

# CAPACITÉ DES RÉSEAUX ELECTRIQUES

ET

## SÉCURITÉ DES PERSONNES

---

Note de M. E. DESSALLES

Ingénieur au Corps des Mines, Ingénieur électricien.

---

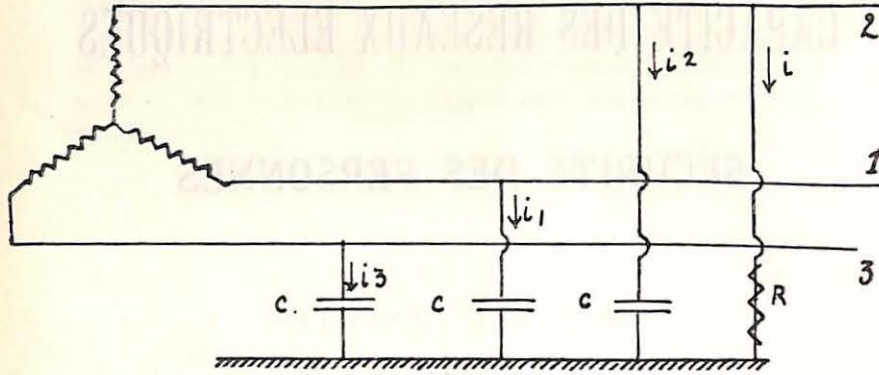
A la suite de l'étude sur les Accidents dûs à l'Electricité, faite par M. le Directeur général Libert, dans la deuxième livraison de 1914 des *Annales des Mines de Belgique*, j'avais, dans une communication à la section de Charleroi de l'Association des Ingénieurs de Liège, examiné la mise à la terre du point neutre dans les installations triphasées et l'emploi des limiteurs de tension.

Pour diverses raisons, cette étude n'a pas encore été publiée ; le nouvel article de M. Libert paru dans la première livraison de 1919 des *Annales des Mines* m'engage à en exposer une partie dès maintenant.

Je me propose, dans ce qui suit, de déterminer l'étendue que peuvent atteindre les lignes aériennes ou souterraines, de capacité moyenne, sans que la capacité totale soit cause de danger pour les personnes.

Je limiterai cette étude aux tensions et aux fréquences habituellement en usage dans notre pays. Je prends comme base de ce travail des conclusions qui ressortent de celui de M. Libert, c'est-à-dire qu'on doit considérer comme mortel un courant de 0,1 d'ampère et que la résistance du corps humain peut parfois descendre jusqu'à 1.000 ohms, de sorte qu'on peut considérer comme dangereuse une tension alternative efficace égale à  $0,1 \times 1.000 = 100$  volts ( $I_e \times R$ ).

Cela étant, soit un réseau à point neutre isolé figuré schématiquement par le croquis 1, dont les fils possèdent, par rapport à la

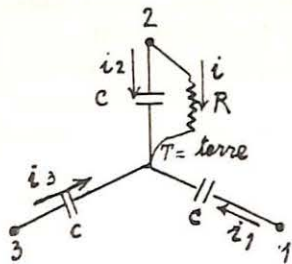


CROQUIS 1.

terre, des capacités  $c_1 = c_2 = c_3 = c$ ; ces capacités sont figurées schématiquement au croquis. Des courants  $i_1, i_2, i_3$  chargent et déchargent ces capacités; si une personne  $R$  touche un fil, par exemple le fil 2 et la terre, un courant  $i$  traverse cette personne.

Le schéma 1 peut évidemment se remplacer par le schéma 2.

L'application des lois de Kirchoff fournit immédiatement les relations suivantes :



CROQUIS 2.

Par addition de (2), (3) et (4), on obtient :

$$3ir - \frac{1}{c} \int (i_1 + i_2 + i_3) dt = v_{21} + v_{23} \quad (5)$$

mais de (1), on tire :  $i_1 + i_2 + i_3 = -i$ , d'où (5) devient (6), en tenant compte de ce que  $v_{21} = -v_{12}$  :

$$3ir + \frac{1}{c} \int i dt = v_{23} - v_{12} \quad (6)$$

$$i + i_1 + i_2 + i_3 = 0 \quad (1)$$

$$ir - \frac{1}{c} \int i_2 dt = 0 \quad (2)$$

$$ir - \frac{1}{c} \int i_1 dt = v_{21} \quad (3)$$

$$ir - \frac{1}{c} \int i_3 dt = v_{23} \quad (4)$$

De l'égalité instantanée (6), on passe à l'équation vectorielle :

$$3r I_{ef} + \frac{I_{ef}}{2\pi fc} = \bar{V}_{23} - \bar{V}_{12} \quad (7)$$

dans laquelle on sait que  $\frac{I_{ef}}{2\pi fc}$  est déphasée de  $90^\circ$  par rapport à  $rI_{ef}$ ; cela étant, nous pouvons construire l'équation (7).

