant de front. Au-dessous de ceux-ci il s'échappe dans le canal C pour aller aux presse-pâte.

On emploie beaucoup aujourd'hui pour la cellu-

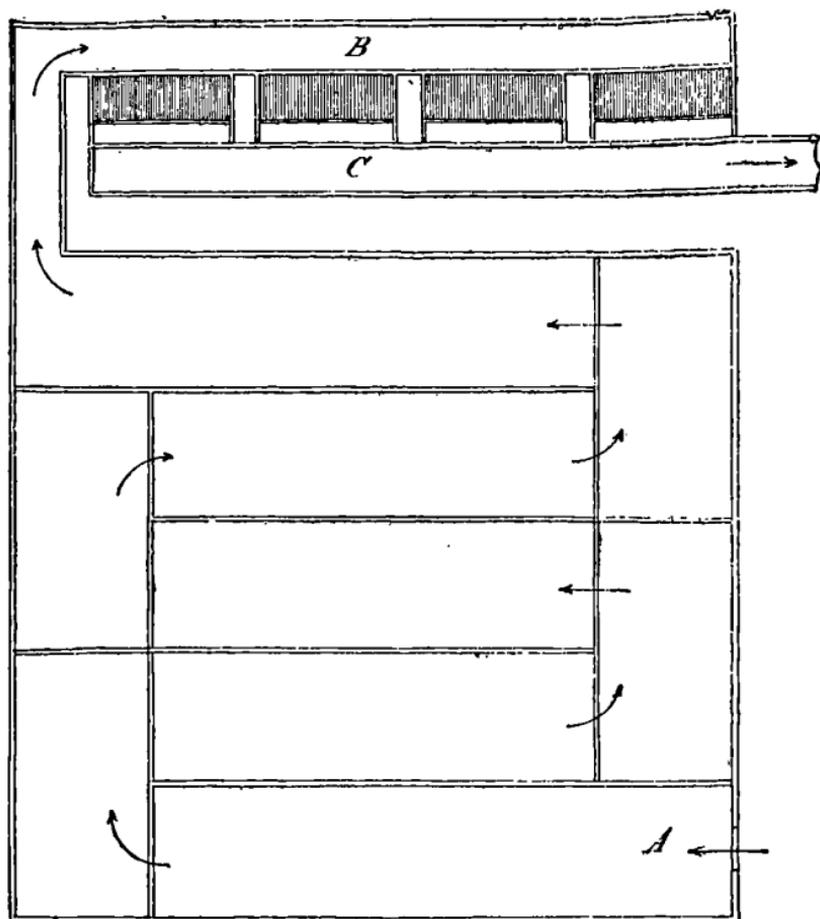


Fig. 45.

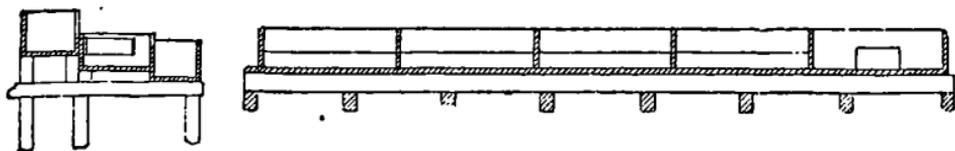


Fig. 46. — Système d'épurateurs plats pour l'enlèvement des bûchettes.

lose un épurateur de Wandel tout à fait analogue aux épurateurs rotatifs qu'on rencontre sous le même nom dans les papeteries. Il s'en distingue toutefois par cette modification avantageuse que le mouvement de battement imprimé par des roues à rochet est supprimé. Le cylindre *a*, garni de plaques à fentes très-fines que la cellulose traverse de dehors en dedans pour ressortir par les extrémités *c*, travaille complètement immergé et

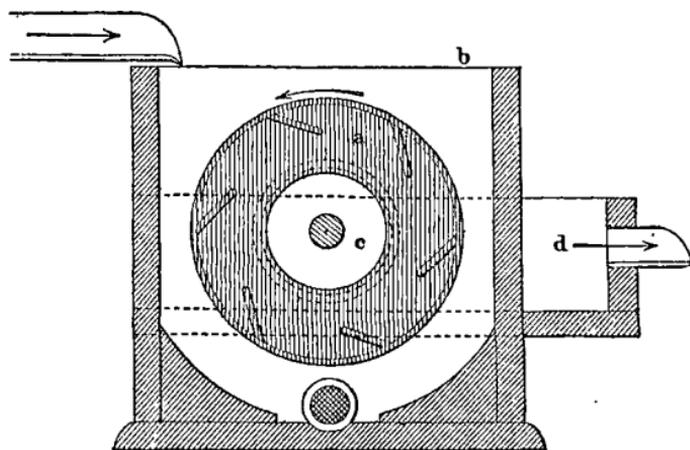


Fig. 46 bis. — Epurateur rotatif de Wandel pour la cellulose.

sans bruit. Il est muni intérieurement d'aubes ou palettes disposées de telle manière que, lorsque la vitesse de rotation atteint 40 ou 50 tours par minute, elles refoulent la matière fluide vers l'axe et

par conséquent vers les orifices d'évacuation, fig. 46 bis.

La cellulose, ainsi débarrassée aussi bien que possible des bûchettes par un ou plusieurs épurateurs est entraînée par le courant au presse-pâte. Cet appareil ressemble à une petite machine à papier, mais sa toile métallique sans fin est plus courte, tissée d'un fil plus fort et à mailles plus grosses, et elle ne reçoit pas de branlement. Au sortir de la presse humide (manchon), un feutre conduit comme de coutume cette espèce de carton sous une deuxième presse, serrée au moyen de vis ou de romaines, de manière à en exprimer le plus d'eau possible. La cellulose qui sort de cette deuxième presse et qui est alors bobinée en rouleaux, contient généralement environ 50 % d'eau mais très souvent davantage.

Après avoir été finalement enveloppé d'un bon papier de pliage et ficelé, ou avoir reçu tout autre mode d'emballage approprié, le produit est prêt pour l'expédition. Il faut toutefois prélever préalablement un nombre suffisant d'échantillons permettant de déterminer exactement le degré d'humidité moyen de chaque lot. Ce point est en effet d'une grande importance lorsqu'il s'agit de marchandises livrées à l'état humide et peut donner lieu à de fréquentes contestations,

La cellulose humide se travaille très facilement dans les papeteries. Néanmoins la plupart des fabriques de cellulose ont ajouté des cylindres sécheurs à leurs installations, transformant ainsi à peu de chose près leurs presse-pâte en véritables machines à papier, de manière à obtenir un produit, sinon tout à fait sec, au moins à 80 ou 90 % de siccité, ce qui diminue les frais de transport et leur permet par suite d'étendre leur rayon de vente. Cette dessiccation ne présente heureusement pas de trop grands inconvénients pour la papeterie, bien que la fibre y doive perdre un peu de sa qualité ; la cellulose se désagrège alors assez facilement encore dans l'eau et présente en outre au point de vue de l'acheteur l'avantage de pouvoir se conserver longtemps en magasin, sans qu'il y ait à craindre l'apparition des taches de moisissure qui se produisent si facilement dans la pâte de paille humide.

Plusieurs fabriques, qui expédient leur cellulose à l'état humide et qui tiennent à ne livrer à leur clientèle qu'un produit très-pur, pratiquent encore un épluchage après l'enroulement. Cette opération se fait sur un petit appareil dérouleur et rebobineur que représentent les figures 47 et 48. Un bâti de bois vertical porte plusieurs supports ; ceux du bas reçoivent l'axe du rouleau de cellulose à

éplucher B ; plus haut sont deux rouleaux guides

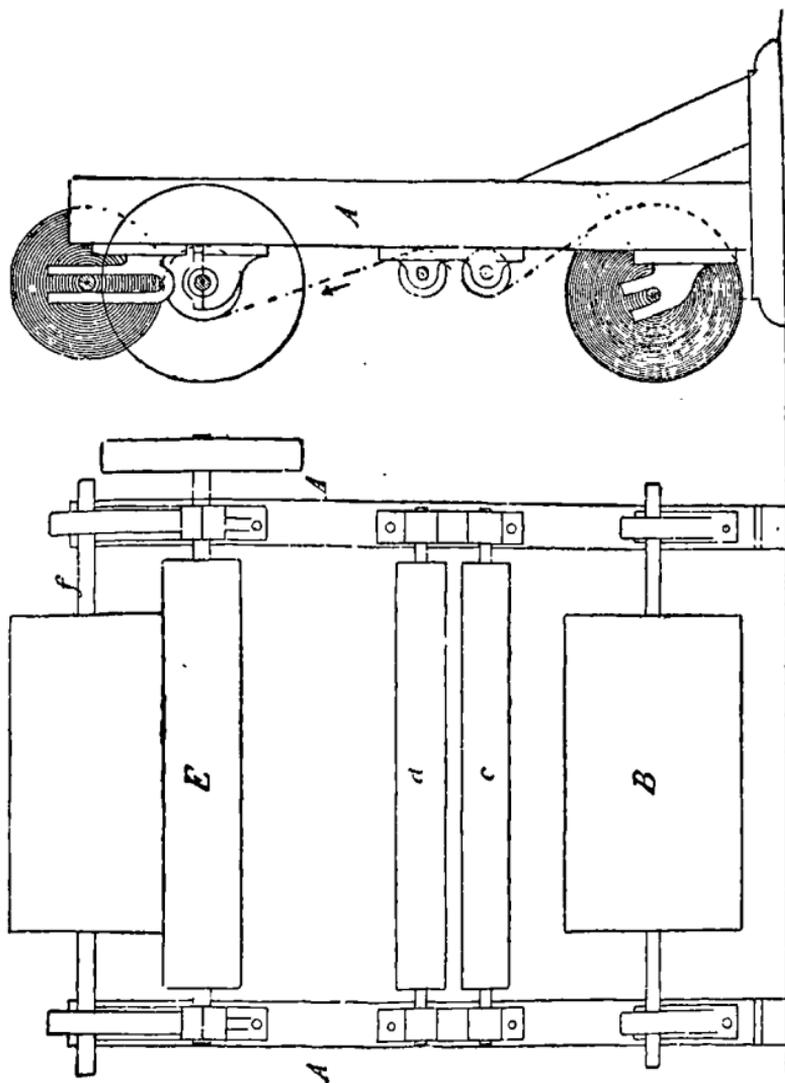


Fig. 47 et 48. — Appareil pour l'épluchage à la main de la cellulose en rouleaux.

C et D, et au-dessus de ceux-ci un fort rouleau de

bois E (de 200^{mm} de diamètre) reçoit d'une courroie un mouvement de rotation lent (8 tours par minute) et sert d'entraîneur pour la bobine que forme la cellulose en s'enroulant; l'axe du mandrin de cette bobine est maintenu à ses deux extrémités par des glissières verticales en forme de fourchette. Pour mettre l'appareil en fonctionnement, on place un rouleau sur les supports du bas, on fait passer la feuille continue entre les rouleaux guides, on l'amène sur le rouleau E en l'engageant autour de l'arbre *f*, et le bobinage commence lentement, généralement sur 1^m de largeur, dans la direction de la flèche, tandis que le rouleau B se débobine. Des deux côtés se tiennent des fillettes qui enlèvent à la main au passage toutes les impuretés ou les trop grosses bûchettes. Lorsque les ouvrières sont attentives ce travail donne de bons résultats, mais la main d'œuvre en est fort élevée, car il faut avoir simultanément en marche plusieurs appareils de ce genre, à raison de 3 au moins pour 1 lessiveur, et l'on fait un déchet d'environ 15 % qui naturellement est repassé dans la seconde qualité.

Beaucoup de fabriques vendent une partie de leur production à l'état de cellulose blanchie. Rien n'est pour cela changé aux opérations que nous avons décrites, jusqu'au passage au presse-pâte ou

à l'épluchage. Le blanchiment se fait le plus souvent dans une pile blanchisseuse ordinaire. Cette pile doit être aussi grande que possible, soit d'une contenance d'au moins 300 kilos. Après l'avoir à peu près remplie d'eau, on la chauffe doucement à la vapeur, puis d'une caisse en bois placée à proximité et contenant la dose voulue ($1/2$ mètre cube pour la quantité de matière indiquée), on y laisse couler la dissolution préparée de chlorure de chaux. Alors seulement on commence à fournir avec de la cellulose des rouleaux humides que l'on développe ou que l'on fend sur toute leur longueur. Le blanchiment prend à peu près 3 heures; on le fait suivre d'un lavage qui dure 1 heure, puis on descend la cellulose dans le cuvier, d'où elle passe sur le presse-pâte et ensuite au bobinage ainsi qu'il a été dit.

Au lieu de recourir au chlorure de chaux, on peut opérer le blanchiment par le procédé électrolytique de E. Hermite, qui fonctionne déjà dans plusieurs fabriques de cellulose et donne, dit-on, une économie d'au moins 50 % sur les agents décolorants.

Ce procédé est basé sur les opérations suivantes :

Quand on électrolyse une dissolution de chlorure de magnésium du commerce, ou une dissolution

de sel marin, contenant du chlorure de magnésium, dans un appareil convenable, *le chlorure de magnésium est décomposé en même temps que l'eau.*

Le chlore provenant du chlorure de magnésium et l'oxygène provenant de l'eau, qui prennent naissance à la faveur de l'électrolyse, se réunissent au pôle positif et produisent *un composé oxygéné du chlore, instable*, qui est doué d'un très grand pouvoir décolorant. L'hydrogène et le magnésium vont au pôle négatif ; ce dernier décompose l'eau et forme de l'oxyde de magnésium en dégageant de l'hydrogène.

Si l'on introduit dans ce liquide des fibres végétales colorées, l'oxygène se combine avec la matière colorante qu'il oxyde pour donner naissance à de l'acide carbonique ; le chlore se combine à l'hydrogène pour former de l'acide chlorhydrique, lequel, se trouvant en présence de la magnésie dans le liquide se combine avec elle pour *reformer le chlorure de magnésium primitif*. C'est un cycle complet de réactions qui se reproduit aussi longtemps que le courant électrique agit sur la solution *en présence de la matière colorante*. Ce cycle, qui est parfait, se compose de quatre éléments : le courant électrique, — le chlorure de magnésium, — l'eau et la matière colorante. Deux de

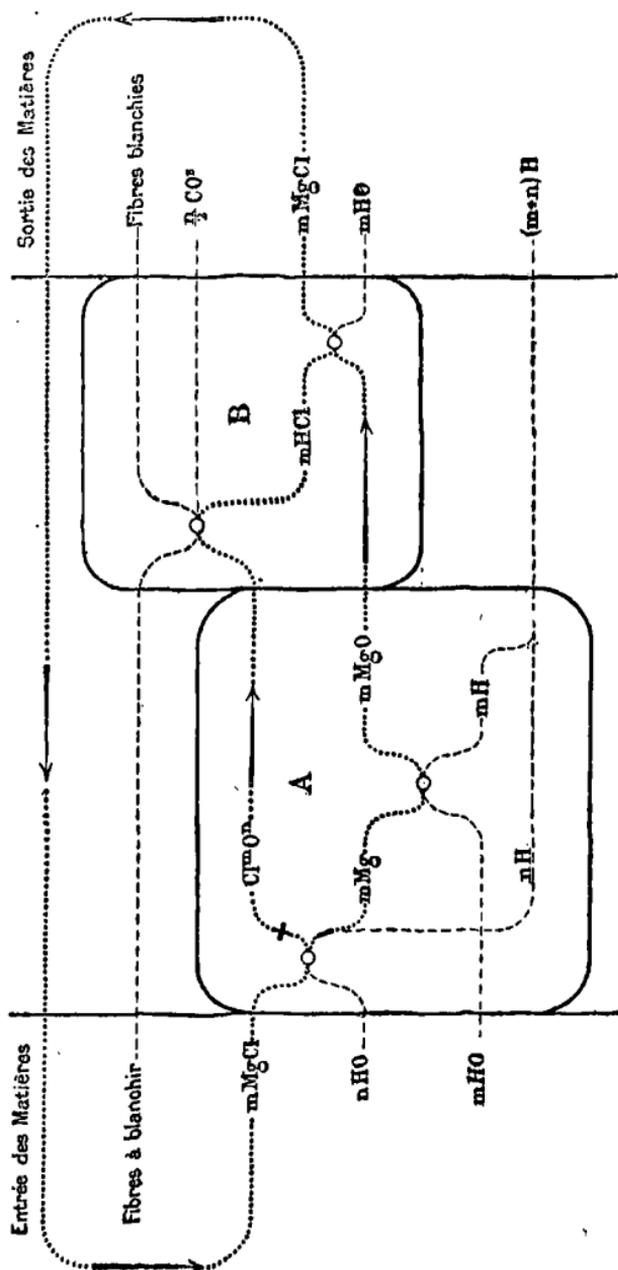


Fig. 48 bis. — Tableau théorique des réactions qui se produisent dans le blanchiment Hermite.
A. Electrolyseur. — B. Cuve de blanchiment.

ces éléments seulement servent à détruire la matière colorante, le courant électrique, ou, ce qui est la même chose, *la force motrice*, et l'eau. Ainsi le chlorure de magnésium sert *indéfiniment*. Il y a seulement un simple déplacement de molécules, et le chlore agit comme véhicule pour transporter l'oxygène naissant sur la matière colorante.

On peut aussi employer un mélange de chlorure de magnésium et de chlorure de sodium. Le chlorure de magnésium fait le travail chimique et le chlorure de sodium sert de conducteur.

Il est démontré que ce procédé décolore plus rapidement que le chlorure de chaux ordinaire, et Permite revendique pour lui les avantages suivants :

1° Il permet à chaque blanchisseur de produire lui-même son agent décolorant sans dérangement sensible ni interruption dans les travaux de son usine ;

2° L'agent décolorant obtenu est pur et ne laisse aucun résidu ;

3° Il possède un pouvoir décolorant beaucoup plus grand que le chlorure de chaux ;

4° Son action sur les fibres est plus rapide, plus régulière et beaucoup moins dangereuse, à cause de l'absence de la chaux ;

5° L'économie qui résulte de son emploi est considérable.

LAVAGE, BLANCHIMENT, ACHÈVEMENT.

