

n'avait pas attaché d'importance au fait ci-dessus, se trouvait près de la dite benne, lorsque celle-ci bascula et l'écrasa.

N° 4. — 5^e Arrondissement. — Société Anonyme des Forges et Laminoirs de Baume. Division des laminoirs, à Haine-Saint-Pierre. — 25 janvier 1928, vers 6 heures. — Un puddleur a été brûlé mortellement par une loupe, qu'il transportait au marteau-pilon sur un chariot spécial. — P. V. Ingénieur L. Legrand.

Résumé

La victime transportait du four à puddler, au marteau pilon, les loupes incandescentes; elle utilisait un chariot qui se composait d'un cercle de fer monté sur un train de roues et fixé à une barre servant de timon, en démarrant à reculons, avec son véhicule chargé d'une loupe, elle a glissé et est tombée sur les taques de fer recouvrant le sol de l'usine. Le cercle du chariot, entraîné par le timon, a pris une certaine inclinaison et la loupe s'est échappée vers elle. Elle a été brûlée aux jambes et à la main droite et, contre toute attente, elle est morte six jours après l'accident.

N° 5. — 5^e Arrondissement. — Société Anonyme des Usines Métallurgiques du Hainaut. Division des aciéries Thomas, à Couillet. — 15 septembre 1928, vers 15 heures. — Un ouvrier est tombé sur des scories brûlantes, en déchargeant un pain de scories. — P. V. Ingénieur G. Paques.

Résumé

Un déchargeur est tombé sur un tas de scories incandescentes, en opérant du haut d'une estacade, le redressement du tablier basculant du wagonnet, dont on venait de décharger un pain de scories.

Le tablier venait d'être rétabli dans la position horizontale, lorsque par suite du manque de coordination des efforts des ouvriers, il a basculé de nouveau en exerçant un choc violent sur la tige dont se servait, en guise de levier, la victime. Cet ouvrier fut soulevé par la tige et projeté en bas de l'estacade.

Installation de lavage par courant d'eau Système « Hoyoïs »

NOTE

PAR

G. PAQUES,

Ingénieur Principal au Corps des Mines, à Charleroi.

Il a été procédé, à la division du Centre de Gilly de la société anonyme Houillères Unies du Bassin de Charleroi, à Gilly, à la mise au point d'un procédé de lavage des charbons par courant d'eau imaginé par M. Hoyoïs, directeur-gérant de la société.

Avant d'aborder la description de ce procédé et de l'installation où en a été faite la première application, nous croyons utile d'exposer sommairement l'opinion de M. Hoyoïs sur les principaux systèmes de lavage par courant d'eau actuellement en usage et de fixer le but qu'il avait assigné à ses recherches.

D'après M. Hoyoïs, les principales méthodes de lavage par courant d'eau entrées jusqu'ici dans la pratique courante peuvent se départager en deux classes bien distinctes : dans la première se rangent les appareils qu'on pourrait dénommer lavoirs à alluvionnement dont le prototype est le rhéolaveur *A. France*; dans le second, les appareils dits à courant ascendant tels le lavoir anglais *Draper* et le lavoir français *Malecot*.

Chacun de ces systèmes de lavage présente, selon M. Hoyoïs, les avantages et les inconvénients inhérents aux principes mêmes dont ils tirent profit.

Dans les lavoirs type rhéolaveurs, si, grâce à l'alluvionnement, on arrive à traiter dans un seul appareil des tonnages horaires importants de charbons compris entre des limites de calibre fort écartées, on ne peut cependant obtenir une marche plus ou moins automatique et des résultats précis que moyennant un grand développement des couloirs et le maintien en circulation quasi

perpétuelle d'une masse importante, indispensable à la création, dans les couloirs, de lits d'intermédiaires épais en vue de séparer le plus possible les schistes du charbon. D'autre part, aux mises en marche, à cause du tonnage important emmagasiné dans les couloirs pour constituer les lits régulateurs, le régime normal demande un temps assez long pour être atteint, temps pendant lequel, à moins d'une surveillance attentive, les résultats du lavage restent fort incertains. Il en est de même aux périodes d'arrêt pendant l'évacuation de ces mêmes lits régulateurs.

Dans les appareils à courant ascendant, si l'automatisme du lavage peut facilement être réalisé, grâce à l'évacuation densimétrique et pratiquement instantanée des produits lourds, une séparation nette des schistes du charbon n'est possible que si les grains traités sont compris entre des limites de calibrage fort serrées. A cause de l'inégalité de forme de ces grains, il se fait, en effet, que tous les grains de même diamètre à l'anneau de criblage et de même densité n'ont pas nécessairement la même équivalence. Une bonne séparation des schistes du charbon n'est pratiquement possible que si on adopte un coefficient de calibrage compris entre 1,5 et 3 maximum, ce coefficient devant être d'autant plus faible que le charbon brut à traiter renferme plus de mixtes ou de barrés.

Si, par exemple, on adopte le coefficient 2, les diamètres des trous des tôles perforées devront être

1/2 mm.; 1 mm.; 2, 4, 8, 16, etc.

La multiplicité des cribles avant lavage constitue donc un inconvénient sérieux du système. De plus, pour ne pas contrarier l'action des filets d'eau sur les grains, les masses instantanées en traitement doivent être peu importantes; il en résulte que la capacité horaire de production d'un lavoir à courant ascendant est toujours fort limitée et ne peut guère dépasser 5 à 15 tonnes suivant le calibre.

La méthode de lavage conçue par M. Hovois participe à la fois des deux systèmes précédents. En combinant comme il sera dit plus loin, le classement par alluvionnement et le classement par courant ascendant, M. Hovois visait à la réalisation d'un mode de lavage réunissant les avantages des deux systèmes sans en avoir les inconvénients. Si l'on en juge par les résultats obtenus

en marche industrielle, dans l'installation du *Centre de Gilly*, le but poursuivi semble bien avoir été atteint.

Dans cette installation, pour autant que la pression et le débit d'eau soient constants, conditions d'ailleurs indispensables à tous les systèmes, mais spécialement aux systèmes par courant d'eau, le lavage se fait d'une façon rigoureusement automatique, quelles que soient les variations survenant au cours du lavage dans la teneur en schistes des charbons bruts traités.

D'un autre côté, la capacité horaire de production des lavoirs est considérable : c'est ainsi que le lavoir à 20/100, qui ne mesure que 0^m,30 de largeur utile, traite aisément de 40 à 50 tonnes/heure de charbon contenant jusque 45 % de schistes sans que sa capacité limite de production ait jamais pu être atteinte. Il n'est pas fait usage ici de lits régulateurs qui jouent un rôle si important dans le système par alluvionnement et si, pour certains calibres, on a recours à une chaîne de relavage, celle-ci est toujours peu importante et n'est qu'un expédient en vue de simplifier le lavoir.

Comme dans le lavoir à alluvionnement, il est possible de traiter des charbons compris entre des limites de calibrage très écartées : il existe actuellement des lavoirs système *Hovois* qui traitent directement du 0-15, du 15-60 et du 20-100. Par suite du peu de développement des couloirs d'alluvionnement, les lits de lavage sont peu importants; de ce fait, les périodes de perturbation, aux mises en marche et aux arrêts sont pratiquement nulles et sans influence aucune sur les résultats du lavage.

Quant au débit d'eau nécessaire au fonctionnement des lavoirs *Hovois*, il est fixé uniquement par les sections à donner aux appareils à courant ascendant, sections qui sont fonction surtout des calibres à traiter. Ce débit est pratiquement constant pour des tonnages horaires inférieurs à 50 tonnes par appareil. D'après M. Hovois, pour des productions horaires par appareil inférieures à 20 tonnes, le débit d'eau par tonne traitée est certainement supérieur à celui demandé par les bacs à pistons et peut-être par les rhéolaveurs, mais pour des tonnages horaires supérieurs à 50 tonnes, l'avantage de son système serait indéniable.

Dans une étude intitulée « *Contribution à l'étude du lavage automatique des charbons par courant d'eau* », parue dans les publications de l'Association des Ingénieurs de l'Ecole des Mines

de Mons, en avril 1928, M. Hoyois a exposé la théorie de ses procédés de lavage et donné la description des appareils les réalisant.

Nous résumerons ci-après cette étude, le plus succinctement possible, en tenant compte de certains perfectionnements apportés par l'inventeur à son procédé depuis la publication de son étude.

Si dans un couloir A (fig. 1), on amène sous courant d'eau

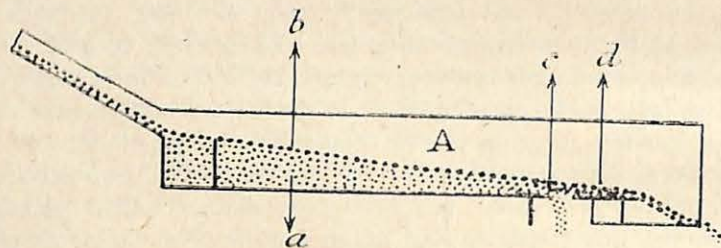


FIG. 1.

convenable une masse de charbon brut, il se constitue immédiatement dans ce couloir un lit fixe de schistes (a) sur lequel circule un lit mobile (b) dans lequel s'opère rapidement un classement fonction à la fois de la densité et du calibre des grains, classement qui peut être schématisé comme suit : à la base du lit, une couche de gros grains de schistes dont les plus purs ; à la surface, une couche de gros grains de charbon dont les plus purs ; entre ces deux couches, un lit intermédiaire de grains de calibre moyen, classés de bas en haut, plus ou moins par ordre de densité. Quant aux petits grains, classés par densité, également d'une façon plus ou moins précise, ils remplissent dans les couches inférieures et moyennes les vides laissés entre les grains de gros et moyen calibres.

Dans le lit en mouvement ainsi classé, la vitesse de translation des différentes couches n'est pas uniforme : la couche inférieure, en contact avec le lit fixe, subit de la part de celui-ci un freinage énergique et se meut en vitesse ralentie. Pour les couches superposées à celle-ci, la vitesse de translation s'accroît à mesure que l'on remonte vers la surface et devient maximum pour les gros grains de charbon sur lesquels, en raison de leur forme cubique, les filets d'eau ont une action optima.

Au droit de l'arête (c), la chute des diverses tranches du lit mobile ainsi constitué s'effectue de bas en haut en trajectoires paraboliques de plus en plus ouvertes.

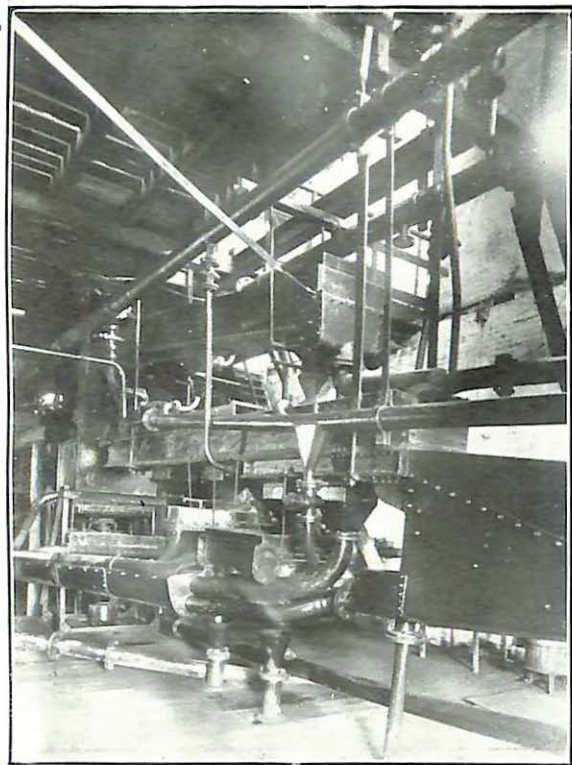
Si, à l'aval de l'arête (c), on dispose un plan capteur (d), il est possible par une position judicieusement choisie de ce plan, de diviser la masse en mouvement en deux parties : une partie supérieure captée par le plan qui comporte surtout du charbon, dont les plus gros grains, avec une faible proportion de schistes de moyen et petit calibres et une partie inférieure échappée au plan qui est constituée surtout de schistes dont les plus gros grains avec une faible proportion de charbon de moyen et petit calibres.

Dans le procédé Hoyois, cette masse inférieure schisteuse, issue du couloir d'alluvionnement, est reçue dans un appareil à courant ascendant indépendant du couloir, où cette masse schisteuse est soumise à la loi du mouvement des grains en courant vertical ascensionnel. Sous l'action de cette loi, elle se divise en deux parties : une partie ne comportant que des schistes purs qui tombent à l'encontre du courant pour être évacuées définitivement et une partie entraînée par le courant ascendant pour constituer une masse résiduaire.

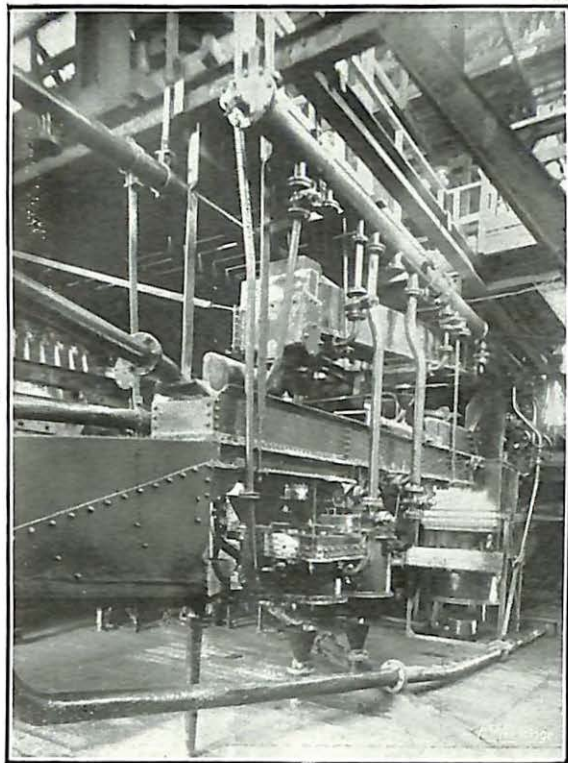
En raison de ce que tous les gros grains de charbon ont été captés par le plan du couloir d'alluvionnement, cette masse résiduaire ne comporte plus que des grains de charbon de petit et moyen calibres avec leurs équivalents plus denses. De plus, du fait que les charbons les moins denses sont restés dans le couloir d'alluvionnement et que les grains de schistes les plus lourds ont été éliminés par l'appareil à courant ascensionnel, les grains constituant la masse résiduaire sont compris entre des limites de densité plus rapprochées que les grains constituant la masse initiale amenée en tête du couloir (A).

En résumé, la combinaison d'un couloir d'alluvionnement muni d'un plan capteur avec un appareil à courant ascendant pour le traitement de la masse schisteuse extraite du couloir au droit du plan capteur permet de diviser la masse initiale en trois masses à caractères bien définis :

- 1°) Une masse de charbon comportant les grains les plus gros et les plus purs avec une faible proportion de schistes de petit et moyen calibres ;
- 2°) Une masse de stérile ne comportant que des schistes dont les plus gros et les plus lourds ;

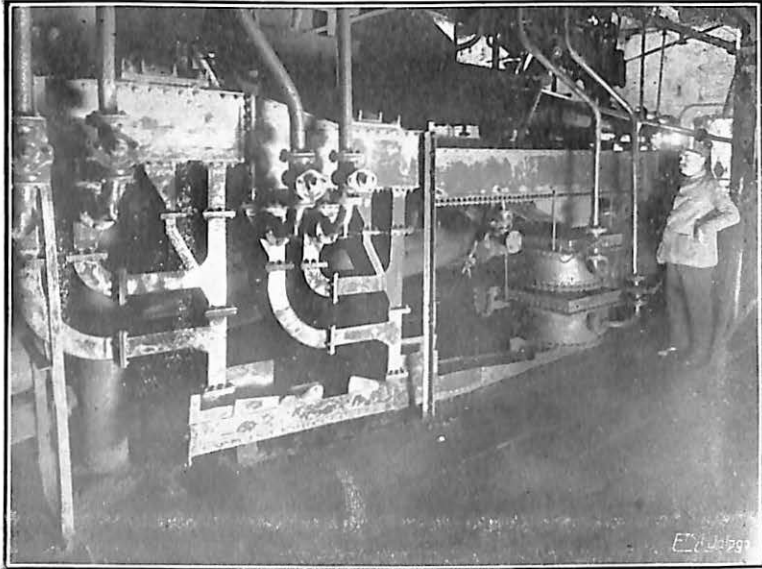


Lavoir à 0/5.
Vue latérale gauche.

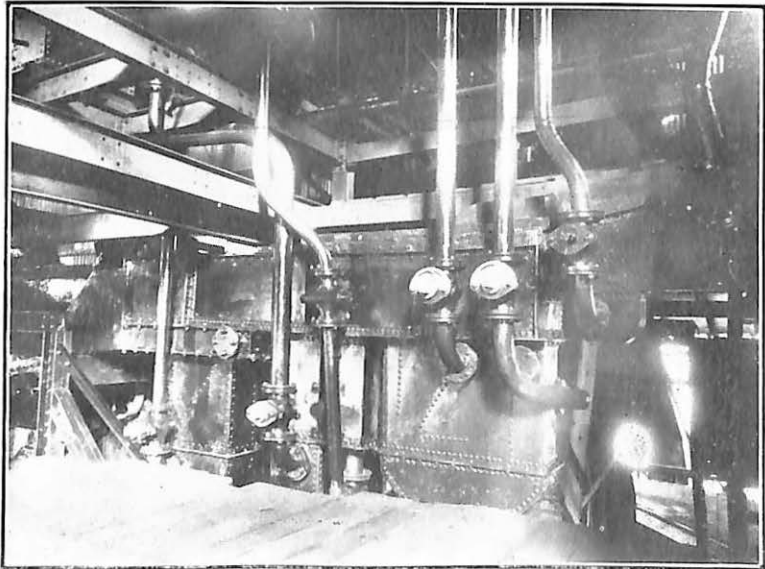


Lavoir à 0/5.
Vue latérale droite.





