

Bonnes feuilles

La paire coaxiale en télécommunications avant 1939

Guy Gerbier, ingénieur général des télécoms (h)

Les Cahiers remercient la FNARH et l'auteur de les avoir autorisé à reproduire cet article sur les câbles d'avant la deuxième guerre mondiale, qui est extrait du compte-rendu du 16^{ème} Colloque historique de la FNARH à Strasbourg en octobre 2007 (cf. Lectures ci-dessous).

Vers la fin de la décennie 1930-1940, alors que la loi de 1923 a enfin donné aux PTT les moyens d'agir et de définir la politique industrielle qui doit être suivie pour rattraper le retard dû au conflit de 1914-1918, l'augmentation de la fréquence maximale à transmettre, nécessaire à la fois pour les signaux téléphoniques multiplex et les signaux de la télévision a conduit à concevoir des câbles permettant la transmission de gammes de fréquences compatibles avec ces nouveaux besoins.

Les bandes passantes pouvant être obtenues avec des câbles à paires symétriques, donc à paires (en fait quelques paires dans un câble) à quarts en étoile ou à quarts combinables⁽¹⁾, étaient nettement insuffisantes : en effet la télévision de l'époque, bien que ne prévoyant que 440 lignes avec une répétition toutes les 25 périodes, demande déjà la transmission d'environ 3 Mc/s (on comptait alors en mégacycles par seconde, Mc/s). Seuls pouvaient alors permettre la transmission de telles gammes de fréquences sur des distances importantes, deux types de circuits, les paires symétriques blindées et les paires coaxiales, les premières conduisant à des encombrements bien plus élevés pour un même affaiblissement. C'est heureusement la deuxième solution d'avenir [1], admise par le comité technique de l'administration - mais⁽²⁾ à condition que le choix technique fait ait reçu la sanction de la pratique - qui a été retenue en France. Ce qui a conduit à la commande en juillet 1937 des premiers tronçons⁽³⁾ du câble Paris-Bordeaux 2⁽⁴⁾, desservant au passage Vierzon, Châteauroux et

⁽¹⁾ Dans la quarte en étoile, les quatre conducteurs sont torsadés ensemble. Dans la quarte à paires combinables, deux conducteurs sont torsadés pour réaliser une paire, puis deux paires sont ensuite torsadées pour réaliser la quarte, les pas des torsades étant bien entendu différents ; cette technique permet de disposer de trois circuits, deux réels, un par paire, et un troisième, le fantôme, en utilisant une paire par sens de transmission à l'aide de transformateurs convenables.

⁽²⁾ Ce « mais » s'explique plus loin.

⁽³⁾ Le tronçon Paris-Vierzon a été commandé à la Société des Lignes Télégraphiques et Téléphoniques (LTT), les tronçons Vierzon-Limoges et Bordeaux-Coutras à la Société d'Applications Téléphoniques (SAT).

⁽⁴⁾ Ce câble est aussi appelé dans les textes Paris-Toulouse avec, alors, dérivation à Brive vers Bordeaux. Les créations des zones occupée et libre pendant l'Occupation ont fait que le Paris-Toulouse a été réalisé avant le Paris-Bordeaux, contrairement aux prévisions initiales.

Brive avec une dérivation ultérieure vers Toulouse à partir de Brive. L'autre solution a été ultérieurement avantageusement utilisée pour la desserte d'immeubles de bureaux en multimédia⁽⁵⁾, pour de courtes distances, et pour des fréquences beaucoup plus élevées. N'oublions pas les services actuellement offerts aux abonnés, sur le réseau téléphonique de liaisons à plusieurs mégahertz, grâce à d'importantes évolutions techniques, mais toujours avec une limite de distance.

Entre le Paris–Strasbourg, premier câble à grande distance mis en service en France, qui date de 1926, et le Paris–Metz, en 1937, il y a certes des différences : les circuits du premier câble ne transmettent qu'une bande de fréquences restreinte, le second au contraire comporte des circuits transmettant une bande plus large. Sur ceux-ci, la vitesse de propagation des courants téléphoniques est plus élevée, ce qui augmente la qualité de la transmission et permet d'atteindre des portées plus grandes. De plus, les circuits du Paris–Metz donnent la possibilité de superposer sur les mêmes conducteurs métalliques plusieurs communications, par exemple les circuits à quatre fils permettent de superposer à la communication ordinaire une seconde communication obtenue en modulant un courant porteur par les courants de conversation. Quelques paires permettent de superposer sur les mêmes conducteurs quatre conversations simultanées : elles sont destinées à donner des circuits de haute qualité.