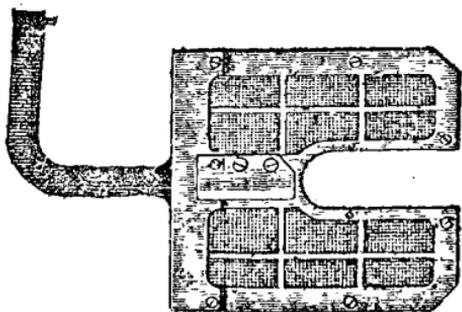


Fig. 48 ter.

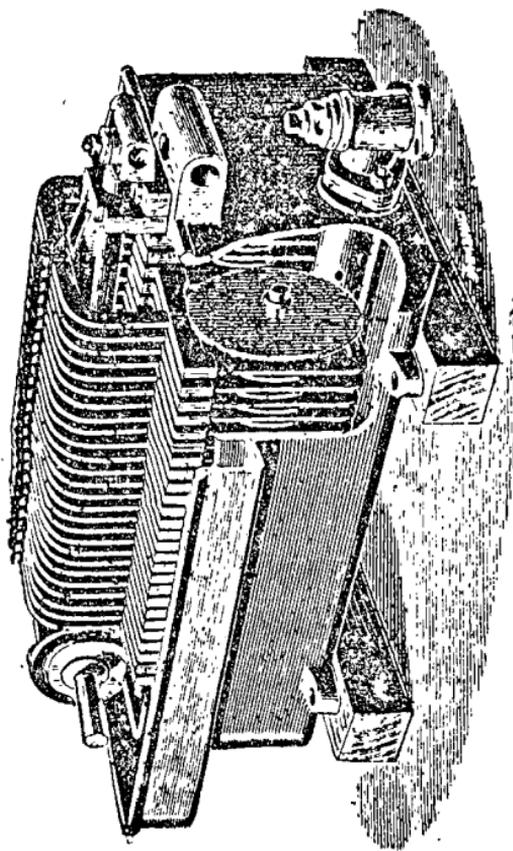


Fig. 48 bis.
Electrolyseur pour le blanchiment système Hermite.

6° Son prix est aussi constant que possible.

Il ne se perd de chlorure de magnésium que la quantité contenue dans l'eau restant dans la pâte pressée.

Un presse-pâte ordinaire donne de la pâte contenant par 100 kilos, 40 kilos de pâte sèche et 60 kilos d'eau. Donc pour 100 kilos de pâte sèche on perd 150 kilos de dissolution de chlorure de magnésium contenant 0 k. 750 de cette substance et 7 k. 50 de chlorure de sodium.

L'électrolyseur consiste en une cuve en fonte galvanisée, où pénètre et se prolonge un tube perforé muni d'un robinet en zinc, pour l'introduction du liquide. Le haut de la cuve est muni d'un rebord formant canal ; le liquide déborde dans ce canal et s'en va par un tuyau, fixé du côté opposé au robinet d'admission. On obtient ainsi une circulation continue.

Les électrodes négatives sont formées par un certain nombre de disques en zinc montés sur deux arbres qui tournent lentement. Entre chaque paire de disques en zinc sont placées les électrodes positives, dont la surface active est constituée par de la toile de platine tendue sur un cadre en ébonite. La partie supérieure des toiles de platine est soudée à une pièce de plomb et parfaitement isolée.

Chaque cadre ou électrode positive communi-

que par la pièce de plomb à une barre de cuivre qui traverse l'électrolyseur ; le contact est fait au moyen d'un écrou, et chaque électrode peut être enlevée en marche sans gêner le bon fonctionnement de l'appareil. Cette barre de cuivre, à laquelle sont fixées les électrodes positives, est en communication avec le pôle positif de la dynamo.

Afin de maintenir les électrodes négatives parfaitement propres, des lames flexibles en ébonite sont placées sur les plaques positives ; ces lames pressent contre les disques en zinc, et comme ces disques tournent lentement, tout dépôt se trouve détaché.

À la partie inférieure de la cuve en fonte se trouve une porte que l'on peut ouvrir pour le nettoyage ; un robinet permet de vider l'appareil quand c'est nécessaire.

Quand on emploie plusieurs électrolyseurs, on les monte en tension, c'est-à-dire que l'on fait communiquer le pôle positif du premier avec le pôle négatif du second et ainsi de suite.

On fait généralement passer dans les électrolyseurs un courant de 1000 à 1200 ampères avec une force électromotrice de 5 volts.

L'inventeur garantit par chaque électrolyseur avec un courant de 1000 ampères l'équivalent du pouvoir décolorant de 100 kilos de chlorure de

chaux, la force motrice employée étant, sur l'arbre de la dynamo, de 9 chevaux pendant 24 heures.

La diagramme fig. 49 permet de se rendre compte de la réalisation du procédé.

Le liquide, contenant une petite quantité de magnésie libre, passe de la cuve A dans un ou plu-

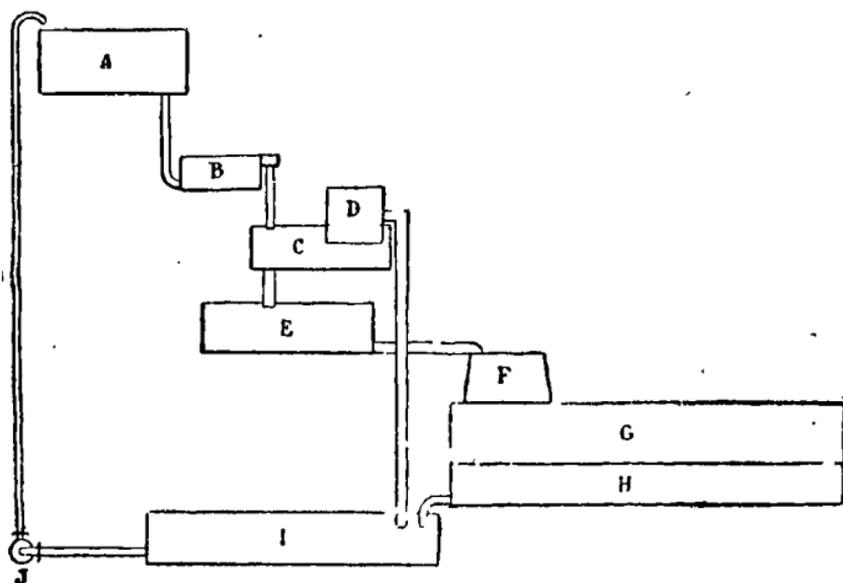


Fig. 49. — Schema d'une installation de blanchiment système Hermite.

sieurs électrolyseurs B, et se rend dans la ou les piles blanchisseuses C, pour agir sur la pâte à blanchir. Le tambour laveur D extrait le liquide de la pâte et l'envoie dans une cuve E d'où la pompe centrifuge J le remonte dans la cuve A. On obtient

ainsi une circulation continuelle et l'on maintient sensiblement constant le titre blanchissant de la liqueur.

Quant la pâte est arrivée à un certain degré de blancheur, on la descend, avec le liquide contenu dans la pile, dans la cuve G où elle achève de se blanchir, et d'où elle se rend sur un presse-pâte. Le liquide qui s'écoule de la pâte pendant son passage sur le presse-pâte tombe dans la cuve E, d'où la pompe centrifuge J le remonte dans la cuve A.

Il est nécessaire d'avoir toujours un excès de magnésie libre dans la dissolution de chlorure de magnésium pendant le blanchiment, afin de maintenir cette dissolution neutre.

On prépare cette magnésie des deux manières suivantes :

1° Dans une cuve verticale à moitié pleine d'une forte dissolution de chlorure de magnésium, on ajoute une quantité suffisante de lait de chaux ; la chaux déplace la magnésie qui se précipite à l'état gélatineux, tandis que le chlorure de calcium formé reste en dissolution. On laisse bien déposer la magnésie et l'on enlève la dissolution du chlorure de calcium au moyen d'un siphon ; cette dissolution est perdue. On lave la magnésie deux ou trois fois avec de l'eau pure et elle est alors prête pour l'usage. On prépare le lait de chaux dans une cuve

spéciale munie d'un tambour à toile très fine. Ce tambour enlève le lait de chaux en laissant dans la cuve le sable et toutes les impuretés.

2° On précipite une dissolution concentrée de chlorure de magnésium par une dissolution de soude caustique jusqu'à précipitation complète, mais en laissant un léger excès de chlorure de magnésium afin d'être certain de n'avoir pas d'excès de soude caustique. Cette dernière méthode est la meilleure, car on n'a pas besoin de laver la magnésie, le chlorure de sodium qu'elle renferme n'offrant aucun inconvénient.

Dans les fabriques où le bois est divisé avant la cuisson à la machine à déchiqueter, les morceaux qui restent après le lessivage, fussent-ils même encore un peu durs, ne sont jamais très gros ; dès lors non seulement on n'a plus de parties de rebut, mais on peut encore épargner le travail du moulin à maillets et de la rigole de lavage, en faisant passer immédiatement à la meule le contenu du lessiveur. De la meule la cellulose passe dans une cuve où la pâte est éclaircie par une addition d'eau, et de cette cuve elle est remontée par une pompe dans une pile. Là elle subit plutôt un barbotage qu'une trituration proprement dite, et elle est souvent traitée par un peu d'acide muriatique

étendu qui lui donne plus de blancheur. Elle passe ensuite au presse-pâte et à l'emballage. Comme par cette méthode les nœuds, à moins qu'on n'ait procédé à une sérieuse préparation du bois, ne sont pas du tout enlevés, l'on n'obtient naturellement pas une cellulose de toute première qualité.

Pour tirer le meilleur parti possible des nœuds et de la cellulose qui y reste adhérente, nombre de fabriques ont encore recours à la meule qui, travaillant ensemble tous les déchets ainsi que les nœuds, arrive tout au moins à réduire ceux-ci en très-petits fragments. La matière ainsi passée à la meule et égouttée aussi bien que possible est chargée à la pelle dans un tambour cribleur, incliné, animé d'un mouvement de rotation très rapide ; toute la cellulose utilisable traverse le crible, tandis que les morceaux plus gros et plus durs sortent par l'autre extrémité. La pâte ainsi obtenue est naturellement de très basse qualité, mais elle trouve son emploi dans les fabrications inférieures, papiers communs, etc., etc.

Aux moyens de défibrage usités jusqu'ici et décrits ci-dessus, on peut ajouter celui qu'ont fait breveter C. Klein et Ernest Kirchner (D. R. P. 36,473), dans lequel une barbote à rotation rapide, ou quirl, est reliée à un système d'installation perfectionné. Voici la description qu'en donne la *Papier-*

Zeitung, année 1886, page 1332 : la cellulose, lavée sommairement dans le lessiveur ou dans des rigoles appropriées, est, soit égouttée et humide, soit modérément additionnée d'eau, amenée par la trémie T et l'hélice B à un quirl, s'élargissant vers l'extrémité opposée, et faisant environ 300 tours par minute. Le quirl se meut dans une caisse entièrement fermée, s'élargissant de la même manière que lui, mais à section carrée avec angles arrondis. La matière plus ou moins humide, amenée d'une façon régulière par T et B, est, lorsque la cuisson l'a parfaitement ramollie, réduite par l'agitateur du quirl à l'état de bouillie floconneuse tandis que les parties imparfaitement cuites et restées dures sont complètement dépouillées de toute bonne fibre, mais, à part cela, restent intactes. La disposition hélicoïdale des bras et l'élargissement de la caisse vers l'extrémité impriment peu à peu à la matière un mouvement de translation vers l'ouverture pratiquée à la partie évasée, où les bonnes fibres mêlées aux impuretés sortent du quirl, pour être conduites par un tuyau de descente, comme le dessin l'indique, ou par des moyens de transport appropriés, aux appareils de lavage et de purification. Là la cellulose, qui est sous forme floconneuse ou à l'état de bouillie épaisse, est abondamment étendue d'eau par le tuyau perfo-

ré supérieur E, défibrée de nouveau par le moulin C, qui fonctionne immergé et qui laisse encore intactes les grosses impuretés. Celles-ci se déposent dans la partie profonde D et y sont dépouillées des dernières bonnes fibres qui pourraient y être restées adhérentes par l'eau que projettent les tuyaux rinceurs inférieurs E, et de là un mécanisme II, analogue aux pompes à chaîne, les rejette dans une caisse latérale. Les impuretés légères qui flottent dans le courant sont retenues par des grilles transversales en D. Les quelques parties lourdes que le courant et les remous ont entraînées se déposent, rincées par un nouvel afflux d'eau dans les rigoles F et II, d'où elles sont rejetées de la même manière. La cellulose, alors extrêmement diluée, passe à la sablière K, de construction connue, et est énergiquement lavée et concentrée par un ou plusieurs tambours laveurs L, disposés dans des parties plus profondes de la canalisation, puis elle est bien battue à une vitesse modérée par un tambour muni de râteaux, dont les dentures traversent celles d'autres râteaux fixes, de manière à bien diviser les fibres.

A la sortie des râteaux la cellulose est de nouveau diluée par l'eau s'échappant à jets multiples d'un tuyau, traverse une nouvelle sablière K', et plusieurs rigoles transversales N, où elle reçoit les

jets d'eau de plusieurs tuyaux rinceurs de fond G, ce qui produit un nouveau lavage et le dépôt des parties lourdes s'il en reste, tandis que les bonnes fibres sont entraînées par le courant. Ces dernières passent encore à une sablière, à un ou plusieurs tambours laveurs qui les relavent énergiquement, et arrivent enfin soit au presse-pâte, soit aux caisses d'égouttage, soit à la pile.

Les bûchettes et les amas de fibres non désagrégées étant en général assez larges mais plats et minces sur un sens, traversent facilement les fentes mêmes fines des épurateurs, aussi est-il bon de faire passer la pâte à un raffineur dont la taille présente des rainures demi-rondes de 1 centimètre de profondeur. Ce raffineur désagrège parfaitement les bûchettes, et, lorsque le travail est bien conduit, égalise les fibres sans les énerver. Lorsque la matière est bien raffinée elle est de plus très-facile à blanchir, et peut alors être employée dans les meilleurs papiers.

Bien que le lavage des pâtes à la soude et des pâtes au bisulfite se fasse par les mêmes procédés et de la même manière, bien que pour les unes comme pour les autres le blanchiment exige la disparition préalable de toute trace de lessive, l'eau employée à cette opération ne joue pas exactement le même rôle dans les deux cas.

Dans le traitement alcalin la résine est saponifiée et rendue soluble ; l'eau agit donc surtout comme dissolvant des matières à éliminer. Dans le procédé au bisulfite au contraire la résine déplacée reste adhérente aux fibres à l'état de composé insoluble et l'eau doit l'éliminer par entraînement. Il y a de plus les dépôts de monosulfite de calcium et de sulfate de chaux qui adhèrent aux fibres et sont assez peu solubles pour qu'à leur égard encore on puisse assigner un certain rôle mécanique à l'action de l'eau.

Un lavage très soigné est donc un facteur important de la qualité d'une pâte au bisulfite écrue, et quand on a en vue l'opération du blanchiment, c'est une condition indispensable de succès. C'est aussi, en raison du déchet qui en résulte, une augmentation du prix de revient, et un des éléments de l'écart de prix d'une dizaine de francs qu'on trouve généralement entre les pâtes 1^{re} écruës et les pâtes 1^{re} blanchies d'une même marque. Quelle que soit l'importance qu'on attache avec raison au lavage de la pâte écrue on a cependant avantage à ne pas le pousser trop loin, car en achevant d'éliminer les matières insolubles peu ou point nuisibles pour beaucoup d'emplois, on perd toujours une certaine quantité de fibres. Pour la pâte blanchie au contraire, il faut passer outre à toute considération de ce genre et donner un lavage parfait. C'est un point que les fabricants de papier qui achètent de la pâte écrue pour la blanchir eux-mêmes ne doivent pas perdre de vue. Le déchet résultant du lavage préalable qu'ils doivent lui faire subir variera évidemment avec le lavage que cette pâte aura reçu en fabrique, mais il peut très bien se faire qu'il atteigne et même dépasse 10 %.

