

# Schémas électriques équivalents des armures des câbles

Autor(en): **Benoît, B.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **65 (1974)**

Heft 24

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-915474>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Schémas électriques équivalents des armures des câbles

Par B. Benoit

621.315.22.001

L'utilisation de la formule simplifiée, donnant le facteur de réduction des armures des câbles, peut conduire à des erreurs importantes lors des calculs de construction. Après la définition des types d'armures utilisés en pratique, on donne les schémas équivalents et leurs zones de validité. La vérification expérimentale des schémas montre que, pour des fréquences inférieures ou égales à 125 Hz, ces derniers sont vérifiés à 8 %.

Die Anwendung der vereinfachten Formel zur Bestimmung des Reduktionsfaktors von Kabelarmierungen kann anlässlich der Aufbauberechnungen zu erheblichen Fehlern führen. Nach Erklärung der in der Praxis vorkommenden Armierungen werden die entsprechenden elektrischen Ersatzschemas und ihre Gültigkeitsbereiche angegeben. Versuche haben ergeben, dass für Frequenzen bis 125 Hz die berechneten und gemessenen Werte nicht mehr als 8 % voneinander abweichen.

## 1. Introduction

L'armure<sup>1)</sup> d'un câble se compose généralement d'une gaine d'étanchéité conductrice (Pb), de feuillards (C) et de méplats de traction en acier (F), soit, selon la notation conventionnelle: Pb-CF. Pour le calcul du facteur de réduction de l'armure, on utilise généralement la relation:

$$r_k = \frac{R_g}{\sqrt{R_g^2 + X^2}}$$

avec:

$R_g$  résistance en courant continu de tous les composants de l'armure connectés en parallèle,  $\Omega/\text{km}$ .

$X$  partie inductive de l'impédance tenant compte de la fréquence du courant perturbateur, de l'inductivité de l'armure et du circuit de retour du courant par la terre,  $\Omega/\text{km}$ .

Cependant, si l'on utilise cette relation pour le calcul d'optimisation «prix-performance» d'un câble du type Pb-CF, on constatera une très forte divergence entre le facteur de réduction ( $r_k$ ) calculé et le facteur de réduction mesuré, l'erreur pouvant atteindre 40 % ou plus.

Le développement du mesureur du facteur de réduction type 7145 nous a permis de vérifier les schémas équivalents des armures des câbles et de définir les câbles à structures simples, dont le schéma équivalent correspond au modèle représenté par la relation précédente, et les câbles à structures générales.

Notons finalement que ces schémas sont utilisés dans les programmes d'optimisation des câbles à bon facteur de réduction.

## 2. Théorie

Dans le but de simplifier l'exposé nous ne reporterons que les résultats des développements théoriques. Ces développements, que nous tenons à la disposition du lecteur intéressé, sont basés sur les Directives du CCITT<sup>3)</sup> [1]<sup>2)</sup>, en particulier le chapitre XII, p. 129 et suivantes.

1) définition voir § 2.1.

2) voir la bibliographie à la fin de l'article.

3) CCITT = Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique.

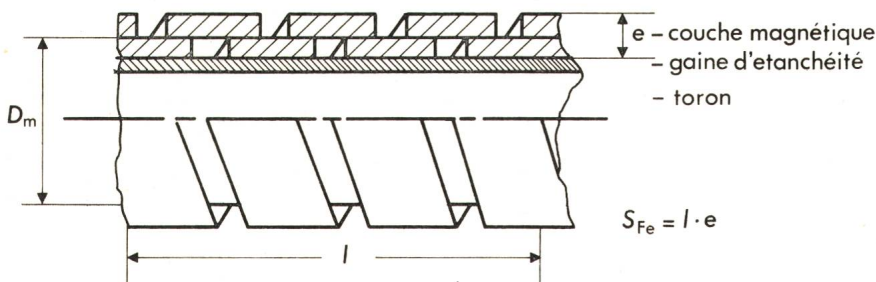
Tableau I

Structure	Structure générale		Structure simple	
	élémentaire	réelle	élémentaire	réelle
Type	I-1	I-2	II-1	II-2
Exemple	Pb-C	Pb-C	Pb-C-F	Pb-C-F
Schémas de construction				

F couche de fils métalliques méplats appliqués sans déjoint, en hélice à pas long

C deux feuillards d'acier appliqués avec déjoint de 10 à 30%, en deux couches superposées, le feuillard supérieur recouvrant le déjoint du feuillard inférieur

Pb gaine tubulaire extrudée en plomb





## 2.1 Définition des armures (Tableau I)

On appellera «système gaine armure» ou «armure» l'ensemble des constituants composant le câble depuis la ceinture posée sur le toron.

On dira qu'une armure est à structure:

*Simple élémentaire:*

si elle se compose d'une couche conductrice ( $\mu_r = \text{cte}$ ) sur la ceinture, puis d'une couche magnétique entièrement isolée de la couche conductrice.

*Simple réelle:*

si elle se compose d'une couche conductrice ( $\mu_r = \text{cte}$ ) sur la ceinture, puis d'une couche magnétique isolée sur toute sa longueur sauf à ses extrémités où elle est connectée à la couche conductrice.

*Générale élémentaire:*

si elle se compose d'une structure simple élémentaire, revêtue d'une couche conductrice ( $\mu_r = \text{cte}$ ) isolée sur toute sa longueur, sauf à ses extrémités où elle est connectée à la première couche conductrice.

*Générale réelle:*

si elle se compose d'une structure simple réelle, revêtue d'une couche conductrice ( $\mu_r = \text{cte}$ ) isolée sur toute sa longueur, sauf à ses extrémités où elle est connectée à la première couche conductrice.

