

**EXPROPRIATION DANS L'INTÉRÊT PUBLIC.** — Mais que l'on résolve le problème dans tout son ensemble, ou partiellement, il faut examiner maintenant la question de savoir s'il est de l'intérêt public que l'Etat exproprie toute l'industrie électrique privée.

Le principe de l'expropriation exige en effet ces deux éléments, la juste indemnité et l'intérêt public.

Le projet de loi estime que l'intérêt public exige l'expropriation de toutes les usines privées. Il est vrai qu'il rejette généreusement le fardeau de l'indemnité à payer sur les générations futures dans soixante-quinze ans, tout en réduisant ce fardeau comme nous l'avons vu au quart, espérant que ce détour ingénieux sera accepté à la fois par les citoyens qui paieront et qui ne sont pas nés et par les propriétaires actuels, heureux de n'être dépouillés que dans soixante-quinze ans. Mais s'il y avait un véritable intérêt public engagé dans cette expropriation, c'est tout de suite qu'il faudrait y procéder.

Cet intérêt public existe-t-il vraiment ? Le motif d'uniformité de régime de toutes les chutes d'eau ne nous paraît pas valable. Cela satisfait les esprits théoriques. Mais la variété des conditions de création et d'exploitation des chutes d'eau cadre mieux avec la variété des conditions de l'emploi de cette merveilleuse force électrique.

Le seul intérêt public est que notre richesse cachée en houille blanche soit mise en valeur le plus tôt possible, et dans les conditions de rendement le meilleur. Il suffit donc que la nouvelle loi assure à tous les propriétaires des droits de riveraineté la faculté d'aménager les chutes d'eau qui leur appartiennent, comme le réglait le projet de loi de 1906. La hausse du prix de l'électricité qui durera tant que la houille sera chère, ce qui existera encore plusieurs années après la guerre, attirera certainement de nombreux capitaux à l'industrie électrique.

Mais nous irons plus loin, et nous concéderons volontiers à l'Etat le droit d'expropriation dans un certain nombre de cas bien déterminés et qui seraient :

1° Lorsqu'il s'agit de créer une usine destinée pour la grande part à alimenter des services publics, comme c'est déjà reconnu actuellement ;

2° Lorsqu'il s'agit d'aménager l'ensemble d'un cours d'eau dans des conditions meilleures que celles qu'ont employées des usines isolées les unes des autres ;

3° Lorsqu'il s'agit de rendre navigable un cours d'eau actuellement classé comme non navigable ;

4° Lorsque des propriétaires refuseraient d'aménager une chute d'eau dans une région qui manquerait de force électrique.

Il est une dernière considération qui existe dans beaucoup d'esprits. Quand la houille sera épuisée sur le globe, la valeur des chutes d'eau dépassera toute imagination, et il est injuste pour la collectivité de réserver cette énorme plus-value aux quelques propriétaires actuels de chutes d'eau. Ce raisonnement suppose que la quantité de force hydraulique sur la terre sera inférieure à la somme des besoins de l'humanité. Mais nous nous trouverons alors dans le cas où une chose nécessaire est en quantité déficitaire. L'Etat sera alors sûrement obligé d'intervenir pour établir le rationnement. Nous avons trop vu de ces problèmes posés par la guerre. Quand l'Etat sera en face de cette éventualité, il fera bien d'exproprier. Mais le faire des siècles d'avance, sous prétexte de payer moins cher, serait une spéculation d'un profit douteux.

En attendant, rendre l'Etat propriétaire de toutes les chutes

d'eau, c'est risquer la paralysie d'une industrie que l'initiative individuelle ne demande qu'à développer.

**CONCLUSIONS.** — En résumé, nous pensons qu'en ce qui concerne les chutes d'eau, appartenant à l'Etat, le projet de loi doit être approuvé sous le bénéfice des observations présentées ci-dessus, notamment en faveur de la navigation.

Mais qu'en ce qui concerne les chutes d'eau appartenant à des particuliers, il doit être profondément remanié en y introduisant franchement le principe de l'expropriation avec indemnité et dans les cas où l'intérêt public l'exige, ces cas étant d'ailleurs étendus au delà de la pratique actuelle, et en donnant aux propriétaires des droits de riveraineté non expropriés les facilités prévues dans le projet de loi de 1906 pour leur permettre de mettre leurs chutes en valeur.