Le triangle rectangle OBC montre que :

$$9R^2 I_{ef}^2 + \frac{I_{ef}^2}{4\pi^2 f^2 c^2} = 3V^2 \quad (8)$$

D'où :

$$I_{ef} = \frac{V\sqrt{3}}{\sqrt{9R^2 + \frac{1}{4\pi^2 f^2 c^2}}} \quad (9)$$

Or, pour que la tension appliquée à l'homme ne soit pas dangereuse, il faut que  $I_{ef} \times R$  soit  $\leq 100$  volts; ou :

$$I_{ef} \times R = \frac{\sqrt{3} V \times R}{\sqrt{9R^2 + \frac{1}{4\pi^2 f^2 c^2}}} \leq 100 \quad (10)$$

$$\text{d'où : } 3V^2 R^2 \leq 90000R^2 + \frac{10000}{4\pi^2 f^2 c^2} \quad (11)$$

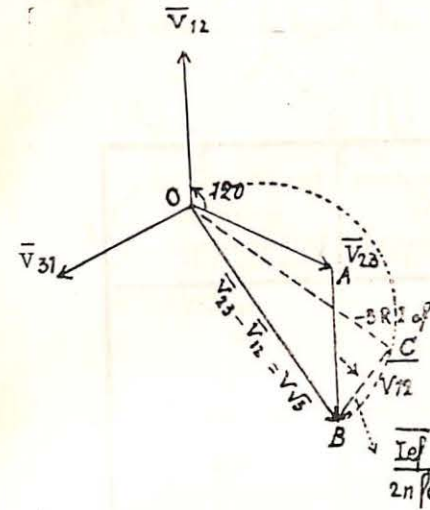
$$\text{par suite : } 10000 \leq (3V^2 R^2 - 90000R^2) 4\pi^2 f^2 c^2 \quad (12)$$

$$\text{et } c \leq \frac{100}{2\pi f R \sqrt{3V^2 - 90000}} \quad (13)$$

soit  $f = 50, R = 1000$  :

$$c \leq \frac{100}{2 \times 3.14 \times 50 \times 1000 \sqrt{3V^2 - 90000}} \quad (14)$$

$$\text{ou } c \leq \frac{1}{3140 \sqrt{3V^2 - 90000}} \quad (15)$$



Appliquons cette formule aux tensions 220, 550, 1,000, 3,000 et 6,000 volts et comme ces lignes aériennes ont des capacités par rapport à la terre qui varient souvent entre 0,01 et 0,02 microfarad par kilomètre et que les câbles souterrains ont des capacités, par rapport à la terre, environ 10 fois plus grandes, j'adopterai pour les exemples suivants :

- a) Pour les lignes aériennes : 0,015 microfarad de capacité par kilomètre ;
- b) Pour les câbles : 0,15 microfarad.

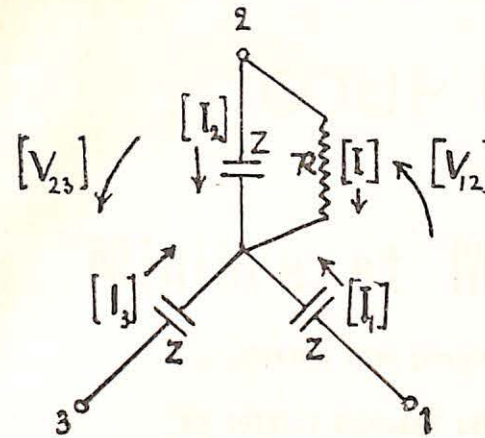
Tensions en volts	Capacité dangereuse en microfarads	Longueur des lignes aériennes (0,015 microfarad/kil.)	Longueur des lignes souterraines (0,15 microfarad/kil.)
220	$c \leq 1,35$	kilomètres 90	kilomètres 9
550	$c \leq 0,36$	24	2,4
1000	$c \leq 0,19$	12,6	1,26
3000	$c \leq 0,06$	4	0,4
6000	$c \leq 0,03$	2	0,2

De ce tableau, il résulte qu'il est toujours *extrêmement dangereux* de toucher même un seul fil, dans les réseaux à haute tension et que bien des accidents peuvent s'expliquer par le rôle que jouent les capacités.

Dans les réseaux où  $f = 25$ , il résulte de la formule (13) que les capacités des réseaux pourraient être doubles de celles indiquées dans le tableau précédent.

N. D. L. R. — M. le Professeur O. De Bast, Directeur de l'Institut Electrotechnique Montefiore à l'Université de Liège, à qui nous avons communiqué la note qui précède, ajoute l'observation suivante :

Le calcul de M. Dessalles est évidemment plus rigoureux que le mien, la capacité du conducteur touché constituant pour la personne un shunt susceptible de diminuer dans une certaine mesure le danger.



L'application de la méthode symbolique donne, quand on tient compte de cette capacité,

$$\begin{aligned} [V_{12}] &= [I_1] Z - [I] R, \\ [V_{23}] &= [I] R - [I_3] Z, \\ [I] R - [I_2] Z &= 0, \\ [I] + [I_1] + [I_2] + [I_3] &= 0. \end{aligned}$$

En retranchant la première équation de la deuxième, remplaçant dans le résultat  $[I_1] + [I_3]$  par sa valeur tirée de la quatrième

et substituant ensuite à  $[I_2]$  sa valeur déduite de la troisième, il vient alors

$$[I] = \frac{[V_{23}] - [V_{12}]}{3R + Z}$$

et, par suite, comme l'indique M. Dessalles,

$$I = \frac{\sqrt{3} V}{\sqrt{9R^2 + \frac{1}{a^2 c^2}}}$$

au lieu de

$$I = \frac{\sqrt{3} V}{\sqrt{4R^2 + \frac{1}{a^2 c^2}}}$$