Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 18 (1927)
Heft: 12

Artikel: Les stations centrales thermiques américaines
Autor: Marchand, R.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058653

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 22.08.2025

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

Annahme:

$$\frac{\nu_r}{\nu_1} = 1{,}5 \qquad p_0 = s_0 \leqq 0{,}5$$

$$\frac{\Delta x}{x_\infty} = \frac{x_\infty}{x_1} \qquad \frac{x_{2a}}{x_2} = 0{,}5$$

$$\frac{x'_3}{x_{30}} = 0{,}3 \qquad \sigma = 0{,}1$$

$$\left[\frac{dp}{d\frac{P}{p_m}}\right]_{p=0} = 0{,}05 \quad \lambda = \infty$$

$$\varphi_4 - \varphi_6 - \psi = 90^0 \qquad \sigma_s = 0{,}05$$

Gl. (40) $$\frac{x_{45}}{k} = 0{,}05\,\frac{x_1}{s_0} \qquad \varphi_4 - \varphi_6 - \psi = 90^0$$

Gl. (51) $$\frac{n}{n+1}\,\frac{1-\sigma_s}{n+\sigma_s} = \frac{1}{9}\;1\;0{,}5\,\frac{1{,}3}{0{,}9}\;2 = 0{,}16$$

$$n = 4{,}9$$

Gl. (44) $$\Delta E_5 \doteq j\,\dot{I}_1\,\Delta x - \dot{E}_1\,0{,}1\,\frac{0{,}95}{4{,}95}\,\frac{1+j}{2}\,e^{-j\varphi_6}$$

$$= j\,\dot{I}_1\,\Delta x - \dot{E}_1\,0{,}0136\,e^{j(45^0-\varphi_6)}\,.$$

Wie man aus diesem Beispiel sieht, erhält man mit schnellaufenden Kommutatormaschinen so hohe Werte für n, dass die zweite Komponente des Spannungsabfalles in Gl. (44) unbedenklich vernachlässigt werden darf.

Elektrizitätswerksbetrieb. — Exploitation de centrales d'électricité.

Les stations centrales thermiques américaines.

Par *R. Marchand*, ingénieur, Belfort.

621.312.132 (73)

Après avoir indiqué dans ses grandes lignes les besoins d'énergie de l'Amérique du Nord et la puissance disponible dans ses fleuves et ses gisements, l'auteur parle plus particulièrement de l'essor des centrales thermoélectriques au cours des dernières années. Il passe successivement en revue les perfectionnements les plus marquants réalisés dans l'équipement des centrales: puissance croissante des groupes électrogènes, avec amélioration parallèle du rendement thermodynamique, grâce à une augmentation de la température et de la pression. Il illustre son exposé par la description des particularités qui l'ont le plus frappé lors de sa visite d'une douzaine de centrales thermiques des Etats-Unis et du Canada.

Der Autor erwähnt zunächst in grossen Zügen den Energiebedarf und die verfügbare, hydraulische uud thermische Energiemenge in Nordamerika. Er spricht dann im besondern über die Entwicklunq der thermoelektrischen Kraftwerke im Laufe der letzten Jahre. Er betrachtet der Reihe nach die wichtigsten, in der Ausrüstung der Kraftwerke angebrachten Verbesserungen, wie die zunehmende Leistung der Maschinengruppen und die damit verbundene Erhöhung des thermo-dynamischen Wirkungsgrades infolge des Gebrauches höherer Temperaturen und Drücke. Der Autor erläutert seine Darlegung durch Schilderung der Einzelheiten, die ihm bei seiner Besichtigung von etwa 12 Kraftwerken in den Vereinigten Staaten und in Canada als typisch aufgefallen sind.

I. Généralités.

L'Amérique du Nord, pour des raisons très diverses qui dépendent de sa situation même, de la mise en exploitation relativement récente de son sol, de l'essor prodigieux qu'y a pris l'industrie, est un pays où l'énergie électrique a un rôle des

plus important à jouer et où un champ de développement immense s'offre aux usines de production d'électricité.

Les besoins sans cesse croissants de l'industrie sous une poussée des plus puissante, la stimulation entretenue par les producteurs d'énergie électrique, une tarification judicieuse de la consommation, l'excellence des relations entre producteurs et consommateurs, le soin mis à intéresser ceux-ci aux entreprises de ceux-là, font que les débouchés s'ouvrent de plus en plus larges.

D'après une statistique de la „Federal Water Power Commission" les besoins présents de l'industrie et des chemins de fer s'élèveraient à 50 millions de chevaux.

Quant à l'énergie brute, le simple examen des cartes minéralogiques fait ressortir l'immense richesse de ses gisements de combustibles minéraux. L'Ouest est particulièrement riche en houille de bonne — et par endroits de très bonne — qualité; le lignite se trouve en abondance à l'ouest des Montagnes Rocheuses où l'on note de nombreux affleurements encore inexploités. Les grands fleuves et les chutes d'eau dont l'Amérique est abondamment pourvue permettent de disposer d'une puissance excessivement grande que certains estiment à 55 millions de chevaux. Mais cette puissance se trouve répartie d'une manière telle que, tandis que 79 % de la puissance totale nécessaire serait utilisable à l'ouest du Mississipi, 72 % sont disponible à l'est du fleuve.

Ces sources d'énergie ne présentent pas les mêmes facilités d'exploitation: les centrales hydro-électriques sont d'un aménagement bien plus coûteux que les centrales thermo-électriques. Une augmentation considérable des salaires et du prix des matières n'a pas modifié cette situation, car en même temps que les prix augmentent, pour atteindre aujourd'hui une valeur double des prix d'avant-guerre, les équipements des centrales thermo-électriques reçoivent des perfectionnements: aujourd'hui on peut installer par mètre carré de surface de chauffe une puissance à peu près égale au double de celle qu'on installait il y a une quinzaine d'années; et tandis que, dans une centrale thermo-électrique, le kilowatt installé revient à $ 140, le prix du kilowatt, installé dans une centrale hydro-électrique de même puissance, atteint $ 270.

Au cours du voyage que nous avons fait aux Etats-Unis en 1925, nous avons eu l'occasion de visiter un grand nombre d'entreprises des plus intéressantes, dont nous indiquons sur le tableau I les noms et les caractéristiques principales.

Nous nous proposons de donner dans ce qui va suivre quelques indications générales et des particularités d'exécution rencontrées dans des centrales thermo-électriques.

II. Les centrales thermo-électriques.

Rien n'illustre mieux le développement pris par les centrales thermo-électriques que l'essor des usines de la Commonwealth Edison Company, de Chicago. Cette Compagnie qui, jusqu'en 1915, ne possédait que trois grandes centrales totalisant une puissance de 160000 kW, possède aujourd'hui cinq usines dont l'équipement représente une puissance de 960500 kW, et encore regarde-t-on la situation actuelle comme un état transitoire. C'est qu'en effet la région dont Chicago est le centre, l'Illinois et les Etats environnants, sont le siège d'une évolution industrielle extrêmement rapide et l'on estime que dans une vingtaine d'années, pour faire face aux besoins de l'industrie de Chicago et de ses faubourgs industriels, une puissance totale de 6 millions de kilowatts sera nécessaire. Aussi a-t-on déjà prévu l'interconnexion des réseaux les plus importants de la Commonwealth Edison Company, de Chicago, de la Public Service Co, de l'Illinois, de la Northern Indiana Region Co. On trouvera sur la figure 1 un schéma des réseaux des diverses compagnies ci-dessus et dans le tableau II toutes indications sur la puissance actuellement disponible dans les diverses usines génératrices de ces trois entreprises. La Commonwealth Edison Co qui, comme nous venons de le dire, possède cinq centrales, a prévu la construction d'une sixième usine au point 6 du schéma (voir fig. 1), d'une puissance totale de un

Entreprises électriques visitées.

Tableau I.

