

COURS DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

E. HUGUENARD & A. DIDIER

RÉSUMÉS DES COURS

DE

TECHNIQUES D'ENREGISTREMENT,
DE TRANSMISSION ET DE REPRODUCTION
DES SONS ET DES IMAGES

Troisième Année

Transmission des Sons et des Images

ÉDITIONS SCIENTIFIQUES RIBER

117, Boulevard de Sébastopol, Paris, 2^e. — Gut. 44-50

EXPOSÉ DU PROGRAMME DU COURS DE 3^E ANNÉE

TRANSMISSION DES SONS ET DES IMAGES

INFORMATION D'AUTREFOIS ET D'AUJOURD'HUI :

Imprimerie - Télégraphe Chappe - Télégraphe électrique - Téléphone -
T.S.F. - Télévision - Evolution de la technique.

PROGRAMME DU COURS :

1ère leçon : Exposé général.

2ème leçon : Propagation des sons dans les différents milieux -
Mécanisme de la transmission - Mode de propagation du son.

3ème leçon : Propagation des sons : changement de milieu - Réflexion
Ondes stationnaires - Tuyaux sonores - Barres vibrantes - Mesure de la vitesse du son - Photographie des ondes sonores -
Propriétés énergétiques des ondes.

4ème leçon : Propagation du son dans les canaux de section variable.
Analogie entre les grandeurs électriques, mécaniques, acoustiques - Résonateurs - Application de la loi de Hooke - Mesure d'un pouvoir de transmission.

5ème leçon : Haut-parleur électrodynamique - Transmission du mouvement d'un organe mécanique à l'air - Pavillon exponentiel - Emission dirigée - Ultra-sons modulés - Applications.

6ème leçon : Transmission électrique des signaux et du son.

Transmission des signaux par des phénomènes électrostatiques - Utilisation du courant électrique - Transmission du dessin et de l'écriture - Caselli.

Schéma d'une transmission - Vitesse de transmission possible.

Transmission du son - Téléphone musical de Reiss - Téléphone de Graham Bell.

Schéma d'une transmission - Energie disponible au départ, énergie nécessaire à l'arrivée.

Téléphonie à haute fréquence - Transmissions multiples sur ligne unique.

7ème leçon : Transmission des signaux et du son sans milieu matériel.
Photophone de Graham Bell.

Télégraphie : obturation périodique à fréquence musicale par disque tournant.

Téléphonie : modulateur de lumière.

Réception : cellule à sélénium - thermophone.

Le photophone moderne : émetteur - valve à lumière - lampe modulée.

Récepteur : cellules photoélectriques.

8ème leçon : Transmission optique des images -
Définition d'une image.

Transmission par lunette terrestre - Périscope - Chaîne de Foucault.

Formation des images dans les instruments d'optique et dans les arts graphiques.

Image d'un volume.

Irradiation.

Éléments nécessaires à la définition d'une image.

Analyse et synthèse d'une image fixe.

Exploration d'une image - Cas d'un point géométrique.

Étude optique de l'analyse et de la synthèse d'une image.

9ème leçon : Représentation d'une image par une fonction de plusieurs variables.

Éléments caractéristiques d'un objet - Coordonnées de position. Éclairement et couleur.

Complexité de l'image rétinienne - Problème télégraphique.

Analogies et différences avec la transmission du son.

La ligne d'exploration - Lignes parallèles - Lignes entrelacées. Figures de Lissajous - Lignes croisées - Difficultés de la solution actuelle.

Transmission télégraphique des images - Blackwell (1847) exploration et reconstitution par lignes parallèles - Synchronisme - Bain - Bonelli - Pantélégraphe Caselli (1855) premier dispositif pratique de transmission de l'écriture et du dessin - Emploi d'un pendule et de tops de synchronisation.

10ème leçon : Transmission télégraphique des images (suite).

Appareil Caselli (1856-1865).

Inscription électrochimique.

Synchronisation : départ arrêté - Vitesse de transmission.

Appareil Meyer.

Transmission d'images en relief - Modulations par les reliefs.

Emploi d'une cellule photoélectrique pour l'exploration - Cas d'un document transparent - Cas d'un document opaque - Dispositif d'éclairage - Rupture périodique de la lumière - Avantages.

Transmission d'un damier - Fréquence maximum du courant de cellule.

Cas du courant d'exploration continu.
Cas du courant d'exploration rupté.
Propagation d'une perturbation brusque dans un circuit.
Retard de propagation.
Durée d'établissement du courant.
Cas de la lumière ruptée - bande passante.
Distorsion de phase des câbles.
Caractéristiques usuelles de la transmission.

11ème leçon : Réception des images.

Exploration - Modulation du dispositif récepteur.

Dispositif inscripteur - Photographie -

Lampe à lueur - Valve à lumière - Cellule de Kerr - Vibreur.

Synchronisation - Difficultés du problème - Précision nécessaire en phototélégraphie - Emploi des alternateurs synchrones - Pompage.

12ème leçon : Télévision - de la phototélégraphie à la télévision -
Maurice Leblanc (1880) Miroirs oscillants et figures de Lissajous.

Nipkow (1884) disque à spirale de trous.

Weiller (1889) tambour à miroirs.

Brillouin (1890) disque à lentilles.

Rosing (1907) tube de Braun.

Mosaïque au sélénium.

Baird (1923) sélénium et tube à néon.

Barthélemy (1925).

Hollweck (1927).

Zworykin (1930) Iconoscope et multiplicateur d'électrons.

Projection sur grand écran (1939).

Difficultés de la télévision actuelle.

Couleur - Relief.

13ème leçon : Télévision - Exploration à l'émission - Conditions imposées - balayage de l'objet - Durée - Vitesse.

Procédés mécaniques - Disque de Nipkow - Lentilles de Brillouin - Tambour de Weiller.

Solution actuelle : balayage électronique.

14ème leçon : Les tubes cathodiques.

Tubes de Crookes et de Braun.

Fluorescence et phosphorescence.

Commande du balayage - Thyatron.

Concentration du faisceau par un champ magnétique - Concentration par un champ électrique - Commande de l'intensité du faisceau par une grille.

Oscillographe récepteur de télévision.

Emission par oscillographe cathodique pour le télécinéma.

Iconoscope de Zworykin.

15ème leçon : Emission par oscillographe cathodique -

Procédé Farnsworth.

Exploration à vitesse variable - Gain de lumière.

Multiplicateurs d'électrons - Emission secondaire.

Multiplicateur de Zworykin.

16ème leçon : Synchronisation en télévision.

Difficultés du problème - Précision -
Pompage en télévision.

Synchronisme pendant la transmission d'une image.

Synchronisme dans la succession des images.

Synchronisation mécanique par tops en fin de ligne - Emploi du secteur électrique.

Synchronisation actuelle.

Mise en phase des images.

17ème leçon : Transmission.

Lignes.

Propagation irrégulière des ondes électromagnétiques - Evanouissements - Effet Doppler-Fizeau.

Emission radioélectrique.

Réception radioélectrique - Réception antiparasite.

18ème leçon : Réception par oscillographe cathodique.

Tubes cathodiques pour la projection - Intermédiaire film.

Synchronisation des bases de temps.

Rôle de l'amplitude du signal de synchronisation.

19ème leçon : Télécinématographie -

Dispositif DeFrance - Emploi du disque de Nipkow : télécinéma Grammont.

Système Téléfunken - Emploi de l'iconoscope -

Analyse d'un film : déroulement saccadé, déroulement continu.

Entrelacement - Réception par tube cathodique.

20ème leçon : Exploitation -

Transmissions photoélectriques sur câbles.

Transmissions radioélectriques.

Cas de la télévision.

Télévision en couleur.

Télévision en relief.

Deuxième Leçon

PROPAGATION DES SONS DANS LES DIFFERENTS MILIEUX

Sommaire :

Ondes sonores.

Nature du milieu de propagation.

Mécanisme de la propagation.

Propagation d'une vibration sinusoïdale simple :

$$U = A \sin 2 \pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$= A \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right)$$

$$\lambda = c T \quad T = \frac{1}{n} \quad c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Gaz parfait : $E = p \gamma$ γ = rapport des chaleurs spécifiques.

La vitesse du son est liée à la vitesse des molécules.

Propagation à l'air libre : Ondes sphériques.

Leçon suivante : Mesures de la vitesse du son - Vitesse du son aux fréquences élevées.

PROPAGATION DES ONDES

1) Nécessité de l'existence, entre la source de son et le récepteur (oreille par exemple) d'un milieu continu (air par exemple).

Expérience classique de la sonnerie électrique placée sous une cloche dans laquelle on fait le vide.

2) L'interposition d'un autre milieu que l'air - eau - acier par exemple - permet la transmission des sons.

3) Le son se propage avec une vitesse finie à travers les divers milieux interposés.

Le mécanisme de la propagation d'une onde est intimement lié à la nature du milieu dans lequel elle se déplace, quand on exerce une pression sur un corps, les molécules de contact sont comprimées, il en résulte une transmission de poussée aux molécules voisines et ainsi de suite... (transmission des vibrations d'un corps à un autre).

Expériences : 1°) Boîte à musique et cristal piézo électrique.

2°) Interposition a) d'une masse métallique
 b) d'une longue baguette en bois.

.....

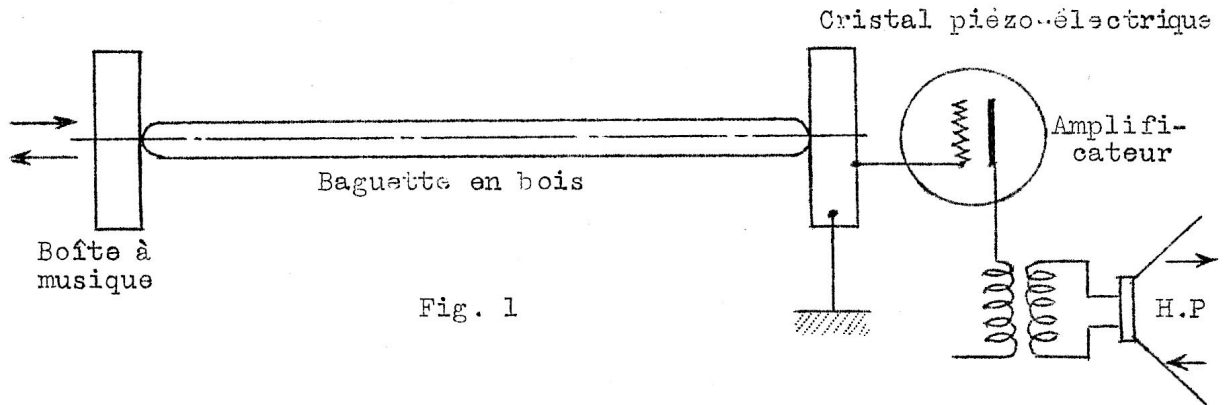
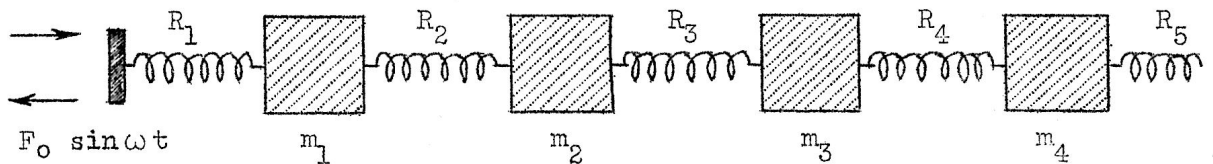


Fig. 1

MECANISME DE LA TRANSMISSION

Fig. 2



$$F_0 \sin \omega t = m \frac{d^2 x}{dt^2} + f \frac{dx}{dt} + Cx$$

$\downarrow$
force
d'inertie

$\downarrow$
frotte-
ment

$\downarrow$
raideur élastique
du système.

La force F_0 , agissant sur le ressort R_1 imprime à m_1 un mouvement périodique de pulsation ω .

Le mouvement de m_1 n'est pas en phase avec celui de F_0 (si R_1 est raide la masse m_1 suit à peu près le mouvement, au contraire si R_1 est faible par rapport à m_1 , la masse ne suit pas le mouvement - il y a un décalage entre la force motrice et le mouvement de la première masse, le décalage du mouvement augmente pour $m_2, m_3, m_4 \dots$

La première longueur au bout de laquelle on retrouve un mouvement concordant avec la force motrice est la longueur d'onde.

MODES DE PROPAGATION DU SON

Le milieu de propagation est à la fois masse vibrante et ressort.

Trois cas de propagation :

1°) Transmission par des tuyaux- canaux cylindriques.

2°) Transmission à l'air libre.

3°) Transmission par des conduites non cylindriques.

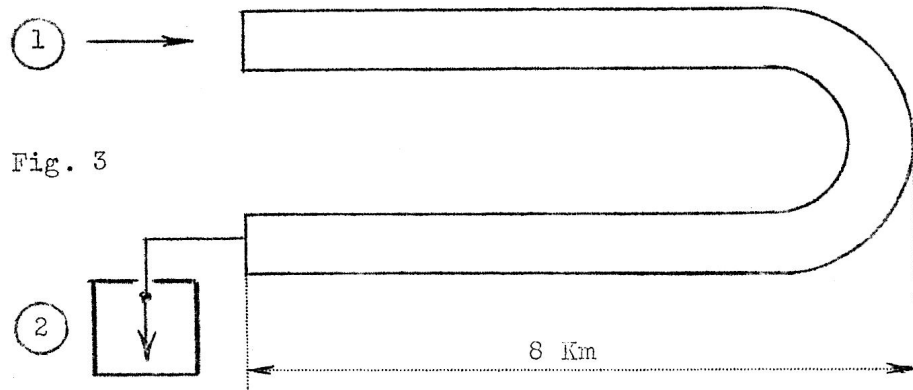
1°) Transmission par
des tuyaux _____

Mesure de la vitesse du son dans des tuyaux de grande section - Violle.

La vitesse du son dans les tuyaux de grande section a été mesurée par Violle.

Il disposait de deux conduits parallèles ayant chacun 8 kilomètres de long.

Les deux conduits réunis par un coude = 16 kilomètres de parcours.



Un son produit en (1) est enregistré en (2) 47 secondes plus tard
d'où vitesse du son $= \frac{16.000}{47} = 340 \text{ m/s.}$

Violle a observé qu'un morceau de musique transmis dans ces conditions n'était pas déformé : tous les sons se propagent à la même vitesse quelle que soit leur fréquence.

Influence du diamètre
des tuyaux

La vitesse trouvée dépend du diamètre tant que celui-ci n'est pas très grand, à cause du frottement sur les parois.

Dans les tuyaux de grands diamètres on trouve le même résultat qu'à l'air libre : dans l'air sec à 0° la vitesse du son = 331 m/s.

Applications : Repérage des batteries d'artillerie. Intersections des arcs d'hyperbole -

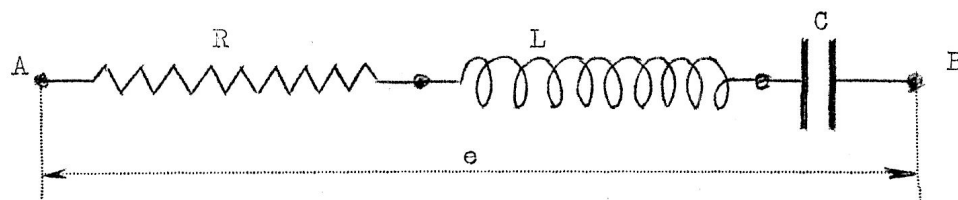
Onde de bouche - Onde de choc - Onde d'éclatement d'un projectile.

Onde plane - Une perturbation créée à l'origine d'un tube assez étroit donne naissance à une onde plane.

La surface de l'onde reste constante au cours de sa propagation (section du tube).

La quantité d'énergie W reçue par une petite partie e de la surface d'onde est indépendante de sa position.

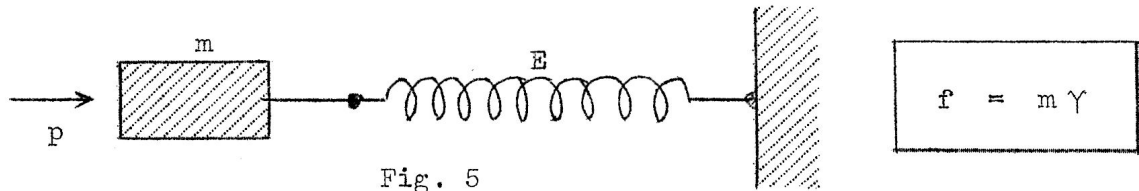
Analogie électrique



$$e = L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} q \quad (1) \quad q = \text{quantité d'électricité}$$

Impédance électrique :

$$Z = \frac{e}{i} \quad i = \frac{dq}{dt}$$



$$p = m \frac{du}{dt} + \varphi + Ex \quad (2) \quad U = \frac{dx}{dt}$$

f = somme des forces qui s'exercent sur m

soit :

- { la pression p
- { la résistance due à l'élasticité du ressort - Ex
- { les résistances de frottement - φ

$$f = p - Ex - \varphi$$

Les équations (1) et (2) sont équivalentes :

- pression $p = \text{d.d.p } e$
- vitesse $v = i$
- déplacement $x = \text{quantité électricité } q$
- masse $m = \text{inductance } L$
- élasticité $E = \text{inverse de la capacité } \frac{1}{C}$
- frottement $\varphi = \text{chute ohmique } Ri$ (les énergies correspondantes sont dans les deux cas transformées en chaleur).

$$\frac{p}{U} = \text{impédance acoustique}$$

Il en résulte :

Electrique

$$\frac{e}{i} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

(Impédance caractéristique de la ligne)

Acoustique

$$\frac{p}{U} = \sqrt{E \rho}$$

(Impédance caractéristique ou résistivité du milieu)

Célérité d'une onde

On appelle célérité C d'une onde dans un milieu élastique, sa vitesse de propagation.

La célérité C dépend exclusivement des propriétés élastiques du milieu de propagation (élasticité, densité, frottement).

Cas du frottement nul ou très faible (milieu non absorbant)

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Exemples :

Milieux	ρ (gr/cm ³)	E (kg/mm ²)	C m/s	$\sqrt{E \rho}$ Impédance caractéristique
Acier	7.8	20.000	5.000	3.950.000
Eau	1	200	1.400	140.000
Air	0,00125	0,014	340	40

Equation générale des ondes planes dans un milieu non absorbant

Si $U = f(t)$ est la vitesse de la particule initiale située dans le plan d'onde P_0 , la vitesse de toutes les particules de ce plan d'onde, simultanément atteintes par l'énergie de l'onde sera donnée par la même formule.

Les particules du plan d'onde P situé à la distance x de P_0 sont atteintes par l'énergie de l'onde au temps $= \frac{x}{C}$ après celles du plan P_0

leur vitesse

$$U = f\left(t - \frac{x}{C}\right)$$

les surpressions correspondantes

$$p = f\left(t - \frac{x}{C}\right) \sqrt{E \rho}$$

Cas d'un mouvement sinusoïdal

$$p = U \sqrt{E \rho} = \rho C x U$$

Exemples numériques - Fréquence $f=100$ → vibration de $1/10^6$ mm correspondant à une course de l'air de $1/20^6$ mm
 $U = 1$ cm/s $p = 42$ dynes/cm² (C.G.S.).

Un excentrique sonore déplace l'air de 0,5 cm à la fréquence 2.200.
La vitesse $U =$

$$2 \pi \times 2200 \times \frac{1}{2} \times 0,5 = 3400 \text{ cm/s}$$

la pression sonore au voisinage de la source est donc :

$$\rho \times C \times U = 42 \times 3400 = 152.800 \text{ dynes/cm}^2 \text{ soit } 156 \text{ gr/cm}^2.$$

PROPAGATION D'UNE VIBRATION
SINUSOÏDALE SIMPLE

Onde sinusoïdale : le déplacement ou la
vitesse U de la par-
ticule initiale est une fonction sinu-
soïdale du temps :

$$U = A \sin \omega t.$$

Si le milieu de propagation n'est pas absorbant, la vitesse et la
pression sont des fonctions sinusoïdales du temps :

$$U = A \sin \omega \left(t - \frac{x}{C} \right)$$

$$\lambda = c T$$

$$U = A \sin 2 \pi \left(\frac{t}{T} - \frac{u}{\lambda} \right)$$

$$p = A \sqrt{E \rho} \sin \omega \left(t - \frac{x}{C} \right)$$

$$p = A \sqrt{E \rho} \sin 2 \pi \left(\frac{t}{T} - \frac{u}{\lambda} \right)$$

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}.$$

Gaz parfait : $E = p \gamma$ $\gamma =$ rapport des chaleurs spécifiques

$$\gamma \begin{cases} 1,66 \text{ gaz monoatomique} \\ 1,40 \text{ - diatomique} \\ 1,29 \text{ - triatomique.} \end{cases}$$

d'où :

$$C = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$$

la vitesse dépend de la racine carrée de la masse spécifique.

Dans l'air chaud, le son se déplace plus vite que dans l'air froid.

C_T étant la vitesse à la température T :

$$\frac{C_T}{C_0} = \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

à 273° absolus soit à 0° C $C = 330 \text{ m/s}$
à 546° " " à 273°C $C = 330 \sqrt{2} = 462 \text{ m/s}$.

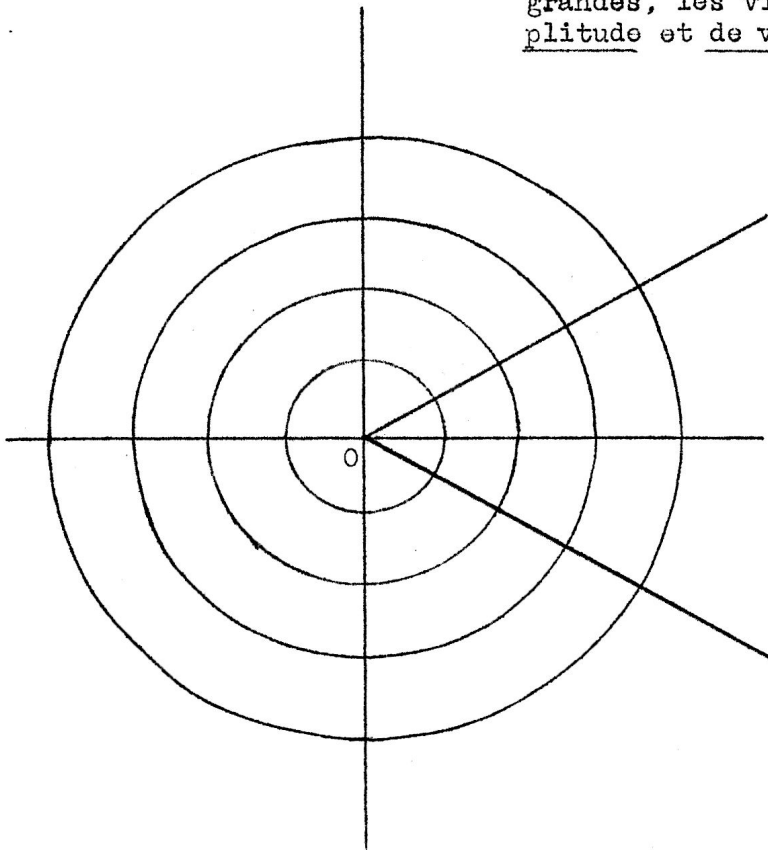
La densité intervient : vitesse dans l'hydrogène
 $C = 1800 \text{ m/s}$.

Applications : Vitesse du son dans l'air à différentes températures : écoulement de l'air à haute pression.

La vitesse est liée à deux facteurs : $\frac{P_1}{P_2}$ et la température (turbines à vapeur).

PROPAGATION A L'AIR LIBRE

Ondes sphériques —————



Exemple : Sphère pulsante.

