

que l'on peut recueillir au gueulard du four à dégazer, ainsi que des 200 kilog. de gaz du brai agglomérant les électrodes qui sortent du four à cuire.

Ces récupérations représentent un nombre de calories non négligeables compensant les pertes thermiques du four de cuisson.

**FRAIS DE PREMIER ÉTABLISSEMENT**

C'est en tenant compte de ce procédé de fabrication, que les tableaux suivants groupent des chiffres qui permettent de comparer :

1° Le coût d'établissement, d'abord avant la guerre et actuellement, d'une fabrique de 1.500 tonnes d'électrodes par an ;

2° Les prix de revient actuels dans la fabrique travaillant au charbon, avec ceux de l'usine n'employant que le courant électrique.

**DÉPENSES COMPARATIVES D'INSTALLATION**

APPAREILS DE FABRICATION	ANCIEN SYSTÈME		Procédé électriq.
	Avant guerre	Aujourd'hui	Actuellement
MATÉRIEL DE			
Broyage, malaxage, moulage.....	35.000 fr.	145.000 fr.	130.000 fr.
Four à dégazer les charbons.....	25.000 »	75.000 »	70.000 »
Four de cuisson des électrodes.....	40.000 »	120.000 »	180.000 »
Appareillage électrique.....			120.000 »
Bâtiments (prix moyens).....	250.000 »	600.000 »	460.000 »
<b>TOTAL</b> .....	<b>350.000 »</b>	<b>940.000 »</b>	<b>960.000 »</b>

**PRIX DE REVIENT COMPARATIFS**

ÉLÉMENTS du PRIX de REVIENT	ANCIEN SYSTÈME		Procédé électriq.
	Avant guerre	Aujourd'hui	Actuellement
Anthracite et Houille.... 1.400 T.	70.000 fr.	210.000 fr.	210.000 fr.
Brai et Agglomérants.... 350 T.	28.000 »	70.000 »	70.000 »
Dégazage, Cuisson au coke 2.500 T.	75.000 »	420.000 »	contre 220.000 »
Dégazage et Cuisson électriques ...			120.000 »
Main d'Œuvre, Entretien, Divers ..	65.000 »	140.000 »	80.000 »
Frais généraux d'administration....	40.000 »	90.000 »	80.000 »
<b>TOTAUX</b> .....	<b>278.000 »</b>	<b>930.000 »</b>	<b>700.000 »</b>
Prix de revient par tonne.....	186 »	620 »	466 »

**PUISSANCE ÉLECTRIQUE ET EMBLEMES NÉCESSAIRES**

Pour le four à dégazer....	400 kw.	400 m <sup>2</sup>
Pour le four de cuisson...	800 kw.	800 m <sup>2</sup>
Pour les services accessoires	150 kw.	1.200 m <sup>2</sup>

Total minimum.... 1.350 kw. 2.400 m<sup>2</sup>

La construction ci-dessus prévue des fours et l'organisation mécanique des opérations de la fabrication est supposée faite avec toutes les conditions de solidité et de perfection voulues, aux prix actuels.

La capacité de cette usine a été choisie pour correspondre à une usine électrométallurgique employant 12 à 15.000 kilowatts dans des fours électriques.

Cette fabrication sur place économiserait donc d'abord le transport d'un très gros tonnage de charbon et, ensuite, en ferait l'économie. Ce que nous voulions démontrer dans l'intérêt de la prospérité de l'industrie française.

Isidore BAY, Ingénieur.  
Electrochimiste

**NOUVEAU RÉGULATEUR**

**A ACTION INDIRECTE ET A INDICATION MIXTE**

par MM. BARBILLION et CAYÈRE

Dans ce régulateur (fig. 1), le tiroir du servo-moteur de vannage est lié à un point *c* du levier *C*, les extrémités du levier *C* sont liées : l'une *a* à un tachymètre *A* qui donne à *a* une levée proportionnelle à l'écart de vitesse, l'autre *b* à un indicateur d'accélération *B* qui donne à *b* une levée proportionnelle à l'accélération.

Le levée de *c* dépend donc à la fois de l'écart de vitesse et de l'accélération.