Nom de la Compagnie	1924				1925				Nombre de centrales		Coefficient de charge
	Charge de pointe kW	Charge max. > 30 min. kW	Energie annuelle kWh	Charge annuelle moyenne kW	Charge de pointe kW	Charge max. > 30 min. kW	Energie annuelle kWh	Charge annuelle moyenne kW	Thermiques	Hydrauliques	
Amérique du Nord											
Niagara Falls Power Co.	—	423 542	2 858 482 674	325 419	—	437 016	3 161 130 010	360 860	—	3	82,7
Commonwealth Edison Co.	717 000	697 000	2 787 090 000	317 000	809 000	792 000	3 091 424 000	353 000	8	—	44,5
Edison United Co., New-York	615 283	593 727	2 056 432 473	234 750	656 312	642 907	2 262 620 409	258 290	7	—	40,2
Pacific Gas & Electric Co.	343 701	—	1 887 113 680	214 835	380 084	—	2 001 474 640	228 479	4	28	60,2
Southern California Edison Co.	330 660	—	1 664 151 512	189 453	395 900	—	1 987 661 654	226 902	—	—	57,3
Philadelphia Electric Co.	334 048	320 000	1 313 297 283	154 588	387 200	361 600	1 521 639 979	173 815	6	—	48,1
Duquesne Light Co.	239 380	227 700	1 093 939 801	124 538	271 200	264 900	1 230 292 597	140 200	5	—	52,8
North American Co. (Mo. Ill. & Iowa)	—	—	—	—	258 623	—	1 200 506 087	137 200	—	—	52,9*)
West Penn System	—	188 490	995 609 902	113 002	—	209 720	1 090 203 588	124 452	12	2	59,4
Ohio Power Co.	—	—	—	—	—	181 600	890 509 813	101 700	11	1	56,0
Niagara Lockport et Ontario Co.	—	156 000	721 454 633	—	—	172 000	872 402 171	99 700	3	2	57,9
Brooklyn Edison Co.	201 600	196 850	684 632 824	77 941	228 000	223 850	783 019 562	89 386	3	—	40,0
Edison Electric and Illuminating Co., Boston	167 929	—	564 459 887	64 260	203 199	—	648 078 358	74 100	3	—	36,6*)
Los Angeles, Bureau of Power and Light	101 162	99 984	473 209 701	48 104	109 860	109 200	479 878 822	54 781	—	5	50,2
Rochester Gas & Elect. Corp.	62.069	56 269	267 223 754	30 353	72 070	62 814	296 678 980	33 867	2	6	54
Seattle Municipal Lt. & Power System	50 800	49 500	152 125 000	17 250	59 600	56 000	218 245 950	24 920	—	—	44,5
Canada.											
Hydro-Electric Power Co. of Ontario	576 403	567 853	3 026 615 156	344 560	635 485	628 985	3 298 347 874	376 409	1	21	59,8*)
Chemins de fers électriques.											
Philadelphia Rapid Transit Co.	—	120 885	371 519 687	42 295	—	116 160	385 707 158	44 030	4	—	37,9
Pennsylvania Railroad Co.	96 300	75 400	244 345 733	29 000	98 000	79 600	266 137 403	30 380	1	—	38,2
Chicago, Milwaukee & St. Paul Railway	—	—	116 974 186	—	—	—	136 993 694	15 500	—	—	—
New-York, New Haven & Hartford RR	—	—	—	—	40 000	31 300	209 542 400	14 914	1	—	47,7*)
New-York Central Railroid Co.	62 500	—	173 938 625	19 850	70 000	60 310	184 775 459	21 100	2	—	35 *)

*) Rapporté à la charge maximum > 30 min.

Tableau II.

Centrales thermiques	Puissance en kW			Remarques
	1926	1930	maximum	
a) Commonwealth Edison Co.				
Fisk Street	230 000	282 000 *)	350 000	*) Reconstruit
Quaary Street	84 000	84 000	84 000	
North-West	165 000	205 000 *)	205 000	*) Reconstruit
Calumet	187 500	210 000	210 000	
Crawford Ave..	235 000	410 000	750 000	
Diverses petites centrales . .	59 000	7 500	—	
Total de la Comm. Edison Co.	960 500	1 198 500	1 599 000	
b) Public Service Co. of Illinois				
Waukegan	60 000	160 000	500 000	
Joliet	50 000	50 000	150 000	
Blue Island	48 500	48 500	48 500	
Diverses petites centrales . .	16 040	16 040	—	
Total de la Public Service Co.	174 540	274 540	698 500	
c) Northern Indiana Region Co.				
East Chicago	28 000	28 000	—	
Michigan City	—	60 000	600 000	
State Line	—	200 000	1 000 000	
Diverses petites centrales . .	1 125	19 825	—	
Total de la North. Ind. Reg. Co.	29 125	307 825	1 600 000	
Total de l'interconnexion:	1 164 165	1 780 865	3 897 500	

million de kilowatts fournie par cinq groupes turboalternateurs de 200 000 kW chacun. Le premier groupe générateur, composé d'une turbine à trois corps et probablement de trois alternateurs, doit être mis en service en 1929. En outre, la

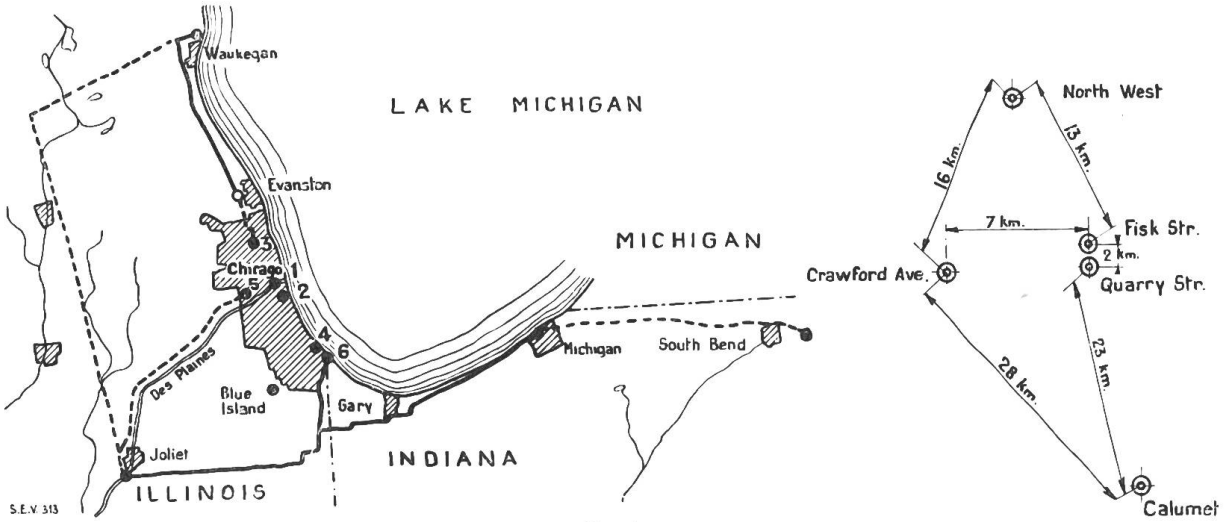


Fig. 1.
Centrales thermiques de la Commonwealth Edison Co., à Chicago.
— — — en construction (en 1925). ——— exécutées.

Commonwealth Edison Co. s'est assuré la possibilité de construire une nouvelle centrale de 750 000 kW auprès de la centrale de la Crawford Avenue, récemment mise en service. La Public Service Co dispose de son côté d'un vaste terrain le long de la rivière „Des Plaines" où elle se propose éventuellement de construire une usine capable de produire un million de kilowatts.

Ce sont là de vastes projets, dont la réalisation est cependant prochaine. Qu'il nous suffise en effet de rappeler qu'une entreprise analogue: la New-York Edison Company, de New-York, a tout récemment commandé à la Cie Brown Boveri, de Baden, un groupe de 160000 kilowatts pour la Centrale de Hell Gate (United Electric Light and Power Co, de New-York). Il n'est peut-être pas sans intérêt de signaler ici les caractéristiques de ce groupe. L'appareil moteur se compose de deux parties: un corps à haute pression entraînant directement un alternateur de 75000 kW à 1800 t/m, un corps à basse pression entraînant à 1200 t/m un alternateur de 85000 kW. La vapeur sera fournie à une température de 325° C et une pression de 19,6 kg/cm², le vide sera de 96,55 %. Les alternateurs fourniront du courant triphasé à 13000 volts, 60 périodes et seront calculés pour un facteur de puissance égal à 0,85.