Il y donc des différences entre le Paris–Strasbourg de 1926 et le Paris–Metz de 1937. Mais ce sont des différences de degrés portant surtout sur le mode de pupinisation, les principes essentiels de construction restant les mêmes. Au contraire entre le Paris–Metz de 1937 et le Paris–Bordeaux, dont les premières commandes datent de juillet 1937 (la mise en service du câble Paris–Bordeaux était initialement prévue en 1940), il y a une différence de nature : alors que les câbles étaient jusqu'ici formés de fils assemblés en paires ou en quartes, le Paris–Bordeaux comporte des paires concentriques formées d'un fil cylindrique entouré d'un conducteur également cylindrique dont l'axe se confond avec celui du fil. La plus haute fréquence transmise par le Paris–Strasbourg était de 5 700 c/s⁽⁶⁾, celle transmise par le Paris–Metz de 10 000 pour les circuits à deux bandes et 20 000 pour les circuits à quatre bandes ; les paires de conducteurs du Paris–Bordeaux permettent la transmission de bandes de plusieurs millions de c/s.

Le choix d'utiliser des paires coaxiales fait pour le câble Paris–Bordeaux l'a été, comme ailleurs en Europe, contrairement à ce qui a été fait aux États-Unis, en fonction de ses possibilités de transmission des signaux de télévision, ce qui était une vue d'avenir remarquable. Mais la technique retenue pour le conducteur extérieur n'a pas été initialement celle que, à mon avis, la logique imposait⁽⁷⁾, le conducteur extérieur formé de deux demi-coquilles (figure) comme aux États-Unis ou en Grande-Bretagne. La prudence, préconisée en particulier par le comité technique de l'Administration, a fait retenir intégralement la technique de la paire allemande : conducteur intérieur de 5 mm, isolation par spirale de styroflex⁽⁸⁾ recouverte d'un ruban de la même matière ;

⁽⁵⁾ Pour les besoins des réseaux locaux informatiques [2], à côté des fibres optiques de loin plus performantes, ont été mis au point des câbles à paires symétriques et élaborées les normes correspondantes. La fabrication de ces paires, nettement plus performantes que les paires fabriquées auparavant, demande des machines plus précises, car les pas de câblage des différentes paires sont beaucoup plus courts et leur régularité doit être excellente pour que la télédiaphonie (les deux sens sont dans des câbles distincts) et les irrégularités, cause d'échos, restent suffisamment faibles.

⁽⁶⁾ Cycles par seconde; unité utilisée à l'époque.

⁽⁷⁾ Explication du « mais ».

⁽⁸⁾ Le styroflex (voir bibliographie) est un matériau flexible obtenu sous forme de bande ou de fil à partir du polystyrol ou trolitul, matière d'éclairage, par un procédé d'étirage spécial à chaud

conducteur extérieur de diamètre intérieur 18 mm (paire 5/18)⁽⁹⁾, constitué de dix profilés de cuivre (fils méplats légèrement cintrés) enroulés à pas long [3]; frette de cuivre, couche de ruban tissé puis enveloppe de plomb pur de 1 mm d'épaisseur, soit environ 22 mm de diamètre. Cette paire était recouverte de papier, puis d'une ou deux couches de quartes isolées au papier, d'un enrubannage de papier et, enfin, d'une enveloppe de plomb-étain. Elle était ensuite protégée par une armure de feuillards, préférée à l'armure allemande réalisée en fils trapézoïdaux (risque de coups de pioche ou de cailloux pointus passant entre deux fils en les écartant, meilleure résistance à la corrosion et l'électrolyse, moins coûteuse, protection plus efficace contre les tensions induites de l'extérieur) [4]. De plus, la mise en œuvre de cette technique ne nécessitait que des machines peu différentes des machines usuelles de câblerie. Les inconvénients de la technique du conducteur extérieur choisie, qui apparaissait comme très séduisante par l'absence de discontinuité et l'utilisation de machines de câblerie habituelles, l'ont rapidement fait abandonner au profit de la technique des demi-coquilles.