## 2.2 Schéma équivalent des câbles à structure simple élémentaire

Le schéma équivalent, donné sur la fig. 1, correspond aux relations:

$$r_k \equiv \frac{E_{12}}{E_{23}} = \frac{R'}{|Z|} = \frac{R_g}{\sqrt{R_g^2 + [2\pi f(L_g + L_0)]^2}}$$

$$E_{23} = \frac{R_g H \pi D_m}{r_k}$$

avec:

$$L_g = \frac{S_{Fe} \xi}{\pi D_m} \mu_0 \mu_r$$

$$R' = R_g$$

$$Z = R_g + j\omega(L_0 + L_g)$$

$r_k$  facteur de réduction

$E_{12}$  tension perturbatrice induite sur un conducteur protégé, V/km

$E_{23}$  tension perturbatrice induite sur un conducteur non protégé, V/km

$R'$  «résistance de l'armure»,  $\Omega/\text{km}$ , ou impédance de transfert

$Z$  impédance de l'armure,  $\Omega/\text{km}$

$R_g$  résistance en courant continu de l'armure,  $\Omega/\text{km}$

$X = 2\pi f(L_g + L_0)$

$f$  fréquence du courant perturbateur, Hz

$\omega = 2\pi f$

$L_g$  inductance de l'armure, H/km

$L_0$  inductance du circuit de retour du courant par la terre  $\equiv 2 \text{ mH/km}$

$S_{Fe}$  section magnétique ( $\text{m}^2$  par km de câble)

$\xi$  facteur de remplissage de la couche magnétique

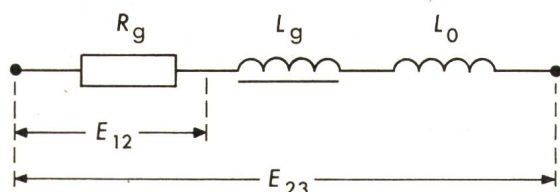


Fig. 1 Schéma équivalent des câbles à structure simple élémentaire

$D_m$  diamètre magnétique, m

$\mu_0$  perméabilité du vide

$\mu_r$  perméabilité de l'acier composant l'armure

$H$  champ, A/m

L'influence de la variation des paramètres  $R_g$  et  $X$  ayant déjà été analysée dans notre précédent article [2], nous rappellerons uniquement que:

si  $R_g$  diminue:  $r_k$  diminue,  $E_{23}$  diminue (à  $f = \text{cte}$ )

si  $X$  diminue:  $r_k$  augmente,  $E_{23}$  diminue (à  $f = \text{cte}$ )

## 2.3 Schéma équivalent des câbles à structure générale élémentaire

Comme une partie du courant ne passe pas par  $L_g$ , on aura le schéma, donné sur la fig. 2, correspondant aux relations:

$$r_k \equiv \frac{E_{12}}{E_{23}} = \frac{|R'|}{|Z|} \quad E_{23} = |Z| \cdot |I_c|$$

$$|R'| = \alpha \sqrt{\beta^2 + X^2}$$

$$|Z| = \delta \sqrt{(R_g - \alpha\beta)^2 + \left(\frac{X_0}{\delta} + \alpha X\right)^2}$$

$$|I_c| = \frac{R_g |R'|}{\gamma \alpha}$$

$$I_a = \pi H D_m$$

$$\beta \equiv R_g + R_F \quad \alpha \equiv \gamma/(\beta^2 + X^2)$$

$$\gamma \equiv R_g R_F \quad X = 2\pi f L_g$$

$$\delta \equiv R_F/R_g \quad X_0 = 2\pi f L_0$$

avec:

$R_F$  résistance en courant continu de la couche conductrice externe (posée sur la couche magnétique) en  $\Omega/\text{km}$ .

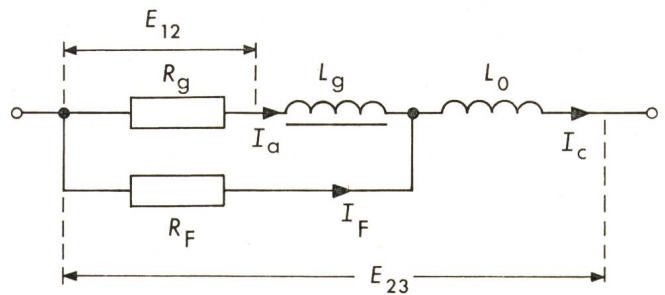


Fig. 2 Schéma équivalent des câbles à structure générale élémentaire

Si l'on varie les paramètres,  $R_F$  étant constant, on observera les mêmes déplacements du  $r_{k\text{mf}}$  [2] (facteur de réduction minimum pour la fréquence  $f$ ), que pour les câbles à structure simple.

Si l'on varie  $R_F$ , on observera le même déplacement du  $r_{k\text{mf}}$  que si l'on varie le  $X$  du câble à structure simple.

Cette propriété, où une résistance se comporte comme une inductance, doit être utilisée dès que la section magnétique du câble à structure simple devient trop importante ou dès que les tensions perturbatrices  $E_{23}$  sont trop élevées.

## 3. Vérifications expérimentales

Les mesures ont été faites avec le mesureur de facteur de réduction 7145<sup>4)</sup> sur des câbles [2] du type ALTFF1,2Aluman CCT<sup>5)</sup>, sur lesquels on a ajouté une couche conductrice simulant les méplats de traction.

<sup>4)</sup> Mesureur automatique développé par SECE.

<sup>5)</sup> ALT = gaine constituée d'un feuillard d'aluminium, posé longitudinalement avec recouvrement, comportant une couche de copolymère collant le feuillard à une gaine extrudée en polyéthylène.

Paramètre	Unités	Structure simple		Structure générale	
		élémentaire M 146	réelle M 124	élémentaire M 146 + Cu externe	réelle M 124 + Cu externe
Résistance de la gaine $R_g$	$\Omega/\text{km}$	0,281	0,238	0,281	0,238
Résistance des feuillards $R_c$	$\Omega/\text{km}$	6,8	6,8	6,8	6,8
Résistance $R_g \parallel R_c$	$\Omega/\text{km}$	0,27	0,23	0,27	0,23
Résistance de la couche cond. ext. $R_F$	$\Omega/\text{km}$	$\infty$	$\infty$	0,445	0,169
Résistance totale	$\Omega/\text{km}$	0,27	0,23	0,168	0,0974
Section magnétique $S_{Fe}$	$\text{m}^2$	2	2	2	2
Facteur de remplissage $\xi$		0,738	0,753	0,738	0,753
Section magnétique effective $S'_{Fe} \equiv S_{Fe} \xi$	$\text{m}^2$	1,476	1,506	1,476	1,506
Diamètre magnétique $D_m$	m	$40 \cdot 10^{-3}$	$40 \cdot 10^{-3}$	$40 \cdot 10^{-3}$	$40 \cdot 10^{-3}$
Inductivité de terre $L_0$	H/km	$1,72 \cdot 10^{-3}$	$1,72 \cdot 10^{-3}$	$1,72 \cdot 10^{-3}$	$1,72 \cdot 10^{-3}$
Caractéristiques de la couche conductrice externe				2 cordes étamées de cuivre	31 fils de cuivre de 2,04 mm $\varnothing$

3.1 Conditions expérimentales

Les 223 mesures ont été faites en mode automatique (variation continue de  $E_{23}$ ) à fréquence fixe, sur des échantillons de 1 m de longueur, préparés selon les méthodes mises au point à SECE<sup>6)</sup>.