A l'intérieur d'un cône, l'énergie sera étalée sur des sphères de plus en plus grandes, les vibrations diminuent d'amplitude et de vitesse.

L'onde se propage également dans toutes les directions, la surface d'onde reste une sphère de centre O.

Soit R le rayon de la sphère à l'instant t, une partie ϵ de la surface, reçoit une quantité W_ϵ d'énergie

$$W_\epsilon = \frac{1}{4\pi} \times \frac{W \times \epsilon}{R^2}$$

L'énergie reçue par une petite surface d'onde sphérique est inversement proportionnelle au carré de sa distance au foyer de l'onde.

Troisième Leçon

PROPAGATION DES SONS (Suite)

Sommaire :

Changement de milieu - Réflexion.

Ondes stationnaires. Tuyaux ouverts - Tuyaux fermés - Barres vibrantes.

Mesure de la vitesse du son. Méthode de Kundt -

Vitesse du son dans les solides.

Vitesses sonores anormales.

Photographie des ondes sonores. Ondes de choc.

Propriétés énergétiques des ondes.

$$W \text{ ergs} = F \text{ dynes} \times v \text{ cm/s} = \frac{1}{2} m \text{ gr } v^2 \text{ cm/s}$$

$$W = \frac{1}{2} \rho \cdot c \cdot u_o^2 S.$$

Applications - Energie auditive - Energie d'un excentrique sonore.

Emetteur d'ultra-sons - Energie limite.

CHANGEMENT DE MILIEU

Passage du son d'un milieu dans un autre, exemple dans l'air puis dans l'eau. Vitesse dans l'air : 340 m/s - Vitesse dans l'eau 1450 m/s.

Une partie des ondes sonores pénètre dans l'eau, un système d'ondes se réfléchit et repart en arrière avec la vitesse 340 m/s.

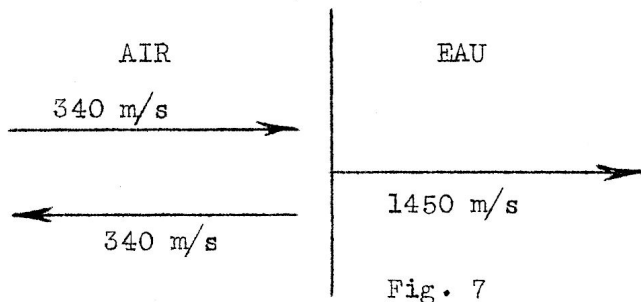


Fig. 7

Cas d'un second milieu parfaitement rigide :

les molécules d'air rebondissent et repartent en sens inverse avec la même vitesse et un décalage de $1/2$ période. La vitesse + u de la molécule en mouvement change de signe (-u).

Application : 1) Tuyau terminé par un obstacle rigide :
réflexion avec changement de signe.

2) Tuyau terminé par une ouverture :
réflexion sans changement de signe.

ONDES STATIONNAIRES

Superposition de l'onde réfléchie et de l'onde incidente.

Cas d'une onde incidente sinusoïdale plane totalement réfléchie : chaque particule soumise à la fois à l'onde incidente et à l'onde réfléchie, effectue un mouvement sinusoïdal dont l'amplitude varie suivant sa distance à l'obstacle.

Onde se propageant dans le milieu le moins résistant (air).

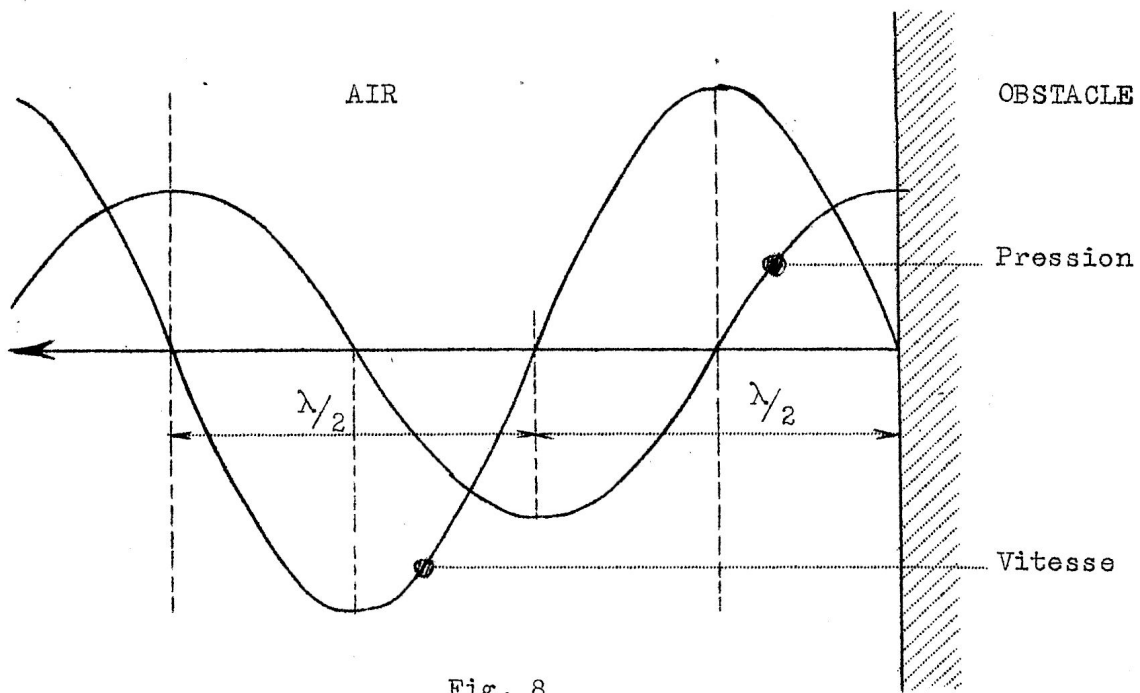


Fig. 8

Amplitude de vitesse nulle aux points : $0, \frac{\lambda}{2}$ et multiples -
(la particule reste constamment immobile) $\rightarrow$ noeud de vitesse.

Aux points $\frac{\lambda}{4}$ et multiples impairs : amplitude maximum et égale au double de l'amplitude de l'onde incidente $\rightarrow$ ventres de vitesse.

Amplitude de pression : à un noeud de vitesse correspond un ventre de pression. A un ventre de vitesse correspond un noeud de pression (fig.8).

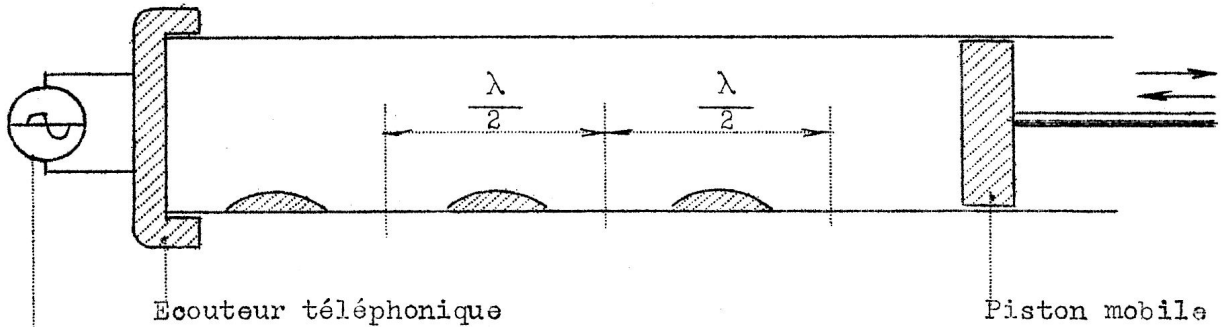
Applications : La longueur d'onde λ = double de la distance qui sépare deux noeuds ou deux ventres consécutifs.

Tube de Kundt Tube de verre dont une extrémité est fermée par un piston mobile, l'autre extrémité est excitée par un générateur sonore de fréquence n . A l'intérieur du tube poudre légère (liège ou lycopode) sous l'influence des vibrations, tas séparés par $\frac{\lambda}{2}$ d'où vitesse de propagation du son : (fig.9)

$$c = n \lambda$$

La méthode permet de mesurer la vitesse du son dans des gaz autres que l'air.

.....



Générateur de fréquence f

Fig. 9
Tube de Kundt

VITESSE DU SON DANS LES SOLIDES

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Exemple : barre de magnésium - longueur 1 mètre, densité $\rho = 1,8$.

Calcul de E

La barre tenue par son milieu et excitée en vibrations longitudinales émet un son de fréquence $n = 2500$.

$$l = 1 \text{ m} \quad \lambda = 2 \text{ m.}$$

$$c = 2500 \times 2 = 5000 \text{ m/s}$$

$$E = c^2 \rho = 5000^2 \times 1,8 = 4.500 \text{ k/mm}^2$$

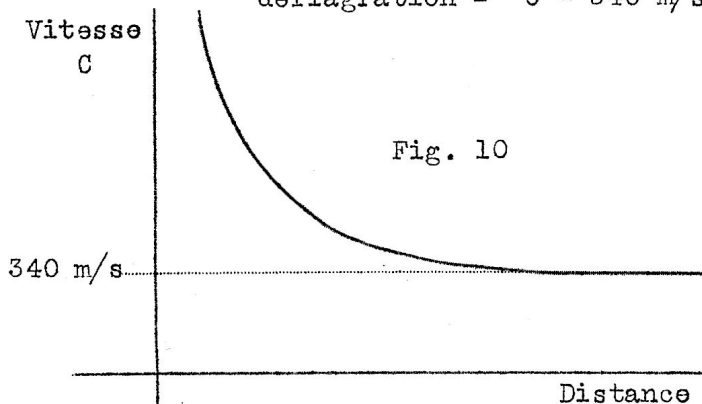
Vitesses sonores anormales

Les grandes amplitudes, au voisinage d'une source puissante se propagent plus vite que les amplitudes normales - 400 - 500 - 1000 m/s dans l'air.

Il en est de même au voisinage d'un obus se déplaçant à grande vitesse.

Ondes de choc

Expérience de la Courtine, $c = 1.500 \text{ m/s}$ près de la déflagration - $c = 340 \text{ m/s}$ loin de la déflagration.



Une onde de choc est produite toutes les fois que l'énergie transmise aux molécules est suffisante pour les faire s'entrechoquer.

Exemple : Onde de choc des projectiles se déplaçant à une vitesse supérieure à celle du son.

VARIATIONS DE LA VITESSE AVEC LA FREQUENCE

	<u>Fréquence</u>	<u>Vitesse</u>
Air à 0°	1 k Hz	331,9 m/s
	50 k Hz	332,5 "
	1500 k Hz	331,6 "
Anhydride carbonique à 0°	42 k Hz	258,5 m/s
	200 k Hz	260,15 "
	> 200 k Hz	le son ne passe plus

PHOTOGRAPHIE DES ONDES SONORES (voir cours 2ème année).

PROPRIETES ENERGETIQUES DES ONDES

Conséquence du principe de conservation de l'énergie.

Energie du son : Travail $T = F \times x$
(produit de la force F par le déplacement x).

Puissance :
$$W = \frac{T}{t} = \frac{F \times x}{t}$$

(t = temps pendant lequel s'est produit le déplacement).

$W = F \times v$ (produit de la force par la vitesse).

Système C.G.S. : W s'exprime en ergs/seconde.
F s'exprime en dynes.

Système Giorgi : W s'exprime en watt.
(1 watt = 10^7 ergs/seconde)

$$W = F \times v \times 10^7$$

(W : watt F : dyne v : cm/s).

ENERGIE AUDITIVE.

Sensibilité de l'oreille : Voir Cours 2ème année.

Seuil de l'oreille : 3×10^{-4} baryes (1 barye = 1 dyne/cm²)

limite supérieure : 100 baryes soit 330.000 fois la pression la plus faible.

ENERGIE CORRESPONDANT AU SEUIL :

$$W_s = \frac{1}{2} \rho c U^2$$

$$P_o = \rho C U_o \quad U_o = \frac{P_o}{\rho C}$$

$$W_s = \frac{1}{2} \frac{P_o^2}{\rho C} = \frac{9 \times 10^{-8}}{2 \rho C} \quad \rho C = 42 \text{ (air)}$$

$$W_s = \frac{1}{2} \frac{9 \times 10^{-8}}{42} = \text{environ } 10^{-9} \text{ ergs/s}$$

soit environ 10^{-16} watt.

Energie correspondant à la limite supérieure :

10^{-6} watt.

Quatrième Leçon

PROPAGATION DU SON DANS LES CANAUX
DE SECTION VARIABLE

Sommaire

Analogie entre les grandeurs électriques, mécaniques, acoustiques.

Canaux de sections variables - Etranglement - Capacité fermée.

Applications : résonateur d'Helmholz.

Electricité	Mécanique
Inductance L	Inertie m
Résistance R	Coefficient de frottement r
Capacité C	Souplesse (inverse) de la raideur $S = \frac{1}{C}$
Charge électrique (quantité d'électricité) Q	Déplacement x
Courant $I = \frac{dQ}{dt}$	Vitesse $v = \frac{dx}{dt}$
Variation de courant $\frac{d^2Q}{dt^2}$	Accélération $\frac{d^2x}{dt^2}$
Force électromotrice E	Force F
$L \frac{d^2Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = E(t)$	$m \frac{d^2x}{dt^2} + r \frac{dx}{dt} + Cx = F(t)$
$L \frac{dI}{dt} + RI + \frac{Q}{C} = E(t)$	$m \frac{dv}{dt} + rv + Cx = F(t)$
$I = \frac{E}{Z}$ $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ $X = L\omega - \frac{1}{C\omega}$ $\operatorname{tg} \varphi = \frac{L\omega}{R}$	$U = \frac{F}{Z}$ $Z = \sqrt{r^2 + X^2}$ $X = m\omega - \frac{1}{\omega S}$ $S = \frac{1}{C}$ $\operatorname{tg} \varphi = \frac{m\omega}{r}$

Pouvoir de réflexion et de transmission

Quand le son rencontre un obstacle, il est partiellement transmis (fig.11).

$\frac{W_r}{W}$ = rapport de l'énergie réfléchie à l'énergie totale :

$$\frac{W_r}{W} = \left(\frac{\rho c - \rho_1 c_1}{\rho c + \rho_1 c_1} \right)^2$$

Exemple : air - acier $\left\{ \begin{array}{l} \text{air } \rho c = 42 \text{ CGS} \\ \text{acier } \rho c = 3.9 \times 10^6 \text{ CGS} \end{array} \right.$

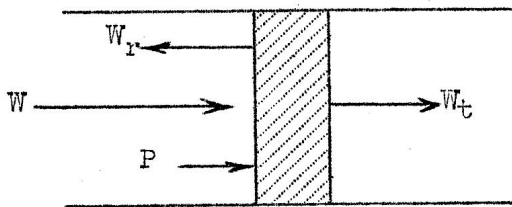


Fig. 11

$$\frac{W_r}{W} = \left(\frac{3.9 \times 10^6 - 42}{3.9 \times 10^6 + 42} \right)^2 \approx 1$$

Dans ce cas, l'énergie est presque totalement réfléchie.

Cas d'une cloison : la cloison est soumise à la pression PS, sa masse m

prend une accélération $\frac{du}{dt}$ d'où : $PS = m \frac{du}{dt}$

a = amplitude (sinusoïdale)

$a \omega^2$ = accélération - $a \omega = U$

$$a \omega^2 = \frac{PS}{m}$$

$$u = \frac{PS}{m \omega}$$

La cloison étant en mouvement, l'air vibre avec une vitesse U d'où une pression sonore :

$$P_1 = \rho c U = \frac{PS}{m \omega}$$

$$\frac{P_1}{P} = \frac{\rho c S}{m \omega} = \frac{\rho c}{\omega} \times \frac{S}{m}$$

Application numérique : Mur en briques $e = 8 \text{ cm}$ - fréquence du son $f = 200$.

$$\frac{P_1}{P} = \frac{42}{2 \times 200 \times 8 \times 3} = \frac{1}{600}$$

La proportion de l'énergie transmise est :

$$\left(\frac{P_1}{P}\right)^2 = \left(\frac{1}{600}\right)^2 = \frac{1}{400.000} \text{ environ.}$$

Autres exemples : membrane de microphone, acier $e = 0,025$ cm, la proportion de l'énergie qui passe à la fréquence 200 est $\frac{1}{30}$,

- une porte en bois de 1 cm d'épaisseur transmet $\frac{1}{200}$ de l'énergie sonore à la fréquence 200 et $\frac{1}{8000}$ à la fréquence 1.000.

Applications : Acoustique des bâtiments, chambres insonores.

Expérience : Mesure d'un pouvoir de transmission. L'absorption est plus forte pour les notes aiguës que pour les notes graves.

CANAUX DE SECTIONS VARIABLES

Etranglements Canal de grande section S raccordé à un canal de petite section s .

L'air mis en mouvement par le piston P circule comme s'il était incompressible en raison des faibles variations de pression. Une tranche d'air de masse m passant dans le petit canal occupe une longueur plus grande, sa vitesse est augmentée : $\frac{V}{v} = \frac{S}{s}$ (fig.12).

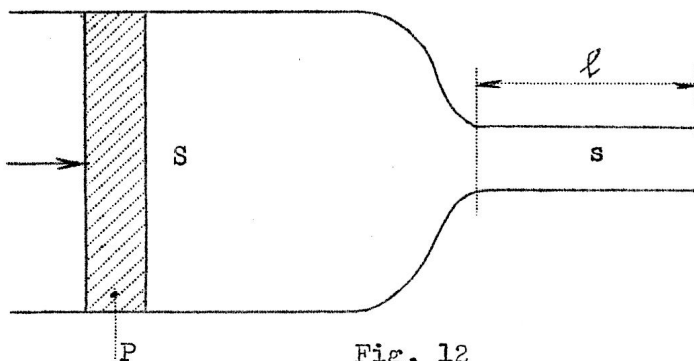


Fig. 12

La force vive de m devient :

$$\frac{1}{2} m v^2 \left(\frac{S}{s}\right)^2 \quad (1)$$

(augmentation importante de force vive).

En passant dans le petit canal, le fluide semble avoir acquis une inertie plus grande.

La formule (1) peut s'écrire :

$$\frac{1}{2} \left[m \left(\frac{S}{s}\right)^2 \right] v^2 \quad (2)$$

- Tout se passe comme si la masse avait augmenté dans le rapport $\left(\frac{S}{s}\right)^2$.

Un étranglement produit le même effet qu'une augmentation d'inertie.

Parallèle électrique Inductance L .

L a pour correspondant $\frac{\rho \ell}{s}$ (quand l'onde plane de section S arrive sur l'étranglement, une partie passe, l'autre est réfléchi : S ne figure pas dans la valeur $\frac{\rho \ell}{s}$).

Si ω est la pulsation, le terme correspondant à la réactance $L \omega$ est $\frac{\rho \ell}{s} \omega$.

CAPACITE FERMÉE

Cas d'un canal débitant dans une grande capacité V (fig.13).

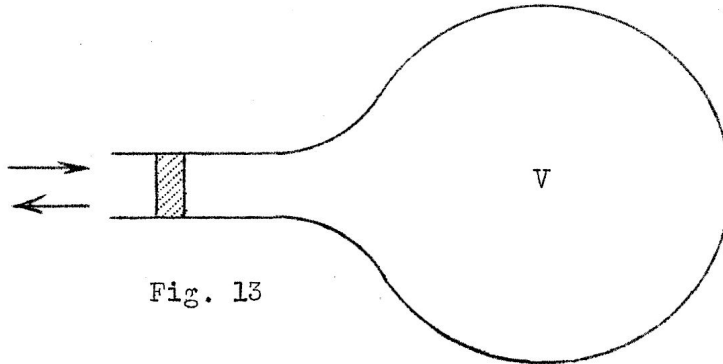


Fig. 13

Effet de capacité :

$$\frac{P_o \gamma}{\omega V}$$

$\gamma = 1.41$ pour l'air

$$\frac{P_o \gamma}{\omega V} \rightarrow \frac{1}{C \omega}$$

$$C \rightarrow \frac{V}{P_o \gamma}$$

RESONATEUR D'HELMHOLTZ

Un flacon se réduit à une capacité, un ressort, un piston qui fonctionne par sa masse et des frottements formant la résistance.

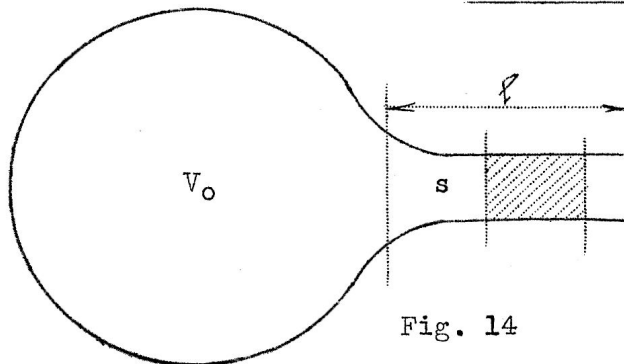


Fig. 14

Exemple : ballon de verre

$V_o = \ell, s$ (fig. 14)

$$m = s \times \ell \times \rho$$

$$v dp + \gamma p dv = 0$$

$$dp = \frac{s \ell \rho g}{s} = \rho \times \ell \times g$$

$$\Delta v = - \rho \ell g \frac{v}{\gamma p}$$

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{n}{g}} \quad (\text{loi de Hooke})$$

$$h = \frac{\Delta v}{s} = \frac{\rho \ell g}{s} \frac{v}{\gamma p}$$

$$n = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \pi} \sqrt{\frac{g}{h}}$$

$$C = n \lambda = \frac{\lambda}{T}$$

$$\lambda = c \cdot 2 \pi \sqrt{\frac{h}{g}} = c \cdot 2 \pi \sqrt{\frac{\rho \ell}{s} \frac{v_o}{\gamma p}}$$

$$c = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$$

$$\lambda = 2 \pi \sqrt{\frac{v_o \times \ell}{s}}$$

Expérience et appli-
cation numérique

Résonateur constitué par un ballon de verre.
Haut-parleur alimenté par un générateur BF. La
résonance est constatée au moyen d'un micropho-
ne relié à un appareil de mesure. Le maximum
de déviation est obtenu pour un son de même fréquence que la fréquence
propre du flacon. (Méthode d'Helmholz pour l'analyse des sons).

Application numérique

Ballon de 5 ℓ. col : ℓ = 5 cm ϕ = 5 cm

$$\lambda = 2 \pi \sqrt{\frac{5000}{4}} = 220 \text{ cm} \quad n = 154.$$

Cinquième Leçon

HAUT-PARLEUR ELECTRODYNAMIQUE

Sommaire :

Transmission du mouvement d'un organe mécanique à l'air - Diffuseur-Condensateur.

Conditions de fonctionnement d'un diffuseur.

Emploi d'une chambre de compression.

L'air à grande vitesse a un mauvais rendement acoustique : nombre de Reynolds et formation de tourbillons.

Viscosité cinématique : $\eta' = \frac{\eta}{\rho}$

L'écoulement est laminaire si $\frac{Vd}{\eta'} < N$

Air : $N = 2000$.

N = nombre de Reynolds.

Forme du pavillon-transformateur : Cône, cornet.

Pavillon exponentiel $U = U_0 e^{-ax} \sin \omega t$.

L'énergie se transmet sans perte s'il n'y a pas de tourbillons.

Haut-parleur dynamique - Données numériques.

TRANSMISSION DU MOUVEMENT D'UN

ORGANE MECANIQUE A L'AIR

But : Transformer une force d'origine électrique en un mouvement imposé à une tranche d'air.

Pour que la transmission se fasse dans de bonnes conditions, il faut que l'appareil rencontre une résistance d'air aussi grande que possible.

Solutions : Grande membrane en contact avec l'air (grande surface).

Exemples : tambour, réaction élastique de la peau.

Phonographe, aiguille et diaphragme.