\*\*\*

La Chambre de Commerce de Lyon adoptant en ses termes et conclusions ce Rapport, a décidé son envoi aux Ministres : du Commerce et de l'Industrie ; des Travaux publics ; des Finances ; et à toutes les Chambres de commerce de France.

## SUR LE FRACTIONNEMENT DES CHUTES D'EAU

EXTRAIT DE

L'ELETTRONECICA (25 juillet 1917). — PAGLIARO

Le développement intense pris par les industries hydro-électriques rend nécessaire l'exposition de certaines considérations d'ordre économique relatives aux installations de chutes d'eau en vue de la production de l'énergie électrique. Il a souvent été répété qu'étant donné une certaine différence de niveau entre le point de captage des eaux et le point de leur transformation en énergie électrique, il convient toujours d'établir entre les deux points extrêmes une seule conduite, canaux ou conduites forcées à un ou plusieurs éléments, de façon à pouvoir utiliser la totalité de l'énergie de la chute dans une centrale unique comportant un ou plusieurs groupes électrogènes.

La valeur d'une telle règle n'est pas démontrée. Nous montrerons, au contraire, au cours de cette étude, que, dans certains cas, elle ne correspond pas au maximum d'économie. Il peut se faire qu'en divisant la chute totale en deux ou plusieurs fractions reliées en série, on puisse obtenir une installation plus économique que celle comportant une centrale unique.

Les principaux éléments qui entrent en ligne de compte dans la comparaison économique des deux solutions sont :

Les Travaux hydrauliques. — Les Conduites forcées. — Les Centrales. — Les Groupes électrogènes. — Les Lignes de connexion des centrales.

Si l'on adopte la solution à centrale unique, le prix des conduites forcées augmente ; si l'on adopte la solution des centrales multiples en série, le coût des conduites forcées diminue, mais par contre le prix des centrales augmente et un nouveau chapitre relatif aux transformateurs et aux lignes de connexion apparaît.

Nous nous proposons de déterminer analytiquement la limite économique qui sépare les différentes solutions :

Soit une chute  $A B = H$ . Nous supposons la pente uniforme entre les deux niveaux ; cette hypothèse ne retire d'ailleurs rien à la généralité du problème et le simplifie considérablement.

Le débit et la perte maxima que l'on ne veut pas dépasser permettent de déterminer le diamètre  $d$  de la conduite. Pour des pressions élevées et de grands diamètres, celle-ci sera constituée par des tubes d'acier, le ciment armé ne donnant pas de bons résultats pour des pressions supérieures à trois ou quatre atmosphères (1).

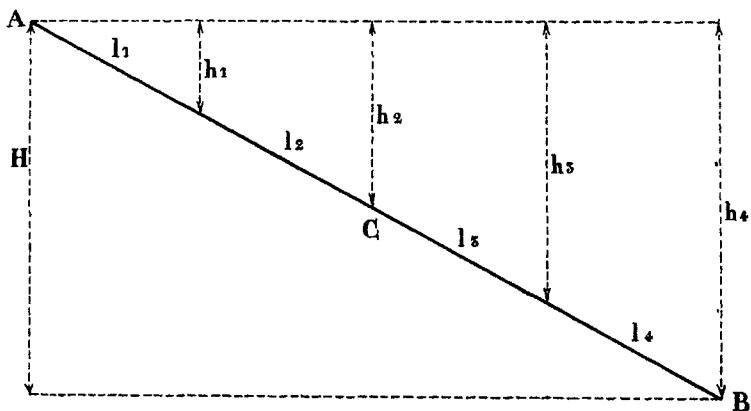
Dans ces conditions, l'épaisseur des tubes de la conduite devra être supérieure, ou au moins égale, à la valeur donnée par la relation :

$$s = \frac{h \cdot d}{2\sigma}$$

ou sous une forme plus commode, en exprimant  $h$  en mètres d'eau,  $s$  en millimètres et prenant pour charge de sécurité 7 kgs par  $\text{mm}^2$  :

$$s = 0,0714 \cdot h \cdot d.$$

Lorsque la valeur de  $h$  augmente au fur et à mesure que l'on descend dans la conduite, l'épaisseur  $s$  augmente proportionnellement. Comme il est pratiquement impossible



de construire des tubes d'épaisseur progressivement croissante, on divise la chute AB en un certain nombre  $n$  de tronçons, chacun d'eux ayant une épaisseur uniforme et égale à l'épaisseur correspondant à la pression au niveau de la partie inférieure du tube. Dans la figure ci-dessous pour concrétiser cette idée, nous avons supposé  $n = 4$ .