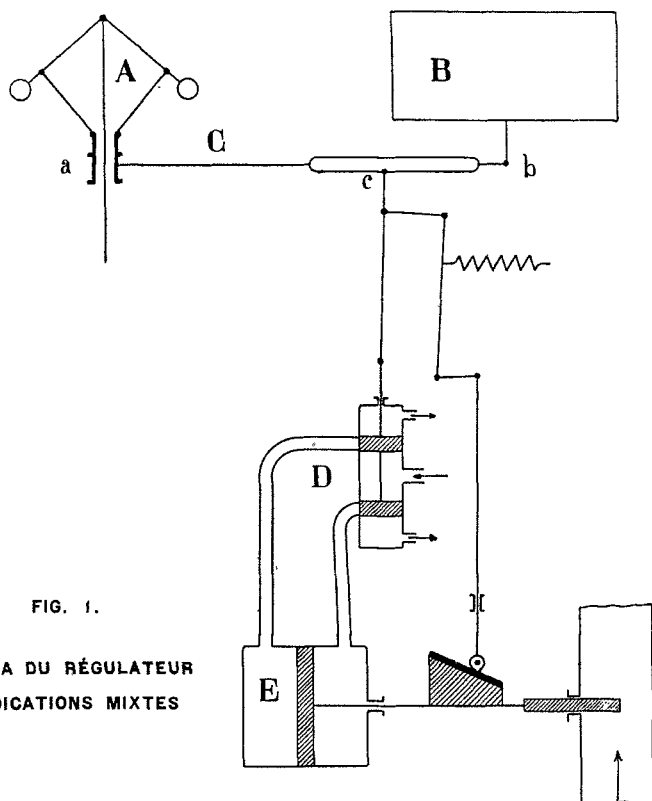


FIG. 1.

SCHÉMA DU RÉGULATEUR A INDICATIONS MIXTES

1° Si la vitesse est trop grande et augmente, *a* et *b* sont soulevés, *c* aussi par conséquent, le servo-moteur est actionné pour fermer le vannage ;

2° Si la vitesse est trop grande mais diminue, *a* est soulevé, *b* est abaissé ; il arrive donc un moment où *c* revient à sa position moyenne, ce qui immobilise le servo-moteur de vannage à un moment où la vitesse encore trop grande se rapproche de sa valeur de régime ;

3° Si la vitesse est trop petite et diminue, *a*, *b*, *c*, sont tous trois abaissés et le servo-moteur ouvre le vannage ;

4° Si la vitesse est trop petite mais augmente, le servo-moteur, en raison des déplacements inverses de *a* et *b* se trouve débrayé à un moment où la vitesse encore trop faible a tendance à se rapprocher d'elle-même de sa valeur de régime.

Ces quelques considérations permettent de voir que le régulateur décrit a un fonctionnement bien supérieur à celui d'un régulateur indirect où le tiroir du servo-moteur serait conduit directement par le tachymètre. L'indicateur d'accélération produit le même effet que l'asservissement utilisé dans les régulateurs indirects ordinaires, il avance l'instant du débrayage.

Dans le régulateur qui fait l'objet de cette note, le point *c* peut se déplacer dans une coulisse pratiquée dans C, la position de *c* dans la coulisse est liée à la position du vannage suivant une loi que nous étudierons plus loin.

Cette disposition qui est la particularité essentielle du nouveau régulateur permet, comme nous allons le montrer, de réaliser un réglage théoriquement parfait. Tandis que l'asservissement se contente d'amortir les oscillations de vitesse à longue période, le nouveau régulateur supprime complètement ces oscillations.

Considérons (fig. 2) les graphiques couples-vitesse de la machine motrice (turbine) et de la machine entraînée (dynamo ou alternateur). Pour chaque position du vannage, il y a une courbe  $C_m(\omega)$  du couple moteur en fonction de la vitesse.

Pour chaque valeur de la résistance du réseau, il y a une courbe  $C_r(\omega)$  du couple résistant en fonction de la vitesse.

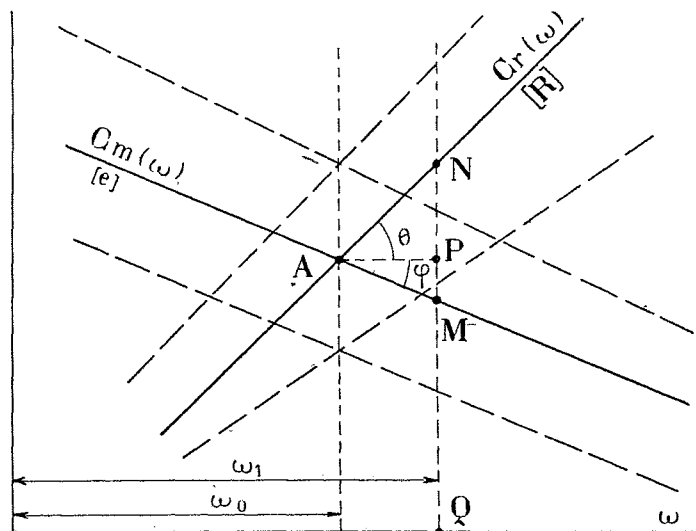


FIG. 2. — GRAPHIQUE DES COUPLES-VITESSES

Si nous associons deux par deux ces courbes, de façon à ce que les intersections correspondent à la vitesse de régime  $\omega_0$ , nous aurons une série de groupes de deux courbes représentant les divers états du groupe électrogène en régime établi.