Diffuseur Pathé.

Instruments à cordes : communication du mouvement à une caisse de résonance qui transmet les vibrations à l'air par une grande surface.

Energie vibratoire :

$$2 \pi m a^2 n^2$$

HAUT-PARLEUR ELECTROSTATIQUE

(Condensateur-Diffuseur) —

L'emploi d'un condensateur permet de faire agir sur toute la membrane la force qui déplace la surface.

En plaçant de chaque côté de la membrane, une armature grillagée et chargée - l'une positivement, l'autre négativement, une force électromotrice sinusoïdale agissant sur la membrane provoque son déplacement. (fig.15).

Nécessité d'avoir une grande surface - 1 m^2
par exemple pour rayonner une énergie acoustique suffisante.

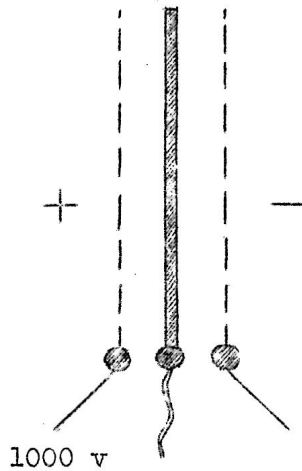


Fig. 15

Mouvement d'une membrane agissant comme piston sur l'air à son contact :

Masse : m Energie $W = \frac{1}{2} m u^2$
Vitesse : u

Exemple : Surface de 2 dm^2 et masse $m = 4$ grammes.

Déplacement $e = 1 \text{ cm}$ $u = 50 \text{ Hz}$.

Vitesse : $2 \pi \times \frac{1}{2} \times 50 = 150 \text{ cm/s}$

Energie $W = \frac{4 \times 150^2}{2} = 45.000 \text{ ergs/seconde}$
 $= 4,5 \times 10^{-3} \text{ watts}$.

Masse d'air équivalente à la membrane : cylindre d'air de même base (diamètre du cône) et de longueur 20 cm.

Si la membrane était prolongée par un tuyau indéfini, l'énergie transmise par ce tuyau serait :

$$S \times \frac{1}{2} \rho u^2 = \frac{1}{2} \rho \times u^2 \times S$$

dans ces conditions, le résultat serait satisfaisant, malheureusement les hauts-parleurs ne débitent pas dans des tuyaux indéfinis mais dans l'atmosphère, le rendement est beaucoup plus petit.

HAUT-PARLEUR ELECTRODYNAMIQUE

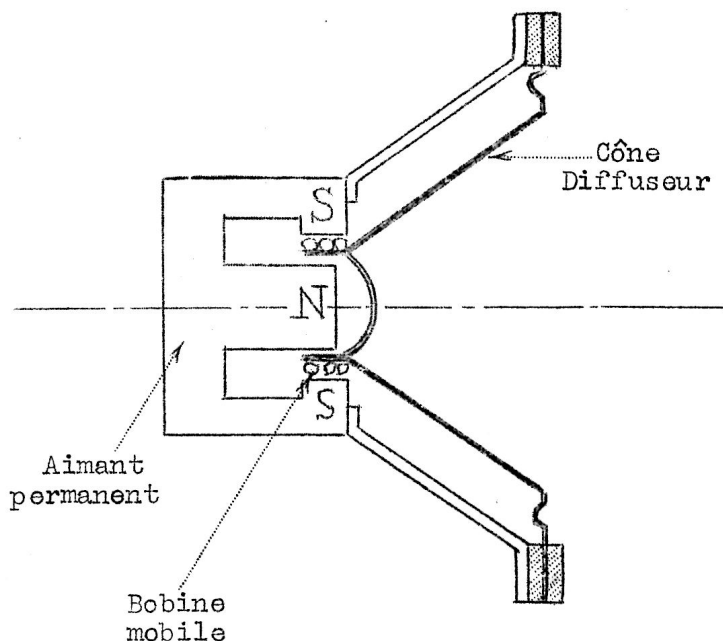


Fig. 16

Comprend un aimant à pôles concentriques NS.

Le diffuseur est solidaire d'une bobine mobile placée dans l'entrefer.

Dans l'entrefer règne un champ magnétique radial H , la bobine mobile se meut longitudinalement. (fig.16).

Si la bobine est parcourue par un courant i , il naît une force appliquée longitudinale $H \ell i$ - loi de Laplace (ℓ = longueur de fil bobiné).

Si la bobine est déplacée avec la vi-

tesse v sur son axe, il naît à ses bornes une f.e.m. d'induction $-H\ell v$ (le signe - rappelant la loi de Lenz).

La bobine est solidaire d'un piston de masse m , ramené par des ressorts de dureté K , le mouvement du piston est amorti par une force de frottement $f \frac{dx}{dt}$. Si E est la tension appliquée au circuit de la bobine mobile - si F est une force extérieure appliquée nous avons deux équations, l'une électrique (équilibre des tensions suivant la loi d'Ohm généralisée) l'autre mécanique (équilibre des forces):

$$(1) \quad E = L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt + H\ell v$$

$$(2) \quad F = m \frac{dv}{dt} + fv + K \int v dt - H\ell i \quad (\text{fig.17})$$

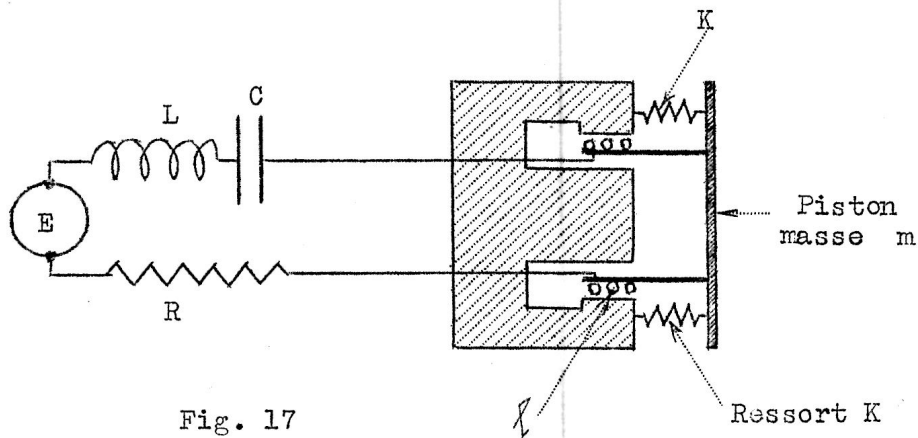


Fig. 17

K est la dureté du ressort qui rappelle la masse m avec un frottement visqueux f .

C , R et L sont insérées en série dans le circuit de la bobine mobile.

C peut être infini. L peut être ramenée à l'inductance de la bobine mobile.

Si le piston est de grandes dimensions et rayonne dans l'air une énergie notable, f contient en outre la résistance de rayonnement de la membrane. En supposant que la membrane vibre comme un piston plat, on a des résultats théoriques donnant cette valeur de résistance de rayonnement (fig.18).

Ordonnées : f en prenant $\rho C S$ comme unité.

ρ = masse spécifique du fluide où se produit le rayonnement.

C = vitesse du son dans ce fluide.

S = surface de la membrane.

Abscisses : a = rayon de la membrane.

λ = longueur d'onde rayonnée.

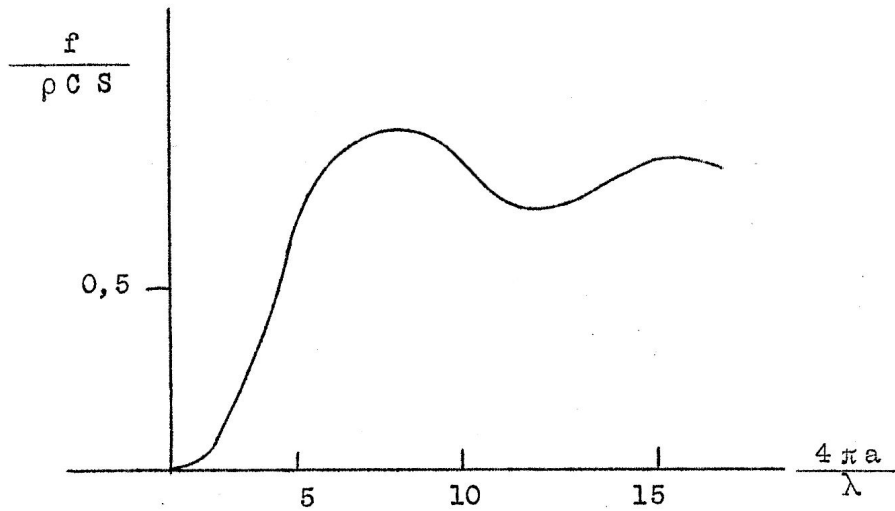


Fig. 18

CHAMBRE DE COMPRESSION

Les vibrations de la membrane sont transmises à l'air par l'intermédiaire d'une chambre possédant un étranglement (fig.19).

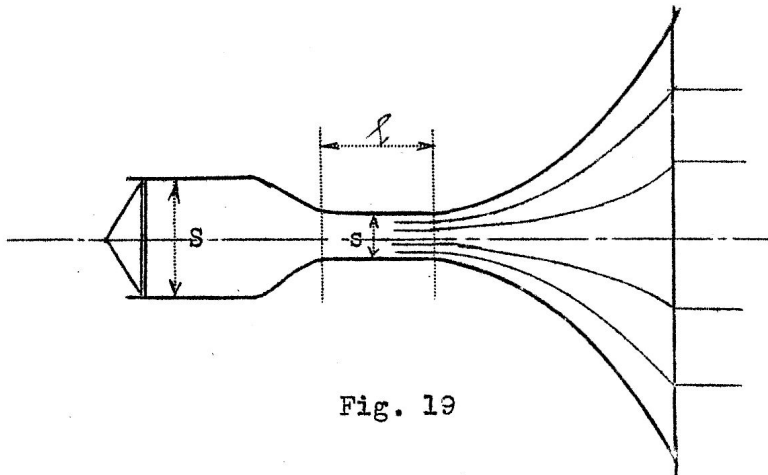


Fig. 19

L'air mis en mouvement par la membrane (piston) de section S circule comme s'il était incompressible en raison de la petitesse des variations de pression. Quand une tranche d'air de masse m passe dans le canal de section s , sa vitesse est augmentée dans le rapport $\frac{S}{s}$.

La force vive de cette masse devient :

$$\frac{1}{2} m v^2 \left(\frac{S}{s} \right)^2 .$$

La masse éprouve une augmentation de force vive.

La formule précédente peut s'écrire : $\frac{1}{2} \left[m \left(\frac{S}{s} \right)^2 \right] v^2$

tout se passe comme si la masse avait augmenté dans le rapport $\left(\frac{S}{s} \right)^2$, l'étranglement produit le même effet qu'une augmentation d'inertie. (Rôle de L en électricité).

Soit ℓ_e la longueur d'air équivalente qui correspond à la membrane et à la masse de la bobine mobile. ℓ , la longueur de l'étranglement.

La valeur équivalente en air de l'ensemble est :

$$\ell_e + \ell \frac{S}{s}$$

Application : diamètre de S = 20 cm

" de s = 2 cm

ℓ = 2 cm

longueur équivalente au petit canal = 200 cm, si l'énergie absorbée par la membrane correspond à 20 cm, l'énergie absorbée par l'air lui est 10 fois supérieure.

Tourbillons - Les tourbillons se produisent par suite des frottements dont le fluide est le siège.

Couche limite contre la paroi (régime lamellaire).

La vitesse varie très vite quand on s'écarte de la paroi - cette couche a un très grand gradient de vitesse et est instable, la moindre perturbation fait naître un tourbillon qui amorce le régime turbulent.

Une veine d'air ne peut pas se déplacer à partir d'une certaine vitesse sans qu'il se forme des tourbillons - plus un liquide est visqueux, plus il tend à se déplacer d'un mouvement d'ensemble, sans inégalité de vitesse.

Soit : η coefficient de viscosité
 ρ densité du fluide
 η' viscosité dynamique

$$\eta' = \frac{\eta}{\rho}$$

Si d est le diamètre de la veine, V la vitesse d'écoulement, il n'y a pas de régime turbulent si :

$$\frac{Vd}{\eta'} < N$$

N = nombre de Reynolds.

Exemple : Pour l'air N = 2.000 Vd = 200

Si la surface est de 1 cm² V = 200 cm/s.
" " " " 1 m² V = 2 cm/s.

Energie correspondante : 0,1 watt.

Les tourbillons se produisent également quand les trajectoires des particules changent brusquement de direction ou de courbure, d'où la nécessité de faire diverger l'air progressivement (fig.20 et 21).

Expérience : Tourbillons annulaires.

.....

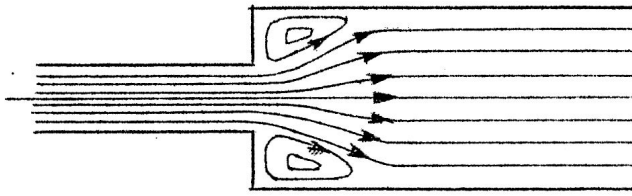


Fig. 20

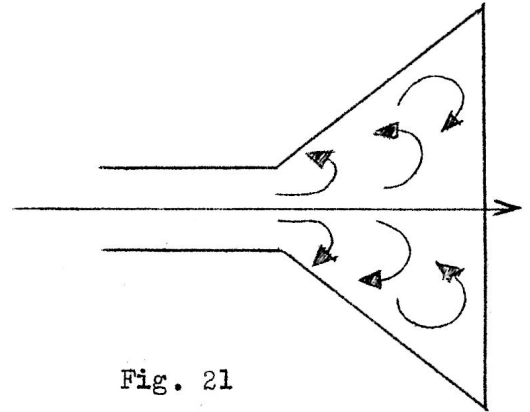


Fig. 21

Tourbillons formés par un changement de section.

Pavillon exponentiel - Si l'air sort de l'appareil directement dans l'atmosphère avec une grande vitesse, il se produit des tourbillons - les tourbillons sont toujours accompagnés de frottements (transformation en chaleur d'une partie de l'énergie cinétique du fluide d'où diminution de la vitesse).

Il convient donc de canaliser l'air dans un tube approprié qui l'amène, avec une forme divergente progressive, à une faible vitesse.

Pavillon : On appelle pavillon un conduit acoustique dont la section S est une fonction de l'abscisse x .

Tant que la section S a des dimensions petites devant la longueur d'onde des sons qui s'y propagent, on admet que les ondes, dans le pavillon, sont planes.

Le pavillon part d'une section faible pour aboutir à une section beaucoup plus grande ou inversement, et la loi de croissance ou de décroissance des sections est régulière.

L'inertie de la membrane, ou du cône du diffuseur ne permet pas de grands déplacements mais permet d'engendrer de fortes pressions : la membrane ou le cône travaille avec une impédance mécanique élevée. Si la membrane ou le cône rayonne directement dans l'atmosphère, leur déplacement de vitesse U ne permettra d'engendrer qu'une pression sonore $C U$ négligeable : l'atmosphère offre une basse impédance et n'est pas capable de charger une membrane.

Le pavillon attaqué par une membrane à sa petite embouchure est un transformateur : primaire, pression élevée et déplacement faible - secondaire, pression faible et grand déplacement.

Pavillon exponentiel - Il faut satisfaire l'équation :

$$\frac{dS}{S} = A dx \quad (x \text{ déplacement suivant l'axe})$$

d'où :

$$\text{Log } S = Ax$$

$$S = S_0 e^{Ax}$$

d'où une forme exponentielle produisant une divergence régulière, avec ce pavillon on obtient des ondes presque planes à la sortie.

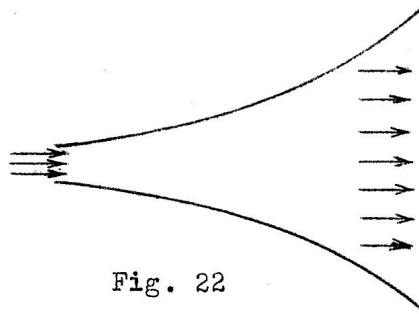


Fig. 22

Remarque : Si l'on avait à émettre qu'une seule fréquence, le pavillon conique serait satisfaisant, les pavillons coniques transmettent mieux quand la fréquence augmente. Avec les pavillons exponentiels on peut atteindre un rendement de 50 % de l'énergie qui agit sur l'air (fig.22).

Courbes de l'intensité du son en fonction de la fréquence pour les deux types de pavillons :

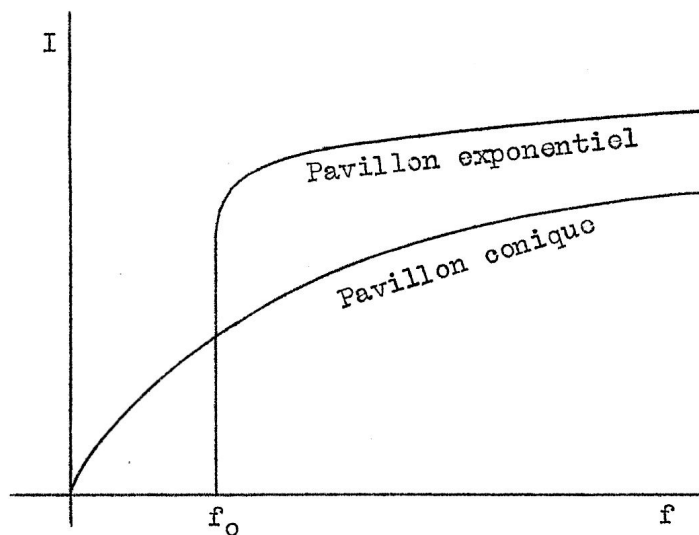


Fig. 23

f_0 = fréquence de coupure (fréquence au-dessous de laquelle le pavillon ne transmet rien)

$$\frac{\omega}{C} = \frac{A}{2}$$

$$\lambda = \frac{4\pi}{A}$$

Exemple : $A = \frac{1}{100}$

$s = 10 \text{ cm}^2$
 $S = 30,7 \text{ cm}^2$
 $\ell = 100 \text{ cm}$
 $\lambda = 1256$
 $f_0 = 28$.

Données numériques concernant le haut-parleur électrodynamique —

Le mouvement du haut-parleur associé à une chambre de compression est celui d'un corps qui oscille tout en étant freiné.

Soit m la masse en mouvement
 x le déplacement
 f le coefficient de frottement
 C le coefficient de raideur
 F la force produisant le mouvement :

$$v = \frac{dx}{dt} \quad \gamma = \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + f \frac{dx}{dt} + Cx = F(t)$$

Période d'oscillation propre : $2\pi \sqrt{\frac{m}{C}}$.

Dans le cas du haut-parleur, si H est l'intensité du champ magnétique, i l'intensité du courant dans la bobine mobile de longueur ℓ -

$$F = H \times \ell \times i.$$

Exemple : $H = 10.000$. 50 tours de fil sur une bobine de 2 cm de diamètre.

$$\ell = 300 \text{ cm.} \quad i = 1 \text{ ampère.}$$

$$F = 10.000 \times 300 \times 10^{-7} \text{ (C.G.S.)}$$

soit 300.000 dynes $\sim$ 300 grammes.

La masse m est d'environ 6 grammes.

Sixième Leçon

TRANSMISSION ELECTRIQUE DES SIGNAUX ET DU SON

Sommaire :

I. Transmission des signaux.

Transmission par phénomènes électrostatiques.

Utilisation du courant électrique.

Electroaimant - Télégraphe Morse.

Pantélégraphe Caselli.

Télégraphe Baudot.

Téléimprimeur.

Télégraphie sans reproduction des formes.

Transmission - courant continu - courant alternatif.

Modulation télégraphique.

Télégraphie avec reproduction des formes.

Textes manuscrits - Fac-similé - Photographies - Qualités requises.

II. Transmission du son.

Sons vocaux - Transformation réciproque des énergies acoustiques et électriques.

Qualités d'une liaison téléphonique.

Différents paramètres - Limites.

Composition d'une liaison téléphonique.

Rôles du microphone et du récepteur.

Téléphonométrie.

Lignes téléphoniques.

TRANSMISSION DES SIGNAUX

Télégraphie : Tous les procédés visant à transmettre un texte ou un dessin sans transport matériel de l'original.

On peut distinguer :

- 1°) Transmission par code alphabétique - sans reproduction des formes.
- 2°) Transmission autographique - reproduction de l'écriture manuscrite.
- 3°) Transmission en fac-similé - noir et blanc.
- 4°) Phototélégraphie.

Historique : 1774 - Télégraphe électrostatique multifils de Lesage.

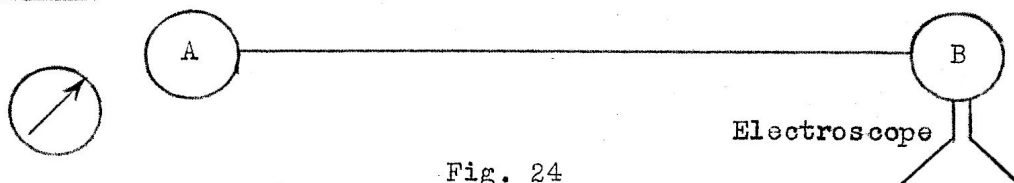


Fig. 24

25 circuits correspondant à une lettre de l'alphabet -
Emission : boule électrisée
Réception : électroscope.

Abandonné par suite du fonctionnement parfait du télégraphe Chappe (1794).
1820 - Electroaimant (Arago).

La découverte de la pile électrique a permis d'utiliser vers 1800, le galvanomètre dont l'aiguille aimantée dévie quand le courant électrique passe dans la bobine.

En 1820 la découverte de l'électroaimant permet de commander un appareil mécanique.

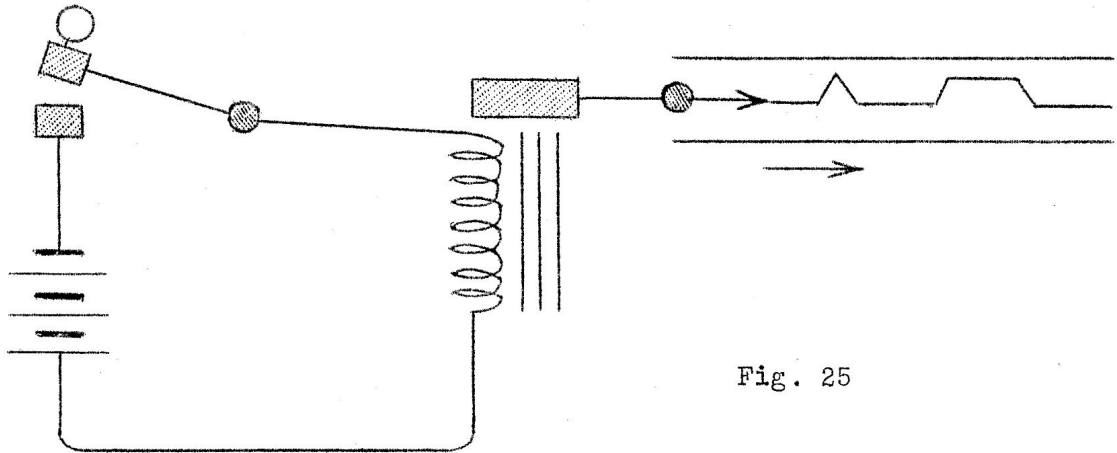


Fig. 25

1832 - 1833 - 1844 Télégraphe Morso.

Mis en service aux Etats-Unis en 1844.

Chaque signal se compose d'éléments courts (points) et d'éléments trois fois plus longs (traits), les signaux sont séparés par des intervalles de longueur égale à trois éléments courts.

1844 - Télégraphe Bréguet pas à pas.

1855 - Télégraphe imprimeur HUGHES.

1863 - Pantélégraphe Caselli - transmission de dépêches autographiques.

1876 - Télégraphe Baudot.

