

Et l'espace fut vaincu.

Les lignes et la transmission épisode 1 :

De quelques informations sur l'histoire des artères de télécommunication constituées de fils nus.

Je me souviens...

Je n'avais pas vingt ans, c'était la fin des années 60 et tous les lundi matin, je prenais le train à Longwy, pour gagner Metz. Ah! Ces anciens wagons de troisième classe de la ligne Longwy Nancy, avec les banquettes en bois, mais à Longuyon, changement de train et de confort, je montais dans le Calais Bâle Milan et je choisissais les wagons Allemand ou Italien, dans lesquels même en deuxième classe les compartiments ne comportaient que 6 places, le bonheur!

Et là, le nez à la fenêtre, je regardais le paysage, enfin, pas vraiment, car sous mes yeux, à un rythme différent du tagada tagada des roues sur les rails, les fils nus montaient et descendaient ensemble, entre cet assemblage de poteaux bois et de traverses métalliques constituant ce que plus tard j'apprendrais être une portée. Je savais que c'était «les fils du téléphone», sans plus. Rythme lancinant, mais qui brutalement s'interrompait et d'un coup les fils semblaient se mélanger, certains sautaient, se croisaient et puis, à nouveau, après ce méli mélo, le calme et la régularité, jusqu'au prochain bouleversement.

Dix ans plus tard, en activité dans le domaine de la transmission régionale à Caen, on finissait de déposer ce qui restait de ces infrastructures, considérées comme obsolètes, méprisées au point que mon prédécesseur dans le poste avait benné les fiches de gestions des groupes. C'est entre Saint Hilaire du Harcouet et Avranches, que se trouvait une des toutes dernières lignes déposées,

Encore un saut dans le temps, 30 ans, il reste quelques artères encore exploitées par la SNCF, une en particulier près d'Avranches, visible de l'autoroute. J'y passe parfois, et pensant à Armorhistel je me disais que nous n'avions pas de matériels d'armements significatifs de ce type. Aussi lorsque début 2010, je vis que cette artère était en cours de dépose il me parut urgent de faire quelque chose...

Et la collection de « matériels lignes » d'Armorhistel s'enrichit (avril 2011) de 5 des traverses ayant supportées des circuits aériens de la ligne S N C F Rennes Chateaubriand.

En plus de ces 5 traverses nous avons pu récupérer du matériel d'armement (consoles et isolateurs) qui va nous permettre de les remettre en état, certains isolateurs étant cassés et devant être remplacés.

Ce type de matériel n'est plus exploité dans le réseau de France Télécom depuis la fin des années 70, il n'est peut être pas inutile de le présenter.

Dans ce qui suit, vous trouverez de nombreuses dates, leur exactitude est parfois une question épineuse. Par exemple, la première ligne télégraphique entre Paris et Rouen est donnée comme mise en service le 16 mai 1844 dans un cours professionnel de 1960 ; Cette même ligne est signalée comme terminée le 18 mai 1845 dans un article de la revue câbles et transmission de 1949 et dans le manuel technique de 1898 c'est le 27 avril 1845. Si un lecteur attentif a, pour un événement donné une information différente de celle que j'indique, je lui saurais gré de me la communiquer via le directeur de cette publication.

Historique succinct

L'utilisation de fils nus pour constituer des lignes d'abonnés ou de liaison entre centraux, c'est-à-dire des circuits, est presque aussi ancienne que le téléphone et plus ancienne même si on fait référence au télégraphe, ancêtre et dans bien des cas précurseur des solutions qui seront adoptées par (ou adaptée pour) le téléphone.

La première utilisation d'une ligne utilisée téléphoniquement date du 09 octobre 1876. C'est une ligne qui était primitivement utilisée pour le télégraphe électrique entre Boston et Cambridgeport, distant de 2 milles, le retour se faisait par la terre (1).

Pour mémoire à ses débuts, le télégraphe électrique (Morse 1832 pour les expérimentations, 1840 pour le brevet) utilisait pour chaque sens de transmission deux fils conducteurs, la première ligne aérienne est établie en 1843 entre Washington et Baltimore. Dès 1845, le 29 avril, quelques jours avant la mise en service de la première ligne française entre Paris et Rouen, Louis Arago, lors d'une intervention à la chambre des députés, indique que lors d'essais menés entre Paris et Mantes, Le retour par la terre s'est montré meilleur que le retour par fil. Les lignes télégraphiques seront longtemps unifilaires.

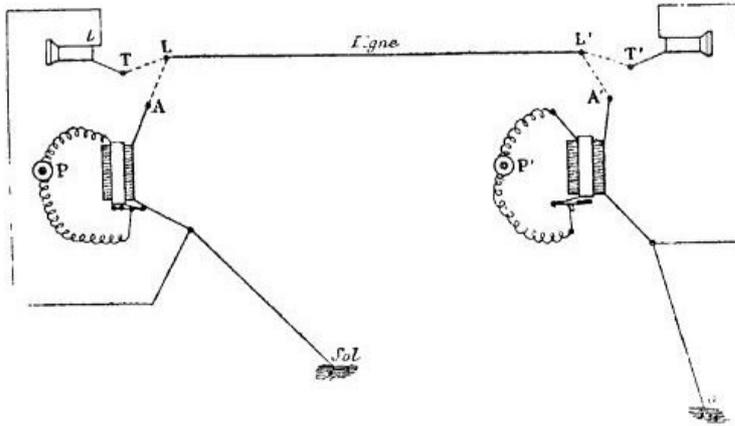
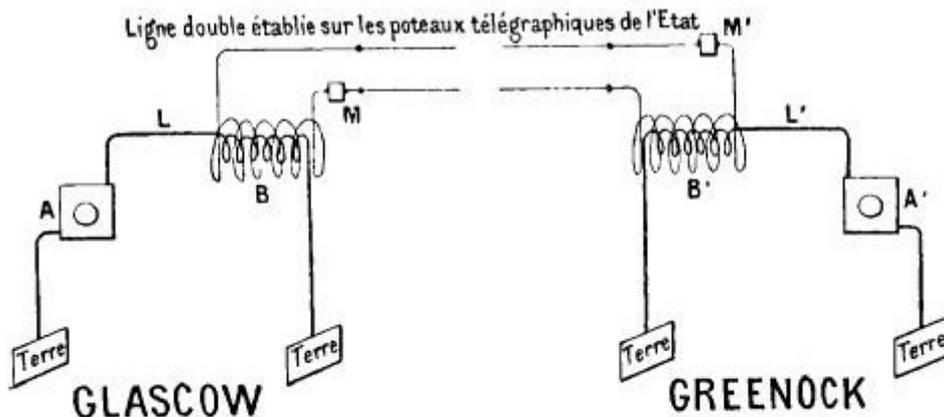


Fig. 4.

très sensible aux perturbations créées par les lignes télégraphiques ou de transport d'énergie proche, en particulier lorsque les parcours sont parallèles. Aussi il faut renoncer au retour par la terre, et en 1883, on trouve par exemple dans un réseau écossais, entre Glasgow et Greenock (environ 40km) qu'une double ligne est construite et exploitée.