L'évolution qu'ont subie le matériel électrique et le matériel mécanique a eu pour effet de faire reporter sur l'appareil générateur la responsabilité, l'uniformité et la régularité de la marche, dans des conditions de sécurité absolue, alors qu'on demande à l'appareil moteur une faible consommation spécifique de vapeur. Ce dernier résultat est obtenu en augmentant le rendement du cycle thermo-dynamique, réalisable par divers moyens:

a) augmentation de la température de l'eau d'alimention (réchauffage) par la vapeur soutirée de la turbine principale ou d'une turbine auxiliaire;

b) augmentation de la pression et de la température de la vapeur aux appareils générateurs;

c) réchauffage de la vapeur après détente partielle (resurchauffage).

Au cours de notre voyage il nous a été donné de visiter et même d'examiner en détail un certain nombre de centrales thermiques; nous nous proposons d'exposer les remarques que nous avons pu faire sur les tendances manifestées dans les usines dont voici la liste:

Hell Gate Station (United Light and Power Co, New-York),
Hudson Avenue Station (Brooklyn Edison Co, Brooklyn),
Calumet Station (Commonwealth Edison Co, Chicago),
Crawford Avenue Station (Commonwealth Edison Co, Chicago),
Cahokia Station (United Electric Light and Power Co, St-Louis),
Edgar Station (Edison Electric and Illuminating Co, Boston),
Delaware Station (Philadelphia Electric Co, Philadelphia),
Richmond Station (Philadelphia Electric Co, Philadelphia),
Colfax Station (Duquesne Light Co, Pittsburgh),
Springdale Station (West Penn Power Co, Pittsburgh),
Rochester Station (Gas and Electric Corp. Rochester),
Long Beach Station (California Edison Co, Los Angeles).

a) Réchauffage de l'eau d'alimentation.

L'eau est réchauffée à 150° C dans certaines centrales (Hudson Avenue St., Crawford Avenue St., Richmond St.), à 170° C dans d'autres (Colfax St.). La vapeur d'échappement d'une turbine spéciale que les Américains appellent turbine „domestique" (House turbine) est fréquemment employée à cette fin; cependant, d'une manière générale, la vapeur destinée au réchauffage provient de la turbine principale; c'est ainsi que les turbines de 35000 kW de la centrale de Colfax sont à quadruple soutirage.

Afin d'améliorer le bilan thermique, on fait décrire à l'eau d'alimentation un cycle de réchauffage. On a voué une attention particulière à la question du réchauffage, d'autant plus que le service imposé aux générateurs de vapeur obligeait à alimenter ceux-ci en eau aussi peu corrosive que possible. Le schéma de la figure 2 indique le cycle de réchauffage de la Hell Gate Station. Le réchauffage de l'eau d'alimentation au moyen de la vapeur d'échappement de la „house turbine" évite d'avoir recours à un appareil de dégazage.

Les „house turbines“ peuvent entraîner soit directement les machines auxiliaires, soit les alternateurs alimentant les moteurs de celles-ci; dans le second cas on a recours, soit au „house alternator“, soit à l'alternateur principal (Hell Gate Station). Dans un cas comme dans l'autre le réchauffeur est alimenté par la vapeur d'échappement de la „house turbine“ et quand c'est nécessaire il reçoit un appoint de vapeur provenant d'un prélèvement effectué sur la turbine principale.

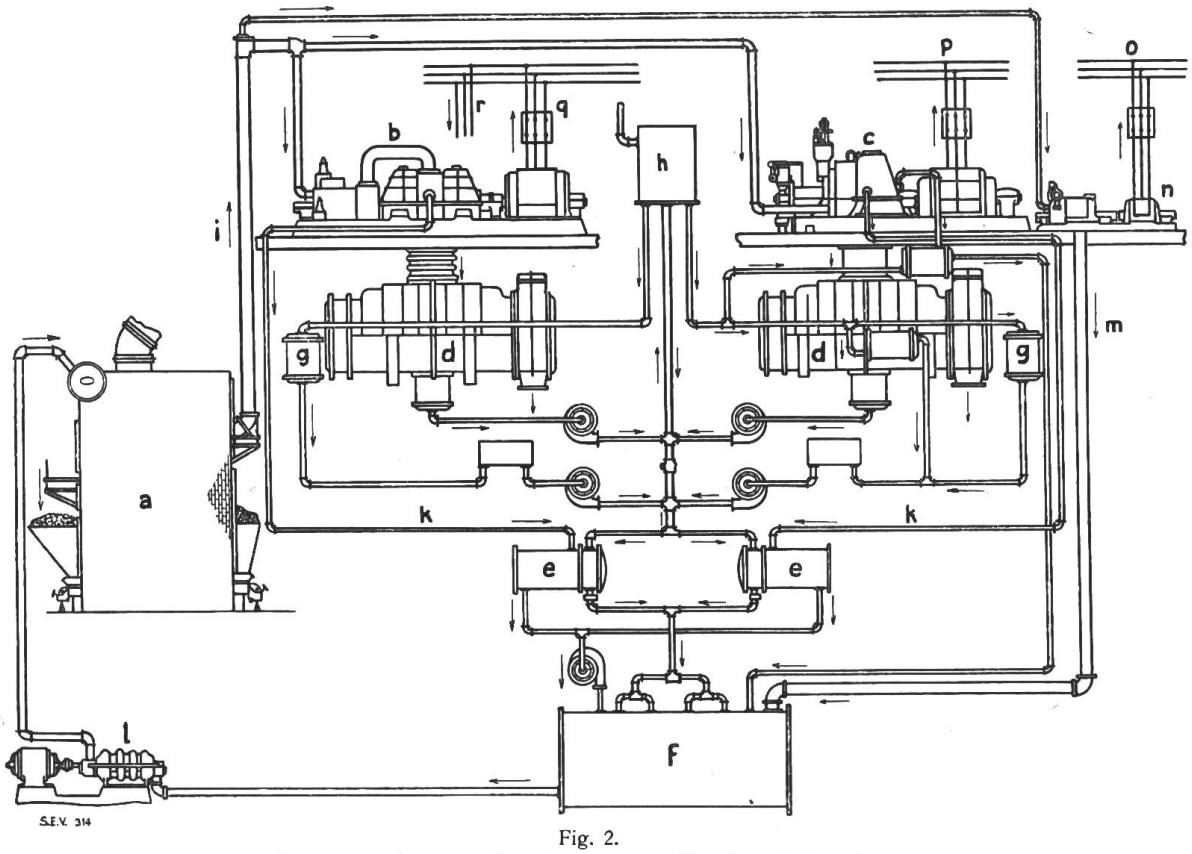


Fig. 2.
Cycle de réchauffage d'eau à la centrale Hell-Gate, à New-York.

a = chaudière.
b = turbine principale 40 000 kW, 60 pér/sec.
c = turbine principale 35 000 kW, 25 pér/sec.
d = condensateur
e = réchauffeur I.
f = réchauffeur II.
g = réfrigérant d'huile.
h = compensation.
i = conduite de vapeur.
k = soutirage.
l = pompe alimentaire.
m = vapeur d'échappement.
n = turbine auxiliaire 2000 kW, 60 pér/sec.
o = barres auxiliaires 60 pér/sec.
p = barres auxiliaires 25 pér/sec.
q = barres principales 60 pér/sec.
r = vers transformateur auxiliaire, 60 pér/sec.

Tel est le cas pour les groupes No. 3 et 4 de la centrale de Cahokia. Des combinaisons semblables ont été faites dans d'autres centrales. La figure 3 représente le schéma du cycle de réchauffage de l'eau d'alimentation de la Crawford Avenue Station. On y a mis un réchauffeur, qui reçoit la vapeur d'échappement de la „house turbine“ et de la vapeur prélevée sur la turbine principale, un économiseur et un réchauffeur d'air. Il est bon de remarquer ici que les générateurs de vapeur de la centrale de Cahokia, d'une surface de 1700 m^2, fonctionnent sans économiseurs et sans réchauffeurs d'air.