L'inductivité de la terre  $L_0$  était de  $1,72 \pm 0,03$  mH/km.

La reproductibilité des mesures meilleure que 1%.

La précision des mesures de 5%.

On a mesuré successivement pour les fréquences de

<sup>6)</sup> SECE = Société d'Exploitation des Câbles Electriques, Cortaillod.

$16^{2/3}$ -50-125-200-400-800-1000 et 1600 Hz:

- la courbe de perméabilité  $\mu_r(H)_f$  des feuillards d'un échantillon de câble (directement sur le câble);

- l'inductivité de la boucle  $L_0$ ;

- puis pour chaque géométrie d'armure:  $R(I)$ ;  $Z(I)$ ;

$r_k(E_{23})$ .

Notons que chaque échantillon initial était démonté couche par couche et mesuré.

3.2 Caractéristiques principales des échantillons de câbles

Les caractéristiques initiales des échantillons sont données dans le tableau II.

Tableau III

	Simple		Structure		Générale	
	Elémentaire	Réelle	Elémentaire	Réelle	Elémentaire	Réelle
Echantillon	M 146	M 124	M 146 + cuivre	M 124 + cuivre		
Schéma						
Courbe de perméabilité	$\mu_r$ A007 $\mu_r$ M123	$\mu_r$ A007 $\mu_r$ M123	$\mu_r$ A007 $\mu_r$ M123	$\mu_r$ A007 $\mu_r$ M123	$\mu_r$ A007 $\mu_r$ M123	$\mu_r$ A007 $\mu_r$ M123
$\Delta r_k/r_k$ $\Delta E_{23}/E_{23}$ $\Delta R'/R$ $\Delta Z/Z$	$16^{2/3}$ Hz	-1,4 % < 1 % -4 % -7 %	-3 % < 1 % +7 % +10 % <sup>1)</sup>	-3 % -13 % +13 % +2 %	-3 % -13 % +13 % +2 %	-1 %   -4 % < 3 %   +9 % -3 % +3 %
$\Delta r_k/r_k$ $\Delta E_{23}/E_{23}$ $\Delta R'/R$ $\Delta Z/Z$	50 Hz	-7 % -11 % -4 % -3 %	< 1 % < 1 % +20 % <sup>1)</sup> +23 % <sup>1)</sup>	-13 % <sup>1)</sup> -22 % -13 % <sup>1)</sup> -18 % <sup>1)</sup> -4 %	-13 % <sup>1)</sup> -22 % -13 % <sup>1)</sup> -18 % <sup>1)</sup> -4 %	+6 %   11 % $E_{23mf}$ non mesurable +4 %   +6 % +3 %
$\Delta r_k/r_k$ $\Delta E_{23}/E_{23}$ $\Delta R'/R$ $\Delta Z/Z$	125 Hz	-4 %   -20 % <sup>1)</sup> +6 %   -15 % <sup>1)</sup> -4 % -1 %   +16 % <sup>1)</sup>	+15 % <sup>1)</sup> < 1 % < 1 %   < 1 % +35 % <sup>1)</sup> +31 % <sup>1)</sup> +52 % <sup>1)</sup>	-34 % <sup>1)</sup> -43 % <sup>1)</sup> $E_{23mf}$ non mesurable -34 % <sup>1)</sup> -46 % <sup>1)</sup> -8 % <sup>1)</sup>	-34 % <sup>1)</sup> -43 % <sup>1)</sup> $E_{23mf}$ non mesurable -34 % <sup>1)</sup> -46 % <sup>1)</sup> -8 % <sup>1)</sup>	+39 % <sup>1)</sup> +51 % <sup>1)</sup> $E_{23mf}$ non mesurable +51 % <sup>1)</sup> +3 %

<sup>1)</sup> ie hors tolérance  
Variations relativement aux valeurs mesurées avec le 7145  $r_{kmf}/E_{23mf}$



Fig. N°	Mesure de référence	Structure	Echantillon	Courbes
3	12-18	Simple élémentaire	M 146	$r_k(E_{23})$
4	12			$'R(I); Z(I)$
5	15	Simple réelle	M 124	$r_k(E_{23})$
6	8-9-10-11-15			$'R(I); Z(I)$
7	19	Générale élémentaire	M 146 + Cu	$r_k(E_{23})$
8	19			$'R(I); Z(I)$
9	13	Générale réelle	M 124 + Cu	$16^{2/3}$ Hz $r_k(E_{23})$ $'R(I); Z(I)$
10	13			50 Hz $r_k(E_{23})$ $'R(I); Z(I)$
11	13			125 Hz $r_k(E_{23})$ $'R(I); Z(I)$
12	13	Générale réelle calculée avec structure simple	M 124 + Cu	$16^{2/3}$ Hz $r_k(E_{23})$ $'R(I); Z(I)$
13	Résumé des mesures avec indication des tolérances			
	<i>Structure simple:</i> $\frac{\Delta r_k}{r_k} = \pm 8\%$ $\frac{\Delta E_{23}}{E_{23}} = \pm 14\%$ $\frac{\Delta 'R}{'R} = \pm 7\%$ $\frac{\Delta Z}{Z} = \pm 9\%$			
	<i>Structure générale:</i> $\frac{\Delta r_k}{r_k} = \pm 11\%$ $\frac{\Delta E_{23}}{E_{23}} = \pm 26\%$ $\frac{\Delta 'R}{'R} = \pm 7\%$ $\frac{\Delta Z}{Z} = \pm 4\%$			
14	Tableau II Fig. 5-9-11	Comparaison de la structure simple réelle à la structure générale réelle		$r_k(E_{23})$

3.3 Méthode d'analyse

Pour chaque type de structure nous disposons des valeurs mesurées suivantes:

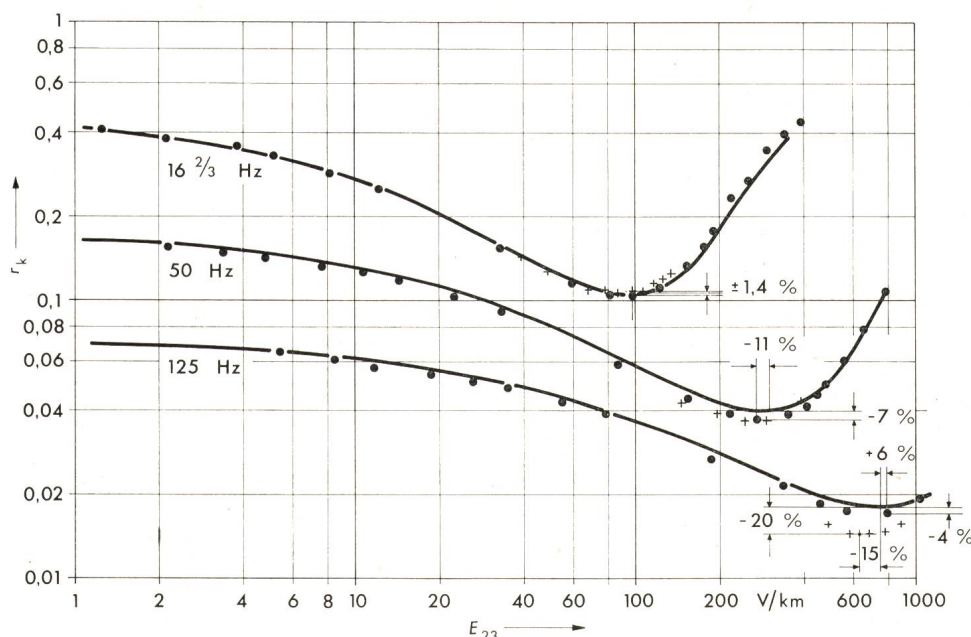
- a) Géométrie réelle du câble;
- b) Résistances électriques de chaque composant;
- c) Facteur de réduction et  $'R(I), Z(I)$ .

Nous avons introduit les valeurs mesurées (a) et (b) dans les relations données au § 2 et comparé les valeurs de  $r_k, 'R$  et  $Z$  calculées aux valeurs mesurées (c). Nous avons refait les

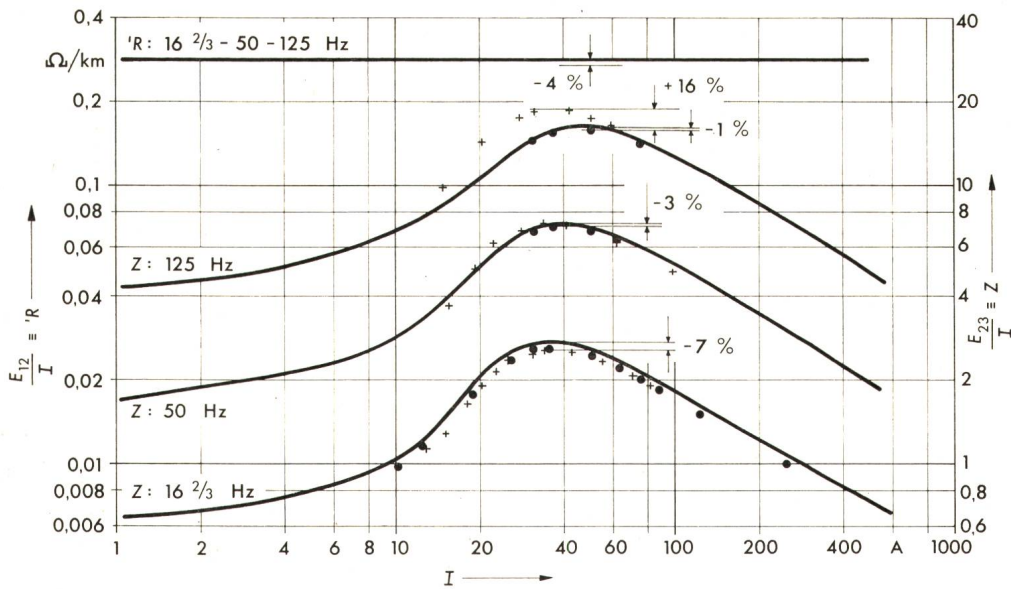
mêmes calculs depuis les valeurs utilisées à priori pour la construction optimale des câbles dans le but de déterminer les sécurités à prendre sur les calculs lors de la construction des câbles.

3.4 Résultats

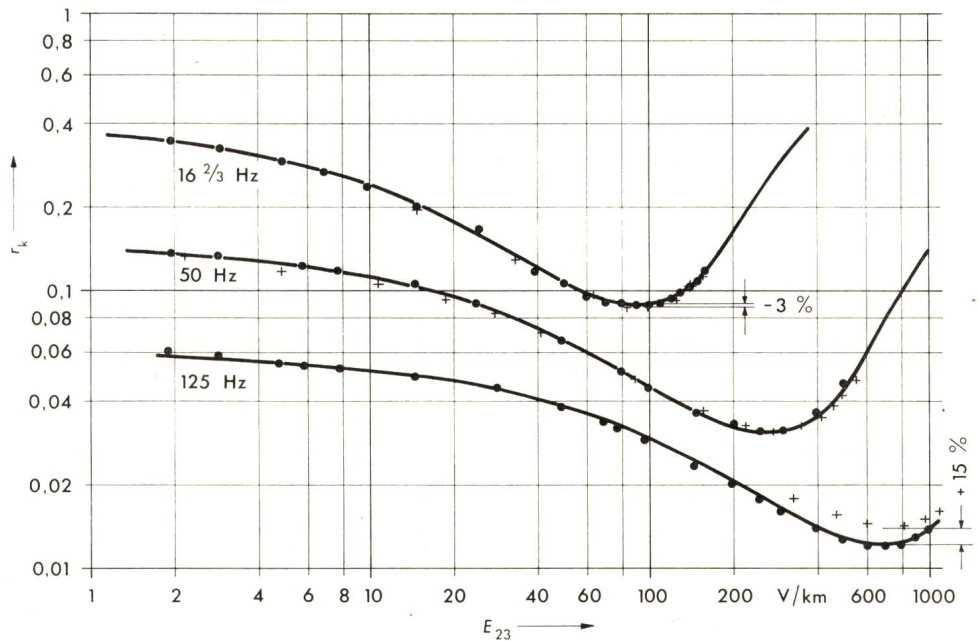
Pour améliorer la présentation des résultats, les courbes, mesurées avec le 7145, ont été reportées sur les figures 3 à 13 et le tableau III. Le contenu de ces figures est résumé sur le tableau IV.