La liaison devait comporter deux câbles à une paire coaxiale entourée de paires radio et d'un certain nombre de quartes combinables, l'un ayant en son centre la paire Paris-Bordeaux, l'autre la paire Bordeaux-Paris. En fait, seuls les tronçons Paris-Vierzon et Vierzon-Limoges, posés avant la guerre de 1940, ont été ainsi réalisés, ce qui a d'ailleurs permis d'exploiter rapidement des liaisons BF entre Paris et Vierzon. Les tronçons suivants n'ont comporté qu'un seul câble contenant les deux paires coaxiales, ainsi que des paires radio et des quartes combinables. Par exemple Cahors-Toulouse comportait, outre les deux paires coaxiales, quatre paires radio de 1,3 mm, et trente quartes combinables de 0,9 mm.

Vu les événements et leurs conséquences, le Paris-Bordeaux n'a été mis en service qu'en 1947 (premier groupe secondaire soixante voies sur câble en France, entre Paris et Toulouse, inauguré par le ministre Eugène Thomas le 29 juillet 1947), alors que, cette même année, étaient mises en service des liaisons Paris-Lyon sur voie ferrée encore en câbles classiques⁽¹⁰⁾ [5].

De façon générale, la réalisation d'une liaison par câbles entre deux points nécessite les opérations suivantes :

- définir le tracé en précisant la place des pots Pupin ou des répéteurs ;
- définir les longueurs du câble en fonction de ce tracé, donc des obstacles rencontrés (rivières, carrefours, routes importantes et voies de chemin de fer à traverser, etc.) ;
- fabriquer les longueurs du câble lui-même avec les enveloppes correspondantes au tracé ;
- piqueter, c'est-à-dire mettre en place sur le terrain du tracé du câble et de l'emplacement des équipements de ligne, avec alors les rectifications ponctuelles du tracé ;
- réaliser les travaux de génie civil nécessaires (fouilles, conduites, galeries, etc.) ;
- poser le câble ;

mis au point par la firme Norddeutsche Seekabelwerke, filiale de Siemens et Halske et de Felten et Guillaume très transparente, assez cassante, mais à très faible pertes diélectriques, venant elle-même par polymérisation spontanée du styrol, produit liquide de distillation du goudron à odeur caractéristique rappelant celle du gaz. Les constructeurs français LTT et SAT ont acquis les licences nécessaires pour utiliser ce matériau respectivement auprès de Siemens et de Felten et Guillaume.

⁽⁹⁾ Rapport du diamètre du conducteur intérieur à celui du conducteur extérieur, mode de désignation normalisée pour les paires coaxiales.

⁽¹⁰⁾ Signalons que c'est sur des quartes à paires combinables de ce câble qu'après dépupinisation furent faits les premiers essais du système à courants porteurs à 24 voies.

- raccorder les longueurs de câble entre elles en tenant compte des mesures électriques effectuées (équilibrage) puis avec les équipements ;
- enfin, mesurer la liaison une fois terminée.

En ce qui concerne le câble lui-même, il faut s'assurer qu'il supportera, sans altérer ses qualités, les diverses manipulations nécessaires pour sa mise en place, en particulier pendant les phases de tirage, sans oublier le tirage en conduite et le remblaiement. L'effort de traction se répartit bien entendu entre les divers éléments du câble : conducteur individuel, âme, enveloppe, armure.

Un exemple hors du sujet : les conducteurs des câbles Fortin [2], isolés par des perles de bois, ne peuvent pas subir le moindre effort, c'est donc l'enveloppe et l'armure qui doivent seuls supporter les efforts de tirage, ce qui rend leur mise en place délicate.

Revenons au câble du Paris–Bordeaux, tronçon historique Paris-Vierzon. Son âme se compose ainsi, en ce qui concerne la partie Paris–Vierzon :

- au centre une paire coaxiale dont le conducteur intérieur a un diamètre de 5 mm et dont le conducteur extérieur, de diamètre intérieur 18 mm, est composé de dix profilés de cuivre; l'isolation étant réalisée par une spirale de styroflex ;
- une couche de vingt et une quarts de paires combinables en conducteurs de 0,9 mm ;
- dans la version Paris–Vierzon, une deuxième couche de vingt-trois quarts à paires combinables en conducteurs de 0,9 mm et cinq paires en conducteurs de diamètre 1,4 mm.

