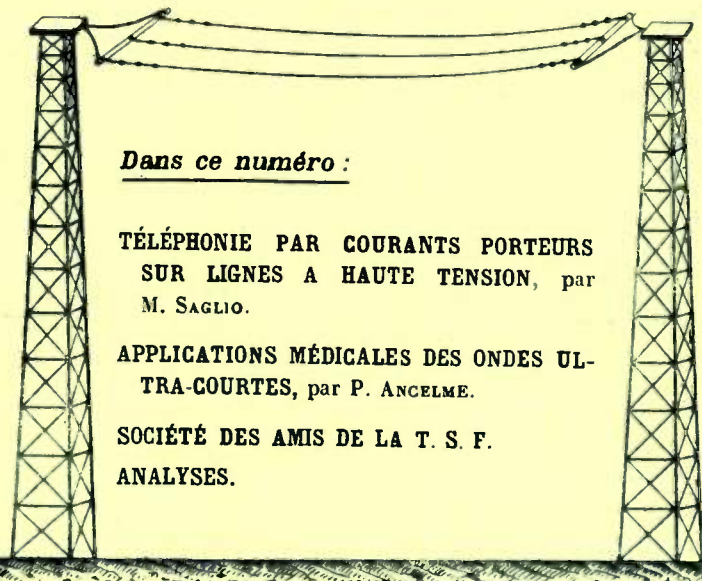
VOL. 10 — N° 113 MAI 1931

L'ONDE ELECTRIQUE

RADIOÉLECTRICITÉ ET SES APPLICATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

(Télégraphie, Téléphonie, Télévision, etc...)



Dans ce numéro :

TÉLÉPHONIE PAR COURANTS PORTEURS SUR LIGNES A HAUTE TENSION, par M. SAGLIO.

APPLICATIONS MÉDICALES DES ONDES ULTRA-COURTES, par P. ANCELME.

SOCIÉTÉ DES AMIS DE LA T. S. F.

ANALYSES.

PUBLIÉ MENSUELLEMENT PAR LA SOCIÉTÉ DES AMIS DE LA T. S. F.

E. CHIRON, Editeur, 40, rue de Seine - PARIS (VI^e^)

La Rédaction décline toute responsabilité en ce qui concerne la teneur des articles publiés, les auteurs assumant l'entière responsabilité de ce qui paraît sous leur signature.

L'ONDE ÉLECTRIQUE

Revue mensuelle publiée par les Amis de la T. S. F.

ABONNEMENT D'UN AN
France..... 60 fr.
Étranger { tarif faible . 70 fr. / tarif fort.... 80 fr.

Etienne CHIRON
ÉDITEUR
40, rue de Seine - PARIS
CHÈQUES POSTAUX : PARIS 53-35

PRIX
DU NUMÉRO : 6 fr.
Tél. : LITTRÉ 47-49

SOCIÉTÉ DES AMIS DE LA T. S. F.

Adresser la correspondance administrative et technique à

M. MESNY, secrétaire général
294, avenue de Paris
Rueil-Malmaison (Seine-et-Oise)

Paiement des cotisations à

M. COLMANT, trésorier
4, rue Alfred, Clamart (Seine)
Compte de chèques postaux n° 697-38

Les correspondants sont priés de rappeler chaque fois le numéro d'inscription porté sur leur carte.

CHANGEMENTS D'ADRESSE : Joindre 1 franc par revue à toute demande.

EXTRAIT DES STATUTS

ARTICLE PREMIER. — La Société des Amis de la T. S. F. a pour but :

1° De contribuer à l'avancement de la radiotélégraphie théorique et appliquée, ainsi qu'à celui des sciences et industries qui s'y rattachent ;

2° D'établir et d'entretenir entre ses membres des relations suivies et des liens de solidarité.

. . . . . .

Elle tient des réunions destinées à l'exposition et à la discussion des questions concernant la radiotélégraphie et tout ce qui s'y rattache.

. . . . . .

Elle s'interdit toute ingérence dans les entreprises industrielles ou commerciales quelconques, autres que celles qui concernent son administration propre.

. . . . . .

ART. 2. — La Société se compose de membres titulaires, — dont certains en qualité de membres bienfaiteurs ou de membres donateurs, — et de membres d'honneur.

Pour devenir membre titulaire de la Société, il faut :

1° Adresser au président une demande écrite appuyée par un membre de la Société ;

2° Être agréé par le Bureau de la Société.

. . . . . .

Tout membre titulaire qui aura pris l'engagement de verser pendant cinq années consécutives une subvention annuelle d'au moins 1000 francs, pour favoriser les études et publications scientifiques ou techniques entreprises par la Société, recevra le titre de membre bienfaiteur.

Ceux qui, parmi les membres titulaires, auront fait don à la Société, en dehors de leur cotisation, d'une somme de 300 francs au moins, seront inscrits en qualité de donateurs.

. . . . . .

Les membres titulaires reçoivent une publication périodique ayant un caractère technique.

Cette publication leur est adressée gratuitement.

Toutefois les membres résidant à l'étranger doivent verser, en sus de leur cotisation annuelle, une somme destinée à couvrir le supplément des frais postaux, somme qui sera déterminée par le Bureau.

. . . . . .

MONTANTS DES COTISATIONS

Les cotisations annuelles sont ainsi fixées :

Particuliers . . . . . 50 fr.

Sociétés ou collectivités. . . . . 200 fr.

Les cotisations peuvent être rachetées moyennant le paiement immédiat de quinze annuités.

La cotisation des membres titulaires âgés de moins de 21 ans, en cours d'études ou de préparation professionnelle, peut, sur leur demande être ramenée à 30 francs

Les membres résidant à l'étranger doivent verser en plus, pour couvrir le supplément de frais postaux, la somme de 15 fr.

Cette somme sera diminuée de moitié si le pays de leur résidence a adhéré à la Convention de Stockholm (se renseigner à la Poste).

L'envoi de la carte de membre tient lieu de reçu de la somme envoyée. En cas de non admission d'un candidat, la somme versée lui est retournée.

TÉLÉPHONIE PAR COURANTS PORTEURS SUR LIGNES A HAUTE TENSION[1]

par M. SAGLIO

SOMMAIRE. — L'auteur, après un bref exposé des conditions de propagation des courants de haute fréquence sur les lignes à haute tension, examine les diverses solutions données actuellement au problème de la téléphonie sur ces lignes et indique les possibilités du système.

I. — Généralités.

Ce système de téléphonie a fait son apparition en France vers 1921. A la Conférence des grands réseaux de cette année, M. Latour présenta un rapport préconisant un système de communications téléphoniques par courants de haute fréquence utilisant les lignes d'énergie à haute tension. A vrai dire, l'idée n'était pas nouvelle et M. Marius Latour lui-même en attribuait la paternité à M. Maurice Leblanc (Lumière Electrique, 1886). Mais le système ne put être réalisé que lorsque les progrès des lampes à 3 électrodes eurent donné un moyen pratique de produire et de moduler des courants de haute fréquence.

Dans les premières réalisations, tant en France qu'à l'étranger, il y eut beaucoup de tâtonnements, les divers constructeurs différant d'avis sur le mode d'attaque de la ligne, antennes ou condensateurs et sur la puissance à mettre en jeu. A l'heure actuelle les réalisations ont été assez nombreuses pour qu'on ait pu se faire une idée exacte des conditions de fonctionnement du système et les quelques différences que l'on trouve entre les appareils des divers constructeurs ne portent plus guère que sur des points de détail.

Principe du système. — Soit en AB une ligne à 100 kilovolts et soit en C_1 L_1 T un dispositif d'attaque de la ligne qui peut être un circuit à condensateur ou à antenne, la capacité de liaison étant de l'ordre de 0,5 millièmes de µfd.

La tension entre le conducteur AB et la terre est de 58 kilovolts et le courant à 50 p : s qui ira à la terre par la bobine L_1 sera, en négligeant la réactance de cette bobine :

$$I_1 = \frac{58\,000\ V}{6{,}4.10^6} = 9 \text{ milliampères.}$$

(1) Communication faite à la S. A. T. S. F., le 18 février 1931.

Le courant de haute fréquence dans ce même circuit dépendra évidemment de la puissance de l'émetteur et de l'atténuation qu'il subira du fait de la distance et des caractéristiques de la ligne. Il dépendra aussi de la réactance totale du circuit C_1L_1 que l'on peut réduire ou annuler par un ajustement de la self L_1. Le circuit n'aura

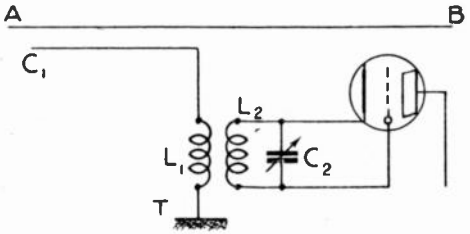


Fig. 1.

plus alors pour la haute fréquence qu'une résistance ohmique qui sera de l'ordre de 50 à 100 ohms. Dans ces conditions, pour avoir 1 milliampère dans ce circuit de couplage avec la ligne, il suffira que la tension restante de la haute fréquence sur la ligne soit de 100 milli-volts (Dans le cas d'une liaison par condensateurs).

Admettons que nous ayons 1 milliampère dans ce circuit, la fréquence du courant étant de 100 000 ($\lambda = 3\ 000$ m).

Supposons maintenant que les deux bobines L_1 L_2 soient des bobines identiques de 4 millihenrys ayant une résistance de 40 ohms et un couplage entre elles de 3 o/o.

La tension aux extrémités de la bobine primaire sera pour 50 périodes :

$$E_1 = I_1\omega L_1 = 9.10^{-3} \times 314 \times 4.10^{-3} = 0{,}0114^v$$

et dans la bobine secondaire couplée à 3 o/o

$$E_2 = E_1 \times 0{,}03 = 0{,}000342^v$$

Pour 100 000 $\sim$, la tension dans la bobine primaire sera :

$$E_1' = 1{,}10^{-3} \times 628.000 \times 4{,}10^{-3} = 2{,}5^v$$

et le FEM dans la bobine secondaire :

$$E_2' = 2{,}5 \times 0{,}03 = 0{,}075^v$$

Mais le circuit L_2C_2 étant accordé sur la fréquence 100 000, la tension aux bornes du condensateur sera pour le courant de HF :

$$E_g = 0{,}075 \times \frac{L}{R} = 0{,}075 \times \frac{4.10^{-3} \times 628\,000}{40} = 4{,}7$$

tandis que la tension à 50 $\sim$ restera :

$$E_s = 0{,}000342^v$$

La tension 4',7 fera fonctionner la lampe valve, tandis que la tension E_g, 20 000 fois plus faible, sera insuffisante.

Puissance à mettre en jeu.

On a dans les débuts distingué les systèmes dits à grande puissance des systèmes à faible puissance. Les premiers employaient des puissances de l'ordre de 100 watts, 200 watts et même plus. Les autres employaient despuissances de l'ordre du watt. Aujourd'hui les constructeurs ont une tendance à employer des puissances moyennes comprises entre 10 et 50 watts.

Nous verrons plus loin qnand nous parlerons du fonctionnement en duplex que c'est ce fonctionnement même qui impose dans la plupart des cas une limite supérieure à la puissance. Les puissances plus fortes ne permettent le duplex qu'en employant certains artifices.

Par ailleurs, on aurait tout intérêt pour assurer la sécurité de la liaison à avoir la plus grande puissance possible au départ et une sensibilité assez minime au récepteur, comme dans le cas général de la radiotéléphonie. Si le courant à 50 périodes n'apporte normalement aucun trouble, les lignes peuvent être le siège de surtensions qui dans certains cas produisent des ondes de haute fréquence. L'effet Corona peut produire des aigrettes ou des étincelles, occasionnant des ondes de HF très amorties, difficiles par conséquent à éliminer, de sorte qu'il importe, surtout sur les lignes à très haute tension, que le niveau de l'énergie de HF disponible à l'endroit du récepteur ait encore une certaine valeur pour que la réception reste pure.

Système à antenne et système à condensateurs.