Ajoutons encore que la puissance des „house turbines“ est de l'ordre de 6 % de la puissance des turbines principales, correspondant à la puissance nécessaire pour actionner les machines auxiliaires de la centrale. La puissance absorbée par les réchauffeurs d'eau d'alimentation est fonction de la température de réchauffage; d'une manière générale elle est d'environ $^1/_{10}$ de la puissance de la turbine principale.

La figure 4 donne le schéma général de l'installation thermique de la Edgar Station, à Weymouth, de la Edison Electric Illuminating Co, à Boston.

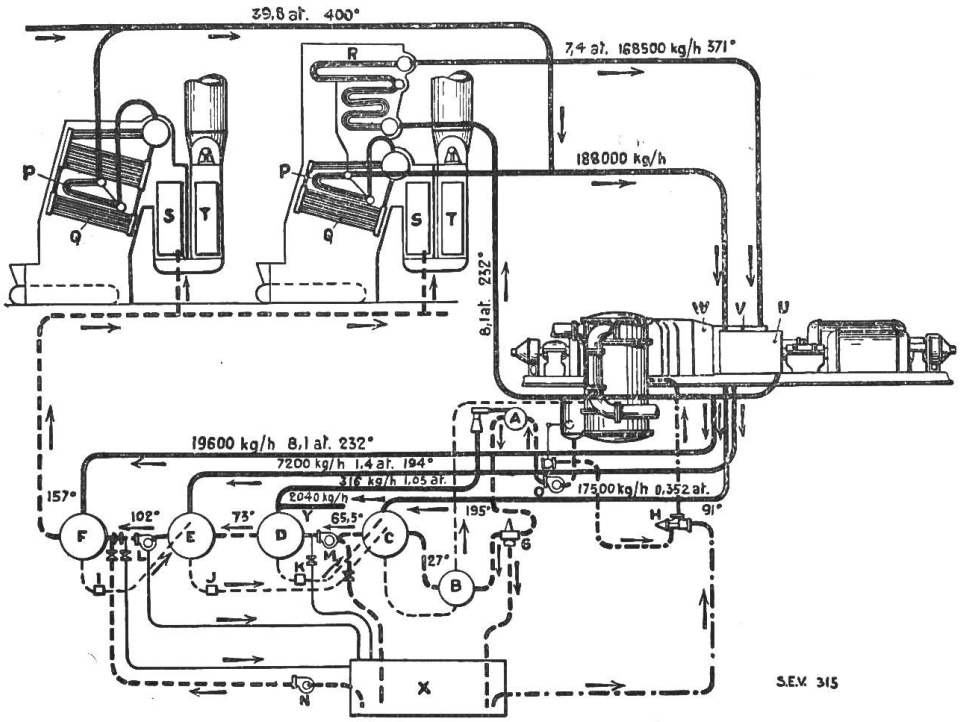


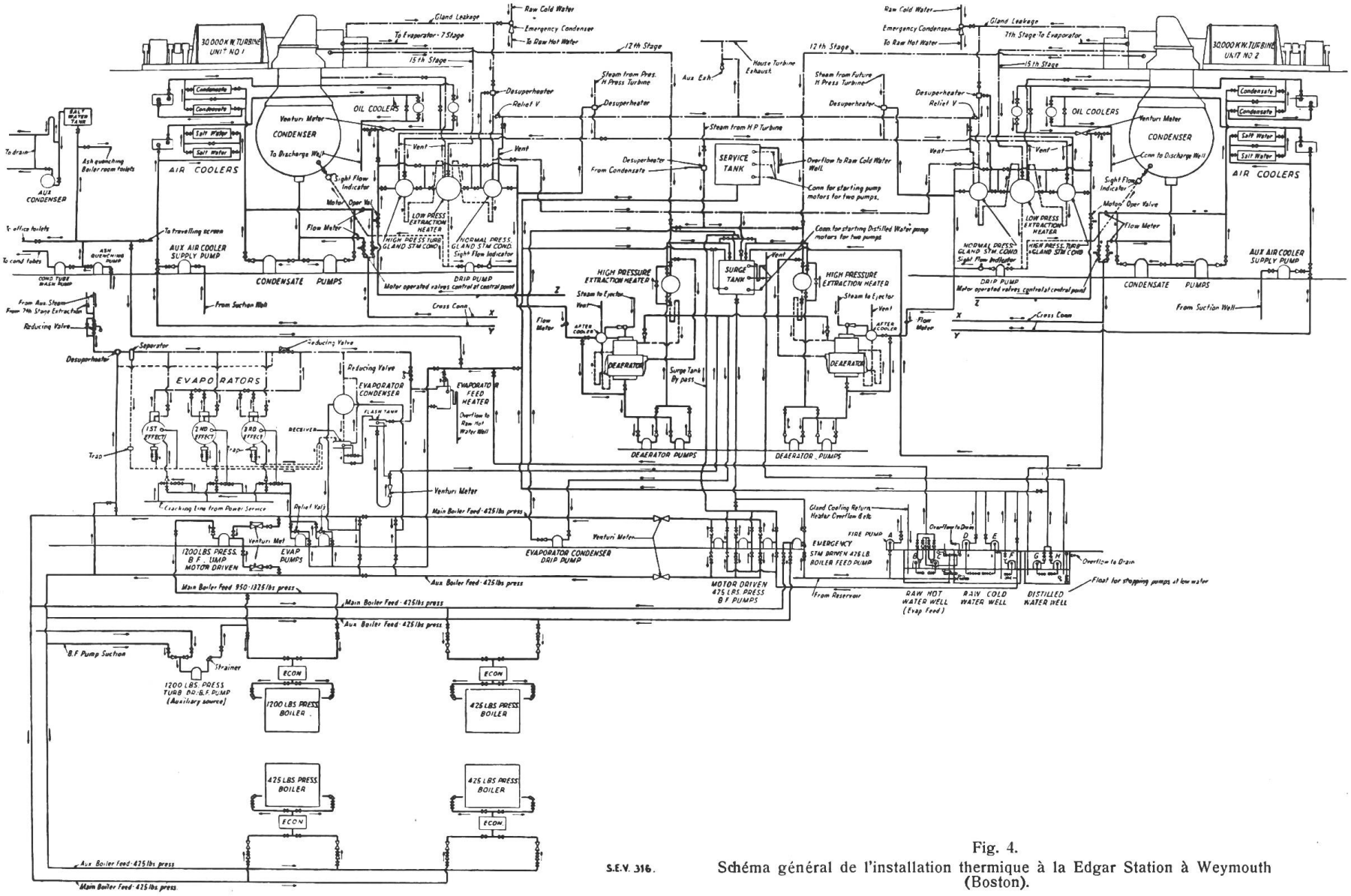
Fig. 3.
Schéma de l'installation thermique de la turbine Parsons 50000 kW à la centrale Crawford-Avenue à Chicago.

A = éjecto-condenseur.
B = réfrigérant d'eau condensée pour les réchauffeurs.
C = réchauffeur d'eau avec prélèvement de vapeur sur le corps basse pression, prélèvement pouvant servir à l'alimentation de la turbine de réserve actionnant les pompes.
D = réchauffeur auxiliaire.
E = réchauffeur moyenne pression.
F = réchauffeur haute pression.
G = soupape de décharge pour excédant d'eau condensée.
H = robinet pour eau d'appoint.
IK = robinets dans la conduite d'eau condensée à réchauffer.
L = pompe alimentaire actionnée par moteur électrique.
M = pompe auxiliaire actionnée par turbine.
N = pompe de réserve actionnée par turbine.
O = pompe d'extraction actionnée par moteur.
P = surchauffeur.
Q = chaudière.
R = resurchauffeur.
S = économiseur.
T = réchauffeur d'air.
U = turbine haute pression.
V = turbine moyenne pression.
W = turbine basse pression.
X = bâche d'eau d'alimentation.
Y = échappement de vapeur de la turbine auxiliaire actionnant des pompes.

— — — conduite d'eau d'alimentation.
——— conduite de vapeur.

b) Augmentation de la pression de vapeur.