Lavoir à 5/10 et 10/20.



Lavoir à 20 90.

3°) Une masse résiduaire ne comportant, au point de vue calibrage, que des grains de petit et moyen calibres et, au point de vue densité, que des charbons lourds avec leurs équivalents schisteux.

Cette combinaison des classements par alluvionnement et par courant ascendant en vue de l'obtention des trois masses ainsi spécifiées, constitue la principale originalité du procédé *Hoyois*, celle qui le différencie totalement des autres procédés par courant d'eau actuellement en usage.

Elle est susceptible des plus grands débits en raison de la rapidité du classement par alluvionnement et de l'évacuation de la majeure partie du charbon pur par le couloir, l'appareil à courant ascendant n'ayant de ce fait à procéder qu'au relavage des schistes en vue d'en extraire les particules charbonneuses qui ont échappé au classement par alluvionnement.

Enfin, elle présente l'avantage de l'automatisme du fait que dans l'appareil à courant ascendant, la séparation des schistes est essentiellement densimétrique et pratiquement instantanée.

L'ensemble combinant un couloir d'alluvionnement et un appareil à courant ascensionnel constitue un élément du lavoir *Hoyois*, dit « élément classificateur ».

Un lavoir comporte toujours pour assurer l'opération du lavage un certain nombre d'éléments.

L'adaptation du procédé au traitement des divers calibres jusque 100 millimètres a exigé deux types d'éléments classificateurs différant par le dispositif réalisant le courant ascendant.

Premier type. — Élément classificateur à colonnes (fig. 2). — La masse schisteuse issue du couloir d'alluvionnement (A) à l'endroit du plan capteur (a) tombe dans la chambre de réception (b) de l'appareil à courant (B) dénommé *déschisteur*. Sur la colonne ascendante (c) sont branchées deux arrivées d'eau (d) et (d') avec robinets (r) et (r'), raccordées à un réservoir d'alimentation à niveau constant; (e) est un ajutage muni d'un orifice d'évacuation réglé une fois pour toutes.

Par le robinet (r'), on règle la venue par la tuyauterie (d') de manière à assurer l'écoulement par l'ajutage (e) avec une charge hydrostatique (H) égale à la hauteur de la colonne (c), c'est-à-dire que ce robinet est ouvert progressivement jusqu'au moment

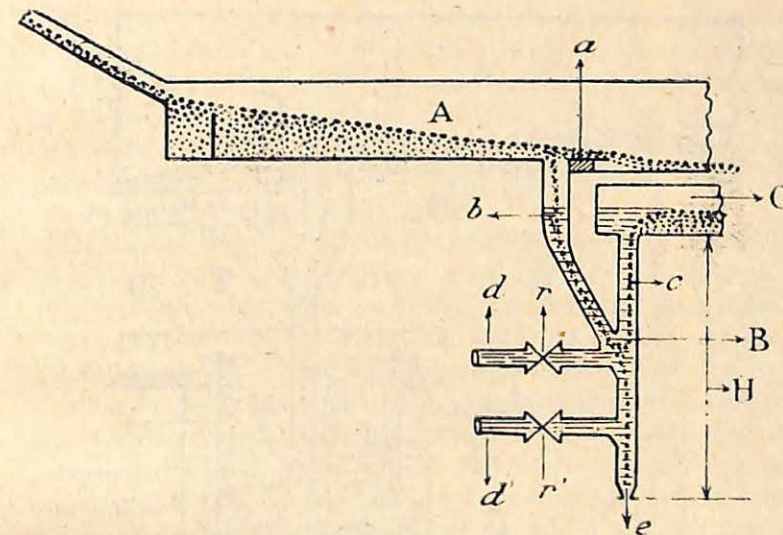


FIG. 2.

où l'eau déborde légèrement de la colonne (c) dans le couloir (C) disposé sous le couloir (A).

Par le robinet (r), on règle ensuite la venue d'eau par la tuyauterie (d) pour obtenir dans la colonne (c) un courant ascendant de vitesse déterminée comme dit ci-après. Au bas de la chambre (b) la masse schisteuse uniformément étalée est soumise à l'action du courant venant de la tuyauterie (d) et se dirigeant vers le couloir (C). Par un réglage convenable de ce courant, à l'aide du robinet (r), il est facile d'extraire de cette masse les grains de charbon de petit et moyen calibres qu'elle contient pour ne laisser tomber vers l'ajutage d'évacuation (e) que des schistes purs. La masse extraite par le courant ascensionnel est remise dans le couloir (C) pour subir un traitement subséquent.

Deuxième type. — Élément classificateur à barillet (fig. 3). —

Au droit du plan capteur (a) est adaptée, au couloir d'alluvionnement (A) une boîte (B) dite « boîte à schistes ». Cette boîte est réunie au réservoir à niveau constant de l'installation par une tubulure (C) munie d'un robinet. L'eau amenée dans cette boîte a pour but de favoriser l'évacuation de la masse schisteuse venant du couloir (A) et éventuellement, comme dans les

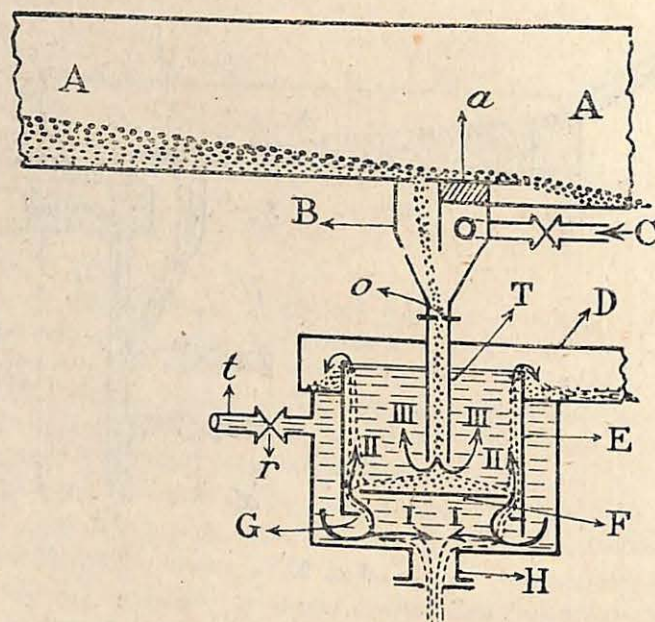


FIG. 3.

appareils à alluvionnement, de régler par son action sur le lit mobile le degré de déformation de celui-ci au droit de l'ouverture du plan.

Sous la boîte à schistes (B) est disposé l'appareil à courant ascendant en forme de barillet. Ce barillet, alimenté par le tuyau (T), fixé à la boîte (B) fait corps avec un couloir (D). Il est muni à l'intérieur d'une cloison cylindrique (E) pénétrant dans ce couloir et descendant jusqu'à quelques centimètres du fond du barillet. A l'intérieur de ce cylindre sont disposés un disque (F) et un anneau (G).

Le barillet porte à sa partie inférieure une tubulure (H) dont la section d'évacuation est réglée une fois pour toutes; il est d'autre part relié par la tuyauterie (t) portant le robinet (r) au bassin à niveau constant alimentant l'appareil.

Dans le barillet, l'eau amenée du bassin par la tuyauterie (t) se divise en deux courants indiqués par les flèches I et II. Le courant I étant constant, le courant II peut être réglé, à volonté, par la manoeuvre du robinet (r).

La masse à traiter reçue dans la boîte à schistes (B) est entraînée vers le barillet par le tuyau (T) à la faveur du courant issu de la tubulure (C), courant réglé par le robinet de cette tubulure et l'orifice (O). A la sortie de ce tuyau, cette masse se dépose en s'étalant sur le disque (F) tandis que l'eau d'entraînement gagne le couloir (D) en suivant le trajet indiqué par les flèches III et en emportant les particules légères.

La matière déposée sur le disque (F) tombe de la périphérie de ce disque sur l'anneau (G) et de celui-ci sur le fond du barillet. Pendant cette chute, les particules sont soumises deux fois à l'action du courant ascensionnel II. En réglant convenablement par le robinet (r) ce courant ascensionnel, seules tomberont sur le fond du barillet les particules schisteuses qui sont entraînées vers l'orifice d'évacuation (H) par le courant I, tandis que les particules charbonneuses avec leurs équivalents schisteux gagneront le couloir (D) en longeant la paroi intérieure du cylindre (E) le long de laquelle reste appliqué le courant II par suite de la pression intérieure exercée sur ce courant par le courant III.

Par l'étalement considérable de la masse sur le disque (F), on réalise une séparation parfaite des particules qui peuvent ainsi subir l'action du courant ascendant avec le maximum d'efficacité. Nous verrons plus loin le mode de traitement appliqué à cette masse extraite du barillet pour terminer l'opération de lavage.

Les lavoirs *Hoyois* comportent toujours, comme nous l'avons déjà dit, un certain nombre d'éléments classificateurs disposés en cascade. Il est fait usage pour les fins charbons d'éléments à barillets et pour les grains au-dessus de 20 millimètres d'éléments à colonnes. Pour les grains jusque 20 millimètres, on peut recourir, à volonté, à l'un ou l'autre type ou aux deux types à la fois.

Nous donnons ci-après la description schématique des lavoirs installés au *Centre de Gilly* et qui ont servi à la mise au point du procédé.

A. — Lavoir pour fins charbons jusque 10 ou 15 millimètres.

Ce lavoir (voir fig. 4) comporte quatre éléments classificateurs I, II, III, IV; le deuxième étant aménagé spécialement, comme nous le montrerons plus loin, pour le lavage du 0/1 extrait de la

N. B. — Un autre type de barillet, dit « barillet à cheminées » est aussi utilisé dans certains cas. Pour sa description, nous renvoyons les lecteurs que la chose intéresse à l'étude mentionnée page 3 de la présente note.

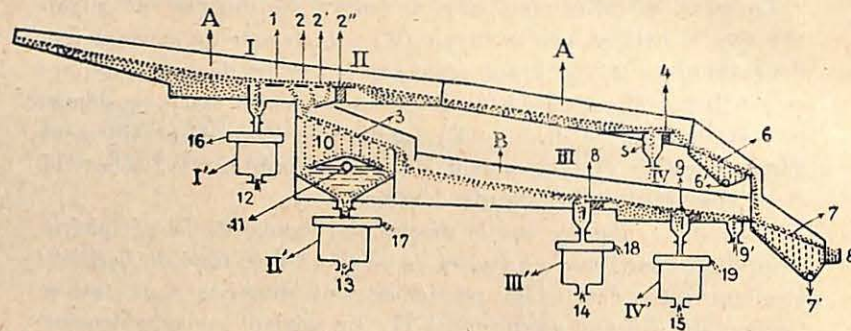


FIG. 4.

masse en traitement dans le lavoir même. Le couloir d'alluvionnement (A) de l'élément I est muni de quatre plans capteurs 1, 2, 2' et 2'' qui divisent le lit mobile en trois parties : une partie inférieure schisteuse éliminée au plan 1 et qui est reçue dans le barillet I', une partie moyenne schisteuse éliminée aux ouvertures des plans 2, 2', 2'' qui tombe sur la grille 3, à écartement de un millimètre et une partie supérieure charbonneuse, refusée aux plans, qui est évacuée par le couloir incliné (A') dit « couloir à charbon lavé ».

Les positions des plans sont réglées une fois pour toutes pour qu'en débit normal la masse charbonneuse reçue dans le couloir (A') ne contienne plus qu'une très faible proportion de particules schisteuses.

Dans ce couloir, la masse charbonneuse est reconstituée en un lit de lavage qui, après classement par alluvionnement, est divisé par un plan capteur (4) en deux parties : la partie inférieure comportant les particules schisteuses qui ont échappé à l'action des plans capteurs du couloir (A) est reçue dans une boîte (5). Quant à la partie supérieure, elle passe successivement sur les grilles (6) et (7) à écartements respectifs de 2/10 et 5/10 de millimètre pour devenir, dans le couloir (8) le charbon lavé définitif qui est dirigé vers la citerne de dépôt.

Sur la grille (3), la masse schisteuse venue du couloir (A) par les ouvertures des plans (2, 2' et 2'') est débarrassée de son 0.1 millimètre. Le refus est ensuite soumis dans le couloir (B) dit « couloir à schistes » à un premier alluvionnement et le lit divisé

par le plan capteur (8) en deux parties : une partie schisteuse inférieure qui passe dans le barillet (III') et une partie supérieure qui, en aval du plan, est reconstituée en un second lit de lavage. Au passage du plan (9), ce lit est divisé à nouveau en deux parties : une partie inférieure schisteuse reçue dans le barillet (IV') et une partie supérieure principalement captée par la boîte (9').

Le tamisé de la grille (3) est recueilli dans le décanteur (10), d'où l'eau en excès est évacuée par le trop plein (11), tandis que les produits déposés passent dans le barillet (II').

Les quatre barillets (I' et IV') donnent des schistes purs qui sont évacués définitivement par les orifices (12 à 15).

Les produits refoulés par les barillets et reçus dans les couloirs (16 à 19) sont renvoyés dans une citerne de décantation avec les produits des boîtes (5 et 9'), ainsi que le tamisé de la grille (7) et les eaux du trop plein (11). Les produits déposés dans cette citerne en sont extraits par une noria et remis dans la circulation en tête du couloir (A).

Quant aux schlamms 0.2/10 millimètres, tamisés à la grille (6), ils sont dirigés vers les installations de traitement du ténu dont il sera parlé plus loin.

A la graine à traiter amenée en tête du couloir (A), deux issues sont offertes à son évacuation : le couloir (8) et les orifices (12 à 15) des barillets. *Par ceux-ci, seules les particules schisteuses peuvent trouver passage. Il en résulte que toutes les particules charbonneuses doivent finalement gagner le couloir (8).*

La masse remise en repassage est constituée principalement de particules de petit et moyen calibres qui, par insuffisance de classement dans les lits mobiles d'alluvionnement, n'ont pas trouvé immédiatement leurs voies normales de sortie. Elle est remise en tête du lavoir, non pas comme dans les lavoirs à alluvionnement, pour créer le lit régulateur d'intermédiaires indispensable au bon fonctionnement mais uniquement pour la soumettre à de nouveaux classements au cours desquels les divers constituants trouveront finalement les sorties qui leur sont assignées.

Dans ce lavoir, le régulateur de lavage est réalisé par le plan capteur (4), disposé à la sortie du couloir à charbon (A'). Pour jouer son rôle avec une efficacité absolue, il suffit de régler sa position pour que, quelles que soient les variations survenant dans

la composition du charbon brut au cours du lavage, la tranche supérieure captée par ce plan ne contient jamais que du charbon.

B. — Lavoir pour grains de 5 à 20 millimètres.

Ce lavoir (voir fig. 5) comporte trois éléments classificateurs en cascade dont deux à colonnes et un à barillets. La masse amenée en tête de l'élément (I) est divisée dans cet élément en trois parties : une partie ne comportant que des schistes éliminés par

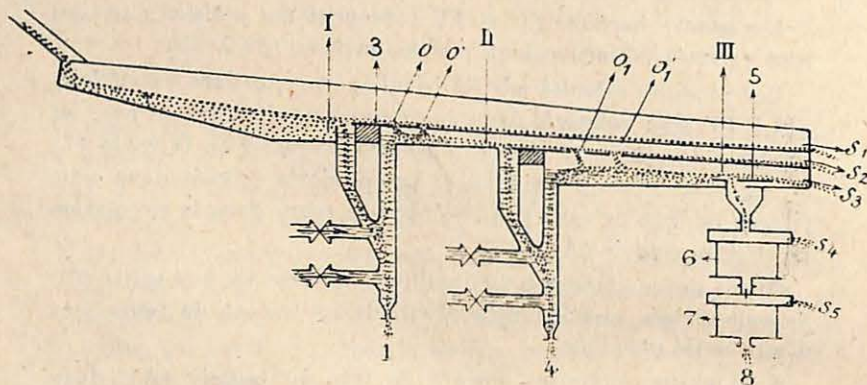


FIG. 5.

l'ajutage (1) ; une deuxième partie constituant la masse résiduaire remise par le courant ascendant en tête du couloir d'alluvionnement du deuxième élément ; une troisième partie principalement charbonneuse captée par le plan (3). Cette masse, après élimination de ses particules schisteuses au droit des ouvertures (O et O') pratiquées dans le fond du couloir est évacuée définitivement vers la sortie (S₁). Les ouvertures (O et O') sont réglées pour que le couloir ne débite jamais que du charbon pur quelles que soient les variations survenant dans la composition du charbon brut.

Dans le second élément, la masse secondaire résultant de la réunion de la masse résiduaire du premier élément et des produits éliminés par les ouvertures (O et O') est elle-même divisée en trois parties : une partie charbonneuse évacuée directement en (S₂) après épuration au passage des ouvertures (O₁, O'₁), une partie schisteuse éliminée définitivement par l'ajutage (4) et une partie

résiduaire remise dans le couloir du troisième élément avec les produits captés par les ouvertures (O₁, O'₁).

Après alluvionnement, cette masse tertiaire est divisée à nouveau en deux parties au passage du plan capteur (5) : une partie supérieure constituée uniquement du charbon évacuée en (S₃) et une partie inférieure comportant du charbon, des schistes et tous les mixtes. Cette masse est traitée dans les deux barillets (6 et 7) superposés : le barillet (6) en élimine les charbons recueillis dans le couloir (S₄) ; le barillet (7), les mixtes reçus dans le couloir (S₅) tandis que les schistes sont évacués définitivement par l'orifice (8).

En résumé, l'appareil donne du charbon lavé par les sorties (S₁ à S₄), des schistes définitifs par les orifices (1, 4 et 8) et des mixtes par le couloir (S₅).

Au Centre de Gilly, ces mixtes sont utilisés aux chaufferies de la centrale. Si on n'en avait pas l'emploi, ils seraient tout simplement remis par une petite noria en tête du premier élément pour rentrer dans la circulation.