1920 - Téléimprimeur arithmétique Morkrum-Kleinschmitt.

Télégraphie sans reproduction des formes —

Objet : Transmission d'un certain nombre de signes - à chaque signe correspond une perturbation électrique déterminée : le signal télégraphique. Le tableau de correspondance entre signes et signaux constitue l'alphabet télégraphique.

Transmission : a) Passage d'un courant continu.

Les perturbations consistent en coupures, établissement ou inversion de courant.

b) Passage d'un courant alternatif.

Les perturbations consistent en coupures, en déphasage ou en variations brusques de la fréquence.

Divers systèmes utilisés - Ils se distinguent par la loi de variation dans le temps des phénomènes précédents.

Systèmes pas à pas (Bréguet - cadran de téléphone automatique).

Chaque signal est caractérisé par un certain nombre d'impulsions.

Dans le Morse, chaque signal se compose d'éléments longs et d'éléments courts (traits et points).

Dans le Hughes, chaque signal consiste en une impulsion caractérisée par son écart avec un instant origine.

Dans le Baudot tous les signaux ont la même durée et comportent 5 éléments de durée égale pouvant prendre chacune 2 états (système à 5 moments).

Systèmes à décomposition

Chaque caractère est décomposé en un nombre fixe de points.

du dessin des caractères

Les alphabets ouverts (Morse) permettent de transmettre un nombre quelcon-

que de signaux, tandis que les alphabets fermés (alphabets à 5 moments) ne permettent que la transmission limitée d'un nombre de signaux.

Modulation télégraphique : production des perturbations utilisées pour la transmission.

Au cours de la modulation, le temps est divisé par les instants caractéristiques où sont produites les perturbations, en éléments de modulation (rapidité de modulation = inverse de la durée - s'exprime en bauds si le temps t s'exprime en seconde).

En code Morse on admet que la durée moyenne de transmission d'un mot correspond à celle de 60 éléments courts - la capacité de transmission d'une voie Morse exprimée en mots/minute est égale à la rapidité de modulation exprimée en bauds.

En transmission manuelle on atteint 16 bauds, en transmission automatique 500 bauds.

La modulation est généralement reçue par un électro-aimant est mono, bi ou trivalente suivant les positions actives de l'armature (1, 2 ou 3).

La plupart des appareils sont à modulation bivalente (un état de repos et un état de travail).

Retard de la restitution - Intervalle de temps entre un instant caractéristique de la modulation et l'instant correspondant de la restitution.

Distorsion : écarts inégaux de restitution au cours de la modulation.

La rapidité de modulation des appareils télégraphiques a été adaptée aux possibilités de la manipulation humaine.

Exemple : rapidité moyenne de frappe d'une dactylographe : 5 frappes/seconde - bons opérateurs 6/s - le téléimprimeur adapté doit pouvoir émettre 6 signaux/seconde, à 7 moments, 5 par signal (normalisation : C.C.I.T.) = rapidité de modulation de $6 \times 7,5 = 45$ bauds.

Voies de communications

1) Voies à courant continu.

télégraphiques —————

2) " à courant alternatif.

3) " radioélectriques.

- Voies à courant continu - a) Type simplex - Exploitation à l'alternat, chaque poste est alternativement émetteur et récepteur (commutation automatique sur les téléimprimeurs).
- b) Type harmonique - Transmission simultanée dans les deux sens - (un circuit électrique par sens de transmission ou duplexage d'une voie simplex).

Voies à courant alternatif - Voies constituées par un canal étroit de fréquences (120 Hz) prélevé dans la bande passante d'un circuit téléphonique et permettant 6-12-18 et même 24 voies sur un même circuit support.

La transmission se fait généralement par coupure du porteur (fréquences normalisées C.C.I.T. de la forme $300 + 120 n$ Hz $n = \text{rang de la voie}$).

Les porteurs de voies sont engendrés par oscillateurs ou par roues phoniques.

La coupure est opérée par relais statique (cellule redresseuse).

Des filtres permettent : à l'émission, d'empêcher les bandes latérales de modulation de passer sur le circuit support,

à la réception, d'extraire d'un groupe de voies la voie désirée.

Voies radioélectriques - Défauts : instabilité (fadings) et parasites.

Remèdes : modulation de fréquence en ondes courtes.

Télégraphie avec reproduction des formes —

Objet : Transmission des textes manuscrits, des documents noir et blanc (fac-similé) des documents avec demi-teintes (téléphotographie).

Textes manuscrits : pantélégraphe Caselli (1860) abandonné.

Les systèmes fac-similé et photographique se font par exploration synchrone point par point. A l'émission, le document est enroulé sur un cylindre de diamètre D, l'exploration a lieu suivant une hélice de pas p.

Finesse d'exploration :
$$F = \frac{1}{p}$$

La quantité M
$$= \frac{D}{p} = FD$$
 est le module de coopération.

Rapidité de modulation : (ω = vitesse angulaire)

$$R = \frac{\omega F D}{2} = \frac{\omega M}{2}$$

Exemple : Module 352 - Vitesse de rotation 4π radian/s -
 $R = 2200$ bands.

TRANSMISSION DU SON

Les signaux télégraphiques sont envoyés en "tout ou rien".

La transmission du son pose un problème différent.

Composition des sons vocaux - Voie humaine : vibrations sonores dont la fondamentale est comprise entre 200 et 3.000 Hz. La modulation des sons vocaux comporte des transitoires de courte durée, la plus grande partie de l'énergie est transmise en régime permanent (puissance dans l'air 10 microwatts par exemple).

Transformation réciproque des énergies acoustiques et électriques

Microphone : membrane actionnée par les vibrations acoustiques - variation de résistance d'un circuit ou de capacité d'un condensateur, d'où variation d'intensité dans le circuit.

Puissance moyenne à la sortie : quelques milliwatts.

Les courants électriques engendrés par le microphone sont transmis par les lignes et reçus par un téléphone qui opère la transformation inverse.

Le téléphone date de 1875. Le premier dispositif comprenait une membrane remplaçant le manipulateur Morse.

Dispositif de Reiss (magnétostriktion) (fig.26).

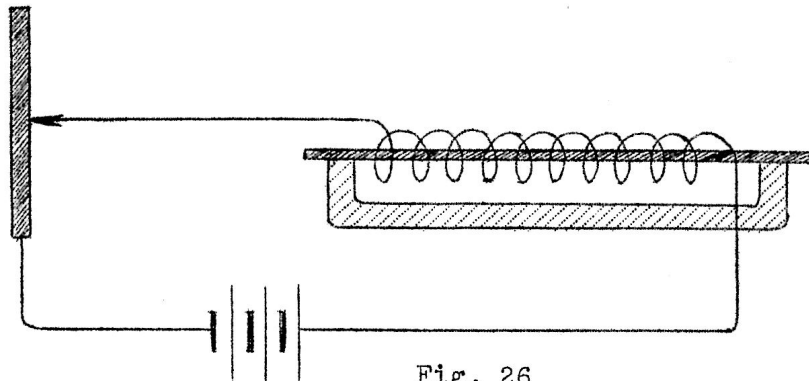


Fig. 26

Téléphone de Graham-Bell - Premier appareil téléphonique pratique. (fig.27).

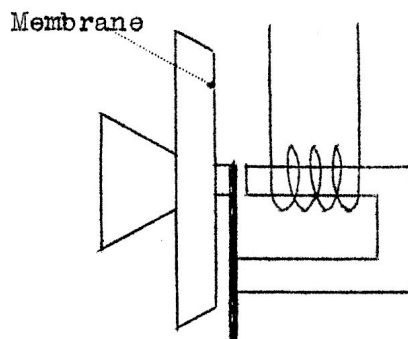


Fig.27

Qualités d'une liaison téléphonique.

Les différents paramètres sont :

- la bande ΔF des fréquences transmises,
- l'affaiblissement B entre bornes d'entrée et de sortie (P_R = puissance reçue, P_E = puissance émise)

$$B(\text{népers}) = \frac{1}{2} \log \frac{P_R}{P_E}$$

- la distorsion d'affaiblissement ΔB dans la gamme ΔF transmise,
- le temps t de propagation des courants électriques,
- la distorsion Δt de temps de propagation,
- la puissance moyenne émise P_E ,
- la distorsion de non linéarité d'amplitude H ,
- la tension de bruit V_R à la réception.

L I M I T E S

ΔF	300 à 3500 Hz
B	3,9 népers
ΔB	1 néper
t	$\leq$ 50 millisecondes
Δt	$\leq$ 15 millisecondes
P_E	4 milliwatts
H	10 %
V_R	2,5 millivolts.

Composition d'une liaison
téléphonique

Installations d'abonnés, lignes téléphoniques, commutateurs permettant d'interconnecter les abonnés.

Installations d'abonnés

Poste téléphonique : microphone et récepteur réunis dans un combiné.

Microphone (P.T.T. France) : Capsule à charbon $R = 70 \Omega$ environ.

Récepteur : aimant ALNICO et pièces polaires sur lesquelles sont placées les bobines parcourues par le courant téléphonique (Résistance des bobines 48Ω).

Rôles du microphone et du
récepteur téléphonique

Le microphone est un système électroacoustique qui doit son pouvoir amplificateur à l'énergie de la batterie d'alimentation - (Pouvoir amplificateur 30 dB par exemple).

Le récepteur téléphonique est un système électroacoustique passif dont le rôle est de transformer l'énergie électrique (quelques dixièmes de mW) en énergie acoustique (quelques microwatts). Rendement très faible.

Caractéristiques des ap-
pareils téléphoniques

Efficacité : concerne le comportement électroacoustique (rendement).

Netteté : qualité d'intelligibilité.

Les mesures correspondantes sont du domaine de la téléphonométrie.

- Rendement a) Méthode subjective - par comparaison à la voix et à l'oreille du système considéré et d'un système étalon.
- b) Méthode objective - par emploi de bouches et oreilles artificielles.

Netteté ou intelligibilité ; compréhension des mots et des phrases d'une conversation suivie - emploi des logatomes.

Lignes téléphoniques

Câbles urbains : Liaisons extérieures jusqu'à 10 Km.

Câbles interurbains : Pour les liaisons dépassant 10 Km utilisation à intervalles égaux de bobines Pupin.

Circuits à courants porteurs : Superposition sur un même circuit à la voie à fréquence vocale, d'autres voies transposées par modulation dans des bandes de fréquences supérieures.

Septième Leçon

TRANSMISSION DES SIGNAUX ET DU SON
SANS MILIEU MATERIEL

Sommaire :

Photophone de Graham Bell (1878).

1°) Télégraphie : Obturation périodique à fréquence musicale.

2°) Téléphonie : Modulation de la lumière par la parole.

Récepteur : Paraboloïde et cellule à sélénium - pile et écouteur téléphonique - Thermophone.

Solutions actuelles :

Emission : modulateurs de lumière, lampe modulée, lampe à lueur, valves de lumière ...

Réception : Cellules photo-électriques.

PHOTOPHONE DE GRAHAM BELL

1°) Transmission des signaux : a) Emetteur (fig.28).- Se compose d'une source lumineuse S dont les rayons sont concentrés au foyer F_1 d'une lentille L_1 et sont ensuite transformés en rayons parallèles par une seconde lentille L_2 .

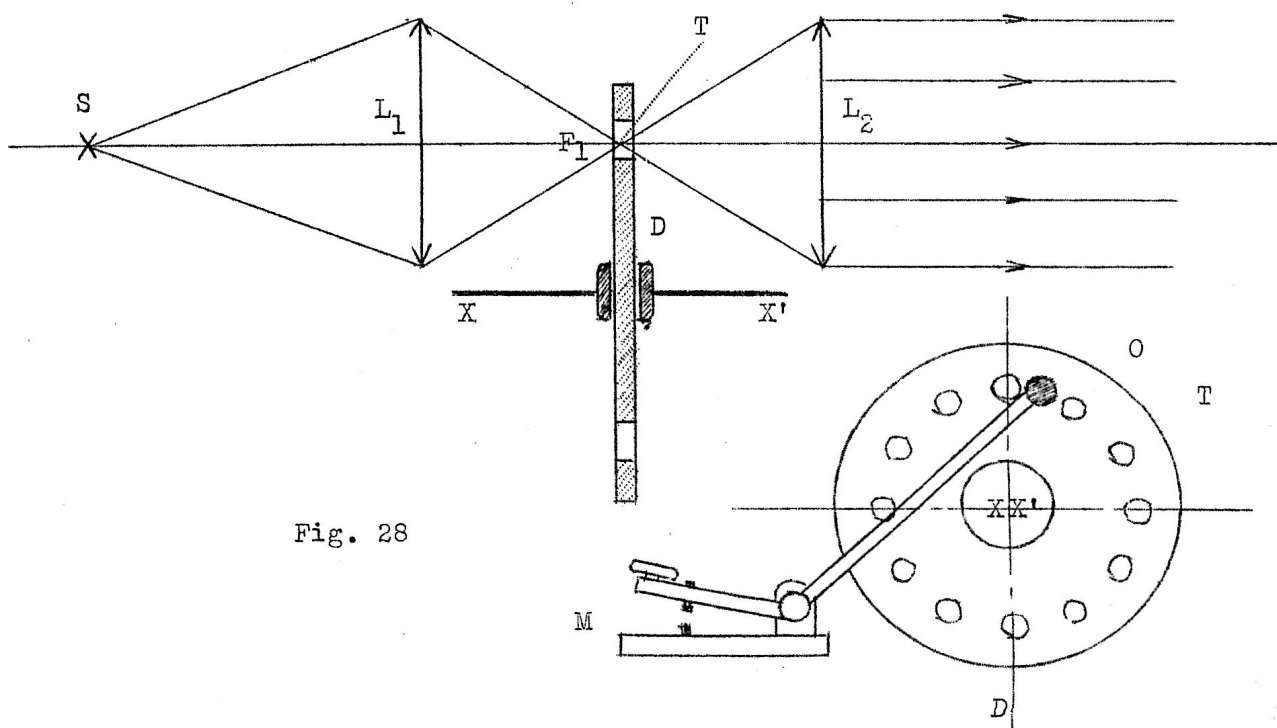


Fig. 28

La périphérie d'un disque tournant D, percé de trous T passe en F_1 , le faisceau qui rencontre alternativement un trou et un plein se trouve rupté à une fréquence musicale (500 Hz/s par exemple). Le manipulateur M permet de laisser passer ou d'interrompre le faisceau lumineux. On dispose ainsi de lumière modulée passant en "tout ou rien".

- b) Récepteur - Se compose d'un paraboloïde qui recueille et concentre les rayons lumineux à son foyer F_2 où l'on place une cellule à sélénium C.

La cellule est reliée à une pile P et à un récepteur téléphonique R (fig. 29).

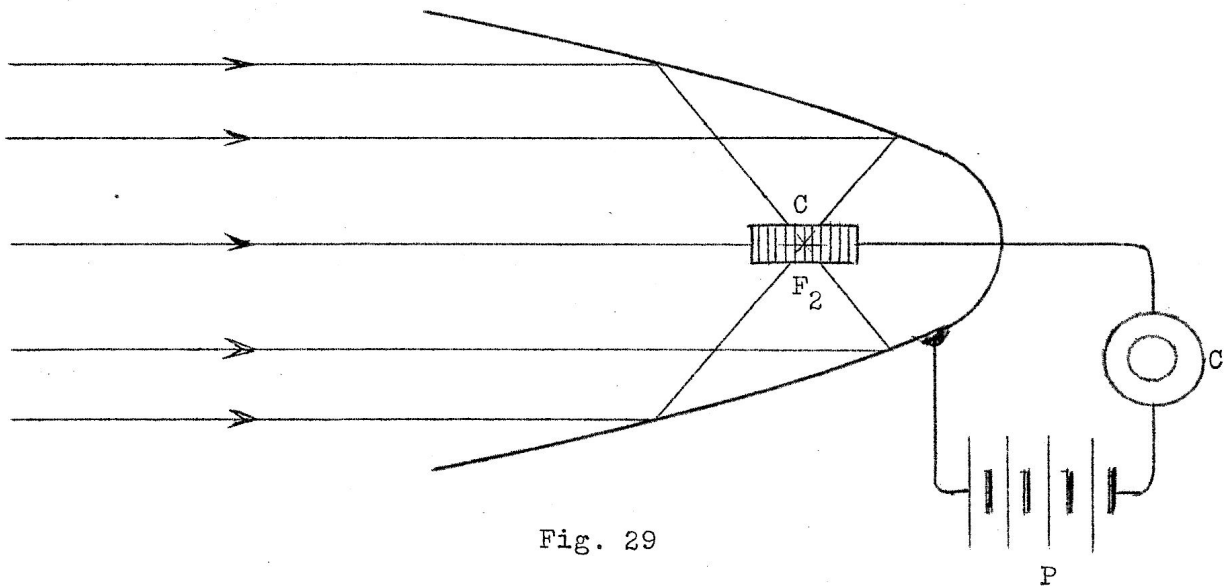


Fig. 29

2°) Téléphonie

Il faut moduler le faisceau de lumière non plus en "tout ou rien" par un manipulateur mais par l'énergie de la parole - 100 ergs/seconde environ.

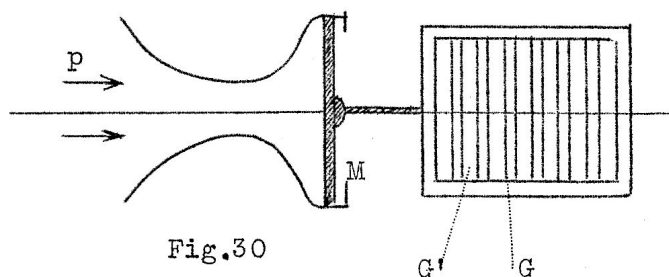


Fig.30

1ère solution (fig.30)

La membrane M, actionnée par la voix p, actionne une grille mobile G, placée devant une grille fixe G', la lumière passe plus ou moins.

2ème solution (fig.31)

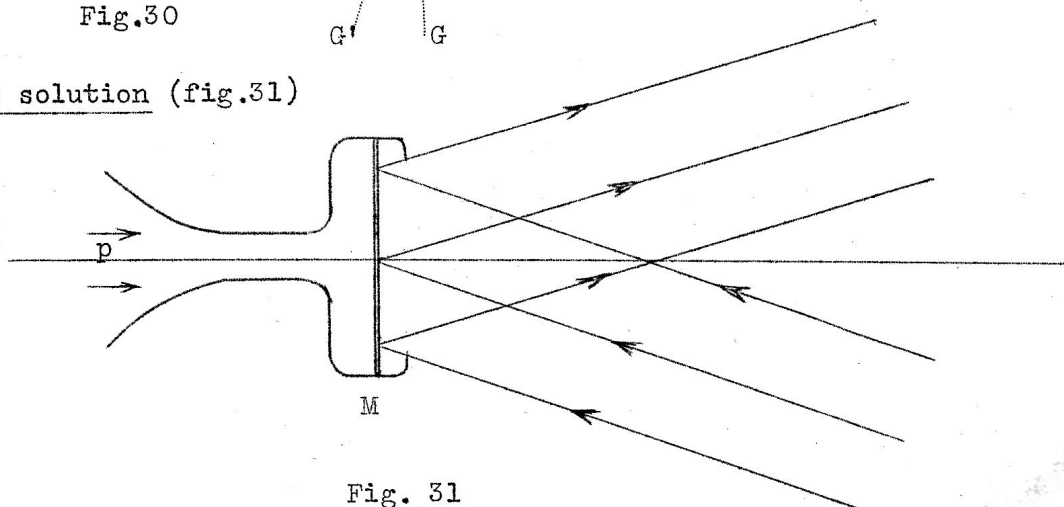


Fig. 31

La membrane M est un miroir argenté, la déformation du miroir fait diverger le faisceau lumineux avec un angle plus ou moins grand. Le récepteur capte une quantité de lumière plus ou moins grande.

RECEPTEUR Cellule à sélénium - Découverte des propriétés photo-électriques du sélénium. May (1873).

La résistance électrique du sélénium diminue avec l'éclairement.

Le sélénium est un élément chimique qui se situe à la limite de séparation des corps conducteurs et des isolants. Dans le tableau périodique des éléments il se situe entre le métal tellure et le soufre.

Il existe sous plusieurs formes allotropiques, l'une d'elles (cristalline de couleur grise) présente l'effet photo-conducteur.

Sa résistance est 10^{12} fois celle du cuivre.

Cellule de G. Bell - Constituée par un empilage de disques alternés de laiton et de mica. Le diamètre des disques de mica étant plus faible que celui des disques de laiton, il reste au bord une rainure circulaire qu'on remplit de sélénium fondu.

Chaque anneau de sélénium est ainsi relié aux deux disques voisins de laiton.

Tous les disques métalliques de rang pair sont reliés entre eux et à un pôle (+ par exemple) les disques de rang impair sont reliés entre eux et à l'autre pôle (-).

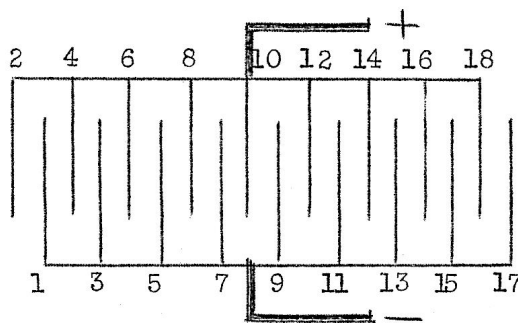


Fig. 32

Les anneaux de sélénium sont ainsi montés en parallèles (faible résistance électrique) et grande surface offerte à la lumière.

Dans ces conditions, le rapport entre la surface active et la surface totale s'élève à 0,6, la résistance électrique est de 1.200 ohms dans l'obscurité, 600 ohms à la lumière.

Thermophone G. Bell avait expérimenté une grille recouverte de noir de fumée, dont la résistance variait avec l'éclairement.

On peut utiliser le thermophone - tube contenant un morceau de liège carbonisé - un éclairement variable conduit à un échauffement variable et à une dilatation variable de l'air.

LES SOLUTIONS ACTUELLES : 1°) Emetteur :

a) Arc chantant

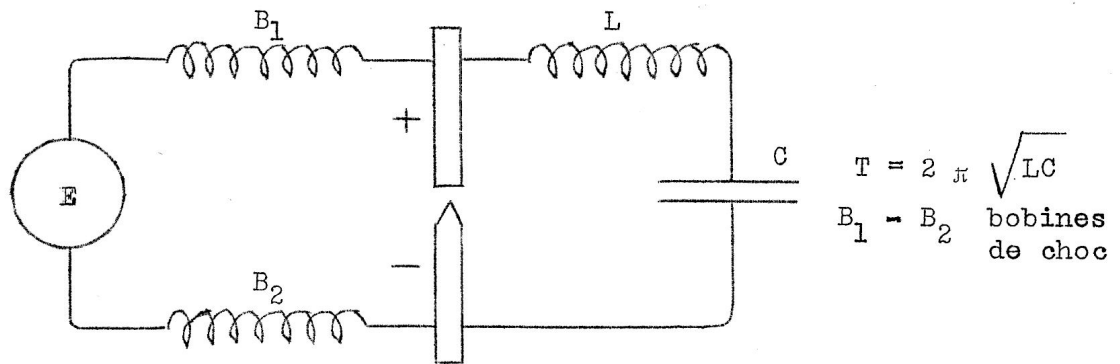


Fig. 33

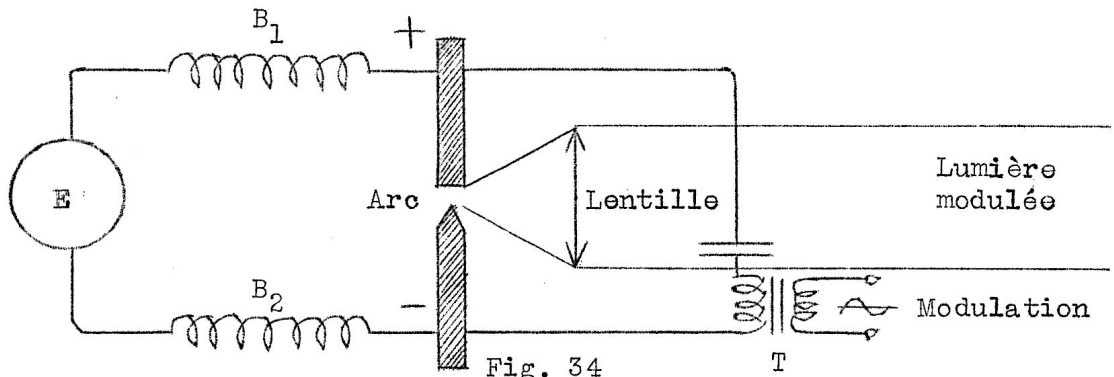


Fig. 34

b) Lampe modulée - Une ampoule à incandescence, convenablement polarisée constitue un modulateur de lumière.

