

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 54 (1928)

Heft: 4

Artikel: Les tendances actuelles dans la construction des moteurs de traction

Autor: Choisy, E.G.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-41849>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

BULLETIN TECHNIQUE

Réd. : D^r H. DEMIERRE, ing.

DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ORGANE DE PUBLICATION DE LA COMMISSION CENTRALE POUR LA NAVIGATION DU RHIN
 ORGANE DE L'ASSOCIATION SUISSE D'HYGIÈNE ET DE TECHNIQUE URBAINES
 ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : *Les tendances actuelles dans la construction des moteurs de traction*, par E.-G. CHOISY, ingénieur E. I. L. (suite). — *L'aménagement hydro-électrique de Conowingo*. — *La crise dans l'architecture*. — *Production annuelle d'énergie des centrales suisses de plus de 1000 kW*. — *2^e Exposition du Chauffage Industriel*. — SOCIÉTÉS : *Société suisse des Ingénieurs et des Architectes*. — CARNET DES CONCOURS. — *Service de placement*.

Les tendances actuelles dans la construction des moteurs de traction

par E. G. CHOISY, ingénieur E. I. L.

(Suite¹.)

III. — Amélioration du rendement et du facteur de puissance.

Rendement.

Tous les moteurs modernes sont beaucoup plus poussés que ceux construits auparavant, c'est-à-dire qu'à volume égal des matériaux actifs, un moteur fournit à l'heure actuelle une puissance plus élevée que précédemment. Cette augmentation de puissance va de pair avec un accroissement des pertes ; pour les maintenir cependant dans des limites acceptables on peut envisager divers procédés :

Pertes mécaniques. L'emploi de plus en plus généralisé des roulements à billes et à rouleaux a supprimé presque complètement les pertes par frottement de l'arbre dans les paliers ; mais la perte mécanique la plus importante des moteurs de traction, et spécialement des moteurs rapides, est due au frottement des charbons sur le collecteur ; pour un moteur donné, l'importance de ce frottement dépend de la pression exercée sur les charbons et de leur coefficient de frottement. Or, en traction, ces deux valeurs sont élevées, la première pour des raisons mécaniques (nécessité d'empêcher les chocs de déplacer le charbon) et la seconde pour des raisons électriques (la bonne commutation des moteurs très chargés et spécialement des moteurs monophasés exige des charbons électrographitiques très durs) ; l'état actuel de la technique ne permet malheureusement pas d'assurer simultanément aux charbons une résistance électrique élevée et un coefficient de frottement faible.

Pertes dans le fer. Les pertes par hystérésis et courants de Foucault sont toujours relativement élevées dans les moteurs modernes et l'emploi de tôles fortement alliées ne permet pas de les réduire beaucoup, par suite de la dureté de ces tôles dont le poinçonnage donne lieu à des bavures, créant ainsi des court-circuits entre tôles voi-

sines malgré leur isolation de papier ou de vernis. D'autre part, la perméabilité magnétique des tôles diminue lorsque la proportion des métaux autres que le fer augmente, ce qui est un inconvénient sensible pour les moteurs de traction dont la place disponible pour les bobines d'excitation est toujours faible.

Pertes dans le cuivre. Si, pour les pertes dans le fer, on ne peut guère réduire leur importance relative, il n'en est pas de même des pertes dans le cuivre.

Un conducteur placé dans une rainure de rotor et parcouru par un courant constant a une résistance constante bien déterminée ; si maintenant nous remplaçons ce courant constant par un courant pulsatoire qui oscille continuellement entre un maximum et un minimum, la résistance *apparente* du conducteur va augmenter, et ce, d'autant plus que le nombre de pulsations du courant par unité de temps croîtra.

Or, les courants qui circulent dans les rotors des machines à collecteur sont toujours pulsatoires puisque le rôle du collecteur est précisément de renverser le sens du courant dans les spires successives du rotor ; le nombre des pulsations par seconde est proportionnel à la vitesse de la machine. Si l'on sait, d'autre part, que les pertes dans le cuivre sont proportionnelles à la résistance *apparente* des conducteurs, on voit que ces pertes sont d'autant plus élevées que la vitesse de rotation est grande.