Considérons les deux courbes qui se coupent en A : elles correspondent à une ouverture (*c*), donc à une position du vannage bien déterminée et à une résistance (R) du réseau bien déterminée également. Supposons que l'admission étant (*c*) et la résistance du réseau (R), une cause perturbatrice provisoire ait amené la vitesse à une valeur  $\omega$ . Si notre régulateur est vraiment parfait, il ne devra pas actionner le servo-moteur, car la machine reviendra d'elle-même à son état de régime correspondant au point A.

Or, nous avons  $AP = \text{écart de vitesse}$  ;  $MQ = \text{couple moteur}$  ;  $NQ = \text{couple résistant}$  ; donc  $MN = C_m - C_r = K \frac{dw}{dt}$  (K étant le moment d'inertie du couple).

AP sera indiqué par le tachymètre, la levée de *a* sera proportionnelle à AP :  $aa' = \alpha \times AP$ .

De même la levée de *b* sera proportionnelle à MN :  $bb' = \beta \times MN$ . Pour que le régulateur n'intervienne pas il faut que *c* reste à sa position moyenne, donc que :

$$\frac{ca}{cb} = \frac{aa'}{bb'} = \frac{\alpha \times AP}{\beta \times MN}$$

Or, les courbes  $C_m(\omega)$  et  $C_r(\omega)$  peuvent être assimilées

à des droites dans la région utilisée, par suite, on a  $MN = AP$  ( $\text{tg } \theta \times \text{tg } \varphi$ ), (fig. 2) et, pour que notre régulateur soit bien réglé, il faut que :

$$\frac{ca}{cb} = \frac{\alpha}{\beta (\text{tg } \theta + \text{tg } \varphi)} \quad (I)$$

$\alpha$  et  $\beta$  sont des constantes du tachymètre et de l'indicateur d'accélération ;  $\theta$  et  $\varphi$  sont des éléments qui, pour un groupe électrogène donné, peuvent être calculés et dépendent de la position du vannage ; par suite la relation (I) fixe la liaison qui doit exister entre la position du vannage et la position de *c* dans la coulisse de C (fig. 3).

Examinons maintenant comment le régulateur ainsi établi se comporte au cours d'une perturbation.

La charge venant par exemple à diminuer, la vitesse augmente, l'accélération est positive, *a* et *b* sont soulevés, *c* aussi et le servo-moteur est actionné pour fermer le vannage. La vitesse augmente pendant un certain temps, puis commence à diminuer ; *a* descend, *b* qui est passé au-dessous de sa position moyenne, descend aussi ; *c* descend donc et se rapproche de sa position moyenne. Au moment où l'admission atteint la valeur (*c*) qui, avec la résistance (R) du réseau

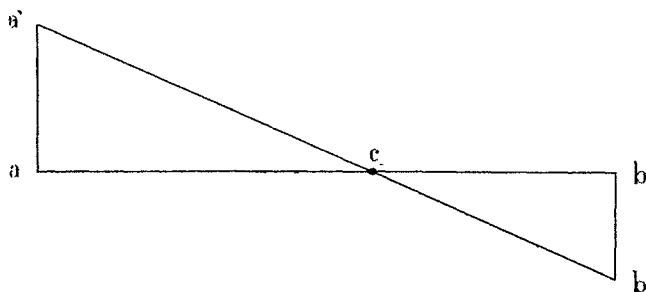


FIG. 3. — RELATION ENTRE LA POSITION DU VANNAGE ET CELLE DE C

donnera la vitesse de régime  $\omega_0$  (fig. 4), le rapport de l'écart de vitesse AP à l'écart des couples MN est tel que le point *c* est ramené à sa position moyenne, ce qui arrête le servo-moteur. La vitesse diminue ensuite d'elle-même, N se déplace sur  $C_r(\omega)$ , M se déplace sur  $C_m(\omega)$  et, comme le rapport  $\frac{AP'}{M'N'}$  reste égal à  $\frac{AP}{MN}$ , le point *c* reste à sa position moyenne et le servo-moteur reste arrêté.

Le servo-moteur cesse donc son action aussitôt qu'est atteinte l'ouverture du vannage qui réalisera la vitesse de régime  $\omega_0$ .