Nous indiquons dans le tableau III la surface de chauffe des chaudières d'un certain nombre de centrales. La surface de chauffe varie entre 1500 et 2500 m²; à la centrale de Trenton Channel (charbon pulvérisé), de la Detroit Edison Co, la surface de chauffe atteint même 2700 m². Ces chiffres laissent loin derrière eux ceux auxquels on est habitué en Europe. Nous donnons dans le même tableau le rapport de la surface de chauffe des surchauffeurs à la surface de chauffe des générateurs; comme on voit ce rapport est essentiellement variable. Les valeurs de la pression et de la température de vapeur font nettement ressortir que, contrairement à ce que l'on pourrait croire, les très hautes pressions de vapeur ne sont pas d'un emploi général. A notre connaissance ce n'est qu'à la centrale de la Crawford Avenue et à celle de Twin Branch Miami Fort qu'on trouve des pressions de l'ordre de 40 kg/cm². L'emploi de vapeur à 85 kg/cm² pour une turbine auxiliaire de 3000 kW est un cas plutôt exceptionnel, un essai. Pour les détails de l'installation de la Edgar Station, nous renvoyons à la description parue dans les numéros 42, 43 et 44



S.E.V. 316.

Fig. 4.
Schéma général de l'installation thermique à la Edgar Station à Weymouth (Boston).

de la Revue technique suisse de 1926. Il y a néanmoins une tendance marquée vers les hautes pressions: 35 à 40 kg/cm². On tend également à pousser les températures vers 400° C, ainsi qu'il ressort du tableau III. Ces chiffres concordent d'ailleurs assez bien avec la tendance européenne. C'est ainsi qu'à la centrale de Berlin-Rummelsburg on utilise une pression de 35 kg/cm² et une température de 415° C aux appareils générateurs.

Le prix élevé du terrain fait que l'on doit tenir compte de l'encombrement superficiel des usines, que l'on cherche à réduire le plus possible. C'est ainsi qu'à la centrale de la Hudson Avenue, chaque mètre carré de surface bâtie correspond déjà à une puissance de 22 kVA environ. On tend donc à donner aux bâtiments une hauteur relativement grande. Cette tendance est encore accentuée du fait que l'on veut avoir des sous-sols hauts, des chambres de combustion très grandes et que l'on veut placer les carnaux et l'installation de tirage induit directement sous les générateurs. Tous les moyens sont mis en œuvre pour réduire au strict minimum les frais d'entretien et il est certain que le résultat acquis dans ce sens est remarquable par la simplicité et l'économie.

Une remarque est à faire au sujet de la disposition centrale de la cheminée ou des cheminées, chacune desservant une batterie de générateurs. A la centrale de Hell Gate chaque cheminée dessert une surface de chauffe d'environ 12000 m². La cheminée atteint souvent une hauteur de 80 mètres au-dessus du sol.

Les chaudières à tubes inclinés sont très répandues, mais ce n'est que récemment qu'on a mis en service des chaudières à tubes très inclinés. Pour ces dernières, on emploie des tubes atteignant jusque 6 mètres de long, disposés en un grand nombre de rangées superposées — jusqu'à 20 rangées — (voir fig. 5).

Le soufflage sous grille qui, comme il ressort nettement du tableau III, est général, même quand il s'agit de charbon de très bonne qualité, est souvent produit par un ventilateur central.

Les économiseurs, en acier pour les pressions élevées, ne sont pas aussi répandus qu'en Europe: leur emploi est, jusqu'à un certain point, rendu inutile par suite du réchauffage de l'eau d'alimentation par la vapeur soutirée de la turbine principale ou de la turbine auxiliaire.

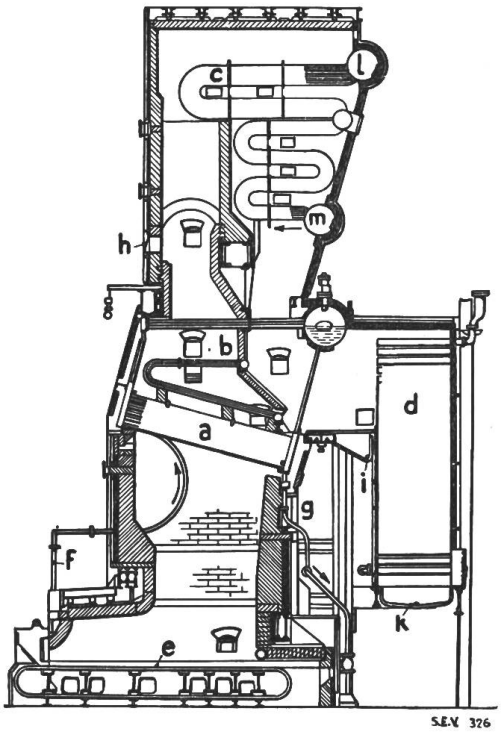


Fig. 5.
Coupe à travers l'installation de chaudières à la centrale de Crawford-Avenue, à Chicago.
a = chaudière.
b = surchauffeur.
c = resurchauffeur.
d = réchauffeur d'eau.
e = système de refroidissement du foyer.
f = tuyauterie de *e*.
g = tuyauterie de *e*.
h = clapet de réglage.
i = évacuation des suies entraînées par les courants gazeux.
k = accumulateur pour les pertes d'eau de *d*.
l = } collecteur de *c*.
m = }

c) Re-surchauffage.

La question de resurchauffage de la vapeur pour les pressions supérieures à 45 kg/cm² est très discutée. Certains ne l'estiment pas nécessaire, d'autres le tiennent pour très avantageux. A la centrale de Crawford Avenue celle des cinq chaudières de chaque groupe qui est la plus voisine de la turbine est reliée à un surchauffeur de 1300 m² de surface de chauffe; cette dernière chaudière n'a que 560 m² de surface de chauffe alors que chacune des quatre autres a 1540 m² (la figure 4 donne un schéma de l'installation).

Tableau III.

Centrales			Chaudières					Vapeur		Econ.	Condenseurs	
Centrales	Puissance installée kW	Année de mise en marche	Système du foyer	Type de chaudière	Surface de chauffe m²	Surface de surchauffe m²	m² surchauffe / m² chauffe	Pression kg	Tempér. °C	Surface d'économiseur	Surface de condens.	m² condens. / altern. kW
Cahokia - St-Louis . .	125 000	1924	pulvérisé	B & W	1630	370	0,227	21,2	365	—	4770	0,159
Hudson Avenue Brooklyn	150 000	1923	Stocker	B & W	1770	226	0,128	18,5	375	—	6300	0,126
Calumet Chicago . . .	187 000	1921	Stocker	B & W	1360	365	0,268	24,6	330	870	4700	0,157
Crawford Avenue. . .	160 000	1925	Grille à chaîne	B & W	1500	245	0,163	40,5	395	1000	5050	0,101
Edgar - Boston . . .	67 000	1924	Stocker	B & W	1835 1465	265 264	0,145	24,6 85	375	1020 1120	4050	0,135
Delaware - Philadelphia .	180 000	1920	Stocker	Stierling	1360	160	0,118	16,5	302	340	4500	0,150
Richmond	100 000	1925	Stocker	B & W	1465	255	0,174	26,4	385	640	6300	0,126
Colfax - Pittsburgh . .	180 000	1920	Stocker	B & W	2500	500	0,200	19,3	345	—	9000	0,150
Springdale - Pittsburgh .	50 000	—	Stocker	B & W	1470	250	0,170	24,6	375	—	2900	0,116
Hell-Gate New-York . .	150 000	1922	Stocker	Springfield	1700	190	0,112	17,5	320	—	5140	0,128

La centrale de la Crawford Avenue est remarquable d'autre part par la disposition des turbines et des machines auxiliaires. Les turbines, du type cross-compound, sont reliées chacune à deux condenseurs à tubes verticaux montés du côté du corps à basse pression de la turbine. (Voir photographie de la figure 6, avec le groupe Parsons au premier plan.)