Voici un des tout premiers schémas décrivant le téléphone, publié dans la revue la nature de 1878 (disponible sur le site du musée du conservatoire des arts et métiers). Nous sommes avant l'invention des premiers moyens de commutation manuelle, et donc la ligne décrite est de point à point.

L'utilisation d'un seul fil est évidente ! Mais cette façon de faire va rapidement poser des problèmes. En effet, ces lignes sont évidemment dissymétrique par rapport à la terre et sont



Translateurs téléphoniques de M. Alfred Bennett.

A. Appareil d'un abonné — L. Ligne reliant l'abonné au bureau central. — B. Bobine d'induction à deux fils; le fil intérieur de chaque bobine est relié à la terre et à l'abonné par l'intermédiaire du *switch-board* ou commutateur du bureau central non représenté sur la figure; le fil extérieur est relié à la double ligne qui établit la communication entre les deux bureaux. — M. Indicateur magnétique pour les appels et la fin de la conversation. (Les lettres sans indice se rapportent à Glasgow, et les lettres avec indice à Greenock.)

Les ingénieurs doivent établir une connexion entre deux abonnés dont les lignes terminales sont unifilaires avec retour par la terre et un circuit bifilaire, via un système manuel.

Ils ont utilisé pour ce faire une bobine à double fil, c'est-à-dire un transformateur. Ils ont appelé ce dispositif « translateur », bien que l'idée de la solution soit plus ancienne, c'est la première occurrence que j'ai rencontrée de ce nom, Au passage, on a la possibilité de réaliser l'adaptation d'impédance entre deux lignes d'impédance caractéristique différente. Cependant, à cette époque, cette notion d'impédance caractéristique était inconnue (l'équation des télégraphistes sera résolue en 1887) et il faudra attendre bien longtemps pour que son action soit prise en compte (on rencontre encore en 1910 des articles techniques qui ne font que signaler que « la caractéristique » comme il l'écrive, n'est pas prise en compte et qu'il le faudrait)

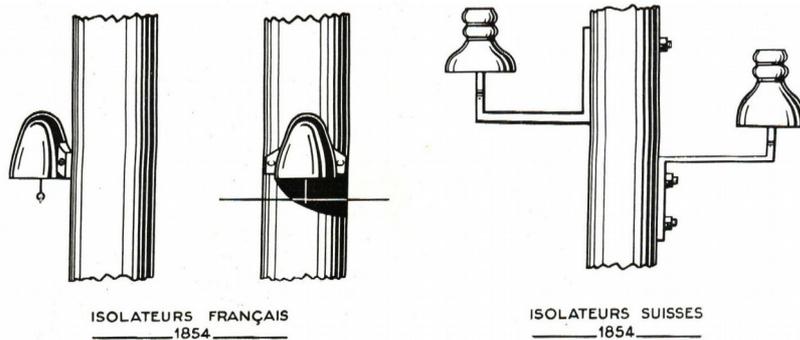


Fig. 2 — *Isolateurs de ligne aérienne en 1854.*
Annales télégraphiques 1855 - page 10.

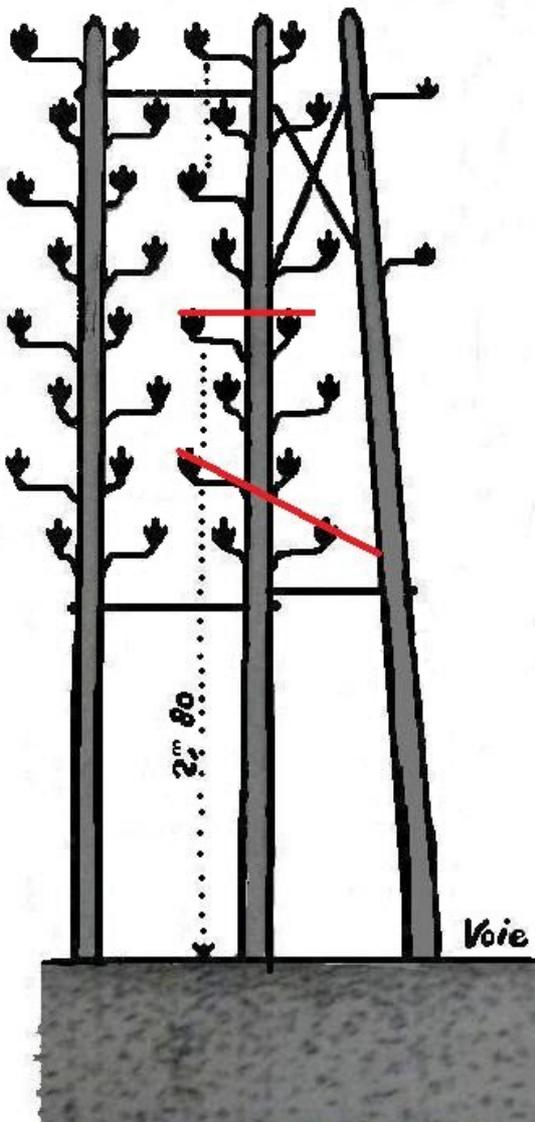
Les fils sont fixés sur des isolateurs, ci-dessous un dessin avec à gauche les premiers isolateurs français à cloche, les fils sont accrochés sous l'isolateur qui est lui-même fixé directement sur le poteau en bois. Ce système, de performance médiocre due au mauvais isolement des fils sera rapidement abandonné au profit d'un modèle imité des isolateurs suisses qui est dessinés à droite. Cet

armement sera appelé armement en console. Tout d'abord il est utilisé aussi bien pour les lignes d'abonnés que pour les circuits, il le restera longtemps pour les abonnés.

Ces consoles sont déjà très proches de celles qui seront ensuite généralisée dans le réseau.

Les fils utilisés sont en fer de 2, 3, 4 et même 5mm de diamètre ; la résistance mécanique du cuivre pur est alors jugée insuffisante (mais aussi, déjà, sa grande valeur économique l'exposait à être volé). On mit ensuite au point un cuivre plus résistant mécaniquement que le fil de fer, et aussi peu résistant électriquement que le cuivre pur, dès lors l'usage du fer fut abandonné en téléphonie. On utilisa aussi du fil de bronze encore plus résistant mécaniquement et aussi bon conducteur, soit en 2 ou 3mm pour les lignes en montagne, soit en 1.1 ou 1.5mm pour les lignes d'abonnés en ville. A noter aussi un fil bimétallique, fer enrobé de cuivre pour quelques usages particuliers.