VI. — Eaux-vannes et leur purification,
émanations insalubres, mesures préventives,
prescriptions légales.

Les difficultés de la fabrication même de la cellulose, l'action destructive de l'acide sulfureux sur

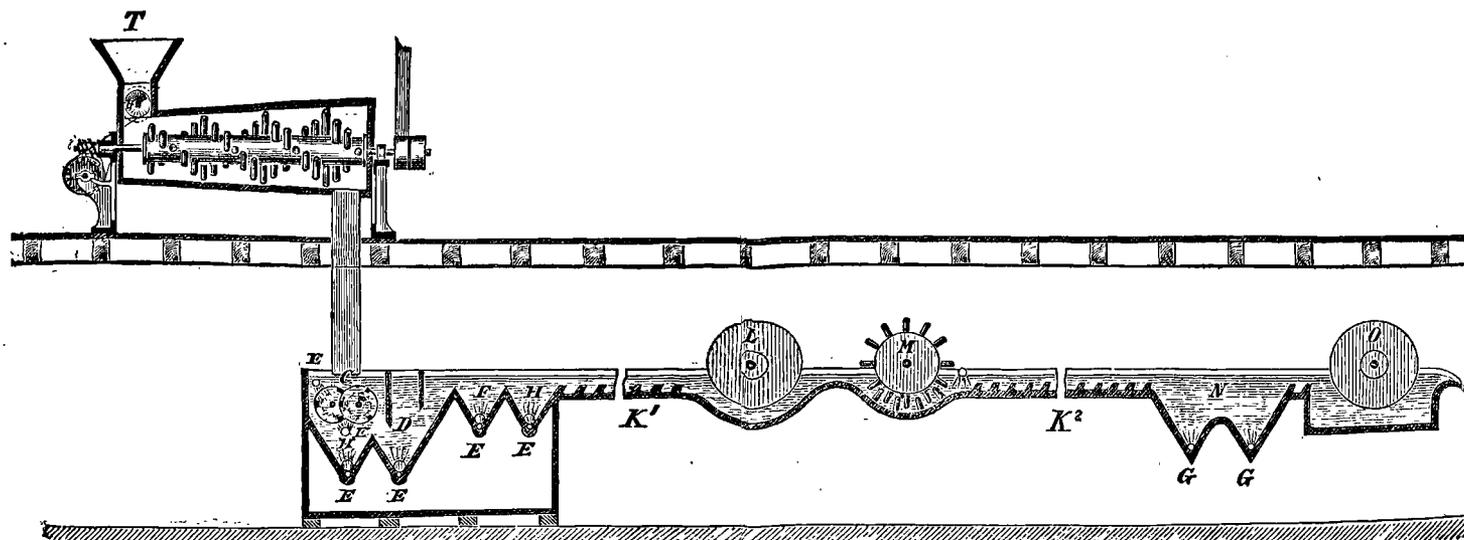


Fig. 50. — Installation de Klein et Kirchner pour le défilage et le lavage de la cellulose.

les pièces de fer et sur les lessiveurs, les effets nuisibles des émanations des tours sur la végétation des propriétés voisines, tous ces ennuis, toutes ces difficultés ne sont rien auprès du souci que

causent au fabricant les eaux vannes de son usine, lorsque celle-ci ne se trouve pas dans une situation propice pour s'en débarrasser facilement et, autant que possible, sans attirer l'attention. La quantité des eaux de lessive, de rinçage et de lavage dont l'écoulement s'impose est si grande, la

proportion d'acide sulfureux qu'elles contiennent encore si forte, sans parler de leur couleur noirâtre et de leur odeur désagréable, qu'on ne peut, à moins d'avoir un grand cours d'eau à sa dispo-

sition, les déverser librement. Encore en ce cas la chose ne va-t-elle pas sans plaintes, procès et indemnités, car les poissons sont tout particulièrement impressionables à l'acide sulfureux, dont les moindres traces sont pour eux mortelles. Il faut donc avant tout, lorsqu'on veut installer une fabrique de cellulose, examiner si l'on a pour l'écoulement des eaux vannes les facilités nécessaires, soit parla nature perméable du sol, soit par la proximité d'un cours d'eau large et rapide ; encore en ce cas faut-il faire bien attention à ce qu'il reçoive les eaux vannes en aval et non en amont d'une ville, autrement on se lancerait dans des ennuis et des difficultés interminables.

Un lessiveur du système Mitscherlich, que l'on s'en rende bien compte, évacue tous les 4 jours et demi 60 mètres cubes de lessive ayant servi, autant d'eau de rinçage, sinon plus, enfin des quantités encore bien plus considérables d'eau de lavage. Il faut de plus remarquer que la lessive s'échappe encore bouillante et l'eau de rinçage encore assez chaude. Voici, pour donner un exemple, les résultats de l'analyse de 1 litre de lessive noire :

Acide sulfureux	3 ^{gr} , 86
Acide sulfurique	7, 33
Chlore	0, 29

Le résidu, desséché à 110° pesait 109 gr., et a donné après calcination au rouge vif un résidu de 19 gr. qui contenait.

Oxyde de fer	0 ^{gr} ,02
Chaux	10,30
Magnésie	0,30
Potasse	0,28
Soude	0,10

Il y a donc dans un litre de lessive noire 90^{gr} de matières organiques ; dans 1 mètre cube 90 kilos et dans les 60 mètres cubes représentant le contenu d'un lessiveur l'énorme masse de 5400 kilos. Ce résultat serait pour surprendre, si l'on n'avait bien constaté, comme l'a fait l'auteur lui-même dans de nombreux essais, que pour 100 kilos de cellulose il faut 291 kilos de bois à siccité absolue. On en perd donc environ les deux tiers par les nœuds, les déchets de fibres entraînées en cours de fabrication, et les matières incrustantes qui se retrouvent dans la lessive.

Une pareille quantité de matières organiques, qui donne à la liqueur une coloration d'un brun foncé, doit naturellement, même abstraction faite de la teneur en acide sulfureux et en acide sulfurique, vicier gravement le cours d'eau qui la reçoit, et dans le cas, bien plus fréquent, où les lessives sont déversées dans un étang creusé pour cet usa-

ge, elle imprègne rapidement tout le sol aux alentours de la fabrique. Là elle ne tarde pas à se corrompre et répand partout où elle se fait jour une odeur insupportable. Il va de soi que par cette pénétration dans le sol, par cette infiltration dans tous les joints des maçonneries, toutes les sources du voisinage, servant tant aux usages domestiques qu'à fournir l'eau de fabrication, sont bientôt infectées ; il faut donc prendre toutes les mesures possibles pour en assurer l'isolement complet. Le mieux à cet égard est, lorsqu'on procède au choix et à l'achat d'un emplacement pour y installer une fabrique de cellulose, de faire en sorte, à défaut d'une situation sur un grand fleuve, d'occuper un terrain offrant une pente assez prononcée pour recevoir d'amont l'eau de fabrication et déverser en aval les eaux-vannes dans des conditions favorables à leur rapide éloignement ou à leur filtration.

Il arrive encore dans le cas de décharge dans un cours d'eau, que celui-ci n'est pas assez considérable pour qu'on y puisse déverser directement d'un seul coup toute une lessive. Alors comme le lâcher des lessives n'a lieu qu'à des intervalles déterminés, il faut répartir tous ces afflux périodiques en un mince filet de débit régulier qui s'écoulera soit continuellement, soit seulement pen-

dant la nuit, résultat que l'on obtient très bien au moyen d'une vanne dont l'ouverture est réglée par un flotteur.

On distingue trois sortes d'eaux vannes : les lessives noires, l'eau de rinçage et l'eau de lavage. Les deux premières doivent tout d'abord être refroidies. On construit donc de grands bassins en maçonnerie, enduits ou non de ciment, ou bien l'on creuse des mares vastes et profondes, pour y déverser, soit séparément, soit ensemble, l'eau des lessives noires et l'eau du rinçage. Mais comme ces eaux fumantes renferment encore pas mal d'acide sulfureux, qui, en se répandant librement dans l'air, empesteraient tout le voisinage et en ferait souffrir la végétation, il faut que ces bassins soit couverts. On dispose donc au-dessus des dosses qui sont portées sur des traverses, et sur lesquelles on entasse une double couche, de déchets d'écorçage d'abord, de terre ensuite. Ce mode de couverture est suffisant et d'un entretien facile.

Quant à l'eau de lavage, qui ne contient que des traces d'acide sulfureux, il suffit généralement de lui faire suivre un parcours assez long dans des bassins munis de chicanes. Elle y dépose d'abord les parcelles de cellulose échappées aux ramasse-pâte qu'elle a dû préalablement traverser. Ces ramasse-pâte peuvent être des appareils rato-

tifs du modèle ordinaire, ou bien encore de grandes caisses plates, garnies d'une fine toile métallique. Il est bon de mettre dans les premiers compartiments des bassins des bourrées qui retiennent facilement les fibres de cellulose et dans un compartiment plus éloigné de la pierre à chaux, mêlée d'oxyde brun de manganèse, assurant une suffisante neutralisation de l'eau qui la traverse.

Si le cours d'eau sur lequel se trouve la fabrique de cellulose n'a qu'un débit insignifiant, on ne saurait y lâcher la totalité des eaux-vannes sans provoquer des récriminations et des plaintes telles que l'intervention administrative ne se ferait pas attendre. Malheureusement il est extrêmement difficile de rendre inoffensives les vapeurs sulfureuses. Les divers essais faits par les chimistes, ainsi que les méthodes de filtration appliquées avec succès aux eaux-vannes provenant de la fabrication d'autres matières, ont échoué et ne sont pas même parvenues à enlever aux lessives leur désagréable couleur brune. Là donc où l'écoulement direct dans un cours d'eau n'est pas possible et où la filtration à travers un sol siliceux ne produit pas un effet suffisant, on en est réduit à creuser des puits profonds, atteignant la nappe aquifère inférieure, et à y précipiter les lessives refroidies, et, s'il y a lieu, les eaux de rinçage. Encore ne peut-on user de

cet expédient que dans une fabrique assez isolée, et lorsque les lieux habités et les sources ne se rencontrent dans le sens de l'écoulement de la nappe souterraine qu'à une grande distance.

Même dans ce cas il faut avoir recours à la neutralisation. Voici une méthode agréée en Allemagne par l'administration et ayant fait ses preuves dans une pratique de plusieurs années pour le cas où la lessive et l'eau de rinçage sont conduites par des puits à la nappe aquifère inférieure, tandis que l'eau de lavage est lâchée dans le cours d'eau : on installe dans l'intérieur de la fabrique, au lavage par exemple, et le plus haut possible, 3 cuiviers de tôle ou de bois, munis de tuyaux d'alimentation d'eau, d'un chauffage à la vapeur, et d'agitateurs ou bien d'injecteurs Kœrting qui brassent énergiquement le liquide. Dans le plus grand des cuiviers, d'une contenance d'au moins 4 mètres cubes, on met du lait de chaux, dans le second du ferrite et dans le troisième de l'aluminate de soude en dissolution, et ces trois liquides sont maintenus constamment en mouvement soit par les agitateurs soit par les injecteurs. Une conduite d'environ 50^{mm} de diamètre, avec robinet de barrage, va du cuvier de lait de chaux au point où l'eau de lavage entre dans la fosse destinée à la recevoir. En ouvrant convenablement le robinet, on dirige dans

cette eau un jet de lait de chaux qui se mêle intimement avec elle. Les conduites qui partent des deux autres cuviers débouchent dans un point du bassin un peu plus éloigné et laissent constamment couler en filets minces les deux autres dissolutions dans l'eau-vanne déjà neutralisée par le lait de chaux. L'eau de lavage prend ainsi sur une longueur d'au moins 100 mètres, à travers un ou plusieurs bassins profonds, un cours très lent, qui permet à la chaux de se déposer en partie avant que l'eau de lavage purifiée arrive au cours d'eau. Il est bien constaté que ce procédé assure l'innocuité complète des eaux de lavage : ainsi traitées elles peuvent rester stagnantes des semaines entières sans se corrompre et sans dégager aucune mauvaise odeur.

Le même traitement est appliqué à la lessive brune à son entrée dans le bassin aux lessives, mais, comme elle n'est lâchée qu'à des intervalles assez longs, il suffit pour elle d'un cuvier un peu grand, dans lequel on dissout successivement les trois réactifs, lait de chaux, ferrite et aluminat, qui de là se mélangent au courant de lessive brune et d'eau de rinçage.

Quand la filtration ou une évacuation de la lessive brune dans la nappe d'eau souterraine sont inexécutables, ou interdites par les autorités, on

n'a d'autre ressource que l'évaporation. L'auteur a lui-même procédé à titre d'essai à cette opération dans de grandes bassines, en activant l'expulsion de l'acide sulfureux par une addition d'acide sulfurique. Il obtenait alors une masse épaisse, sirupeuse, qui devenait par le refroidissement dure et cassante. Pour pratiquer cette opération en grand, on pourrait se servir de la tour de R. Schneider (fig. 13). Ce serait de toute manière un travail trop coûteux, car le résidu obtenu n'est pas, comme dans la récupération de la soude, avantageusement utilisable. Il ne peut guère être employé que comme engrais. On a bien proposé, il y a plusieurs années, de faire servir ces résidus à la nourriture du bétail, soit seuls, soit mélangés à d'autres substances assimilables, mais il n'est pas à la connaissance de l'auteur que l'on soit nulle part arrivé dans cet ordre d'idées à quelque résultat pratique.

Le D^r Frank, dans une conférence que ce livre a déjà mentionnée, concluait en émettant l'opinion que la valeur nutritive de la lessive brune évaporée, ou tout au moins concentrée, n'est pas à dédaigner, étant donné qu'elle peut contenir de 16 à 18 % de sucre, mais que (ainsi que nous venons de le dire) l'occasion ne s'est jusqu'ici pas offerte d'en tirer parti dans de bonnes conditions, car des frais de transport trop élevés viendraient s'ajouter

à la dépense déjà considérable de l'évaporation. Il ne resterait donc, selon lui, rien de mieux à faire que d'éliminer autant que possible l'acide sulfureux par l'application de son procédé, et d'utiliser, quand les circonstances s'y prêtent, les eaux de lessive, ainsi débarrassées de cet élément nuisible pour l'irrigation des prairies et des champs, manière en définitive la plus simple de faire disparaître les inconvénients qu'entraîne pour tant de fabriques l'évacuation des eaux vannes. Les hydrates de carbone, sucre, etc., n'offrent à la vérité comme engrais qu'une valeur bien faible, comparée à celle qu'ils possèdent au point de vue nutritif, mais les cendres du bois, dissoutes dans la lessive, exercent une action favorable sur la végétation.

Prenons par exemple 1 mètre cube de bois de sapin bien sec qui pèse 450 kilos. Il donne par complète incinération de 4 à 5 kilos de cendres, qui répondent à 20 ou 25 kilos de cendres ordinaires de bois plus ou moins impures. Pour quiconque connaît les bons effets des cendres de bois employées comme amendement dans la culture des plantes fourragères et dans les prairies artificielles, ces chiffres montrent clairement les avantages d'une telle irrigation rationnellement conduite.

Le procédé Frank pour l'utilisation des eaux de

lessive, déjà mentionné plusieurs fois dans cet ouvrage, est combiné avec la récupération de l'acide sulfureux. Son auteur en fait l'exposé comme il suit :

Récupération de l'acide sulfureux contenu dans les vapeurs sulfureuses et dans les lessives brunes.

L'acide sulfureux introduit dans le bouilleur avec la lessive de bisulfite est loin d'être entièrement absorbé et chimiquement transformé dans la préparation de la cellulose : les 70 centièmes environ sont en partie précipités à l'état de monosulfite, en partie dégagés à l'état gazeux, et en partie entraînés par les lessives brunes à l'état de dissolution. Dans l'eau comme dans l'atmosphère, cet acide, nuisible aux hommes et aux animaux, et surtout aux poissons et aux plantes, est, dans l'exploitation des fabriques de cellulose, une cause de très grandes et très nombreuses difficultés. Mitscherlich s'est efforcé de remédier aux inconvénients des dégagements gazeux en dirigeant ceux-ci dans les tours d'absorption. Mais ils se trouvent à un moment donné beaucoup trop abondants pour que l'absorption dans les tours se fasse bien, surtout pendant les chaleurs. De plus il y a beaucoup de fabriques qui, n'ayant pas de tours, ne peuvent re-

courir à cette solution. Quant aux eaux vannes chargées de matières organiques et qui sont une cause d'infection pour les cours d'eau où elles sont rejetées, il n'existait jusqu'ici aucun procédé pratique pour les purifier et les débarrasser de leur acide sulfureux. On ne peut en effet considérer comme atteignant le but proposé le mode d'évaporation appliqué par quelques fabriques ; la rapide destruction des appareils d'évaporation, l'énorme consommation de charbon et la valeur absolument nulle comme combustible des résidus ont démontré qu'il n'y avait là qu'un expédient fort coûteux, et de plus très imparfait, puisque l'acide sulfureux se répandait dans l'atmosphère.

Le point de départ du procédé du D^r Frank est qu'il ne faut éliminer des vapeurs et des eaux vannes que les éléments reconnus nuisibles, à savoir l'acide sulfureux et ses composés solubles, l'aldéhyde contenu dans les lessives, qui agit comme réducteur, les matières azotées qui développent les ferments et les algues, enfin les matières résineuses ou genre laques, qui, par une décomposition ultérieure, privent du contact de l'air les branchies des poissons, tout aussi bien que les organismes végétaux. Comme le D^r Frank l'a démontré dans une consultation rédigée à la requête des autorités d'Oppeln, les autres matières in-

tégrant des lessives brunes, soit au premier chef le sucre et l'amyloïde, ainsi que les éléments minéraux, ou cendres du bois, sont par elles-mêmes absolument inoffensives, et éminemment propres à contribuer à la nourriture des animaux ou des plantes, mais sont aussi, précisément en raison en de leur nature organique, éliminées très rapidement par oxydation, même dans les plus petits cours d'eau.

En même temps, pour que cette purification des eaux-vannes n'impose pas aux fabriques une charge sans compensation, il combine son procédé avec une récupération de l'acide sulfureux qu'il précipite, en même temps que les résines et les matières colorantes et azotées, à l'état de monosulfite de chaux presque insoluble. Dès lors les liquides, débarrassés de leurs éléments nuisibles, subissent, sous l'action de l'air et de l'acide carbonique de l'atmosphère, une nouvelle épuration chimique, dans laquelle l'aldéhyde se trouve oxydé, tandis que les traces de monosulfite encore en dissolution sont converties en sels calcaires absolument inoffensifs.

Le dépôt de monosulfite de chaux, obtenu très impur, passe par des filtres-presses ou tels autres appareils appropriés dans lesquels il est, suivant le procédé breveté du D^r Frank, débarrassé des subs-

tances organiques précipitées en même temps que lui, lesquelles rendraient impossible sa réutilisation dans la préparation de la lessive. Ramené ainsi à un état de grande pureté, il peut être mis en suspension dans l'eau, et soumis, dans l'appareil déjà décrit, à un courant d'acide sulfureux pour fournir une lessive ayant exactement la valeur et les propriétés de celle qu'on obtient par la manière ordinaire.

Comme minimum de l'économie réalisée par l'application de son procédé de récupération, le D^r Frank indique 33 % du soufre nécessaire à la préparation de la lessive primitivement introduite dans le bouilleur. Là donc où il fallait 17 kilos de soufre par mètre cube de lessive, il n'en faudra plus que 11. Les frais de préparation d'une lessive à 3,3 %, tels qu'ils ont été établis plus haut (page 129) se trouvent ainsi ramenés à 2 fr. 50. Comme d'ailleurs la quantité théoriquement calculée de l'acide sulfureux restant après la cuisson est d'environ 70 % du total initial, on peut, avec une bonne conduite des opérations de la récupération, retrouver jusqu'à 50 % du soufre primitivement contenu dans la lessive de bisulfite et réduire par conséquent de moitié les achats de cette matière première.