Le tableau III indique la surface tubulaire en m² des condenseurs des diverses usines que nous avons visitées ainsi que la surface tubulaire par kilowatt installé. Alors que cette dernière valeur est seulement de 0,087 pour les groupes turbine-alternateur à 40000 kW de la centrale de Gennevilliers, elle est de 0,187 m²/kW pour les groupes turbine-alternateur de la centrale de Colpa, de 0,109 m²/kW pour ceux de la centrale de Goldenberg et varie de 0,1 à 0,15 dans les installations américaines.

Pour l'élimination des cendres, on emploie de préférence un procédé hydraulique dans les installations comportant des foyers à grilles ou des foyers automatiques (centrales de Hell Gate, Crawford Avenue Station).

Le transport à distance et l'enlèvement des cendres sont obtenus par des appareils pneumatiques dans les installations brûlant du charbon pulvérisé (Cahokia). Le fait d'utiliser des „car dumpers", qui, chavirant le wagon entier, le déchargent en quelques secondes, donne une idée de la puissance des moyens mis en œuvre pour la manutention du charbon dans une grande centrale moderne. Le parc à charbon de la Edgar Station à Weymouth (fig. 10) peut actuellement emmagasiner 150000 tonnes de combustible; après aménagement complet il pourra recevoir 320000 tonnes de charbon.

Les progrès réalisés dans le courant de ces dernières années par la thermodynamique ont permis de réduire considérablement la consommation spécifique de charbon. On arrive actuellement à une consommation de l'ordre de 550 grammes, soit 3700 calories par kilowatt-heure aux bornes des générateurs d'électricité. Dans certaines centrales on est même arrivé à de meilleurs résultats („Philo": 3000 à 3400 calories/kWh). Néanmoins les frais d'entretien ont été tellement augmentés que le prix de revient du kilowatt-heure n'est guère moins élevé qu'autrefois. Le facteur de charge est normalement supérieur à 40 %, on se trouve donc dans de bonnes conditions de marche économique; le facteur de charge de la centrale de Gennevilliers est de 32 % environ, la consommation de charbon y est de 630 à 640 grammes, soit 5560 calories par kilowatt-heure. Une très grande attention est apportée au contrôle de la chauffe; tantôt chaque chaudière est pourvue d'un

tableau de contrôle, tantôt il n'y a qu'un tableau de contrôle par batterie de chaudières, tantôt on trouve un tableau par chaudière et un par batterie. Nous nous sommes assuré qu'en plus de ces tableaux se trouve un tableau général qui permet de contrôler la marche de toute la chaufferie et la signalisation (centrale de Cahokia). Et rien ne semble devoir s'opposer à ce que dans un proche avenir la chauffe soit tout à fait automatique.

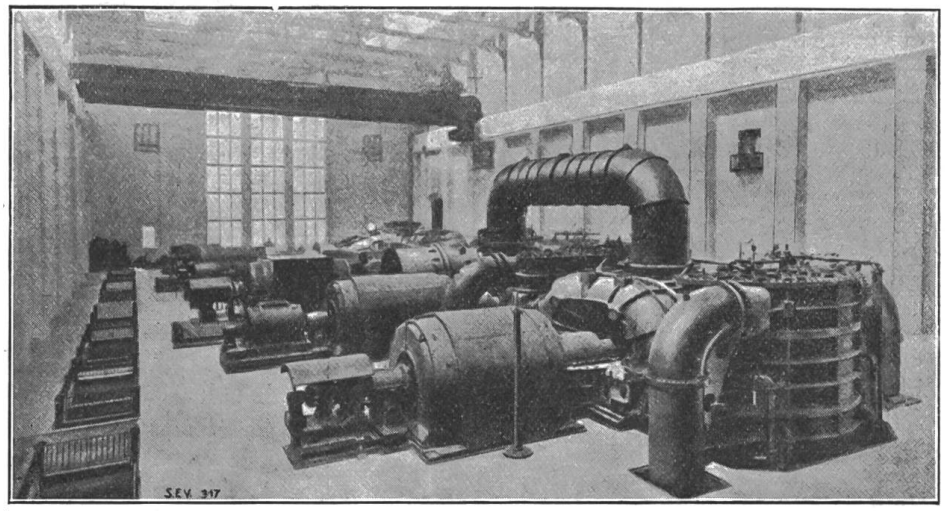


Fig. 6a.
Vue de la salle des machines à la centrale Crawford-Avenue, à Chicago.

A l'exception du premier groupe de la Crawford Avenue Station, qui a été fourni par la Cie Parsons, toutes les turbines sont de construction américaine (Cie Westinghouse et General Electric Co).

Les turbines de la General Electric Co sont des turbines à action monobloc à simple flux (turbines de 50 000 kW Hudson Avenue Station; fig. 9), mais pour les puissances supérieures à 50 000 kW les turbines sont à deux corps indépendants: l'un à haute pression, l'autre à basse pression (turbine de 60 000 kW, Crawford Avenue Station).

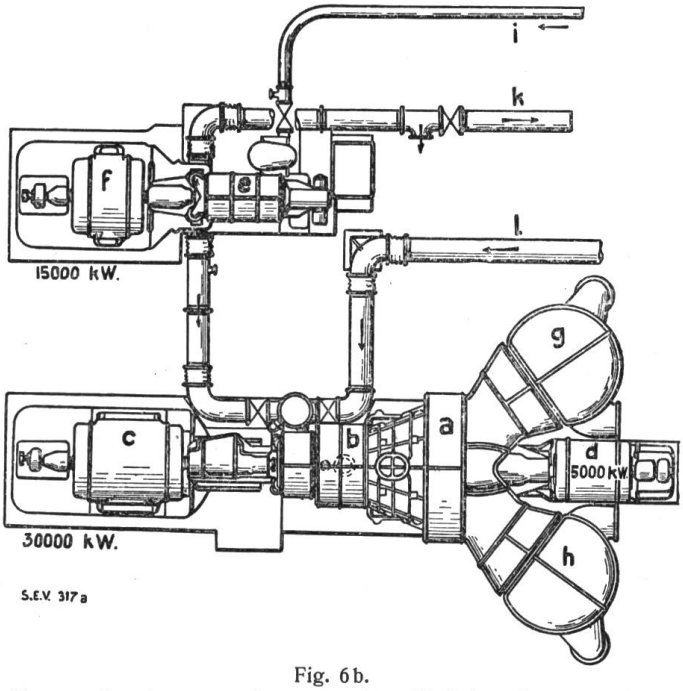
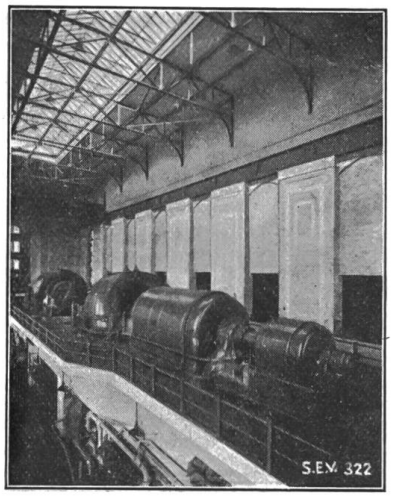


Fig. 6b.
Vue en plan du groupe Parsons 50 000 kW à la même centrale.

La Cie Westinghouse construit de préférence des turbines à plusieurs corps, à double flux, à action et à réaction (turbine de 50000 kW de la Crawford Avenue Station), qui comprennent un corps ayant une partie à haute pression et une partie à basse pression à sens unique de flux de vapeur, le deuxième corps à basse pression à deux sens de flux de vapeur. Les turbines de la centrale de Richmond (50000 kW, General Electric Co) sont du type tandem compound attaquant un seul alternateur, le type cross-compound ayant été rejeté comme donnant lieu à des difficultés de réglage de l'admission de vapeur. Les turbines de la centrale de Colfax d'une puissance de 60000 kW (Westinghouse) sont du type cross-compound à trois corps, chaque corps entraînant un alternateur de 20000 kW. Au cours de notre visite aux ateliers de la Cie Westinghouse à South Philadelphia nous avons été fort impressionné par le soin méticuleux apporté au traitement thermique des aubes de turbines (voir Electric Journal 1925, page 202).