Il faut attendre 1884 pour assister à la mise en service d'un premier circuit entre Boston et Providence sur 45 Miles, c'est un circuit téléphonique constitué de deux fils, le retour par la terre est abandonné bien qu'on pourra continuer à le trouver en usage jusqu'au début des années 20.



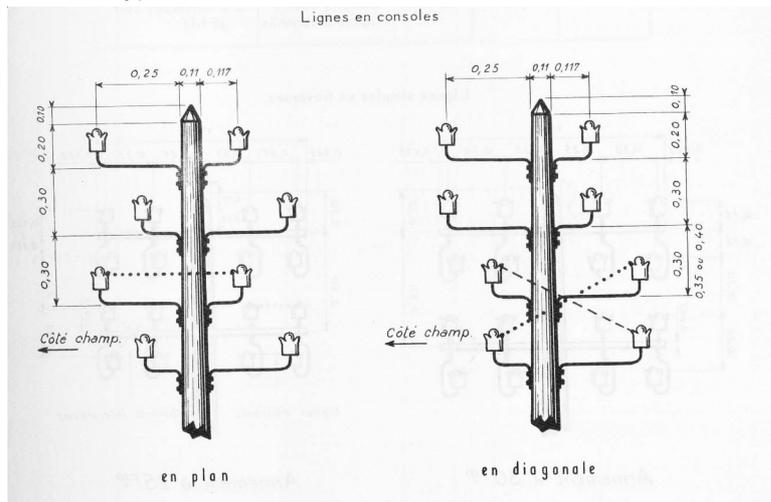
On appelle armement l'ensemble des matériels fixés sur un poteau bois et destiné à supporter les fils télégraphiques ou téléphoniques.

L'armement en console, pouvait être utilisé en plan, les deux fils d'une ligne ou d'un circuit se trouvaient dans un même plan horizontal, ou en diagonale, les deux fils de la ligne ou du circuit se trouvant aux extrémités de la diagonale d'un parallélogramme, on a alors affaire à un groupe de 4 fils. Cette configuration était utilisée pour les lignes longues, car elle permettait de supprimer les perturbations d'un circuit d'un groupe par l'autre circuit du groupe.

Les deux types d'utilisation en plan ou en diagonale apparaissent dès 1882.

Exemple d'armement an console avec jambe de force vers 1890.

Derniers types d'armement en console.

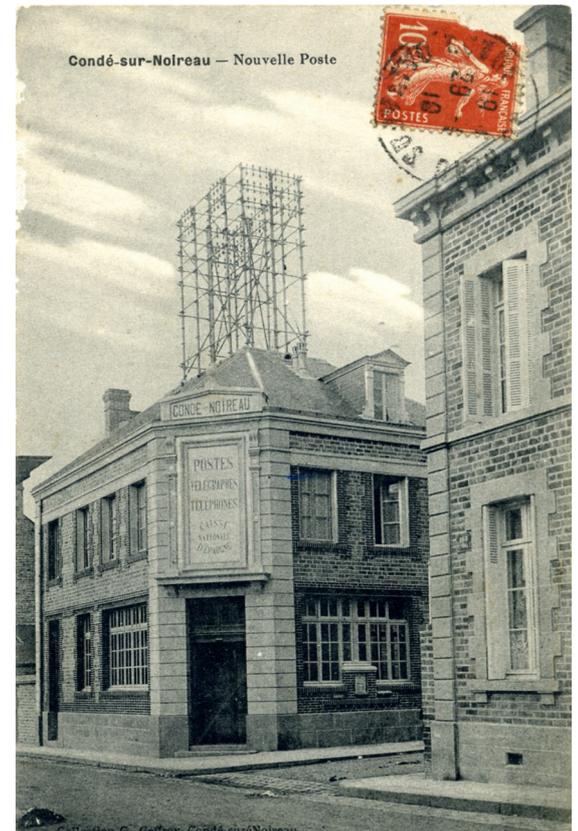


A gauche en plan pour lignes d'abonnés courtes.

A droite en diagonale pour lignes d'abonnés longues et circuits.

Voici le bureau de poste de Condé sur Noireau dans le Calvados. On remarque sur son toit, une tête de ligne carré, qui supporte les circuits et les lignes.

Le premier réseau exploité et construit par l'administration, celui de Reims, ouvert le 1 avril 1883, utilisait aussi le passage par-dessus les toits, les poteaux étaient fixés sur les charpentes, ce qui fait que les équipes des lignes ont comportées des charpentiers et des couvreurs.



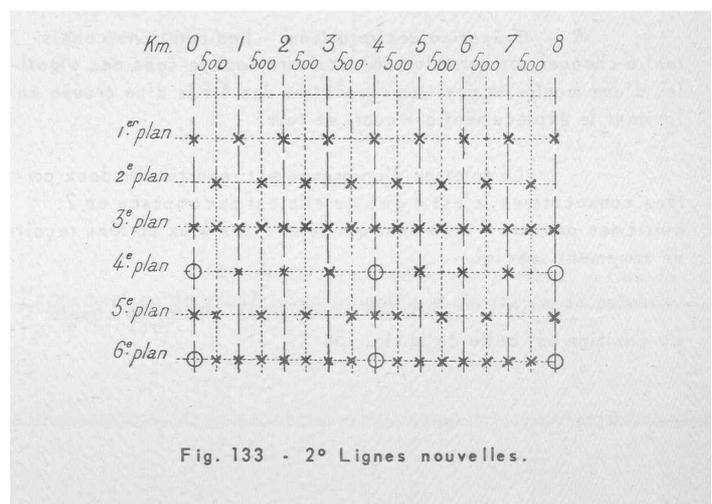
L'anti-induction des lignes en consoles

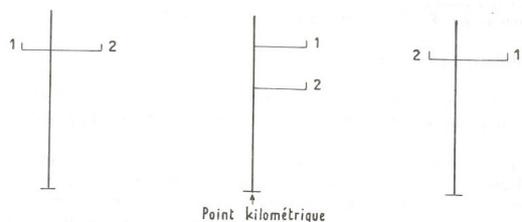
Les communications supportées par les lignes peuvent être perturbées par les communications supportées par d'autres lignes télégraphiques ou téléphoniques de la même artère, par des lignes de traction électrique ou par des lignes de transport et de distribution électriques.

Des méthodes sophistiquées ont été mises au point pour éviter ou réduire ces perturbations, c'est l'anti-induction.

L'armement plan avec croisement a été le premier utilisé en France et ce dès 1882, il consiste à faire passer à gauche le fil de droite et réciproquement. Les deux fils tournent dans le sens des aiguilles d'une montre sur un armement spécial.

Pour l'exploitation des circuits combinés des lignes interurbaines, un croisement spécial est mis en œuvre (cette question sera traitée dans un article ultérieur). On utilise soit les termes combinant/combiné, soit les termes réels/fantôme.