Les premiers en date semblent bien être les systèmes à condensateurs. Mais il y a 10 ans, on ne savait pas très bien faire des condensateurs pour 100 kilowolts et plus et les premiers condensateurs en service ont donné lieu à quelques mécomptes, aussi on fut amené à essayer concurremment la liaison par antennes. Ce mode de liaison quand il est bien réalisé donne d'excellents résultats. Cependant devant les progrès des condensateurs, les constructeurs abandonnent de plus en plus les antennes. On a dit souvent que la transmission par antenne était plus irrégulière. Encore faut-il bien s'expliquer là-dessus. Quand dans une liaison les antennes sont bien établies, la transmission est aussi régulière qu'avec des

condensateurs. Mais les lignes, surtout au départ des centrales hydrauliques sont souvent en terrain très accidenté et ont des portées anormales et il est souvent très difficile d'installer une bonne antenne. De plus, le réglage de cette antenne est toujours une opération délicate qui nécessite l'intervention d'un ingénieur. On conçoit que les constructeurs préfèrent employer des condensateurs qui permettent une construction et un réglage complet en usine et dont le montage ne présente aucun aléa.

Utilisation de deux phases de la ligne ou d'une phase avec retour par la terre. — Là il n'y a pas de doctrine bien établie. D'une façon générale si on utilise deux phases, on a des atténuations moindres que si on adopte le retour par la terre. Nous verrons plus loin qu'il n'y a que des cas d'espèce, la solution avec retour par la terre étant moins coûteuse en général.

III. — Caractéristiques des lignes a H.T. au point de vue des courants de H.F.

Avant d'aller plus loin il est bon d'examiner comment se comportent les lignes à H.T. pour la transmission des courants de H.F.

Si l'on désigne par :

R la résistance kilométrique d'une ligne,

L la self kilométrique,

G sa perditance kilométrique,

C sa capacité kilométrique,

l'impédance caractéristique de la ligne est donnée par l'expression :

$$Z_0 = \frac{R + j\,L\omega}{G + j\,C\omega}$$

En haute fréquence R est négligeable devant $L\omega$ et les lignes à haute tension sont toujours assez bien isolées pour que G soit négligeable dans tous les cas.

L'impédance caractéristique se réduit donc à

$$Z_0 = \frac{L}{C},$$

c'est donc une résistance pure.

Pour les lignes à haute tension en cuivre ou en aluminium les valeurs de Z_0 sont toujours à peu près du même ordre pour des lignes de même type.

Il y a deux cas à considérer suivant que l'on emploie ou non le retour par la terre.

1° cas. — Circuit entièrement métallique (sans retour par la terre).

$L = 2{,}7$ millihenrys par Km

$C = 4{,}3$ millièmes de mfd/Km

$Z_0 = 810$ ohms

2e cas. — Une phase et retour par la terre.

$L = 2$ millihenrys /Km

$C = 8$ millièmes de mfd Km

$Z_0 = 500$ ohms

Si on envisageait la ligne triphasée comme un conducteur unique les 3 phases étant réunies en parallèle, ce qui est à peu près le cas d'un couplage par antenne on aurait :

$L = 1{,}33$ mhy/km

$C = 20$ millièmes de mfd/km

$Z_0 = 225$ ohms.

Ces chiffres ont été mesurés sur la ligne à 220.000 volts Eguzon-Chaingy dont les câbles aluminium acier ont 22 m/m de diamètre, écartement des phases 7 m. environ.

Pour des lignes à tension moyenne de 15.000 à 60.000 volts l'impédance caractéristique serait un peu plus faible et descendrait suivant l'armement de la ligne à 400 ohms environ pour une phase avec retour par la terre et à 700 ohms si on emploie deux phases.

Atténuation. — On sait que la constante d'atténuation d'une ligne est la partie réelle de l'expression

$$\alpha = \sqrt{(R + jL\omega)(G + jC\omega)}.$$

Nous avons admis que G était toujours négligeable et que R était faible vis-à-vis de $L\omega$. En développant l'expression :

$$\alpha = \sqrt{(R + jL\omega)jC\omega}$$

on trouve pour la partie réelle β, constante d'atténuation

$$\beta = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}$$

et comme l'impédance caractéristique $Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$

$$\beta = \frac{R}{2Z_0}.$$

Cette équation donne un moyen de mesurer la résistance R d'une ligne en HF.

Si la ligne à mesurer a au moins une vingtaine de longueurs d'onde, son impédance est à peu près indépendante de sa situation à l'extrémité réceptrice.

Si la ligne est plus courte on procède par approximations successives en fermant la ligne à son extrémité réceptrice sur une résistance égale à la résistance caractéristique évaluée d'abord approximativement. Une deuxième opération suffit en général pour avoir le chiffre exact.

Connaissant cette résistance caractéristique on fait passer dans la ligne un courant de fréquence déterminée et on mesure son intensité à l'entrée et à la sortie.

Soit I_1 le courant à l'entrée,

I_2 le courant à la sortie,

l la longueur de la ligne en km.

$$I_2 = I_1 e^{-\beta l}$$

d'où

$$\beta = \frac{\log I_1 - \log I_2}{0{,}43\, l}$$

on en déduit la résistance kilométrique

$$R = 2 Z_0 \beta$$

Pour les lignes à très haute tension en cuivre et en aluminium on trouve pour β dans le cas d'un circuit bifilaire des chiffres de l'ordre de 0,005 à 0,007 pour une fréquence de 65.000.

Pour une ligne monofilaire, c'est-à-dire une phase avec retour par la terre, on trouve pour β des valeurs comprises entre le double et le triple des valeurs précédentes pour les mêmes fréquences.

Pour des lignes à tension moyenne on trouve dans les 2 cas des valeurs de β un peu plus fortes.

L'expérience montre que pour une ligne donnée β croît avec la fréquence. Nous n'avons pas fait suffisamment de mesures à diverses fréquences pour trouver la loi de variation, mais on peut remarquer que l'exponentielle $e^{-\beta}$ correspond au 2e terme de la formule d'Austin Cohen, et on peut en première approximation admettre que β croit comme la racine carrée de la fréquence. Il en résulte que si pour les distances courtes on peut employer des longueurs d'onde faibles (de 1500 à 2000 m), pour les distances plus grandes il vaut mieux employer des longueurs d'onde allant jusqu'à 3 et 4000 mètres.

Il n'y a jamais intérêt à dépasser 5000 mètres. En effet pour ces longueurs d'onde la modulation sans déformation devient difficile et les différents appareils employés actuellement : bouchons, ponts de connexion, accentuent encore cette déformation quand la longueur d'onde est grande. Pour ces différentes raisons il y a intérêt à ne pas dépasser 3000 ou 4000 mètres.

III. — Attaque de la ligne par antenne ou par condensateur

L'attaque par antenne est en général utilisée en transmission monofilaire ; aussi nous étudierons particulièrement ce cas.

Nous supposerons que la ligne est suffisamment longue pour qu'on puisse la supposer fermée sur sa résistance caractéristique.

Plaçons le long d'une ligne, une antenne constituée par exemple par le câble de terre dont on aura soigneusement isolé une ou deux portées, c'est-à-dire environ 4 ou 500 mètres.

Supposons la ligne réduire au conducteur B et soit A l'antenne.

Soit C la capacité totale de l'antenne dans le système.

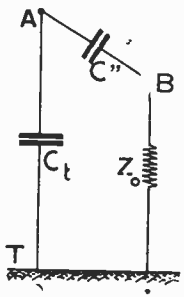


Fig. 2.

Si nous portons l'antenne au potentiel V nous lui donnerons une charge.

$$Q = CV$$

Le champ électrique produit par cette charge va se fermer partie par la terre et partie par le conducteur B.

Si B est sur une surface équipotentielle V' il va se mettre au potentiel V' et s'il est isolé et de petite dimension par rapport à sa hauteur, sa présence ne troublera pas la répartition du champ.

Si nous mettons ce conducteur B à la terre, à travers sa résistance caractéristique Z_0, il prendra une charge Q' suffisante pour que son potentiel se mette à zéro et si C' est la capacité de la partie exposée de la ligne on aura :

$$Q' = C' V'.$$

Supposons maintenant que le potentiel V appliqué à l'antenne soit alnernatif et sinusoïdal :

$$v = V \sin \omega t.$$

La charge q' induite sur la ligne sera aussi alternative et sinusoïdale :

$$q' = Q' \sin \omega t.$$

Le courant entre ce conducteur et la terre sera en négligeant la valeur de Z_0 :

$$i = \frac{dq'}{dt} = \omega Q' \cos \omega t.$$

Sa valeur maxima sera :

$$I' = \omega Q'$$

et puisque

$$Q' = C'V'$$

$$I' = \omega C'V' \qquad (1)$$

D'autre part, le courant dans l'antenne pour la même raison sera :

$$I = \omega CV$$

d'où

$$\frac{I'}{I} = \frac{\omega C'V'}{\omega CV}$$

Mais la capacité C' de la partie du conducteur exposée à l'an-

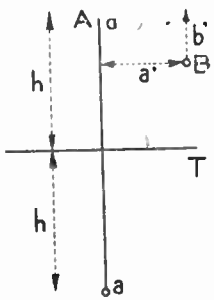


Fig. 3.

tenne est pratiquement la même que celle de l'antenne, on a donc finalement :

$$\frac{I'}{I} = \frac{V'}{V}$$

ou

$$I' = I \frac{V'}{V}$$

$\frac{V'}{V}$ est souvent appelé le coefficient d'influence entre les deux conducteurs.

---

(1) On sait que V' en fonction de V est donné par la formule :

$$V' = V \frac{\log \frac{(2h - b')^2 + a'^2}{a'^2 + b'^2}}{2 \log. \frac{4h}{d}}$$

d : diamètre du fil (fig. 3).

Application. — Nous pouvons appliquer ce qui précède au cas d'une antenne de 500 m de longueur induisant une ligne unifilaire.

Nous supposerons les 2 fils à une hauteur moyenne de 20 m, l'antenne et l'autre fil ayant tous deux 10 mm de diamètre la distance entre fils étant de 3 m.

$$I' = I \frac{\log \frac{4h^2 + a'^2}{a'^2}}{2 \log. \frac{4h}{d}}$$

$$\frac{4h^2 + a'^2}{a'^2} = 13{,}3$$

$$\frac{4h}{d} = 8.000$$

$$I' = \frac{I \log 13{,}3}{\log. 8000} = 0{,}29\ I.$$

Donc pour 1 ampère dans l'antenne, on aura 0,29 ampère dans la ligne.

Le courant dans l'antenne se partage en deux parties dont l'une I' passe par la capacité de C'' (capacité partielle entre conducteurs) et la résistance Z_0 ; et l'autre entièrement déwatté va à la terre par la capacité C_t qui forme la capacité shunt.

C'' qu'il ne faut pas confondre avec C' capacité totale de B, forme ici la capacité utile, ici $C = 0{,}29\ C'$.

Nous pouvons voir de suite que nous n'avons pas fait une grande erreur en négligeant Z_0.

La capacité C'' étant de l'ordre de 1 millième de mfd/km, elle est ici de 0,5 millième ; son impédance pour une longueur d'onde de 4 000 m est de l'ordre de 4 000 ohms.

Z_0 est ici de 500 ohms.

$$Z = \sqrt{4\,000^2 + 500^2} = 4\,030$$

l'erreur est inférieure à 1 pour cent.

Calcul du rendement de l'antenne.

Le courant $I' = 0{,}29\ I$ va mettre en jeu dans la ligne une puissance :

$$W = Z_0\, I'^2 = 500\ (0{,}29\ I)^2 = 42\ I^2 \text{ watts.}$$

Pour 1 ampère dans l'antenne, on aura donc 42 watts de puissance en ligne. La résistance supplémentaire de l'antenne due au couplage avec la ligne sera de 42 ohms.

Or, la résistance passive d'une telle antenne comprend la résis-

tance du fil (en HF 3 ou 4 ohms si elle est en cuivre) et celle de la prise de terre (1 ou 2 ohms) elle est donc au maximum de 6 ohms.

D'autre part, la résistance de rayonnement sur $\lambda = 4\,000$ m.

$$R = 160\pi^4\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 \text{ ohms.}$$

Si nous admettons que h, hauteur effective de l'antenne, est ici de 20 m on a $R = 0{,}04$ ohm, ce qui est négligeable, la puissance dans l'antenne sera donc pour 1 ampère :

$$Wa = (6 + 42)\, I^2 = 48 \text{ watts.}$$

et la puissance passée à la ligne :

$$W' = 42 \text{ watts}$$

le rendement sera donc :

$$\frac{42}{48} = 88 \text{ pour cent.}$$

Théoriquement il n'est donc pas si mauvais qu'on veut bien le dire. Dans le cas le plus général, la ligne induite par l'antenne sera une ligne triphasée dont chaque conducteur prendra à l'antenne une certaine quantité d'énergie. Aussi les résistances d'antenne que l'on trouve dans la pratique sont-elles plus considérables. On obtient en utilisant les fils de terre, comme antenne, des résistances qui varient de 30 ohms à 70 ohms suivant l'armement de la ligne et la distance du câble de terre aux fils de ligne. Ainsi, à Chaingy, sur une ligne à 220 000 V, on trouve une résistance d'antenne de 65 ohms. Sur des lignes à 90 000 V on trouve de 75 à 80 ohms, le câble de terre étant plus rapproché des conducteurs.