Un rotor de moteur rapide aura donc des pertes dans le cuivre élevées, pouvant atteindre en marche le double et même plus, de celles à l'arrêt, à intensité constante, bien entendu.

Pour les réduire, la théorie, confirmée par l'expérience, montre que les conducteurs de cuivre contenus dans les rainures du rotor doivent être de hauteur décroissante au fur et à mesure que l'on se rapproche de la périphérie de l'induit et que les rainures doivent être aussi fermées que possible.

La fig. 6 montre, par exemple, les rainures de rotor d'un moteur de traction possédant deux couches de conducteurs dans chaque encoche ; la couche supérieure sera formée de conducteurs larges et de faible hauteur, tandis que la couche inférieure comportera des conducteurs relativement hauts et minces.

¹ Voir *Bulletin technique* du 11 février 1928, page 25.

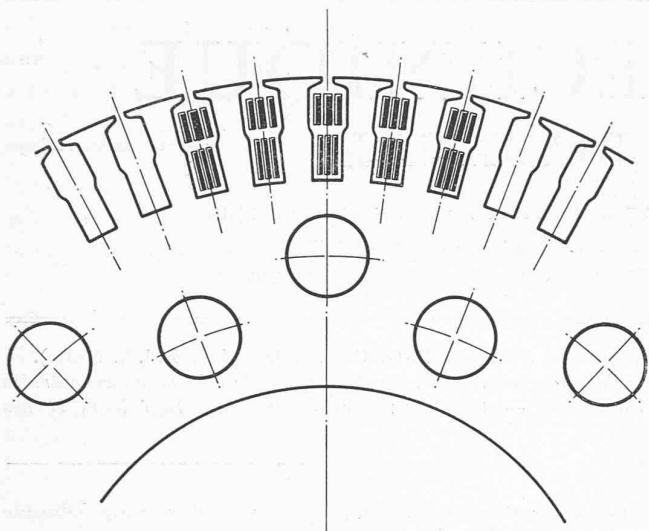


Fig. 6. — Secteur de tôle de rotor montrant les encoches de largeur variable pour deux couches de conducteurs de dimensions différentes.

Cette disposition qui s'est montrée très efficace, procure, en outre, l'avantage d'assurer une section de fer presque constante entre les rainures successives ce qui évite les saturations magnétiques locales exagérées.

Facteur de puissance.

Comme dans toute machine à courant alternatif, le facteur de puissance ($\cos \varphi$) d'un moteur monophasé à collecteur donne, en quelque sorte, la mesure relative de la chute de tension inductive; cette chute doit être aussi faible que possible, car la puissance à fournir par les centrales des chemins de fer est d'autant plus élevée que le facteur de puissance est bas, puisque, pour une puissance à la jante fixée, les pertes dans le système générateur et distributeur d'énergie varient à peu près, en raison inverse du carré de $\cos \varphi$. Or, pour tous les enroulements du moteur, cette chute de tension est directement proportionnelle au nombre de spires en série et au flux qu'elles embrassent.

L'amélioration du facteur de puissance peut être réalisée par deux méthodes différentes :

1. ou bien réduire, dans la mesure du possible, le flux et le nombre de spires de chaque enroulement ;
2. ou bien, sur les trois enroulements d'un moteur monophasé, en disposer deux de façon que leurs forces magnéto-motrices se compensent, ce qui réduit à zéro (aux fuites près) leur chute inductive.

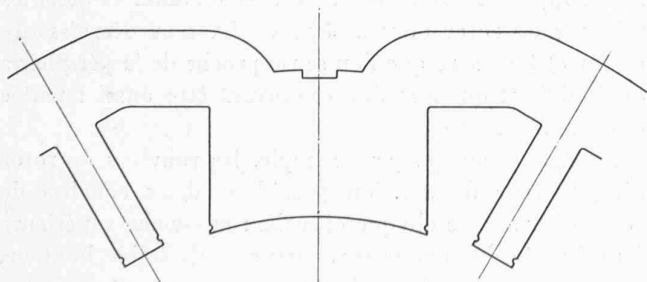


Fig. 7. — Secteur de tôle de stator d'un moteur monophasé non compensé.