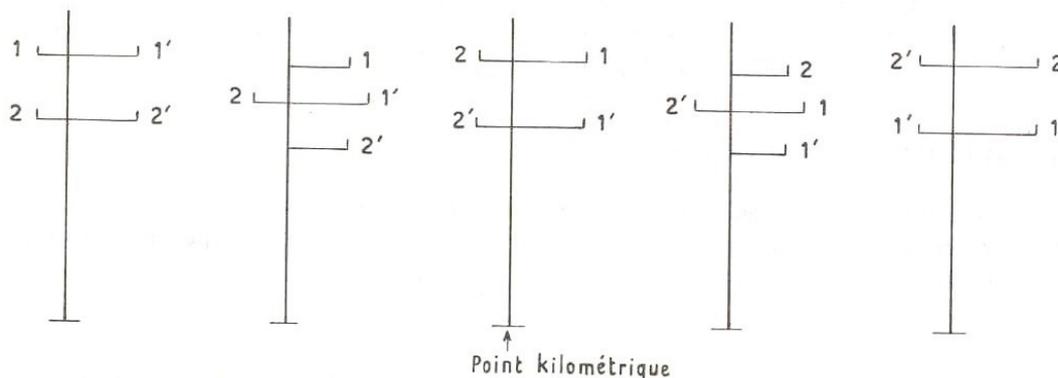




Le croisement ordinaire, qui était mis en oeuvre aux points kilométriques donnés par la loi des croisements ci à côté, elle est donnée pour une ligne à 6 plans de consoles. Le « o » indique l'absence de croisement.

Sur l'appui de croisement, les consoles sont alternativement côté route et côté champs.

Cette façon de faire ne permettait pas l'anti-induction des combinés, pour la réaliser, on utilisait un croisement spécial décrit ci dessous

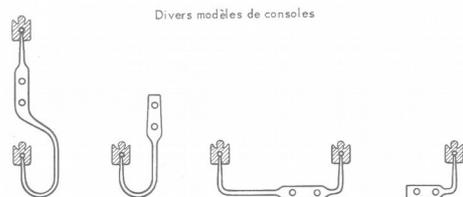


Le croisement spécial concernait deux plans successifs (1-2, 3-4, 5-6).

Pour les deux premiers circuits, il se faisait tout les 4 km, à la place de ceux éventuellement prévus par la règle ordinaire, les autres croisements ordinaires subsistant. Pour la deuxième paire, au milieu des intervalles précédents. Pour les circuits suivants même méthode avec des pas de 2 et 8 km.

On a ensuite adopté l'armement carré avec circuit en diagonale comme décrit plus haut.

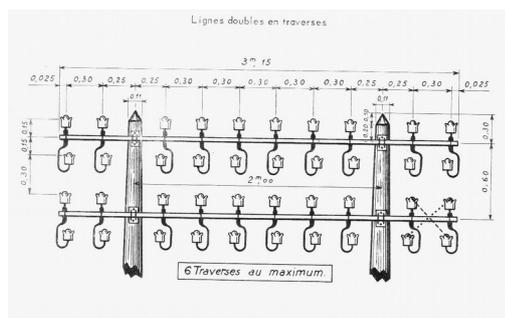
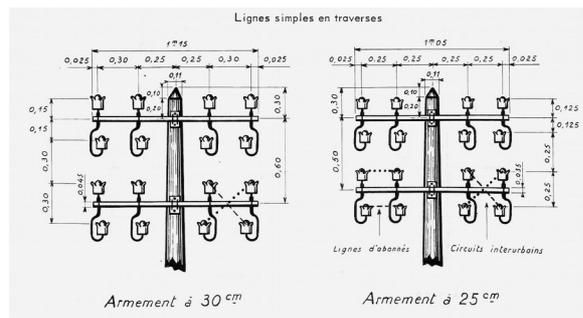
La capacité de ces lignes en console était faible, pour un poteau de 6.5m : 8 fils sur 4 plans de consoles à 40cm, 12 fils en 6 plans de consoles à 35cm, 14 fils en 7 plans de consoles à 30cm.



La nécessité d'accroître les capacités des artères à conduit à l'utilisation de traverse pour supporter les différents types de consoles. L'armement en console à alors été abandonné pour les lignes neuves, les lignes existantes continuant à être entretenues et exploitées.

Lignes en Traverses

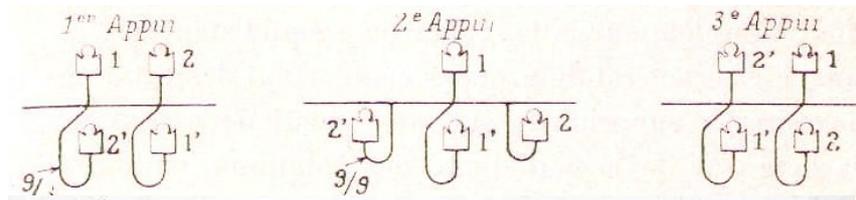
On trouvera des lignes simples et des lignes doubles



La ligne simple à une capacité maximum de 40 fils en 30cm, 48 fils en 25cm, la ligne double à une capacité maximum de 120 fils en 30cm.

Mais ces lignes interurbaines, donc longues devenaient tout comme les lignes en consoles rapidement inexploitable à cause de la diaphonie (terme moderne) engendrée par les déséquilibres de capacité ou par l'induction mutuelle. Dans un groupe en carré avec circuits aux extrémités des diagonales, les circuits sont naturellement anti-inductés, car chaque circuit est dans le plan neutre de l'autre, les rotations permettant l'exploitation du circuit combiné et protégeant les réels des perturbations électriques. Mais il fallait protéger chaque groupe des influences des autres.

Pour traiter ce problème on a eu recours au système des rotations utilisant les consoles selon les dispositions suivantes.



Ici rotation simple d'un quart de tour sur 3 appuis.