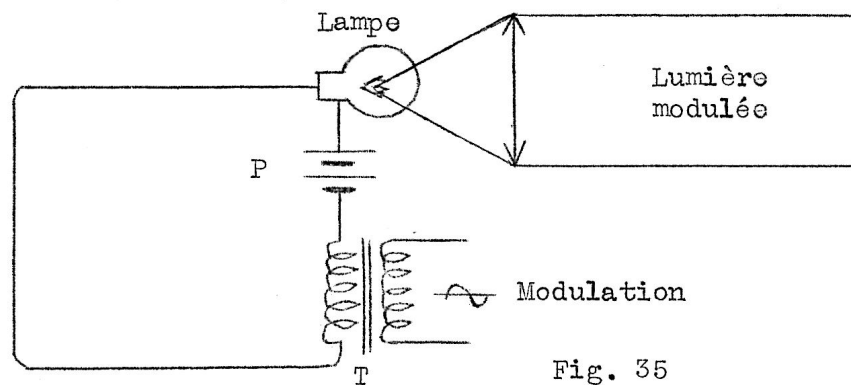


Fig. 35

c) Lampe à lueur - (modulateur de lumière utilisé pour l'enregistrement photographique en densité variable).

Caractéristique statique :

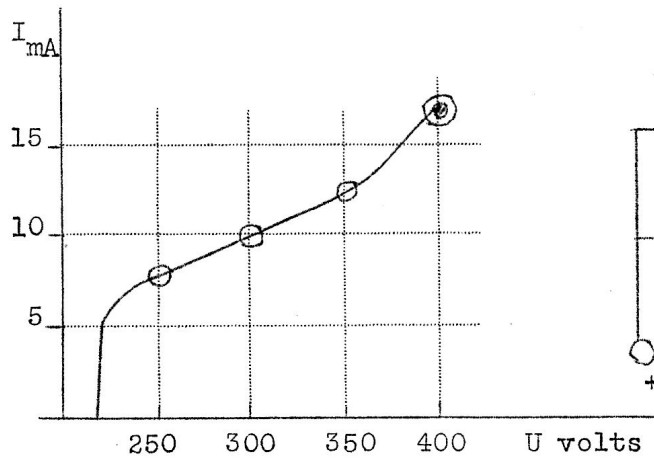


Fig. 36

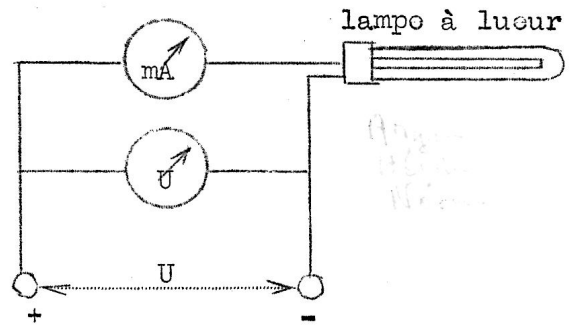


Fig. 37

Caractéristique dynamique :

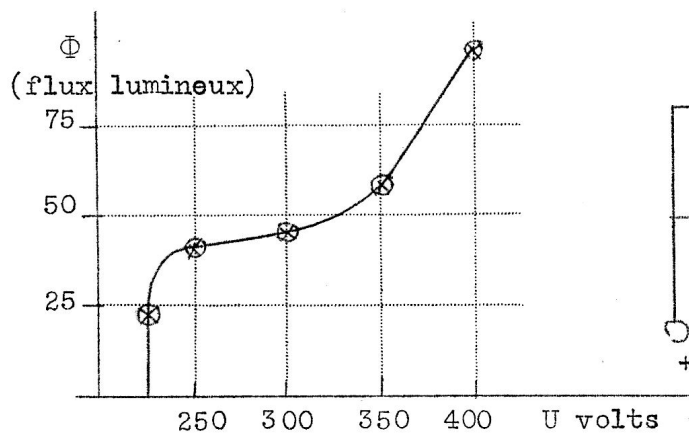


Fig. 38

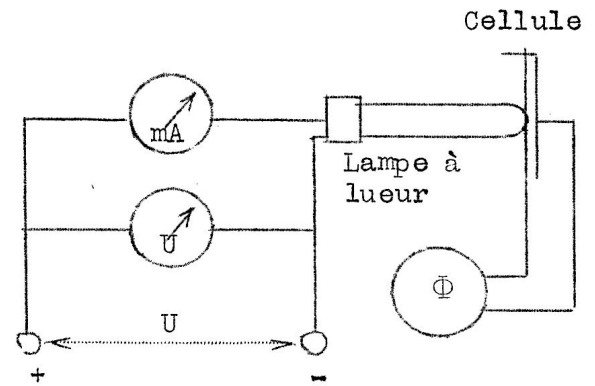


Fig. 39

L'examen simultané des deux caractéristiques permet de choisir le point de fonctionnement.

d) Cellule de Kerr - (basé sur le principe de la double réfraction électrique). Un corps transparent isolant placé dans un champ électrique uniforme devient biréfringent.

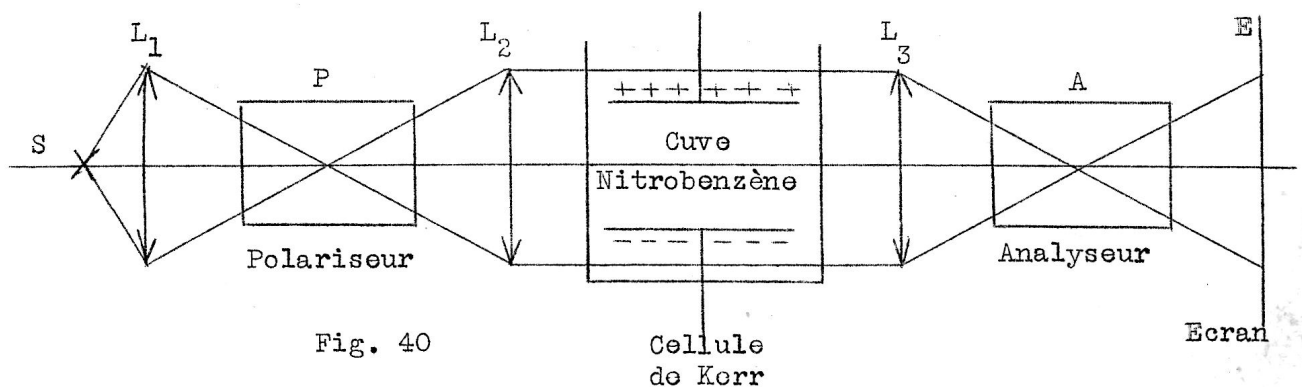
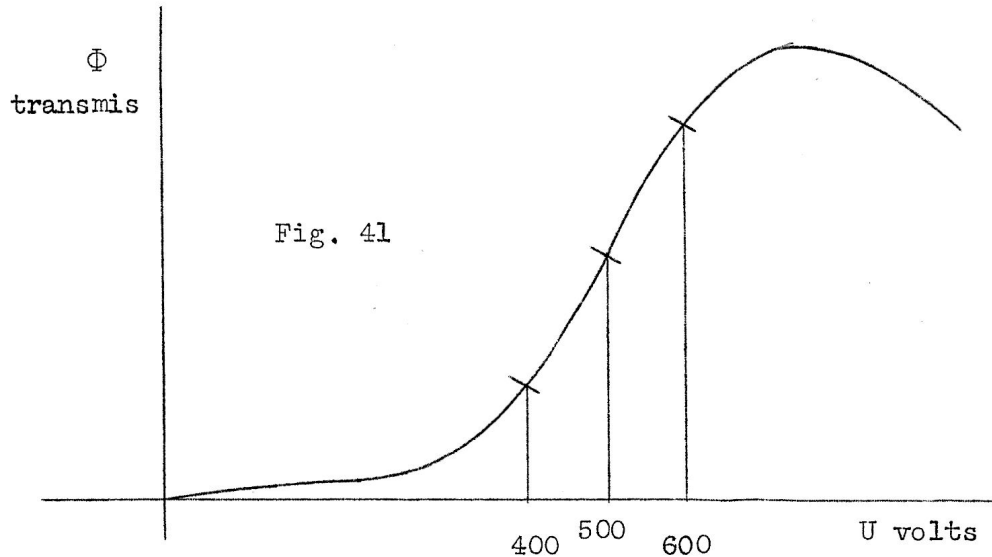


Fig. 40

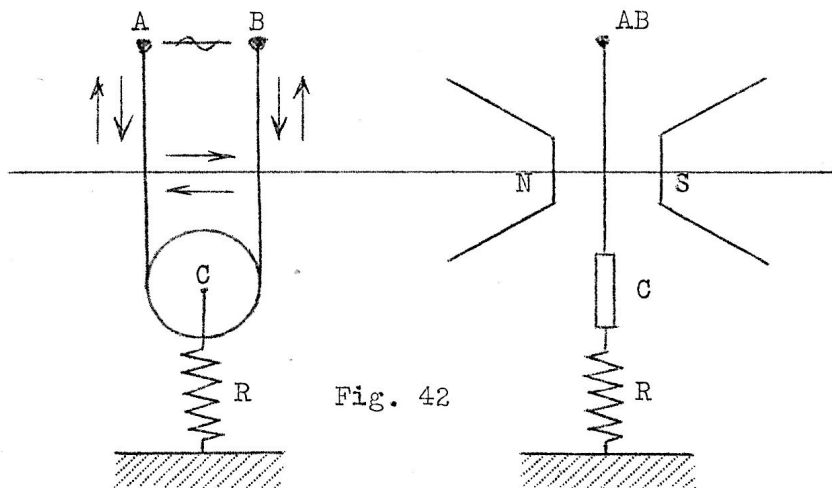
Quand le champ électrique est nul, on croise P et A de façon à produire l'obscurité sur l'écran.

La lumière reparait avec le champ électrique, un champ variable $\rightarrow$ lumière variable.



La caractéristique de transmission du flux Φ est rectiligne entre 400 et 600 volts - d'où choix du point de fonctionnement : 500 volts.

e) Valves à lumière (galvanomètre à corde).



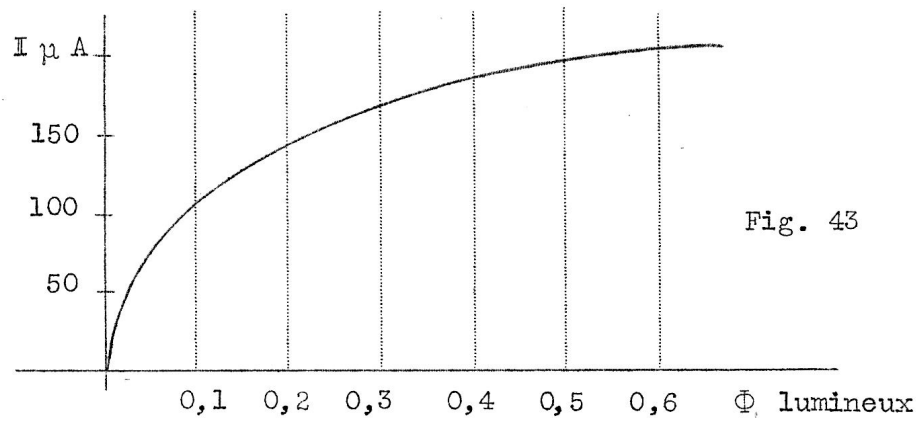
Le courant modulé circulant dans la boucle A B C détermine un écartement et un rapprochement des deux rubans AC et BC placés dans le champ magnétique NS.

2°) Récepteur : emploi des cellules photo-électriques

a) Cellules photo-conductrices - (Résistance fonction de l'éclairement).

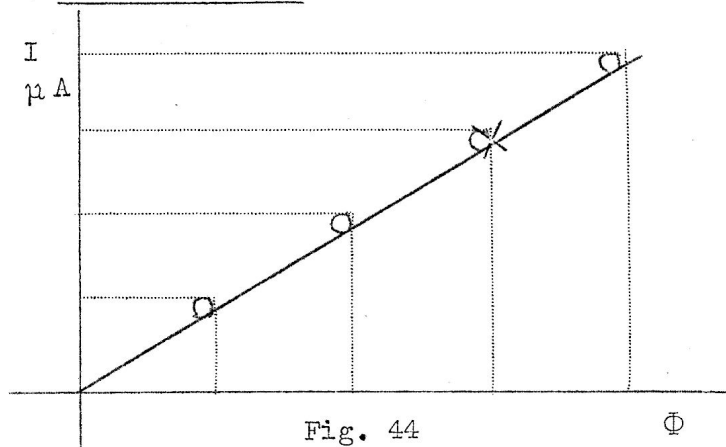
La lumière a pour effet de libérer des électrons - le courant photo-électrique est proportionnel à la racine carrée de l'éclairement (fig.43).

.....



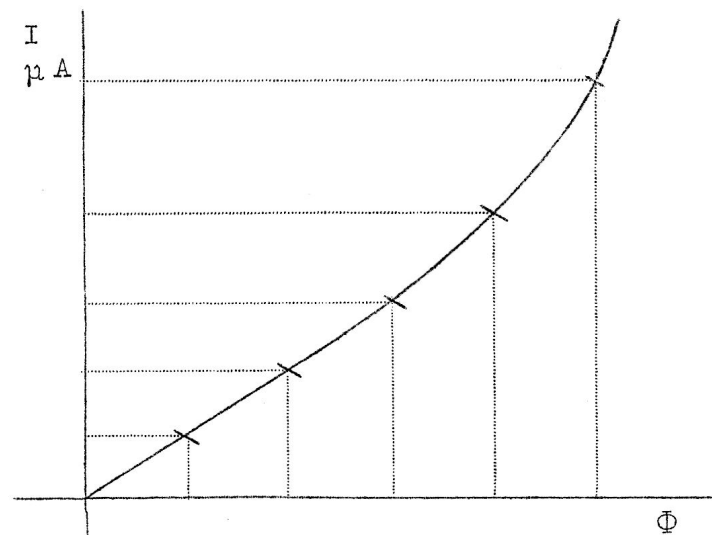
A part le sélénium, il existe de nombreux composés photo-conducteurs : sulfure d'antimoine, de bismuth, de molybdène, d'argent, de plomb.

b) Cellules à vide -



Le nombre d'électrons libérés est exactement proportionnel à l'intensité du flux lumineux (le courant photo-électrique est proportionnel au flux lumineux).

c) Cellules à gaz - Sensibilité plus grande que les cellules à vide, inconvénient : ionisation possible - courbe courant/flux lumineux.



Caractéristique dynamique :

Tandis que la cellule à vide suit les fluctuations de flux lumineux avec une très grande fidélité, la cellule à gaz a une sensibilité dynamique variable qui décroît lorsque la fréquence de la modulation augmente - (action secondaire des ions positifs).

d) Cellules photo-voltaïques - La lumière produit directement une f.e.m.

Les deux électrodes sont en contact et la lumière provoque le déplacement d'électrons d'une électrode dans l'autre.

Elles comprennent un métal et un corps semi-conducteur.

Doux types : Cellules à effet antérieur - cellules à effet postérieur.
(fig.46) (fig.47).

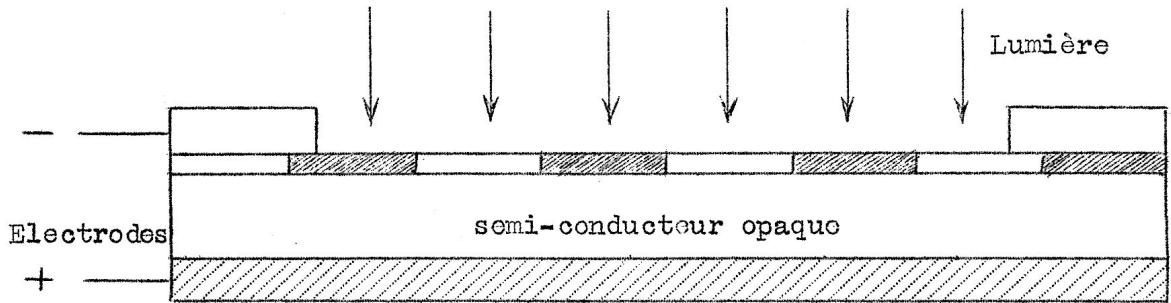


Fig.46 - Cellule à effet antérieur.

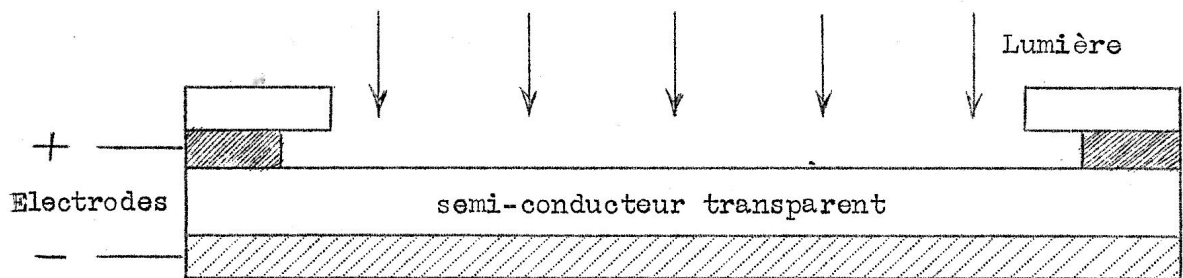


Fig.47 - Cellule à effet postérieur.

Ces types de cellules sont capables de fournir une certaine énergie photo-électrique. Exemple : cellule Chauvin-Arnoux de $26 \text{ cm}^2 \rightarrow 0,5 \text{ volt}$ en plein soleil aux bornes d'une résistance de 12 ohms ($I = 22 \text{ mA}$) soit 3 watts au mètre carré.

Huitième Leçon

TRANSMISSION OPTIQUE DES IMAGES

Sommaire :

Définition d'une image.

Lunette terrestre.

Périscopes à miroirs - Champ.

Dispositif de Foucault.

Périscopes à lentilles - limite de portée.

Chaîne de Foucault.

Solution par analyse et décomposition de l'image avec transmission optique.

Transmission électrique.

DEFINITION D'UNE IMAGE

Représentation d'un objet qui rappelle à l'œil l'impression ressentie à la vue de cet objet.

Le cinéma et la télévision s'efforcent de produire une impression pareille à celle qu'éprouve notre cerveau devant la scène enregistrée.

TRANSMISSION PAR LUNETTE TERRESTRE

La lunette terrestre est destinée à l'observation des objets terrestres éloignés, elle répond aux conditions suivantes :

- 1) Image droite :
 - a) utilisation d'un oculaire "terrestre" (microscope),
 - b) lunette à prismes.
- 2) Grossissement :

Jumelles de théâtre	: G = 1 à 2.
Lunette de campagne	: G = 10.
Lunette d'artillerie	: G = 30.
- 3) Luminosité : Objectif de grande surface et G faible.
- 4) Champ :

Champ angulaire	$\alpha = \frac{\alpha'}{\alpha}$	(oculaire de grand champ et G faible).
-----------------	-----------------------------------	--

Lunette de Galilée comprend un objectif convergent et un oculaire divergent.

Lunette à lentilles : Objectif identique à celui d'une lunette astronomique - oculaire : microscope de faible puissance.

Le microscope étant divergent, renverse l'image déjà renversée par l'objectif, d'où image définitive droite.

Lunette à prismes : lunette astronomique + prismes à réflexion totale retournant l'image.

Longue-vue monoculaire : Destinée à l'observation à grande distance - en changeant l'oculaire on réalise des grossissements, des clartés et des champs différents.

Dans le plan focal de l'oculaire, se trouve un micromètre dont chaque graduation a pour longueur 0,4 mm.

L'objectif ayant une focale de 400 mm, chaque graduation a pour longueur $\frac{1}{1.000}$ de la distance focale de l'objectif : la longue-vue monoculaire permet la mesure du diamètre apparent d'un objet éloigné.

Longue-vue binoculaire à prisme Appareil d'observation employé pour les moyennes et petites distances, c'est une jumelle dont les oculaires sont fixes, les deux objectifs peuvent pivoter autour des axes horizontaux des oculaires (possibilité d'effet stéréoscopique).

PERISCOPE Permet de voir sans être vu.

Le périscopie du sous-marin permet à l'équipage du navire immergé d'explorer l'horizon au-dessus de la surface des mers. (fig.48)

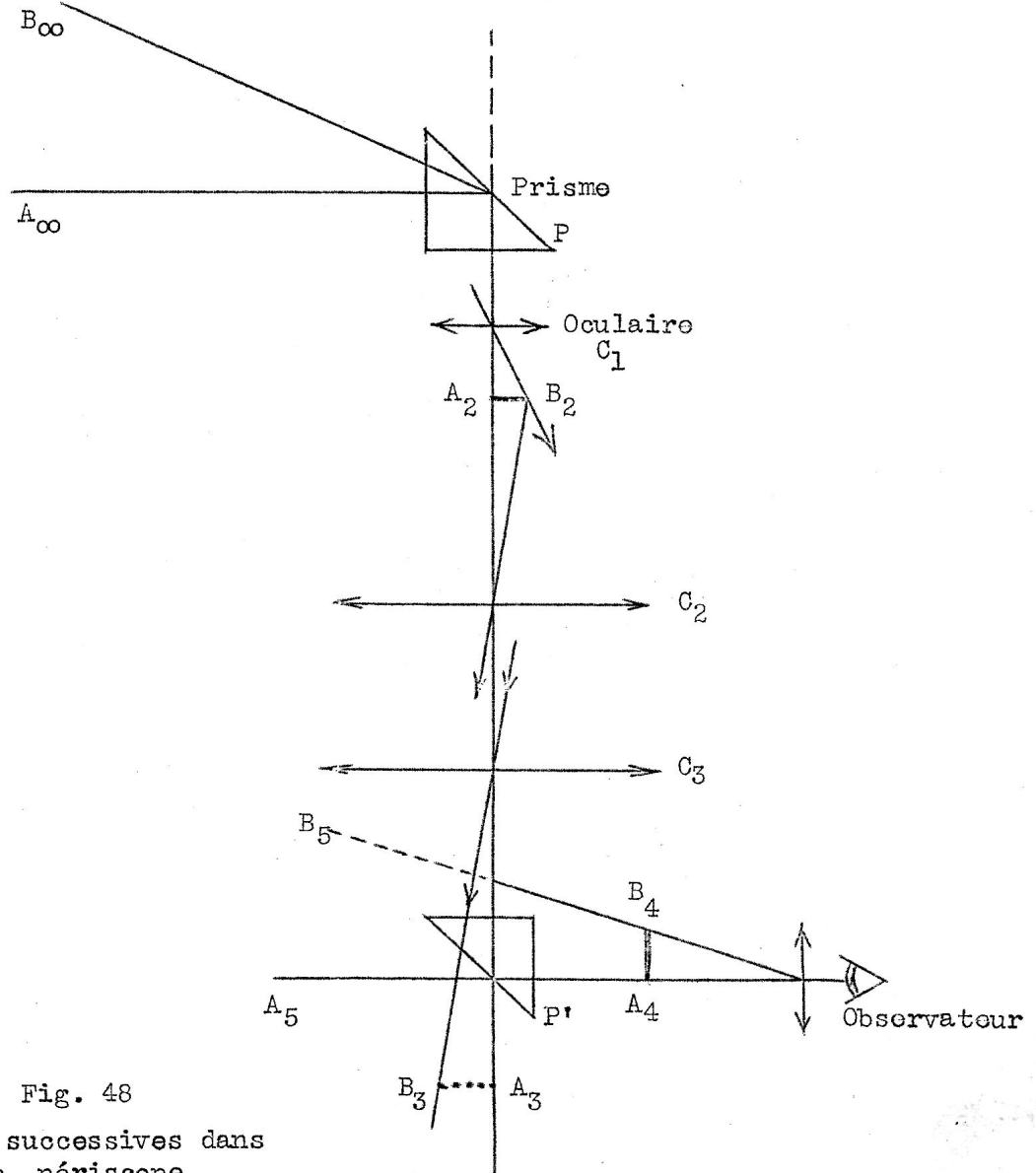


Fig. 48

Images successives dans
le périscopie

Périscopes à deux miroirs

L'oeil est placé en O , par rapport au miroir M_2 tout se passe comme si l'oeil était en O' (symétrique de O par rapport au plan du miroir).