A la suite d'une consultation de chimistes bien

connus, le D^r Medicus de Würzburg, et le conseiller aulique professeur D^r Engler de Carlsruhe, le procédé Frank pour la purification des eaux-vannes et la récupération de l'acide sulfureux, a été officiellement prescrit à la fabrique de cellulose d'Aschaffenburg, et, sur les résultats satisfaisants qu'il a donnés, les plaignants ont perdu leur cause devant toutes les juridictions. La fabrique d'Aschaffenburg évalue les frais journaliers d'application du procédé à 15 fr., la valeur du soufre récupéré à 43 fr. 75, la proportion récupérée étant de 40 %. De la sorte, après avoir mis fin à toutes les difficultés que lui causait antérieurement l'écoulement de ses lessives, elle réalise par surcroît un bénéfice journalier de 28 fr. 75 sur lequel la dépense de premier établissement sera rapidement amortie.

D'après les communications de l'inventeur, il y a actuellement en Allemagne, en Autriche et en Suède un grand nombre de fabriques qui s'occupent d'installer son procédé, et dans la nouvelle usine à cellulose de la société par actions de Munkedal à Uddevalla, il a donné toute garantie pour la conservation du poisson de l'étang voisin, séparé par une simple grille.

Ce procédé paraît donc être une heureuse solution d'une question si épineuse pour les fabriques de cellulose et pour tout leur voisinage. . . 45

Le principe toutefois n'en aura été poussé jusqu'à ses dernières conséquences que lorsqu'on sera parvenu à utiliser les éléments nutritifs, qui sont, comme l'a démontré le D^r Frank, contenus en notables proportions dans les lessives brunes. D'après ses recherches, la composition des lessives brunes, une fois l'acide sulfureux et les résines éliminés, se rapproche beaucoup de celle des mélasses, mais a sur ces dernières l'avantage de contenir plus de sucre (jusqu'à 18 % du poids sec) et moins de sels.

Les efforts faits dans un autre ordre d'idées pour retirer des lessives de l'aniline ou pour les faire servir à la production de l'alcool, de l'acide acétique, de l'esprit de bois, s'ils semblent devoir donner des résultats rémunérateurs, exigent des installations très-complicées, de sorte qu'il paraît pour le moment préférable d'en chercher l'utilisation dans le domaine de l'économie rurale, soit pour la nourriture des bestiaux, soit sous une forme encore plus simple pour l'irrigation et l'amendement des terres et des prairies. Tout en conservant la perspective d'emplois industriels possibles pour ces matières si négligées jusqu'ici, on peut dès maintenant, d'une source d'ennuis qu'elles étaient, faire par des moyens peu coûteux une source de profits.

Même enfin en dehors de toute utilisation agri-

cole, ce procédé est applicable à toutes les fabriques auxquelles l'écoulement des lessives brunes crée des difficultés. En effet la lessive purifiée de ses éléments nuisibles et aussi des matières protéiques, est par cela même beaucoup moins favorable à la formation des ferments putrides et au développement des algues dans les eaux. Modérément diluée dans les petits cours d'eau, elle est en peu de temps et tout naturellement oxydée et purifiée par l'oxygène de l'air, résultat qu'empêche, ou tout au moins retarde beaucoup la présence de l'acide sulfureux. D'après les expériences du D^r Weigelt Rufach, des lessives brunes non purifiées, contenant de 0,60 à 0,75 % d'acide sulfureux ne peuvent être introduites dans l'eau impunément pour la pisciculture que si elles s'y trouvent étendus de 1,500 fois leur volume. Donc pour satisfaire à cette condition dans le cas d'un lessiveur de 60 mètres cubes, il faut disposer de 90,000 mètres cubes d'eau. Les petites rivières n'en donnent pas autant partout ni en toute saison.

Il convient d'insister sur cette extraordinaire aptitude des eaux-vannes non purifiées à donner naissance à des algues dans le lit des cours d'eau, car, surtout dans les plus petits, les profanes eux-mêmes sont d'autant plus portés à en faire la remarque que

dans ces filaments déliés, blanchâtres, groupés en houppes et formant une fois hors de l'eau une masse visqueuse (1), ils croient reconnaître des fibres mêmes de cellulose en décomposition dans l'eau. Ces algues se forment avec une facilité prodigieuse et principalement pendant la saison froide, puis disparaissent presque entièrement en été. Mais une fois qu'elles ont pris naissance il est presque impossible de les faire disparaître, même après que le flux des lessives a complètement cessé. L'auteur a observé leur réapparition périodique, chaque hiver dans un cours d'eau pendant cinq ans après la fermeture de la fabrique dont les eaux vannes en avaient pour la première fois provoqué la formation.

On peut également, dans la fabrication de la cellulose à la soude, tirer des lessives noires des substances aptes à servir à la nourriture des bestiaux. Un certain M. Voigt a pris un brevet pour cet objet, sous le n° 33235 ; il donne de son procédé la description suivante : « les matières incrustantes de la paille, ainsi que celles du bois (se composant d'hydrates de carbone, de matières protéiques, etc.), constituent les éléments essentiels de la nourriture des animaux, et sont entièrement as-

(1) Sans doute la *beggiatoa alba* (N. d. T.).

similaires par leur organisme, où elles se transforment en chair et en graisse. En conséquence l'inventeur se propose de recueillir sous forme de tourteaux, pour en faire une nourriture forte, les produits importants, riches en matières nutritives qui sont, dans la fabrication de la cellulose à la soude, entraînées par les lessives alcalines noires. Il parviendrait à ce résultat de la manière suivante : une fois la cuisson finie, le liquide alcalin, en combinaison avec une forte proportion de matières organiques, est additionné jusqu'à neutralisation complète d'acide sulfurique, qui forme du sulfate de soude (sel de Glauber) et précipite, sauf un peu de matière colorante, à l'état de dépôt très finement divisé, toutes les substances organiques que le liquide alcalin tenait en dissolution. Ce dépôt est séparé de la dissolution de sulfate de soude au moyen d'un filtre-pressé, puis, après un nouveau lavage et une deuxième compression, obtenu sous forme de tourteaux, desséché et livré au commerce. Le produit ainsi préparé a une saveur et une odeur agréables, se rapprochant de celles du foin nouveau ; les chevaux, les bœufs et les moutons en sont friands. En raison de sa très-grande division et de sa richesse exceptionnelle en principes nutritifs, presque totalement assimilables par l'organisme animal, on pourrait le placer au pre-

mier rang parmi les aliments toniques que le commerce livre à la consommation.

« Quant aux eaux-mères (la dissolution de sulfate de soude), elles sont évaporées jusqu'à cristallisation dans une bassine et donnent comme produit marchand du sel de Glauber cristallisé ».

Mais M. Voigt a des contradicteurs : d'après eux ses tourteaux seraient bien loin de constituer une nourriture forte au sens économique du mot, c'est-à-dire au point de vue de l'élevage, car ils ne contiendraient aucune des matières protéiques (albumine, etc.) celles-ci étant pendant la cuisson presque entièrement décomposées par la lessive caustique. Quoi qu'il en soit, on peut les faire entrer dans la nourriture des bestiaux.

Un nouveau brevet relatif à l'utilisation des lessives noires a encore été pris par la Société Xylolyse, à Zawadzki, est le D^r Emile Meyer, à Berlin (Brevet allemand n^o 45951) pour un procédé « permettant d'extraire des lessives noires de cellulose les produits liquides de la distillation ». Le voici tel qu'il est reproduit dans la *Papier Zeitung*, année 1889, n^o 19 : dans la fabrication de la cellulose au moyen du bois, près de la moitié du poids de celui-ci, toute eau déduite, est entraînée à l'état de dissolution par les lessives noires. On peut, au moyen de serpentins de vapeur, concentrer ces

dernières jusqu'à 35° B^é. Ces lessives épaissies sont mélangées à 40 ou 55 parties, en poids, de charbon de bois et sont ainsi transformées en briquettes de forme régulière, maniables et transportables, ce qui permet de les dessécher dans des chambres à haute température et même de les charger telles quelles dans des cornues chauffées au rouge, sans que l'on coure le risque d'endommager les cornues par un refroidissement subit, et sans que les briquettes se désagrègent par la carbonisation.

La distillation, puis l'extinction et le refroidissement de ces agglomérés, la séparation du goudron, celle des eaux de gaz et du gaz lui-même se font conformément de tout point aux procédés ordinairement usités. Seul le produit de la distillation diffère de celui que l'on obtient ordinairement par le chauffage du bois en vase clos, en ce que l'acide formique, l'acide acétique, etc. et les autres composés acides du goudron n'y figurent point, tandis qu'on y trouve seulement l'alcool méthylique, l'acétone, etc., et différents amines dissous dans l'eau condensée, en même temps qu'on recueille un goudron d'une nature toute particulière. D'où l'avantage de pouvoir remplacer les vases de condensation en cuivre par des vases en fer et de pouvoir, dans la rectification des eaux de gaz, recueillir dès le commencement de la distillation les pro-

duits volatils de beaucoup de valeur qu'elles contiennent.

Si l'on veut travailler de cette manière les lessives acides du procédé au bisulfite, il faut préalablement en éliminer tout acide libre. Comme d'autre part la chaux dissoute pourrait, en s'accumulant dans les résidus charbonneux, leur enlever finalement toute espèce de valeur, il convient de la précipiter à l'état de plâtre par une dissolution de sulfate de soude, dont l'alcali se récupère du charbon d'une façon constante.

Dans la distillation des lessives soit de sulfite, soit alcalines, soit contenant du sulfure de sodium (ces dernières provenant du procédé au sulfate) il se produit, en plus de l'acétone et de l'alcool méthylique, encore d'autres combinaisons volatiles sulfurées, analogues aux huiles essentielles de mercaptan et de moutarde, qui ne sont ni complètement condensées, ni tout à fait rendues inoffensives par la combustion du gaz obtenu, auquel elles restent mélangées.

Après calcination, les agglomérés de lessive ont conservé presque sans altération leur forme primitive ; on peut, avec un ringard, les retirer encore rouges de la cornue pour les faire tomber dans la caisse fermée où ils doivent se refroidir. Ce qui se trouve réduit en poussière est, en raison de sa

teneur en alcali, soigneusement recueilli et répandu sur les gros morceaux, lorsque le tout est ultérieurement repris par l'eau. Le charbon de bois ainsi épuisé sert à un nouveau mélange avec la lessive épaissie.

Comme exemple frappant de la justesse des propositions énoncées par le D^r A. Frank touchant l'emploi pour l'irrigation des eaux-vannes purifiées, et l'amélioration naturelle que réalise en même temps cette opération sur les eaux fluviales polluées, on peut citer un fait pratique dont les détails ont été publiés par lui-même (*Papier Zeitung*, 1889, n^o 19). Il s'agissait de la pollution par les eaux-vannes d'une fabrique de cellulose d'un petit ruisseau débitant tout au plus 1 mètre cube d'eau par minute. On prétendait que l'eau était rendue impropre aussi bien aux usages domestiques qu'à l'irrigation des prairies. Ces plaintes étaient-elles fondées, y avait-il urgence à porter remède à cet état de choses ? Le D^r Frank fut appelé comme expert à donner son avis.

Il est aujourd'hui scientifiquement démontré que l'eau viciée par des matières organiques dissoutes est améliorée et purifiée par le contact prolongé de l'air, notamment quand ce contact est favorisé par des chutes ou des cascades, l'oxygène ainsi dis-

sous dans l'eau agissant plus énergiquement que celui de l'atmosphère. Mais comme l'eau qui contient de l'acide sulfureux ne peut pas contenir d'oxygène, la purification naturelle d'une eau mélangée en forte proportion de lessives au bisulfite paraît devoir être insignifiante. Cependant, même dans ce cas le plus défavorable, une diminution des matières organiques, s'opérant parallèlement à l'oxydation de l'acide sulfureux transformé en acide sulfurique a pu être démontrée.

Les analyses suivantes, dont nous ne donnons ici les chiffres qu'en résumé, viennent à l'appui de cette assertion :

Echantillon I.

L'eau du ruisseau contenait à son entrée dans la fabrique dans un million de parties : Résidu total 150^{mg}, par litre, dont :

Matières organiques.	78
Chaux.	42
Acide sulfureux.	0

Echantillon II.

Le mélange de la lessive brune et des eaux de lavage contenait à la sortie du récipient, dans un million de parties : Résidu total 58.450^{mg}, dont :

Matières organiques.	42.200
Chaux.	5.658
Acide sulfureux.	1.669

Echantillon III.

L'eau du ruisseau prise à 5 kilomètres au-dessous de la fabrique contenait encore dans un million de parties : Résidu total 1.160^{mg}, dont :

Matières organiques. 600

Chaux. 184

Acide sulfurique. 35

Or dans les lessives au bisulfite et dans les eaux-vannes, la chaux à l'état soluble se trouve principalement en combinaison avec l'éther sulfurique, et aussi en petite quantité sous forme de sulfate et de sulfite dans les lessives acides ; par suite la teneur en chaux du liquide resté sans changement, et l'on a ainsi un moyen assez exact de déterminer son degré de dilution dans l'eau.

Pour ne pas compliquer les calculs on admet (hypothèse défavorable à la fabrique en question) que la teneur primitive de l'eau du ruisseau en chaux et en matières organiques est négligeable, et l'on considère cette eau comme chimiquement pure. Il y a donc à comparer l'échantillon d'eau-vanne II contenant 5658 millièmes de chaux, avec l'échantillon III de l'eau du ruisseau contenant 184 millièmes de chaux : la proportion est de 1 à 30, autrement dit l'eau de lessive II, arrivée au point de prise de l'échantillon III a été étendue de 30 fois son volume d'eau. Une certaine

quantité de l'échantillon de lessive II contenant 100 parties de chaux, un égal volume du liquide de l'échantillon III contiendra $100 : 30 = 3,33$ de chaux. Si les matières organiques et l'acide sulfureux ne subissaient aucune oxydation naturelle, on les retrouverait dans l'échantillon III réduits dans une proportion répondant au degré de dilution, soit de $\frac{3,33}{100}$. Mais de 100 parties d'acide sulfureux primitivement contenu, l'analyse, au lieu de reproduire le chiffre correspondant de 3,33 ne révèle que 2,08, et de 100 parties de matières organiques que 1,33. Donc sur un parcours de 5 kilomètres 36 % de l'acide sulfureux et 61 % des matières organiques ont été oxydés et par suite rendus inoffensifs. Cette purification naturelle de l'eau aurait été, en ce qui concerne les matières organiques, poussée encore plus loin sans la présence et l'action réductrice de l'acide sulfureux, bien connu pour conserver et préserver de la fermentation les substances organiques (soufrage du houblon et du vin, des fûts à bière, etc.) Donc dans une eau-vanne d'où l'on aura préalablement éliminé l'acide sulfureux, la purification naturelle fera des progrès plus rapides que dans celle dont il vient d'être parlé, relativement riche en éléments des plus nuisibles à un autre point

de vue. Par l'élimination de l'acide sulfureux suivant le procédé Frank, on a de plus l'avantage de se débarrasser en même temps des matières azotées, qui constituent le milieu de culture le plus fécond et le plus propice pour les champignons.

Une épuration plus complète, dont il ne peut guère être question lorsqu'il s'agit de cours d'eau à grand débit, aurait dans l'espèce pu être obtenue par l'emploi du petit ruisseau à des irrigations, car le sol non seulement agit sur les matières organiques par son pouvoir oxydant et absorbant, mais aussi diminue la teneur en chaux des eaux. Enfin l'irrigation utilise très heureusement les éléments des cendres du bois, sels alcalins et autres.

Pour démontrer en même temps par un essai la manière de se comporter des lessives purifiées, une partie de la lessive brune (échantillon II) fut débarrassée par le procédé Frank de l'acide sulfureux et des résines. Bien qu'après cette opération le liquide eût une couleur un peu plus foncée que la lessive acide, on constata, après l'avoir étendu de 30 fois son volume d'eau et maintenu quelque temps au contact de l'air, une teneur en matières organiques inférieure de près de moitié à celle de l'échantillon III, en même temps que l'addition d'eau accentuait aussi davantage la décoloration. Mais ce fut le fait suivant qui fit le mieux ressortir le succès

de l'épuration : tandis que l'échantillon III, malgré sa teneur élevée en acide sulfureux, était au bout de deux jours devenu tout à fait trouble, la prise d'essai de lessive épurée, étendue d'eau dans la même proportion, était encore, au bout de huit à dix jours, parfaitement claire. Il a été également démontré par des chiffres, et depuis par l'application en grand, que la récupération de l'acide sulfureux combiné avec la récupération des eaux vannes, laisse encore, tous frais couverts, un bénéfice appréciable.

En se basant sur ces faits, l'expert arrivait aux conclusions suivantes :

1° Les eaux-vannes de la fabrique en question, l'acide sulfureux et les résines une fois éliminés, ne sauraient nuire à la végétation, et peuvent tout au contraire se prêter parfaitement à l'irrigation des prairies et des cultures, en raison de leur richesse en matières fertilisantes.

2° Les eaux-vannes épurées déversées dans les cours d'eau n'ont d'effets nuisibles ni sur les poissons ni sur les animaux à sang chaud, et sont propres à tous les usages domestiques, étant donné que les eaux de source dérivées pour l'alimentation des villes présentent bien souvent une teneur en chaux supérieure à celle de l'échantillon III provenant du ruisseau en question.

Bien que la plupart des fabriques de cellulose aient à leur disposition pour y déverser leurs eaux vannes de grands cours d'eau, le cas extrême que nous venons de rapporter montre que l'élimination des éléments nuisibles de leurs lessives brunes est seule indispensable, tandis que pour celles des matières qui, comme le sucre, l'amyloïde, sont par elles-mêmes inoffensives, on peut s'en reposer entièrement sur les agents naturels pour opérer au courant de l'eau la purification désirable.

Une autre cause éventuelle de pollution des eaux par les fabriques de cellulose réside dans les amas formés par les résidus du grillage des pyrites. Lavés par l'eau des grandes pluies ils communiquent à celles-ci les propriétés nuisibles des eaux de lessive et l'on se trouve alors obligé de réunir la première aux secondes, soit en l'amenant dans des bassins creusés à cet effet, soit en lui faisant subir la même épuration ou la même filtration : Ces résidus donnent d'ailleurs d'excellents remblais, car ils sont à la fois durs et poreux et forment des chaussées réfractaires à toute végétation ; par contre sur leurs abords, notamment pendant et après les pluies toute végétation est détruite, ce qui n'est pas toujours du meilleur effet.