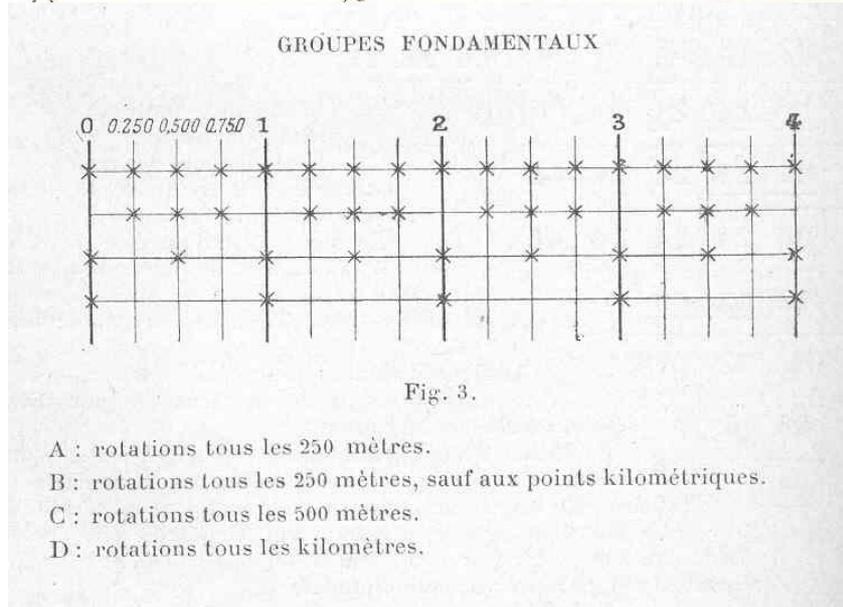
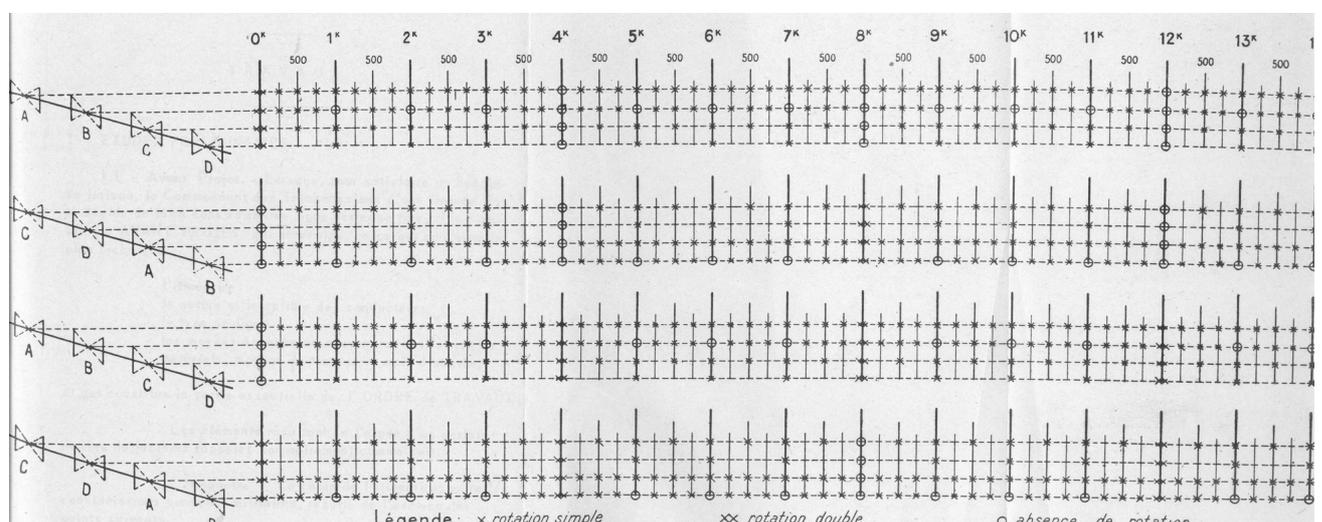
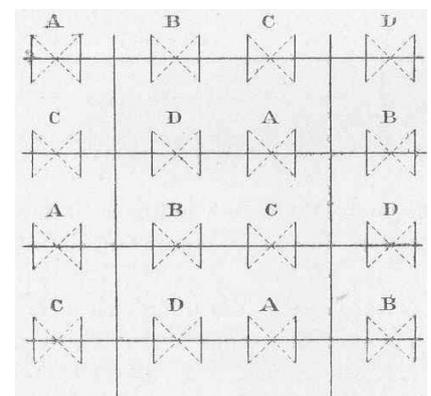


Fig. 3.

- A : rotations tous les 250 mètres.
- B : rotations tous les 250 mètres, sauf aux points kilométriques.
- C : rotations tous les 500 mètres.
- D : rotations tous les kilomètres.

Pour assurer l'anti induction la plus complète le plan complet des rotations se faisait sur 16 km, utilisant 4 types de groupes décrit ci contre pour les 4 premiers km.

Sur les traverses, les différents groupes se répartissent comme ci-dessous, selon un motif basé sur 16 groupes. S'il y a plus de 4 groupes sur les traverses horizontales ou plus de 4 traverses, le motif est reproduit : A, B, C, D, A. L'exploitation des lignes pouvait conduire à la constitution de circuit partiellement anti inducté car ne respectant pas complètement la règle d'anti induction.

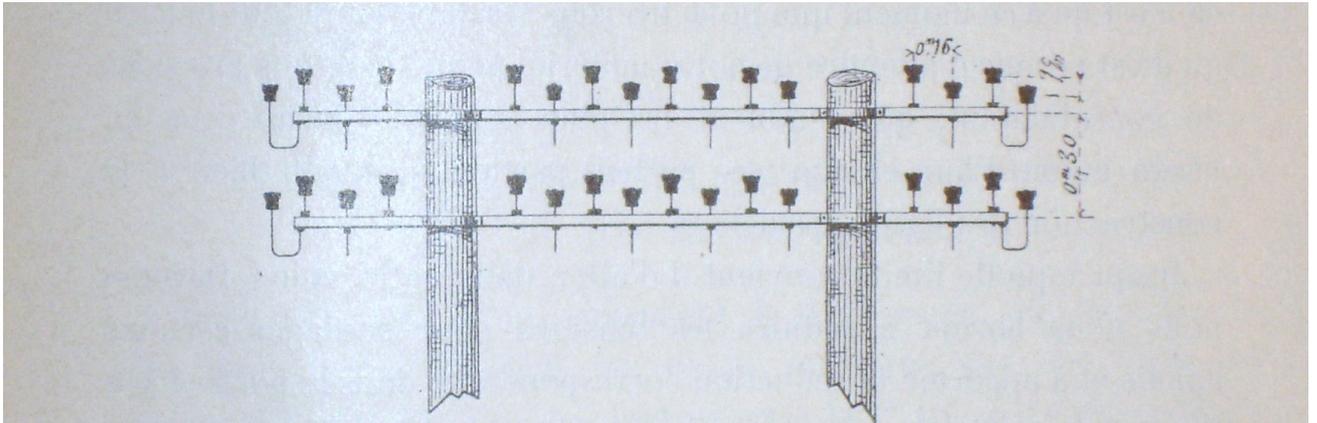


Ci-dessus schéma complet des rotations à effectuer sur 16km (seul les 13 premiers km sont donnés).

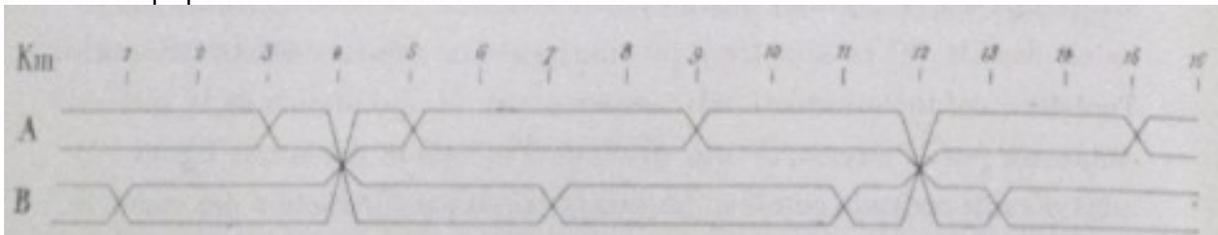
Et ailleurs ?