La première méthode est appliquée couramment aux moteurs monophasés de faible puissance (jusqu'à 100 ch environ) et procure l'avantage d'une disposition très simple du stator (voir fig. 7) dont les enroulements des pôles principaux et auxiliaires sont exécutés de la même façon que ceux des machines à courant continu. Mais, pour des moteurs plus puissants, cette méthode ne présente guère que des inconvénients car, pour que le facteur de puissance soit acceptable il est nécessaire de dimensionner très largement le moteur et donc d'en augmenter inutilement l'encombrement.

C'est pourquoi la presque totalité des moteurs de traction monophasés modernes sont compensés suivant la seconde méthode, ce qui permet une très bonne utilisation des matériaux actifs, réduit dans une grande mesure la chute inductive du moteur, et procure enfin une réduction sensible des dimensions. La fig. 8 donne la disposition du stator d'un moteur de ce type dans lequel l'enroulement des pôles auxiliaires, au lieu d'être concentré autour de ces pôles, est réparti sur toute la périphérie du stator dans des encoches spéciales des pôles principaux.

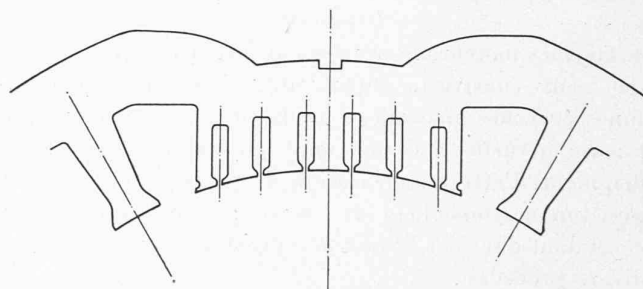


Fig. 8. — Secteur de tôle de stator d'un moteur monophasé compensé, montrant les encoches destinées à recevoir l'enroulement de compensation.

C'est ainsi, par exemple que, grâce à la compensation des moteurs et à une construction judicieuse du transformateur, le facteur de puissance total des locomotives IAAA-AAAI du Lötschberg (y compris les services auxiliaires) est de 0,90 à 30 km/h et atteint 0,97 à 65 km/h¹ avec un poids total de train de 600 tonnes.

IV. — Amélioration de la ventilation.

La puissance des moteurs de traction est, en général, indiquée sur la base de deux régimes différents : la *puissance continue* est celle que peut exercer indéfiniment le moteur sans qu'aucune de ses parties dépasse les limites de température prescrites et la *puissance unihoraire* est celle qui amène le moteur à la limite de température après une heure de fonctionnement. Les valeurs relatives de ces deux puissances varient dans de grandes proportions suivant le système de ventilation du moteur :

Si le moteur est hermétiquement clos, la chaleur produite pendant la première heure de fonctionnement est surtout absorbée par la masse même de la machine ; en

¹ Comparer à ce sujet les données contenues dans le « Bulletin Oerlikon », de novembre 1927, relativement aux locomotives normalisées des C. F. F.

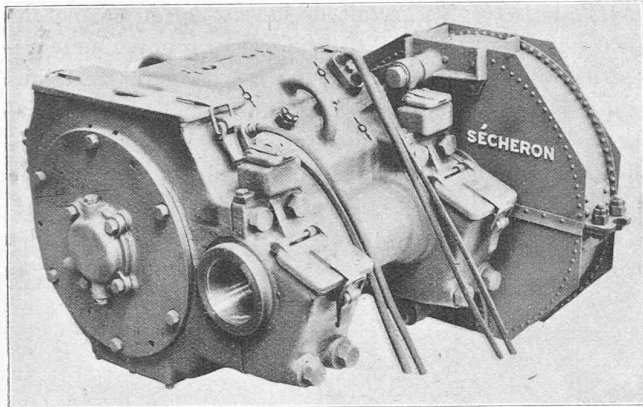


Fig. 9.