Comparons maintenant le rendement d'une antenne à celui d'un circuit à condensateur.

Ce circuit comprend : le condensateur et une self d'accord qui sert à constituer le transformateur de couplage avec les appareils.

Supposons que le condensateur ait une capacité de 0,5 millième de mfd et un angle de pertes de 0,01, sa résistance sera de 50 ohms.

La résistance passive de la self et de la prise de terre sera d'une dizaine d'ohms, la résistance du circuit étant surtout constituée par la résistance caractéristique de la ligne et on aura :

$$\rho = \frac{500}{560} = 89 \text{ pour cent.}$$

On voit que ce chiffre est du même ordre que dans le cas d'une antenne.

Ce n'est pas là qu'est la supériorité du condensateur.

Dans l'attaque par antenne, l'antenne a non seulement une capa-

cité par rapport à la ligne, mais encore une capacité par rapport à la terre, de sorte qu'en plus du courant watté qui va à la ligne par la capacité C', elle est le siège d'un courant dévatté qui va à la terre

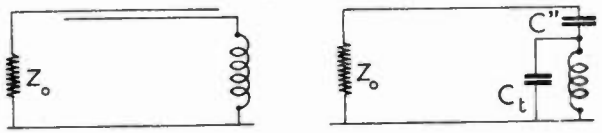


Fig. 4.

par la capacité C_t. Ce courant dévatté ne représente une dépense d'énergie que dans les résistances passives de l'antenne ; il a cependant un inconvénient : sa présence dans l'antenne diminue l'amortissement de l'antenne dont la courbe de résonance sera plus aiguë que celle du circuit à condensateurs, ce qui est sans inconvénient pour la télégraphie en H. F. mais peu favorable pour la téléphonie.

En effet, si en télégraphie il s'agit de transmettre une certaine quantité d'énergie sur une fréquence unique F, en téléphonie, il faut, pour que la voix soit bien reproduite transmettre avec la même

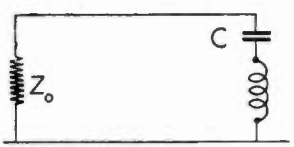


Fig. 5.

intensité (autant que possible) toutes les fréquences comprises entre :

$$F - 2000 \text{ et } F + 2000.$$

Comparons, à ce point de vue une antenne ayant :

$$R = 65 \text{ ohms}$$
$$C = 4{,}75 \text{ millièmes de mfd}$$
$$L = 1{,}37 \text{ millihenry}$$

travaillant sur 4800 m de longueur d'onde avec un circuit à condensateurs placé sur la même ligne avec la même longueur d'onde.

Nous pouvons avoir comme constantes :

$$C = 2 \text{ millièmes de mfd}$$
$$L = 3{,}25 \text{ mhenrys}$$
$$R = 530 \text{ ohms, y compris la ligne.}$$

Les deux courbes de résonance sont représentées figure 4.

Les ordonnées étant proportionnelles à l'intensité que le circuit peut transmettre à la ligne sur les différentes fréquences, on voit que toutes choses égales d'ailleurs, la déformation produite par le circuit à condensateur sera plus faible que celle produite par l'antenne.

Cependant, la parole est encore assez bien transmise dans ces conditions et reste très compréhensible.

On a reproché aux systèmes à antennes de se dérégler par suite des variations des conditions atmosphériques.

Nous n'avons pas remarqué pour notre part que ce reproche soit

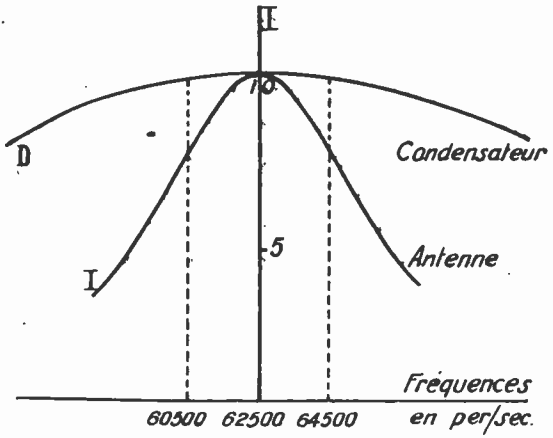


Fig. 6.

fondé. Il est possible que les déplacements relatifs de la ligne et de l'antenne fassent varier légèrement C″, capacité mutuelle de ces deux conducteurs. Mais ce qui fixe le réglage de l'antenne ce n'est pas C″, c'est C sa capacité totale, telle, que $C = C_t + C''$.

L'expérience montre que C est à peu près constant pour une antenne donnée, la présence de la ligne ne l'augmentant que de 4 à 5 o/o. Certes C″ varie suivant la distance de l'antenne à la ligne, mais c'est au détriment de C_t, capacité partielle de l'antenne par rapport à la terre; de sorte qu'en définitive C est à peu près invariable pour de faibles déplacements relatifs.

Il est possible qu'une pluie violente ou des conditions atmosphériques défavorables créent de légers défauts d'isolement dans l'antenne, ce qui aurait pour effet de diminuer la tension introduite V′ Nous n'avons jamais remarqué que ce phénomène soit très sensible. Toutefois, il est toujours prudent d'avoir un excès d'énergie à l'émission.

Remarque. — Il faut bien remarquer qu'une antenne de couplage avec une ligne haute tension ne fonctionne pas du tout comme une antenne normale de T. S. F.

La résistance d'une antenne de T. S. F. se compose de plusieurs éléments :

r_r résistance du rayonnement.

r_p résistance passive comprenant la résistance des fils en haute fréquence, et la résistance de la prise de terre.

r_a résistance d'absorption par les conducteurs voisins et le rendement de l'antenne est :

$$\rho = \frac{r_r}{r_r + r_p + r_a}$$

Nous avons vu plus haut que la résistance de rayonnement avait pour expression :

$$r_r = 160\pi^2\left(\frac{H}{\lambda}\right)^2$$

H hauteur effective.

λ longueur d'onde.

Comme on est limité par la hauteur des supports, pylônes ou mâts, il est difficile pour des ondes de plus de 3.000 mètres, d'avoir des résistances de rayonnement de plus de 2 à 3 ohms. On voit donc que pour obtenir des rendements acceptables on est conduit à soigner particulièrement la construction de l'antenne et de la prise de terre, et à éviter l'absorption par les conducteurs voisins, ce qui conduit soit à les sectionner soit à les mettre à la terre franchement.

Pour une transmission sur ligne c'est r_a qui est la résistance utile qui, comme nous l'avons vu est de l'ordre de 40 à 60 ohms, suivant les cas, et le rendement est

$$\rho = \frac{r_a}{r_a + r_r + r_p}$$

r_r étant négligeable, il est possible, même avec des antennes en fil d'acier d'obtenir des rendements de l'ordre de 70 o/o.

On peut, même en conservant des rendements de 60 o/o constituer des antennes complexes pouvant vibrer sur deux ondes.

Mais toutes ces considérations sont un peu théoriques et pratiquement, on constate qu'aux distances où on peut placer les antennes par rapport aux fils de ligne, on obtient les mêmes résultats avec un poste de 10 W travaillant sur condensateurs qu'avec un poste de 100 W travaillant sur antenne.

Or un poste de 10 W est d'une réalisation plus facile qu'un poste

de 100 W et permet l'emploi d'un appareillage genre téléphonie automatique, qui est parfaitement au point.

Inductions électromagnétiques. — Nous n'avons pas tenu compte jusqu'ici de l'induction électromagnétique.

Dans le cas du couplage par antenne ouverte elle peut exister, mais on peut prévoir *a priori* que ses effets seront faibles.

En effet, la partie de l'antenne couplée à la ligne est précisément celle où il y a de la tension plutôt que du courant. De plus, la f.e.m. induite magnétiquement rencontre, dans la plupart des cas une assez forte impédance dans son circuit.

Le circuit ligne terre que l'on doit envisager n'est en effet pas le même que pour le courant induit par influence.

Ce dernier converge vers l'antenne des deux côtés de la ligne G et D.

Si l'origine de la ligne est en D, ou bien cette origine est isolée, ou bien elle est reliée à la terre par le neutre des transformateurs HT.

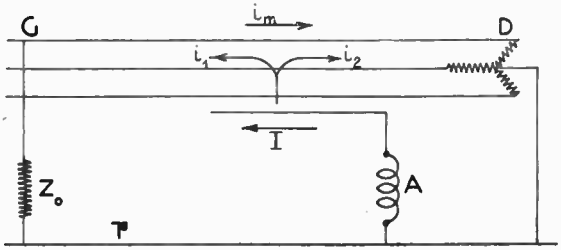


Fig. 7.

Si le neutre est isolé il n'y a avec la terre qu'une liaison par la capacité des transformateurs qui est de l'ordre de 0,5 à 0,7 millièmes de mfd par transformateur.

Pour le courant induit magnétiquement, le circuit ligne ne se ferme pas par l'antenne mais par les deux côtés de la ligne, c'est-à-dire d'un côté par l'inpédance caractéristique, de l'autre par l'impédance des transformateurs. On conçoit que la phase de deux courants, d'origine électrique ou d'origine magnétique puisse varier et donner un courant résultant dans chaque sens différent.

On a employé dans certains cas des antennes fermées constituées par le fil de terre isolé sur 400 ou 500 mètres et mis à la terre à l'extrémité opposée à l'appareil. Dans ce cas, il y a peu d'induction électrique et c'est l'induction magnétique qui domine, et le courant produit est essentiellement fonction de la situation de la ligne au

point de départ. On ne peut guère compter avec ce système sur une certaine constance dans les transmissions.

Ces diverses considérations disparaissent quand on emploie des condensateurs. Il n'y a plus à proprement parler, induction ni magnétique ni électrique, mais conduction, et pour éviter toute perte en HF, on aménage les lignes, cet aménagement ne devant modifier en rien les caractéristiques de la ligne au point de vue transport d'énergie.

IV. — Stabilisation de la ligne pour la haute fréquence.

Considérons le cas général d'une ligne de distribution partant d'une usine U et comportant 4 postes dont 2 intermédiaires.

Nous supposerons que la transmission est unifilaire avec retour par la terre.

Il faut s'arranger de façon que tout le courant de HF passe par la

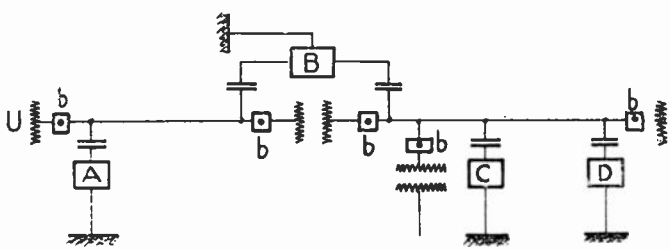


Fig. 8.

ligne avec un minimum de pertes par dérivation. Notons que la ligne AB peut n'être reliée à la ligne CD que par des transformateurs.

En A, la ligne est fermée par un bouchon résonnant empêchant le courant de H.F. de passer par les transformateurs.

En B, deux bouchons *b* et *b*. En C un bouchon *b* et en D un bouchon *b*.

D'autre part, pour assurer la continuité de la ligne en B on dispose un « by-pass » constitué par des condensateurs avec une self permettant la résonance pour la fréquence de transmission. On voit dans ces conditions que le courant de H.F. passera par la ligne et ne pourra aller à la terre que par les appareils de H.F.

Si la transmission était bifilaire, le schéma serait le même mais le nombre de bouchons et de « by-pass » serait double.

Un autre cas peut se présenter dans la pratique et nécessiter encore des bouchons.

Supposons que la ligne H.T. se bifurque en B et revienne se connecter à la ligne un peu plus loin en C, les deux chemins B, C, ayant des longueurs différentes.

Si ces longueurs diffèrent d'une demi-longueur d'onde, ou d'un nombre impair de demi-longueurs d'onde, il peut arriver que le

Fig. 9.

courant parti de A et s'étant partagé en B, les deux parties arrivent en C en oppostion de phase, de telle sorte que le courant en C serait à peu près nul si l'atténuation des 2 chemins B, C était peu différente.

On pourrait évidemment modifier la longueur d'onde mais il est plus simple de boucher l'un des chemins B, C.

Toutes les dérivations doivent être bouchées. Ce sont les plus courtes qui peuvent être les plus nuisibles.