Lorsque les résidus sont déposés à proximité

d'un fleuve, ils peuvent occasionner de graves dégâts, car si les grandes eaux viennent à les entraîner sur des champs ou sur des prairies, les places où ils se déposeront resteront stériles, au moins l'année qui suivra.

Dans le voisinage des fabriques de cellulose, on se plaint toujours aussi avec plus ou moins de fondement de ce que l'atmosphère est viciée et des conséquences fâcheuses de cet état de choses.

Pour les usines au bisulfite autour desquelles il n'existe dans un rayon assez étendu aucune habitation, il n'y a encore que demi-mal, car les exhalaisons nuisibles ne sont jamais que la conséquence de quelque accident ou de quelque négligence. Ces odeurs sont d'ailleurs relativement assez supportables, et, malgré leur âcreté, elles ne sont pas aussi répugnantes que celles qui s'échappent des lessiveurs à chiffons des papeteries (?), ni aussi suffocantes que celle du chlore ; enfin jamais on ne trouve aux alentours d'une fabrique de cellulose au bisulfite une atmosphère aussi empestée que celle qui environne constamment nombre de fabriques de produits chimiques. Quoi qu'il en soit, l'acide sulfureux gazeux est, comme nous l'avons déjà dit plusieurs fois, nuisible à la végétation, et de ce chef il peut y avoir, de temps à autre, quelque indemnité à payer pour dégâts en plaine lors-

que la fabrique est au milieu de terres cultivées. Mais avec quelque attention cela peut être évité, surtout si les tours sont assez hautes et si le terrain occupé par l'usine est, notamment dans le voisinage des fours à pyrite, entouré d'un mur assez élevé ou d'une bonne palissade jointive. Il y a même certaines fabriques de cellulose qui possèdent dans leur enclos des arbres fruitiers en plein rapport. Les voisins n'ont donc pas à souffrir de la proximité autant qu'ils le prétendent souvent.

Plus grandes sont les difficultés auxquelles se trouvent en butte les usines travaillant au sulfate de soude. Les vapeurs qui se dégagent, tant lors de la vidange des bouilleurs qu'à la récupération de la soude, exhalent l'odeur des œuf pourris et sont parfois tellement abondantes que sur une longue étendue, variable avec la force et la direction du vent, elles sont une souffrance réelle pour toute la contrée.

Les gaz méphitiques qui se dégagent dans l'évaporation des lessives ont beau passer sur les foyers et sur les chauffes pour s'y brûler, il est très difficile d'éviter le dégagement d'une odeur infecte, d'autant plus que beaucoup de fabricants n'arrivent pas à savoir exactement d'où elle provient : le fait ressort des polémiques rapportées par la *Papier Zeitung*.

Le préjudice indéniable causé à tout le voisinage a dans divers pays ému les autorités, qui ont poursuivi les usines comme viciant l'atmosphère, et dans certaines localités les choses en sont venues au point de compromettre l'existence même de ces établissements. C'est ce qui arriva notamment à la fabrique de Cœslin, située à 1500^m de la ville, qui se vit condamnée à 75 francs d'amende par contravention, plus éventuellement 6 jours de prison pour l'agent responsable. La sentence fut plusieurs fois exécutée, en dépit d'une demande reconventionnelle qui traîna en longueur pendant des années, et bien que l'on fit tout ce qui était possible pour réduire le mal à son minimum. Le cas est raconté tout au long dans la *Papier Zeitung* (1887, n° 4), avec tous les documents à l'appui comme constituant un péril pour toute l'industrie du papier; tous les fabricants devaient se prêter un mutuel concours pour hâter la solution de la question des gaz et des eaux-vannes, et un mutuel appui dans ces luttes d'un nouveau genre.

A la suite de plaintes reçues de divers points du territoire, les autorités ont été amenées, en se basant sur l'expérience acquise et sur les améliorations déjà introduites, à aggraver encore les conditions mises à l'autorisation nécessaire pour installer une fabrique de cellulose. Avant de terminer ce

chapitre il sera intéressant de citer comme exemple celles qui ont été imposées à une usine du grand-duché de Bade.

1° *Le fabricant doit s'en tenir à tous égards aux procédés dont il a donné la description. Avant tout, les opérations de cuisson, de lavage et d'évaporation ne peuvent se faire que dans des systèmes d'appareils parfaitement clos.*

2° *Tous les appareils, lessiveurs anciens et nouveaux, cylindres d'évacuation sous pression, récipients, conduites, etc., dans lesquels les liquides contenant de la lessive sont chauffés ou traités sous pression, doivent être parfaitement étanches dans toutes leurs parties. Dès que la plus petite fuite est constatée, l'appareil où elle se déclare doit aussitôt être mis hors de pression et arrêté pour être réparé, et il ne peut être remis en service qu'après avoir subi l'épreuve prescrite par la loi (attestation de l'inspection des chaudières à vapeur.)*

3° *On ne pourra procéder en 24 heures qu'à la vidange de huit opérations de cuisson, au maximum. Pour permettre le contrôle relatif à cette limitation de la production, le livre d'exploitation doit être constamment tenu à la disposition des délégués de l'autorité.*

4° *A la sortie des lessiveurs comme à celle des cylindres d'évacuation sous pression, l'abduction*

des lessives à la citerne où elles se rassemblent et de celle-ci aux appareils de condensation en vase clos doit se faire au moyen d'une tuyauterie complètement fermée.

5° La citerne elle-même doit être hermétiquement close et sans communication avec l'air extérieur ; pour permettre les rentrées d'air au moment de la chasse de la lessive, on y adaptera une soupape s'ouvrant automatiquement de dehors en dedans.

6° Les vapeurs qui se dégagent dans les lessiveurs doivent être constamment extraites, traverser un condenseur à surfaces, refroidi par un courant d'eau et présentant une surface de réfrigération suffisante, et se rendre dans deux récipients à fonctionnement alternatif, où se fait la séparation de l'eau et des huiles essentielles condensées.

Les dimensions de ces récipients seront telles que la séparation des huiles soit complètement effectuée avant toute vidange. Elles seront mises à part dans des fûts bien clos et toutes les précautions devront être prises pour qu'elles s'écoulent constamment à l'abri du contact de l'air.

Les gaz ayant échappé aux appareils de condensation doivent être amenés par des tuyaux fermés (1) sur un foyer pour y subir une combustion complète. L'eau qui restera dans les récipients après

l'extraction des huiles condensées, sera refoulée au moyen d'une pompe dans les appareils d'évaporation. Là elle sera échauffée au moyen d'un serpentín pour dégager les dernières traces d'huiles essentielles et de vapeurs odorantes qui seront pareillement brûlées au-dessus d'une grille de chauffe.

7° Les vapeurs provenant du deuxième appareil de condensation ne pourront, dans les cas où elles dégageraient encore des gaz non condensés, être employées au chauffage du bac de caustification ; on devra alors les condenser à part et brûler la partie non condensable dans la flamme d'une chauffe.

8° Tous les tuyaux qui conduisent, ainsi qu'il a été dit, les gaz sous des grilles de chauffe, doivent déboucher au centre des dites grilles et se terminer en pomme d'arrosoir.

9° La sole préparatoire, faite de matières réfractaires, devra être construite de telle sorte qu'il ne s'y puisse produire aucune fuite. Si quelque fissure s'y déclarait, toute concentration de lessive sur cette sole serait aussitôt suspendue.

10° Les gaz du four doivent, avant de pénétrer dans la cheminée, traverser un dernier foyer, qui assure la parfaite combustion de tout ce qui pourrait rester d'éléments volatils donnant une mau-

vaise odeur. Si l'on venait à reconnaître que le type ordinaire de chauffe ne répondit pas suffisamment au but qu'on se propose, il faudrait le remplacer par un système de four à régénérateur, fonctionnant à l'air surchauffé.

11° Les lessives caustiques servant à opérer la cuisson ne devront pas contenir une proportion de sulfure de sodium allant au-delà de 10 % de la teneur en soude (tant caustique que carbonatée).

12° L'observation rigoureuse de toutes les conditions sous lesquelles est délivrée la présente autorisation, de la teneur *maxima* en sulfure de sodium prescrite par l'article 11, de la retenue et de la combustion des gaz méphitiques, sera, de la part de l'administration du cercle, l'objet d'une surveillance technique et chimique incessante.

13° Les eaux de lavage du bois imprégné de sa lessive de cuisson, recueillies dans les cylindres d'évacuation sous pression, doivent, conformément aux dispositions d'un arrêté du 25 novembre 1885 concernant la blanchisserie par le chlore, avant d'être déversées dans la Murg, être mélangées aux eaux vannes du blanchiment. L'envoi à la Murg de ces eaux, aussi bien que des eaux de chlore, est, par mesure d'intérêt public, toujours révoicable sans indemnité.

Les changements introduits dans l'usine en ques-

tion, en tant qu'ils peuvent avoir trait aux inconvénients ressentis par le voisinage, sont les suivants : le bois n'est pas cuit dans une seule lessive, mais la lessive passe successivement dans quatre bouilleurs se trouvant à des phases différentes du travail, en sorte que la matière ne vient qu'en dernier lieu au contact de la lessive pure. Les lessiveurs ne sont pas ouverts pour la vidange : celle-ci s'effectue par une chasse sous pression dans des récipients fermés où a lieu un lavage à fond.

De cette manière on n'obtient que des volumes réduits de lessive concentrée, et de plus l'ouverture des lessiveurs, remplis de matière bouillante, qui donnait lieu à une partie des inconvénients signalés, est évitée. Enfin l'on arrive à une combustion aussi parfaite que possible des gaz de la calcination, le four de calcination étant muni de trois chauffes d'égales dimensions, de telle façon qu'à la sortie du four les gaz doivent toujours en traverser une sous l'action d'un fort courant d'air. Les produits gazeux de cette opération, pris à différentes parties du four et à différentes fois à différentes périodes du travail, ont donné lieu à plus de 50 analyses, parce qu'on craignait que le sulfure de sodium provenant du sulfate de soude ne vint, au commencement de la distillation à sec, à former de l'hydrogène sulfuré. Cette crainte ne s'est pas

confirmée : les analyses ont démontré, sinon l'absence de l'hydrogène sulfuré, au moins sa présence à l'état de traces seulement, absolument comme dans les produits de la combustion de tous les feux de houille en couche tant soit peu épaisse. Il n'a donc pu être établi que, dans les installations en question, l'emploi du sulfate de soude augmentât de ce chef en quoi que ce fût les inconvénients ressentis par le voisinage.

Les installations prescrites pour rendre inoffensives les eaux de condensation obtenues lorsqu'on lâche les lessives sont représentées par la figure 51 qui donne lieu aux explications et aux remarques ci-après :

Après que les vapeurs dégagées à la mise hors de pression du lessiveur ont traversé le condenseur, les eaux de condensation et les vapeurs non condensées sont amenées par des tuyaux *a a* et à tour de rôle par le jeu de robinets *b, b*, dans chacun des collecteurs fermés *A, A*. L'eau s'y rassemble, tandis que les vapeurs non condensées, s'échappant par les tuyaux *i, i*, se rendent sous la grille d'une chauffe où elles brûlent avec une flamme bleue. Pendant que l'un des collecteurs *A* se remplit, l'autre reste en repos 5 ou 6 heures, ce qui permet aux corps oléagineux de remonter à la surface. On fait alors échapper ceux-ci par les tubulures à ro-

binet *c, c, c*, pour les brûler sur une chauffe. Les liquides clarifiés dans les collecteurs, mais contenant encore des substances donnant une mauvaise odeur sont refoulés par des tuyaux de communication *dd* et *e* dans un récipient de fer clos *B*, où ils sont échauffés par le serpentin *gg*. Les dernières

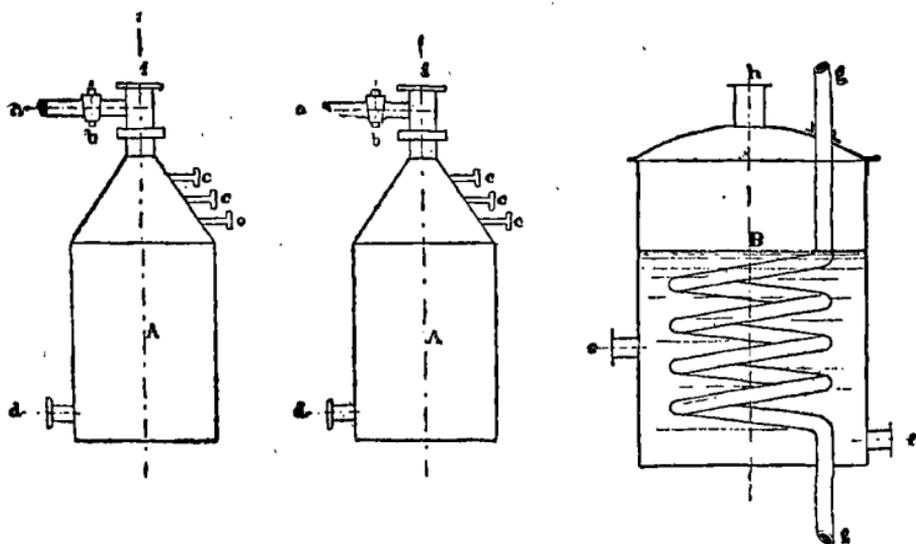


Fig. 51.

traces des substance nauséabondes s'y volatilisent et arrivent par le tuyau *h* sous une chauffe où elles sont également brûlées. L'eau restée dans le récipient *B* subit alors un traitement à la chaux caustique (clarification par précipitation) puis on la soutire par le tuyau *f* pour la réemployer dans la fabrication.

D'après ces obligations, auxquelles s'ajoutent les prescriptions déjà précédemment imposées pour les inconvénients antérieurement connus, on voit que, si la chose ne va pas sans beaucoup de frais et de peines, il est cependant en définitive possible d'éviter les émanations désagréables ou insalubres, ou tout au moins de les réduire à un minimum supportable.

Sans entrer dans des prescriptions aussi détaillées, le point capital, d'après M. Hennefeld (de Delary, Suède) consiste en ceci : que toute vapeur dégagée par les lessives, que toute eau venant au contact de la lessive en quelque point que ce soit trouvent leur emploi intégral dans l'usine même (voir pour les eaux le schéma de la page 154 bis, pour les vapeurs les appareils décrits page 67 et suivantes). D'après lui les vapeurs qui s'échappent des lessives sont la source principale des émanations méphitiques, ce qui concorde avec les expériences relatives ci-dessus, et avec la théorie qu'au chapitre de préparation des lessives nous avons essayé de formuler pour préciser le mode d'action du sulfate de soude.

Pour les fabriques de cellulose au bisulfite également, les autorités de diverses localités ont dans ces derniers temps, après avoir pris l'avis de diverses personnes compétentes, édicté de nouvelles prescriptions plus strictes que par le passé. On en trouve un exemple dans les conditions imposées à

la papeterie d'Aschaffenburg pour l'installation de la fabrication au bisulfite.

1° Les augmentations de constructions devront être exécutées en conformité absolue des plans soumis et en observant les prescriptions générales du 19 septembre 1881 relatives aux bâtiments.

2° La mise en service du nouveau générateur de vapeur ne pourra être autorisée que sur un certificat de l'association, etc., etc.

3° Au point de vue du travail chimique, toutes les installations doivent être telles qu'il n'y ait aucun dégagement de vapeur sulfureuse. En conséquence tous les appareils tant d'absorption que de cuisson, et toutes les tuyauteries doivent être constamment tenues en bon état et parfaitement étanches, et le tirage des fours à soufre doit être réglé de telle sorte que l'acide sulfureux ne puisse se répandre au dehors.

4° A la mise hors de pression des lessiveurs, les vapeurs dégagées ne doivent pas s'échapper dans l'atmosphère, mais doivent être conduites soit par des tuyaux de communication pouvant se fermer à volonté, soit par des injecteurs, dans les lessiveurs nouvellement chargés.

5° La purification et l'abduction des eaux vannes doivent se faire sans réunion avec celle de la cellulose à la soude. Les eaux de lessive diluées

doivent être, avant leur écoulement dans l'Aschaff, épurées suivant le procédé du D^r Frank. Celles des autres ateliers et particulièrement des piles de lavage seront conduites aux bassins de clarification de la fabrique de cellulose à la soude, pour y laisser déposer les fibres entraînées.

6° Le nombre des bassins destinés à la purification et à la clarification des eaux de lessive est, pour commencer, fixé à 3 avec une contenance de 60 mètres cubes et une surface d'environ 309 mètres carrés. Ils seront construits de telle manière que les parois et les fonds soient en état de résister à la pression du liquide et parfaitement étanches, la maçonnerie étant faite au mortier de ciment, et, pour assurer son imperméabilité, enduite d'une couche de ciment de 2 centimètres d'épaisseur.

7° Les dépôts résultant de la purification des eaux par insufflation des gaz de la cheminée, suivant le procédé du D^r Frank, seront, dans le cas où on ne les utiliserait pas comme engrais, préalablement desséchés à l'air, puis soumis à une nouvelle combustion. Ils seront entassés en un lieu tel qu'ils ne puissent être lavés par les eaux pluviales ou autres et donner lieu ainsi à des entraînements qui viendraient souiller le cours de l'Aschaff.

8° L'écoulement des eaux vannes des bassins de

clarification doit être réglé de telle manière qu'il n'en parvienne pas à l'Aschaff un volume supérieur à 1,5 litre par seconde.

9° et 10° Prescriptions relatives aux transmissions, courroies, etc., etc.

11° Les autorités municipales se réservent de faire contrôler et inspecter à tout instant l'usine par un délégué spécialiste, aux frais de la fabrique elle-même.

Celle-ci doit prendre l'engagement de donner suite, sans aucune protestation, à toute injonction des autorités municipales à l'effet de faire cesser tous les inconvénients qui pourraient ultérieurement se produire, tout préjudice ou tout danger pour le voisinage, ou toute pollution des eaux de l'Aschaff.