Moteur de 80 ch. du chemin de fer à voie étroite *Berne-Worb*.

régime continu, en revanche, la chaleur dégagée doit être transmise à l'air ambiant ce qui ne peut se faire que par la surface de la carcasse ; c'est pourquoi la puissance continue d'un moteur fermé n'est guère que la moitié de sa puissance unihoraire.

Si le moteur est pourvu d'orifices d'entrée et d'échappement d'air et qu'un ventilateur monté sur le rotor crée la pression nécessaire à l'établissement d'un courant d'air à travers les parties actives du moteur (auto-ventilation) la chaleur produite est transmise à l'air frais qui traverse le moteur, et rapidement éliminée. Dans ce cas la puissance continue varie entre 75 % et 80 % de la puissance unihoraire.

Si enfin la ventilation est assurée par un ventilateur placé en dehors du moteur de traction, dans la chambre des machines de la locomotive par exemple (ventilation forcée), ce ventilateur peut être dimensionné plus largement que dans le cas précédent ce qui a pour effet d'augmenter encore la puissance continue; elle peut atteindre alors jusqu'à 90 % de la puissance unihoraire, et même plus.

Les moteurs de traction sont, en général, comparés entre eux sur la base de leur puissance unihoraire, mais il va de soi que c'est, dans la plupart des cas, la puissance continue sur laquelle devra se baser l'exploitant pour fixer l'horaire à assurer et le poids du train à remorquer par la locomotive pendant toute la journée ; on voit donc le grand intérêt qu'il y a à ventiler les moteurs de façon à augmenter leur puissance continue.

Pour les moteurs ordinaires de tramways, l'installation de groupes moteurs ventilateurs ne serait guère compatible avec la simplicité de l'équipement électrique et quant à l'auto-ventilation, elle serait inapplicable car, les tramways circulant en général sur les routes, le moteur serait rapidement plein de poussière en temps sec et d'eau en temps humide. C'est pourquoi les moteurs de tramways à suspension par le nez sont relativement lourds ; ils pèsent en général de 1000 à 1200 kg. pour une puissance unihoraire de 40 à 50 ch. Dans certains cas cependant on peut aller plus loin, et c'est ainsi, par

exemple, que les nouveaux moteurs du chemin de fer *Berne-Worb*¹ ont fourni une puissance de 80 ch aux essais et ne pèsent que 1160 kg. (Voir fig. 9.) Ce résultat favorable est dû, d'une part à la vitesse relativement élevée du moteur et d'autre part à une répartition judicieuse des pertes dont témoignent les résultats de l'essai d'échauffement qui pour toutes les parties actives du moteur a donné lieu à des augmentations de température presque identiques.

Il est indubitable, cependant, que pour lutter contre la concurrence croissante des automobiles, les tramways devront, dans bien des cas, améliorer leur service et l'adapter aux desiderata nouveaux du public, nés des facilités nouvelles offertes par les services routiers et au premier rang desquelles il faut citer l'augmentation de la vitesse commerciale et la disposition plus commode du véhicule. Pour une voiture de tramway, ces deux conditions ne peuvent être réalisées que par l'emploi de moteurs de grande puissance continue et par l'abaissement du plancher, facilitant l'accès des voyageurs.

Ces deux conditions semblent, à première vue, contradictoires car l'augmentation de puissance nécessite un moteur de dimensions relativement grandes tandis que l'abaissement du plancher, au contraire, exige des roues motrices de faible diamètre, laissant peu de place entre la voie et le plancher du véhicule pour l'installation d'un moteur ordinaire de tramway.

¹ Voir A. E. MULLER « La nouvelle automotrice du chemin de fer *Berne-Worb* », *Bulletin technique*, Nos 11, 13 et 14, année 1926.



Fig. 10. — Locomotive de manœuvre des CFF., type *Ee 2/2*.

A = prise d'air.