Il est facile de voir qu'il ne s'arrêtera pas plus tôt : en effet, pour une admission (*e*<sub>1</sub>) avant d'atteindre (*e*<sub>1</sub>), le point *c* occupe entre *a* et *b* une position telle que l'arrêt du servo-moteur a lieu lorsque  $\frac{\text{écart couple}}{\text{écart vitesse}} = \text{tg } \theta_1 + \text{tg } \varphi_1$ .

Or, à ce moment, l'écart des couples est  $M_1N_1$ . Pour que le servo-moteur s'arrête, il devrait être MN car

$$M_1N_1 = AP(\text{tg } \theta + \text{tg } \varphi)$$

il est donc trop petit. Donc l'écart de vitesse (levée de *a*) l'emporte sur l'accélération (levée de *b*), et le point *c* étant soulevé comme *a*, le servo-moteur continue à fermer.

On montrerait de même que l'arrêt du servo-moteur ne peut se produire après que l'admission (*c*) a été atteinte.

Le régulateur assure donc un réglage parfait ; il réalise du premier coup la nouvelle admission sans oscillations de vitesse. Cette conclusion est évidemment théorique ; elle suppose que la liaison du point *c* au vannage satisfait à la relation (I) établie précédemment. Pratiquement, si cette liaison est incorrecte, le réglage ne sera plus parfait.

Une étude plus approfondie du fonctionnement du régulateur, (Voir étude parue dans les numéros des 25 mai et 1<sup>er</sup> juin 1918 de la R. G. E.) montre que :

1° Si le point *c* est trop près de *b*, il y a une grande période de réglage suivie d'une série de petites périodes de même sens que la première.

2° Si le point *c* est trop près de *a*, il y a une grande période de réglage suivie d'une seconde période de réglage en sens inverse. Les périodes suivantes sont ensuite, soit de même sens que la seconde (si l'erreur sur la position de *c* est faible), soit alternativement de sens inverse et de même sens (si l'erreur est importante).

On peut donc ainsi, en regardant fonctionner le régulateur, déduire pour chaque charge la modification à apporter à la liaison du point *c* au vannage, et déterminer expérimentalement la condition qui donne le réglage parfait sans oscillation de vitesse.

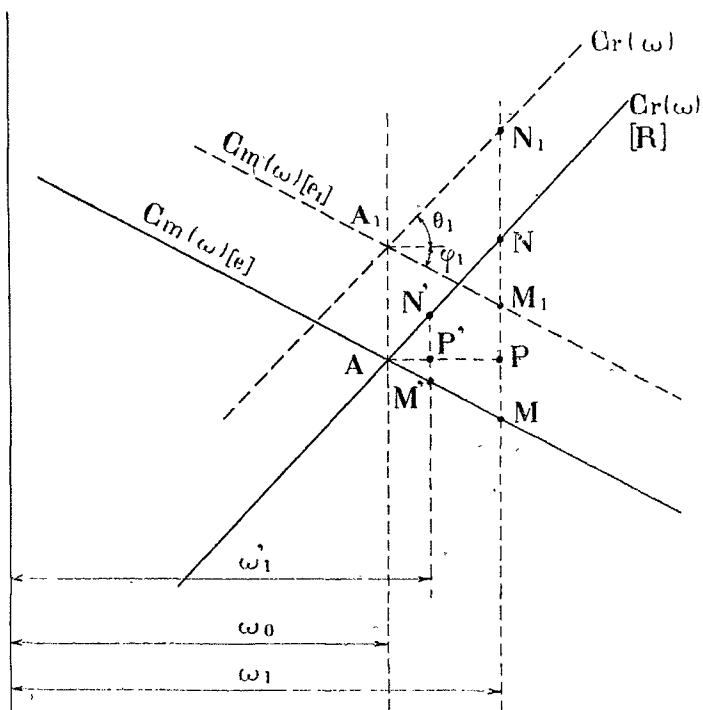


FIG. 4. — MÉCANISME DU RÉGLAGE AU COURS D'UNE PERTURBATION

En résumé, le nouveau régulateur présente les avantages suivants :

1° RÉGLAGE EXTRA RAPIDE. — L'admission à réaliser est, en effet, atteinte directement et si la vitesse de manœuvre du vannage est fixée, le nouveau régulateur réalise le réglage le plus rapide qu'on puisse obtenir.