C. — Lavoir pour grains de 20 à 100 millimètres.

Le lavoir à gros grains (voir fig. 6) comporte deux éléments classificateurs à colonnes. En raison du calibre à traiter, le premier élément a dû être complété par certains dispositifs qui, tout en respectant le principe qui caractérise le procédé, ont entraîné de profondes modifications tant au couloir d'alluvionnement qu'à l'appareil déschisteur.

Le couloir d'alluvionnement (A) du premier élément porte : 1) trois plans capteurs (a, b, c) dont les deux premiers inclinés dans un sens et le troisième dans l'autre comme l'indique le plan ; 2) une arrivée d'eau (C) destinée à provoquer à travers le lit un courant ascendant en vue de ramener vers la surface les petits grains de charbon emprisonnés dans les couches inférieures du lit mobile ; 3) une arrivée (C1) aménagée pour créer dans le couloir au droit de l'ouverture (I) un courant horizontal dont le rôle sera défini plus loin.

Le déschisteur (B), fixé sous le couloir d'alluvionnement au droit du plan capteur se présente sous la forme d'un caisson cloisonné intérieurement de façon à réaliser deux appareils à colonne accolés l'un à l'autre.

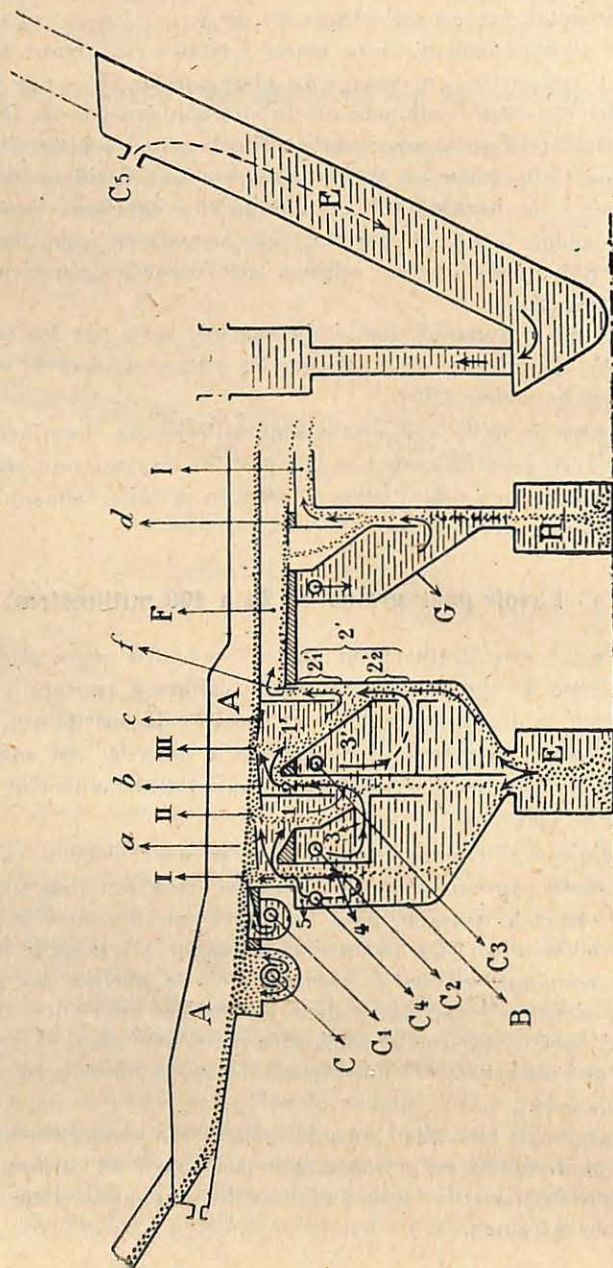


FIG. 6.

Le premier appareil est constitué par la chambre de réception (1), la colonne verticale (2) et la tuyauterie horizontale (3) alimentée par la tuyauterie (C2).

Le second appareil comporte la chambre de réception (1'), la colonne verticale (2') alimentée par la tuyauterie (C3) disposée sur la chambre (3'). La colonne (2') débouche sur le couloir (F) du deuxième élément par-dessus un déversoir (f) de hauteur réglable à volonté.

Outre les appareils à colonnes susmentionnés, le caisson comporte encore une cheminée verticale (4) au droit de l'ouverture (1). Cette cheminée est en communication avec un compartiment (5) alimenté par une tuyauterie (C4).

Le caisson (B) est raccordé au puisard d'une chaîne à godets (E) à caisson étanche sur lequel est branchée une arrivée d'eau (C5).

En fonctionnement, le caisson déschisteur (B) est le siège de plusieurs courants d'eau qui s'établissent comme suit :

- a) le courant d'eau venant de (C3) descend dans la chambre (3') pour gagner par la colonne (2') le couloir (F);
- b) le courant issu de (C2) passe de la tuyauterie (3) dans la colonne ascendante (2) et, de là, dans la chambre de réception (1'), descend dans cette chambre pour rejoindre dans la partie (2'₁) de la colonne (2'), le courant venant de la partie inférieure (2'₂);
- c) le courant amené par (C4) passe dans la cheminée (4); de là, dans la chambre de réception (1) pour rejoindre dans la colonne (2) le courant issu de (3) et suivre avec celui-ci le circuit indiqué plus haut;
- d) le courant venant de (C5) descend dans le caisson de la noria (E) et remonte dans le caisson (B) pour rejoindre le courant venant de (C3) dans la colonne ascendante (2'). Le rôle de ce courant est d'empêcher toute dérivation des courants (C2 et C4) vers la colonne (2') par le puisard de la noria.

La résistance présentée par la colonne (2'₁) à l'évacuation des différents courants oblige l'eau, dans les chambres (3) et (3') à se mettre en charge sur le déversoir (f). En remontant progressivement ce déversoir, il arrive un moment où le plan d'eau atteint le niveau des plans capteurs. Si on continue à exhausser ce dé-

versoir, des courants s'établiront des chambres de réception vers le couloir d'alluvionnement par les ouvertures des plans capteurs.

Ces dérivations n'ont d'autre effet que de modifier le courant ascendant dans la colonne (2'), mais sont sans action sur l'intensité du courant ascendant dans la colonne (2'₂) et du courant venant de la tuyauterie (3) pour gagner la colonne (2). Ces deux derniers courants étant réglés une fois pour toutes, on comprend qu'il soit possible par la manoeuvre du déversoir (*f*) et du robinet commandant l'arrivée (C4) de régler à volonté les courants vers le couloir (A) par les ouvertures des plans capteurs. Grâce à ces courants subsidiaires et une inclinaison judicieuse des plans capteurs, il est possible de donner à certaines ouvertures des plans des largeurs allant jusque 16 centimètres sans provoquer la déformation du lit d'alluvionnement.

Nous avons vu que, dans le lit mobile soumis au phénomène de l'alluvionnement, le classement s'opère comme suit :

A la base du lit, un mélange de gros et petits schistes avec une faible proportion de petits grains de charbon :

A la surface, un mélange de grains de charbon pur de gros et moyen calibre ;

Dans la partie moyenne, un mélange constitué principalement de grains de schistes et de charbon de moyen calibre avec des petits grains de charbon.

Le lit mobile de charbon brut, classé par alluvionnement dans le couloir (A) est soumis au droit de l'arrivée d'eau (C) à travers le lit fixe à un courant ascendant qui a pour but de dégager des schistes constituant la base du lit mobile, les petits grains de charbon qui s'y trouvent emprisonnés.

Au droit de l'ouverture (1), on provoque par cette ouverture l'évacuation de la tranche inférieure. Cette évacuation est réglée une fois pour toutes par l'inclinaison du plan (*a*), la largeur donnée à l'ouverture (1), l'intensité du courant traversant cette ouverture et surtout par la position et l'intensité du courant horizontal venant de (C1). Ce courant horizontal réalise un véritable écran perméable qui permet de régler, d'une façon quasi mathématique, l'épaisseur de la tranche évacuée par l'ouverture (1). Ce courant est réglé une fois pour toutes pour que par cette ouverture soient éliminés tous les grains de schistes de petit calibre que comporte la masse en traitement et que le classement préalable par alluvionnement a concentré dans la tranche inférieure

rieure du lit. Les produits ainsi éliminés sont évacués définitivement par la cheminée (4) vers le puisard de la noria à schistes (E).

Au delà du plan (*a*), on provoque par les ouvertures (II) et (III) l'évacuation de la tranche moyenne du lit, pour ne laisser dans le lit, au delà du plan (C) qu'une masse de charbon pur, constituée principalement de moyens et gros grains. L'évacuation par les ouvertures (II) et (III) est réglée ici par l'inclinaison des plans (*b*) et (*c*), la largeur des ouvertures et l'intensité des courants au travers de celles-ci. La masse évacuée par l'ouverture (II) tombe dans la chambre de réception (1). A la base de cette chambre, elle est soumise à l'action du courant venant de la tuyauterie (3) et se dirigeant vers la colonne ascendante (2). Par suite du classement préalable dans le couloir et de la première élimination par l'ouverture (I), cette masse n'est constituée que de gros et moyens grains de schistes mélangés à de petits et moyens grains de charbon. Il est dès lors facile pour le courant agissant au pied de la chambre (1), s'il est bien réglé, d'extraire de cette masse tous les grains de charbon pour n'y laisser que les grains de schistes qui tombent dans le puisard de la noria (E). Les grains de charbon relevés par le courant de la colonne (2) sont remis dans la chambre de réception (1) où ils rejoignent la masse évacuée par l'ouverture (III), masse analogue comme composition à celle extraite par l'ouverture (II). Dans la colonne (2'₂), le tout est de nouveau soumis à l'action d'un courant ascendant approprié, les schistes tombent dans le puisard de la noria (E), tandis que les charbons sont relevés par le courant et remis en tête du couloir du deuxième élément par dessus le déversoir (*f*).

En résumé, le premier élément classificateur donne :

- a) A l'extrémité du couloir d'alluvionnement, une masse de charbon pur comportant tous les gros grains ;
- b) Dans le puisard de la noria, une masse de schistes purs comportant tous les schistes contenus dans la masse initiale ;
- c) En tête du couloir d'alluvionnement du deuxième élément, une masse résiduaire constituée des mixtes avec du charbon pur de petit et moyen calibres.

Le second élément classificateur ne présente rien de particulier. Il est destiné uniquement à traiter la masse résiduaire en vue d'extraire les mixtes. A cet effet, après alluvionnement, cette tranche est divisée par le plan capteur (*d*) en deux tranches :

une tranche supérieure ne comportant que du charbon pur évacué par l'extrémité du couloir (F) et une tranche inférieure qui, dans le démixteur à colonne (G) est soumise à l'action d'un courant ascendant pour donner d'une part des mixtes qui tombent dans le puisard de la noria (H) et du charbon remis par le courant dans le couloir (I). Les charbons des trois couloirs (A), (F) et (I) sont réunis pour passer sur un crible de classification.

Au *Centre de Gilly*, les mixtes sont livrés aux ouvriers ou utilisés aux chaufferies. Ils pourraient éventuellement être concassés et remis au lavage dans les autres lavoirs.

TRAITEMENT DU TENU.

Pour terminer cet exposé, il nous reste à signaler le mode de traitement appliqué au tenu.

Tous les praticiens du lavage savent que, lorsqu'on traite directement du 0-5 ou 0-10 millimètres dans les lavoirs, la graine 0-1 est toujours fort imparfaitement lavée. Dans les laveries modernes, ce 0-1 est généralement extrait avant ou après lavage, soit pour être utilisé tel quel si on a recours au prédépoussiérage, soit pour être traité à nouveau dans les lavoirs dit « à schlamms » si l'élimination se fait après lavage.

M. Hoyois a résolu la question du lavage du tenu d'une façon toute différente en mettant à profit la propriété bien connue que possèdent les particules menues charbonneuses de flotter sur l'eau, tandis que les mêmes particules schisteuses ont tendance à s'immerger.

La figure 7 schématise le dispositif utilisé pour réaliser la séparation par densité du tenu.

Le charbon brut 0-5 ou 0-10 est amené par courant d'eau (1) à une citerne (2) jouant le rôle de classificateur à courant de surface. Le courant d'eau traverse la surface en emportant le tenu charbonneux tandis que la graine et le tenu schisteux tombent au fond de la citerne, d'où ils sont repris par la noria (3) pour être déversé en tête du lavoir. En proportionnant judicieusement la largeur de la citerne et la vitesse du courant de surface, l'expérience montre qu'il est possible d'obtenir au déversoir une masse flottée ne comportant que des particules charbonneuses d'une grande pureté, exception faite toutefois du 0-2/10 ou 3/10 souillé par l'argile.

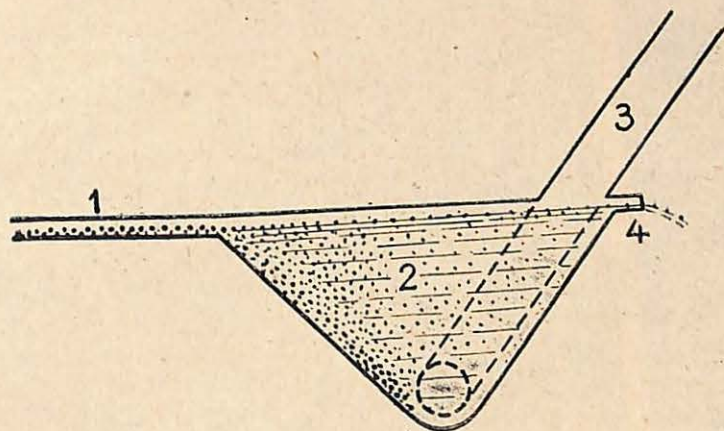


FIG. 7.

Cette séparation du tenu charbonneux, avant lavage, étant ainsi effectuée, nous allons décrire le processus imaginé par M. Hoyois pour réaliser :

- 1°) la séparation du tenu charbonneux flotté de la boue schlammeuse 0-2/10 à laquelle il est mélangé;
- 2°) la séparation du tenu argileux envoyé au lavoir et qui reste mélangé au charbon lavé;
- 3°) la récupération du tenu charbonneux et sa réincorporation au charbon lavé;
- 4°) la récupération des schlamms 0-2/10 et leur réincorporation aux mixtes.

La figure 8 schématise ce processus.

Le fin charbon brut amené par courant d'eau (1) dans le classificateur à courant de surface (2) donne deux produits : un produit « flotté » qui sort au déversoir (3) et un produit « chuté » recueilli dans la citerne et relevé par la noria (4) au lavoir (5). Le flotté est amené avec les eaux à une batterie de déschlammeurs (6) constituée de tamis inclinés en bronze phosphoreux à 1,600 mailles par centimètre carré. Le tamisé et les eaux tamisées sont reçus dans une citerne (7); le refus et les eaux non tamisées dans une citerne (8).

A la sortie du lavoir (5), le charbon lavé passe sur une grille (9) à écartement de 1/10 à 2/10 de millimètre. Le 0-2/10 extrait

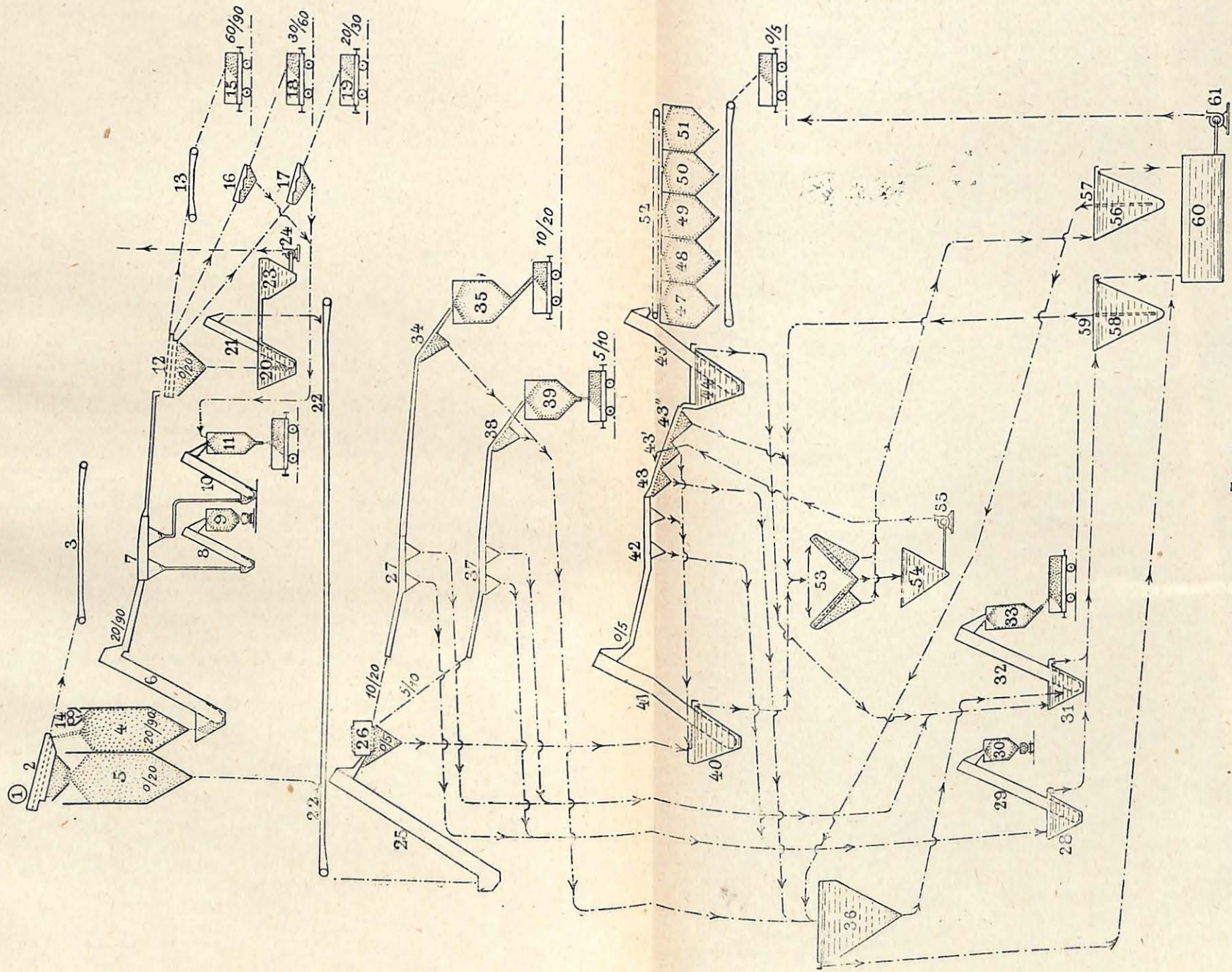


Fig. 9

par un petit orifice (16) vers la citerne à mixtes (17) où elles sont incorporées aux mixtes.