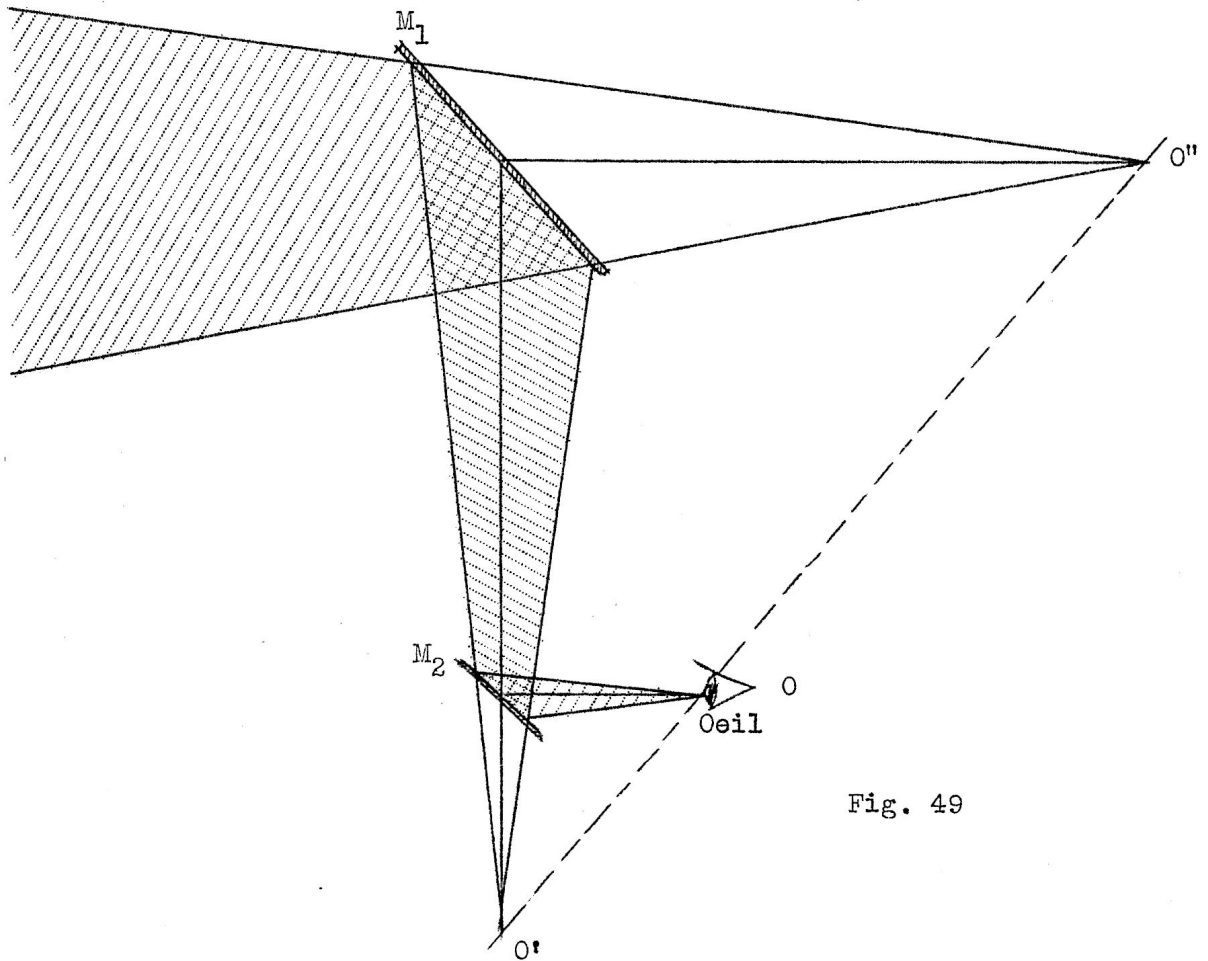


Fig. 49

De même pour M_1 , tout se passe comme si l'oeil était en O'' . En comparant les dimensions de M_1 et M_2 , on voit que les miroirs deviennent de plus en plus grands à mesure que le nombre de réflexions augmente.

CHAÎNE DE FOUCAULT

Une solution de la transmission des images à une assez grande distance a été imaginée par Foucault (mesure de la vitesse de la lumière).

L'image de l'objet se forme sur M' d'où la lumière est renvoyée sur M'' qui donne finalement une image en A sur M''' .

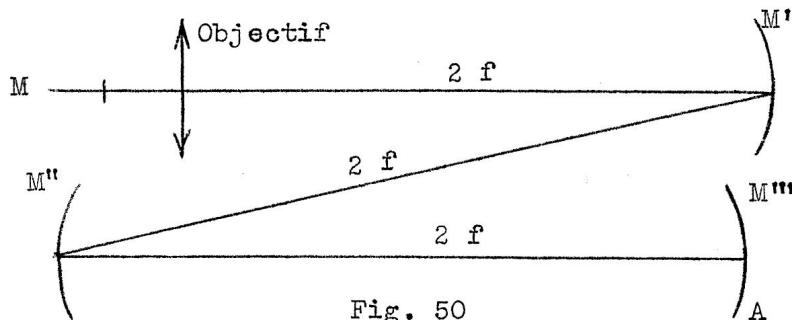


Fig. 50

Pas de perte de lumière, M'' donne de M' une image égale à ce miroir et couvrant exactement M''' .

On peut employer des lentilles.

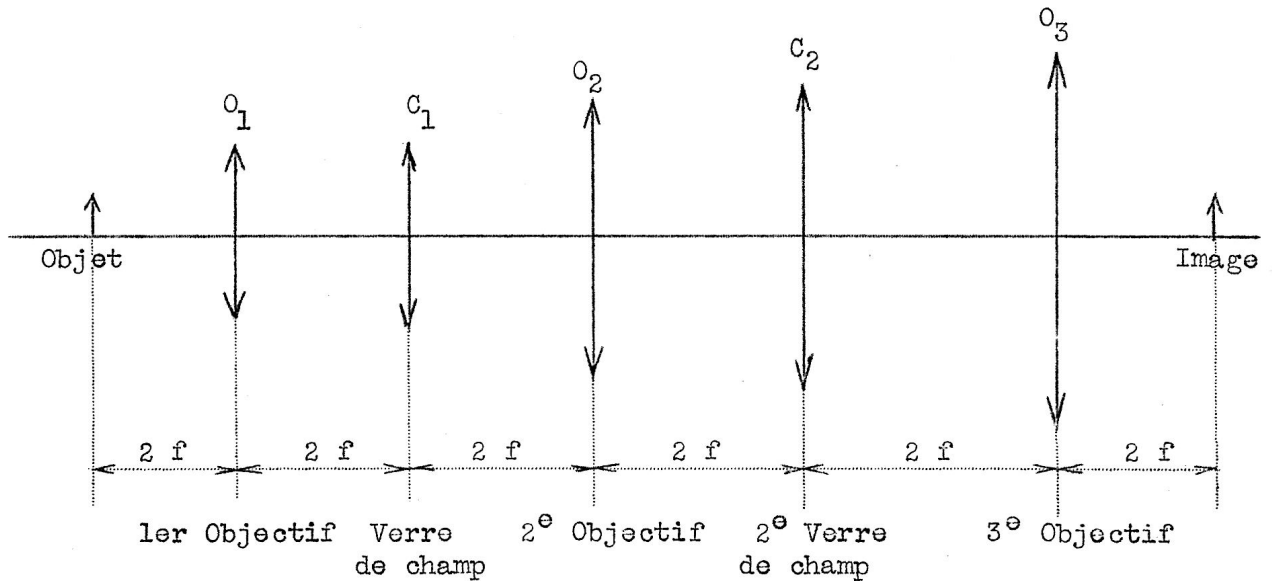


Fig. 51

Théoriquement on peut faire une chaîne aussi longue qu'on le désire. Avec des objectifs de 20 m de distance focale, on a une distance de 80 m d'un objectif à l'autre, avec 20 objectifs et 19 verres de champ on arriverait ainsi à une portée de 1.600 mètres.

Difficultés : réflexions multiples sur les verres rencontrés, grandes dimensions des lentilles.

On pourrait aller plus loin en employant des verres plus petits en ne transmettant que des morceaux d'image.

A la réception on juxtaposerait des morceaux d'images et non des points d'image comme le font la phototélégraphie et la télévision.

FORMATION DES IMAGES DANS LES INSTRUMENTS D'OPTIQUE

Les appareils d'optique fonctionnent en modifient la divergence des faisceaux lumineux, pratiquement, à la sortie d'un instrument d'optique, la lumière se concentre tangentielllement à certaines surfaces (caustiques) (fig.52).

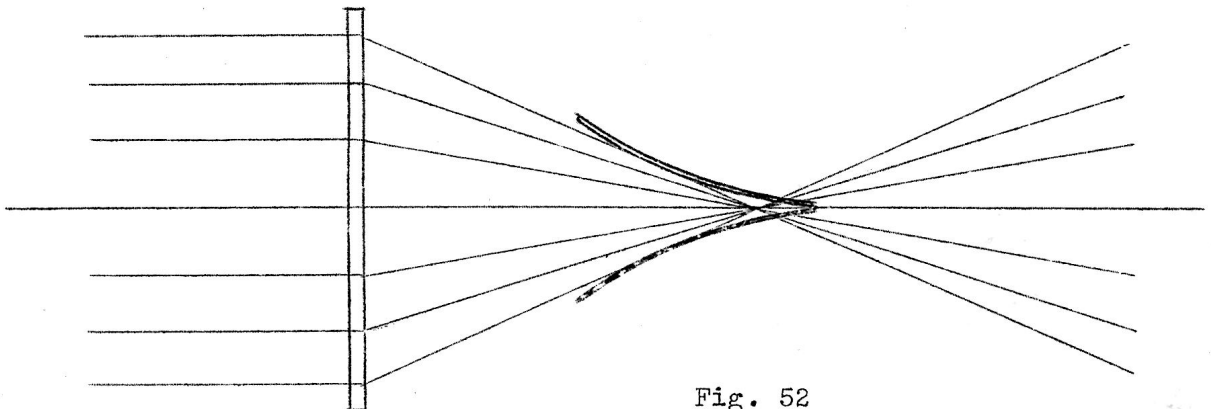


Fig. 52

IMAGE D'UNE SPHERE

Le point a donne une image en a'.
Le point b " " " " en b'.

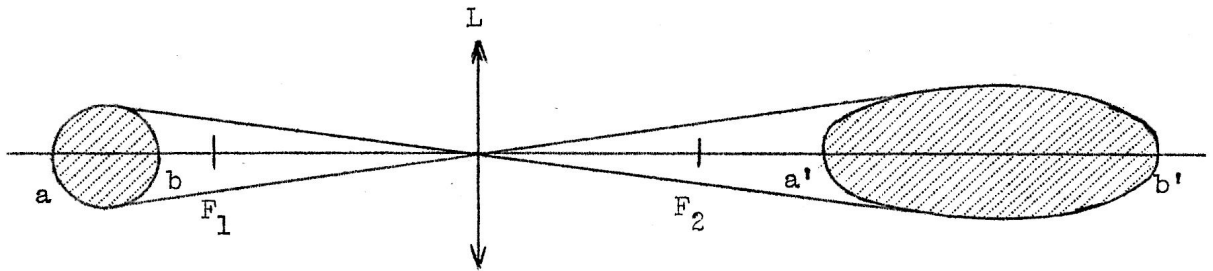


Fig. 53

Si l'objet est à une distance $n f$ du foyer, l'image est à une distance $\frac{1}{n} f$ de l'autre côté de l'autre foyer.

Par exemple : b est à une distance de $F_1 = \frac{1}{3} f$, b' sera à $3 f$ de F_2 , l'image sera déformée.

L'image d'un volume est un volume qui n'est pas semblable à l'objet.

Dans le cas où $n = 1$ $\frac{1}{n} = 1$, l'image et l'objet sont égaux.

Si l'objet est assez petit pour que l'on puisse considérer que tous ses points sont à une distance de la lentille, égale sensiblement à deux fois la distance focale, l'image donnée par la lentille est une reproduction perspective exacte de l'objet.

IMAGES RETINIENNES

Les images formées sur la rétine de l'oeil sont planes. Ce que nous voyons dans l'oeil n'est pas un volume, mais la perspective d'un volume.

L'oeil distingue les détails sous un angle de $\frac{1}{3000}$ (1 mm à 3 mètres).

EXPLORATION D'UNE IMAGE

La transmission d'une image se fait en décomposant l'image en lignes. Dans l'état actuel de la technique, il n'est pas possible de transmettre d'un seul coup l'ensemble d'une image.

Il est nécessaire de la décomposer en éléments qui sont transmis successivement et assemblés à la réception.

IRRADIATION

Une surface qui reçoit de la lumière n'est pas totalement absorbante.

Un point brillant est entouré d'un halo qui estompe les détails trop fins. (plaque photographique).

D'autre part l'image rétinienne n'a ni lignes géométriques, ni lignes démarquant les contours d'un objet.

Grâce au cerveau il n'est pas nécessaire de reproduire rigoureusement l'objet (exemple : dessin d'une sphère : cercle et quelques traits indiquant les ombres).

Autre exemple : traits croisés formant trame. En projetant une image obtenue de la sorte on s'aperçoit que l'image devient satisfaisante quand on diminue la netteté des grains de la trame.

PROCÉDÉS DU DESSIN

Pour reproduire une image, les dessinateurs se servent de burins, de plumes, de crayons, avec lesquels ils font des traits croisés. Les peintres utilisent des pinceaux qui tracent des points, des lignes ou des bandes plus ou moins fondues.

Un graveur et un peintre donnent une image simplifiée d'un objet en réduisant le nombre d'éléments reproduits par une photographie, l'épaisseur du burin ou du pinceau ne permettent pas de marquer les détails très fins, cette simplification n'est pas gênante étant donné l'éducation de l'oeil et du cerveau.

On peut donc se borner à ne transmettre que les éléments intéressants d'un objet.

EXPLORATION D'UNE IMAGE

La transmission d'une image se fait en décomposant l'image en lignes plus ou moins nombreuses.

Supposons une bande noire sur fond blanc éclairé, explorons de gauche à droite au moyen d'une ouverture O , découvrant une cellule photoélectrique.

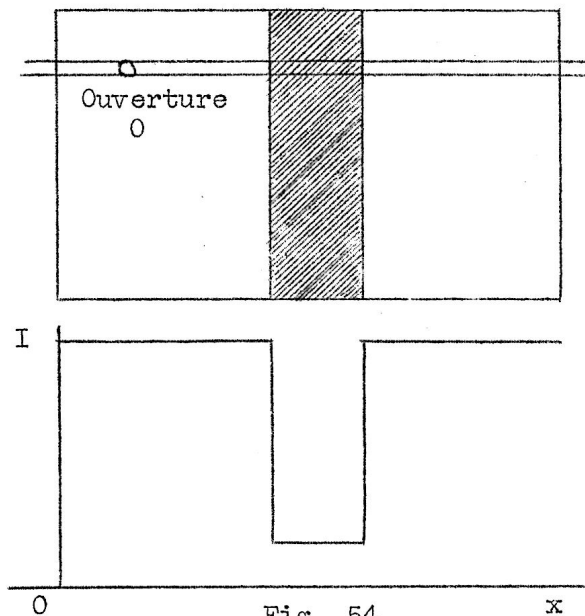


Fig. 54

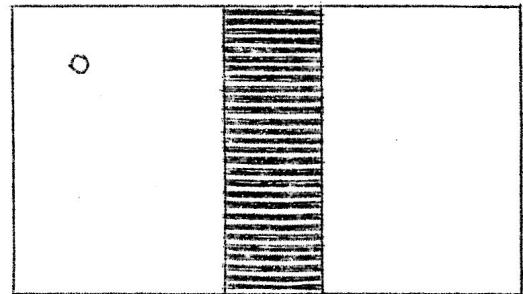


Fig. 55

Pendant le passage du trou O , la cellule photoélectrique donne un certain courant I quand le point est à gauche ou à droite de la bande.

Ce courant photoélectrique s'annule quand le point d'exploration se trouve dans la bande noire.

Le courant I ainsi produit peut moduler le courant d'une lampe située devant le récepteur et éclairer une ouverture analogue à la première, on reconstitue à l'arrivée une lumière proportionnelle à celle de l'image de départ.

En recommençant l'opération on obtient une seconde ligne et ainsi de suite.

Si l'ouverture O est très petite, on peut suivre tous les détails de l'image, la lampe modulée brillera plus ou moins suivant l'éclairage de chaque point d'image.

Pratiquement, un point n'existe pas, l'ouverture a des dimensions finies, le point se traduit par une tache, l'ensemble des taches donne une silhouette de la bande.

OUVERTURE DE DIMENSIONS FINIES

Cas d'une ouverture carrée (a) (fig.56).

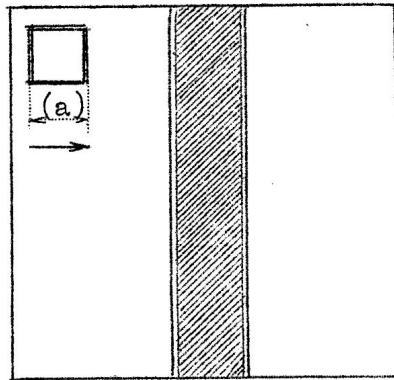


Fig. 56

Quand le bord droit de l'ouverture atteint la zone noire, la lumière baisse et diminue jusqu'à zéro, puis elle augmente progressivement jusqu'au moment où la partie gauche de l'ouverture est sortie de la zone noire, il en résulte une partie sombre entourée d'un flou de largeur a.

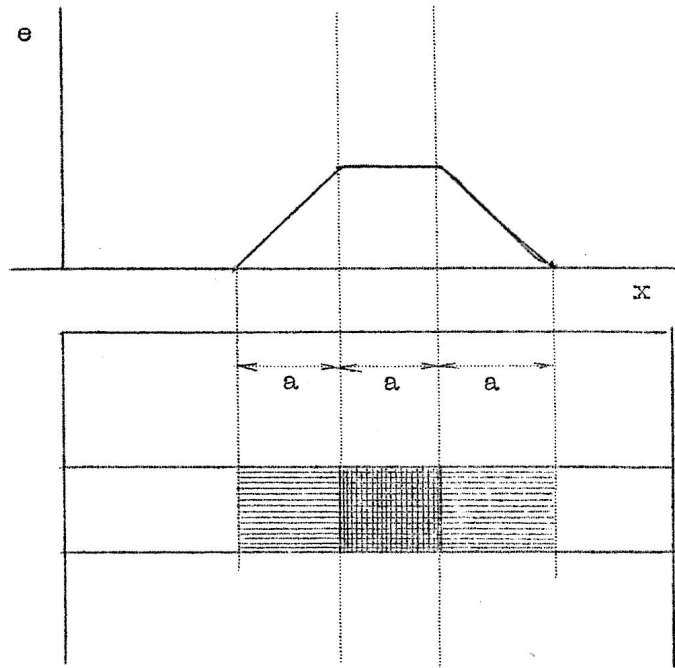


Fig. 57

CAS D'UNE BANDE OBLIQUE

(fig.58 page suivante).

La forme du trou a une certaine importance, on prend généralement un trou rond facile à réaliser, l'idéal serait un trou hexagonal qui donnerait partout la même répartition de lumière (difficultés pour la réalisation de petits trous).

Dans la pratique, principalement en télévision, on remplace les lignes qui se suivent par des lignes entrelacées pour ne pas grouper les erreurs possibles sur une seule zone de l'image.

.....

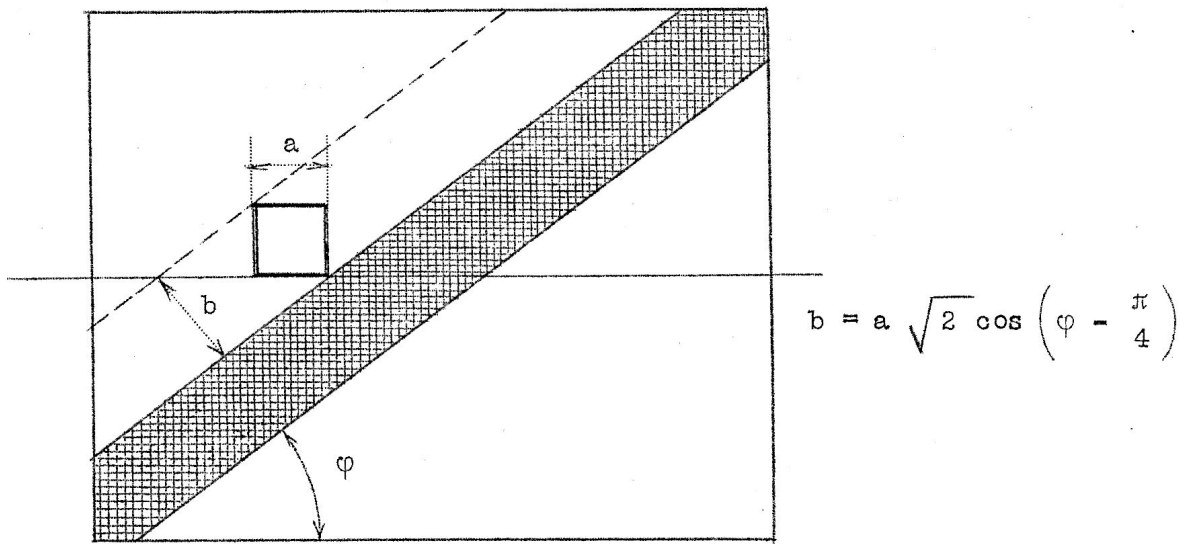


Fig. 58

Neuvième Leçon

ANALYSE ET SYNTHESE D'UNE IMAGE (Suite)

Sommaire :

Eléments caractéristiques d'un objet.
Simplifications nécessaires.
Transmission télégraphique des images.
Dispositif de Blackwell.
Synchronisation.
Télégraphe Bain.
Télégraphe Bonelli.
Pantélégraphe Caselli - transmission de l'écriture et du dessin.
Tops de synchronisation.

TRANSMISSION D'UN SON

Son : émission $P = f(t)$.

ET D'UNE IMAGE ———

Image : infinité de points ayant des éclaircissements différents. Une image complète est caractérisée par son relief, la couleur en chaque point et l'éclairement (variables avec le temps). Nécessité de faire des simplifications.