Le poids d'un mètre courant de conduite est donné par l'expression :  $p = \pi \cdot d \cdot s \cdot \delta \cdot 10^3$ .

Remplaçons  $s$  par la valeur obtenue précédemment, nous obtenons pour  $p$  la valeur :  $p = 1,72 h \cdot d^2$ .

ou, approximativement, et en tenant compte des joints :  $p = 2 h \cdot d^2$ .

Il en résulte que le poids total de la conduite sera égal à  $P = \sum pl = 2 d^2 (h_1 l_1 + h_2 l_2 + \dots + h_n l_n)$

Pour simplifier la solution nous supposons :

$$h_1 = \frac{h_2}{2} = \dots = \frac{h_n}{n}$$

et

$$l_1 = l_2 = \dots = l_n = \frac{L}{n}$$

L'expression donnant le poids total de la conduite devient alors

$$P = 2 d^2 \frac{L}{n} (h_1 + 2 h_2 + \dots + n h_n) = d^2 L h_1 (n + 1) = d^2 L H \frac{n + 1}{n}$$

Soit  $K$  le prix du kilogramme de conduite, le coût total de la conduite sera en francs :

(1) Il semble en effet qu'au-dessus de cette limite les modifications physico-chimiques nécessaires pour assurer la parfaite étanchéité de la conduite ne se produisent plus.

$$S_1 = \frac{n + 1}{n} K H L d^2$$

Supposons maintenant la hauteur totale divisée en deux chutes avec une centrale en un point intermédiaire C (à l'extrémité du  $M^{\text{me}}$  tronçon) et une seconde centrale au niveau inférieur B).

Déterminons le prix des conduites :

Pour la chute AC le prix sera, en opérant comme ci-dessus :

$$S' = K_2 d^2 \frac{H L}{n^2} \frac{m(m + 1)}{2} = K d^2 H L \frac{m(m + 1)}{n^2}$$

Pour la chute CB, nous observons qu'en aval de la centrale C, la pression est évidemment nulle ; le prix de la conduite sera donc :

$$S'' = K d^2 H L \frac{(n - m + 1)(n - m)}{n^2}$$

Le prix total des conduites sera

$$S_2 = S' + S'' = K d^2 \frac{H L}{n^2} \left[ m(m + 1) + (n - m + 1)(n - m) \right]$$

Pour simplifier supposons :  $m = \frac{n}{2}$

$$S_2 = K d^2 \frac{H L}{n^2} \left[ \frac{n}{2} \left( \frac{n}{2} + 1 \right) + \left( \frac{n}{2} + 1 \right) \frac{n}{2} \right] = K d^2 H L \frac{n + 2}{2n}$$

Comparant ce prix  $S_2$  au prix  $S_1$ , nous remarquons une forte différence.

En effet, le rapport

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{\frac{n + 2}{2n}}{\frac{n + 1}{n}} = \frac{n + 2}{2(n + 1)}$$

a une valeur supérieure à  $\frac{1}{2}$  et qui tend vers cette limite lorsque  $n$  augmente.

Si, par exemple, nous supposons  $n = 4$ , l'économie réalisée sur le prix des conduites par le fractionnement de la chute totale en deux chutes sera de 60 pour cent.

D'autre part, la solution des centrales multiples entraîne une augmentation des frais due à d'autres éléments. Il sera nécessaire, en effet, d'établir une ligne de connexion entre les deux centrales, ligne dont la longueur sera égale à environ  $\frac{L}{2}$  et qui entraînera une dépense supplémentaire

$$C = c \frac{L}{2} 10^3$$

$c$  représentant le prix du kilomètre de ligne.

En ce qui concerne le fractionnement des groupes électrogènes, on remarquera que leur prix est sensiblement proportionnel à la puissance développée ; par conséquent, la dépense occasionnée par ce chapitre dans le cas de la centrale unique ou des centrales multiples est la même. Il n'en est naturellement pas de même pour la construction et l'équipement des centrales, en comprenant également dans l'équipement les transformateurs de tension avec leurs cabines.