Dans une installation complète, les citernes à mixtes (17) et à schistes (18) sont disposées en classificateurs à courant de surface et les eaux de ces citernes sont remises également sur la batterie (6) de façon à récupérer le flotté de ces citernes. Les trop-pleins de la citerne (7) et du cône (10) retournent à la citerne d'aspiration pour rentrer dans la circulation.

Ce processus réalise pour le flotté 2/10 de millimètre un cycle fermé d'où il ne peut sortir qu'en empruntant la noria (14) à charbon lavé.

L'expérience a montré la parfaite efficacité de ce procédé :

a) La réincorporation du ténu charbonneux au charbon lavé est d'une homogénéité absolue ;

b) Le lavage du charbon est pratiquement complet à partir de 1/2 millimètre et déjà satisfaisant par la graine 2/10 à 5/10 de millimètre ;

c) La proportion de 0-2/10 dans le lavé dépend uniquement du degré de rinçage sur la grille (12). Sans rinçage, cette proportion n'est jamais supérieure à 8 % ; avec rinçage, elle peut être ramenée de 2 % ;

d) La réincorporation du schlamm aux mixtes est régulière et automatique, ce qui a permis de supprimer les bassins extérieurs sans nuire au bon fonctionnement des lavoirs et sans influencer défavorablement les résultats du lavage des fins charbons ;

e) L'égouttage du lavé dans les tours est grandement amélioré par suite de l'élimination de l'argile par les déschlammeurs.

Sauf pour le 0-2/10 de millimètre, ce procédé paraît avoir réalisé pratiquement le lavage du fin charbon en une seule opération.

Pour ce qui concerne le 0-2/10 de millimètre, M. HOYOIS estime qu'aucun procédé par immersion n'est capable de le laver convenablement et que, dans l'état actuel de la technique, son épuration ne peut être envisagée que par flottation, mais il ne voit pas, dans la majeure partie des cas, le bénéfice industriel à retirer de cette opération, les schlamm réincorporés aux mixtes pouvant trouver une utilisation facile et rémunératrice sur place, dans les chaufferies de la mine.

Description de l'installation du « Centre de Gilly »

Cette installation, capable d'un débit horaire de 100 à 120 tonnes, a été réalisée par substitution progressive des appareils Hoyois dits « Autoséparateurs », aux anciens appareils de lavage, bacs à piston et rhéolaveurs.

Avant la transformation, le lavage s'effectuait sur les catégories 0-5; 5-10; 10-20; 20-30 et 30-60, par rhéolaveurs pour le 0-5 et par bacs à piston pour les autres calibres.

Actuellement, le lavage s'effectue par lavoirs Hoyois sur les catégories 0-5; 5-10; 10-20 et 20-90.

Les wagonnets venant de la mine sont amenés dans le culbuteur (I) (voir fig 9) qui déverse les charbons sur le crible (2) à oscillations longitudinales faisant la classification 90/+; 20/90 et 0/20.

A la sortie du crible, les 90/+ sont dirigés par le transporteur (3) vers l'ancien atelier de triage qui ne présente rien de particulier. Quant aux 20/90 et 0/20, ils sont emmagasinés séparément dans les tours (4) et (5).

LAVOIRS

Traitement du 20/90. — De la tour (4), le charbon brut 20/90 est repris par un élévateur (6) et déversé directement dans le lavoir (7) qui donne trois produits :

- Des schistes définitifs qui sont extraits par la noria à niveau plein (8) pour être emmagasinés dans la tour à schistes (9);
- Des mixtes définitifs qui sont extraits par la noria à niveau plein (10) pour être emmagasinés dans la tour à mixtes (11);
- Du charbon lavé amené sur le crible (12) qui classe en 0/20; 20/30; 30/60 et 60/90.

A la sortie du crible, le 60-90 passe sur un petit transporteur (13) où deux fillettes procèdent à l'élimination des charbons plats qui sont remis dans un concasseur (14) disposé au-dessus de la tour (4) à 20-90 brut. Les produits concassés rentrent ainsi dans la circulation du lavoir (7). De l'extrémité du transporteur (13), les 60-90 sont chargés directement dans le wagon (15).

Du crible (12), les 30-60 et 20-30 passent respectivement sur les cribles (16) et (17) à barreaux spéciaux sur lesquels s'effectue l'élimination des plats qui vont retrouver les mixtes 20-90 dans

la tour (11). Quant aux lavés 30-60 et 20-30, ils passent directement des cribles (16) et (17) dans les wagons (18) et (19).

Les déclassés 0-20 partiellement lavés sont amenés avec les eaux de lavage dans la citerne (20) d'où ils sont repris par une noria égoutteuse (21) qui les remet sur un transporteur (22). De la citerne (20) les eaux de lavage passent directement dans la citerne d'aspiration (23) d'où une pompe (24) les renvoie dans la circulation.

Traitement du 0-20. — Le brut 0-20 emmagasiné dans la tour (5) est reçu sur le transporteur (22) où il est mélangé aux déclassés 0-20 dont il vient d'être parlé. Le tout est relevé par une noria (25) et déversé dans un trommel (26) qui classe en 10-20; 5-10 et 0-5.

Lavoir à 10-20. — Le 10-20 sortant du trommel passe directement dans le lavoir (27) qui donne trois produits :

- Des schistes définitifs dirigés vers la citerne (28) d'où une noria égoutteuse (29) les reprend pour les emmagasiner dans une tour (30);
- Des mixtes définitifs amenés à la citerne (31) d'où une noria égoutteuse (32) les relève pour les emmagasiner dans la tour (33);
- Du lavé 10-20 dirigé sur la grille égoutteuse (34) d'où il est emmagasiné dans la tour (35).

Le tamisé de la grille (34) est amené avec les eaux au cône de concentration (36) dont il sera parlé plus loin.

Lavoir à 5-10. — Du trommel (26) les 5-10 bruts sont amenés au lavoir (37), indentique à celui (27) à 10-20. Les schistes vont à la citerne (28), les mixtes à celle (31), le lavé à la grille (38) d'où il tombe dans la tour (39), le tamisé allant au cône (36).

Observation. — Logiquement, les déclassés des grilles (34) et (38) auraient dû être renvoyés au lavoir à 0-5 mais l'état des lieux ne l'a pas permis.

Lavoir à 0-5. — Le 0-5 provenant du trommel (26) est amené par courant d'eau dans la citerne (40) aménagée en classificateur à courant de surface. Les produits déposés dans cette citerne sont relevés par l'élévateur (41) au lavoir (42) qui donne trois produits : a) des schistes dirigés vers la citerne (28); b) un produit à repasser qui retourne à la citerne (40); c) du lavé sur la grille

Aumeca (43) (Auxiliaire Mécanique, rue Alphonse Hottat, 7, à Bruxelles) à écartement de 0,2 de millimètre, dont le tamisé (schlamms mixteux) est envoyé au cône (36) et dont le charbon refusé passe sur une deuxième grille (43') à écartement de 0,5 de millimètre. Le tamisé retourne au relavage, le charbon passe enfin sur une troisième grille (43'') à écartement de 0,2 de millimètre. Le tamisé de cette grille est dirigé vers les déschlammeurs (53) dont il sera parlé plus loin tandis que le refus, constituant le charbon lavé définitif, tombe dans la citerne (44), d'où il est repris par la chaîne égoutteuse (45) pour être emmagasiné dans les tours (47 à 51) par l'intermédiaire de la chaîne à raclettes (52). Les eaux de la citerne (44) s'écoulent par trop plein vers la citerne à mixtes (31).

Observation. — Ces eaux devraient logiquement être envoyées aux déschlammeurs (53) mais, comme signalé plus haut, l'état des lieux ne l'a pas permis.

Récupération du tenu charbonneur et sa réincorporation au lavé 0/5. — Les eaux de la citerne (40) et le tamisé de la grille (43'') sont dirigés vers la batterie de déschlammeurs (53), constituée d'une série de tamis fixes en toile de bronze phosphoreux à mailles de 0,2 de millimètre. Le refus des déschlammeurs comportant tout le tenu $> 2/10$ de millimètre est reçu dans une citerne (54) d'où une pompe (55) le reprend pour le remettre sur la grille (43') où se fait la réincorporation au lavé 0-5.

Les eaux des citernes (28) et (31) auraient dû aussi passer aux déschlammeurs, mais la disposition des lieux ne le permettant pas, ces eaux sont dirigées vers une citerne (58) désaffectée d'où un éjecteur (59) refoule les particules déposées aux déschlammeurs (53).

Récupération de la boue de $2/10$ de millimètre pour incorporation aux mixtes. — Le tamisé des déschlammeurs (53) est amené avec les eaux dans la citerne (56) — (constituée par une partie des anciens bassins à schlamms désaffectés) — sur laquelle est disposé un éjecteur à vapeur (57) qui refoule la boue déposée dans cette citerne au cône de concentration (36).

Dans ce cône, les boues ainsi amenées avec les produits tamisés provenant des grilles égoutteuses (34, 38 et 43) subissent une nouvelle concentration : la boue concentrée est évacuée d'une façon continue vers la citerne à mixtes (31) aménagée pour per-

mettre le dépôt de cette boue et son mélange aux mixtes provenant des lavoirs (27 et 37), (le lavoir 42 ne produit pas de mixtes).

Les eaux en excès des citernes (56) et (58) et du cône (36) sont remises dans la citerne d'aspiration (60) d'où une pompe (61) les remet dans le circuit d'alimentation des lavoirs.

Caractéristiques générales et résultats.

Ainsi que les photographies suivantes permettent de s'en rendre compte, l'installation ci-dessus décrite se caractérise par :

1° La simplicité, le faible poids et le peu d'encombrement de ses appareils de lavage qui, d'autre part, ne comportent aucun organe mécanique. Ainsi, pour fixer les idées, nous dirons que le lavoir à 20-90, capable de traiter de 40 à 50 tonnes-heure ne mesure que sept mètres de long, 0^m,30 de largeur utile et ne pèse que 2.500 kilogrammes, non comprises bien entendu les deux norias.

2° Le processus appliqué au lavage du 0-5 qui ne comporte ni dépoussiérage préalable, ni relavage des schlamms, ni bassins de dépôts extérieurs.

3° Sa marche automatique qui a permis la suppression de toute surveillance spécialisée.

Les charbons traités ont, à l'état brut, les teneurs en cendres ci-après :

0-5	: 30 à 35 %;
5-10	: 35 à 40 %;
10-90	: 40 à 45 %.

Quant aux produits lavés, leurs teneurs en cendres se fixent dans les limites suivantes :

Charbons lavés.	}	60-90	: 4,5 à 6 %;
		30-60	: 5 à 6 %;
		20-30	: 6 à 7 %;
		10-20	: 8 à 9 %;
		5-10	: 8 à 9 %;
		0-5	: 9,5 à 10,5 %, se décomposant comme suit :
		0-2/10	: 4 à 8 % : de 21 à 24 % de cendres;
		2/10-1/2	: 4 à 8 % ; de 14 à 18 % de cendres;

1/2-1 : 18 à 20 % : de 9 à 11 % de cendres ;
 1-2 : 30 à 35 % : de 8 à 9 % de cendres ;
 2-5 : 35 à 45 % : de 7 à 8 % de cendres.

Observation : Le lavage du 0-5 visant à l'obtention d'un charbon lavé vers 11 % de cendres, on peut tolérer une certaine proportion de 0-2/10 dans ce lavé. Pour cette raison, il n'est pas fait usage du rinçage à l'eau claire sur la grille (43'').

Schistes. — 0-90 : 75 à 79 %.

Mixtes. { 20-90 : 25 à 35 % selon la constitution du brut traité ;
 0-20 avec schlamms et tamisés des grilles égoutteuses des 5/10 et 10/20 : 25 à 35 %.

La proportion de schlamms, mixtes et tamisé des grilles est d'environ 14 à 15 % du tonnage brut traité. Ce produit constitue un combustible de second choix, à 9 % de matières volatiles, utilisé sur place à la centrale du charbonnage, soit directement dans deux chaudières à foyers mécaniques système *Pluto*, soit en mélange avec 20 % de charbon gras dans des chaudières à foyers ordinaires.

Note sur l'emploi des câbles plats en acier de forte épaisseur

PAR

Y. VERWILST.

Ingénieur civil des mines.
 Association des Industriels de Belgique.

Les câbles plats en acier présentent sur les câbles plats en aloès, les désavantages suivants :

- a) Moins bonnes conditions d'équilibrage des moments de la machine ;
- b) Plus grand nombre de tours de la machine nécessaire pour réaliser une cordée à profondeur égale.

Il en résulte que dans de nombreuses installations, le couple statique est trop élevé au début et est négatif à la fin de la cordée et que, d'autre part, il faut, toutes conditions égales par ailleurs, marcher à vitesse plus grande pour réaliser une extraction déterminée.

Ces conditions peuvent devenir gênantes dans le cas de certaines installations existantes, où les constantes de l'installation sont impossibles à changer (puissance du moteur, à vapeur ou électrique, rayons initiaux, etc.). Ces conditions désavantageuses, surtout celle du moment négatif en fin de cordée, se remarquent plus facilement depuis l'emploi plus fréquent des machines électriques, car elles se traduisent par une dépense supplémentaire d'énergie. De plus, le phénomène des pointes à chaque soulèvement de la cage est ressenti très défavorablement sur le réseau et à la centrale.

Dans le but de se rapprocher des conditions de fonctionnement plus favorables des câbles plats d'aloès, les Charbonnages Unis de l'Ouest de Mons ont essayé l'emploi de câbles plats en acier de forte épaisseur. Les résultats théoriques de ces essais ont été exposés dans une note parue dans les 34^e fascicule de l'année 1928 du Bulletin de l'Association des Ingénieurs de l'Ecole des Mines de Mons, « Contributions à l'étude des machines d'extraction électriques commandées par moteur asynchrones ».

Numéros	NOM DU PUIT	Profondeur	Charge maximum en kg.	Tonnage journalier approximatif	Composition du câble	Charge de rupture en kg.	Date de placement	Date de l'enlèvement	Durée en mois	Raison de l'enlèvement	OBSERVATIONS
1	Ferrand extr.	560	9.400	600 T.	6.4.12.2	140.300	5.6.27	8.4.28	10	fil brisé	
2	»	»	»	»	id.	146.300	id.	id.	10	id.	
3	»	»	»	»	4.4.(6X3).2	139.805	8.4.28	7.10.28	6	id.	
4	»	»	»	»	id.	139.906	id.	25.11.28	7 1/2	id.	
5	»	»	»	»	id.	123.800	7.10.28	19.5.29	7	id.	
6	»	»	»	»	id.	id.	25.11.25	16.6.29	6 1/2	id.	en service actuellement id.
7	»	»	»	»	6.4.9.2.2	138.300	19.5.29	»	»	»	
8	»	»	»	»	id.	138.400	16.6.29	»	»	»	
9	St-Antoine extr.	660	9.400	800 T.	6.4.12.2	144.700	4.12.27	11.8.29	20	id.	en service actuellement id.
10	»	»	»	»	»	145.500	id.	id.	id.	id.	
11	»	»	»	»	»	128.200	11.8.29	»	»	»	
12	»	»	»	»	»	129.800	11.8.29	»	»	»	
13	Alliance extr.	815	9.900	800 T.	6.4.(5X3)2	168.000	3.2.29	1.9.29	7	»	en service actuellement id.
14	»	»	»	»	»	170.300	id.	18.8.29	6 1/2	»	
15	»	»	»	»	6.4.13.2	165.000	1.9.29	»	»	»	
16	»	»	»	»	6.4.13.2	162.800	18.8.29	»	»	»	
17	Vedette C.	846	8.300	?	6.4.12.2	153.700	23.11.28	»	»	»	en service actuellement id.
18	»	id.	»	?	id.	id.	id.	»	»	»	
19	Vedette extr. A.	700	7.800	?	6.4.12.2	137.100	9.9.28	»	»	»	id.
20	»	id.	»	?	id.	131.600	7.9.28	»	»	»	id.
21	Grande veine extr.	850	10.000	600 T.	6.4.12.2	167.500	15.9.28	»	»	»	feront très probablement leur garantie
22	»	»	»	»	»	169.100	»	»	»	»	ont été enlevés et placés au puits d'air
23	»	»	»	»	6.4.13.2	171.900	1.12.29	»	»	»	en service actuellement id.
24	»	»	»	»	»	170.700	»	»	»	»	
25	Belle-View extr.	»	9.500	600 T.	6.4.12.2.2	191.900	1.4.29	»	»	»	en service actuellement id.
26	»	»	»	»	»	192.000	»	»	»	»	

Les essais ont donné des résultats très intéressants. Les avantages économiques, dans certains cas, peuvent être considérables en ce qui concerne l'économie de consommation de courant à la tonne hectométrique extraite, et en dehors de cette économie, l'emploi des câbles épais peut, toujours dans des cas bien déterminés, procurer de grands avantages d'aisance.

Il peut, dans de nombreux cas, réduire considérablement la pointe de démarrage et contribuer ainsi à donner une marche régulière à la centrale et dans les installations où il existe plusieurs moteurs électriques. Dans d'autres cas, lorsque le réseau du charbonnage est relié au réseau distributeur par l'intermédiaire d'un transformateur, la diminution des pointes de démarrage pourra permettre d'utiliser les transformateurs existants, sans crainte de les faire déclencher et d'augmenter en même temps d'une unité le nombre des machines d'extraction électriques.