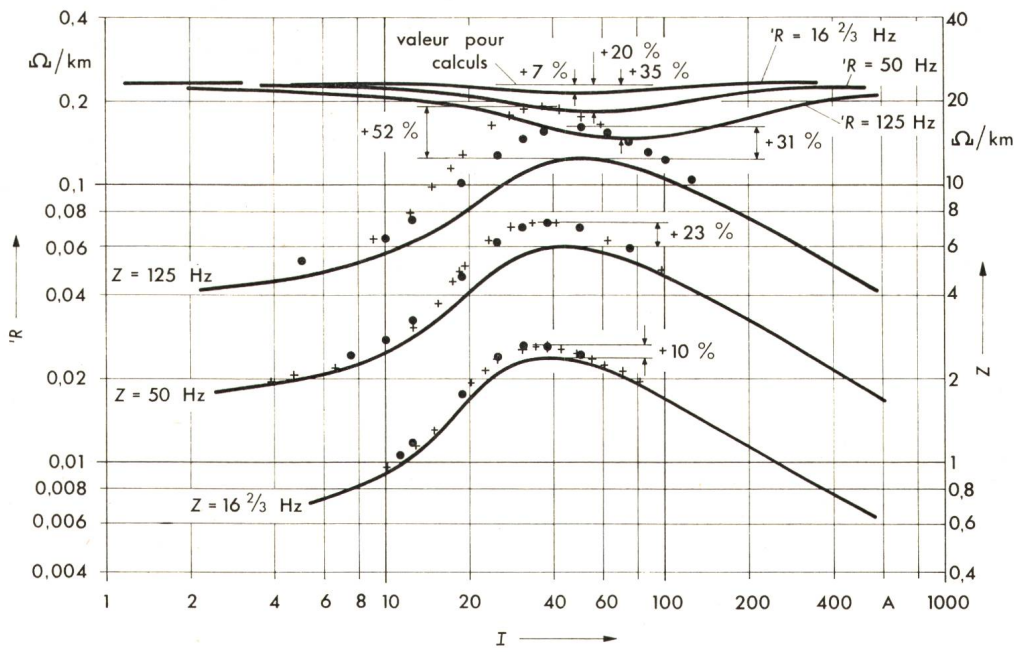
**Fig. 3**  
**Structure simple élémentaire**  
 Câble M 146  
 $R_g = 0,27 \Omega/km$   $'S_{Fe} = 1,476 m^2$   
 $L_o = 1,72 \cdot 10^{-3} H/km$   $D_m = 40 \cdot 10^{-3} m$   
 ● Courbes M 146 calculées avec  $\mu_r$  A 007  
 + Courbes M 146 calculées avec  $\mu_r$  M 123  
 — Courbes N° 12-18 mesurées avec le 7145



**Fig. 4**  
**Structure simple élémentaire**  
 Câble M 146  
 Le calcul  $\left(\frac{R}{z}\right)_{\text{mesuré}}$  redonne bien  
 le  $(r_k)_{\text{mesuré}}$  à - 4 % environ  
 ● M 146 depuis  $\mu_r$  A 007  
 + M 146 depuis  $\mu_r$  M 123  
 — Courbes N° 12-18 mesurées  
 avec le 7145  
 Caractéristiques voir fig. 3



**Fig. 5**  
**Structure simple réelle**  
 Câble M 124  
 $R_g = 0,23 \Omega/\text{km}$      $S_{Fe} = 1,506 \text{ m}^2$   
 $L_o = 1,72 \cdot 10^{-3} \text{ H/km}$      $D_m = 40 \cdot 10^{-3} \text{ m}$   
 ● Courbes M 124 calculées depuis  
 $\mu_r$  M 123  
 + Courbes M 124 calculées depuis  
 $\mu_r$  A 007  
 — Courbes N° 15 mesurées  
 avec 7145



**Fig. 6**  
**Structure simple réelle**  
 Câble M 124  
 Le calcul  $\left(\frac{R}{z}\right)_{\text{mesuré}}$  redonne bien  
 le  $(r_k)_{\text{mesuré}}$  on a « compensation »  
 de la variation de 'R  
 ● M 124 depuis  $\mu_r$  A 007  
 + M 124 depuis  $\mu_r$  M 123  
 — Courbe N° 8-9-10-11-15 mesurée  
 avec 7145  
 (Caractéristiques voir fig. 5)



**Fig. 7**  
Structure générale élémentaire

Câble M 146 + Cu

$R_g = 0,27 \Omega/\text{km}$   $R_F = 0,445 \Omega/\text{km}$

$S_{Fe} = 1,476 \text{ m}^2$   $D_m = 40 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

$L_o = 1,72 \cdot 10^{-3} \text{ H/km}$ .