Soient alors :  $G$  le prix des groupes hydroélectriques ;  $F_1$  le prix de la centrale unique ;  $F_2$  le prix de chacune des deux centrales en série. —  $C$  le prix de la ligne de connexion :

Dans le premier cas (chute unique), la dépense totale s'élève à :

$$Q_1 = K \frac{n + 1}{n} H L d^2 + G + F_1 = S_1 + G + F_1$$

et dans le second cas (deux centrales en séries) :

$$Q_2 = K \frac{n + 2}{2n} H L d^2 + G + 2 F_2 + C$$

ou encore, avec une approximation suffisante :

$$Q_2 = \frac{1}{2} S_1 + G + 2 F_1 + C$$

La différence des frais d'installation, ou économie réalisée par l'un des deux systèmes sur l'autre, sera égale à :

$$Q_1 - Q_2 = \frac{1}{2} S_1 - (F_1 + C)$$

qui est la relation fondamentale servant de base au choix entre la solution à centrale unique et la solution à deux centrales en série par substitution des valeurs numériques aux symboles.

Nous ferons observer qu'en général pour des grandes chutes on a toujours  $\frac{1}{2} S_1 > (F_1 + C)$  et par suite, il est plus avantageux, dans ce cas, de fractionner la puissance.

Dans un important projet, l'auteur a pu constater récemment l'exactitude de cette théorie qu'il vient d'exposer sommairement.

Mais l'étude de la question ne s'arrête pas là. Il convient en effet d'examiner le cas de trois, quatre... centrales en série. — Le calcul se conduit aisément, de la même façon que précédemment. Dans le cas de trois centrales, nous supposons la première établie à l'extrémité du M<sup>me</sup> tronçon, la seconde à l'extrémité du R<sup>me</sup> tronçon et la troisième toujours au point B, niveau inférieur.

Le prix des conduites s'élève alors à :

$$S_3 = K d^2 \frac{H L}{n^2} \times [m(m+1) + (r-m+1)(r-m) + (n-r+1)(n-r)]$$

En supposant  $m = \frac{r}{2} = \frac{n}{3}$  cette expression se réduit à :

$$S_3 = K d^2 \frac{H L}{n^2} 3 \left(\frac{n}{3} + 1\right) \frac{n}{3} = K \frac{n+3}{3n} H L d^2$$

Finalement pour un nombre quelconque  $x$  de centrales équidistantes, le prix des conduites est

$$S_x = K \frac{n+x}{nx} K L d^2$$

Pour mieux concrétiser cette étude, nous donnerons un exemple pratique. Soit une chute de 300 mètres, dont le débit est de 15 mètres cubes à la seconde. Supposons la pente uniforme pour toute la longueur de 3 km. des conduites. Une certaine perte totale ayant été fixée au moyen des formules de Darcy, Lévy, Flamand, Vallot, etc., on détermine le diamètre  $d$  que nous supposons de 2 ms.

Supposons d'abord une centrale unique. La conduite sera constituée par dix tronçons ( $n = 10$ ) égaux.

Les épaisseurs respectives des divers tronçons seront :

1 <sup>er</sup> tronçon.....	7 <sup>m/m</sup>	6 <sup>e</sup> tronçon.....	26 <sup>m/m</sup>
2 <sup>e</sup> » .....	8 »	7 <sup>e</sup> » .....	30 »
3 <sup>e</sup> » .....	13 »	8 <sup>e</sup> » .....	34 »
4 <sup>e</sup> » .....	17 »	9 <sup>e</sup> » .....	38 »
5 <sup>e</sup> » .....	22 »	10 <sup>e</sup> » .....	42 »

Nous admettons, pour cette conduite forcée, un poids moyen de 1.290 kgs au mètre courant. La longueur étant de 3 kilomètres, le poids total sera de 3.870.000 kgs.

Supposons un prix (K) de 1 fr. le kg.

Coût de la conduite.....	3.870.000 fr.
Coût de la centrale unique.....	50.000 »
Equipement de la centrale.....	100.000 »
Coût total de l'aménagement.....	4.020.000 »

Prenons maintenant la solution à une centrale intermédiaire à 1500 mètres.