VII. — Situation et installation des fabriques de Cellulose.

Après les descriptions données dans les précédents chapitres des différentes phases de la fabrication de la cellulose et notamment après l'exposé des difficultés de toute nature suscitées par le voisinage et par les autorités, on conçoit facilement que, lorsqu'il s'agit d'installer une nouvelle

fabrique de cellulose, un choix judicieux de la situation ait une importance capitale. Etant donné que cette industrie exige peu de force motrice et que l'on construit aujourd'hui des machines à vapeur consommant très peu de charbon, il convient d'avoir en vue, non pas les économies que pourrait faire réaliser une force motrice hydraulique, mais bien les avantages résultant du voisinage immédiat d'un grand fleuve, permettant le transport par eau du bois en totalité ou en partie, et même au besoin dans une certaine proportion celui des produits fabriqués, et par-dessus tout l'écoulement des eaux-vannes si gênantes, même après une épuration préalable.

On doit donc, lorsqu'on a un emplacement en vue, s'assurer qu'il ne se trouve pas en amont d'une ville, ni surtout à proximité d'une agglomération de quelque importance, de cultures, ou d'établissements d'une certaine valeur.

Si l'on doit renoncer au transport par eau, il faut se placer à petite distance d'une gare et, s'il est possible, s'y relier par un raccordement pénétrant dans l'usine même, car la question des transports joue un rôle très important. Dans certains cas, à la vérité très rares, une fabrique de cellulose aura la facilité de s'approvisionner de bois dans son voisinage immédiat par un service de char-

rois directs sur la forêt ; mais presque toujours la distance sera trop grande pour qu'il en puisse être ainsi, et alors il ne faut pas que des transports par colliers sur une longue distance tant à l'aller qu'au retour viennent s'ajouter encore à ceux de la voie ferrée. On ne doit pas perdre de vue qu'une fabrique de cellulose possédant un seul lessiveur Mitscherlich a besoin pour sa production annuelle de 900 tonnes de cellulose, d'environ 7000 stères de bois, qui à siccité moyenne représentent à eux seuls un poids de 3680 tonnes. Si l'on y ajoute les autres matières premières nécessaires au traitement du bois, on a pour le tonnage total :

Bois.	3.680 ^t
Cellulose sèche 900 ^t , humide. . .	1.800
Pyrite.	530
Calcaire.	180
Charbon	1.200
Divers.	110
	<hr/>
	7.500 ^t

Ce mouvement annuel d'au moins 7500^t, tant à l'entrée qu'à la sortie, représente encore, même pour un établissement placé dans une situation favorable, des frais de transports assez élevés.

Une autre condition très importante à remplir est la pureté et l'abondance de l'eau de fabrication. Si l'eau laisse à désirer sous le rapport de la lim-

pidité, ou si elle se trouble par les pluies ou par toute autre cause, il faut avant toute chose construire de grands bassins de clarification, ou recourir à tel autre dispositif approprié. Il n'y a pas lieu d'insister ici sur ce genre d'installations, mais il convient, à cette occasion, de répéter ce que nous avons déjà dit, à savoir que les bassins, filtres, sources, etc. doivent se trouver autant que possible en amont de l'emplacement dévolu à la fabrication proprement dite, c'est-à-dire occuper dans le sens de l'écoulement des eaux une position telle qu'ils soient complètement à l'abri des infiltrations souterraines des eaux-vannes.

Si, au lieu d'être plat, le terrain se trouve en pente régulière, on pourra tirer de sa configuration un parti avantageux. On placera les fours à pyrite et les tours assez haut pour que la lessive puisse couler naturellement des réservoirs dans les bouilleurs, ce qui dispensera de l'installation d'une pompe à lessive. Le relèvement de l'emplacement des tours a encore un autre avantage : les vapeurs sulfureuses, s'il s'en dégage, se trouvent déversées dans des couches plus élevées de l'atmosphère, et sont par conséquent, lorsqu'elles retombent à la surface de la terre, plus diluées dans l'air, et par conséquent plus inoffensives.

Il serait ici sans intérêt de donner des règles gé-

nérales pour l'installation des fabriques de cellulose ou d'entrer dans la description détaillée d'un ou de plusieurs de ces établissements, car, lorsqu'on monte une nouvelle usine, il faut avant tout tenir compte des circonstances locales et des prescriptions des autorités de l'endroit ou de la région. D'autres facteurs nécessaires de chaque projet sont l'importance qu'on veut donner à l'établissement, les intentions et les ressources des propriétaires, et surtout le système adopté pour la production de la cellulose. En tous cas les devis et projets d'une nouvelle installation ne peuvent se faire sans le concours d'un spécialiste capable.

VIII.— Comparaison des diverses sortes de Cellulose tant entre elles qu'avec les fibres de chiffon.

Au point de vue de la fabrication du papier elle-même, les celluloses se divisent en deux groupes principaux: celles à la soude et celles au bisulfite. Cette division répond à celle des chiffons qu'elles sont appelées à suppléer en tout ou en partie, et qui se distinguent en chiffons de coton et chiffons de fil, les groupes correspondants présentant en fait, c'est-

à-dire dans leurs propriétés comparatives, une sensible analogie. Les fibres de fil (chanvre ou lin) et celles de coton jouent respectivement dans la fabrication un rôle déterminé. Si elles se trouvent le plus souvent employées concurremment, il est cependant de nombreux cas où les unes ne peuvent suppléer les autres, comme par exemple si l'on recherche une grande solidité, ou tout au contraire le moëlleux et le pouvoir absorbant. En général cependant c'est aux fibres de fil qu'on attribue la valeur la plus élevée. Il en va de même avec les deux sortes de cellulose. La cellulose à la soude est généralement plus tendre, plus analogue au coton, et est à cet égard recherchée dans bien des cas. Mais la cellulose au bisulfite lui a fait, quoiqu'en moyenne un peu plus chère, une concurrence victorieuse, parce qu'elle est beaucoup plus solide et se blanchit mieux (1).

(1) On pourra se rendre compte de la valeur marchande comparée de diverses celluloses par le tableau suivant, dont les chiffres sont les cours moyens du marché de Londres à la date du 18 août 1892.

Cellulose	à la soude	au sulfate	au bisulfite
Ecrue inférieure fr.	»	»	23.50
» ordinaire	» 26.65	26. »	28.60
» 1 ^{re}	» 28.85	28.55	32.35
Demi-blanchie	» 32.95	32.95	»
Blanchie	» »	37.15	43.90

On s'expliquera facilement l'influence dominante qu'exerce la solidité sur le choix des fabricants, si l'on considère que, pour

La cause des différences que l'on constate, non pas seulement entre ces deux groupes principaux, mais encore entre les diverses celluloses au bisulfite s'explique par les chiffres du tableau ci-après, qui, sans être absolument rigoureux, n'en montrent pas moins la grande influence de la pression (1) et de la température auxquelles s'opère

toutes les sortes d'impression ou analogues, à bas prix (dont le journal), représentant une très grosse partie de la production, le problème se pose ainsi : employer le plus possible de pâte mécanique coûtant de 12 à 18 fr., mais n'ayant aucune solidité, avec le moins possible d'une bonne pâte chimique, destinée à donner au papier une résistance suffisante.

Il faut aussi remarquer que, tandis que la cellulose à la soude écrue est brune, la cellulose au bisulfite écrue est presque blanche et peut être employée telle toutes les fois que l'on n'a pas de grandes exigences pour la blancheur du papier. Tel est notamment le cas pour le journal (N. d. T.).

(1) La pression n'agit pas par elle-même, mais par la température qui lui correspond et dont, avec les appareils actuels elle est dans de certaines limites inséparable. M. Kellner en a donné la démonstration expérimentale suivante :

On fait digérer du bois suffisamment émiétté dans une dissolution tiède de soude caustique marquant environ 10° B^é et quand il est bien imprégné on fait écouler tout ce qui n'a pas été absorbé de la lessive. Le bois ainsi préparé est mis dans une huile lourde (résidu de raffinerie de pétrole) dont le point d'ébullition est au dessus de 160°, ou dans de la paraffine fondue et l'on chauffe dans un ballon ou dans un tube ouvert et muni d'un thermomètre, d'abord à 100° jusqu'à ce que toute l'eau soit évaporée, puis, quand tout dégagement de vapeur a cessé, on élève lentement la température jusqu'à 145° environ, et on la maintient ainsi à peu près une demi-heure. Au bout de ce temps on fait écouler l'huile, ou l'on déplace la paraffine fondue avec de l'eau chaude au moyen d'un entonnoir

la cuisson. Les températures qui manquent dans ce tableau ne peuvent pas être déduites de la pression car la loi de relation entre les pressions et les températures n'est pas applicable au contenu des lessiveurs de cellulose. Dans ces masses complexes de bois et de lessive, la température n'est plus une fonction déterminée de la pression.

On constate tout d'abord que la cellulose à la soude s'obtient à une température et à une pression très élevées, mais avec une durée de cuisson relativement courte ; que pour la cellulose au bisulfite au contraire la pression est faible, la température peu élevée mais la durée de cuisson plus longue ; que dans la cellulose Mitscherlich particulièrement, avec les pressions et les températures les plus basses, l'opération du lessivage se prolonge encore davantage. C'est donc dans ce dernier procédé que la cuisson est conduite en quelque sorte avec le plus de précaution, et c'est bien évidemment par cette lente élimination des matières incrustantes, ne se faisant qu'à la température stric-

qui plonge jusqu'au fond du vase. Le bois est d'une couleur brune, dur et comme calciné. Mis à bouillir dans l'eau il s'amollit, toute la matière incrustante se résout en une dissolution brune que l'on jette et il ne reste que de la fibre de cellulose presque blanche qu'il est très facile de blanchir tout à fait. Cette cellulose a donc été obtenue sous l'action combinée de la température et de l'alcali mais sans aucune pression (N. d. T).

PROCÉDÉ	Plus haute pression en atmosphères	Plus haute température degrés centigrades	Durée de cuisson en heures	Concentration de la lessive	
à la soude.....	Américain.....	160° — 172°	6	2° B.	
	Dahl.....	»	30 — 40	6° — 14° B.	
	Ungerer.....	»	»	5° — 6° B.	
au bisulfite.....	Pictet et Brélaz.....	90° — 105°	»	7 % SO ²	
	Ekman.....	»	10	»	
	Flodquist.....	»	8 — 9	5° B.	
	Archbold.....	»	1 1/2	»	
	Partington.....	»	12 — 14	»	
	Francke.....	»	12 — 17	»	
	Ritter Kellner.....	»	16 — 36	»	
	Mitschenlich.....	3	117° — 120°	35 — 38	5° — 7° B.

tement nécessaire, que la fibre proprement dite doit être le plus ménagée et que la cellulose obtenue doit présenter la plus grande solidité. C'est précisément ce qui a lieu. Comme fabricant de papier, l'auteur emploie depuis longtemps les différentes sortes de cellulose et s'est même approvisionné de cellulose Mitscherlich dans différentes usines ; il a toujours trouvé qu'au point de vue de la solidité cette dernière reste au dessus des produits obtenus par quelque autre système que ce soit, ce qu'il faut sans nul doute attribuer aux causes indiquées plus haut. La cellulose Mitscherlich se comporte dans la pile, au point de vue de la dureté, comme des chiffons durs de chanvre ou de lin, et peut, employée pure de tout mélange, donner un papier ayant jusqu'à 6,000^m et plus de longueur de rupture. Il est tels emplois pour lesquels on doit y recourir exclusivement.

La cellulose à la soude étant assimilée aux fibres de coton, la cellulose Mitscherlich répond aux fibres les plus solides de lin et de chanvre, et les produits obtenus par les autres procédés principaux, Ritter-Kellner, Graham et Flodquist, représentent les toiles un peu plus usées ou plus fines. Telles sont bien en effet les deux séries correspondantes, car il n'y a pas à se dissimuler que, auprès de tous ses avantages, la cellulose Mitscherlich présente l'in-

convénient d'être un peu moins pure, ce qui l'empêche, même blanchie, de se bien employer dans les papiers fins, tandis que la cellulose obtenue par le procédé Ritter-Kellner ou ceux qui s'en rapprochent, tout en présentant une bonne solidité, se distingue par une pureté, et, dans les sortes de choix, par une blancheur qui permettent de la faire entrer avantageusement dans les plus beaux papiers. On doit cependant reconnaître aussi que dans ces derniers temps on est arrivé à faire de la cellulose Mitscherlich très blanche et tout à fait irréprochable.

Dans les types normaux donnés par l'état prussien pour les fournitures de papier aux administrations publiques, la cellulose de bois a été l'objet de plusieurs restrictions. Elle ne peut pas être employée dans tous les papiers. Au point de vue où il se place, le gouvernement a parfaitement raison lorsqu'il exige que certains papiers, appelés par la nature des documents dont ils doivent devenir dépositaires à durer pendant des siècles, ne soient composés que de chiffon de première qualité, car l'expérience est là pour prouver que de tels papiers de chiffon présentent bien les garanties demandées. Il est évident que cette donnée expérimentale manque et manquera encore longtemps pour les papiers de pure cellulose de bois, mais il faut tou-

tefois remarquer que les prescriptions officielles datent d'une époque où les différents systèmes de fabrication de cellulose en étaient encore à l'âge des maladies infantiles, où, à côté de très bonne cellulose, il s'en vendait aussi de très mauvaise, où enfin les fabricants de papier eux-mêmes en étaient encore aux tâtonnements dans l'emploi des diverses sortes, aussi bien au point de vue de la qualité qu'à celui des proportions.

L'auteur lui-même a, vers cette époque, soumis à l'examen d'une personne dont le nom fait autorité, un papier de pure cellulose, dans lequel une odeur pénétrante d'acide sulfureux dénotait clairement le lavage tout à fait insuffisant de la matière première. Que pour toute espèce de raisons un semblable papier fût appelé à s'altérer promptement, rien n'est plus facile à concevoir, mais on n'avait pas alors autant de choix que maintenant, et l'expérience faisait également défaut. Aujourd'hui une pareille cellulose ne se vendrait plus, pas un fabricant n'en voudrait. Les prescriptions relatives aux types normaux semblent donc devoir être remaniées à la première occasion qu'aura le gouvernement prussien de revenir sur la question. Toutes les fibres de cellulose d'ailleurs, qu'elles proviennent de la paille, du bois, du chanvre, etc., etc., sont à peu de chose près semblables ; la cellulose du

bois pourrait même avoir le pas sur celle des chiffons, en ce sens qu'elle n'a pas encore servi, qu'elle n'a pas été affaiblie par l'usage, tandis que les fibres de chiffon ont déjà été énervées par les teintures, les blanchiments, les lessives et aussi par l'usage à l'état de tissus.

Il y a cependant encore un reproche qu'on fait à la cellulose et qui l'empêche d'être employée dans les papiers répondant aux types normaux de de qualité supérieure, c'est le manque d'extensibilité du papier de cellulose et le fait que cette extensibilité, existât-elle même tout d'abord, va ensuite constamment en diminuant avec le temps. On s'en plaint de plusieurs côtés, et ce manque d'extensibilité ne peut être contesté, mais il n'est pas aussi grand qu'on veut bien le dire, car un papier de cellulose battu très court et ayant une longueur de rupture de 5450^m prend encore un allongement de 2,50 % à la rupture. Cette extensibilité peut encore être notablement augmentée par le mode de travail et le traitement, et l'auteur est convaincu qu'un jour viendra, qui n'est peut-être pas loin, où la cellulose de divers systèmes sera obtenue dans des conditions telles qu'à ce point de vue elle n'aura rien à redouter de la comparaison avec les meilleures fibres de chiffon.

Enfin l'on a encore signalé comme cause d'infé-

riorité de la cellulose le résidu trop élevé qu'elle laisserait à l'incinération ce qui en interdirait l'emploi dans les numéros supérieurs des papiers normaux, où l'on ne tolère pas plus de 2 % de cendres. Le D^r Frank a fait autrefois à ce sujet des recherches comparatives dont les résultats ont été publiés dans la *Papier Zeitung* (1888, n° 45). Il y est dit entre autres choses : si la cellulose, au sens chimique du mot, brûle sans laisser le moindre résidu, on n'en peut dire autant des diverses formes qu'elle revêt dans la nature, puisque la plus pure d'entre elles, le coton, a encore une teneur en cendres de 0.11 à 0,12 %. Un des textiles les plus répandus après lui, l'un de ceux qui jouent le rôle le plus important dans les papiers de 1^{re} classe, le lin, accuse une teneur en cendres déjà beaucoup plus élevée. D'après les recherches du D^r Hugo Muller, 2 échantillons de lin finement sérancé de première qualité de Belgique, le lin bleu de Lockeren et le lin Wallon ont donné l'un 0.77 l'autre 1.46 %, et du chanvre italien de première qualité 0,9 %, cette teneur en cendre s'entendant de la substance desséchée à fond. Jusqu'à quel point la teneur en cendres de ces matières premières, que le fabricant de papier considère comme les meilleures et les plus pures, est-elle modifiée par le blanchiment, le lavage etc., cela n'a malheureusement pas

été déterminé, et les expériences relatives à la teneur en cendres des chiffons purs font également défaut. Dans une autre matière première très-appréciée et employée dans les meilleurs papiers, le sparte, Muller a trouvé pour la plante brute sèche de 3,6 à 4.1 % et Stevenson Macadam 5,6.

Dans ces dernières fibres il ne s'agit encore que d'une matière brute, mais dans la cellulose pure, préparée chimiquement, dans celle au bisulfite par exemple, la question de la teneur en cendres revêt un caractère particulièrement intéressant puisqu'ici le procédé de mise à nu des fibres végétales par une dissolution acide, à une pression et à une température élevées, devrait éliminer sûrement toutes les matières incrustantes des plantes, à l'exception de quelques traces d'acide silicique et de silicate.

1. Pour éviter d'être induit en erreur dans ces recherches par des matières minérales pouvant provenir des dépôts de bisulfite de chaux, on s'est servi pour cette détermination des cendres de cellulose préparée rien qu'à l'acide sulfureux par le procédé Pictet, et l'on a trouvé une teneur en cendres de 0,459 %.