La disposition dont nous avons parlé plus haut (voir fig. 5) vient heureusement résoudre simultanément ces deux problèmes. La place disponible de chaque côté du moteur permet l'installation de filtres à air et l'auto-ventilation peut donc être réalisée sans risques ; en outre, le faible encombrement du moteur permet l'emploi de petites roues motrices et par conséquent d'un plancher très bas.

Dans certains cas, on peut utiliser l'auto-ventilation sans filtres et sans risques d'introduction de poussière, en reliant l'ouverture d'entrée d'air du moteur à un canal dont la bouche d'aspiration est placée loin du sol ; dans les locomotives de manœuvre, type Ee 2/2 des C. F. F., par exemple, la prise d'air est placée sur la paroi frontale directement au-dessous du toit. (Voir fig. 10.)

Si l'auto-ventilation permet d'élever de façon très simple la puissance continue des moteurs, elle présente cependant un inconvénient : le ventilateur étant calé sur le rotor du moteur de traction, il en résulte que la ventilation est d'autant moins efficace que la vitesse du véhicule est faible et cesse complètement à l'arrêt.

Cette caractéristique de l'auto-ventilation est sensible surtout pour les moteurs des véhicules destinés à remorquer les trains de banlieue, dont le service est caractérisé par des arrêts fréquents et des démarrages énergiques.

Si l'on considère par exemple les trains-tramways de la ligne Genève-Lausanne qui effectuent ce parcours de 60 km. en 100 min., avec 30 démarrages, on peut répartir le temps total du trajet de la façon suivante, eu égard à l'efficacité de la ventilation, dans le cas de moteurs de traction auto-ventilés :

Durée totale	}	des arrêts	20 minutes
		des démarrages	40 minutes
		du fonctionnement à pleine vitesse	40 minutes
Trajet total			100 minutes

Autrement dit, pendant $\frac{1}{5}$ de la durée du trajet la ventilation est inexistante, pendant $\frac{2}{5}$ elle est peu efficace puisque la vitesse du moteur est faible et pendant $\frac{2}{5}$ enfin elle fonctionne normalement. Si l'on tient compte, en outre, du fait que les trains navettes utilisés entre Genève et Nyon par exemple, stationnent assez longtemps (de 15 minutes à plus d'une heure) aux gares extrêmes et que pendant ces arrêts le refroidissement des moteurs est très faible, on se rend compte de l'intérêt que présente la ventilation forcée pour les automotrices effectuant ce trajet.

Les expériences faites à ce sujet par les C. F. F. sont du reste concluantes ; les premières automotrices (type Ce 4/6) livrées à cette administration, pourvues primitivement de moteurs à auto-ventilation, ont été modifiées pour permettre l'emploi de la ventilation forcée, et la seconde série d'automotrices (type Fe 4/4) a été d'emblée pourvue de groupes moteurs-ventilateurs spéciaux.

A l'efficacité plus grande de la ventilation en marche vient s'ajouter la possibilité de laisser les groupes moteurs-ventilateurs en fonctionnement dans les gares terminus ce qui, pendant un arrêt de 20 minutes, suffit à faire baisser de 50 % environ la température des moteurs de traction. La fig. 11 permet de comparer les deux types de moteurs successivement utilisés.

Remarquons, en terminant cette courte revue des principaux systèmes de ventilation, qu'il ne suffit pas