Supposons en effet que nous nous trouvions en présence d'une dérivation ayant comme longueur $\left(n+\frac{1}{4}\right)\lambda$., la ligne dérivée étant à l'extrémité soit ouverte par un sectionneur, soit fermée sur un appareil ayant une très grande résistance.

L'onde se réflechira à cette extrémité et reviendra a son point de départ, en opposition de phase avec l'onde de la ligne principale ; si l'amortissement dans la dérivation est faible, on voit que l'intensité dans la ligne principale pourra être très diminuée.

Les dérivations assez longues ont en général la même résistance caractéristique que la ligne principale, et enlèvent à cette ligne la moitié de la puissance disponible, mais les ondes réfléchies ne sont pas à craindre.

Les bouchons sont de types divers : les uns (Telefunken) sont constitués par une self de 0,1 ou 0,2 millihenry, capable de supporter le courant maximum d'énergie et une intensité de court-circuit 8 à 10 fois plus forte. A l'intérieur de cette self est couplé par induction un circuit résonnant accordé sur l'onde à boucher.

Dans d'autre ($D_eT_eW_e$) le bouchon est simple et le circuit résonnant est constitué sur la self elle-même avec de gros condensateurs.

Les Américains qui ont aussi maintenant adopté ce système,

emploient des bouchons plus complexes mais remplissant le même objet.

Dans les systèmes qui comportent deux fréquences, le bouchon est en réalité constitué par 2 bouchons résonants en série.

Quand ces bouchons sont placés dans des postes out door, ils sont contenus dans une grande porcelaine ad hoc. Pratiquement, ces bouchons ont des résistances de l'ordre de 4 000 à 5 000 ohms pour leur fréquence de résonance. Leur impédance pour la fréquence 50 ne dépasse pas 0,065 ohm c'est-à-dire environ 100 mètres de ligne.

Si ces bouchons ont constitué un grand progrès au point de vue de la stabilisation des lignes H.F. ils n'en présentent pas moins un assez grave inconvénient au point de vue de la déformation de l'onde modulée et par conséquent de la reproduction fidèle des différentes fréquences de la voix.

La multiplication des bouchons et des by-pass sur un élément de ligne constituant un circuit de H.F. produit un filtrage qui supprime de plus en plus les harmoniques supérieures de la voix au fur et à mesure que l'on augmente leur nombre et aujourd'hui, dans la pratique, on est arrivé à limiter ce nombre à 3 ou 4 sur une ligne pour conserver à la voix toute son intelligibilité. Cela conduit d'ailleurs à une technique nouvelle en matière de téléphonie H.F.

Les lignes H.T. sont partagées en tronçons dont la longueur ne dépasse pas 100 ou 150 kilomètres au maximum ; cela dépend du nombre de postes intermédiaires et de transformateurs à franchir par by pass.

Chacun de ces tronçons constitue un réseau H.F. Si la ligne comporte plusieurs trouçons, on juxtapose 2 postes de H.F. reliés en basse fréquence par un appareil de téléphonie automatique qui assure la retransmission.

Nous verrons que cette disposition est d'ailleurs rendue nécessaire pour d'autres raisons lorsqu'on veut faire fonctionner un réseau en dispatching.

On peut remarquer de suite que les by-pass peuvent être constitués au moyen d'antennes, aussi bien que de condensateurs. Mais comme nous avons vu plus haut, la courbe de résonance d'un tel circuit étant beaucoup plus aiguë avec antenne qu'avec condensateur, un seul by-pass à antenne déformera autant que deux ou trois by-pass à condensateurs et on sera encore plus limité dans leur emploi.

On peut noter aussi qu'en transmission bifilaire, pour une même

ligne présentant les mêmes accidents, on sera conduit à employer deux fois plus de bouchons ou de by-pass qu'en transmission monofilaire. La parole sera donc plus déformée.

On voit donc encore que si la transmission bifilaire présente certains avantages au point de vue atténuation, son emploi est plus indiqué pour les longues lignes ne présentant aucune dérivation ou autre accident.

V. — Liaison en simplex et liaison en duplex.

On a pu dans les débuts se contenter de liaisons en simplex, chaque poste parlant à son tour aprés avoir manœuvré un commutateur émission réception.

Aujourd'hui on exige que les postes puissent permettre une conversation continue comme les postes téléphoniques ordinaires. A vrai dire, ce système ne présente aucune difficulté particulière de réalisation si la puissance à l'émission n'est pas trop forte, et si la réception est peu sensible.

Le système le plus simple et probablement le premier en date consiste à employer deux fréquences de courant porteur, l'une pour la transmission, l'autre pour la réception.

Ces deux courants se superposent sur la ligne et il suffit que leurs fréquences diffèrent 10 à 15 kilocycles pour que leur interférence soit inaudible.

Le système est d'une réalisation facile avec les postes à puissance réduite. Mais il ne faut pas perdre de vue que le circuit de couplage, antenne ou condensateur est parcouru à la fois par les deux courants. Or si le courant d'émission est de l'ordre de 200 milliampères au départ, le courant de réception peut être 50 ou 100 fois plus faible.

Or, l'émission est comme la réception couplée sur ce circuit et la sélection électrique qu'elle se fasse par filtres ou par circuits accordés, n'est pas toujours suffisante pour éliminer l'onde conjuguée d'émission.

Cela peut produire des effets fâcheux. D'abord l'onde d'émission peut bloquer la lampe détectrice et lui faire perdre toute sensibilité pour la réception. Ensuite si la réception conserve une certaine sensibilité il peut se produire un amorçage d'effet Larsen empêchant tout fonctionnement.

On conçoit que ces deux phénomèmes se produisant d'autant plus

facilement que le courant d'émission est plus intense et que la réception est plus sensible.

Cela explique pourquoi, dans les systèmes employant simultanément deux fréquences de courant porteur on est limité dans la puissance de l'émission et la sensibilité de la réception et par conséquent dans la distance franchissable.

Cette distance dépend d'ailleurs de l'atténuation, c'est-à-dire des caractéristiques de la ligne. Elle dépend aussi de la tension d'exploitation, qui dans le cas des très hautes tensions peuvent obliger à conserver un niveau d'énergie plus élevé à la réception pour diminuer les fritures de l'effet Corona.

Dans la transmission en simplex la sensibilité de la réception est toujours limitée par la nécessité de ne pas avoir de parasites venant de la ligne, par contre rien ne limite la puissance de l'émission et théoriquement au moins on peut franchir n'importe quelle distance.

C'est ce qui a conduit les américains à la conception de leurs postes actuels (G.E.C°, Western, etc..). Ce sont, en somme des postes travaillant en simplex, la commutation émission réception se faisant automatiquement, chaque poste en parlant bloque sa propre réception et quelquefois l'émission de son interlocuteur.

Ces postes n'emploient qu'une seule fréquence pour les deux sens de conversation, ce qui peut être un avantage en cas de liaisons multiples, la ligne étant moins encombrée.

Mais dans les deux systèmes, simplex ou duplex le poste d'émission reste en marche pendant la réception, l'émission dans le cas du simplex, étant coupé. Il faut donc que la réception, même dans ce cas ne soit pas trop sensible pour ne pas être gênée par les parasites provenant des machines d'émission.

En fait on voit que le problème de la conversation en duplex est le même que dans la Téléphonie sans fil ordinaire. Mais dans ce dernier cas on a la ressource d'éloigner l'une de l'autre les antennes d'émission et de réception conjuguées. Ce moyen n'existe pas ici puisque dans chaque poste l'antenne ou le circuit de couplage est commun à l'émission et à la réception. Mais les puissances employées étant moins considérables on arrive à un fonctionnement très convenable.

VI. — Système d'appel.

L'appel a toujours été considéré comme la grosse difficulté de ce genre de communication, à tel point qu'en 1924 l'union des Syn-

dicats de l'Électricité avait institué un concours sur ce point particulier, considérant que le reste du problème était résolu.

Ce concours n'eut d'ailleurs d'autre résultat que de montrer que le problème de la téléphonie sur ligne, dans son ensemble était loin d'être résolu en 1924. Ce n'est en réalité qu'à partir de cette époque que les constructeurs commencèrent à sortir de la période de tâtonnements et semblèrent se mettre d'accord sur un certain nombre de règles techniques. *A priori* il est évident que le téléphone étant le plus sensible des instruments connus, il faudra plus d'énergie pour faire fonctionner un relai de sonnerie que pour entretenir une conversation.

De plus, un relai si sensible qu'il soit fonctionne entre des limites bien déterminées et a beaucoup moins de souplesse que l'oreille. C'est pourquoi, encore à l'heure actuelle, c'est en général l'appel qui donne des mécomptes lorsqu'il se produit des dérangements dans l'appareil. On peut employer pour l'appel soit des courants modulés en basse fréquence, soit des ondes entretenues pures.

Mais les lignes étant assez souvent le siège de surtensions provoquées soit par un orage soit par une ouverture de sectionneur, il est indispensable d'employer des appels sélectifs d'un genre quelconque pour éviter les appels intempestifs.

Les deux systèmes d'appel ont leurs avantages et leurs inconvénients. Quand on fait l'appel par courants modulés, le système récepteur de conversation peut être utilisé pour recevoir l'appel, mais il ne faut pas perdre de vue que la ligne à haute tension est une grande antenne de réception et que les liaisons par T.S.F. sont à l'heure actuelle nombreuses. Il peut arriver qu'une onde étrangère interfère avec l'onde porteuse surtout en transmission monofilaire et fasse fonctionner le relai d'appel, troublant son réglage et le rendant très délicat.

L'appel par ondes entretenues pures est plus stable. Mais il réclame un système récepteur différent pour l'appel et la conversation.

Il permet aussi, lorsqu'il y a plusieurs postes sur la même ligne de réaliser très simplement dans chaque poste appelé un signal permanent d'occupation de la ligne.

Quoi qu'il en soit, à l'heure actuelle, par suite des perfectionnements des relais d'appel et des lampes le problème de l'appel est bien résolu et on réalise maintenant des tronçons de lignes téléphoniques pouvant s'insérer dans un réseau automatique aussi facilement qu'un téléphone ordinaire.

Les sélecteurs d'appel sont toujours indispensables, même sur les

lignes ne comportant que deux postes pour éviter les appels intempestifs.

Un point délicat dans l'appel est le fait que la ou les lampes destinées à recevoir les appels doivent être allumées en permanence.

Or, la durée d'une lampe est très variable. Elle dépend d'ailleurs des montages adoptés.

Dans certains systèmes les lampes ne durent pas plus d'un mois. Avec certaines précautions de montage on peut, avec certaines lampes obtenir des durées de 3 à 4000 heures.

Quelle que soit la durée de la lampe il est préférable d'être prévenu quand la lampe est hors de service pour la changer de suite.

Mais l'installation d'un pareil avertisseur n'est possible qu'avec des lampes de type ancien à filament de tungstène massif qui périssent par rupture du filament. Pour les lampes nouvelles, à filament thorié ou à oxyde rapporté, le filament se rompt rarement mais le débit anodique diminue progressivement avec le temps par suite de la disparition du thorium ou de l'oxyde.

Il est inutile dans ces conditions de monter un relai avertisseur en série avec le filament. On monte à côté de la lampe un système permettant de vérifier de temps en temps le débit anodique de la lampe et on la change lorsque ce débit est tombé au-dessous d'une certaine valeur.

VII. — Alimentation des postes.

Les postes H.F. nécessitent une alimentation en courant continu, d'une part, à basse tension pour chauffer les filaments des lampes, soit d'émission, soit de réception, d'autre part à haute tension pour alimenter les anodes.

Dans les postes à petite puissance la haute tension ne dépasse pas 500 à 600 volts et descend même quelquefois à 300 volts.

A la rigueur cette tension peut être fournie par une batterie d'accumulateurs de faible capacité, mais ce genre d'accumulateurs est assez délicat et il vaut mieux avoir recours à une génératrice.

Il faut noter que l'expérience montre que le point faible de ce système est justement l'entretien des batteries d'accumulateurs et le meilleur système est celui qui n'en comporte pas.

Dans les petites installations on est obligé d'en conserver au moins une mais ce doit être une batterie d'assez forte capacité (au moins 100 AH) du type stationnaire d'entretien facile et qui doit être surveillée. Les différentes alimentations sont prises sur cette batterie

soit au moyen de prises spéciales ou sur un petit groupe convertisseur alimenté par cette batterie, au moyen de potentiomètres. Dans les grandes installations comportant plusieurs postes au même endroit l'alimentation peut être assurée par un groupe générateur à deux tensions, moyenne et haute, les tensions intermédiaires étant obtenues au moyen de potentiomètres, toute batterie spéciale étant supprimée.