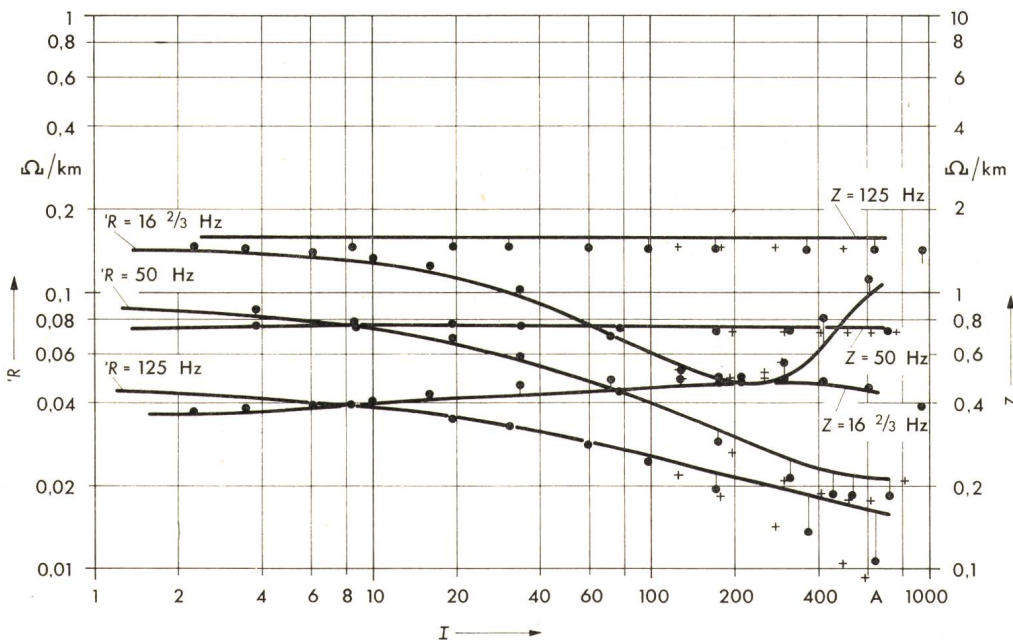
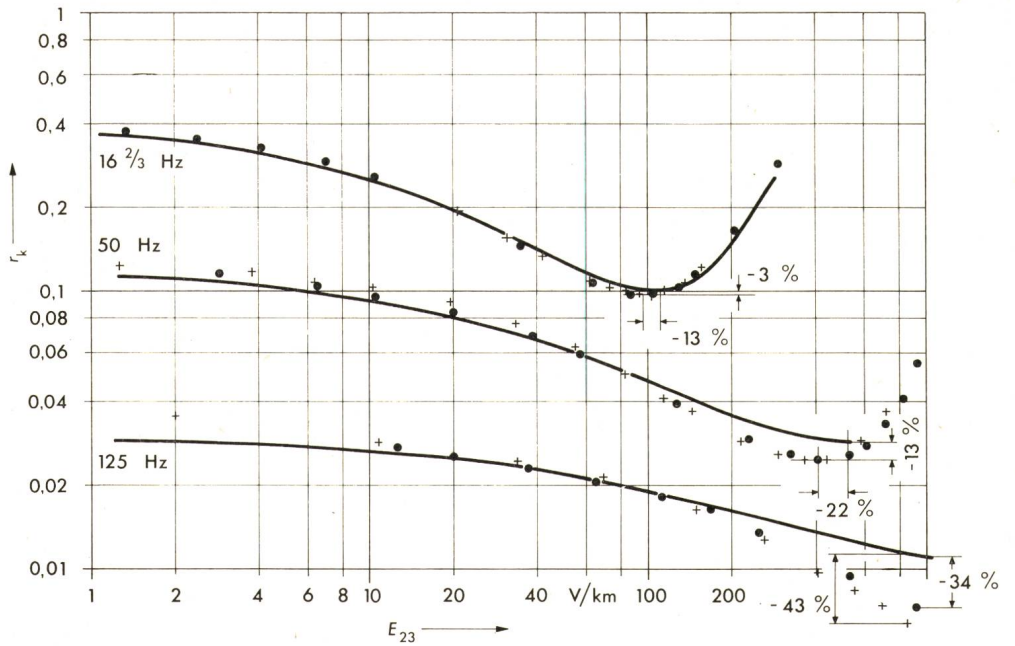
Couche complémentaire:

2 cordes Cu soudées sur l'armure

● Courbes M 146 + Cu calculées avec  $\mu_r$  A 007

+ Courbes M 146 + Cu calculées avec  $\mu_r$  M 123

— Courbes N° 19 mesurées avec 7145



**Fig. 8**

Structure générale élémentaire  
Câble M 146 + Cu

● Courbes M 146 + Cu calculées avec  $\mu_r$  A 007

+ Courbes M 146 + Cu calculées avec  $\mu_r$  M 123

— Courbes N° 19 mesurées avec 7145

(Caractéristiques du câble voir fig. 7)

**Fig. 9**

Structure générale réelle

Câble M 123 + Cu  $16^{2/3}$  Hz

$R_g = 0,23 \Omega/\text{km}$   $R_F = 0,169 \Omega/\text{km}$

$S_{Fe} = 1,506 \text{ m}^2$   $D_m = 40 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

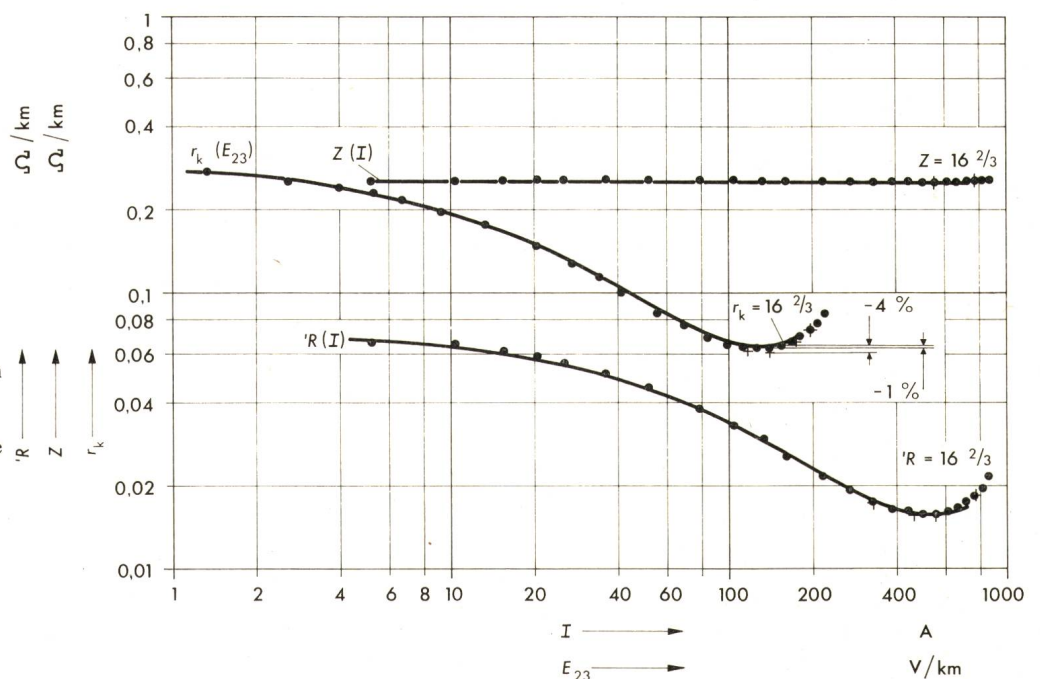
$L_o = 1,72 \cdot 10^{-3} \text{ H/km}$ .