2. Echantillon de très belle cellulose, obtenue par le procédé Graham dans la fabrique du D^r Salomon à Cunnersdorf. Comme le sulfite de magné-

sie est facilement soluble dans l'eau (1:20) son emploi ne peut pas, comme celui du bisulfite de chaux, donner lieu à des dépôts, et par le fait la cellulose de Cunnersdorf n'a laissé que 0,32 % de cendres, soit moins que la cellulose Pictet.

3 et 4. Les deux échantillons suivants ont été obtenus avec une lessive de bisulfite de chaux contenant de l'acide sulfureux libre à haute dose, et par suite ne donnant lieu qu'à un faible dépôt de monosulfite de chaux sur la cellulose ; la teneur en cendres a été seulement de 0,61 et 0,654 %.

5 et 6. Deux échantillons reçus d'Angleterre et présentés comme cellulose Partington ont donné 0,91 et 1,015 % de cendres.

7, 8 et 9. Trois échantillons provenant d'une fabrication au système Mitscherlich contenaient 1,39, 1,68 et 1,79 % de cendres.

Enfin un papier genre parchemin de pure cellulose Mitscherlich, obtenu selon toute apparence sans collage au sulfate d'alumine, a laissé 2,6 % de cendres.

Après avoir rapporté les résultats de ces diverses incinérations, le D^r Frank conclut que, dans la cellulose au bisulfite, la teneur en cendres s'accroît dans la masse soumise à la cuisson, lorsqu'une forte proportion de chaux contenue dans la lessive sulfureuse vient, pendant cette opération, favoriser la

formation d'un dépôt de monosulfite très peu soluble et qu'alors, même en employant des matières très pures, lorsqu'on tient compte de l'alumine précipitée dans le collage, on arrive à une teneur en cendres du papier qui dépasse d'une quantité fort appréciable le chiffre de 2 %, maximum admis pour la première classe.

L'auteur, ne pouvant accepter sans réserves la première partie de cette conclusion, croit devoir citer les résultats d'un autre essai de celluloses Mitscherlich, exécuté par M. A. Muller et publié par lui dans la *Papier Zeitung* (1888, n° 58)

Essai 1. — Echantillon provenant de Nestl et C^{ie}, Holoubkau, Bohême : cendres 0,78 %.

Essai 2. — Echantillon provenant d'une fabrique de l'Allemagne du Sud : cendres 1.22 %.

Essai 3. — 2^e qualité de la même fabrique : cendres 4,20 %.

Ces mêmes celluloses ont alors été lavées à l'eau pure jusqu'à ce que l'eau de lavage cessât de dissoudre quoi que ce fût, et ont laissé à l'incinération 0,58, 0,36, et 0,54 %. Après traitement par les acides étendus, ces mêmes échantillons de cellulose de première qualité donnèrent encore respectivement 0,08 et 0,02 % de cendres. L'analyse des substances minérales qui avaient pu être extraites de la cellulose par les lavages à l'eau fit reconnaître

qu'elles se composaient principalement de sulfate de chaux, et contenaient encore des traces de sulfate de magnésie. En outre le résidu de l'incinération de la cellulose traité par l'eau se composait d'une petite quantité de phosphate de fer, de phosphate de chaux, et aussi de substances provenant du bois. D'où il résulte assurément que le D^r Frank n'a eu à sa disposition en fait d'échantillons Mitscherlich que de la cellulose mal lavée.

Pour nous résumer, il ressort de tout ceci qu'on produit actuellement de la cellulose qui ne laisse que 0,32 % de cendres (la grande fabrique de Waldhof, près Mannheim, obtient des sortes qui ne laissent que 0,30 %), et qu'une plus forte teneur en cendres ne saurait résulter que de défauts dans la cuisson ou dans le lavage, et que par conséquent sous ce rapport la cellulose de bois n'est pas inférieure aux fibres de chiffon, ou tout au moins s'en rapproche beaucoup.

TABLE DES MATIERES

Préface du traducteur.....	Pages v
----------------------------	------------

CHAPITRE PREMIER

Cellulose, acceptions du mot « Cellulose », etc.....	1
Tableau chronologique des divers procédés.....	5

CHAPITRE II

DU BOIS ET DE SA PRÉPARATION

Longueur des fibres	8
Tableau d'après R. B. Griffin du rendement en cellulose des diverses essences par le procédé au bisulfite.....	9
Tableau du rendement par le procédé à la soude....	10
Consommation de l'Allemagne en bois pour cellulose.....	11
Statistique forestière de l'empire allemand.....	14
id. id. de la France.....	15
Préparation mécanique du bois :	
Scie à débiter les grumes.....	20
Machines à écorcer.....	22
Scies circulaires.....	26
Déchet du sciage	29
Machines à refendre les rondins, à enlever les nœuds	31
Machines à hacher et à déchiqueter.....	33
Variation des frais de sciage avec la grosseur des bois.....	41

CHAPITRE III

DES LESSIVES ET DE LEUR PRÉPARATION

<i>A. Procédé à la soude</i>	44
Préparation de la lessive.....	48
Emploi du sulfate de soude.....	49
Récupération de la soude.....	59
Four de Rœckner.....	61
Tours d'évaporation de Schneider et d'Ungerer.	62
Fours opérant un brassage mécanique de la lessive.....	66
Installation de Ranheim.....	67
Appareil à triple effet de Yaryan.....	72
Laveur méthodique Shank.....	76
<i>B. Procédé sulfureux</i>	78
Le soufre et la pyrite. Fours à brûler le soufre	80
Four à brûler la pyrite.....	82
Tour Mitscherlich.....	88
Tour d'échappement.....	95
Tours basses.....	96
Procédé Ritter Kellner.....	101
Appareils à chambre.....	106
Procédé Dongall.....	107
Procédé du Dr Frank.....	110
Appareil du même.....	117
Appareil Wendler et Spiro.....	129
Procédé d'Edouard Partington.....	131
Procédés d'Eckmann, de Francke, de Graham, de Pic- tet et Brélaz de Flodquist, d'Archbold.....	135
Essai de la lessive au moyen de liqueurs titrées.....	140

CHAPITRE IV

LESSIVEURS ET CUISSON DU BOIS

<i>A. Procédé à la soude.</i>	
Lessiveurs et procédés de Max Dresel	146
de Dahl	147
de Sinclair, de Lee, de Houghton.	147
de Kœrting.....	148
d'Ungerer	150

B. Procédé sulfureux	157
Lessiveur A. Mitscherlich.....	157
Opération de la cuisson d'après Mitscherlich.....	165
Procès-verbaux de cuisson empruntés à la pratique..	169
Examen du procédé, observations.....	172
Essais pour suivre la marche de l'opération.....	173
Rendement des bois en cellulose.....	178
Procédé Ritter Kellner.....	180
Eckmann.....	185
Francke, à Mølndal.....	186
Brevet américain.....	188
Réutilisation de l'acide sulfureux par la méthode Pic- tct et Brélaz.....	190
Lessiveur de Flodquist.....	191
Revêtement intérieur de Wagg.....	192
Lessiveur de Frambach et Dart.....	193
Garniture intérieure Goldberg, Harden, Poud.....	195
Enduit protecteur de Wilh. Wenzel.....	196
Incrustation protectrice de Brünger.....	199
C. Procédé électrique	203
Disposition des lessiveurs pour l'action combinée de l'électricité et de la chaleur.....	204
Traitement analogue du bois dans les fosses.....	209
Appareil Kellner pour la préparation électrique de la cellulose sans l'intervention de la chaleur.....	210

CHAPITRE V

LAVAGE, BLANCHIMENT, ACHÈVEMENT DE LA CELLULOSE

Similitude des manipulations finales dans les divers procédés.....	216
Moulins à maillets de Mitscherlich.....	218
Rigole de lavage.....	222
Épurateurs plats, épurateur rotatif de Wandel.....	224
Presse pâte.....	227
Dispositif pour l'épluchage de la cellulose.....	228
Blanchiment dans la pile.....	230
Blanchiment électrique système Hermite.....	231
Achèvement à la meule.....	240
« Quirl » de Klein et Kirchner.....	241
Emploi des raffineurs.....	244

CHAPITRE VI

EAUX-VANNES, LEUR PURIFICATION, ÉMANATIONS INSALUBRES
MESURES PRÉVENTIVES, PRESCRIPTIONS LÉGALES

Effets nuisibles des eaux-vannes, leur composition, précautions à prendre, etc.....	246
Purification par la chaux, le ferrite et l'aluminate de soude.....	253
Evaporation des lessives.....	254
Valeur nutritive des lessives.....	255
Récupération de l'acide sulfureux par la méthode du Dr Frank.....	257
Introduction du procédé Frank à Aschaffenburg. ...	260
Irrigation des prairies et des champs avec la lessive purifiée.....	262
Transformation de la lessive en nourriture pour les bestiaux, système Voigt.....	264
Procédé pour extraire des lessives noires les produits de la distillation.....	266
Recherches sur une eau courante polluée.....	269
Dégâts auxquels les résidus de pyrite peuvent donner lieu.....	275
Emanations insalubres des fabriques de cellulose....	276
Conditions mises par l'autorité à la délivrance d'un permis d'installer une fabrique de cellulose à la soude.....	278
Moyens pratiques de remplir ces conditions.....	282
Conditions mises par l'autorité à la délivrance d'un permis d'installer une fabrique de cellulose au bisulfite.....	286

CHAPITRE VII

SITUATION ET INSTALLATION DES FABRIQUES DE
CELLULOSE

Choix d'un emplacement.....	289
Question des transports, etc.....	290
Eau de fabrication.....	294

CHAPITRE VIII

COMPARAISON DES DIVERSES SORTES DE CELLULOSE TANT
ENTRE ELLES QU'AVEC LES FIBRES DE CHIFFONS

Corrélation entre les diverses celluloses de bois et les diverses pâtes de chiffons.....	293
Tableau comparatif des divers modes de traitement du bois	297
Emploi de la cellulose de bois dans les papiers types normaux de l'Administration prussienne.....	298
Teneur en cendres de la cellulose.....	301

EXTRAIT DU CATALOGUE

DE LA

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE BAUDRY ET C^{ie}

15, Rue des Saints-Pères, PARIS

Le catalogue complet est envoyé franco sur demande.

Histoire de la chimie.

Histoire de la chimie. I. Histoire des grandes lois chimiques. — II. Histoire des métalloïdes et de leurs principaux composés. — III. Histoire des métaux et de leurs principaux composés. — IV. Histoire de la chimie organique, par R. Jagnaux, 2 volumes grand in-8, contenant plus de 1.500 pages. 32 fr.

Aide-mémoire du chimiste.

Aide-mémoire du chimiste. Chimie inorganique, chimie organique, documents chimiques, documents minéralogiques, etc., etc.; par R. Jagnaux. 1 beau volume contenant environ 1.000 pages, avec figures dans le texte, solidement relié en maroquin. 15 fr.

Vade-Mecum du fabricant de produits chimiques.

Vade-mecum du fabricant de produits chimiques, par le D^r G. Lunge, professeur de chimie industrielle à l'École Polytechnique fédérale de Zurich, traduit de l'allemand sur la 2^e édition par V. Hassreidter et Prost, chimistes-industriels, 1 volume in-12, avec figures dans le texte, relié. 7 fr. 50

Chimie appliquée à l'industrie.

Traité de chimie appliquée à l'industrie, par Adolphe Renard, docteur ès-sciences, professeur de chimie appliquée à l'École supérieure des sciences de Rouen. 1 volume grand in-8, avec 225 figures dans le texte. 20 fr.

Analyse chimique.

Traité d'analyse chimique des substances commerciales, minérales et organiques, par R. Jagnaux. 1 volume grand in-8 avec figures dans le texte. 20 fr.

20

Analyse chimique.

Tableaux d'analyse chimique minérale d'après Frénésius, par C. Desmazures. 11 tableaux figuratifs renfermés dans un carton. 20 fr.

Méthodes de travail pour le laboratoire.

Méthodes de travail pour les laboratoires de chimie organique, par le Dr Lassar Cohn, professeur de chimie à l'université de Königsberg, traduit de l'allemand par E. Ackermann, ingénieur civil des mines. 1 volume in-12 avec figures dans le texte, relié. 7 fr. 50.

Docimasia.

Docimasia. Traité d'analyse des substances minérales, par Rivot, ingénieur en chef des mines, professeur de docimasia à l'École des mines de Paris. 2^e édition. 5 volumes grand in-8. 50 fr.

Matières colorantes artificielles.

Traité pratique des matières colorantes artificielles dérivées du goudron de houille par A.-M. Villon, ingénieur chimiste. 1 volume grand in-8, avec figures dans le texte. 20 fr.

Matières colorantes.

Traité des matières colorantes, du blanchiment et de la teinture du coton, suivi du dégommeage et de la teinture de la ramie ou china-grass, par Adolphe Renard, docteur ès-sciences physiques professeur de chimie à l'École supérieure d'industrie de Rouen. 1 volume in-8, avec figures dans le texte et un album de 83 échantillons. 20 fr.

Teinture des soies.

Traité de la teinture des soies, précédé de l'histoire chimique de la soie et de l'histoire de la teinture de la soie, par Marius Moyret. 1 volume in-8. 20 fr.

Fixage des couleurs.

Traité du fixage des couleurs par la vapeur, par Joseph Dépierre. 1 volume grand in-8, avec 10 planches. 10 fr.

Teinture et Impression.

Traité pratique de teinture et d'impression. Teinture et impression des tissus et des échevaux de coton, de fil, de soie, de laine, etc.; blanchiment des toiles de fil, coton, soie, de laine, etc.; apprêts; teinture des housses, de la pelletterie, des plumes pour modes, des chapeaux de paille; produits chimiques utilisés à la teinture, et à l'impression, par Michel de Vinant. 2^e édition complètement revue et considérablement augmentée de procédés nouveaux spéciaux et pratiques. 1 volume in-8, avec planches. 40 fr.

Dégraissage. — Blanchiment.

Traité pratique du dégraissage et du blanchiment des tissus, des toiles, des échevaux de la flotte, etc., ainsi que du nettoyage et du détachage des vêtements et des tentures, par A. Gillet, 1 volume in-8, avec gravures dans le texte. 5 fr.

Epuration des eaux.

Traité de l'épuration des eaux naturelles et industrielles ; analyse et essais des eaux, inconvénients de l'impureté des eaux, examen des procédés physiques employés à l'épuration des eaux, épuration ou correction chimique, systèmes mixtes, corrections des eaux dans les chaudières, description et examen critique des appareils, épuration des eaux résiduées, par Delhotel. 1 volume grand in-8 avec 147 figures dans le texte, relié. 15 fr.

Fabrication du gaz.

Traité théorique et pratique de la fabrication du gaz et de ses divers emplois, à l'usage des ingénieurs, directeurs et constructeurs d'usines à gaz, par Edmond Borias, ingénieur des arts et manufactures, directeur d'usines à gaz. 1 volume in-8, avec figures dans le texte, relié. 25 fr.

Distribution du gaz.

Calcul des conduites de distribution du gaz d'éclairage et de chauffage, par D. Monnier, 1 volume in-4. 10 fr.

Fabrication des cuirs.

Traité pratique de la fabrication des cuirs et du travail des peaux. Tannage, corroyage, hongroyage, mégisserie, chamoiserie, parcheminerie, cuirs vernis, maroquins, fourrures, courroies, selles, équipements militaires, harnais, théorie du tannage, statistique des cuirs et des peaux, par Villon. 1 volume grand in-8 contenant 128 figures dans le texte. 18 fr.

Emplois chimiques du bois.

Des emplois chimiques du bois dans les arts et l'industrie. Du bois considéré comme combustible, carbonate de potasse, charbon de bois ordinaire, charbon de bois pour poudre, bois torréfié ou charbon roux, charbon moulu, dit charbon de Paris, goudron et ses dérivés, essence de térébenthine et ses dérivés, esprit-de-bois et ses dérivés, acide pyroligneux et ses dérivés, gaz d'éclairage au bois, tannin (extraits tanniques pour tannerie et teinture), cellulose (pâte chimique et pâte mécanique de bois pour papier), glucose (pour alcool), acide oxalique, par O. Petit, ingénieur, ancien élève de l'École nationale forestière. 1 volume grand in-8 avec de nombreuses figures dans le texte, 15 fr.

Conservation des bois et des substances alimentaires

Traité de la conservation des bois, des substances alimentaires et des diverses matières organiques, par Paulet. 1 volume grand in-8. 9 fr.

Savonnerie.

Traité pratique de savonnerie. Matières premières, matériel procédés de fabrication de savons de toute nature, par Edouard, Moride. 1 volume grand in-8 avec 93 gravures dans le texte. 15 fr.

Annuaire de la Savonnerie et de la Parfumerie.

Annuaire de la savonnerie et de la parfumerie comprenant les documents scientifiques et pratiques intéressant la savonnerie et la parfumerie, et les adresses des savonniers, des parfumeurs et des fournisseurs de matières premières et de matériel, publié sous la direction de Edouard Moride. 1 volume grand in-8, relié. 8 fr.

Étuves à farine.

Mémoire sur les étuves à farine, leur théorie et leur construction, et théorie de toute les étuves ou séchoirs, par Ordinaire de Lacolonge. 1 volume grand in-8, avec planches. 3 fr. 50

Fabrication du papier.

Fabrication du papier, succédanés des chiffons. — Cellulose extraite en grand des fibres ligneuses, par Payen. Ce mémoire a paru dans le numéro 27 des *Annales du Conservatoire des arts et métiers*. Prix du numéro, 5 fr.

Traité d'électricité et de magnétisme.

Traité d'électricité et de magnétisme. Théorie et applications, instruments et méthodes de mesure électrique. Cours professé à l'école supérieure de télégraphie, par A. Vaschy, ingénieur des télégraphes, examinateur d'entrée à l'école Polytechnique. 2 volumes grand in-8 avec de nombreuses figures dans le texte. 25 fr.

Traité pratique d'électricité.

Traité pratique d'électricité à l'usage des ingénieurs et constructeurs. Théorie mécanique du magnétisme et de l'électricité, mesures électriques, piles, accumulateurs et machines électrostatiques, machines dynamo-électriques génératrices, transport, distribution et transformation de l'énergie électrique, utilisation de l'énergie électrique, par Félix Lucas, ingénieur en chef des ponts et chaussées, administrateur des chemins de fer de l'Etat, 1 volume grand in-8 avec 278 figures dans le texte. 15 fr.