La tension varie d'une manière générale entre 11000 et 14000 volts (11000 volts aux centrales de Colfax, de Long Beach et de Hell Gate; 12000 volts à celles de Springdale et de la Crawford Avenue; 13200 volts à celles de Richmond et de



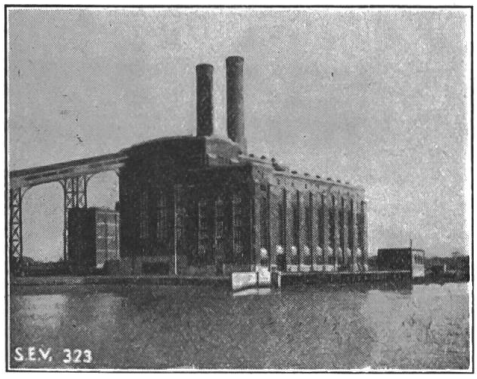


Fig. 10 a, b.
La centrale Edgar, à Weymouth-Boston.

Hell Gate pour le triphasé à 60 pér/sec; 13800 ou 14000 volts à la Edgar Station et à la Hudson Avenue Station). Les exploitants imposent en général une tension d'essai égal à trois fois la tension normale plus 1000 volts.

Les alternateurs ont en général une réactance de 15 à 18 % et sont à faible chute ohmique.

Le mica est employé normalement pour l'isolement des conducteurs.

Le système de refroidissement par circulation d'air en circuit fermé tend à devenir général.

La conception de ces machines, tant au point de vue électrique qu'au point de vue mécanique, ne nous a pas semblé différer de la conception européenne. Cependant, contrairement à cette dernière, les constructeurs américains prévoient une disposition des développantes des enroulements (tête de bobine) permettant un refroidissement efficace de celles-ci.

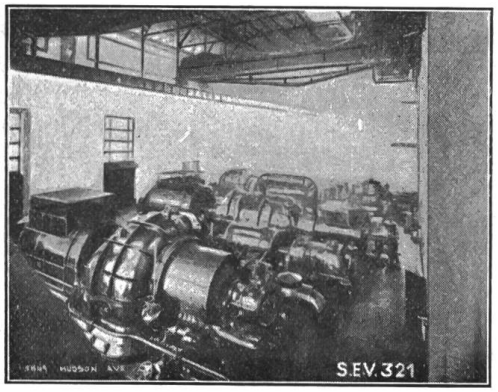
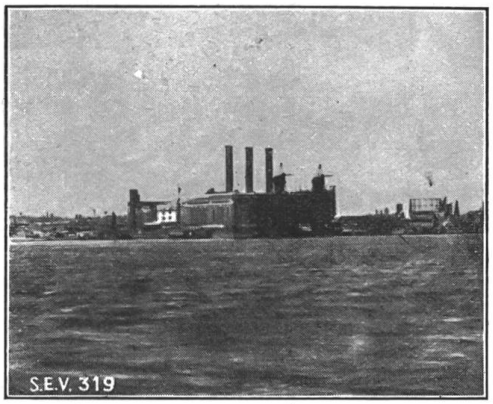


Fig. 9.
Salle des machines a la centrale Hudson-Avenue, à Brooklyn.

L'emploi d'un alternateur „domestique" (house alternator) est très répandu pour l'alimentation des moteurs d'entraînement des appareils auxiliaires des turbines et des divers moteurs électriques en service dans la centrale. Cet alternateur est ordinairement d'une puissance de 2000 à 3000 kW; ce n'est qu'à la centrale de Long Beach à Los Angeles que nous avons vu un turbo-alternateur de puissance plus élevée (4000 kW). L'alternateur domestique est tantôt calé directement sur l'arbre de la turbine principale (Edgar Station, Crawford Avenue Station, Long Beach Station), tantôt entraîné par une turbine séparée (house turbine) (Colfax Station, Hudson Avenue Station, Hell Gate Station, Cahokia Station).

Faisons remarquer qu'à la centrale de Hell Gate (fig. 8) les appareils auxiliaires sont groupés en deux sections, dont l'une est alimentée par le groupe domestique, l'autre branchée sur les barres principales par l'intermédiaire d'un transformateur auxiliaire. Ces deux sections ne sont pas reliées ensemble normalement.

Un système analogue a été prévu pour la centrale de Cahokia (fig.11), ici toutefois les barres collectrices des alternateurs domestiques sont reliées à celles des transformateurs par des bobines de self à noyau saturé; ces bobines de self ont pour



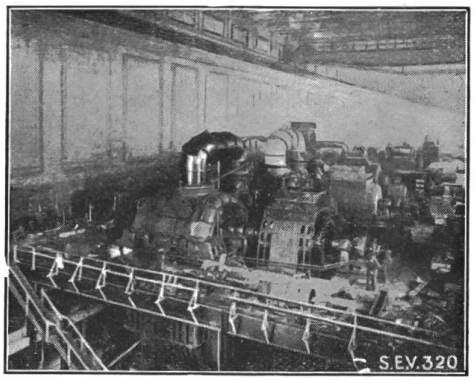
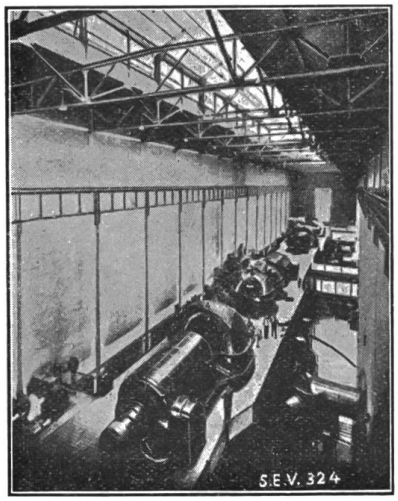


Fig. 8 a, b.
La centrale Hell Gate, à New-York.

but de limiter l'échange d'énergie entre les deux groupes, maintenant ainsi l'équilibre thermique, et de limiter le courant mis en jeu en cas d'accident à l'alternateur ou sur le réseau.

Afin d'éviter une surcharge exagérée des turbines domestiques, ces bobines de self sont pourvues de relais qui entrent en action au moment où les turbines sont



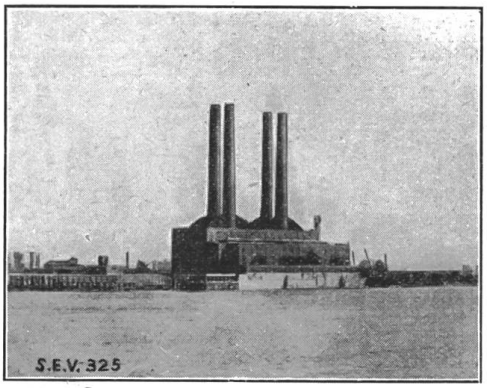


Fig. 11 a, b.
La centrale Cahokia, à St-Louis.

sous le coup d'une surcharge. Ces bobines de self possèdent un enroulement parcouru par du courant continu dont l'action est prédominante en marche normale, la chute de tension est alors faible; en cas de surcharge exagérée ou de court-circuit, le champ engendré par l'enroulement à courant alternatif devient prédominant, l'inductance est alors grande ce qui assure une excellente protection.

Une particularité intéressante des dernières centrales thermiques est la séparation complète des phases, soit par une disposition „horizontale" (Calumet Central Station, Hell Gate Station, Crawford Avenue Station; les centrales de Calumet et de Hell Gate (fig. 7) sont les premières où l'on ait séparé complètement les phases), soit par une disposition „verticale", les disjoncteurs ou les sectionneurs étant alors

commandés depuis le sous-sol ou un entresol (centrales de Richmond et de Cahokia), ou encore de l'étage supérieur (Hudson Station, Edgar Station).