Pour la première chute, l'épaisseur de la conduite variera de 7 à 22 mm. avec cinq tronçons successifs. Le poids moyen sera de 750 kgs au mètre courant. Le poids de la première conduite sera donc de 1.105.000 kgs. De même le poids de la conduite de la deuxième chute sera de 1.105.000 kgs, soit un total de 2.210.000 kgs.

Les frais seront donc ainsi composés :

Conduite de 2.210.000 kgs à 1 fr. le kg.....	2.210.000 fr.
Deux centrales à 50.000 fr. l'une.....	100.000 »
Equipement de la centrale intermédiaire (y compris le transformateur).....	250.000 »
Equipement de la centrale terminale.....	100.000 »
Ligne de connexion des deux centrales, 1500 mètres à 20.000 fr. le kilomètre.....	30.000 »
Coût total de l'aménagement.....	2.690.000 »

Comparant ce prix avec le précédent relatif à l'installation d'une chute unique, nous trouvons en faveur de la solution à une centrale intermédiaire, une économie de 1.330.000 fr. et cependant certains des prix relatifs à cette dernière installation sont nettement exagérés.

L'économie est encore plus grande, particulièrement lorsque la pente n'est pas uniforme entre les deux niveaux A et B. On peut, en effet, dans ce cas, établir la centrale intermédiaire après une chute rapide en conduite forcée et avant un parcours à faible pente. De cette façon, il est parfois possible d'adopter, pour ce parcours, un canal ouvert précédant la deuxième conduite forcée.

Envisageons maintenant l'hypothèse de deux centrales intermédiaires : Supposons les trois centrales équidistantes et divisons chaque conduite en trois tronçons. L'épaisseur sera de 7 mm. pour le premier tronçon, de 12 mm. pour le second et de 17 mm. pour le troisième. Le poids moyen sera de 670 kgs au mètre courant, soit 670.000 kgs par conduite et un total de 2.010.000 kgs. pour l'ensemble.

Le prix de l'installation s'établira ainsi :

Conduite 2.010.000 kgs à 1 fr. le kg.....	2.010.000 fr.
Trois centrales à 50.000 fr. l'une.....	150.000 »
Equipement des deux centrales intermédiaires à 200.000 fr. l'une.....	400.000 »
Equipement de la centrale terminale.....	100.000 »
Lignes de connexion entre la 1 <sup>re</sup> et la 2 <sup>e</sup> centrale et entre la 2 <sup>e</sup> et la 3 <sup>e</sup> centrale, 2 km. à 20.000 fr. le km.....	40.000 »
Coût total de l'aménagement.....	2.700.000 fr.

De la comparaison de ce prix avec le précédent, il résulte que la solution la plus économique est celle qui présente une seule centrale intermédiaire.

Il peut cependant se produire parfois que les frais d'installation d'un système à un certain nombre de centrales soient légèrement plus faibles que ceux correspondant à un nombre de centrales moindre. Mais il ne faut alors pas oublier qu'un petit avantage économique de l'installation peut ne pas compenser ni l'accroissement des dépenses occasionnées par le service des centrales en nombre plus grand, ni la perte résultant du fractionnement de la puissance et des lignes de connexion.

En outre, dans un examen complet de la question, il conviendrait de tenir également compte de la diminution du

rendement occasionnée par le fractionnement, soit par suite d'une plus faible puissance unitaire des machines, soit par suite des pertes d'énergie résultant du fractionnement et des lignes de connexion. Cette diminution est cependant d'un ordre assez faible, et peut être parfaitement justifiée lorsque, comme dans l'exemple cité ici, elle conduit à une économie de 1.330.000 fr., soit environ 32 pour cent des frais d'installation.

Pierre GUIEU,

*Ingénieur, Ancien Elève de l'École de Physique  
et de Chimie de Paris.*

## LA NOUVELLE INDUSTRIE DU VERRE SA FABRICATION ÉLECTROTHERMIQUE

*Sous ce titre, notre collaborateur M. Jean ESCARD, lauréat de l'Institut et de la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale, va publier une nouvelle édition de son livre sur la fabrication du verre et ses applications. Nous ne doutons pas que la faveur avec laquelle l'accueilleront de nombreux lecteurs dépasse encore le succès de la première à laquelle nos colonnes avaient d'ailleurs déjà fait des emprunts.*

*Cela nous conduit à donner ci-après des extraits de la partie nouvelle de l'édition sous presse, concernant les nouveaux fours électriques à fondre le verre, à fabriquer le quartz fondu, et les applications de ce nouveau produit.*

### LA FABRICATION ÉLECTROTHERMIQUE

La fabrication du verre au four électrique est une des plus récentes applications de cet appareil. Cette opération exige l'emploi d'une source d'énergie calorifique considérable, de dispositifs permettant d'empêcher les impuretés de la combustion de se mélanger à la masse fondue, afin d'obtenir un produit doué d'une transparence parfaite, au moins lorsqu'il s'agit de verres de bonne qualité.