Bien entendu, il faut prévoir des filtres sur les différentes alimentations.

Le groupe est continuellement en marche et alimenté par le courant alternatif du secteur. En cas de panne la batterie de manœuvre de l'usine doit l'alimenter au moyen d'un moteur continu auxiliaire monté sur le même arbre et mis en circuit automatiquement.

Dans certaines installations, en Amérique surtout, les tensions anodiques sont fournies par des Kenotrons alimentés par le courant alternatif. Le secours est fourni par un petit alternateur mû par un moteur continu alimenté par la batterie de manœuvre de l'usine ou du poste.

L'essentiel est d'éviter les différentes batteries d'accumulateurs qui sont des causes de dérangement.

VIII. — Comparaison entre le système bifilaire et le système monofilaire. — Réalisation d'un dispatching.

Nous avons vu que si sur une même ligne à H.T. on fait soit une transmission bifilaire, soit une transmission monofilaire avec retour par la terre, la constante d'atténuation augmente dans le second cas et est deux à trois fois plus forte.

Mais la valeur absolue de cette constante n'a dans la plupart des cas qu'une importance secondaire. Ce qui importe surtout c'est qu'elle ne varie pas, de façon que les postes d'une ligne une fois montés et réglés gardent leur réglage sans avoir besoin d'être retouchés suivant les conditions atmosphériques.

Nous avons déjà vu qu'en ce qui concerne les qualités de la ligne au point de vue transmission d'un courant de haute fréquence, il y avait intérêt à l'aménager avec des bouchons résonants de façon que les pertes d'énergie soient réduites au minimum et surtout constantes, quelles que soient les positions des sectionneurs des dérivations. Mais ce n'est pas tout. Il peut arriver qu'en hiver la ligne à H.T. soit recouverte de verglas, mauvais conducteur. Or dans ces conditions, le courant de H.F., entièrement superficiel rencontrera une

forte résistance ohmique et de ce fait l'atténuation sera augmentée.

La valeur β de l'atténuation est :

$$\beta = \frac{R}{2Z_0}$$

elle est donc proportionnelle à la résistance de la ligne.

Désignons par R la résistance propre en H.F. d'un fil de ligne et R la résistance de la terre, en bifilaire l'atténuation est :

$$\beta_1 = \frac{2\,R_e}{2\,Z_0}$$

et en monofilaire :

$$\beta_2 = \frac{R_e + R_t}{2Z_0}$$

L'expérience montre que R_t est deux à trois fois plus fort que R_e. Il en résulte que si la présence du verglas augmente la résistance R_e dans une certaine proportion, en transmission bifilaire l'atténuation sera augmentée dans la même proportion tandis qu'en transmission monofilaire cette augmentation sera deux à trois fois moindre.

C'est pourquoi plusieurs constructeurs après avoir prôné la transmission bifilaire reviennent maintenant à la transmission monofilaire.

Cependant, il est des cas où on est conduit à conserver la transmission bifilaire.

Supposons par exemple que plusieurs lignes à tension moyenne partent des mêmes barres pour desservir des sous-stations différentes et suivant au début des parcours parallèles et assez rapprochés. En transmission monofilaire il peut y avoir des inductions de ligne à ligne tandis que cet effet sera très diminué par une transmission bifilaire.

D'autre part si on a une ligne très longue et des postes d'un type standard de puissance faible, la puissance de ces postes pourra être suffisante en bifilaire et insuffisante en monofilaire.

De plus on constate sur les longues lignes dépassant 100 km. équipées en monofilaire, que la ligne constitue une énorme antenne. A l'émission, son rayonnement est faible, mais a la réception, elle capte les émissions des grands postes de T. S. F. Ces émissions sont hétérodynés par le courant porteur et si leur longueur d'onde s'y prête elles gènent la conversation et troublent le fonctionnement de l'appel.

Les inconvénients de cette situation ne peuvent qu'augmenter

avec la multiplication des liaisons par T. S. F. et avec l'encombrement de la gamme des longueurs d'onde.

Il est donc indispensable lorsque la ligne est longue et dépasse 100 km. d'adopter la liaison bifilaire bien qu'elle soit plus coûteuse.

Une autre considération peut dans certains cas faire préférer la transmission bifilaire. C'est la nécessité d'avoir sur une ligne un peu longue une atténuation assez faible pour pouvoir faire fonctionner un certain nombre de postes échelonnés sur cette ligne à la façon d'un dispaching.

Le fonctionnement en dispaching absolument automatique suppose en effet que tous les postes, quelle que soit leur distance, peuvent communiquer entre eux avec un réglage uniforme et constant.

Supposons pour fixer les idées que nous ayons à équiper une ligne à haute tension de 250 km avec 2 postes aux extrémités et deux postes intermédiaires situés à 20 et 60 km de A.

Tous ces postes au moyen d'un sélecteur d'appel devront pouvoir s'appeler indifféremment deux à deux et causer sans autre manœuvre que la manipulation du sélecteur.

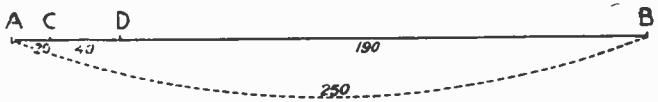


Fig. 10.

Nous supposerons pour simplifier la ligne homogène et l'atténuation constante et nous ne tiendrons pas compte de l'atténuation supplémentaire apportée par les différents postes intermédiaires.

On admet en téléphonie que l'atténuation totale entre deux postes d'abonnés ne doit pas être supérieure à 3 nepers (1) pour que la conversation soit bonne. Ce chiffre est évidemment un peu arbitraire, car en dernière analyse il dépend de l'acuité auditive de l'opérateur.

Ici, le cas est un peu différent de celui de la téléphonie ordinaire car chaque poste agit au point de vue réception comme un relai amplificateur.

On ne doit donc pas compter les atténuations absolues en partant du poste émetteur. Il suffit pour que l'ensemble fonctionne conve-

---

1 N. nepers $= \log_e \frac{I_1}{I_2}$.

nablement que tous les postes ayant même puissance à l'émission et même sensibilité à la réception, la différence d'atténuation entre les deux postes les plus éloignés et les deux postes les plus rapprochés ne dépasse pas 3 Nepers.

Supposons que l'atténuation kilométrique de la ligne soit :

$$\beta_1 = 0{,}007 \text{ en bifilaire,}$$

$$\beta_2 = 0{,}017 \text{ en monofilaire.}$$

Nous admettons que les postes peuvent fournir une puissance P correspondant à une intensité I pour les postes A et B situés en bout de ligne et une intensité $\frac{I}{\sqrt{2}}$ dans chaque direction pour les 2 postes C et D (1).

Voyons d'abord ce qui se passera en transmission monofilaire.

Tout d'abord on peut observer que l'intensité reçue en B du poste C sera un peu supérieure à celle reçue du poste A.

En effet :

$I_{CB} = \frac{I}{\sqrt{2}} e^{-230 \times 0{,}017}$ correspondant à 3,89 Nepers

et $I_{AB} = Ie^{-250 \times 0{,}017}$ id. 4,25 Nepers.

Il suffit donc de comparer les atténuations de A à C et de A à B.

Or

$$I_{AC} = Ie^{-0{,}34}$$

$$I_{AB} = Ie^{-4{,}25}.$$

Différence des atténuations = 3,91 Nepers.

On voit que nous sommes en dehors des limites que nous nous sommes fixées.

Voyons ce qui se passera en transmission bifilaire.

$$I_{AC} = Ie^{-0{,}14}$$

$$I_{AB} = Ie^{-1{,}75}.$$

Différente d'atténuation = 1,61 Nepers.

La transmission pourra donc être assurée.

On voit d'abord que le réglage d'un pareil système dépendra essentiellement de la plus faible distance entre postes.

A la limite, si les deux postes les plus rapprochés sont très voisins, on peut admettre que la distance maximum possible pour qu'un réseau de H. F. puisse fonctionner est celle pour laquelle l'atténuation totale de la ligne est inférieure à 3 Nepers.

(1) La puissance P se partage également entre les deux directions de la ligne pour les postes intermédiaires.

β étant l'atténuation kilométrique de la ligne et D la distance en kilomètres :

$$D \leqslant \frac{3}{\beta}$$

Pour la ligne que nous avons envisagée, avec les valeurs de β de 0,017 en monofilaire et 0,007 en bifilaire.

$D \leqslant 420$ km en bifilaire,

$D \leqslant 175$ km en monofilaire.

Mais nous avons supposé que la ligne était complètement homogène et ne comportait pas d'atténuation supplémentaire.

Pratiquement, les divers acccidents de la ligne tel que les postes de transformation et les postes intermédiaires représentent des atténuations supplémentaires. De plus chaque changement dans les caractéristiques de construction de la ligne produit une réflexion et par conséquent une atténuation de sorte que cette formule donne une distance virtuelle.

La distance pratique maximum est de l'ordre de :

250 km en bifilaire

150 km en monofilaire.

Cette distance pourrait être augmentée légèrement s'il n'y avait qu'un poste intermédiaire qui ne soit pas trop rapproché d'une des extrémités.

La nécessité d'assurer avec des postes standard d'un réglage uniforme le fonctionnement d'un réseau a été une des raisons qui ont conduit à l'adoption de la division d'un réseau HF en tronçons relativement courts (150 km en monofilaire, 250 km en bifilaire) exploités séparément au point de vue HF, ainsi que nous l'avons dit au § V.

A chaque extrémité de ces tronçons on juxtapose deux postes HF, et on retransmet automatiquement en passant par la basse fréquence.

Ce système permet un trafic plus intense, car dans chaque tronçon de HF les postes peuvent communiquer entre eux sans gêner les communications intérieures des autres tronçons, alors que si toute la lige ne formait qu'un seul tronçon de HF elle ne pourrait permettre qu'une communication à la fois.

Examinons maintenant les deux systèmes au point de vue de la sécurité des communications.

Je désirerais tout d'abord réagir contre cette idée qui a été mise en avant il y a 7 ou 8 ans que ce système pouvait fonctionner même en cas de rupture totale de la ligne HT.

Il est possible que dans certaines expériences, en monofilaire avec d'assez faibles longueurs d'onde, on ait pu conserver des communications encore possibles avec une ligne complètement coupée. Les deux tronçons de ligne ayant un assez bon contact avec la terre formaient deux cadres qui s'induisaient mutuellement, mais l'énergie était insuffisante pour faire fonctionner l'appel.

Il résulte d'expériences faites en Amérique que si 7 W sont suffisants pour faire fonctionner un appel en temps normal, il faut environ 300 W pour le faire fonctionner, la ligne étant coupée.

Cela supposerait que la puissance du poste émetteur fut variable et réglable.

On a réalisé il y a 7 ou 8 ans en Amérique des postes de ce type. Par la seule manœuvre d'un commutateur on pouvait mettre en jeu une lampe amplificatrice de 50 W et passer de 1 W à 50 W comme puissance émise.

Par précaution, l'opérateur ne se servait que de la grande puissance, et finalement, on a renoncé à la faible.

En réalité, pour obtenir une certaine sécurité il faut que les incidents de ligne influent le moins possible sur l'intensité reçue.

Prenons d'abord le cas d'une transmission bifilaire.

Si une des phases utilisées est mise à la terre, la transmission ne subit aucune modification. Si elle est coupée, les deux bouts de la coupure étant isolés, la réception sera diminuée dans de telles proportions que le téléphone ne sera plus utilisable.

En transmission monofilaire, plusieurs cas peuvent se présenter : ou bien l'attaque de la ligne se fait par antennes. Dans ce cas les trois phases participent à peu près également à la transmission et si une phase est coupée ou mise à la terre, la diminution de réception ne sera pas suffisante en général pour empêcher le trafic.

Si les trois phases sont coupées, et ce cas est assez rare, ou mises à la terre franchement, ce qui peut se produire si un pylône est renversé, la communication est coupée.

Si la ligne est attaquée par condensateurs sur une phase, tant que cette phase est intacte, la communication reste à peu près la même. Si cette phase est mise à la terre, tout dépend de la résistance de contact. Si elle est grande, il peut encore y avoir une communication suffisante.

Si la phase est coupée, tout dépend encore des résistances de contact avec la terre des bouts libres. Si cette résistance n'est pas trop faible, les deux tronçons agissent comme antenne sur les deux phases de la ligne et la communication reste assurée.