Il serait donc, à ce sujet, intéressant d'examiner, pour un grand nombre d'installations, les conditions qui seraient obtenues par l'augmentation de l'épaisseur des câbles, non seulement au point de vue économie à réaliser dans la consommation du courant ou de vapeur, mais aussi pour discuter les éventualités suivantes :

Augmentation du nombre de cordées-heure, en réduisant le nombre de tours de la machine. Exemple : Dans une installation à rayon initial de 1 mètre, de 600 mètres de profondeur et avec câbles de 22 millimètres d'épaisseur, il faut 54 tours pour réaliser la cordée. Avec un câble de 26.5 millimètres, il faut seulement 46 tours. Dans ce dernier cas, on pourra, toutes choses égales par ailleurs, faire six cordées sur le temps qu'on en aurait fait cinq dans le cas précédent ;

Augmentation de la charge maximum en réalisant de meilleures conditions d'équilibrage des moments ;

Augmentation de la profondeur d'extraction sans changer d'autres caractéristiques de l'installation que celle de l'épaisseur des câbles dans le cas d'un moteur, électrique ou à vapeur, arrivé à la limite de sa puissance ;

D'une façon générale, augmentation des possibilités d'extraction sans dépenses supplémentaires (moteur plus fort, chaudière supplémentaire, etc.).

Nous avons rassemblé dans un tableau des renseignements relatifs aux câbles épais ayant fonctionné ou en service actuellement sur les différents puits de l'Ouest de Mons.

Le premier essai de câbles plats au puits *Ferrand* (câbles n^{os} 1 et 2 du tableau) n'a pas donné des résultats intéressants au point de vue durée. Celle-ci a été de 10 mois avec une extraction approximative de 800 tonnes (totale) par jour. Cela provient du retournement trop tardif de ces câbles et de ce qu'on les a fait changer de face (fait faire quartier).

Par contre, les câbles n^{os} 9 et 10 du tableau (*St-Antoine* extraction) ont fourni un service de vingt mois qui est très convenable.

Devant les bons résultats obtenus, la direction des Charbonnages de l'*Ouest de Mons* a essayé de réaliser un équilibrage encore meilleur des moments, par l'emploi de câbles en quatre aussières (câbles n^{os} 3 et 4 du tableau). Ces câbles composés de quatre aussières, de quatre torons grelinés, de six torons de trois fils de deux millimètres, n'ont pas donné de bons résultats au point de vue de la durée. Cela provient du faible nombre de fils de surface sollicités à l'écrasement à l'enlevage. Les ruptures de fils se produisent très rapidement.

Cette composition a été abandonnée pour celle de six aussières, de quatre torons grelinés, de cinq torons de trois fils de deux millimètres, en usage actuellement au puits *Alliance* extraction (n^{os} 13 et 14 du tableau) donc l'épaisseur est plus forte que celle des câbles en $6 \times 4 \times 12 \times 2$.

Mais les résultats que l'on en a obtenus pour la durée des câbles ne sont pas intéressants et s'est la solution moyenne ($6 \times 4 \times 12 \times 2$) qui s'est révélée la meilleure comme câble épais.

On voit par ce qui précède et de l'examen du tableau, que les Charbonnages de l'*Ouest de Mons* se sont résolument engagés dans la voie de l'emploi des câbles épais où ils trouvent de réels avantages.

Tous leurs puits principaux d'extraction, sauf un, sont équipés en câbles épais.

La pratique a donc établi que la substitution des câbles épais à ceux du type ordinaire en huit ou dix aussières peut, dans certains cas, être préconisable.

Dans le but de compléter la documentation, les A. C. E. C., consultés à ce sujet, ont étudié quelle serait l'économie réalisée par le remplacement des câbles actuels par des câbles plus épais

pour une installation existante étudiée par eux et de caractéristiques suivantes : profondeur, 840 mètres; charge maximum, 13,700 kilogrammes; câble $8 \times 4 \times 11 \times 2$, 183,500 kilogrammes; épaisseur actuelle du câble, 27,8 millimètres; épaisseur du câble épais de même résistance, 32,4 millimètres.

Le tableau ci-dessous donne les consommations en Kw./heure par tonne hectométrique résultant de l'étude entreprise par cette firme :

N ^o d'ordre	Observations relatives aux diagrammes	Consommation en Kw par tonne hectolitre	Remarques
1	4 Wagonnets de terre à 800 mètres	0,489	Câble de 27,8 m/m d'épaisseur
2	id.	0,465	Câble de 32,4 m/m d'épaisseur
3	4 Wagonnets charbon à 800 mètres	0,600	Câble de 32,4 m/m d'épaisseur
4	id.	0,575	Câble de 32,4 m/m d'épaisseur

Les A. C. E. C. font suivre leur tableau des très intéressantes considérations suivantes :

« Ce tableau, établi d'ailleurs par préméditation, indique que les consommations diminuent en augmentant l'épaisseur dans le rapport susmentionné.

Toutefois, si dans ce cas particulier, une amélioration résulte de la modification préconisée, il serait dangereux de conclure du particulier au général : *il faudrait étudier chaque cas particulier, dans les diverses hypothèses*, mais il arrivera certainement que l'augmentation de l'épaisseur du câble entraînera celle des consommations.

Il y a encore lieu de remarquer que l'usure des câbles est ainsi à prendre en considération; il semble dès maintenant que l'usure soit plus faible avec des câbles de moindre épaisseur, mais il faudra attendre les résultats d'expérience.

Pour finir, nous attirons l'attention sur le fait qu'une machine d'extraction prévue pour une extraction à 800 mètres, par exem-

ple, peut être utilisée au début de l'installation pour une extraction à 400 mètres.

Dans ce cas, il sera probablement avantageux d'augmenter l'épaisseur du câble, pour la profondeur de 400 mètres, en ce qui concerne les pointes et les moments retardateurs, mais il est certain que pour la profondeur de 800 mètres, il sera indispensable d'en revenir à l'épaisseur de câble prévue en première analyse. »

Les Directions des Charbonnages *Unis de l'Ouest de Mons* et des A. C. E. C. nous ayant obligeamment permis de publier les renseignements contenus dans cette note, nous nous faisons un plaisir de faire connaître les résultats obtenus jusqu'à présent dans cette voie.

Nous sommes persuadés que ces renseignements pourront être utilement consultés.

Note sur la tarification de l'énergie électrique

PAR

A. HALLEUX.

Professeur à l'Université de Bruxelles.

AVANT-PROPOS

Cette note est un résumé des quelques leçons que nous faisons aux étudiants de la Faculté des Sciences appliquées de l'Université de Bruxelles. Elle n'a pas la prétention d'apprendre quoi que ce soit à ceux, qui, par devoir professionnel, s'occupent de cette importante question. Mais, de nombreux ingénieurs et chefs d'industrie sont amenés à s'en occuper occasionnellement et à examiner soit des formules d'achat, soit des formules de vente d'énergie électrique; aussi bien, nous avons pensé, qu'il ne serait pas inutile d'exposer ici, d'une manière synthétique, les bases de la tarification, la construction des formules rationnelles et d'indiquer, en les justifiant, les modifications qui ont été introduites dans ces dernières pour en faire des compromis équitables et pratiques entre producteurs et consommateurs.

Bruxelles, octobre 1929.

Observations générales. — L'unité d'énergie électrique utilisée dans la pratique des transactions est le kilowattheure; c'est, en fin de compte, le prix du kilowattheure rendu au point d'utilisation, qui doit ressortir des formules de tarification. D'une manière générale, l'énergie électrique qui donne lieu à tarification doit être transportée du lieu de production aux points d'utilisation; comme pour tout produit, le coût du transport doit avoir une répercussion sur le prix de livraison; mais, il va de soi, que la supputation de ce coût ne peut être faite pour chaque « raccordé » isolément et que ce n'est qu'une valeur moyenne qui intervient dans le prix du kilowattheure rendu sur place.

Le prix de vente est, d'une part, commandé par le prix de revient qui constitue une limite inférieure, et, d'autre part, par le coût éventuel de fabrication sur place, qui fixe la limite supérieure (1); enfin, l'énergie électrique jouant un rôle important dans l'économie sociale, presque tous les pays en ont réglementé le transport et la distribution par une législation; aussi bien, sous l'influence de ces différents facteurs, les prix de vente se normalisent de plus en plus dans une même région.

Pour bien comprendre les formules de tarification et pouvoir les justifier, il faut commencer par se rendre compte des éléments du prix de revient de l'énergie électrique; c'est l'objet de l'exposé préparatoire fait ci-dessous, dans le chapitre I, qui précède l'examen des divers systèmes de tarification.

CHAPITRE I.

Éléments du prix de revient de l'Énergie électrique.

L'énergie électrique est produite par des machines; celles-ci nécessitent que des capitaux soient immobilisés. On rapporte ces dépenses à l'unité de puissance utile disponible, soit au kilowatt; dans ce calcul, on tient généralement compte, seulement de la puissance qui peut être produite — (puissance utile, réserves en chaudières et machines non comprises) — et, c'est à celle-ci qu'on compare toutes les dépenses faites (2). Les machines s'usent et, par

(1) Compte tenu des immobilisations à faire et, d'autre part, des facilités d'extinctions que donne l'alimentation par l'extérieur et du meilleur rendement à faible charge.

(2) Les « réserves » en engins de production, sont d'une nécessité absolue pour assurer la continuité et la régularité des fournitures d'énergie électrique.

l'usage, deviennent hors de service : leur « vie » est limitée; d'autre part, les progrès réalisés dans la technique incitent à les remplacer par d'autres plus économiques. Il s'ensuit qu'une première dépense à prévoir est celle du renouvellement du matériel périssable; c'est pourquoi il faut inscrire, en tout premier lieu, cette charge dans le prix de revient de l'énergie électrique. On possède des données expérimentales qui permettent de fixer avec une approximation suffisante, la durée probable de vie de ce matériel; et, dès l'instant où cette durée est déterminée en années, il suffit de prévoir, qu'au bout de ce nombre d'années, le capital immobilisé dans les machines doit être reconstitué. Si l'on se fixe l'intérêt que peuvent rapporter les sommes ainsi réservées dans ce but (1), rien n'est plus simple que de calculer en « pour cent » du capital à reconstituer, les prélèvements annuels à faire et à passer par prix de revient.

Ainsi, par exemple, si on admet comme terme de renouvellement 10 années, si le kilowatt utile disponible coûte 3.000 francs et que le taux d'intérêt dont il vient d'être question soit de 4 % l'an, une annuité de 8,33 % du capital dépensé, soit :

$$\frac{3.000 \times 8,33}{100} \text{ ou } 250 \text{ francs,}$$

constituera la dépense obligatoire annuelle; en dix années, le capital sera reconstitué par cette annuité.

D'autre part, il est aussi nécessaire de prévoir que le capital immobilisé doit être amorti en prévision de circonstances qui pourraient rendre le centre de production inutilisable, par exemple l'extinction de contrats de vente qui ne seraient pas renouvelés, ou bien encore, pour parer à des dépenses qui deviennent inutiles au cours de l'exploitation; mais, cet amortissement — prévu d'ailleurs partiellement par les dispositions légales — est une opération financière qui peut se faire, en général, sur un terme d'assez longue durée et se réaliser également par un prélèvement correspondant à un certain nombre de « pour cent » du capital en cause, de manière à constituer une annuité. A titre d'exemple, si on envisage l'amortissement en 25 années, le taux de l'intérêt étant comme dit ci-dessus de 4 %, l'annuité correspondante à la somme susdite de 3.000 francs serait de 2,4 % de cette somme, soit 72 francs (2).

(1) Il convient d'attirer ici l'attention sur la différence des taux d'intérêts des capitaux éventuellement empruntés d'une part, et, d'autre part, des capitaux disponibles constitués pour renouvellement.

(2) Il convient de remarquer que cette annuité ne comprend aucun intérêt du capital.

Au total donc, dans les hypothèses exemplatives qui viennent d'être faites, il faudrait consacrer annuellement une somme de $250 + 72 = 322$ francs ou $10,73\%$ de 3.000 francs, par kilowatt utile installé, pour *renouvellements* et *amortissements*. Il est à remarquer — et c'est important de le faire ressortir dès maintenant — que cette charge fixe existe, quelle que soit la production des machines, en kilowattheures.

Il en est de même de certains impôts ou taxes qui s'appliquent aux terrains, immeubles et immeubles par destination.

Il ressort de tout ceci, que, en tout état de cause, le prix de revient de l'énergie électrique comportera un élément annuel fixe par kilowatt utile installé; c'est ce qu'on appelle les *frais fixes*. Ils sont constants par unité de puissance utile installée. Toutefois, il importe de le faire ressortir, ces « frais fixes » devront se modifier si les circonstances économiques sont telles que le prix des machines — venues à renouvellement — a subi des variations (diminution du pouvoir d'achat de la monnaie, élévation des salaires ou des matières premières).

Il convient d'ajouter ici, que si les capitaux immobilisés dans l'établissement du centre de production d'énergie électrique proviennent — en tout ou en partie — de sommes empruntées, à un taux d'intérêt déterminé, il est nécessaire de majorer d'autant les frais fixes dont il vient d'être question (1).

A vrai dire, il existe d'autres dépenses ayant aussi un caractère de fixité; ce sont les frais généraux de direction, de personnel des bureaux et de surveillance, mais, d'ordinaire, on ne les groupe pas avec les postes de renouvellement et d'amortissement qui viennent d'être dégagés; on les classe dans les « *frais fixes d'exploitations* ». Outre les dites dépenses, les frais fixes d'exploitation comprennent aussi les frais d'entretien et de réparations — (ma-

(1) Les présentes notes n'ont pas pour objet d'exposer le mode d'établissement du prix de revient de l'énergie électrique; elles ont exclusivement pour but de dégager la nature des termes qui constituent les bases de ce prix de revient afin de montrer l'origine rationnelle des formules de tarification.

Quoiqu'il en soit, il est utile de faire ressortir que, dans la comparaison qui se fait parfois entre le prix de l'énergie à acheter éventuellement à une centrale régionale et le prix auquel l'industriel pourrait arriver en produisant par ses propres moyens, il ne faut pas omettre dans le calcul de ce dernier prix, de faire intervenir, comme charge fixe, l'intérêt, à un taux normal, des sommes à immobiliser; et ceci, soit que ces sommes proviennent de l'emprunt, soit d'un capital disponible, lequel, normalement, rapporte un intérêt déterminé.

tières premières et salaires) — et les frais de marche à vide des machines. Ces frais fixes d'exploitation sont constants par unité de puissance utile installée et par unité de temps de service, et cela, quel que soit le débit en kilowattheures, des machines en fonctionnement.

On remarquera que ces frais « fixes » d'exploitation peuvent varier si les salaires se modifient et si le coût des matières premières (huiles, charbons, machines) vient à changer; ils ne sont donc « fixes » que dans ces limites. D'ailleurs, les termes « frais fixes » ont été surtout choisis par opposition aux termes « frais proportionnels », qui, ceux-ci, sont en relation directe avec la quantité d'énergie produite. Il est clair, en effet, que, plus le centre de production doit débiter d'énergie électrique, plus le personnel affecté aux chaudières, aux manutentions des combustibles et des cendres, etc., doit s'accroître; plus aussi le centre consomme de charbon ou de gaz combustible. Et, ainsi, apparaissent dans le prix de revient, des termes dépendant directement des prix des salaires et des combustibles, lesquels termes, constituent les frais proportionnels à la production; on les ramène toujours à l'unité d'énergie, soit au kilowattheure.

En résumé, le prix de revient de l'énergie électrique se présente comme suit en ses éléments constituants :

1° Des frais fixes et annuels de renouvellement et d'amortissement; ils seront désignés par A_1 francs par unité de puissance utile et par an. Ils sont à reviser selon les modifications survenues dans la situation économique;

2° Des frais fixes d'exploitation, qui, pour les centrales régionales peuvent être rapportés à l'unité de puissance utile en fonctionnement pendant un an. Ils seront désignés par A_2 et ils dépendent des taux des appointements et salaires ainsi que des prix du combustible et des matières premières (1);

3° Des frais proportionnels rapportés à l'unité d'énergie et directement variables avec les salaires et le prix du combustible. On peut les représenter par :

fonction de S + fonction de P,

si S désigne le salaire moyen par unité de temps et P le prix unitaire du combustible.

Les éléments repris au 2° et au 3° combinés, donnent ce qu'on appelle le prix de revient d'exploitation.

(1) On peut remarquer que ces frais fixes dépendront aussi des valeurs des puissances des machines utilisées pour la production.

CHAPITRE II.

De la Tarification de l'Energie électrique en général.

On pourrait croire que, dès l'instant où le prix de revient de l'énergie électrique produite dans un centre destiné à desservir de nombreux consommateurs, est défini — et, avec l'expérience acquise, on peut même le déterminer à l'avance avec une assez grande approximation, — rien n'est plus simple que de fixer le prix de vente, ou en d'autres termes, d'établir la formule de tarification. Il n'en est rien; entre les deux limites indiquées précédemment, prix de revient d'une part et prix d'auto-production d'autre part, il existe toute une gamme variée.

Et, une question fondamentale se pose immédiatement :

Faut-il tarifier l'énergie électrique uniquement d'après son prix de revient ou bien faut-il en établir le prix selon ce qu'elle vaut pour le consommateur? Il n'y a pas de doute, c'est cette dernière conception qui doit dominer, sans quoi, on créerait des inégalités indéfendables et on établirait un régime qui favoriserait beaucoup plus les petits que les gros consommateurs.

En tout état de cause, on comprend d'ailleurs sans peine, que les industries qui reçoivent de grandes puissances doivent être traités autrement, du point de vue de la tarification, que celles qui ne demandent que des puissances faibles. Dans ces conjonctures, il apparaît déjà que, si, comme on le montrera par la suite, les formules de tarification ont des éléments de base communs, elles doivent, en fin de compte, conduire, dans les divers cas types, à des prix différents pour le kilowattheure. C'est par les valeurs adoptées dans chaque cas particulier pour les coefficients que ces formules contiennent, que les prix ressortiront finalement. Ainsi, sorties de l'empirisme, les formules de tarification sont arrivées à permettre dans toutes les circonstances, l'établissement d'un compromis commercial équitable entre les producteurs et les consommateurs. Mais, il faut se hâter de dire que cette question, qui est du domaine exclusif de la transaction commerciale industrielle, ne peut être que mentionné ici, l'objectif poursuivi par les présentes notes étant d'exposer et de justifier les formules de tarification et non de les appliquer à tel ou tel cas concret.