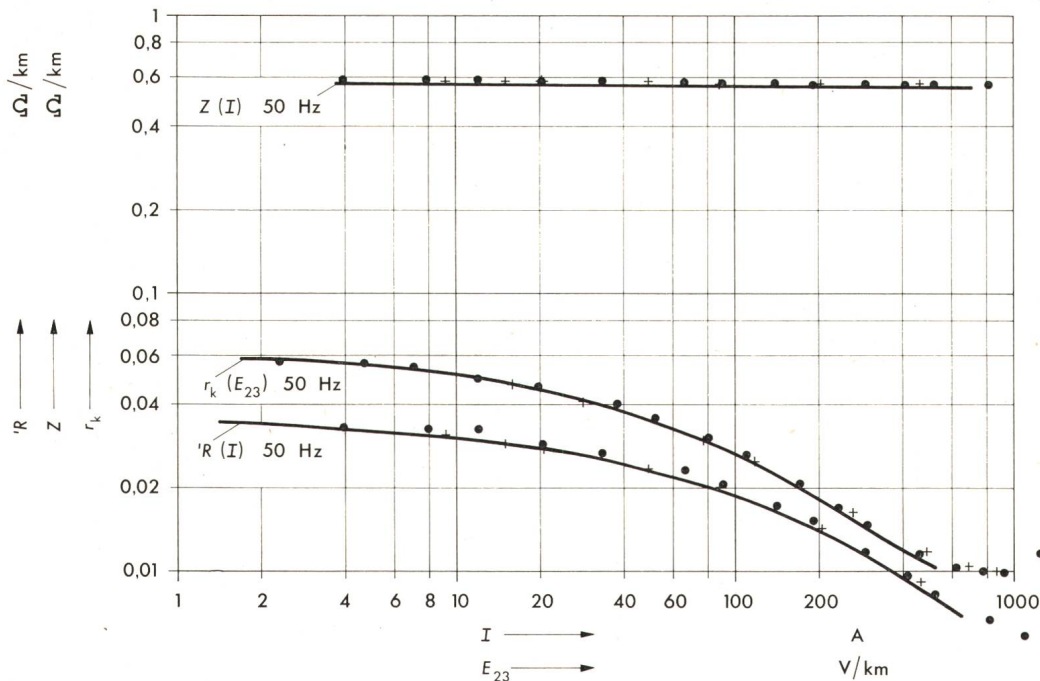
Couche conductrice externe constituée de 31 fils de Cu de  $\varnothing$  2,04 mm

● Courbes M 124 + Cu calculées avec  $\mu_r$  M 123

+ Courbes M 124 + Cu calculées avec  $\mu_r$  A 007

— Courbes N° 13 mesurées 7145





**Fig. 10**  
**Structure générale réelle**  
 Câble M 123 + Cu - 50 Hz  
 ● Courbes M 124 + Cu calculées avec  $\mu_r$  M 123  
 + Courbes M 124 + Cu calculées avec  $\mu_r$  A 007  
 — Courbes N° 13 mesurées 7145  
 (Caractéristiques du câble voir fig. 9)

#### 4. Conclusions

Les schémas équivalents sont vérifiés, pour les fréquences de  $16^{2/3}$  et 50 Hz avec une précision de 8 % pour la structure simple et de 11 % pour la structure générale. A 125 Hz seule la structure simple est vérifiée à 8 %.

Bien que les structures réelles des câbles ne correspondent pas strictement aux schémas utilisés, on peut les appliquer dans les limites précitées.

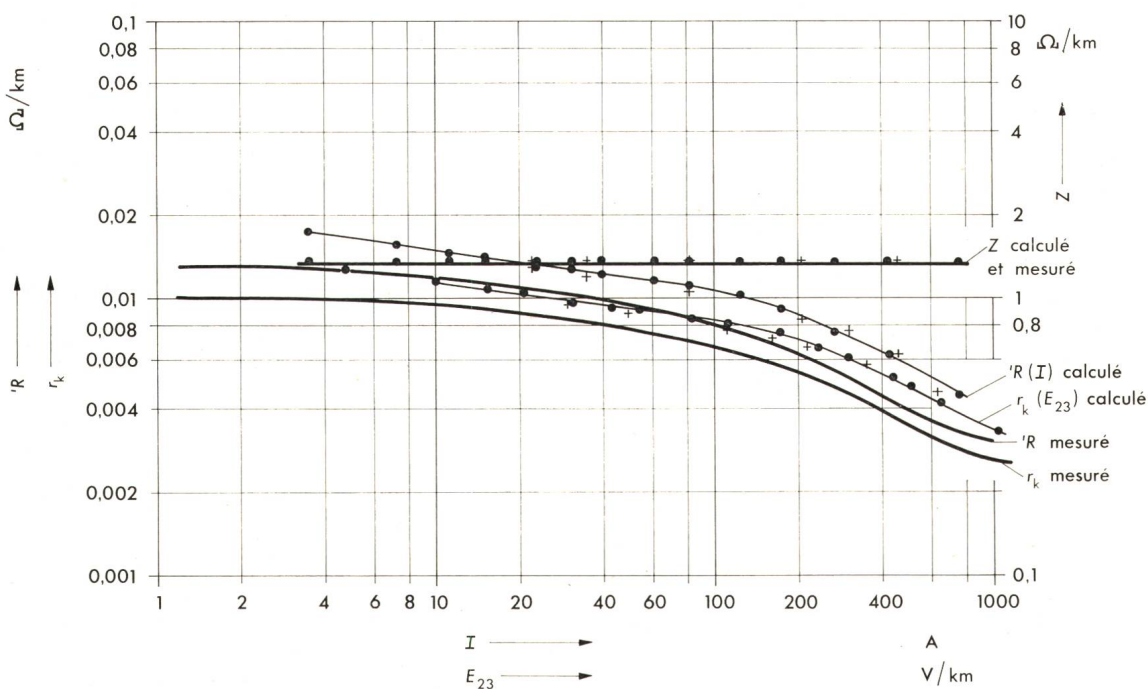
Etant donné la précision des calculs de construction, il ne nous semble pas justifié d'effectuer une vérification plus fine des schémas.

Bien que nous ayons mesuré nos câbles jusqu'à des fré-

quences de 1600 Hz, nous n'avons pas jugé utile de développer des schémas permettant de calculer avec précision des câbles prévus pour des fréquences perturbatrices supérieures à 125 Hz, car seules les fréquences inférieures à 125 Hz nécessitent des armures spéciales.

Nous avons montré [2] que la protection la plus économique est obtenue pour les câbles à structures simples; cette structure d'armure devrait être utilisée de façon générale sauf si:

- la section magnétique devient trop importante;
- les conditions de pose nécessitent une couche supplémentaire de traction externe;
- le câble doit être protégé contre des tensions élevées.