Les expériences faites en Allemagne sur ce point l'ont montré. Il suffit que la rupture de la phase n'est pas lieu trop près d'un poste téléphonique.

La diminution de réception dans ce cas ne dépasse pas $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{5}$ de l'intensité normale. Il est donc bon d'avoir en fonctionnement normal une puissance un peu supérieure à celle qui serait strictement nécessaire.

Pour augmenter la sécurité on a dans certains cas fait de la transmission monofilaire sur deux phases réunies en parallèle (ces deux phases sont attaquées chacune par un condensateur) on se rapproche ainsi de l'attaque de la ligne par antenne.

En résumé, du point de vue de la sécurité des communications, il semble que la transmission monifilaire avec retour par la terre vaille mieux que la transmission bifilaire.

D'autre part, le système monofilaire est moins coûteux à établir, puisqu'il exige moitié moins de condensation d'attaque, de bouchons ou de ponts de connexion.

Enfin, pour une ligne donnée, il déforme moins par ce fait même.

Il semble donc bien qu'à part le cas des lignes assez longues, la transmission monofilaire doive être adoptée en général.

IX. — *Comparaison des systèmes à antennes ou à condensateurs du point de vue de la réalisation pratique et de la sécurité.*

Nous avons jusqu'ici comparé les différents systèmes d'un point de vue à peu près uniquement théorique. Du point de vue pratique les choses changent un peu.

Occupons-nous d'abord de la sécurité, c'est-à-dire de la protection des appareils de HF et des opérateurs contre la haute tension.

Dans les systèmes à condensateurs, le conducteur à haute tension est relié directement à l'appareil haute fréquence par l'intermédiaire d'un condensateur essayé au double ou au triple de la tension de service. Si ce condensateur claque, ce qui peut arriver avec le temps, il n'y a plus comme protection qu'un ou plusieurs fusibles à parafoudres qui doivent interrompre le circuit. Mais tous ces dispositifs, sont en général de dimensions assez réduite, et on peut se demander, quand on sait les formes multiples que peuvent prendre les arcs d'amorçage surtout quand il y a une grande puissance derrière eux, s'ils seront dans tous les cas efficaces.

Le système à antenne serait dans le même cas si l'antenne soit par suite de rupture, soit pour toute autre cause venait au contact de la ligne.

Si l'appareil à haute fréquence est d'un type nécessitant la présence de l'opérateur près de l'appareil, cet opérateur pourra évidemment être atteint en même temps que l'appareil.

Si l'appareil est d'un type complètement automatique et manœuvré à distance par un câble à faible tension et à faible isolement, l'opérateur courra moins de dangers.

Lorsque la ligne est une ligne de distribution, c'est-à-dire qu'elle comporte des dérivations, qui peuvent être ouvertes ou fermées, on doit pour avoir une transmission régulière boucher les dérivations de façon à diminuer le déchet du courant de haute fréquence. Pour réduire le nombre des bouchons, on est amené à utiliser l'attaque sur une seule phase, ce qui oblige à employer un condensateur. D'ailleurs c'est pour cela, en définitive qu'on emploie maintenant presque exclusivement des condensateurs.

D'autre part pour que l'attaque par antenne offre vraiment des avantages, il faut que l'on puisse utiliser comme supports d'antennes des supports déjà posés. Ce qui revient à utiliser comme antenne le câble de terre isolé sur une ou deux portées. Encore faut il que la longueur des portées s'y prête.

Les meilleurs antennes semblent être les antennes bifilaires qui peuvent être réalisées lorsque l'armement de la ligne comporte deux câbles de terre.

Si on adopte le système comportant deux ondes de travail, chaque poste parlant sur une onde et recevant sur l'autre, il est préférable que l'antenne soit accordée sur les deux ondes, cela s'obtient facilement, au moyen d'un bouchon self capacité placé à la base de l'antenne, au prix d'une légère perte de rendement de l'antenne.

Il y a intérêt dans ce cas à ce que la longueur d'onde propre de l'antenne nue ne soit pas trop grande. Une antenne un peu courte vaudra mieux en général qu'une antenne trop longue.

Avec des antennes unifilaires, ce qui est le cas la plupart du temps, une longueur de 300 mètres donnant 1.200 mètres de longueur d'onde propre donnera de bons résultats pour travailler sur des ondes de 3 000 à 4 000 mètres.

Ce type d'antenne qui au demeurant est le moins coûteux à établir a un rendement assez inférieur à ce qu'on peut obtenir avec une attaque par condensateur et une émission directe sur la ligne.

En général si on admet une puissance alimentation de 100 W (pour

l'oscillation) on aura environ 50 W de puissance oscillante (rendement des lampes 50 pour cent), et on peut espérer mettre 25 W dans la ligne, les 25 W restants étant utilisés dans le primaire et dans les résistances passive de l'antenne.

Si on tient compte de la puissance nécessaire à la modulation qui doit être du même ordre que la puissance oscillante le rendement total d'un poste à antenne en indirect ne dépasse pas 10 à 12 pour cent.

Il est en moyenne le triple pour un poste à condensateur à émission directe. On peut donc pour ces postes adopter une puissance plus faible, ce qui permet de les réaliser avec de l'appareillage de téléphonie automatique, mais il faut compléter le système par un aménagement soigné de la ligne, sans quoi le système ne serait pas plus sûr qu'avec une antenne.

Comme il faut aussi tenir compte du rendement de la réception qui est du même ordre, on s'explique qu'avec une liaison à antennes il faille une puissance 9 à 10 fois plus forte pour une même distance qu'avec une liaison par condensateurs.

X. — *Conclusions.*

Nous avons examiné les conditions d'établissement et de fonctionnement d'un téléphone HF, nous pourrons maintenant conclure sur l'opportunité d'employer un pareil système.

Actuellement, l'expérience montre que les lignes téléphoniques aériennes ordinaires, surtout quand elles ont une certaine longueur sont sujettes à de nombreux dérangements. Si ces dérangements dans certaines régions sont facilement réparables, dans d'autres, et en particulier dans les régions montagneuses l'hiver, elles ne sont pas très accessibles, et l'interruption de communication risque quelquefois de se prolonger.

Le système le plus sûr serait probablement les lignes souteraines en câbles ; mais ce système serait fort coûteux. Le téléphone à HF par les lignes HT semble moins sujet aux dérangements provenant de la ligne, car les lignes d'énergie sont plus solides que les lignes téléphoniques quelles qu'elles soient, mais les appareils terminaux sont plus complexes et demandent une surveillance et un entretien.

Du point de vue du prix d'établissement, on peut admettre qu'une ligne téléphonique aérienne coûte de 6 à 8.000 francs par kilomètres, les appareils terminaux ayant une valeur presque négligable, alors qu'un téléphone HF d'un type sérieux avec ses accessoires de ligne coûte en ordre de marche de 200 à 250.000 francs par poste.

Aussi, le prix d'établissement sera comparable pour une distance de 50 kilomètres environ.

Dans le cas de postes multiples sur la même ligne il faudra pour que le téléphone HF soit avantageux que la distance entre postes soit supérieure à 30 kilomètres.

Mais l'intérêt d'une communication très sûre, absolument indispensable à l'exploitation d'un réseau de HT rend un peu secondaire la question du prix d'établissement et il semble bien qu'à l'heure actuelle si on veut que les communications restent toujours assurées le mieux est de prévoir les deux systèmes, communications par téléphone ordinaire par fil, et communications par HF.

Les causes qui peuvent amener l'interruption de l'une ou l'autre des liaisons étant différentes, on a des chances d'en avoir toujours une en état de fonctionner.

Nous avons vu que dans le téléphone HF les causes d'interruption sont dûes à des avaries d'appareils terminaux, et que ces appareils doivent être entretenus très régulièrement au même titre que les autres machines de l'usine.

Dans un réseau appartenant à la même Société c'est facile, il suffit que la direction y tienne la main, et le personnel en prendra bien vite l'habitude, mais le principal écueil est que les réseaux sont le plus souvent interconnectés par des lignes de transport, et que les téléphones sont installés par un des réseaux dans une usine appartenant à une société différente.

Or, il est un fait d'expérience, c'est qu'une machine appartenant à un réseau et installée chez le voisin a peu de chance de marcher. Il y a là des raisons d'ordre psychologique sur lesquelles je n'insiste pas.

Mais un téléphone HF est une machine qu'il faut entretenir. Une statistique américaine portant sur un réseau de 18 postes, évalue les frais d'entretien par une équipe spéciale à 12.500 francs par an et par poste. Il faut donc que le réseau soit suffisamment étendu pour justifier l'existence de cette équipe, et dans ce cas on peut espérer obtenir de bons résultats.

Il faut en tenir compte dans les projets d'installation et adopter un système complètement fermé dont la clef sera entre les mains de l'équipe spéciale, le personnel ordinaire de l'usine n'ayant qu'à s'en servir.

Quoi qu'il en soit, le téléphone HF semble devoir donner un moyen d'obvier aux défaillances des réseaux téléphoniques par fil,

et à ce titre, il doit se répandre en France, comme il s'est déjà répandu en Amérique et en Allemagne.

Le système à employer sera de préférence un système à couplage par condensateur, le système à antenne devant être réservé à des cas très particuliers, ou à des armements de ligne s'y prêtant bien.

Lorsqu'on installe un pareil système sur des lignes à 220 000 V il convient d'être très prudent.

Les allemands prétendent que leur système standard à faible puissance (10 W) fonctionne bien dans ces conditions.

C'est très possible, mais il faut remarquer que les lignes allemandes exploitées jusqu'ici à ces tensions sont des lignes tubulaires en cuivre de très gros diamètre, tandis que la plupart des lignes françaises sont du type américain, en aluminium-acier, d'un diamètre beaucoup moindre, où les atténuations sont beaucoup plus grandes et où l'effet Corona se fait sentir beaucoup plus.

Il est donc à craindre que les portées réalisées en Allemagne ne se retrouvent pas en France.

En Amérique, on a été obligé d'augmenter beaucoup la puissance des postes pour ces tensions d'utilisation, de plus, on a conservé la transmission bifilaire, tandis que les allemands généralisent la transmission monofilaire avec retour par la terre, ce qui donne un facteur d'atténuation trois fois plus fort.

Or ce qui importe pour le bon fonctionnement du système c'est le rapport de la puissance restant en ligne au point de réception, à la puissance fournie par les différents brouillages. Il semble donc encore dans ce cas que la transmission bifilaire vaille mieux, car pour une distance donnée, on a plus de puissance à l'arrivée et moins de brouillages.

M. Saglio.

APPLICATIONS MÉDICALES DES ONDES ULTRA-COURTES

par P. ANCELME

SOMMAIRE — Cet article est un résumé des expériences faites par l'auteur avec les ondes ultra-courtes, pour l'étude de leurs effets sur les tissus vivants, qui peuvent être considérés, au point de vue électrique, comme des corps hétérogènes formés de parties isolantes et conductrices. Dans ces conditions, les actions d'échauffement dues aux courants d'induction et aux courants de capacité peuvent être prévues et interprétées. Les effets biologiques produits paraissent être causés indirectement par l'élévation de température des organes secréteurs exposés à ces ondes ultra-courtes et dont les fonctions sont ainsi modifiées.

La publication de cet article avait été retardée à la demande du Docteur Kotzareff, dont je salue la mémoire, et qui m'avait prié d'attendre que sa thèse ait été soutenue. Sa mort prématurée nous enlève un médecin spécialiste du cancer de réelle valeur.

Ces pages donnent les idées directrices qui nous avaient poussés dans cette voie pour l'amélioration de sa méthode de traitement du cancer. Nous inspirant des expériences déjà faites sur des plantes par M. Lakhovsky, deux notes, sous plis cachetés, résumant ces idées et donnant des résultats cliniques paraisssant obtenus par nous, avaient été déposées en 1929 (1) à l'Académie des Sciences. La partie des expériences concernant la pyorrhée dentaire et l'assèchement des canaux a été faite en collaboration avec M. le Chirurgien-Dentiste Axelroude et M. le Docteur Thibault.

Je me permets de remercier ici M. le Général Ferrié dont l'appui et les conseils ne nous ont jamais manqué au cours de ces travaux.

Préambule.

Quoique ce sujet soit un peu en marge de la T. S. F. proprement dite, il nous a semblé intéressant de montrer une partie si importante des applications des ondes électro-magnétiques. Les applications médicales par haute fréquence ont précédé, en effet, les transmissions radioélectriques.

---

(1) Note du 9 mars 1929, n° 10.148. — Recherches sur le traitement du cancer, par A. Kotzareff et P. Ancelme (en collaboration avec G. de Morsier).
Note sur le cancer, du 24 juin 1929, n° 10.186, par A. Kotzareff, P. Ancelme et G. de Morsier.