2° SUPPRESSION DES OSCILLATIONS DE VITESSE. — Le réglage se fait sans oscillations ou, plutôt, il n'y a qu'une demi-oscillation dont l'amplitude est d'ailleurs fixée quel que soit le type de régulateur lorsqu'on se donne les dimensions du volant et la vitesse de manœuvre du vannage ;

3° GRANDE FACILITÉ DE MISE AU POINT. — Qualité permettant, d'une façon très simple, de réaliser expérimentalement la condition qui donne un réglage parfait ;

4° GRANDE SENSIBILITÉ. — La mise en action du servomoteur est commandée par l'accélération qui est maximum au début de la perturbation. Elle est donc plus rapide que dans les régulateurs indirects ordinaires où elle est provoquée seulement par l'écart de vitesse, qui, partant de zéro, met un certain temps pour prendre une valeur suffisante pour vaincre les résistances passives du mécanisme.

## UTILISATION des BASSES CHUTES à GRAND DÉBIT en Amérique

### L'USINE HYDRO-ELECTRIQUE DE KEOKUK

L'usine hydro-électrique de Kéokuk, d'une puissance de 300.000 chevaux, a été construite, en 1913, par la MISSISSIPPI RIVER POWER COMPANY. Située sur le Mississippi, près du confluent de la Rivière des Moines, elle utilise une chute de 9<sup>m</sup>75, créée par un barrage de 1.304 mètres de longueur disposé en travers du fleuve. Une ligne d'une longueur de 232 kilom. transporte l'énergie à Saint-Louis, sous une tension de 110.000 volts.

BARRAGE. — La partie utilisée est le « Rapide des Moines » qui, sur une distance de 20 kilomètres, donne une différence de niveau de 7 mètres. La vallée se resserre à l'emplacement de l'usine où sa largeur est d'environ 1.600 mètres au lieu de 8 à 15 kilomètres en amont et en aval. La profondeur moyenne du fleuve est de 2,140 mètres dans cette gorge. Le débit est de 566 mètres cubes en basses eaux et de 10.500 mètres à la seconde, en temps de crues.

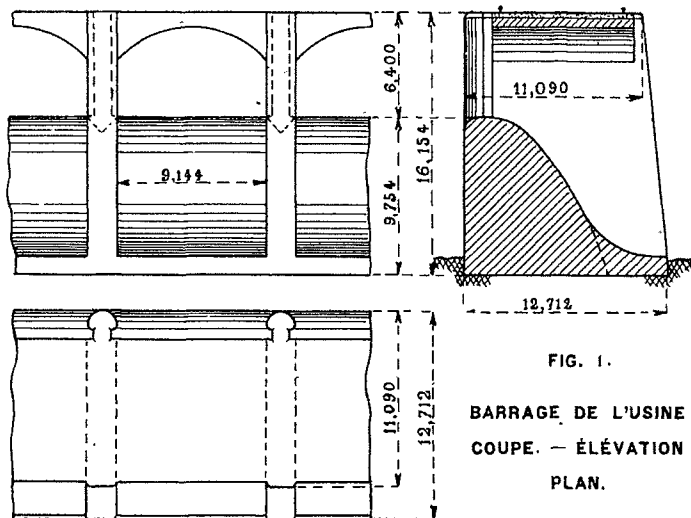


FIG. 1.

BARRAGE DE L'USINE  
COUPE. — ÉLEVATION  
PLAN.

Le barrage est constitué par une structure principale en béton, d'une longueur de 1.304 mètres, composée de 119 arches supportées par des piles de 1<sup>m</sup>82 de largeur, et espacées de 9<sup>m</sup>14 (fig. 1). Les seuils en maçonnerie, à la hauteur de la retenue normale, sont surmontés de vannes métalliques glissantes manœuvrées par grues électriques mobiles à la partie supérieure de l'ouvrage. L'établissement de ce barrage et de l'usine hydro-électrique a nécessité la construction de batardeaux. Le barrage est construit en ciment et a la forme parabolique des barrages déversoirs. Il forme un lac de 260 kilomètres carrés de superficie et d'une longueur de 96 kilomètres. La culée Est a une longueur de 88 mètres, la culée Ouest 24<sup>m</sup>70. La hauteur totale de l'ouvrage est de 15<sup>m</sup>85, sa largeur est de 8<sup>m</sup>84 au sommet, 12<sup>m</sup>80 à la base.

Le Congrès de 1905 a imposé à la Compagnie, la construction d'une cale sèche et d'une écluse remplaçant le canal en service jusqu'alors. Cette écluse a une longueur de 132 mètres et une hauteur de 33<sup>m</sup>55. Elle permet de racheter une différence de niveau de 13 mètres pour laquelle le canal était pourvu de trois écluses. Les portes supérieures de cette écluse, qui sont doubles, sont du type flottant, à commande par l'air comprimé. La porte inférieure est constituée par deux battants de 15 x 20 mètres, d'un poids unitaire de 300 tonnes.