Armement Allemand

il est en diagonale les fils étant placés aux sommets d'un parallélogramme, il est de dimension



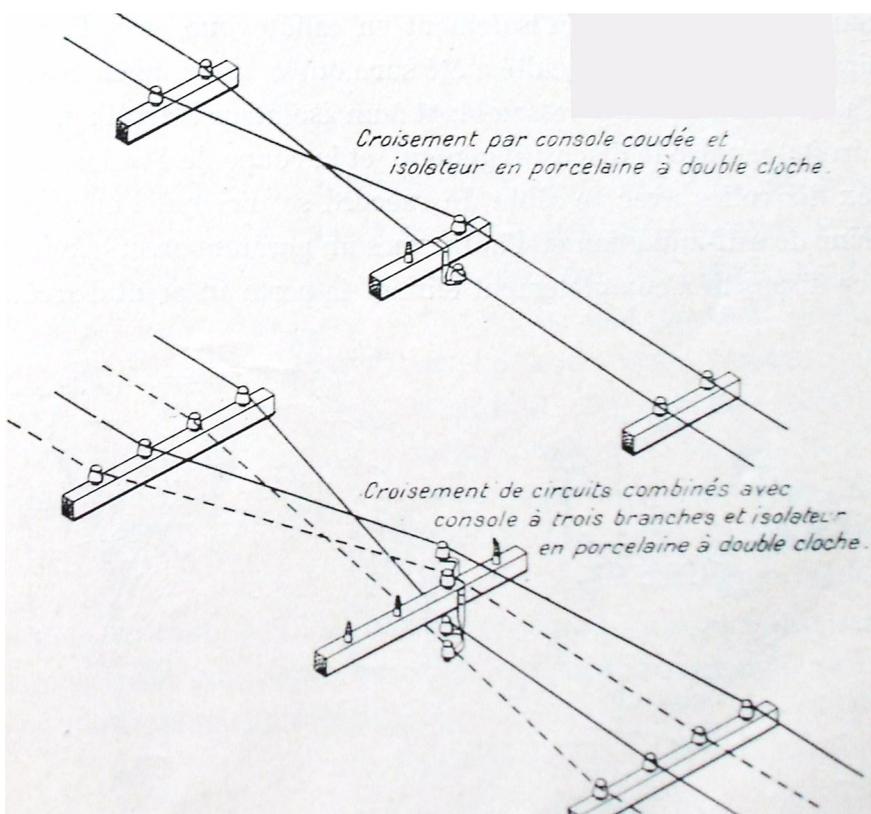
inférieure à l'armement français mais ses performances sont à peine inférieures, c'est ce constat fait sur place en 1913 qui convainquit l'ingénieur Lorain de proposer l'adoption de l'armement carré de 30 cm de côté qui portera son nom : l'armement Lorain.



Système allemand des rotations. Il est simple et le restera longtemps, dans un article publié en juin 1913 M Lorain indique que les lignes téléphonique allemandes sont « généralement placées sur des lignes spéciales. On a donc pas à y combattre l'induction télégraphique...En fait, on s'est contenté pendant longtemps d'anti-inducter les deux circuits voisins.... Et ce n'est que récemment que l'administration a étudié plus complètement la question... »

Armement Américain

C'est un armement plan, voici ci-dessous le système de croisement des circuits plans utilisés aux états unis.



L'armement Lorain

Les services des PTT en 1917 identifiaient deux problèmes à traiter à court terme : le premier était que les limites de capacité en circuits des artères existantes étaient près d'être atteintes, compte tenu de l'espace disponible le long des voies ferrées et des routes le long desquelles elles étaient établies. Le second était le travail de remise en état des lignes de transmissions des départements alors occupés par les Allemands, une fois la guerre finie. Dans les deux cas il fallait trouver des solutions économiques. Plus économique en tout cas que l'armement Français, constitué de groupes carré de 40 cm de côté, porté par des poteaux distant de 60 m. C'était l'armement des lignes à grande distance, mais on trouvait aussi des groupes carrés de 30 et 25cm de côtés.

L'armement Lorain est un armement carré de 30cm de côté, les traverses sont longues de 3.1m et les poteaux espacés de 50m, la capacité des artères était ainsi doublée. Il avait été expérimenté dès 1910.

Aperçu des performances.

Dans toute la suite de l'exposé des performances il est important d'avoir à l'esprit que l'on suppose toujours que l'on parle d'artères bien construites, bien entretenues et en bon état, en particulier pour la tension des fils et pour la qualité de l'isolement tant des fils que des isolateurs, ces conditions n'étaient pas souvent réunies durant un long temps !.

Je ne donne ici d'informations que pour les lignes aériennes en cuivre de 2 et 5mm, et pour 1km de ligne.

La perdite (fuite due à l'isolement) est dans les deux cas d'un mégohm, la résistance linéique est respectivement de 11.2 et 1.8 ohm. L'affaiblissement de 7.39 et 1.73 millineper. On pourra remarquer que le rapport des affaiblissements est proche de celui des résistances, la capacité et l'inductance linéique dépendant peu du diamètre des fils.

Cela conduit à la possibilité de relier des bureaux distant de 340 km en fil de 2mm et de près de 1500km en fil de 5mm. En effet, avant 1910 par exemple, on considérait que l'affaiblissement maximum admissible entre deux postes, pour une conversation était de 5 Neper, comprenant la ligne de l'abonné, la traversée des centraux et les lignes interurbaines (la conférence de Paris de 1910, ramena cette valeur à 4.8 Népers) dont de 2.5 à 3 pour les lignes interurbaines. On utilisait alors comme unité d'affaiblissement le Neper, ultérieurement on utilisera le bel B, et son sous multiple le décibel, dB avec la relation $1 N = 8.686dB$.

Autre point, c'est la distorsion d'affaiblissement, c'est-à-dire le fait que la ligne atténue différemment les basses et les hautes fréquences. Pour une ligne en fil de 3mm l'affaiblissement à 400 Hz est de 3.53 millineper, à 3000hz il est de 3.85 millineper soit une variation relative de 9%, ce qui est très faible et permet de transmettre la parole sans déformation notable.

La façon d'exprimer les affaiblissements n'a pas été uniforme, outre le Neper, on trouve dans de nombreux articles, les performances en longueur de câble standard. Le câble standard est un câble formé de fil de cuivre isolé au papier, d'un diamètre de 0.9mm appelé jauge anglaise 20. L'étalon de transmission correspond à 48.3km de ce câble.