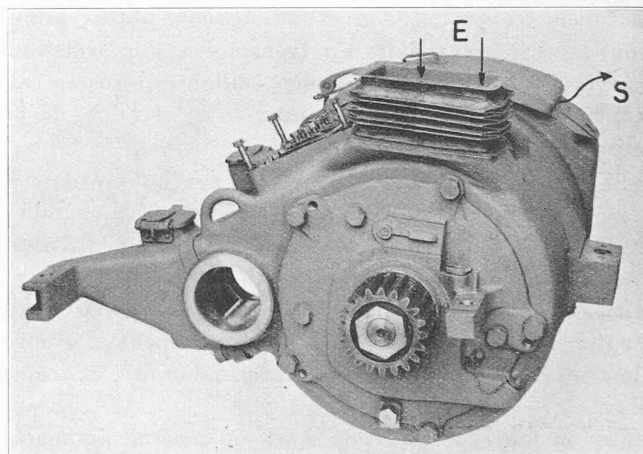
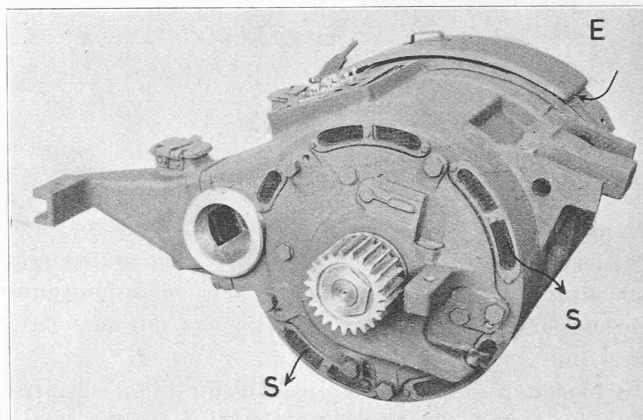


Fig. 11.

En haut : moteur de 200 ch. auto-ventilé ; en bas : moteur de 275 ch. à ventilation forcée. — Les deux moteurs ont le même poids et les mêmes dimensions extérieures.

E = entrée d'air. — S = sortie d'air.

de prévoir une puissance de ventilation élevée pour réaliser un moteur de traction bien utilisé au point de vue thermique, mais qu'il est indispensable de disposer les enroulements de façon qu'ils soient autant que possible léchés par le courant d'air. A ce point de vue le moteur monophasé compensé est nettement supérieur au moteur non compensé ; dans le second, en effet, les bobines des pôles principaux et auxiliaires sont concentrées et possèdent en général un nombre de spires relativement grand ; dans le moteur compensé, en revanche, l'enroulement de compensation est réparti, ce qui facilite l'évacuation de la chaleur, et les enroulements d'exci-

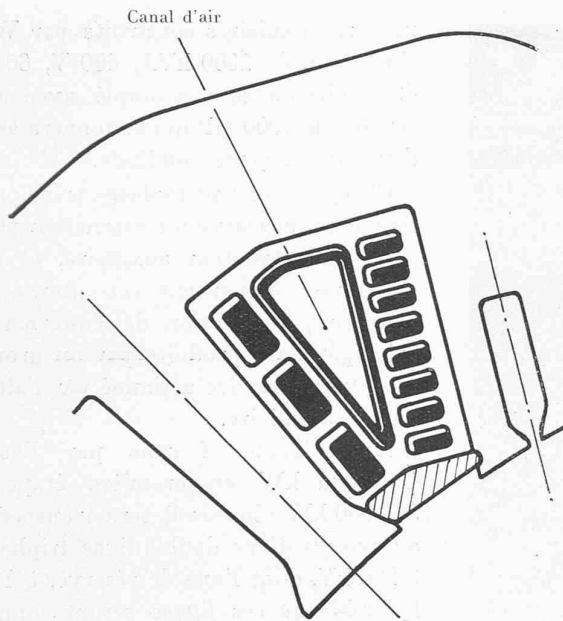


Fig. 12 — Canal en laiton servant au blocage et à la ventilation des bobines.

tation et de commutation sont à faible nombre de spires ; de plus, en utilisant une disposition appropriée, toutes ces spires peuvent être en contact direct avec une paroi d'un canal parcouru par l'air frais (voir fig. 12), canal qui sert également au blocage des bobines.¹

(A suivre.)

L'aménagement hydro-électrique de Conowingo.

Le *Philadelphia Electric Company System*, qui double sa production d'énergie tous les cinq ans, procède, dans la région de Conowingo (Maryland) sur le fleuve Susquehanna, à une gigantesque installation hydro-électrique qui occupera le deuxième rang de grandeur dans la statistique des aménagements fluviaux américains, à savoir :

Niagara Falls	490 900 HP
Conowingo	378 000 HP (594 000 tous aménagements terminés)
Muscle Shoals	260 000 HP
Holtwood	158 000 HP
Keokuk	154 000 HP

Le bassin versant, utile, du Susquehanna est de 7 millions d'hectares.