Électricité industrielle.

Traité pratique d'électricité industrielle. Unités et mesures ; piles et machines électriques ; éclairage électrique ; transmission électrique de la force ; galvanoplastie et électro-métallurgie ; téléphonie, par E. Cadiat et L. Dubost. 4^e édition. 1 volume grand in-8, avec 257 gravures dans le texte, relié. 16 fr. 50

Manuel pratique de l'électricien.

Manuel pratique de l'électricien. Guide pour le montage et l'entretien des installations électriques, par E. Cadiat. 1 volume in-12 avec de nombreuses figures dans le texte, relié. 7 fr. 50

Électricité industrielle.

Électricité industrielle. Production et applications. Induction électro-magnétique : méthodes de mesure ; étude théorique et expérimentale des machines électriques ; piles ; canalisation électrique : application à l'électrolyse, à la métallurgie, au transport de la force et à la production de la lumière ; distribution de l'énergie électrique. Cours professé à l'École centrale des arts et manufactures, par D. Monnier, ingénieur. 1 volume grand in-8, avec 388 figures dans le texte. 20 fr.

L'année électrique.

L'année électrique, ou Exposé annuel des travaux scientifiques, des inventions et des principales applications de l'électricité à l'industrie et aux arts, par Ph. Delahaye. 1 volume in-12 par année : Prix de chaque volume. 3 fr. 50

La première année a paru en 1885.

Pile électrique.

Traité élémentaire de la pile électrique, par Alfred Niaudet. 3^e édition revue par Hippolyte Fontaine et suivie d'une notice sur les accumulateurs, par E. Hospitalier. 1 volume grand in-8, avec gravures dans le texte. 7 fr. 50

Électrolyse.

Électrolyse ; renseignements pratiques sur le nickelage, le cuivrage, la dorure, l'argenture, l'affinage des métaux et le traitement des minerais au moyen de l'électricité, par Hippolyte Fontaine. 2^e édition. 1 volume grand in-8, avec gravures dans le texte, relié. 15 fr.

Machines dynamo-électriques.

Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques, par R.-V. Picou, ingénieur des arts et manufactures. 1 volume grand in-8, avec 198 figures dans le texte. 12 fr. 50

Les moteurs électriques à champ magnétique tournant.

Les moteurs électriques à champ magnétique tournant, par R. V. Picou. *Supplément au Traité des machines dynamo-électriques du même auteur.* 1 brochure grand in-8 avec figures dans le texte. 1 fr. 50

Machines dynamo-électriques.

Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques, par Silvanus Thompson, traduit par E. Boistel. 1 volume grand in-8 avec 246 gravures dans le texte (*Epuisé.* — Une 2^e édition est en préparation.)

Machines dynamo-électriques.

La machine dynamo-électrique, par Frœlich, traduit de l'allemand par E. Boistel. 1 volume grand in-8, avec 62 figures dans le texte. 10 fr.

Éclairage à l'électricité.

Eclairage à l'électricité. Renseignements pratiques, par Hippolyte Fontaine. 3^e édition entièrement refondue. 1 volume grand in-8, avec 326 figures dans le texte. 16 fr.

Éclairage électrique.

Eclairage électrique de l'Exposition universelle de 1889. Monographie des travaux exécutés par le syndicat international des électriciens, par Hippolyte Fontaine. 1 volume in-4 avec 29 planches tirées à part et 32 gravures dans le texte, relié. 25 fr.

Éclairage électrique.

Étude pratique sur l'éclairage électrique des gares de chemins de fer, ports, usines, chantiers et établissements industriels par Georges Dumont, avec la collaboration de Gustave Baignières. 1 volume grand in-8 avec deux planches. 5 fr.

Électricité.

Manuel élémentaire d'électricité, par Fleeming Jenkin, professeur à l'Université d'Edimbourg ; traduit de l'anglais par N. de Tédesco. 1 volume in-12, avec 32 gravures. 2 fr.

Les courants alternatifs d'électricité.

Les courants alternatifs d'électricité, par T. H. Blakesley, professeur au Royal Naval Collège de Greenwich, traduit de la 3^e édition anglaise et augmenté d'un appendice, par W. C. Rechniewski. 1 volume in-12 avec figures dans le texte, relié. 7 fr. 50

Problèmes sur l'électricité.

Problèmes sur l'électricité. Recueil gradué comprenant toutes

les parties de la science électrique, par le D^r Robert Weber, professeur à l'Académie de Neuchâtel. 2^e édition. 1 volume in-12, avec figures dans le texte. 6 fr.

Transmissions électriques.

Transmissions électriques, renseignements pratiques, par H. Fontaine. 1 volume grand in-8, avec gravures. 3 fr.

Accumulateurs électriques.

Recherches théoriques et pratiques sur les accumulateurs électriques, par René Tamine. 1 volume grand in-8, avec gravures dans le texte. 7 fr. 50

L'Accumulateur voltaïque.

Traité élémentaire de l'accumulateur voltaïque, par Emile Reynier. 1 volume grand in-8 avec 62 gravures dans le texte et un portrait de M. Gaston Planté. 6 fr.

Les Voltamètres-régulateurs.

Les voltamètres-régulateurs zinc-plomb. Renseignements pratiques sur l'emploi de ces appareils, leur combinaison avec les dynamos et les circuits d'éclairage, par Emile Reynier. 1 brochure in-8 avec gravure et schémas d'installation. 1 fr. 25

Le Téléphone.

Le Téléphone, par William-Henri Preece, electricien en chef du *British Post-Office*, et Julius Maier, docteur ès-sciences physiques. 1 volume grand in-8 avec 290 gravures dans le texte. 15 fr.

Traité de minéralogie.

Traité de minéralogie à l'usage des candidats à la licence ès-sciences physiques et des candidats à l'agrégation des sciences naturelles, par Wallerant, professeur à la Faculté des sciences de Rennes. 1 volume grand in-8 avec 341 figures dans le texte. 12 fr. 50

Les minéraux des roches.

Les minéraux des roches. 1^o Application des méthodes minéralogiques et chimiques à leur étude microscopique, par A. Michel Lévy, ingénieur en chef des mines. 2^o Données physiques et optiques, par A. Michel Lévy et Lacroix. 1 volume grand in-8, avec de nombreuses figures dans le texte et une planche en couleur. 12 fr. 50

Tableaux des minéraux des roches.

Tableaux des minéraux des roches. Résumé de leurs propriétés optiques, cristallographiques et chimiques, par Michel Lévy et Lacroix. 1 volume in-4, relié. 6 fr.

Portefeuille des machines.

Portefeuille économique des machines, de l'outillage et du matériel, relatifs à la construction, à l'industrie, aux chemins de fer, aux routes, aux mines, à la navigation, à l'électricité, etc. : contenant un choix des objets les plus intéressants des expositions industrielles ; fondé par Oppermann. 12 livraisons par an formant un beau volume de 50 à 60 planches et 200 colonnes de texte. Abonnements : Paris, 15 fr. — Départements et Belgique, 18 fr. — Union postale, 20 fr.

Prix de l'année parue, reliée. 20 fr.

La 3^e série a commencé à paraître en 1876.

Table des matières des années 1876 à 1887. 0 fr. 50

Agenda Oppermann.

Agenda Oppermann, paraissant chaque année. Élégant carnet de poche contenant tous les chiffres et tous les renseignements techniques d'un usage journalier. Rapporteur d'angles, coupe géologique du globe terrestre, guide du mètreur. — Résumé de géodésie. — Poids et mesures, monnaies françaises et étrangères. — Renseignements mathématiques et géométriques. — Renseignements physiques et chimiques. — Résistance des matériaux. — Électricité. — Planchers en fer. — Règlements administratifs. — Dimensions du commerce. — Prix courants et série de prix. — Tarifs des Postes et Télégraphes.

Relié en toile, 3 fr. ; en cuir, 5 fr. — Pour l'envoi par la poste, 25 centimes en plus.

Aide-mémoire de l'ingénieur.

Aide-mémoire de l'ingénieur. Mathématiques, mécanique, physique et chimie résistance des matériaux, statique des constructions, éléments des machines motrices, constructions navales, chemins de fer, machines-outils, machines élévatoires, technologie, métallurgie du fer, constructions civiles, législation industrielle. Édition française du Manuel de la Société « Hütte », par Philippe Huguenin. 1 beau volume contenant plus de 1.200 pages, avec 500 figures dans le texte, solidement relié en maroquin. 15 fr.

Mécanique appliquée.

Cours élémentaire de mécanique appliquée, à l'usage des écoles primaires supérieures, des écoles professionnelles, des écoles d'apprentissage, des écoles industrielles, des cours techniques et des ouvriers ; par Bocquet, ingénieur, directeur de l'École Diderot. 2^e édition. 1 volume in-12, relié. 5 fr.

Guide de mécanique pratique.

L'ouvrier mécanicien. Guide de mécanique pratique, par Armen-gaud jeune. 1 volume in-12 avec 4 planches, relié. 5 fr.

Formulaire de l'ingénieur.

Formulaire de l'ingénieur-constructeur, carnet usuel des archi-

tectes, agents-voyers, mécaniciens, directeurs et conducteurs de travaux industriels et manufacturiers, par Armengaud jeune. 1 vol. in-12, relié 5 fr.

Construction des machines.

Résultats scientifiques et pratiques destinés à la construction des machines, à l'usage des ingénieurs, par Redtenbacher. 1 vol. grand in-8, avec 41 planches et de nombreux tableaux. Nouvelle édition, revue par M. Debize. 15 fr.

Mécanique appliquée.

Manuel de mécanique appliquée, par Dwelshauvers. 1^{re} partie : Cinématique. 1 volume in-8 avec 12 planches. 5 fr.

Travail manuel.

Notions sur les machines et travail manuel du fer et du bois, à l'usage des Ecoles primaires supérieures, des Ecoles d'apprentissage, des Ecoles professionnelles, des Ecoles industrielles et des candidats aux Ecoles d'arts et métiers et à l'Ecole des apprentis-mécaniciens de la marine de Brest, par Henry Lyonnet, professeur à l'Ecole supérieure municipale J.-B. Say. 1 volume in-12 avec 90 figures dans le texte. 2fr.

Physique.

Physique, par Gariel, ingénieur en chef des ponts et chaussées, professeur de physique à la Faculté de médecine et à l'Ecole nationale des ponts et chaussées. 2 volumes grand in-8, avec de nombreuses gravures dans le texte. 20 fr.

Etude des combustibles.

Contribution à l'étude des combustibles ; détermination industrielle de leur puissance calorifique, par R. Mahler, ingénieur civil des mines. 1 volume in-4 avec figures dans le texte et deux planches. 5 fr.

Chaleur.

Traité élémentaire de la chaleur au point de vue de son emploi comme force motrice. Machines à air chaud, à gaz, à air comprimé et machines à vapeur, par Devillez. 2 volumes in-8, avec planches. 25 fr.

Chaleur.

La chaleur et ses applications aux machines à air chaud, aux machines à air comprimé, aux machines à vapeur, par Courtin. 1 volume grand in-8 avec figures dans le texte. 5 fr.

Air comprimé.

Traité élémentaire de l'air comprimé, par Joseph Costa, ingénieur civil, ancien élève de l'Ecole polytechnique. 1 volume grand in-8, avec 20 figures dans le texte. 5 fr.

Chaudronnerie.

Cours pratique de chaudronnerie. 1^{re} partie : Chaudronnerie en fer, par A. Montupet, 2^e édition, revue et augmentée, 1 volume in-8 avec 44 planches et tableaux. 7 fr. 50

Chaudières à vapeur.

Traité pratique des chaudières à vapeur employées dans les manufactures, par Denfer, chef de travaux graphiques à l'École centrale des arts et manufactures. 1 volume grand in-4, accompagné de 81 planches cotées et en couleur. 50 fr.

Manuel du chauffeur.

Guide manuel du chauffeur, par Goujet, constructeur-mécanicien. 1 volume grand in-8. 3 fr. 50

Manuel du chauffeur-mécanicien.

Manuel du chauffeur-mécanicien et du propriétaire d'appareils à vapeur, par Henri Mathieu, garde-mines, inspecteur des appareils à vapeur de la Seine, professeur au syndicat général des chauffeurs-mécaniciens. 1 volume grand in-8, avec 409 figures dans le texte. 16 fr.

Catéchisme des chauffeurs.

Catéchisme des chauffeurs et des conducteurs de machines, rédigé sous les auspices de l'Association des ingénieurs sortis de l'École de Liège, par Beer, Devaux, Dechamps et Stévert. 5^e édition, revue et augmentée. 1 volume in-8, relié. 1 fr. 50

Machines à vapeur.

Traité théorique et pratique des machines à vapeur au point de vue de la distribution. — Méthode générale des gabarits, permettant d'établir des épures approchées ou exactes de tous les types de machines. — Etude méthodique des principales distributions au double point de vue de leur fonctionnement et de leur construction, par Coste et Maniquet. 2^e édition. 1 volume grand in-8 contenant 53 figures intercalées dans le texte et 1 atlas grand in-4 de 46 planches de dessins exactement réduits à l'échelle et cotés. 25 fr.

Machines à vapeur.

Traité théorique et pratique de la construction des machines à vapeur fixes, locomobiles et marines, par Jullien. 2^e édition. 1 vol. in-4 et atlas de 48 planches doubles. 35 fr.

Moteurs à vapeur.

Moteurs à vapeur : machines fixes à cylindres horizontaux, ver-

tics ut inclinés de tous systèmes, typés Ingliss, Corliss, simples, compound et dérivés; machines transportables et locomobiles, par Armengaud aîné, bel album in-4 de 60 planches doubles extraites de la *Publication Industrielle*, et accompagnées d'une légende explicative. Prix en carton. 2 fr.

Indicateur des machines.

L'indicateur du travail et du fonctionnement des machines à piston à vapeur, à eau, à gaz, etc., et son diagramme, par Von Pichler, traduit par R. Seguela, ancien élève de l'École polytechnique, inspecteur au chemin de fer du Nord. 1 volume in-8 avec 46 figures dans le texte. 5 fr.

Enveloppes de vapeur.

Recherches expérimentales sur l'emploi des enveloppes de vapeur et du fonctionnement compound dans les locomotives effectuées sur les chemins de fer sud-ouest russes, par A. Borodine, ingénieur en chef du matériel et de la traction. 1 volume grand in-8, avec 3 grandes planches. 6 fr.

Transport de la vapeur.

Le transport de la vapeur à grandes distances et sa canalisation. Renseignements théoriques et pratiques, condensation dans les tuyaux, enveloppes calorifuges, établissement des conduites, prix de revient des tuyaux, par Chrétien. 1 brochure grand in-8, avec figures dans le texte. 2 fr.

Appareils de levage.

Appareils de levage. Grues fixes et mobiles, ponts-roulants, monte-charges, treuils, par Armengaud aîné, ingénieur. 1 album in-4 contenant 35 planches doubles extraites de la *Publication Industrielle* et accompagnées d'une légende explicative. Prix en carton. 18 fr.

Appareils de levage.

Grues, monte-charges et sonnettes à vapeur et à traction directe. Perfectionnements, nouvelles dispositions, canalisation de vapeur, par Chrétien. 1 brochure grand in-8 avec figures dans le texte. 1 fr.

Distribution de vapeur.

Etude simplifiée de la distribution de la vapeur par tiroirs, par Linglin. 1 brochure in-8, avec figures dans le texte. 2 fr. 50

Distribution de vapeur.

Etude géométrique des principales distributions en usage dans les machines à vapeur fixes, par Cornut, ingénieur en chef de l'Association des propriétaires de machines à vapeur du nord de la France. 1 volume in-8 de texte et 1 atlas in-4 de 31 planches. 15 fr.

Servo-moteur.

Le servo-moteur ou moteur asservi, par Farcot. Ses principes constitutifs, variantes diverses, application à la manœuvre des gouvernails. 1 volume in-8, avec 37 planches. 4 fr.

Moteurs à gaz.

Traité théorique et pratique des moteurs à gaz ; gaz de houille, gaz pauvres, air carburé (pétroles) et de leurs applications diverses à l'industrie, la locomotion et la navigation, contenant des détails sur l'installation et l'entretien des moteurs à gaz et suivi d'un tableau résumé de l'industrie du pétrole, par Gustave Chauveau, ingénieur civil, lauréat de la Société technique de l'industrie du gaz en France. 1 volume grand in-8, avec de nombreuses gravures dans le texte. 15 fr.

Moteurs thermiques.

Les moteurs thermiques autres que la machine à vapeur. Etude théorique et pratique sur les moteurs à gaz, à essences, à pétrole et à air chaud, par Herman Hubert, ingénieur principal des mines, répétiteur aux écoles spéciales des arts et manufactures et des mines de Liège, professeur à l'école industrielle. 1 volume grand in-8 avec 8 planches. 7 fr. 50

Machines.

Les machines, par With; leur histoire, leur description, leurs usages. 2 beaux volumes in-8, avec 360 fig. dans le texte. 16 fr.

Scieries mécaniques.

Les scieries mécaniques et les machines-outils à travailler les bois, par Armengaud aîné. 1 fort volume de texte grand in-4, avec figures dans le texte et 1 atlas in-folio de 40 planches. 40 fr.

Engrenages.

Etude théorique et pratique sur les engrenages, par Albert Hugon, ingénieur. 1 volume in-8, avec 74 figures dans le texte et 2 planches. 5 fr.

Filetage.

Traité pratique de filetage à l'usage de tous les mécaniciens, par Cady. 4^e édition revue, corrigée et augmentée d'un chapitre pour les tours anglais, de méthodes pour faire les cônes automatiquement, du filetage à l'aiguille, d'une méthode pour faire les outils à fileter, etc. 1 volume in-12, avec 4 planches. 2 fr.

Graissage.

Etude sur le graissage des cylindres et tiroirs des machines à vapeur et sur les matières lubrifiantes, par R. Seguela. 1 volume grand in-8, avec 6 planches. 6 fr.