Les exploitants ont acquis l'opinion que cette séparation des phases, quoique coûteuse, est justifiée par la sécurité qu'elle offre, ce qui est à considérer dans le

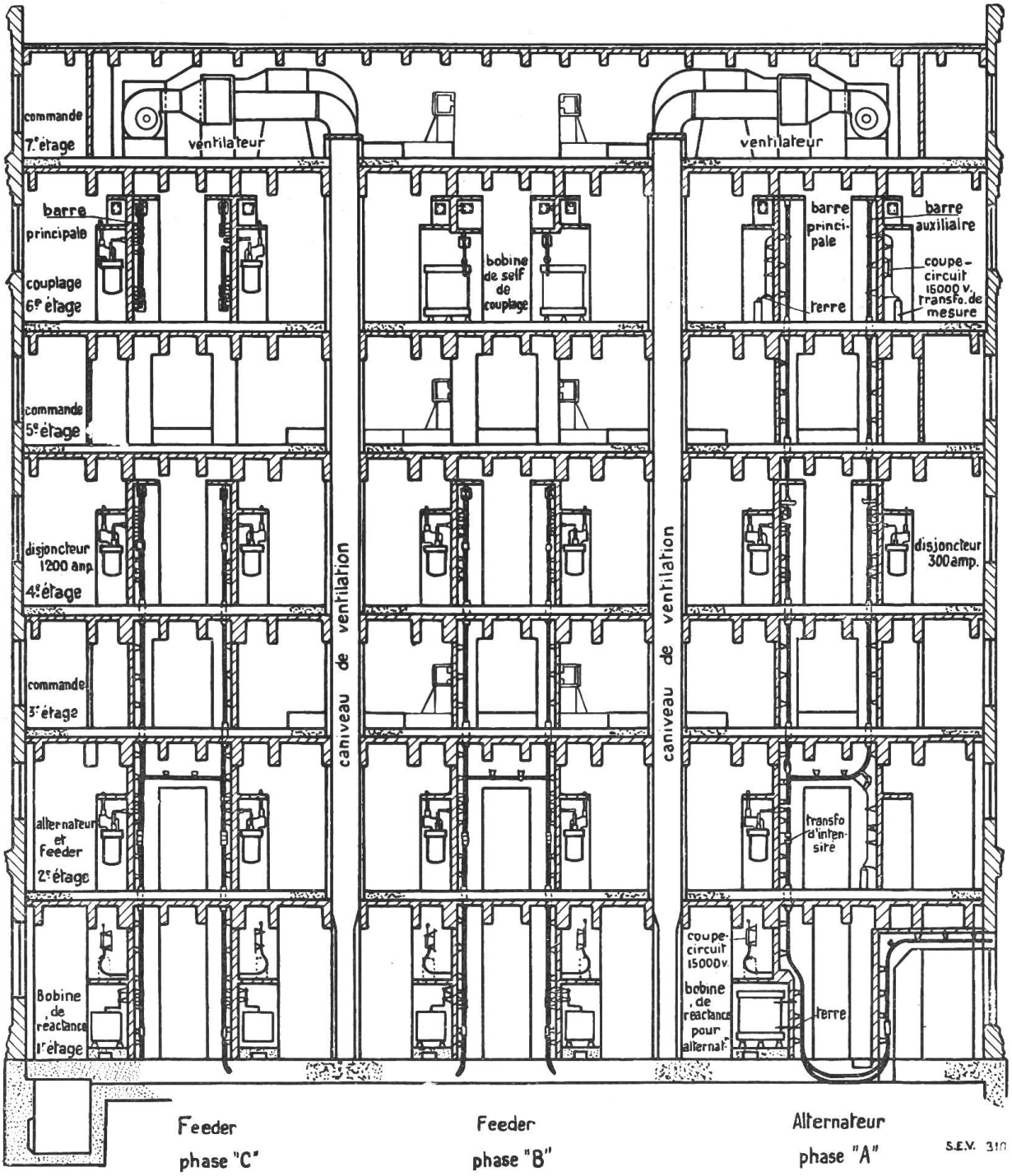


Fig. 7.
Séparation horizontale des phases à la centrale Hell Gate, à New-York.

cas des très grandes puissances. Les courts-circuits entre phases sont en effet devenus impossibles ou tout au moins très rares; l'amorçage des arcs entre les phases et la terre peut être évité par la mise à la terre du point neutre par l'intermédiaire de résistances. Pour des raisons de sécurité, on emploie dans ces centrales

des disjoncteurs dont le pouvoir de coupure est considérable (1500000 kVA dans les centrales de Hell Gate, de la Hudson Avenue, de Richmond).

Les figures 8, 9, 10 et 11 montrent la salle des machines des centrales de Hell Gate, de la Hudson Avenue, de Edgar et de Cahokia. Tandis que dans ces deux dernières centrales les machines sont disposées dans l'axe l'une de l'autre, dans les deux premières elles sont disposées parallèlement.

Der Heizwert des Steinkohlengases.

Von Ingenieur *A. Härry*, Zürich.

In den letzten Jahren hat die elektrische Küche immer mehr Beachtung gefunden, es ist dies verständlich in Anbetracht ihrer besonderen Vorzüge. Es steht heute fest, dass mit dem elektrischen Herd ebenso gut und ebenso rasch gekocht werden kann, wie mit dem Gasherd. Es werden also in Zukunft beide Arten der Küche sich nebeneinander entwickeln. Da die technischen Möglichkeiten auf beiden Seiten gleich sind und die Preisentwicklung immer mehr das Gleichgewicht bringt, wird in Zukunft der Interessent, also die Hausfrau, entscheiden, wie sie ihre Küche einrichten will. Es wird also auch von den Elektrizitätswerken eine sachliche, neutrale Aufklärung verlangt werden. Daher mögen folgende Darlegungen von Interesse sein:

Bei wirtschaftlichen Vergleichen zwischen Gas und Elektrizität spielt der Heizwert des Gases eine wichtige Rolle. Leider machen aber nur wenige Gaswerke in ihren Jahresberichten Angaben hierüber, auch in der Statistik der schweizerischen Gaswerke fehlen solche. Da das Gas nicht nach dem Heizwert, sondern nach dem Volumen (Kubikmeter) verkauft wird, der Heizwert aber im Laufe des Jahres beim gleichen Gaswerk und zwischen den verschiedenen Gaswerken schwanken kann, ist der Bezüger von Gas im Unklaren darüber, welche Wärmemenge er zu einem gewissen Preis erhält.

Im Ausland ist man im Gegensatz zur Schweiz mehr für den Schutz des Gaskonsumenten besorgt und einige Länder haben für die Gasqualität strenge Vorschriften aufgestellt. England ordnet diese Verhältnisse durch den „Gas Regulation Act“ 1920, welcher strenge Vorschriften über die Gasqualität in Verbindung mit dem Gaspreis enthält; in Amerika wachen staatliche Kommissionen über die Einhaltung des Heizwertes.

In der Schweiz wurden am 18. Oktober 1914 in Bern von der Generalversammlung des Schweiz. Vereins von Gas- und Wasserfachmännern Normen für den Mindest-Heizwert von Leucht- und Heizgas aufgestellt für Werke, die nicht höher als 800 Meter ü. M. liegen. Darnach soll der Heizwert des Gases, wie es die Fabrik verlässt, den Betrag von 4300 Cal. (15 Grad, mittlerer Barometerstand des Ortes, feucht gemessen) nie unterschreiten. Als Heizwert des Gases gilt hiebei der untere Heizwert (oberer minus Verdampfungswärme des gebildeten Verbrennungswassers). Aus dem gleichzeitig gemessenen Barometerstand und der Temperatur ist der Heizwert für trockenes Gas bei 0 Grad und 760 mm Barometerstand zu berechnen. Der Heizwert soll nicht mehr als 200 bis 300 Cal. schwanken. Diese Norm konnte von den meisten Gaswerken während des Krieges nicht mehr eingehalten werden und 1922 wurde beschlossen, sie aufzuheben.

Die Generalversammlung des Schweiz. Vereins von Gas- und Wasserfachmännern vom 7. September 1924 hat dann *neue Normen* aufgestellt. Der durchschnittliche *obere Heizwert* des abgegebenen Gases berechnet auf 0 Grad 760 mm Barometerstand soll 5000 Cal. betragen und möglichst wenig schwanken. Der durchschnittliche Gehalt an inerten Bestandteilen (Kohlensäure, Stickstoff und Sauerstoff) soll nicht mehr als 12 % betragen.

Diese Richtlinien sollen keine bindenden Vorschriften sein.