L'intuition géniale de l'Arsonval a permis de faire faire un pas de géant aux applications médicales des ondes électro-magnétiques et la diathermie est née.

C'est à M. Lakhovsky qu'on est redevable des premières expériences relatives aux effets biologiques des ondes très courtes.

Depuis toute une série d'études ont été faites dans tous les pays dans ce domaine et nous nous permettons de signaler dans la partie application les expériences que nous avons poursuivies depuis 1928.

Généralités.

Il n'est pas sans intérêt de voir combien la médecine et la chirurgie ont su de suite profiter de l'aide puissante des ondes électro-magnétiques de toutes longueurs mis à leur disposition par les savants.

Si nous passons en revue toute la gamme des fréquences nous voyons leur utilisation médidale dans :

le radium avec les ondes électro-magnétiques γ et les rayonnements α et β ;

les rayons x de dureté décroissante ;

les rayons ultra-violets ;

les rayons de la gamme lumineuse ;

les rayons infra-rouges dont les oscillations sont de l'ordre de grandeur des cellules vivantes ;

les appareils de diathermie sur des ondes moyennes ;

les appareils à haute fréquence de types divers ;

les appareils à courant continu (électrolyse) ;

les appareils statiques.

Dans cette gamme, seules les ondes très courtes, allant de quelques centimètres à quelques mètres, n'ont pas fait l'objet d'applications médicales suivies.

Cependant, dès 1893, M. d'Arsonval avait fait des recherches sur l'effet bactéricide des ondes très courtes, et j'ai cité plus haut M. Lakhovski dans ses recherches sur les tumeurs des plantes à allure cancereuse.

Action thérapeutique des ondes ultra-courtes.

Les études scientifiques faites sur ces ondes avaient montré l'intensité des courants d'induction produits au voisinage même des postes émetteurs et les précautions qu'il fallait prendre pour éviter l'échauffement des diélectriques placés dans leur champ.

Les expériences étaient faciles à faire sur ce point et nous avons voulu vérifier en 1928 des résultats obtenus déjà par ailleurs.

L'étude de l'échauffement de liquides isolants en comparaison avec des électrolyses en tenant compte de l'effet Joule montre que cet échauffement est variable selon la nature de l'isolant.

L'explication peut en être trouvée dans l'interprétation de la formule de base de l'électrotechnique

$$z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$$

R dans le cas des isolants étant infini, ce sont les deux termes L et C qui interviennent et également leurs dérivées successives (1) qui prennent d'autant plus d'importance que les ondes sont plus courtes. Si l'on admet que la self d'une masse liquide est négligeable vis à-vis de sa capacité, le travail causé par la variation $\frac{dc}{dt}$ de capacité des molécules du corps produira l'effet thermique observé. Le diagramme (fig. 1) montre que $\frac{dc}{dt}$ est en phase et de même sens que R.

Cet échauffement est uniforme et réparti dans toute la masse. Du moment où c intervient, on peut prévoir qu'il y aura lieu de tenir compte de la constante diélectrique du corps ainsi que cela vient d'être signalé dans l'article de I. Patzold, de septembre 1930.

Des études relatives au point d'éclaire des huiles et appliquant cette propriété, sont en cours à la Section Technique de l'Artillerie en collaboration avec le Commandant Bonnard. Des premiers essais, il semble résulter qu'on puisse arriver à des résultats intéressants.

Les essais poursuivis avec le Docteur Kotzareff, sur les sérums, le sang et les tissus, donnaient des résultats concordants.

Tout tissu vivant peut être considéré au point de vue électrique comme un corps hétérogène, formé de parties conductrices et de parties isolantes. Dans ces conditions, les 3 grandeurs électriques fondamentales, résistance, capacité et self, coexistent dans un tissu et varient d'ailleurs avec sa nature.

Si l'on cherche à agir surtout par conductibilité, on agit par diathermie sur les parties conductrices des tissus, et notamment, sur le sérum du sang. C'est ainsi que l'on pourrait expliquer la brutalité des courants continus ou de basse fréquence ; les veines et les artères étant un réseau conducteur dont le cœur est la centrale.

(1) Le Colonel Chaulard avait insisté dans un article sur cette question.

Si, au contraire, on agit par les effets des grandeurs, capacité et self, soit par courants de Foucault, soit par courants de déplacement, on pourra s'adresser selon la longueur d'ondes à l'ensemble de ces tissus, ou, de préférence, à des tissus particuliers.

C'est donc en prenant des courants de très haute fréquence que ces effets seront prépondérants et il y aura intérêt à descendre le plus bas possible dans l'échelle des longueurs d'ondes.

Cependant, on sait que la profondeur de pénétration des ondes dans une masse conductrice, en agissant par courants d'induction, croît avec la longueur d'onde et diminue en profondeur suivant une loi exponentielle. On voit, dans ces conditions, qu'on agira d'autant plus superficiellement que la longueur d'onde est plus courte.

Dans l'eau de mer pour une longueur d'onde de 4 mètres cette profondeur est de plusieurs centimètres (1). On pourra prendre un

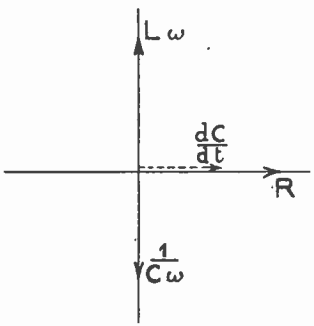


Fig. 1.

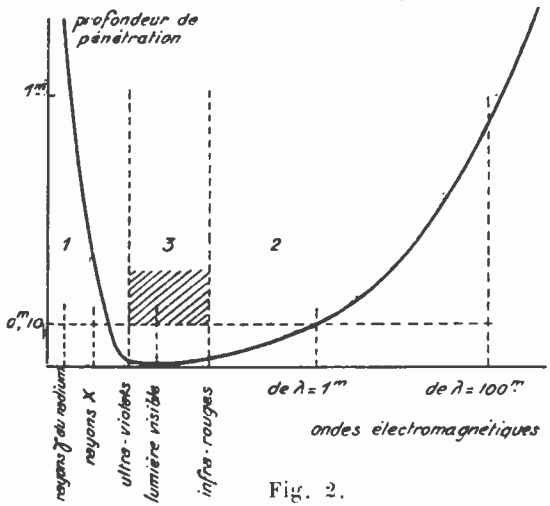


Fig. 2.

chiffre voisin pour les parties conductrices des tissus vivants dont la résistivité moyenne est du même ordre.

En résumé, les tissus exposés dans un champ électromagnétique peuvent être comparés à un milieu hétérogène s'échauffant en partie par courants de Foucault et en partie par courants de déplacement.

Les différentes cellules formant des chapelets de capacités électriques soumises à un champ alternatif ayant une puissance d'autant plus grande qu'à intensité égale les alternances de courant seront plus rapides, c'est un véritable message électro-mécanique de ces cellules.

(1) D'après les travaux de M. Abraham.

On obtient ainsi des effets intercellulaires à la limite desquels on peut placer l'action des rayons infra-rouges.

Les effets directs des rayons ultra-violets sont plutôt des effets physico-chimiques et ceux des rayons X sont intra-moléculaires se traduisant par une désorganisation interne des cellules.

Cette hypothèse ne paraît pas aller à l'encontre de la réalité physique. En effet, une solution colloïdale soumise aux ondes très courtes n'est pas influencée sauf si on élève suffisamment sa température pour la faire floculer. Les microbes eux-mêmes ne sont pas impressionnés sauf si leur bouillon de culture échauffé par le champ électromagnétique atteint une température suffisante. On objectera les expériences ayant trait à la stérilisation de l'eau par des spires en argent, mais n'y aurait-il pas là plutôt une action chimique ou colloïdale ? On peut remarquer à ce sujet l'action activante des seuls rayons ultra-violets sur les vitamines.

Avec les ondes très courtes, les effets d'échauffement d'un tissu osseux sont plus intenses que pour les autres ainsi que le prouvent des expériences faites récemment en Allemagne. Les os étant de nature solide, plus isolants et plus minéralisés que les autres tissus, ce résultat n'étant pas surprenant.

Il y aura alors un moyen de doser leur action sur un tissu, c'est de modifier, par injection préalable par exemple, l'état soit électrique (résistance), soit magnétique (perméabilité) de ce tissu et on modifiera ainsi les effets d'échauffement.

Nous n'avons pas parlé encore de l'effet biologique obtenu et dont l'importance doit parfois être considérable.

Supposons que nous agissons sur un organe à secrétions internes ; en lui apportant un supplément de calories, on pourra activer ses fonctions et créer ainsi des effets biologiques primordiaux qui ne seront que des effets secondaires de l'action des ondes électromagnétiques. Ces effets biologiques subsisteront même après les applications dont les intervalles devront être recherchés expérimentalement.

On peut, par exemple, créer une fièvre artificielle en exposant un individu entier dans un champ électromagnétique de très haute fréquence suffisamment intense.

Dans ces conditions, l'effet de résonance cellulaire ne paraît pas à retenir (vu la grandeur de l'harmonique nécessaire lorsqu'on utilise des ondes de l'ordre du mètre), et ne pourra être valable que pour des ondes de grandeur plus voisine de celles des cellules elles-mêmes.

Nous avions signalé rapidement plus haut le mode d'action inductif des différentes radiations électromagnétiques. Les différences d'action sur un corps opaque de conductibilité analogue à celle des tissus peuvent être reliées aux profondeurs de pénétration de ces ondes et traduites par la courbe (fig. 2).

La région 1 serait une région d'ondes destructives par désintégrations, soit chimiques, soit électriques intra moléculaire.

La région 2 serait une région de massage intermoléculaire ou plutôt intercellulaire et de diathermie.

La zone 3 serait une zone à action superficielle intense et à répercussions biologiques profondes.

Dans les actions par courants de déplacement on a signalé que la longueur d'ondes dans les tissus doit être diminuée grâce à la vitesse de propagation des ondes successives devenant excessivement faible, mais il faut songer à ce qu'un tissu est hétérogène et que les parties conductrices enveloppant les parties isolantes formeront des cages de Faraday minuscules ramenant finalement les effets de capacité à des effets d'induction dont la période forcée sera celle des ondes utilisées. Chaque cellule sera donc massée électriquement à la fréquence imposée par l'appareil.

Si on agit par application des électrodes nues sur le tissu il faut ajouter évidemment la conduction qui donnera un effet Joule supplémentaire important.

Remarque I. — On a trop tendance à confondre l'action des ondes électromagnétiques à haute fréquence et basse tension, ce qui est le cas étudié dans les pages précédentes, avec l'action électrostatique des hautes tensions qui peuvent, par la chute brutale de potentiel le long des lignes de force, agir sur la constitution interne des cellules et même des molécules.

Ces derniers effets paraissent être produits soit dans le domaine des ondes amorties agissant par étincelles, soit par des machines statiques; les rayons X sont au bas de l'échelle, de même nature discontinue avec gradient de potentiel très élevé.

Remarque II. — On peut donc agir soit par les dérivées $\frac{dc}{dt}$ ou $\frac{de}{dt}$ (1), (c'est le traitement par ondes entretenues que nous avions envisagé) soit par $\frac{de}{dx}$ (1), qui doit donner des résultats différents et utilisera les ondes amorties et les machines statiques.

(1) t le temps, x l'espace.

Appareils utilisés.

Le premier appareil de puissance 20 watts (1) a permis de faire

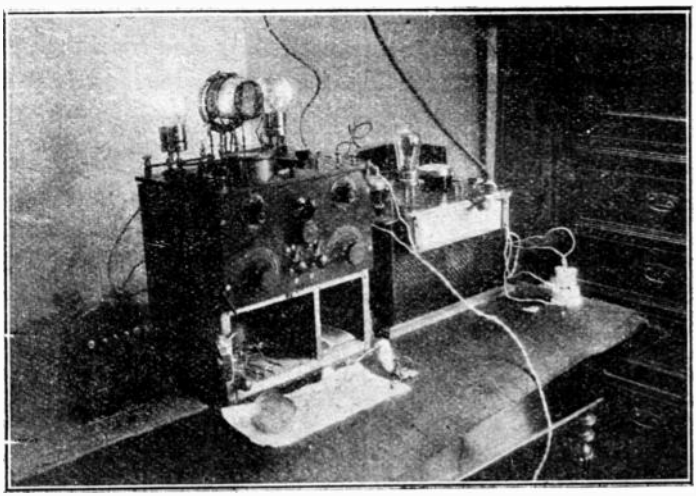


Fig. 3.

les essais sur des colloïdes, sur des microbes (pus) sur des animaux (souris).