Dans les chapitres suivants, la formule de tarification ration-

nelle sera établie, puis, l'influence du nombre d'heures d'utilisation sera dégagée; enfin, les formules pratiques seront expliquées ainsi que leurs origines en distinguant les différents cas de consommation : éclairage et petite force motrice, moyenne et grande force motrice; enfin, quelques tarifs particuliers seront mentionnés et il sera montré comment on détermine les éléments de base des formules appliquées.

CHAPITRE III.

Formule rationnelle de tarification. — Nombre d'heures d'utilisation. — Formule fondamentale pratique de tarification.

Il résulte immédiatement de ce qui a été exposé au chapitre I qu'un consommateur demandant au producteur de tenir à sa disposition une puissance de W kilowatts (puissance commandée), la formule de tarification devra être telle que, tout d'abord, les termes définis A_1 et A_2 — correspondant aux dépenses par kilowatt de puissance utile et par an — soient récupérés par le producteur. L'énergie devant être transmise par des lignes et des appareils dont il faut prévoir à la fois, le renouvellement, l'amortissement et les frais d'entretien, il est nécessaire de majorer les termes A_2 et A_1 pour tenir compte de ces éléments; ces termes deviendront donc A et A' .

Si, d'autre part, le consommateur utilise la puissance W pendant n heures sur l'année, il recevra $W \times n$ kilowattheures; n étant le « nombre d'heures d'utilisation » de la puissance commandée; dans ces conditions, la dépense de production doit être couverte et, conformément à ce qui a été dit ci-dessus, elle sera de :

$$W n \cdot [\text{fonct. (S)} + \text{fonct. (P)}].$$

A ces divers termes doit s'ajouter le bénéfice du producteur, ce bénéfice étant fixé à « f », par kilowattheure, la formule de paiement sera, en fin de compte, pour une année, la suivante :

$$(1) \quad (A + A') W + W n [\text{fonct. S} + \text{fonct. P} + f]$$

Le prix du kilowattheure s'obtiendra en divisant ce total par $W n$ et il sera ainsi de :

$$(2) \quad \frac{A + A'}{n} + \text{fonct. (S)} + \text{fonct. (P)} + f;$$

on l'exprime généralement en centimes.

Il résulte immédiatement de cette expression que, plus le nombre d'heures d'utilisation annuelle grandira, plus le prix du kilowattheure diminuera.

Ce prix sera donc essentiellement variable avec le nombre d'heures d'utilisation annuel (dont le maximum possible est $365 \times 24 = 8.760$); et, il convient d'insister sur cette importante relation.

Les expressions ci-dessus (1) et (2) constituent la formule rationnelle de tarification, dont il reste à déterminer la nature des fonctions de S et de P.

On remarquera, accessoirement, que les puissances demandées par les consommateurs déterminent la charge du centre de production, il va de soi que l'importance de cette charge d'ensemble aura une répercussion sur le prix de revient d'exploitation — (puissance des unités à mettre en service); de même, plus les nombres d'heures d'utilisation des différents récepteurs seront élevés, plus le prix de revient d'exploitation s'en ressentira favorablement (charges normales des machines d'où dépend leur consommation). En réalité, il y a là une interdépendance que ne traduisent par les formules reliant W, n, fonct. S. et fonct. P.

Cependant, ce n'est généralement pas sous la forme rationnelle qui vient d'être indiquée, que se présente la formule de tarification utilisée d'ordinaire. En effet, la puissance W — puissance à mettre à la disposition du consommateur — ne peut être fixée avec précision; une certaine incertitude règne dans sa détermination et même dans sa mesure; d'autre part, des aléas inhérents à toute industrie peuvent momentanément en modifier la valeur; enfin, on remarquera que, si l'industrie du consommateur suspend accidentellement son activité, la consommation d'énergie devenant, dès lors, nulle ou très faible pendant une période, le nombre d'heures d'utilisation venant ainsi à diminuer, le prix unitaire de l'énergie va grandir en proportion et viendra peser plus lourdement sur le prix de revient des produits fabriqués par le consommateur. Aussi bien, a-t-on réduit, en général, la partie fixe au terme « A » seulement; le terme $\frac{A'}{n}$ par kilowatt-heure, étant alors rangé avec fonct. (P) et fonct. (S). C'est évidemment inexact et cela ne correspond pas à la réalité, mais cette manière de faire constitue, en réalité, comme on s'en rend

compte, une « protection » pour le consommateur, surtout si son engagement est de longue durée.

Au surplus, au lieu de n, nombre d'heures d'utilisation correspondant à un consommateur, on prendra, en fait, le nombre d'heures moyen de tous les consommateurs reliés au centre de production; si ce nombre est m, on aura $a = \frac{A'}{m}$, et c'est ce terme a, constant, qui apparaîtra dans la formule modifiée. D'autre part, la coutume n'est pas de dégager le bénéfice f, généralement, il est incorporé à la fois dans les fonctions toujours linéaires de P et de S constituant l'élément fondamental de la partie proportionnelle.

Dans ces conditions, la formule pratique de tarification devient la suivante :

A francs par an et par kilowatt de puissance mis à la disposition du consommateur et :

$$a + c. P + d. S$$

par kilowattheure consommé.

Cette tarification fait ressortir le prix du kilowattheure à :

$$\frac{A}{n} + a + c. P + d. S$$

si n est le nombre d'heures d'utilisation.

La formule de tarification ainsi construite est dite « binaire » (1). Il convient de l'examiner de près :

Aucun éclaircissement ne doit être donné en ce qui concerne le terme fixe A, il ressort directement, pour sa plus grande partie, du coût d'installation de l'unité de puissance; cependant, il faut remarquer que le nombre de KW. par lequel ce terme doit être multiplié, pour établir la partie fixe de la somme à payer, doit être défini. En effet, dès l'instant où une puissance déterminée est « commandée » au producteur d'énergie électrique, celui-ci doit faire les immobilisations nécessaires pour la tenir d'une manière continue et régulière à la disposition; et c'est à cette puissance, à ce nombre de KW. que devra s'appliquer la taxe fixe; mais, encore est-il, qu'il faut déterminer au mieux des

(1) Il convient de faire remarquer ici que, plus la puissance à produire est faible, plus toutes choses égales, le prix de revient, et partant, le prix de vente de l'énergie électrique sera élevé. En effet, le terme fixe A diminue avec la puissance des machines génératrices et les frais proportionnels, — surtout dans leur élément constant — se réduisant avec l'accroissement de la quantité d'énergie débitée.

deux parties en cause, ce nombre de kilowatts. Il est clair, par exemple, que les surcharges momentanées et de très peu de durée ne doivent pas entrer en ligne de compte; de même, on conçoit que, si, même la puissance dont il s'agit n'est atteinte que pendant une partie du temps, voire même pendant quelques heures ou fraction d'heure, au cours de l'année, l'obligation pour le producteur de tenir normalement, d'une manière permanente, cette puissance à la disposition du consommateur, apparaisse. C'est pourquoi, en général, prévoit-on dans les conventions de fournitures, que la puissance qui servira de base sera la puissance maximum de l'année qui aura été demandée pendant un quart d'heure au moins ou, encore, la puissance moyenne correspondant au quart d'heure le plus chargé; sous cette dernière forme, la mesure peut se faire aisément au moyen d'un compteur disposé à cet effet, ainsi qu'on le verra par la suite; c'est ce que l'on désigne souvent sous le nom de puissance « quart-horaire ».

Le terme dit « proportionnel », qui doit être multiplié, pour la facturation, par le nombre de kilowattheures consommés, est, comme il a été vu, variable avec le coût du charbon et le taux des salaires; mais il va de soi que ces variations doivent être susceptibles d'être aisément contrôlées. Ce contrôle serait impossible si l'on songeait à introduire dans la formule le ou les prix des combustibles utilisés par le producteur; en effet, les marchés faits **par celui-ci n'ont**, en général, aucun caractère public, ils sont essentiellement d'ordre privé et peuvent même varier avec la nature des installations de production; dès lors, on a été conduit à introduire dans le terme proportionnel, non pas le prix du charbon réellement utilisé à la production, mais le prix d'un étalon, d'un type bien défini de charbon, qui est un des points de repère des grandes adjudications. Les fluctuations des prix des charbons consommés, sont, ainsi, supposées se produire **parallèlement avec celles de l'étalon choisi**. On pourrait même dire qu'un « étalon » autre que le charbon pourrait être admis et intervenir par son prix dans les formules de tarification si cette condition de parallélisme était réalisée (1).

(1) En Belgique, cet étalon est, presque toujours, le type « C » des spécifications de la Société Nationale des Chemins de fer belges. Ce type « C » est un charbon demi-gras sous forme de « fines », contenant 12 % de cendres, 5 % d'eau et 14 à 16,5 % de matières volatiles; son prix est publié officiellement tous les trois mois.

En France, la tarification était également basée, avant 1918, sur le prix

Quant au salaire horaire moyen ou journalier moyen qui intervient aussi dans la formule de tarification, sa détermination peut se faire aisément par la supputation des salaires réellement payés pour la production de l'énergie électrique ou encore des salaires régionaux.

En général, on simplifie autant que possible les « fonctions » du prix du charbon étalon et du salaire moyen et les termes ci-dessus, fonct. (S) et fonct. (P), se présentent souvent comme suit — (surtout en Belgique) :

$$b (P + S)$$

De sorte que la formule de tarification se trouve être ainsi, par kilowattheure :

$$\frac{A}{n} + a + b \cdot (P + S)$$

généralement exprimée en centimes.

Cette formule est générale et on en a compris le caractère logique; on verra, par la suite, comment elle peut se simplifier dans certains cas. Il est clair que le bénéfice industriel, soit le rendement que doivent donner les capitaux immobilisés dans les installations de production, de transport et de distribution, dépendra, comme il a été dit, des valeurs de *a* et de *b*.

Quoiqu'il en soit, pour pénétrer plus complètement dans le mécanisme de la tarification, il faut distinguer l'énergie destinée à l'éclairage et la petite force motrice et l'énergie utilisée pour la moyenne et la grosse force motrice.

CHAPITRE IV.

Eclairage et petite Force motrice.

L'énergie destinée à ces usages est fournie directement à basse tension — (110, 220 volts, 2 × 110 ou 2 × 220 volts en courant continu, 110, 130 ou 220 volts entre phases, en alternatif (le plus généralement en triphasé), — la puissance des machines qu'on peut raccorder aux réseaux à basse tension est généralement limi-

d'un charbon type; actuellement, les formules de tarification se réfèrent des prix de base établis d'après les variations d'un « index » économique prises par rapport à sa valeur en 1918. Cet index est fonction du salaire horaire moyen et du coût d'une tonne de charbon établi périodiquement par région, par les soins du Gouvernement.

tée à quelques kilowatts; si cette limite est dépassée, ou bien, il faut passer par le raccordement direct à un point d'arrivée des feeders d'alimentation venant de la source génératrice ou de la sous-station de transformation, ou bien, il faut faire un raccordement à haute tension et, éventuellement, transformer sur place.

En général, la clientèle d'éclairage et de petite force motrice est constituée par un grand nombre d'abonnés, souvent plusieurs dans un même immeuble; elle comporte nombre d'installations de faibles puissances et subséquemment de faibles consommations, parfois même, dans les distributions rurales, deux ou trois lampes, par abonné.

Dans ces conditions, on comprend que la formule de tarification doit, tout en restant logique, être aussi simple et aussi compréhensible que possible pour le public ordinaire, et qu'il ne faudrait pas songer à appliquer, en toute rigueur, la formule générale indiquée ci-dessus. En effet, la détermination de la puissance quart-horaire, exigerait non seulement des appareils de mesure coûteux, mais une comptabilité compliquée, et partant, coûteuse à tenir pour une nombreuse clientèle; d'ailleurs, en principe, pour des motifs d'organisation administrative rationnelle, il faut exclure toute comptabilisation compliquée quand il s'agit de grands nombres de clients. D'ailleurs, la détermination de la puissance par laquelle il faudrait multiplier le terme fixe A pour obtenir la redevance annuelle est inopportune; en effet, le nombre d'heures d'éclairage pour une région donnée est bien connu. Dès lors, pas n'est besoin de connaître la puissance à tenir à la disposition pour l'application de la formule puisque n est déterminé avec une exactitude suffisante, et, ainsi, la formule de tarification comprendra tout d'abord un terme qui peut être considéré comme fixe : $\frac{A}{n}$ par kilowattheure (1); soit ce terme représenté par f .

D'autre part, dans certains pays — c'est notamment le cas pour la Belgique, productrice de charbon — on peut dire avec une approximation suffisante que le charbon — particulièrement le charbon étalon, — est une fonction directe des salaires, soit : $P = \text{fonct. } (S)$, ou encore, on peut considérer que S peut être

(1) Ce terme sera fixe si la monnaie peut être considérée comme stabilisée.

exprimé en fonction de P (qui est déterminé officiellement); ce n'est pas tout à fait exact, mais, compte tenu de l'influence relative du poste « salaires » dans le prix de revient du kilowattheure basse tension, rendu chez l'abonné, on peut se contenter de cette approximation simplificatrice et dire que, en fin de compte, le terme $b (P + S)$ de la formule générale peut être remplacé par $c P$. Dès lors, la formule rationnelle de tarification pour l'éclairage et la petite force motrice devient :

$$f + a + c P$$

ou bien encore, comme f et a sont des constantes : si $f + a = d$:

$$d + c P (1).$$

Le coefficient c et le terme d étant numériquement déterminés, le prix varie donc en fonction d'un index dépendant lui-même des salaires et du prix des charbon (France).

On arrive ainsi à un prix moyen qui pourrait s'appliquer à toute une région, voire même à tout un pays.

Mais cette idée d'unification a été attaquée dans ces derniers temps et il a été préconisé de modifier ce prix de base afin de tenir compte de la capacité d'absorption ou de rendement plus ou moins élevé de la clientèle d'un réseau. On conçoit, en effet, que deux réseaux de distribution puissent être identiques dans deux communes, mais que les consommations totales et annuelles en kilowattheures soient différentes (localité rurale et localité à population industrielle); de même, pour desservir le même nombre d'habitants, on peut être conduit suivant la dissémination des habitations, à faire des réseaux très variables en étendue et, conséquemment, d'un prix très différent d'installation. Ces conditions différentes se traduisent, en fin de compte, par le nombre de kilowattheures absorbés annuellement par mètre courant de voirie canalisée.

On a donc établi, dans certains cas, des coefficients de ce « rendement » du réseau; ces coefficients servant de multiplicateurs aux résultats donnés par la formule de tarification adoptée, on obtient

(1) On a ajouté, en Belgique, un terme dépendant du coût des transports, mais il est très peu important en valeur absolue.
La formule moyenne admise par le Gouvernement en Belgique, pour les distributions régionales, est actuellement : $150 + 0,95 P + 0,75 r$, en centimes, où r est un terme qui dépend du prix des transports par fer.

ainsi le prix du kilowattheure à appliquer dans chaque cas (1), dans les distributions régionales.

Dans les villes, sans que, en principe, le problème de la tarification se pose autrement, on rencontre cependant une difficulté; en effet, on n'aura pas perdu de vue que si le terme fixe A de la formule générale et le nombre d'heures d'utilisation annuelle ne sont plus apparus dans ce qui précède, c'est que, on avait admis à priori, que le nombre d'heures d'utilisation était pratiquement constant; c'est vrai aussi pour beaucoup de consommations dans les villes, mais il est de nombreuses exceptions. Ainsi, par exemple, les salles de fêtes occupées irrégulièrement, les édifices publics éclairés dans leur ensemble d'une manière exceptionnelle, les palais, etc., sont pourvus d'installations d'éclairage très importantes, mais dont une fraction très réduite est utilisée un nombre d'heures normal — (parties habitées régulièrement) — et, malgré cela, les canalisations électriques qui les desservent doivent être prévues pour la charge pleine, de même, la Centrale de production doit toujours et d'une manière permanente, tenir la puissance nécessaire au grand éclairage, prête à fonctionner. Pour rencontrer cette difficulté sans devoir recourir à une tarification compliquée, on a, dans nombre de villes, exigé du consommateur une taxe fixe annuelle (garantie de rendement) qui est fixée soit suivant le nombre des lampes ou encore la puissance que l'installation peut requérir, parfois aussi suivant les surfaces à éclairer (Hollande); ou bien on exige, suivant la nature de l'installation, une garantie minimum (Etats-Unis, Belgique, France). Enfin, dans le même ordre d'idées, on admet un tarif dégressif (Allemagne), c'est-à-dire que la consommation annuelle est répartie en tranches, et le prix unitaire appliqué aux tranches qui se succèdent, décroît progressivement.

(1) En Belgique, on a (1928) préconisé les coefficients repris dans le tableau ci-dessous :

KWHS absorbés par an et par mètre courant de voirie canalisée	Coefficients	Prix maximum du K W H	OBSERVATIONS
0 à 1	1,13	3 5 centimes	Avec les valeurs de P et de r de 1928
5 à 7	1,07	289 »	
11 à 14	1 —	270 »	
19 à 24	0 93	251 »	
42 à 50	0,85	330 »	

Parfois, on combine le système de minimum de consommation garantie avec le système dégressif, car les consommateurs sont plus ou moins hostiles à la taxe fixe.

En réalité, ce sont là des palliatifs qui atténuent ce que la formule de tarification simplifiée, peut avoir d'irrationnel et qui tendent à en corriger les résultats sans la compliquer. Par contre, il est des cas où la simplification peut être poussée à l'extrême sans grave inconvénient. Ainsi, quand on a affaire à une clientèle homogène, peu étendue et dont les besoins sont limités, on peut admettre un tarif forfaitaire qui fixe une somme déterminée annuelle ou mensuelle par lampe ou par kilowatt; ces tarifs forfaitaires qu'on rencontre encore dans les petites distributions desservies par des sources d'énergie hydrauliques locales constituent des exceptions; ils ont disparu — et pour cause — dans les distributions régionales.