Barrage. — Un barrage long de 1433 m. créera une retenue d'une superficie de 35 millions de mètres carrés et d'une capacité de 566 millions de mètres cubes. La dénivellation entre le plan d'eau normal à l'amont du barrage et le plan d'eau normal immédiatement à l'aval sera de 27 m. La tranche d'eau utile sera

¹ Cette disposition fait l'objet du brevet suisse N° 104653.

de 71 millions de mètres cubes. Un déversoir, long de 727 m., constitué par 50 vannes Stoney larges de 12,5 m. et hautes de 6,9 m., et par 3 vannes de réglage larges de 12,5 m. et hautes de 3 m., sera capable d'écouler un débit de 22 650 m³/sec, les plus grandes crues constatées jusqu'ici ayant atteint 21 230 m³/sec. (Fig. 1 à 3).

Le bâtiment des machines situé sur la rive ouest aura une longueur de 290 m.

Le volume à excaver est évalué à 300 000 m³. Il sera mis en œuvre 300 000 m³ de béton pour les constructions du barrage et 190 000 m³ pour la construction du bâtiment des machines.

Équipement mécanique. — En première étape 7 énormes (en fin d'aménagement, 11) turbines Francis verticales, à bêche spirale dont les caractéristiques sont :

Puissance maximum : 54 000 HP

Vitesse : 81,8 t/min.

Hauteur de chute normale : 27 m.

Débit maximum : 170 m³/sec.

Diamètre de la conduite alimentant chaque turbine : 8,2 m.

Diamètre extérieur de la bêche spirale : 19 m.

Puissance rapportée à 1 m. de chute (puissance spécifique) : 385 HP. A notre connaissance, ces turbines ne le cèdent qu'à celles de « Cedar Rapids » pour la grandeur de la puissance spécifique des turbines Francis.

Quatre de ces turbines sont construites par l'« Allis Chalmers Mfg Co » et trois par la « I. P. Morris Corporation ». Outre ces turbines il y aura deux turbines auxiliaires de 1900 HP chacune, construites par la « S. Morgan Smith Co ».

Un point remarquable : l'organe d'obturation de chaque conduite d'alimentation, à l'entrée des turbines, est constitué par une énorme vanne-papillon, actionnée par de l'huile sous pression, dont le disque a un diamètre de 7,9 m. L'étanchéité est produite très efficacement par un tube en caoutchouc entourant le périmètre du disque et disposé dans une rainure du logement de la vanne. Une fois la vanne fermée, ce tube est rempli d'eau sous pression et par sa distension, il obture le joint. Ce dispositif permet d'élargir le jeu entre le disque et la

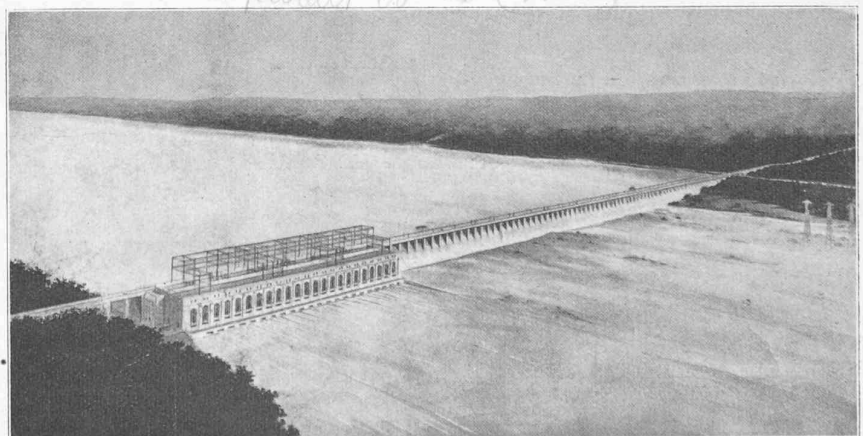


Fig. 1. — Le barrage de Conowingo, d'après un dessin de l'architecte.