- 1) Ramener l'image à sa projection sur un plan.
- 2) Approximation trichrome : 3 couleurs : vert, bleu, rouge.

$$\text{Flux } \Phi = \varphi_V + \varphi_R + \varphi_B + \varphi_E(\text{blanc}).$$

3) Synchronisation du départ et de l'arrivée. Il suffit d'envoyer les valeurs successives de E , ce qui conduit à décomposer l'image en une série de bandes parallèles et à faire défiler chaque bande devant un photomètre.

Analogie avec la transmission du son : une seule variable :
 $E = f(t)$ (fig.59-60).

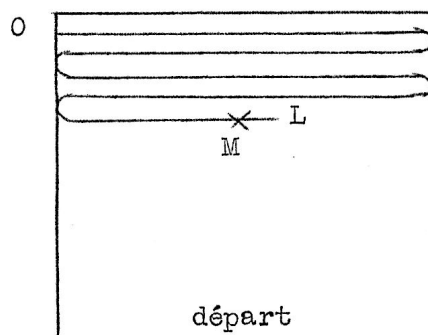


Fig. 59

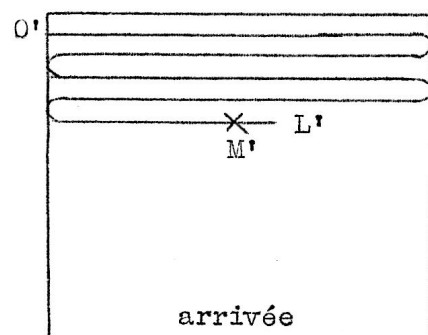


Fig. 60

C'est vers 1850 que furent tentés les premiers essais de transmission de l'écriture.

DISPOSITIF BLACKWELL

Départ : Style relié à une ligne, encre isolante, émission ou coupure de courant.

Réception : Inscription électrochimique (fig.61).

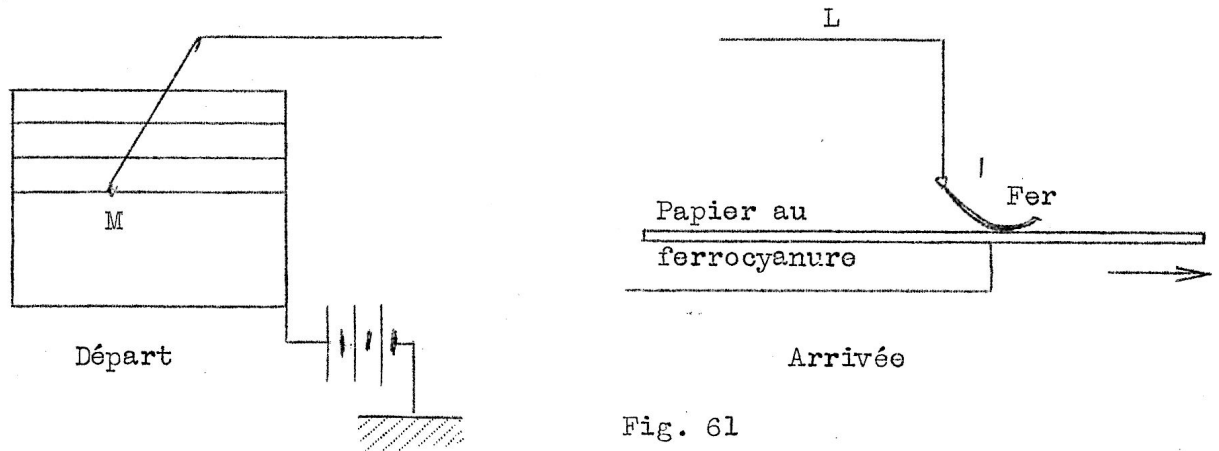


Fig. 61
Dispositif Blackwell

Difficultés : Synchronisme entre les mouvements des styles de départ et d'arrivée. Blackwell utilisait des mouvements d'horlogerie mais la précision n'est pas suffisante.

PRECISION DU SYNCHRONISME

Dépêche de 10 x 10 cm.

Style traçant 4 traits parallèles par mm.

Longueur totale sur laquelle le mouvement d'horlogerie entraîne le stylet : 40 mètres.

Pour un écart admissible de 1 mm : précision $\frac{1}{40.000}$ et même $\frac{1}{80.000}$ si on compte le retour.

Si le tracé du trait se fait en 1 seconde, la précision du mouvement d'horlogerie doit être de $\frac{1}{80.000} \sim 1$ seconde par jour.

SYSTEME BONELLI

Destiné à transmettre les dépêches composées en caractères d'imprimerie. (fig.62)

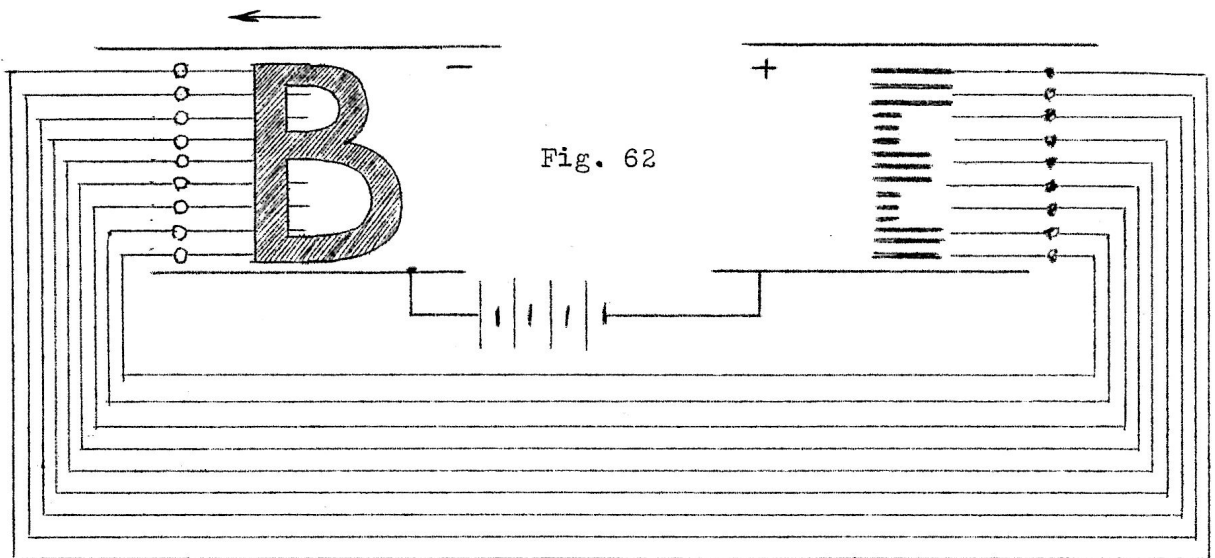
Départ : Série de frotteurs reliés chacun à une ligne, l'ensemble forme un poigne.

Arrivée : Système analogue.

Quand les frotteurs de l'émetteur rencontrent un relief il y a contact, les frotteurs de l'arrivée marquent sur le papier au ferro-prussiate des lignes de longueur correspondant à celles décrites par les frotteurs de l'émetteur. Le synchronisme n'est pas nécessaire.

Ce dispositif est utilisé de nos jours (enseignes lumineuses).

.....



APPAREIL CASELLI

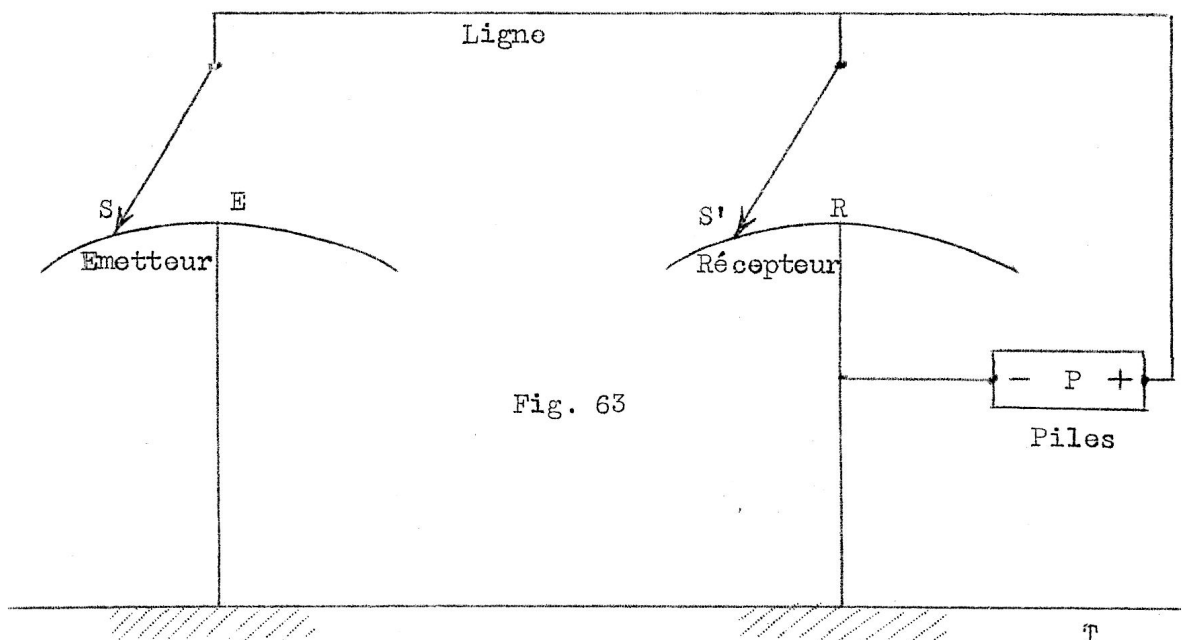
Le pantélégraphe Caselli construit en 1856 a permis une première transmission correcte des images.

Nous avons vu que l'emploi de mouvements d'horlogerie pour assurer le synchronisme exige une très grande précision (1/100.000).

La solution de Caselli ne suppose aucune précision dans le mouvement des horloges, il suffit d'une exactitude de l'ordre du 1/100e.

PRINCIPE DU PANTELEGRAPHE

E et R sont deux plaques métalliques reliées au sol sur E, on dispose une feuille de papier d'étain sur laquelle la dépêche est écrite en encre isolante. SS' sont deux styles en relation avec les piles P et le fil de ligne.

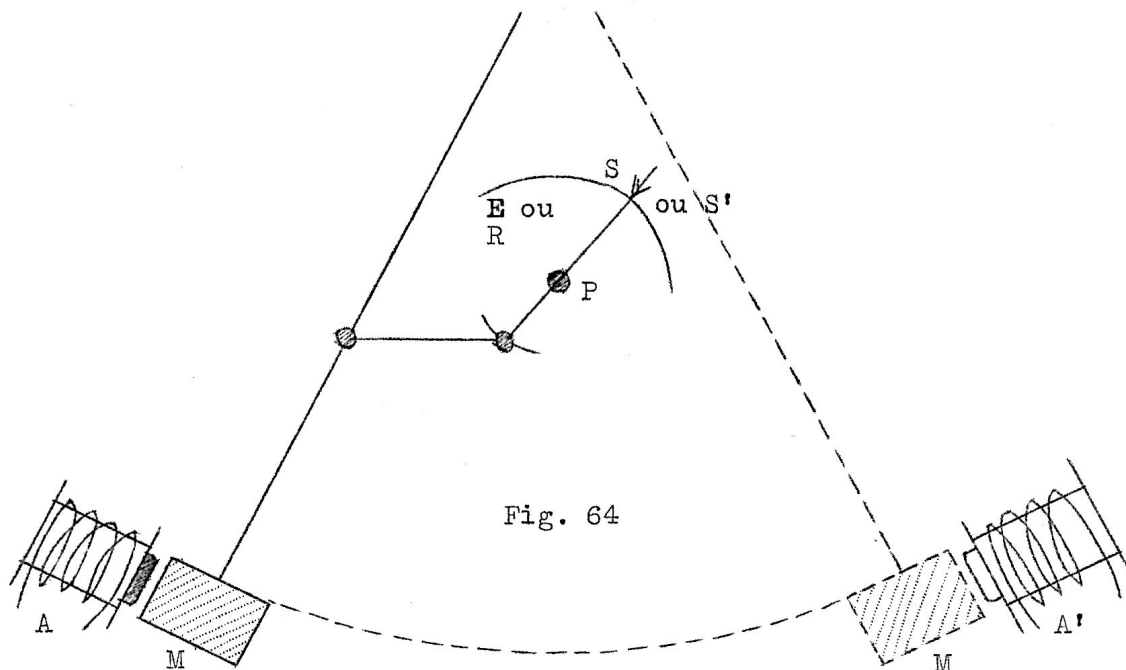


Les styles S et S' se meuvent en synchronisme en décrivant avec la même vitesse des lignes parallèles, rapprochées. Un autre mouvement déplace S et S' de façon à balayer toute la surface de E et de R.

Sur récepteur R on dispose une feuille de papier imprégnée de ferrocyanure de potassium, S' est un style en fer.

Quand le style S se trouve sur la partie conductrice de la dépêche, les piles P sont en court-circuit, au contraire quand S se trouve sur une partie isolante, le courant est lancé dans la ligne, S' marque un trait bleu sur la feuille de papier.

Les styles S et S' sont actionnés par les mouvements de deux pendules (fig.64).



Longueur de chaque pendule : 2 mètres - Masse M : 8 Kg.

Durée d'une oscillation complète : 2,8 s.

Chaque pendule est relié par une bielle au mécanisme commandant l'exploration (levier mobile autour de P).

TOPS DE SYNCHRONISATION

On intercale sur la ligne une horloge munie d'un interrupteur permettant de couper ou d'établir un courant électrique.

Le style ferme un contact établissant le courant dans l'électro-aimant A, par exemple, le pendule reste bloqué en fin de course, l'horloge coupe le contact et commande ainsi le départ du pendule (tops on fin de ligne).

La durée de la 1/2 oscillation des grands pendules doit être un peu plus courte que la durée de l'oscillation complète de l'horloge de contrôle. (Le balancier de l'horloge de contrôle a 1/2 mètre de longueur environ).

La ligne reçoit de l'horloge une impulsion qui dure un court instant, puis le courant est successivement établi et coupé suivant que le style rencontre une partie isolante ou conductrice.

Chaque ligne balayée est encadrée par deux tops de synchronisation, entre ces tops, les signaux d'image de même intensité (transmission on tout ou rien) (fig.65).

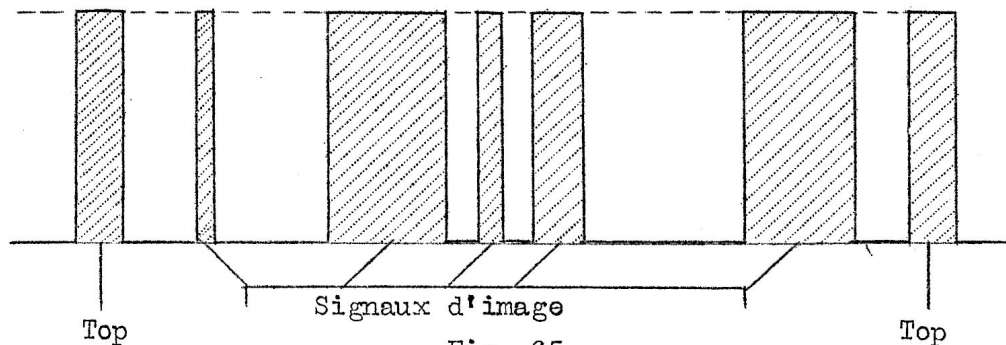


Fig. 65

Le pendule fait $\frac{60}{1.4} = 44$ oscillations par minute.

Il y a trois traits au millimètre.

Cet appareil a fonctionné en 1860 sur la ligne Paris-Lyon, la transmission d'une dépêche de 11 x 26 cm demandait 15 minutes.

Le dispositif électro-chimique présente certains inconvénients, le papier est humide et exige une préparation, le style traceur s'use très vite.

On obtient du bleu avec un style en fer, du rouge avec un style en cuivre, du noir avec un style en plomb.

PAPIER à ETINCELAGE

Western-Union a créé vers 1938 un papier à base de charbon métallisé avec sous-couche aluminée et une couche superficielle isolante formée par un sel de plomb.

Le passage d'un courant électrique, continu ou alternatif, de tension convenable, détruit la couche superficielle et fait apparaître le fond noir.

ENREGISTREMENT PAR GRATAGE

Se fait avec un papier spécial coloré, recouvert d'une couche de paraffine, l'organe reproducteur porte une lame vibrante qui gratte la surface blanche de la paraffine et fait apparaître la sous-couche colorée. L'épreuve obtenue est fragile.

MODULATION PAR LE RELIEF

(Papier gaufré sur lequel un dispositif se soulève en établissant un contact).

TRANSMISSION DES DEMI-TEINTES

La transmission des demi-teintes pourrait se faire au moyen de traits croisés (hachures des dessinateurs).

L'exploration par cellule photo-électrique et la restitution par photographie permet de résoudre le problème.

Dans l'état actuel de la technique, il n'est pas possible de transmettre l'ensemble d'une image en une seule opération : il faut la décomposer en un grand nombre d'éléments qui sont transmis successivement et assemblés à la réception.

On a donc successivement :

- Décomposition et exploration.
- Transformation de la lumière en courant électrique.
- Modulation de la lumière par un courant variable.

Les dimensions du diaphragme déterminent, compte-tenu du grossissement de l'objectif, la grandeur du point d'exploration.

Le cylindre est animé d'un mouvement de rotation autour de son axe et d'un mouvement de translation suivant son axe (mouvement hélicoïdal). Tous les points du document viennent défiler devant le dispositif explorateur.

3) Le courant photo-électrique amplifié est transmis soit par ligne soit par ondes hertziennes. Les signaux électriques ainsi transmis sont constitués par un courant à fréquence musicale d'intensité variable dont l'amplitude est maximum pour un blanc et minimum pour un noir (modulation d'amplitude).

La tension normale pour un circuit de 600 Ω est de l'ordre du niveau zéro (1 mW - 0,775 V).

Les signaux reçus à l'arrivée sont amplifiés et redressés, puis envoyés dans une lampe à lueur ou dans un oscillographe bifilaire.

Le cylindre de réception a les mêmes dimensions que le cylindre émetteur, il est animé du même mouvement hélicoïdal.

Les points d'image transmis se placent dans le même ordre que les points émis.

- 4) Synchronisation
- a) Synchronisation locale - par horloge, par diapason ou par quartz.
 - b) Synchronisation transmise - une ligne télégraphique envoie à chacune des stations émettrice et réceptrice, un courant qui actionne simultanément les dispositifs explorateurs.
 - c) Synchronisation corrigée par tops espacés. Solution mixte utilisant au départ comme à l'arrivée des mécanismes d'horlogerie à peu près synchrones sans grande précision, mais remis à l'heure très fréquemment. (Solution Caselli - Belin).

Le système Caselli emploie deux pendules ayant une période un peu plus courte que le dispositif synchroniseur.

Belin utilise deux moteurs rotatifs, au bout d'une période, le moteur à synchroniser, un peu en avance sur la vitesse moyenne, est bloqué par un dispositif d'arrêt (électroaimant ou frein électromagnétique).

Le synchroniseur coupe le courant de blocage, le cylindre du récepteur de Belin est alors embrayé électriquement sur l'arbre du moteur.

L'explorateur à la réception est ainsi mis en route, départ arrêté, au début de chaque ligne d'exploration, au moment précis où l'explorateur à l'émission commence sa course.

Il suffit que le mouvement du moteur récepteur ne soit pas trop irrégulier pour que les lignes d'exploration à la réception aient sensiblement toutes la même longueur.

- 5) Mise en phase
- Une transmission correcte exige la coïncidence de phase entre les mouvements synchrones de l'émetteur et du récepteur.

Cette coïncidence se ramène à la simultanéité de passage des barrettes de fixation des documents. Le cylindre émetteur envoie à chaque révolution de son cylindre un top qui coïncide avec le passage de la barrette devant le dispositif explorateur, ce signal est utilisé par le récepteur pour actionner l'électroaimant d'embrayage du cylindre.

Dixième Leçon

ANALYSE ET SYNTHESE D'UNE IMAGE (Suite)

Sommaire :

Emission - Cellules photoélectriques - Lumière ruptée - Fréquence de rupture - Amplification.

Propagation d'une perturbation brusque dans un circuit - Retard de propagation.

Durée d'établissement du courant.

Distorsion de phase des câbles.

Réception - Inscription photographique - Valve à lumière - Cellule de Kerr - Oscillographe - Lampe à lueur - Inversion de l'image - Réception électrochimique.

Synchronisation et mise en phase.

Précision du synchronisme - Horloges - Diapasons à Quartz - Moteurs synchrones.

Normes.

Circuits utilisés.

Modulation - Modulation d'amplitude.
Modulation de fréquence.

Convertisseurs de modulation.

Appareils à grande vitesse.

E M I S S I O N

Cellules photoélectriques

La phototélégraphie utilise généralement des cellules à gaz.

Leur inertie, due en partie, aux phénomènes d'ionisation dépend du gaz de remplissage et n'est pas gênante pour cet emploi.

Montage des Cellules

(Cas du flux lumineux rupté).

Le couplage non conducteur d'une cellule et d'un tube amplificateur peut se faire.

1°) La cellule débite dans une résistance R, la tension alternative existant entre les extrémités de R est transmise à l'espace filament-grille par un condensateur C. (fig.67, page suivante).

.....

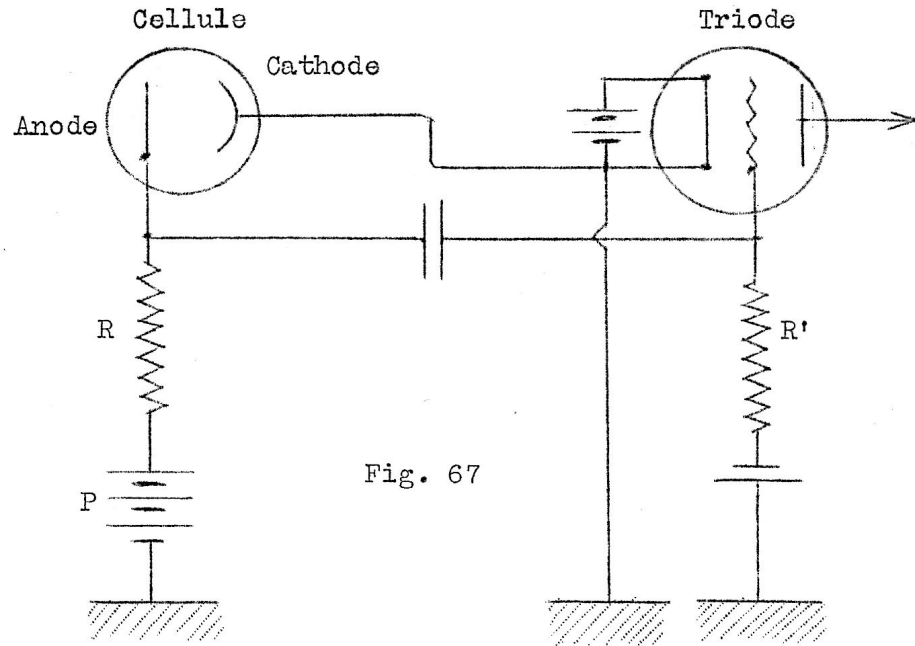


Fig. 67

2°) Au moyen d'un transformateur, la cellule débite dans le primaire, le secondaire forme le circuit de grillo de la triode.