**Fig. 11** **Structure générale réelle**  
 Câble M 123 + Cu - 125 Hz  
 ● Courbes M 124 + Cu calculées avec  $\mu_r$  M 123  
 + Courbes M 124 + Cu calculées avec  $\mu_r$  A 007  
 — Courbes M 124 + Cu mesurées 7145  
 — Courbes M 124 + Cu calculées avec  $\mu_r$  M 123  
 (Caractéristiques du câble voir fig. 9)



**Fig. 12**

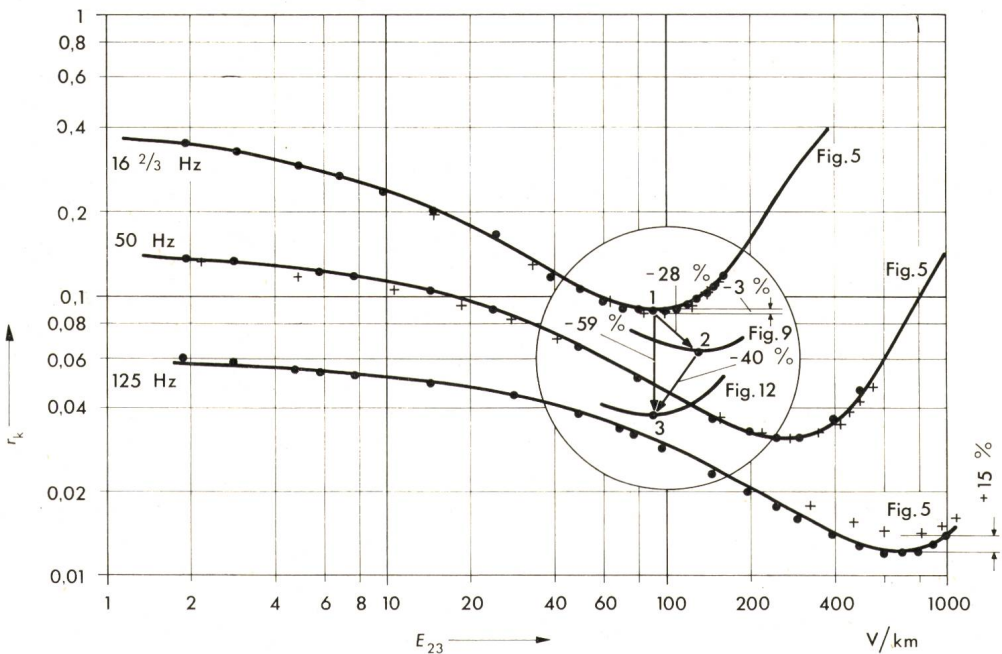
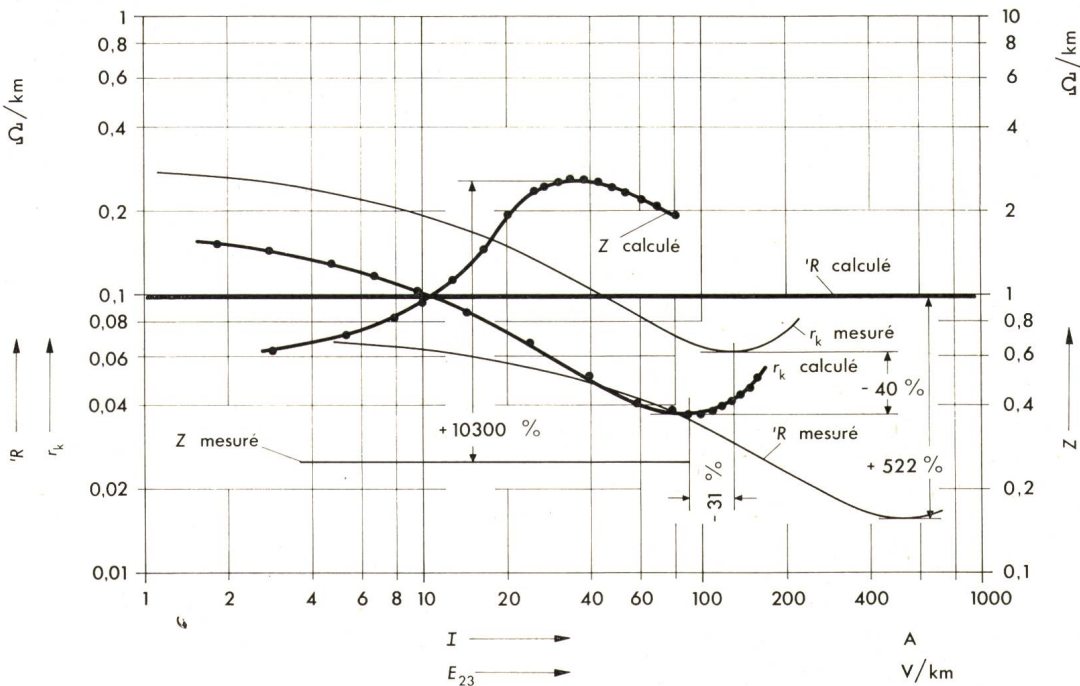
**Structure générale réelle  
calculée avec les formules  
de la structure simple**

Câbles M 123 + Cu - 16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz

— Courbes M 124 + Cu  
calculées avec  
 $\mu_r$  M 123 + structure  
simple

— Courbes M 124 + Cu  
mesurées 7145 (N° 13)

(Caractéristiques du câble  
voir fig. 9)



**Fig. 13**

**Structures simples réelles comparées  
à la structure générale réelle**

$R_g = 0,23 \Omega/\text{km}$   $S_{Fe} = 1,506 \text{ m}^2$   
 $L_o = 1,72 \cdot 10^{-3} \text{ H/km}$   
 $D_m = 40 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

- Courbes M 124 calculées depuis  $\mu_r$  M 123
- + Courbes M 124 calculées depuis  $\mu_r$  A 007
- Courbes N° 15 mesurées avec 7145

**Bibliographie**

- [1] Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les actions nuisibles des lignes électriques. Genève, CCITT, 1963.
- [2] P. Benoît: Protection des câbles de télécommunication contre les perturbations électromagnétiques. Câbles, Bulletin des Câbleries de Brugg, Cortaillod et Cossonay -(1973)1, p. 13...18.

**Adresse de l'auteur:**

P. Benoît, Service de Recherche, Société d'Exploitation des Câbles Electriques Système Berthoud, Borel & Cie, 2016 Cortaillod.