Enfin, il faut encore mentionner que là, où l'énergie électrique est produite par des installations hydroélectriques, il ne peut plus être question du terme P de la formule générale, puisque le combustible n'intervient plus dans le prix de revient; le terme $b S$ reste alors seul en cause, soit sous cette forme, soit sous la forme d'un coefficient que multiplie un index économique (France); dans ce cas, le terme important est $\frac{A}{n}$. Pour les motifs identiques à ceux qui ont été exposés ci-dessus, la tarification évite de dégrader le terme n et fixe $\frac{A}{n}$ à une valeur constante; mais, pour toutes les fournitures ou parfois pour celles d'une certaine importance, une taxe fixe est demandée ou encore la garantie d'un minimum de consommation doit être assurée; comme il a été vu ci-dessus, on peut indirectement arriver au même résultat, en à peu près, en diminuant le prix unitaire au fur et à mesure que la consommation annuelle s'accroît dans une installation déterminée (Espagne : tarif dégressif par tranches successives).

CHAPITRE V.

Tarifs propres à multiplier les applications de l'Electricité à la vie domestique.

Cependant, dans ces dernières années, on a combiné avec les tarifs de base qui viennent d'être exposés dans leurs principes,

des systèmes de réduction de prix tendant à permettre de multiplier les applications de l'électricité et du même coup à augmenter ainsi le débit des centres producteurs.

Il existe, en effet, des appareils électriques pour les usages domestiques, voire même pour le chauffage, dont l'usage ne pouvait se généraliser à cause du coût de l'énergie électrique; l'application, en grand, de ces appareils qui simplifient dans une large mesure les travaux domestiques, exigeait l'abaissement du prix de l'énergie électrique. L'étude des diagrammes de la production journalière des centres de production a permis, dans nombre de cas, de résoudre ce problème. Si on observe, en effet, la courbe représentative des puissances successives demandées depuis zéro jusqu'à vingt-quatre heures, par un réseau de distribution urbain, où l'éclairage est important, on constate que cette courbe présente de grandes variations; ainsi, dans l'exemple représenté fig 1,

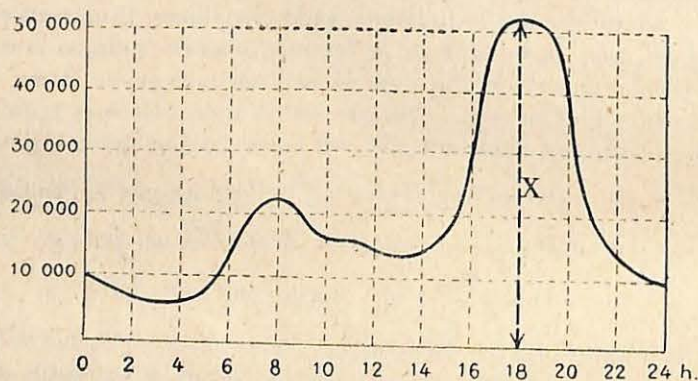


FIG. 1.

la puissance demandée pendant les heures de fortes charges d'éclairage est plus de trois fois la valeur moyenne des puissances requises pendant les autres heures. Il en résulte que le centre de production doit être capable d'une puissance utile représentée par X et, cette puissance, demandée pendant 3 ou 4 heures seulement, n'est utilisée que partiellement en dehors de celles-ci. En d'autres termes, des immobilisations en machines doivent être faites pour la puissance maximum demandée — (hiver) — et l'utilisation en est relativement faible; ce qui veut dire que, en tout état de cause, dans une telle centrale, le prix de revient est particulière-

ment grevé par ce qui a été défini ci-dessus comme frais « fixes » de production. Sans doute, les tarifs sont construits en conséquence, mais on peut remarquer que, puisque les machines existent et que les frais fixes courent, il peut être intéressant, pendant les heures de faible charge, de pouvoir livrer de l'énergie électrique à un prix inférieur au prix normal; à la rigueur, on pourrait même se borner, pendant ces périodes, à tarifier les frais proportionnels, ce qui procurerait l'avantage indirect de mieux charger les machines génératrices et subséquemment de diminuer leurs consommations et de réduire aussi le prix de revient général. Mais, on peut aussi combiner le tarif de ces périodes avec le tarif normal de manière à réduire ce dernier. On le constate immédiatement, ce système de livraison à tarif réduit pendant les heures de faible charge, oblige à pouvoir enregistrer les quantités d'énergie livrées, d'une part, à tarif normal, d'autre part, à tarif réduit. On verra par la suite, comment c'est réalisable.

Ainsi, dans certains pays — (Suisse, France) — on rencontre des réseaux de distribution — presque toujours urbains, — ou en dehors de quelques heures dites de « pointe », l'énergie électrique est livrée à tarif réduit; par exemple — (France) — si le tarif normal — (heures de pointe) — est représenté par l'unité, le tarif des autres heures du jour est 0,5 et celui des heures de nuit est 0,20. Les applications qui sont faites de ce système de tarification utilisent des compteurs dits « à tarifs multiples », qui sont nécessairement plus coûteux d'installation que les compteurs ordinaires; il faut obligatoirement tenir compte de ce fait dans la supputation des résultats obtenus. Dans le même ordre d'idées, on a aussi employé des compteurs spéciaux pour les usages thermiques avec tarifs réduits; enfin, pour l'énergie de nuit, on a établi des compteurs commandés par un interrupteur horaire qui coupe le courant pendant les heures dites de « jour », mais, cette solution, qui évite le compteur à multiples indications, présente l'inconvénient de priver l'abonné de l'énergie pendant le jour, sauf bien entendu celle qu'il peut obtenir dans des conditions normales pour d'autres usages que ceux de nuit. On peut encore imaginer d'autres systèmes. Dans tous les cas, à l'heure actuelle, le problème qui consiste à favoriser la consommation de l'énergie pendant les heures creuses n'est résolu que dans des cas particuliers et ne paraît pas devoir comporter, en conséquence, de solution générale.

Enfin, on peut faire observer, pour terminer, que si la situation économique générale devenait à nouveau aussi stable qu'en 1914, l'intervention des index caractérisant le prix du charbon et des salaires (P et S) pourrait disparaître et le prix de l'énergie pour l'éclairage et la petite force motrice retrouverait le caractère de fixité qu'il avait jadis (1).

De plus, il semble bien que l'emploi du tarif multiple, basé sur des enregistrements faits au compteur moyennant des dispositifs particuliers, permettant de faire la discrimination des quantités d'énergie consommées à diverses heures, ne se généralisera pas; peut-être, comme il a été proposé, en arrivera-t-on à évaluer forfaitairement la consommation d'énergie pour éclairage et à déterminer ainsi par différence, la quantité d'énergie — (à tarif réduit) — consommée pour les autres usages domestiques, ce qui n'exigerait qu'un seul compteur sans appareillage spécial.

CHAPITRE VI.

Force motrice.

La formule de tarification binaire (ou dite encore binôme) ci-dessus établie, est la plus logique, attendu qu'elle taxe séparément deux choses différentes; elle est aussi la plus équitable puisque le prix unitaire, par le jeu de cette formule, diminue avec l'accroissement du nombre d'heures d'utilisation. C'est aussi la plus répandue. En Belgique, elle se présente généralement sous la forme indiquée ci-dessous, savoir :

A, taxe fixe annuelle (payée par douzième), par unité de puissance tenue à la disposition; ce terme A contenant la partie fixe ayant trait aux lignes et appareils de transmission aux lieux de consommation; toutefois, on disjoint parfois cette dernière pour en faire un poste spécial (2);

$[a + b (P + S)]$ terme proportionnel, à multiplier par le nombre de kilowattheures annuel ou mensuel, dans lequel P et S ont les valeurs indiquées ci-dessus; cet ensemble est généralement exprimé en centimes;

P et S apparaissent respectivement en francs par tonne rendue usine et en francs pour une journée moyenne de huit heures (3).

(1) L'influence des prix du combustible et des salaires étant relativement faible dans le prix de vente de l'énergie pour éclairage.

(2) A est, en général, de l'ordre de 300 à 400 francs.

(3) a et b, sont respectivement de l'ordre de 3 à 6, et 0,0012 à 0,0025.

Cependant, on rencontre parfois (Hollande) une formule plus complexe, dans laquelle intervient en outre, la puissance maximum exigible en kilovoltampères (courants alternatifs) pour l'alimentation, ou encore une somme fixe et constante.

Toutefois, pour les très faibles puissances (« petite force motrice »), de l'ordre de quelques kilowatts, le tarif appliqué est fréquemment celui de l'éclairage multiplié par un coefficient de l'ordre de 0,50 à 0,75 (Belgique, France, Allemagne).

Quant aux faibles puissances (de 25 à 50 kilowatts) — généralement livrées à basse tension — (petits ateliers) on simplifie souvent la tarification en adoptant, soit une formule à terme fixe réduit, soit, comme pour l'éclairage, une formule qui ne contient pas de terme fixe (A), mais, avec garantie de consommation minimum annuelle; parfois aussi on adopte un dégrèvement dont l'importance croît avec l'accroissement de consommation. Ce sont, comme on le voit, des palliatifs employés pour contrebalancer la disparition du terme fixe, qui ne plaît pas à ce genre de clientèle, et corriger ce que la formule dite « monôme » a d'irrationnel.

Enfin, il convient de signaler que, lorsque le nombre d'heures d'utilisation est déterminé et présente un certain caractère de fixité (cas de certains tramways), le terme $\frac{A}{n}$ devenant, à très peu près une constante, la formule se présente comme suit :

$$\left(\frac{A}{n} + a\right) + b \cdot (P + S)$$

ou encore :

$$a' + b (P + S)$$

formule moins exacte, mais qui peut suffire dans certains cas.

On peut aussi ne laisser subsister comme variable dans le deuxième terme que le facteur P, ce qui suppose implicitement que S varie linéairement avec P et ce qui entraîne à substituer à b un autre coefficient c; dès lors, la formule se présente comme suit : un terme fixe A et un terme proportionnel $a + cP$; si on fait entrer le terme a dans l'élément fixe A qui devient dès lors, A', ($A' = [(a \times n) + A]$), la formule comportera un terme

fixe A' par kilowatt de puissance mise à la disposition du consommateur et un terme proportionnel c P par kilowattheure consommé.

D'une manière générale, les charges de nuit des centrales productrices qui alimentent à la fois des services d'éclairage et de force motrice, sont réduites et, il n'est pas rare de voir la moyenne de la puissance génératrice, de 22 heures à 7 heures tomber à la moitié ou au tiers de la moyenne constatée entre 7 heures et 22 heures, aussi bien, des abaissements du tarif sont-ils parfois consentis pour l'énergie consommée exclusivement pendant la nuit; ces abaissements ont pour objectif de stimuler le débit pendant les heures de faibles charges et améliorer ainsi le prix de revient des quantités d'énergie normalement livrées. Dans cette voie, on est allé jusqu'à réduire dans de grandes proportions le terme fixe A, ce qui est logique. Il va sans dire que des dispositions spéciales de comptage doivent être prises pour supputer, sans erreur, l'énergie exclusivement consommée pendant la nuit.

Comme on le conçoit aisément, les conventions entre consommateurs et producteurs d'énergie électrique doivent être conclues pour des durées assez longues; en effet, la production de l'énergie électrique exige l'immobilisation de capitaux importants qu'il faut rémunérer régulièrement et, de toute nécessité, reconstituer dans un temps déterminé.

D'ailleurs, pour que l'on puisse immobiliser des capitaux dans des installations mécaniques et électriques, il est nécessaire que la sécurité leur soit assurée; et il ne peut en être ainsi que moyennant la certitude de consommation garantie pour de longues durées (1). Cependant, les engagements contractuels de longue durée s'ils ont l'avantage, pour le consommateur, de pouvoir obtenir des conditions plus avantageuses de prix unitaire de l'énergie électrique, ont, d'autre part, l'inconvénient de ne pas le faire participer aux progrès qui peuvent être réalisés dans l'abaissement du prix de revient; c'est pourquoi, dans ces dernières années, on a, dans certains cas, établi des systèmes de « ristournes » qui sont fonction directe de l'écart entre le prix de revient et le prix de vente.

Parfois aussi, on a rendu l'importance de cette ristourne fonction des nombres d'heures d'utilisation, ce qui est rationnel.

(1) Les sociétés sont, d'ordinaire, en Belgique, constituées pour une durée de 30 années.

D'une manière générale, la distribution d'énergie électrique pour moyenne et grosse force motrice s'effectue à peu près exclusivement sous forme de courants triphasés; même dans les réseaux où la distribution basse tension se fait en courant continu, surtout quand ils atteignent un certain développement, la source génératrice fondamentale produit l'énergie sous la forme de courants alternatifs presque toujours triphasés. Comme on le sait, le courant absorbé par un récepteur triphasé équilibré, dépend de son facteur de puissance ($W = EI \cdot \sqrt{3} \cos \varphi$); le courant minimum correspond, toutes choses égales, à un facteur de puissance égal à l'unité. Il en résulte que, plus le facteur sera élevé, plus une puissance déterminée (wattée) à fournir par une génératrice, plus le courant qui y correspond sera faible; on a donc le plus grand intérêt, de ce point de vue, à augmenter le facteur de puissance des installations des consommateurs, attendu que la limite de charge d'une génératrice est essentiellement fonction du courant qu'elle porte. De même, la capacité de transport d'une ligne correspondant à un courant déterminé qu'on ne peut pas dépasser, plus le facteur de puissance de la puissance transmise sera grand, et plus la ligne sera bien utilisée et réciproquement. En résumé, on peut dire que, plus le facteur de puissance est faible, plus, toutes choses égales, la capacité spécifique des engins de production et de transmission diminue. Dans ces conditions, il est évident que l'alimentation d'un récepteur exigeant un nombre de kilowatts déterminé, est plus onéreuse si son facteur de puissance est faible, et, il est logique que la tarification en tienne compte; aussi bien, des majorations ont été prévues, dans presque toutes les distributions, lorsque le facteur de puissance de l'installation réceptrice a une valeur inférieure à celle qui, en général, est considérée comme normale. Cette formule est assez logique, attendu que les moteurs asynchrones universellement employés fonctionnent toujours avec un facteur de puissance inférieur à l'unité, facteur qui s'abaisse quand la charge diminue. Mais, s'il est juste qu'un abaissement du facteur de puissance en-dessous de la normale corresponde à une majoration de prix, il est rationnel qu'une augmentation donne un avantage au consommateur; aussi bien, dans beaucoup de réseaux, il est accordé, dans ce dernier cas, des diminutions sur le prix du tarif; en procédant ainsi, on encourage l'installation d'appareils qui améliorent le facteur de puissance (condensateurs, moteurs asynchrones synchronisés, etc...) et sub-

séqueusement, augmentent la capacité spécifique des lignes de distribution et des machines génératrices (1).

La question qui se pose est de savoir quelle est la majoration qu'il convient d'appliquer si le facteur de puissance tombe en-dessous de la valeur normale; tout d'abord, on peut remarquer que cette correction doit atteindre le terme fixe (A), car la capacité spécifique des installations électriques est diminuée et, en second lieu, le terme proportionnel, car, pour une même puissance wattée transmise, les pertes en effet Joule dans les lignes et les machines sont plus grandes. On conçoit que, dans un cas particulier où le récepteur est alimenté par une ligne à son usage exclusif, reliée directement au centre de production, on puisse établir approximativement la grandeur des majorations dont il s'agit; mais, quand il faut le faire pour un ensemble de consommateurs qui se trouvent à des distances différentes du centre et pour lesquels les maxima de charges normales ne se superposent pas, on rencontre des difficultés telles d'établir les bases du problème avec une approximation suffisamment connue, que les résultats doivent être nécessairement sujets à caution. D'autre part, s'il est vrai que, dans certains cas, on peut, d'une manière théoriquement exacte, résoudre le problème, il ne faut pas perdre de vue que les termes et les coefficients A, a , b sont partiellement déterminés par des éléments dépendant de l'appréciation — (taux du renouvellement par exemple) — et que, dès lors, il serait vain de vouloir leur appliquer, pour le facteur de puissance, des corrections théoriquement exactes; on se trouverait ainsi dans le cas de l'opérateur qui, utilisant des instruments exacts à un ou deux « pour cent », prétendrait faire des corrections de l'ordre du millième dans les résultats de ses mesures. Aussi bien, les calculs approximatifs qui ont été faits dans cette voie servent-ils plutôt de guides pour établir des corrections simples et facilement compréhensibles du consommateur.

On sait que l'on peut mesurer l'énergie réactive dans le cas d'un système triphasé équilibré ($E. I. \sqrt{3} \sin \varphi$); d'aucuns ont donc préconisé de faire la mesure de cette énergie par compteur et de lui appliquer une formule de tarification, laquelle, pour la

(1) Le facteur de puissance joue un rôle extrêmement important quand il s'agit de lignes à haute tension destinées à transporter de grandes puissances ou à connecter entre eux des centres de production; dans ces conjonctures, la tarification n'est plus en cause, il s'agit d'un autre problème qui n'entre pas dans le cadre du présent travail.

simplification, donne une certaine valeur équivalente à x « pour cent » du prix de l'énergie active mesurée aux compteurs normaux (1); mais, la conséquence logique d'un tel système est que le tarif de l'énergie active devrait être établi pour un facteur de puissance égal à l'unité — ce qui, pour le motif exposé ci-dessus — n'a pas été fait dans la grande majorité des cas. Mais il faut immédiatement faire observer que, une tarification basée sur la discrimination entre l'énergie active ($\cos \varphi = 1$) et l'énergie réactive aurait le grave inconvénient de ne pas être comprise par la généralité des consommateurs actuels et de les mettre en défiance, alors qu'ils comprennent très bien que, si le facteur de puissance tombe, pour une fourniture déterminée, sous une certaine valeur, il y a matière à indemnité pour le producteur; de plus, on sait que la précision des compteurs d'énergie réactive est loin de pouvoir atteindre celle des compteurs d'énergie ordinaire; il s'en suit que, s'il est possible de s'en servir pour opérer une correction, il est moins indiqué d'en utiliser les résultats pour appliquer une tarification directe.