Le four électrique produisant une quantité de chaleur beaucoup plus grande que celle que l'on peut obtenir par n'importe quel autre procédé était tout indiqué pour la préparation du verre. Les découvertes de Nernst sur la conductibilité des terres chauffées à un certain degré de température ont permis de développer et de perfectionner les procédés de fabrication du verre par l'électricité que nous allons étudier. L'utilisation des chutes d'eau permettant, en outre, d'installer des usines dans des conditions économiques et dans des régions éloignées des centres producteurs de combustible, donne de plus à cette importante question un véritable intérêt.

**HISTORIQUE.** — L'idée première de la fabrication du verre au moyen de l'énergie électrique est due à Reich (1881). Dans le brevet qu'il prit à Berlin, il spécifiait que son procédé consistait à faire tomber le mélange des matières premières à travers un tamis de fils de platine portés au rouge par le

passage d'un courant électrique ; le four qu'il employait était ainsi du type à résistance et comprenait principalement un creuset de charbon ouvert à sa partie inférieure et garni intérieurement d'un réseau de fils de platine ; le mélange qui traversait le creuset était fondu par la chaleur développée et tombait dans des récipients disposés à la partie inférieure de l'appareil. Ce four n'a reçu, jusqu'ici, aucune application véritablement industrielle ; il possédait, du reste, l'inconvénient de dépenser une grande quantité d'énergie électrique pour une faible production de verre et, en outre, le liquide fondu venait, à chaque instant, obstruer les espaces destinés à son écoulement, rendant ainsi la marche irrégulière et défectueuse. Par contre, le verre produit dans ces conditions possédait la qualité importante d'être clair et transparent, aucune impureté ne venant le souiller au moment de sa fusion et de son écoulement dans les auges d'affinage.

Le procédé Askensy, qui date de 1896, repose sur un principe différent et avait comme but principal de former une sorte de couverte sur les briques et les tuiles en les soumettant à l'action de l'arc électrique ; la chaleur développée par ce procédé faisait, en effet, fondre une certaine épaisseur de la couche externe de la brique en la transformant en une masse vitreuse plus ou moins homogène, mais suffisamment imperméable et dure pour supprimer la porosité de la brique et lui donner l'aspect de la porcelaine.

**FOURS BECKER.** — En 1899, une Société se constitua à Cologne dans le but de préparer et de travailler le verre par l'électricité, d'une façon pratique par l'application des procédés Becker.

Les essais ont porté successivement sur trois types de fours, à plusieurs paires d'électrodes formant des arcs disposés en gradins, entre lesquels descendait en fondant le mélange vitrifiable.

Le fonctionnement de ces fours fut défectueux, les arcs éclatant tantôt au sein même du mélange, tantôt en dehors. On abandonna donc rapidement ce système et l'on en revint aux fours ordinaires à arcs en s'attachant surtout à les perfectionner par un bon rendement.

C'est ici que se placent les essais effectués par Becker, Bronn et Völker. Bien que ces expériences de laboratoire, faites sur une grande échelle, n'aient pas encore donné de résultats assez satisfaisants pour qu'ils soient immédiatement applicables à la production industrielle du verre, elles méritent cependant d'être étudiées par suite de l'intérêt qu'elles présentent et de l'avenir qui semble leur être réservé.

L'usine électrique, dont une faible partie seulement de l'énergie était destinée aux essais de fusion, possède deux alternateurs triphasés de 500 chevaux, excités chacun par une dynamo à courant continu de 120 volts ; le laboratoire d'essai comprend un tableau amenant le courant à trois transformateurs abaissant la tension à 120 volts ; un second tableau sert à la mise en marche des fours électriques, chaque appareil n'utilisant qu'une phase de l'alternateur.