Le développement des lignes

Aux états Unis

9 octobre 1876 Boston Cambridge port 2 Milles
1884 le 4 septembre Boston Providence 45 Milles.
1885 new-York Boston 235 Milles
1892 New-York Chicago 900 Milles.
1911 Ligne New York Denver 2100 Milles
1913 Ligne New York- Salt Lake City 2600 Milles
1915 Ligne New York San Francisco 3400 Milles

En France

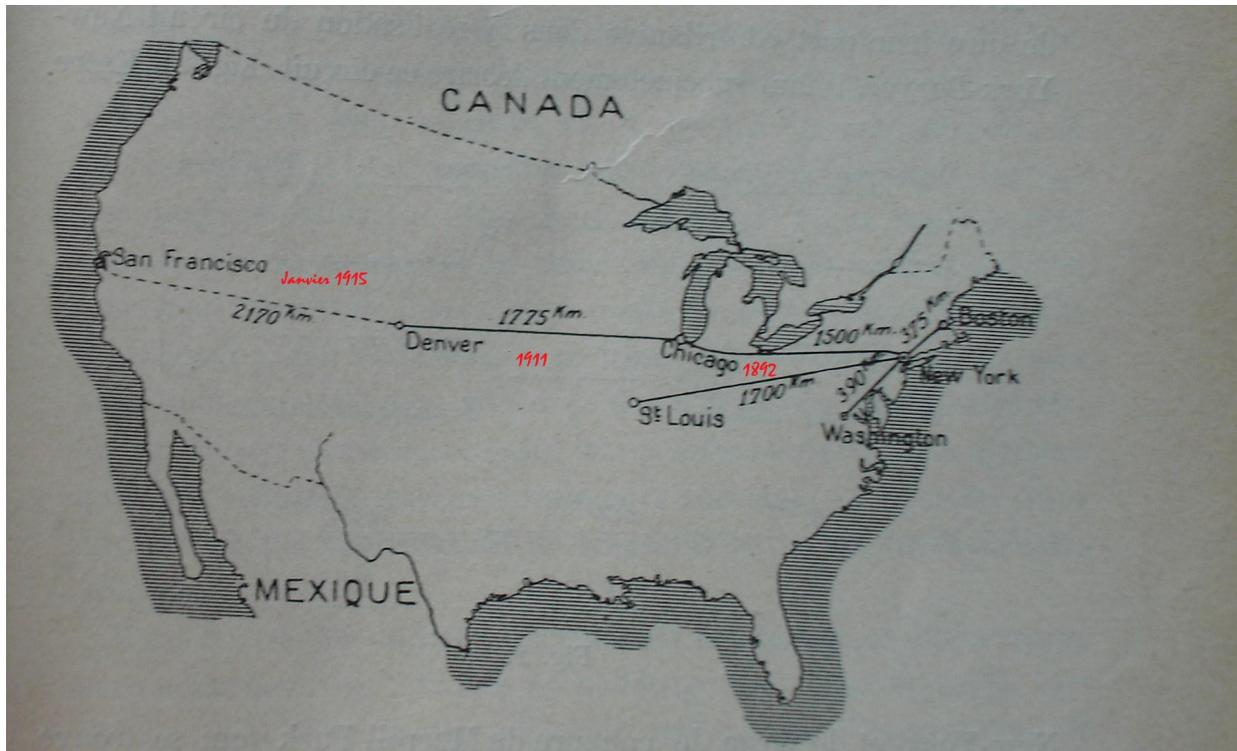
1880 premières liaisons établies par la compagnie des chemins de fer du nord entre Paris et Saint-Quentin, ainsi qu'entre Paris et Amiens.

16 janvier 1885 mise en service par le gouvernement de la ligne Rouen Le Havre cout d'utilisation : 1 franc (or) pour 5 minutes soit 3€. En 1885 lignes avec Reims, Lille, Roubaix, Tourcoing. Rouen Elboeuf Louviers en 1886, Paris Rouen Le Havre et Paris Lille en 1887 et Paris Lyon Marseille en 1888.

Début 1887, le 24 février Paris Bruxelles soit 300 km ; 3 francs les 5 minutes soit 9€. Cette ligne est anti-inductée par croisement à chaque poteau, car elle est dans le voisinage de lignes télégraphiques unifilaire.

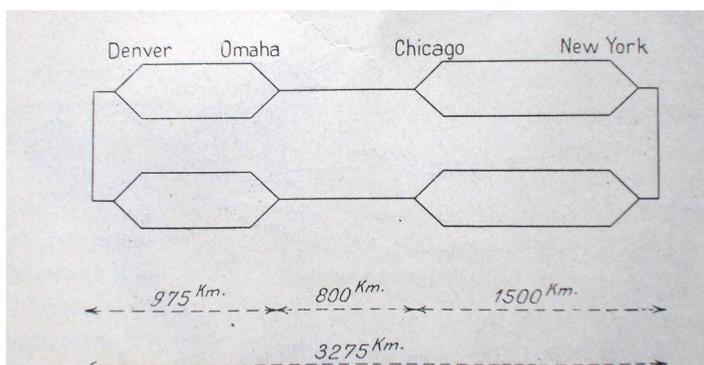
La ligne "New York San Francisco".

Dans l'histoire des télécommunications cette ligne est emblématique. Sa construction à été un objectif important pour la Bell. Mais aussi par les défis technologiques qu'il à fallu relever pour la construire.



En 1882, Chicago est relié à New York, avec les seules performances permises par une artère en fils nus. La ligne arrive à Denver en 1911. 19 ans est le temps qui a été nécessaire à l'invention et à la maîtrise de la pupinisation. Quatre ans plus tard San Francisco est à son tour atteinte, c'est la maîtrise de l'amplification qui l'a permis. Pupinisation et amplification seront les mamelles de la transmission jusqu'à la fin des années 30 et partiellement au delà, Mais c'est une autre histoire qui fera peut être l'objet des épisodes 2 et 3.

Enfin, les ingénieurs européen se sont interrogés pour trouver une explication aux meilleures performances des lignes aériennes américaine qui bien que d'un diamètre plus faible qu'en Europe -4.2mm contre 5 voir parfois 6mm en Angleterre- pouvaient être exploitée sur une distance supérieure. La raison le plus souvent avancée a été le meilleur isolement de ces lignes qui pouvaient atteindre 16 mégohm dans le nord, les raisons de ce meilleur isolement étant d'une part un climat plus sec, mais aussi le fait que les lignes américaines au contraire des lignes européennes n'étaient en général pas construite le long des voies ferrés. Les isolateurs, qui sont l'élément important de l'isolement ne reçoivent pas de fumée et leur propreté donc leur isolement était plus facile à conserver. Par ailleurs les itinéraires différents entre les lignes télégraphiques et téléphoniques étaient un facteur favorable à la bonne qualité des lignes téléphoniques non soumises aux influences de lignes télégraphiques parcourues par des courants relativement intenses.