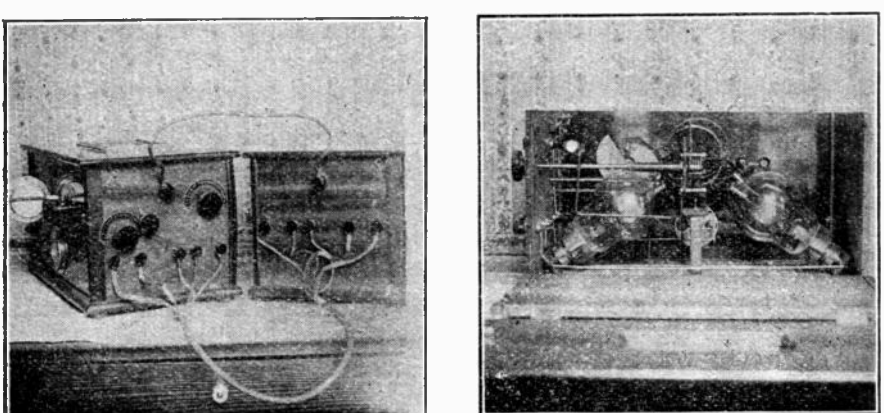


Fig. 4. — Photographies du poste de 140 watts alimenté directement sur le secteur.

La photographie fig. 3 montre le dispositif utilisé pour les études sur les souris.

(1) Cet appareil à montage symétrique avait été construit initialement comme

La puissance étant nettement insuffisante pour poursuivre les expériences touchant le traitement du cancer, deux appareils à même montage avec deux lampes E_4 de 70 watts chacune ont été mis au point en collaboration avec M. Proust actuellement chef adjoint de Laboratoire à la Section Technique de l'Artillerie et m'ont permis d'obtenir près de 2 ampères dans la ligne artificielle couplée

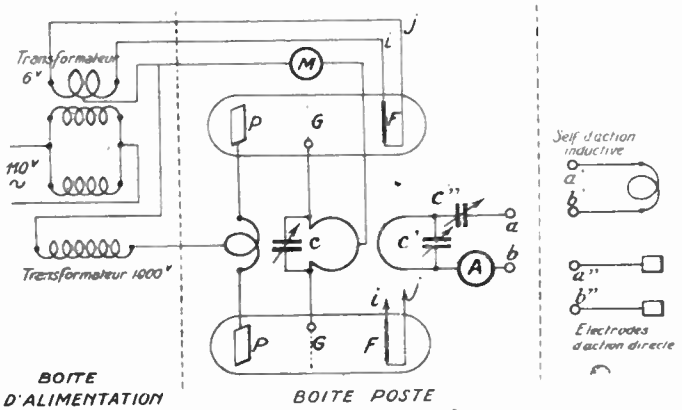


Fig 5. — Schéma du poste de 140 watts.

avec le circuit oscillant sur la gamme de longeurs d'onde variant de 4 mètres à 8 mètres.

L'un deux avait été immobilisé en grande banlieue pour le traitement journalier d'une malade.

Il était possible d'utiliser :

1° l'effet de diathermie ordinaire avec deux électrodes ou une électrode seule ; la diathermie a été mise au point par Bordier.

2° L'effet d'induction avec un nombre de spires variant de 2 à 6 selon l'application envisagée ;

3° les actions de bistouri électrique préconisées par Hertz-Boyer.

Les expériences ont alors repris et ont porté sur des liquides de conductibilités diverses et sur des sérums, puis sur des animaux (lapin, cobaye et chien).

Remarque.

Il est intéressant de signaler ici que des longueurs d'ondes de 20 cm à 40 cm émises avec une puissance de 50 watts et au-dessus sont aisément réalisables et pourront permettre d'étudier cette gamme.

---

appareil radiotéléphonique portatif et est décrit dans *l'Onde Electrique* de septembre 1924.

Emetteur et récepteur sur circuit unique, il avait été expérimenté à cet effet à l'Ecole d'Application de Fontainebleau sur des ondes allant de 7 m. 50 à 30 mètres et avait servi à l'écoute d'OCQ.

Le dispositif préconisé par Michelsen est une combinaison des ondes entretenues de haute fréquence produisant des séries de trains d'ondes amorties d'un oscillateur de Hertz.

Il va être expérimenté avec l'appareil de 140 watts décrit plus haut et dont les selfs amovibles permettent de choisir une fréquence moins élevée pour la succession des trains d'onde.

Expériences faites.

Les expériences préliminaires ont porté sur des études en partie faites par ailleurs, mais qu'il était intéressant de refaire avec ces longueurs d'ondes.

1° *Corps colloïdaux et microbes.*

Aucun résultat sensible n'a été obtenu, sauf si on élevait suffisamment la température de la solution, véritable stérilisation par la chaleur.

2° *Corps liquides.*

Les liquides étaient disposés comme l'indique la figure ci-contre

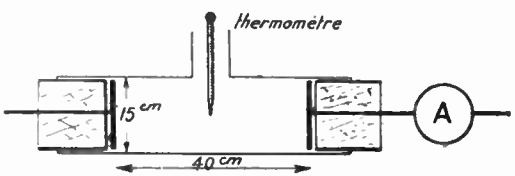


Fig. 6.

dans un tube, les 2 électrodes en platine reliées au circuit oscillant et formant (après interposition lorsque c'était nécessaire d'un diélectrique très mince) les 2 armatures d'un condensateur.

Dans ces conditions, avec la même intensité de courant mesuré par un ampèremètre A. les résultats étaient les suivants :

INTENSITÉ	CORPS LIQUIDE	ÉLÉVATION DE TEMPS PAR MINUTE	REMARQUES
	Sérum physiologique	5 degrés	
	Eau	2 »	
0,3	Huile	0,3 »	
$\lambda = 5^m$	Alcool	0,6 »	
	Sulfure de carbone	0,5 »	
	Sang		a coagulé rapidement

L'échauffement était nettement moindre pour la longueur d'onde maximum permise par l'appareil, conformément à la loi d'ohm généralisée.

Des essais ont été faits par induction pure en mettant le tube précédent dans le champ des spires du circuit oscillant et l'élévation de température a paru uniforme avec les différents liquides utilisés.

Ces deux essais successifs montrent une influence certaine de la constante diélectrique du liquide (hystérésis).

3° *Animaux.*

Après avoir refait des essais d'échauffement de tissus divers, pommes de terre, viande, on a placé dans le champ des spires du circuit oscillant : des souris, des cobayes et des lapins. Dans le courant de l'exposition on voit l'evolution des phénomènes suivants. Agitation de l'animal puis abattement lorsque l'élévation de température interne ne peut plus être compensée par les phénomènes de la circulation et de la respiration. On crée une véritable fièvre artificielle et la température augmente progressivement avec sueur abondante jusqu'à la mort (souris). Si on cesse l'exposition l'animal ne revient que progressivement à son état normal.

En plaçant la main ou l'avant-bras dans le champ d'induction des spires du circuit oscillant de l'appareil, les premières sensations sont des picotements puis une légère impression de chaleur, enfin un engourdissement de la région exposée subsistant pendant plusieurs heures.

La puissance de ces appareils était encore trop faible pour permettre d'avoir une action directe qui ne soit purement locale sur un individu.

Un appareil plus puissant est à prévoir soit pour nécroser sûrement soit pour obtenir une action d'ensemble.

Dans ce dernier cas il serait nécessaire d'utiliser un condensateur de dimensions suffisantes, ou d'avoir des circuits couplés successifs formant un espèce de solénoïde à spires non jointives.

Pour les actions locales, on augmente l'effet en coiffant la spire placée contre la peau par une véritable cage de Faraday, mais on ne doit interposer entre ces spires et le tissu que des diélectriques, sous peine de supprimer la totalité des phénomènes d'induction sur les tissus.

C'est après cette série d'essais préliminaires que les expériences sur les tissus cancéreux ont été entreprises d'abord à l'Ecole Supérieure d'Electricité, avec la collaboration de M. A. Guilbert, chef de

travaux pratiques, puis avec M. le Vétérinaire Morin, que je remercie de son aide précieuse, enfin dans un laboratoire de fortune installé par moi.

4° *Cancers.*

L'idée directrice avait été la suivante :

La méthode du traitement par injections intra-veineuses de radon, que le docteur Kotzareff avait mis au point et préconisait pour les cancers inopérables, se montrait, après une amélioration sensible et prolongée des malades, impuissante dans des cas très graves. Tout en obtenant, semble-t-il, la disparition des métastases (1), la maladie comme dans l'application des rayons X et du radium local reprenait son cours.

On pouvait interpréter les faits précédents d'une façon simple, en pensant que le radon agit presque uniquement par les rayons α (2) à la façon d'un bistouri microscopique attaquant la tumeur cancéreuse de tous côtés et l'isolant pendant un certain temps de l'organisme, mettant donc cette tumeur en sommeil et en état de moindre résistance.

Un traitement local agissant sur cette tumeur pouvait alors donner des résultats.

Une opération chirurgicale était peut-être possible dans certains cas, mais des noyaux subsistant étaient toujours à craindre.

C'est ainsi que nous avons repris le dispositif déjà utilisé par Lakhovsky avec des ondes ultra-courtes en cherchant à obtenir une puissance suffisante pour que les effets thermiques arrivent à nécroser la tumeur sans agir d'une façon trop nuisible sur les tissus environnants (3).

Des résultats encourageants paraissaient avoir été obtenus d'après les médecins traitants par lesquels j'exigeais que nous soyons couverts pendant nos années de collaboration de 1928 à 1930, le docteur Kotzareff n'ayant pas encore passé sa thèse (4).

Pendant toute cette période, nous avons travaillé avec M. de Morsier qui depuis cinq ans était le collaborateur du docteur Kotzareff.

---

(1) Cellules cancéreuses circulant dans l'organisme et pouvant créer de nouveaux foyers cancéreux.

(2) Gradient de potentiel très élevé agissant par choc.

(3) La puissance effectuée nécessaire paraît être supérieure au watt par gramme de tissu à exposer.

(4) J'apprends que cette thèse, sous le titre : Traitement des cancers dits inopérables, incurables et abandonnés par A. Kotzauff vient de paraître à la librairie Vigot.

Il y a un an, M. Leuba (depuis docteur en médecine) dans le Laboratoire duquel une partie des analyses et des biopsies avaient été interprétées, est venu assister à nos dernières applications.

M. le médecin général Rouvillois, auquel nous avions confié toute notre documentation, nous avait promis de s'employer à faciliter des études plus méthodiques à l'Hôpital du Val de Grâce.

3° Pyorrée dentaire. — Assèchement des canaux.

Pour continuer à vérifier les idées soutenues ci-dessus et ayant fin 1930 un appareil disponible inutilisé, nous avons songé, M. le docteur Thibault, M. le médecin-dentiste Axelronde et moi, à traiter la pyorrée dentaire avec ces ondes ultra-courtes. L'idée était toujours d'obtenir un massage intense, un dégorgement des tissus, d'agir d'une façon plus intense sur les tissus osseux de la mâchoire et sur les racines, enfin d'avoir une élévation de température locale stérilisante.

M. Axelronde a utilisé l'appareil avec une seule des électrodes pour assécher les canaux et attaquer les kystes profonds des racines.

Les expériences se poursuivent.

Conclusion. — Nous nous sommes bornés dans cet article à la partie purement scientifique, les résultats cliniques étant du domaine médical proprement dit n'ont été que signalés.

Dans tout cet ensemble d'applications médicales, il n'y a jamais eu de fait venant s'opposer à la théorie d'ensemble indiquée plus haut, qui paraît permettre de prévoir les résultats pratiques obtenus. Les effets biologiques puissants, qui semblent être l'apanage de toute la gamme des longueurs d'onde électromagnétiques inférieures à 7 ou 8 mètres ne doivent être, à notre avis, pour les ondes de quelques mètres, que des phénomènes produits indirectement par les courants d'induction élevant la température de certains organes secréteurs dont les fonctions sont ainsi activées.

Les phénomènes de résonance cellulaire peuvent être négligés, les ondes ultra-courtes agissant sur les tissus à la façon d'un massage électromagnétique interne puissant à la fréquence de ces ondes elles-mêmes, activant la circulation si l'action n'est pas trop violente et n'est pas compensée par des réactions biologiques secondaires, puis élevant la température progressivement jusqu'à la coagulation et la nécrose.

P. Ancelme.