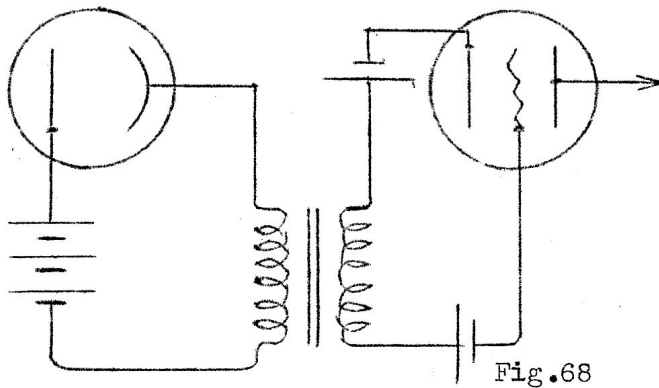


Fig. 68

Difficulté : Impédance primaire du transformateur adapté à l'impédance de la cellule.

Emploi de la lumière ruptée

Les montages précédents sont valables grâce à la modulation du faisceau lumineux d'exploration (emploi d'un disque à trous).

Le courant correspondant à une teinte uniforme est modulé à la fréquence de rupture f_r .

Les amplificateurs ont des bandes passantes $f_r - f_o$ et $f_r + f_o$.

Largeur de la bande passante : $\Delta f = 2 f_o$.

Durée d'établissement du courant : $T = \frac{1}{\Delta f}$

(tache d'exploration infiniment petite).

On a intérêt à choisir une largeur de tâche telle que sa durée de passage $\theta = \frac{1}{\Delta f}$

d'où durée d'établissement du courant :

$$T = \frac{2}{\Delta f}$$

Largeur de la zone estompée

L'estompage est dû à deux causes :

a) Un certain temps est nécessaire pour faire défiler la tache devant un point de l'image, le courant de cellule s'établit progressivement.

b) la ligne téléphonique ne laisse le courant s'établir qu'au bout d'un certain temps T.

Si la tâche d'exploration est petite θ est petit :

$T > \theta$ la tâche est allongée.

Si ε représente la dimension de la tâche :

$$\theta = \frac{\varepsilon}{V} \text{ exemple : } V = 40 \text{ cm/seconde, } \varepsilon = 1 \text{ mm}$$

$$\theta = \frac{1}{400} \text{ seconde.}$$

Si T devient négligeable $T < \theta$ l'estompage devient négligeable.

On cherche à équilibrer le flou dû à l'image et celui dû à l'établissement du courant.

Pratiquement on fait $T = 2 \theta$.

Distorsion de phase sur les câbles

f.e.m. $\rightarrow E \sin \omega t$ à l'entrée d'un câble, on recueille à la sortie un courant sinusoïdal mais décalé

$$I \cdot \sin \omega (t - t_0).$$

Si la distance est grande, les différentes fréquences n'arrivent pas en même temps.

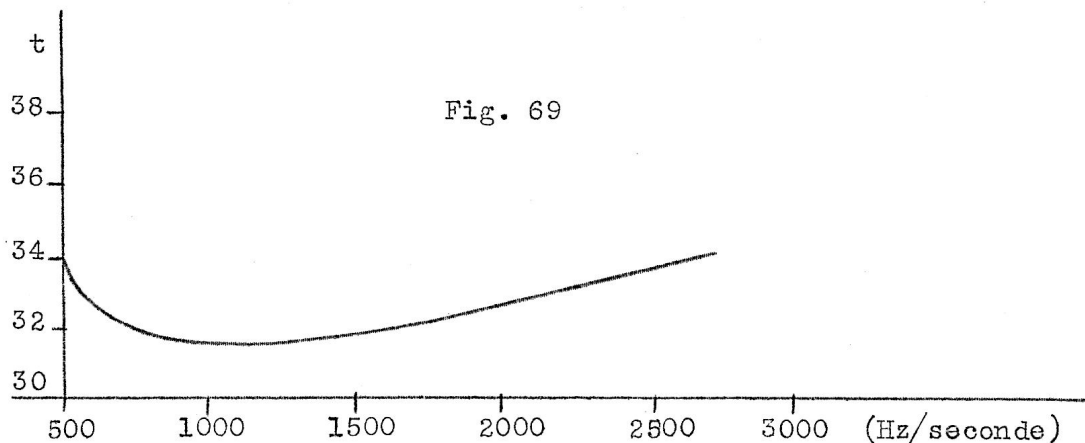


Fig.69 - Durée de propagation sur un câble souterrain
(Microsecondes par Km).

On trouve, par exemple, pour une ligne de 2.000 Km un retard d'une période pour $f = 1.000 \text{ Hz}$ et $1/2$ période pour $f = 500 \text{ Hz}$.

Si S est la surface transmise en dm^2 par minute :

$$S = 0,0054 \frac{f_r \text{ (Hz/s)}}{v^2 \text{ (lignes/mm)}}$$

Vitesse de transmission d'un
texte en mots par minute —

Soit m le nombre de mots contenus dans
une surface de 1 dm^2 .

Ce nombre est inversement proportionnel
au carré de la dimension λ d'une lettre:

$$m = \frac{K}{\lambda^2} \quad (K = \text{constante}).$$

Le nombre de mots transmis par minute :

$$V \times m = 0,054 \cdot K \left(\frac{\varepsilon}{\lambda} \right)^2 \text{ fr (1).}$$

Le rapport $\frac{\varepsilon}{\lambda}$ a une limite au-delà de laquelle les lettres sont il-
lisibles, si dans la relation (1) on remplace $\frac{\varepsilon}{\lambda}$ par la valeur maxima
tolérable, on obtient la vitesse maxima de transmission en mots par mi-
nute.

Exemple : 220 mots/minute pour $f_r = 1.300 \text{ Hz}$.

RECEPTION —
Inscription photographique

1) Valve à lumière - Même dispositif que
pour l'enregistre-
ment des films sonores photographiques.

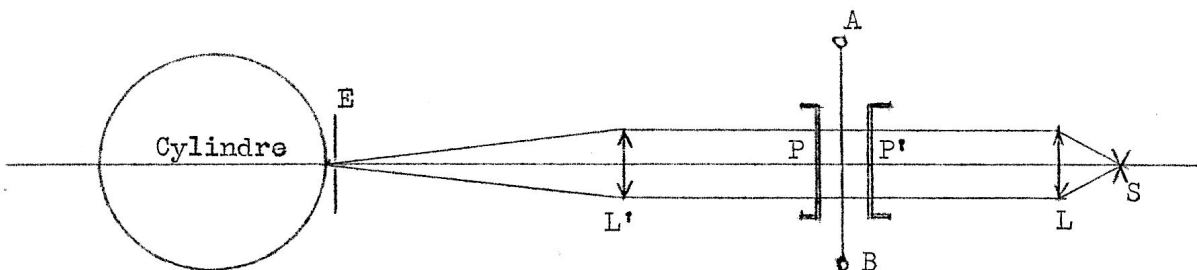


Fig.70 - Galvanomètre à corde système Korn.

Un fil très fin AB tendu entre deux masses polaires P et P' se dé-
place perpendiculairement au plan de la figure, quand il est parcouru
par le courant d'images (amplifié et redressé). Une source S et les len-
tilles L et L' projettent l'ombre agrandie de AB sur un écran E percé
d'une fente étroite.

Quand le courant d'image est nul, l'ombre du fil couvre la fente,
le passage du courant dans AB découvre la fente, le papier photographi-
que est impressionné. On obtient ainsi un trait noir de largeur variable
mais de densité constante.

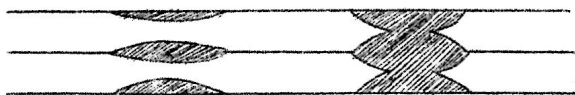


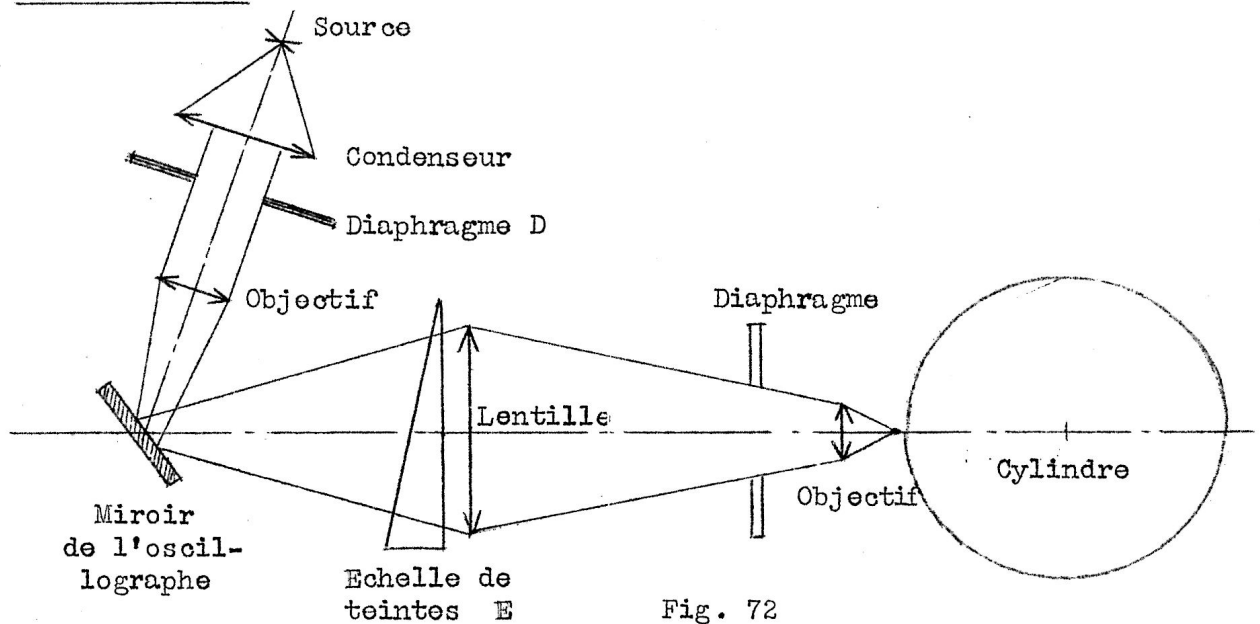
Fig. 71

Ce procédé permet une re-
production typographique
directe, sans emploi de tra-
mes intermédiaires, mais il
ne se prête pas à l'agran-
dissement photographique
(fig.71).

.....

Valve à lumière à commande électromécanique.

Système Belin.



Gamme de teintes :

Quand le miroir de l'oscillographe oscille l'image nette de D recouvre ou découvre l'échelle de teintes.

On obtient sur le papier une bande de largeur constante et d'intensité variable.

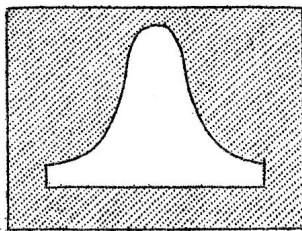


Fig.73



Fig. 74 - Belin

Ce procédé permet l'agrandissement photographique. Elles sont à teintes fondues comme une photographie ordinaire (utilisation d'une trame pour la photogravure (fig.74)).

Cellule de Kerr (procédé Karolus) La cellule de Kerr comprend un condensateur à diélectrique liquide entre les lames duquel on fait passer un faisceau lumineux. Le condensateur est placé dans une cuve à nitrobenzène entre deux nicols croisés à l'extinction.

Quand un champ électrique est appliqué, la lumière reparait. (fig.75)

Si H désigne le champ électrique appliqué, l la longueur parcourue dans ce champ, K = constante de Kerr (18×10^{-5} pour la nitrobenzène).

La différence de phase φ introduite par le condensateur :

$$\varphi = K H^2 l.$$

L'isolement du liquide a une grande importance pour éviter les pertes par effet Joule.

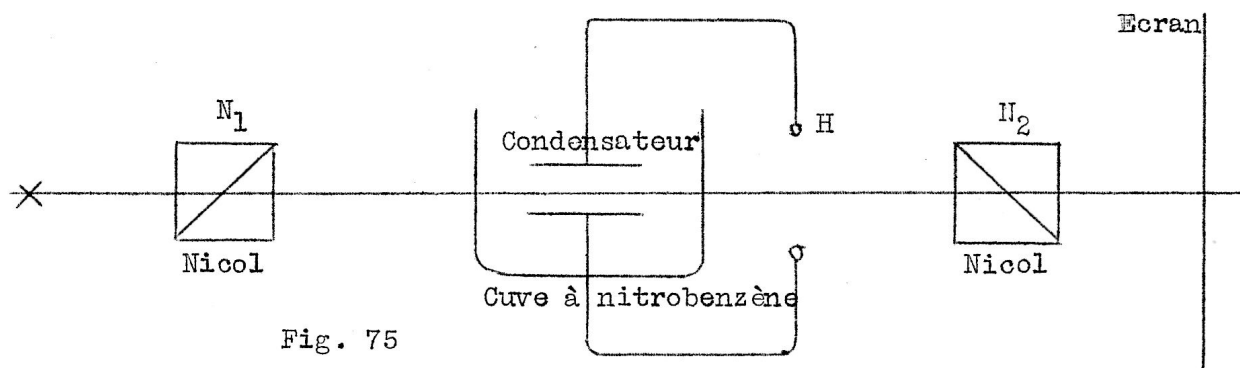


Fig. 75

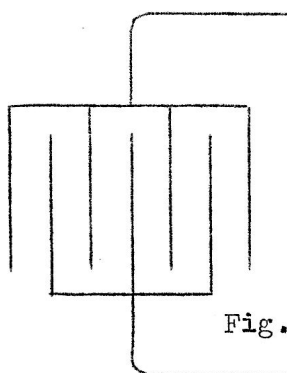


Fig. 76

L'inertie de la cellule de Korr est négligeable.

La disposition pratique est obtenue en disposant la cellule comme un condensateur à plusieurs lames. (fig. 76).

Variation du flux lumineux en fonction du champ

L'accroissement du champ électrique donne lieu à une série de maxima et de zéro du flux Φ .

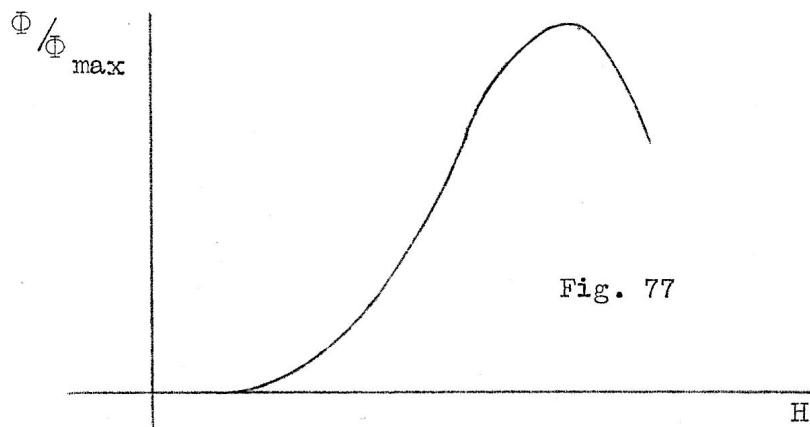


Fig. 77

Montage de la cellule :

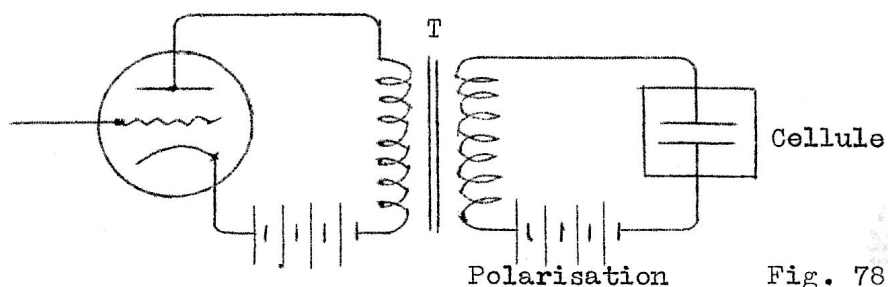


Fig. 78

Lampe à lueur

Modèle spécial de tube à gaz raréfié. La cathode creuse présente une brillance variable suivant l'intensité du courant de décharge.

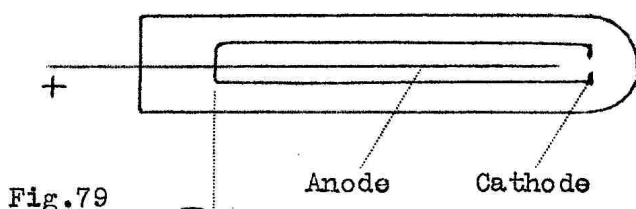


Fig. 79

C'est la brillance de la lampe qui détermine le noircissement de l'émulsion photographique.

Inversion de l'image

On peut obtenir des documents positifs ou négatifs à volonté en employant deux cellules à l'émission.

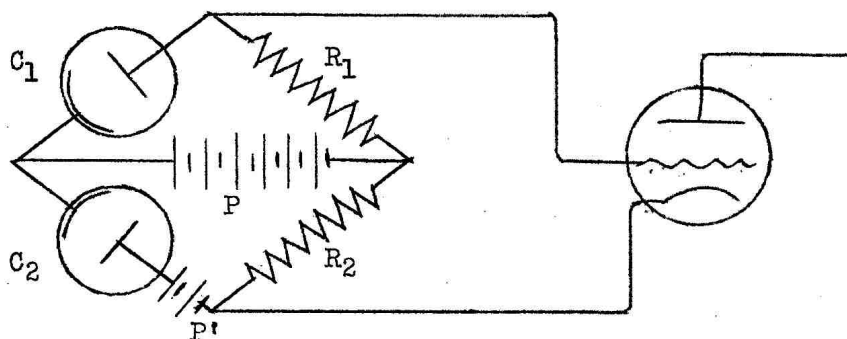


Fig. 80

L'une d'elles reçoit les variations de lumière provenant du document, la seconde, dite de compensation, est éclairée par la même lumière réfléchie, un diaphragme permet de faire varier le flux lumineux, les deux cellules montées en pont, opposent leurs actions, en réglant le flux reçu par la cellule de compensation on peut obtenir une tension nulle. Quand le document présente un blanc, les noirs donnent alors une tension maxima aux bornes de l'amplificateur.

On peut inverser, à la réception, en inversant la gamme de teintes.

Réception électrochimique

Mode d'inscription pratique, peut se faire en plein jour et sans opérations de développement.

Le produit généralement employé a la composition suivante :

eau.....	600 gr.
nitrate d'ammonium.....	100 gr.
ferrocyanure de potassium.....	5 gr.
glycérine.....	60 gr.

On obtient une inscription en bleu, le courant nécessaire pour l'inscription est de l'ordre de 15 mA pour une vitesse de défilement de 40 cm/s.

SYNCHRONISATION

Les mouvements des cylindres émetteur et récepteur sont commandés par un moteur à courant continu ou alternatif sur l'arbre duquel est calé un alternateur à fréquence musicale (régularisé par diapason).

Diapason : Stabilité de fréquence 10^{-6} d'où même stabilité de vitesse. Quand la stabilité est de 5×10^{-6} , l'inclinaison moyenne des génératrices transmises est < 1 millimètre.

Lors des transmissions sur circuits téléphoniques on règle par stroboscopie la fréquence du diapason récepteur sur celle du diapason émetteur.

Lors des transmissions radioélectriques, les déphasages dus à la propagation ne permettent pas une comparaison stroboscopique, il faut disposer à chaque extrémité de la liaison de fréquences de synchronisation stables ne nécessitant aucun réglage.

Synchronisation transmise Utilisation de moteurs synchrones alimentés par le même réseau de distribution ou par réseaux interconnectés.

Mise en phase ————— Le cylindre émetteur envoie à chaque révolution un "top" qui correspond avec le passage de la barrette devant le dispositif explorateur, ce signal est utilisé par le récepteur pour actionner l'électro d'embrayage qui met en route le cylindre récepteur.

N O R M E S Etablies par le Comité Consultatif International de Télégraphie (C.C.I.T.) elles concernent :

Vitesse de rotation du cylindre : 1 tour par seconde.

Fréquence porteuse : 1300 Hz/s environ.

Modulation en amplitude : minimum de courant pour le noir, maximum pour le blanc.

Mise en phase : par "tops" positifs.

Fréquence de référence pour la vérification du

Synchronisme : 1.020 Hz/s environ.

Index de coopération (produit du diamètre du cylindre en millimètres par le nombre de lignes en millimètres) : 352.

Circuits : terrestres ou hertziens doivent laisser passer une bande de fréquence de 300 à 2.400 Hz environ (caractéristiques des circuits téléphoniques); les différences de temps de propagation des diverses fréquences transmises doivent être ≤ 1 milliseconde.

Exemple : Appareil conforme aux normes C.C.I.T., le point le plus petit pouvant être transmis dure $1/1000$ seconde - 1.000 Bands - d'où deux bandes latérales de 500 Hz de part et d'autre de la porteuse (cas de la modulation d'amplitude).

La largeur totale de la bande est de 1.000 Hz, ces chiffres correspondent à une vitesse d'exploration de 1 ligne par seconde - à la vitesse de 2 lignes, la largeur de la bande atteint 2.000 Hz, ce qui est encore acceptable sur les circuits 300 - 2400 Hz. Dans ces conditions, un document 13 x 18 est transmis en 6 minutes.

MODULATION 1) Modulation en courant continu, employée pour la transmission des documents de trait par circuits télégraphiques avec retour à la terre, (courants parasites) abandonné.

2) Modulation d'amplitude d'un
courant porteur alternatif——

Utilisée pour les transmissions sur
lignes téléphoniques terrestres et
sur liaisons radio à faible distance.
Fréquence porteuse 1500 Hz environ.

3) Modulation en temps d'un
courant porteur alternatif——

Utilisée pour la transmission par
radio de photographies (pour parer
aux effets du "fading").

Signaux à amplitude constante régulièrement espacés dans le temps.
Dans chaque espace la partie du temps réservée au signal est petite pour
la transmission du blanc et grande pour le noir. Le signal s'allonge
quand le gris devient plus foncé.

Rapport maximum de signal à silence dans le cas d'un blanc : 1/6.

Rapport maximum de signal à silence dans le cas d'un noir : 6/1.
Les épreuves reçues sont tramées comme un cliché de simili-gravure.

4) Modulation de fréquence——

A remplacé à partir de 1939 la mo-
dulation en temps pour les émissions
radio.

Elle fournit des épreuves non tramées et permet de transmettre à la
même vitesse que par fil.

Les normes utilisées actuellement sont 1500 Hz/s pour un blanc et
2500 Hz/s pour un noir, l'amplitude étant constante à l'émission. La ban-
de de fréquence à transmettre est égale à celle des bandes latérales aug-
mentée de l'écart entre les fréquences extrêmes, c'est-à-dire de 800 Hz.

(Pour une ligne par seconde on a ainsi une bande de 1800 Hz).

CONVERTISSEURS DE MODULATION

Convertisseur MA en MF au départ.
" MF en MA à l'arrivée.

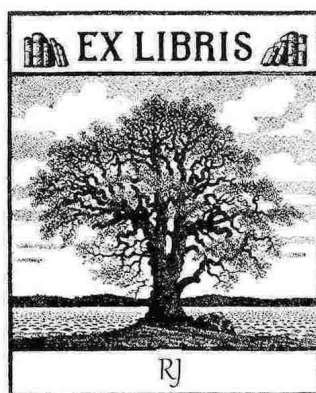
Convertisseur MA - MF ——

La porteuse modulée en amplitude est
redressée et filtrée, la tension con-
tinue obtenue module en fréquence un oscillateur à battements.

Convertisseur MF - MA ——

Les signaux provenant du poste ré-
cepteur passent dans un amplifica-
teur "limitour" qui ramène le niveau à une amplitude constante malgré le
"fading", un filtre élimine les harmoniques créés.

Un "discriminateur" (filtre ou pont de Wien) permet de rétablir des
variations d'amplitude en fonction des fréquences.



Numérisé en Juillet 2025 par F1CJL , 300dpi