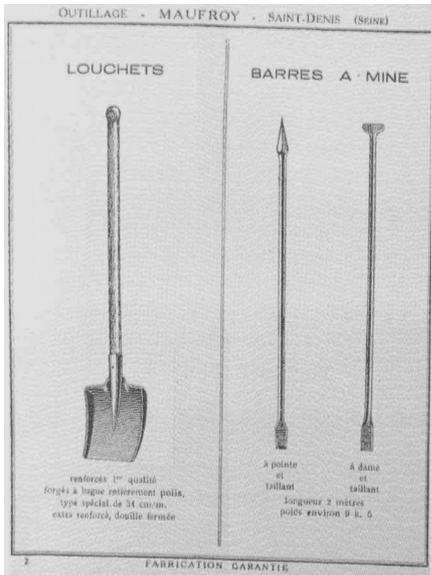
Description du circuit :

Entre New York et Chicago (poste de coupure de Morrell Park) deux circuits pupinisés de 4.2mm. Ils sont pupinisé et Combiné, le troisième circuit étant aussi pupinisé. Entre Chicago et Omaha, il n'y a qu'un seul circuit de 4.2mm, l'artère existante ne pouvant supporter plus, des travaux sont prévu pour homogénéiser la ligne. Entre Omaha et Denver idem New York Chicago.

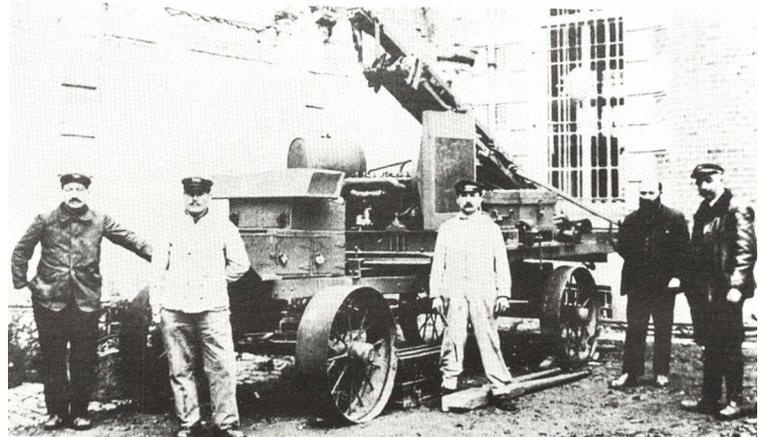
Le circuit Total est équivalent à 48 km de câble étalon, une fois la ligne terminée l'équivalent sera de 46 km. Pour un circuit non pupinisé l'équivalent serait de 111 km. Les pupins sont placés tout les 13 km.

Outillage utilisés

Construire et entretenir ces lignes nécessitait la mise en oeuvre de savoir faire et d'outillage spécifique. Il faut planter les poteaux, cela s'est longtemps fait à la main, avec l'outillage suivant : barres à mine et pelle extrait du « patrimoine des télécommunications » aux éditions Flohic, comme presque toute l'iconographie qui va suivre.



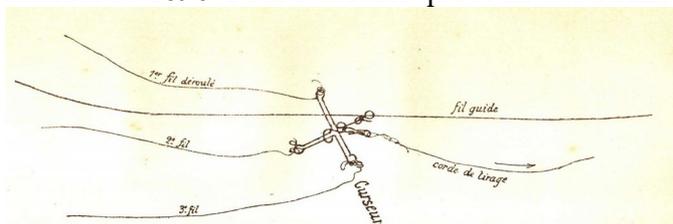
Mais rapidement des moyens mécaniques apparurent comme en témoigne cette photo d'une équipe des lignes de Lisieux



prise vers 1920. Elle est équipée d'une machine à planter à vapeur, mais encore à traction hippomobile. Plus tard des camions tarière voir des tarières portatives seront utilisées.



Une fois les poteaux plantés, il faut « tirer » les fils et les tendre. Un premier fil est tiré, il sert ensuite de guide pour tirer 3 autres fils, en utilisant un « curseur » ainsi que le préconise le manuel de 1898. Pour s'assurer que le fil a la bonne tension, un dynamomètre est utilisé.



Dernière étape raccorder ensemble deux fils.

Pour cela des manchons sont utilisés tout d'abord avec des mâchoires puis des pinces à tordre.



Désadaptation d'impédance

Un dernier point est à évoquer, c'est la question de la pénétration dans les villes pour joindre les bureaux ou les circuits étaient exploités. Les lignes aériennes furent rapidement bannies des grandes villes d'une part pour cause de surcharge des artères, mais aussi pour des raisons d'esthétiques (déjà). On devait recourir pour réaliser cette liaison à des câbles souterrains. Dans ce cas, les différences d'impédance caractéristiques entre les lignes aériennes et souterraines provoquaient des réflexions et l'affaiblissement global était supérieur à la somme des affaiblissements des lignes ainsi aboutées.

Fallait-il pupiniser ou non ces câbles, la pupinisation devait-elle être partielle, à partir de quelle longueur de câbles souterrain devait-on pupiniser, dans ce cas le câble Krarupt (voir futur épisode 6) est-il préférable. Toutes ces questions sont controversées. Une solution sera d'utiliser des transformateurs qui réaliseront l'adaptation d'impédance.

Voici quelques exemples des caractéristiques kilométriques de lignes et en dessous de poste

Nature du circuit	Affaiblissement en Milli Neper	Impédance caractéristique
Aérien en fil de 5mm	1.8	600-30i
Aérien en fil de 1.1mm	25	800-560i
Souterrain en fil de 1mm	72	320-290i

Pasquet



1000+500i

d'Arsonval



1700+1000i

Conclusion

Les lignes en fils nus ont été un moment technologique des réseaux de télécommunications, mais elles resteront associées à l'époque de la pénurie de ligne et du téléphone rare. Elles vont disparaître du réseau téléphonique en même temps que la fin de l'automatisation de celui-ci et de la production massive de ligne qui mettra en œuvre réseau souterrain, câbles multipaires et transport et distribution, câble d'abonnés autoporté. La SNCF qui en avait conservé encore l'usage, les dépose les unes après les autres et bientôt, comme on a vu disparaître les ateliers de maréchaux ferrant, elles auront toutes disparues, alors quand au cours de vos déplacements vous en verrez encore profitez en pour regarder encore une fois ces deniers vestiges d'une époque révolue.

Bibliographie

Annales des PTT 1910-1911 pages 19 à 32, 91 à 94

Annales des PTT 1912-1913 page 157 et 158

1 Genèse et croissance des télécommunications, J Libois

Manuel technique de 1898

Instruction provisoire sur l'établissement et l'entretien des lignes aériennes.

Revue La Nature sur le site du CNAM.