Il résulte de tout ceci que, dans la majeure partie des pays (Espagne, Etats-Unis, Suisse, Belgique), quand il existe dans les conventions de fourniture, des clauses concernant le facteur de puissance, elles prévoient généralement que, pour chaque centième manquant au facteur de puissance, le prix de l'énergie consommée sera majoré de 1/2 % (2); et, inversement, on accorde parfois que, pour chaque centième en plus, le prix de l'énergie consommée soit diminué dans une certaine proportion. On peut ajouter que certains réseaux fixent, comme limite inférieure, 0,7 pour les fournitures importantes. Enfin, il convient de signaler que l'on a préconisé — et appliqué exceptionnellement — un système qui consiste à adopter un terme fixe (A) pour facteur de puissance égal à l'unité, et, dans la formule de tarification, à affecter ce terme d'un multiplicateur qui est l'inverse du facteur de puissance — ce qui revient (formule hollandaise) — à tarifier la puissance demandée en kilovoltampères. Ce procédé a l'incon-

(1) En France, on a admis que l'énergie réactive devait se payer 30 % de l'énergie active consommée, mais ce système n'est pas exclusif.

(2) Chiffre moyen. — Ainsi, les secteurs de la banlieue parisienne adoptent :

0,3 %	par centième de la valeur du facteur compris entre	0,80 et 0,70;
0,6 %	»	» 0,70 et 0,80;
0,9 %	»	» au-dessous de 0,60.

vénient de baser un paiement important sur la détermination, toujours délicate, du facteur de puissance moyen. Enfin, on a aussi préconisé des formules à coefficients variables pour tenir compte des diverses valeurs du facteur de puissance; il faut les éviter, car le consommateur est, en général, hostile aux coefficients variable, dont l'origine plus ou moins empirique, ne lui est pas connue.

Quant aux termes P et S, qui, dans la formulation, constituent des éléments variables avec la situation économique, on ne peut envisager leur disparition, même dans le cas d'une stabilisation économique et monétaire absolue, car l'expérience a montré que, même dans cette circonstance, les valeurs P et S subissent des fluctuations dont il faut tenir compte.

CHAPITRE VII.

Tarifications spéciales.

Dans ces vingt dernières années, on a vu apparaître et se développer les interconnexions — (généralement à haute tension) — entre les centres importants de production d'une même région, puis, entre des centres de production de régions et même de pays différents. C'est dans les bassins industriels d'Angleterre et d'Allemagne et de Belgique, que ces réseaux dits « d'interconnexion » sont apparus d'abord; à l'heure actuelle, il en existe un assez grand nombre dans tous les pays industriels occidentaux.

Les idées fondamentales qui sont à la base de l'établissement de ces interconnexions sont toujours les mêmes: secours en cas d'arrêt accidentel, mise en commun des « réserves » — et, subséquemment diminution de leur importance — arrêt de ceux des centres de production qui se trouveraient insuffisamment chargés pendant certaines périodes et passage de leurs charges aux centres les plus convenables pour produire à leur place pendant ces périodes — (dimanches, jour fériés, parfois la nuit), — et, fonctionnement normal des machines les plus économiques.

A ces conditions spéciales dans lesquelles se présente ainsi la production, correspondent des systèmes de tarification particuliers (1); mais, comme il va de soi, on retrouve, dans ces pro-

(1) Voir notamment, à ce propos, les travaux de M. F. COURTOY. (Bulletin « A. I. M. », mai-juin 1921, pages 132 et suiv.).

cedés de tarification, tous les éléments fondamentaux dont la présence dans les formules de tarification a été justifiée ci-dessus.

Ces interconnexions ont aussi permis de résoudre un problème intéressant; la réduction des installations des centrales alimentant des réseaux qui donnent une « pointe » importante de consommation journalière, par, ce qu'on a appelé la « compensation ». Il est utile de rappeler ici, en quoi cette compensation consiste :

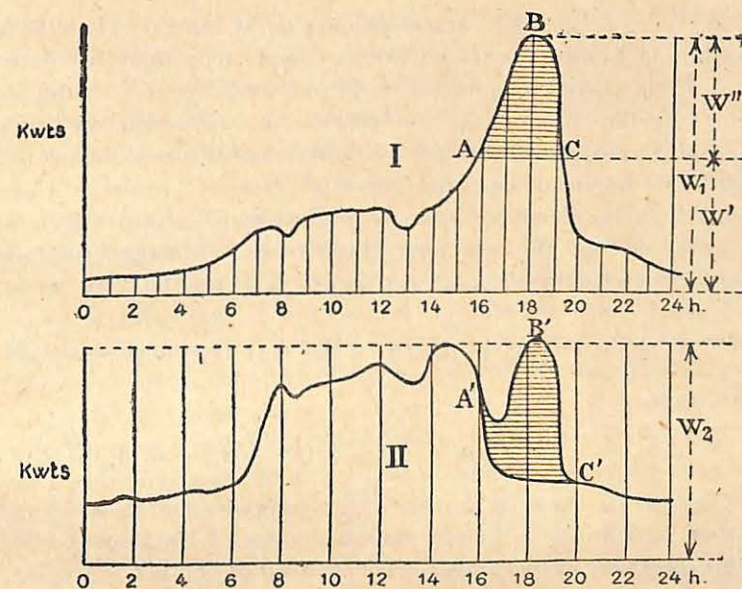


FIG. 2.

Soit, en effet, en I et II (fig. 2) les diagrammes journaliers de deux centres de production connectés; il est clair que, isolé, le centre n° 1 devra disposer d'une puissance utile représentée par W_1 ; tandis que, interconnecté avec II, sans que la puissance utile nécessaire de ce dernier, W_2 , change, celui-ci pourra fournir à I l'énergie de « pointe » représentée en ABC et A'B'C'; dans ce cas, le diagramme de I se limitera à la ligne AC (alimentation de Berlin). On conçoit que, dans ces cas de fournitures d'énergie électrique de centre à centre, les formules de tarification ne peuvent être les mêmes que celles qui ont été exposées ci-dessus et qui visent exclusivement les cas de fournitures de producteurs à consommateurs.

Ainsi, on peut dire que, si la centrale I — dans l'exemple qui vient d'être exposé — est dispensée d'installer ou éventuellement de renouveler la puissance W'' (de pointe) elle réalisera une économie annuelle intéressante qui se chiffrera par $W'' \times A_1$; d'autre part, l'énergie lui sera fournie par II, suivant ABC à raison de :

$$W'' A_2 + N [a_2 + b_2 (P_2 + S_2)]$$

si A_2 , a_2 et b_2 sont les caractéristiques de la centrale II et N le nombre de kilowattheures en cause; compte tenu dans A_2 , de ce que, d'une part, l'installation de la puissance W_2 doit exister en tout état de cause — (ce qui permet une réduction du terme normal A) et que, d'autre part, il faut construire et exploiter une ligne de connexion entre les centres en cause.

Si les autres caractéristiques de production de la centrale I sont a_1 et b_1 , on peut dire que pour le centre I, le bénéfice brut final laissé par la combinaison, et par an est de (1) :

$$[W'' \cdot A_1 + [a_1 + b_1 (P_1 + S_1)] \cdot N] - [W'' \cdot A_2 + [a_2 + b_2 (P_2 + S_2)] \cdot N]$$

ou encore :

$$W'' \cdot (A_1 - A_2) + N [(a_1 - a_2) + b_1 (P_1 + S_1) - b_2 (P_2 + S_2)]$$

Ceci est un exemple de tarification spéciale. On rencontre ces cas de fourniture de pointe dans les centrales thermiques interconnectées avec des centrales hydro-électriques (France, Pyrénées).

Les tarifs de fournitures dites « de secours » peuvent constituer un autre exemple; dans le cas où une centrale assure la « réserve » d'une autre, elle doit maintenir constamment une puissance de « secours » prête à intervenir; dès lors, le terme fixe A doit être compté en tout ou partie; mais, d'autre part, maintenir prête à fonctionner une certaine puissance, nécessite, dans le cas de centrales thermique au charbon, de disposer toujours de sources en état de produire, sans délai, la vapeur nécessaire, ce qui entraîne des frais supplémentaires fixes venant majorer le terme A normal.

Enfin, si une centrale doit, de toute nécessité, comme c'est le cas pour les centrales régionales, fonctionner pendant les jours fériés et, si les machines productrices sont insuffisamment char-

(1) Sous réserve des pertes de transmission.

gées, il lui sera possible d'alimenter pendant ces jours-là, certains consommateurs en utilisant un tarif particulier portant réduction sur la terme fixe A , ainsi que sur le terme a .

CHAPITRE VIII.

Détermination des éléments des formules de tarification.

Il a été indiqué précédemment, comment sont déterminés les termes P (charbon) et S (salaires) contenus dans les formules de tarification; ces termes interviennent directement dans ces formules (Belgique) ou bien ils entrent dans le calcul d'un « index économique » qui apparaît dans la tarification (France).

Quant à la puissance mise à la disposition du consommateur : dans certaines réseaux (Hollande, Amérique), elle est estimée en kilovoltampères (1). Bien qu'on ait construit des compteurs pour énergie apparente (kilovoltampèreheures) la mesure s'effectue assez rarement par ce procédé; parfois, on détermine cette puissance en supputant la puissance totale des appareils installés — ce qui ne correspond presque jamais à la puissance réellement utilisée, même maximum. Mais, le procédé le plus exact consiste à mesurer la puissance moyenne maximum qui s'est maintenue antérieurement pendant une fraction d'heure; la mesure de cette puissance maximum moyenne se fait au moyen du compteur normal, lequel est pourvu d'une aiguille folle mue sur un cadran par un levier mis en mouvement par le système propulsif du compteur; l'action de ce levier se produit pendant un temps qu'on peut régler, une fois ce temps écoulé, le levier d'entraînement revient automatiquement à zéro tandis que l'aiguille reste en place. Si, au cours de la même période de temps suivante, le maximum moyen est plus petit que le précédent, le levier d'entraînement n'atteint pas l'aiguille; s'il est, au contraire, plus grand, ce levier avance encore l'aiguille davantage, soit d'une valeur correspondant à la différence entre la quantité d'énergie ayant amené le nouveau maximum et celle ayant amené le précédent. La position extrême de l'aiguille donne, pour l'année entière, le maximum moyen de la puissance pendant la période de temps admise; cette période est, généralement, de l'ordre d'un quart d'heure et la puissance ainsi déterminée, s'appelle « puis-

(1) Ce qui tient implicitement compte du facteur de puissance.

sance quart-horaire ». Après lecture du maximum, — par exemple, tous les mois, — l'aiguille peut être ramenée, à la main, à zéro. Les périodes d'enregistrement se succèdent à des intervalles de quelques secondes. On notera que, ces compteurs dit « à indicateur de maximum », donnent directement la moyenne de la puissance pendant le temps fixé.

Quant au nombre de kilowattheures, il est enregistré par les compteurs ordinaires. Il a été exposé précédemment que le prix du kilowattheure pour la petite force motrice est généralement une fraction du prix du kilowattheure pour l'éclairage; parfois, pour se dispenser d'utiliser deux compteurs (1), on utilise le compteur dit « à double prix »; c'est, en réalité, un compteur ordinaire, mais dont la bobine à gros fil (courant) est divisée en deux parties qui sont dans le rapport exact du prix pour l'éclairage, et le raccordement est fait de telle sorte, que le courant éclairage parcourt toute la bobine et celui de la force motrice une partie de celle-ci; ce qui veut dire que le compteur n'enregistrera qu'une partie, correspondante à cette fraction, de l'énergie consommée pour la force motrice. Le prix unitaire (éclairage) étant appliqué à toute la consommation enregistrée par le compteur, le résultat voulu est atteint. L'inconvénient (statistiques) est que cette supputation de l'énergie consommée ne donne pas la séparation de la partie qui concerne l'éclairage et de celle qui concerne la force motrice (2).

On a signalé ci-dessus, l'intérêt qui s'attache à l'adoption de tarifs réduits, en dehors des heures « de pointe » dans les distributions urbaines (Strasbourg, Neufchâtel); cela nécessite un système spécial d'enregistrement de l'énergie électrique, enregistrement qui se fait par des compteurs dits « à double » ou « à triple tarif ». En principe, ces compteurs sont construits comme les autres, sauf qu'il sont pourvus de deux ou trois minuterie. Ainsi, par exemple, dans le compteur à double tarif, on trouve deux systèmes de rouleaux (minuterie) dont les axes horizontaux portent du même côté, une roue dentée; entre les deux rouleaux se place un axe portant d'un côté une roue dentée qui engrène avec la vis sans fin du petit arbre moteur du compteur, et de l'autre un

(1) Et éviter ainsi les frais de location de deux appareils.

(2) Dans les pays où la législation prévoit l'utilisation des unités électriques, comme base de paiement, ce compteur peut être difficile à appliquer.

pignon qui peut engrèner, soit avec la roue dentée de la minuterie supérieure, soit avec celle de la minuterie inférieure; pour ce faire, l'axe a un certain jeu dans son palier du côté de la roue dentée et, de l'autre côté (pignon) il est porté par un petit levier formant armature d'un électro-aimant qui est placé latéralement. Lorsque cet électro-aimant n'est pas excité, ce levier retombe et le pignon engrène avec la roue dentée de la minuterie inférieure; quand l'électro est excité, le levier est attiré vers le haut et le pignon engrène avec la roue dentée de la minuterie supérieure.

L'énergie enregistrée le sera donc, sur l'une ou l'autre minuterie, selon que le courant passe ou non dans l'électro; on peut commander ce courant soit par un interrupteur à main, soit par une horloge « de contact ».

Dans le premier cas, le circuit de l'électro est branché sur la canalisation de l'éclairage et, un interrupteur unique à deux directions, commande le circuit récepteur d'éclairage et celui de force motrice (ou d'appareils de chauffage ou d'usage domestique), de sorte que, quand le circuit éclairage est sous tension, l'autre circuit est coupé et inversement; par ce moyen, on est bien sûr (sous réserve de fraude), que, pendant les heures d'éclairage, l'énergie n'est utilisée que dans cet objectif et qu'elle est enregistrée sur la minuterie qui convient, de même pour l'énergie destinée aux autres usages.

On peut aussi utiliser l'horloge de contact; elle est constituée en principe par un cadran portant indication des heures (0 à 24) entraîné par friction par l'axe principal de l'horloge qui fait un tour en 24 heures; l'axe de ce cadran porte aussi les leviers de commandes des contacts, leviers qu'on peut placer à l'heure indiquée pour établir ou couper le courant dans les électros des compteurs. La mise au point se fait en faisant coïncider une aiguille fixe avec le chiffre du cadran indiquant l'heure qu'il est. On remarquera qu'une seule horloge de contact peut commander plusieurs compteurs, mais cela nécessite le placement d'une canalisation pour les électros. On peut noter, en passant, que les horloges de contact permettent de réaliser diverses combinaisons de tarifs, indépendamment de ce qui vient d'être dit ci-dessus, ainsi, par exemple, on peut les utiliser pour « bloquer » pendant certaines heures (pointes) la consommation des appareils moteurs, de chauffage, etc.; l'horloge fait manoeuvrer par relai un interrupteur et le

bloque ensuite dans sa position jusqu'à la fin de la durée de la pointe.

On peut remarquer également qu'on a aussi préconisé, pour réaliser, avec un seul compteur normal, la tarification multiple, de suspendre périodiquement, pendant les heures de fonctionnement à tarif réduit, l'action des bobines de tension; ce résultat peut être obtenu par l'action d'un relais commandé par une horloge; il est clair que si, pendant la nuit, par exemple, l'action des bobines de tension du compteur est suspendue une minute sur deux, c'est exactement comme si on consommait à « demi tarif ».

En ce qui concerne les corrections pour le facteur de puissance, on peut déterminer ce dernier par une mesure au moyen de deux wattmètres (ou encore deux compteurs monophasés) pour la charge pleine ou la charge moyenne d'une installation réceptrice donnée; si W_1 et W_2 sont respectivement les lectures faites aux deux appareils, on sait que :

$$\tan \varphi = \frac{W_2 - W_1}{W_2 + W_1} \sqrt{3} = \frac{1 - \frac{W_1}{W_2}}{1 + \frac{W_1}{W_2}} \sqrt{3}$$

d'où on déduit la valeur de $\cos \varphi$ (1). Dans certains pays — (Amérique, Hollande) — une vérification de l'espèce est prévue pour les puissances importantes.

Mais on peut aussi faire une mesure directe de l'énergie réactive ($E \cdot I \sin \varphi$ ou encore $E \cdot I \cdot \sqrt{3} \sin \varphi$) par un compteur ordinaire construit à cet effet. Un compteur de ce genre qui enregistre l'énergie déwattée ou réactive (kilovoltampèreheures $\times \sin \varphi$) est construit comme un compteur ordinaire, sauf que le champ magnétique de tension est déphasé de 180 degrés sur la tension. Si on appelle W l'énergie wattée mesurée et R l'énergie réactive mesurée pendant le même temps, on peut dire que :

$$\cos \varphi = \frac{W}{\sqrt{W^2 + R^2}}$$

attendu que, si le facteur de puissance et la charge sont constants ainsi que la tension, on a pour une durée de t secondes :

$$W = t \times E \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi$$

et $R = t \times E \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \sin \varphi$.

(1) Tensions et courants sinusoïdaux.

Si la charge n'est pas constante, le facteur de puissance se modifiant aussi, la valeur du $\cos \varphi$ calculée comme ci-dessus n'est plus qu'une approximation (1).

(1) En effet, soit pour du monophasé :

$$e = E \sin \omega t \quad i = I \sin (\omega t - \varphi)$$

$$\text{on a : } W = \int_0^t E \cdot I \cdot \sin \omega t \cdot \sin (\omega t - \varphi) dt, \text{ et.}$$

$$R = \int_0^t E \cdot I \cdot \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \sin (\omega t - \varphi) dt$$

il est clair que si I et φ varient suivant une loi indéterminée, il est impossible de formuler un résultat qui donne une valeur de $\cos \varphi$.