L'armure en feuillards, prévue pour ce câble, si elle présente des avantages incontestables par rapport à l'armure en fils utilisée dans les câbles à paire coaxiale posés à l'étranger, présente par contre le risque de déformations de la paire coaxiale par rotations du câble dues aux efforts de tractions que subit le câble à la pose, vu les pas courts des spirales de feuillards.

Aussi a-il été prudemment décidé de réaliser et de poser dans des conditions extrêmes (sinuosité, obstacles, etc.) deux longueurs d'essai. Les résultats électriques et visuels de ces expériences, réalisées dans les terrains de LTT à Conflans-Sainte-Honorine, ont permis de fixer les conditions de pose : effort de traction maximum de 1 000 kg pour un câble, de 1 800 kg pour les deux câbles tirés ensemble, limiter la rotation du câble à un tour sur une longueur de 10 m, ne pas avoir des rayons de courbure inférieure à 80 m.

Par ailleurs des précautions particulières doivent être prises au cours de la pose : éviter les coudes répétés (loves, boucles, etc.) particulièrement par temps froid, les nœuds de racines, les racines des jeunes arbres, les efforts brusques et l'interversion des câbles puisqu'il était prévu de poser les deux câbles (un par sens de transmission) dans la même tranchée.

Pour permettre une intervention ultérieure sur un des câbles sans risque pour l'autre, il a été fixé un écartement minimum entre les câbles (15 cm), ce qui a conduit à la réalisation d'un gabarit spécial permettant de vérifier à la fois cet écartement, la profondeur de pose (80 cm au-dessus des câbles) et les épaisseurs des différentes couches du remblaiement.

L'effort de traction a été enregistré tout au long de la pose avec l'apparition d'une alarme sonore et visuelle dès que l'effort atteint 1 000 kg pour un câble ou 1 800 kg lorsque les deux câbles sont mis en place simultanément. Dans le cas de pose en conduite, les efforts deviennent rapidement plus élevés, si bien qu'il a fallu limiter le

tirage à 100 m de ligne droite et lorsqu'il existe des courbes, même peu prononcées, de ne prévoir qu'un câble par tube.

De nombreuses protections mécaniques particulières ont dû être mises au point à la fois pour la ligne courante que pour les points particuliers : entrée et sortie de tuyau, de boîtes Pupin ou de répéteurs.

Examinons maintenant le problème du raccordement. Il s'agit de conserver les propriétés mécaniques et électriques de la paire ; mais celle-ci comporte, pour maintenir l'écartement entre ses deux conducteurs une spirale de styroflex. Or, ce matériau voit une diminution de ses propriétés mécaniques vers 80°C, il subit alors des contractions longitudinales et diamétrales.

Aussi a-t-on été conduit à faire un certain nombre d'expériences pour déterminer le mode de raccordement des conducteurs de la paire coaxiale des autres conducteurs et de la protection en plomb de l'épissure, car sans précautions particulières la température de 80°C était très facilement dépassée au niveau du styroflex. En ce qui concerne les conducteurs de la paire coaxiale, une alternance des opérations échauffantes avec celles n'utilisant pas de fer à souder a permis de ne pas atteindre des températures dangereuses. Des conditions draconiennes ont été mises au point pour l'étuvage par circulation d'air surchauffé nécessaire pour avoir l'isolement voulu. Après cela, on procédait au raccordement de façon classique des quartes, avec cependant la précaution de ne pas approcher trop longtemps le fer de la paire coaxiale isolée, ainsi qu'à une mise en place géométrique destinée à permettre une intervention ultérieure facile sur la paire sans toucher aux quartes. On arrive alors au raccordement du manchon en plomb à l'enveloppe du câble ; pour cette opération, comme pour les raccordements de l'enveloppe du câble aux entrées des boîtes Pupin et des stations d'amplification intermédiaires, il a fallu déterminer la nature et la quantité de soudure à mettre en œuvre et la forme de celle-ci, pour obtenir la solidité mécanique et l'étanchéité sans préjudice pour la paire. De même un mode opératoire a été mis au point pour le remplissage des boîtes de protection des épissures. Un atelier-école a été mis en place par LTT pour former les soudeurs à ces techniques et au respect des contraintes particulières liées à ce câble.

Bien entendu, tout cela a obligatoirement été contrôlé avec soin sur le terrain avec des gabarits et des chronométrages.

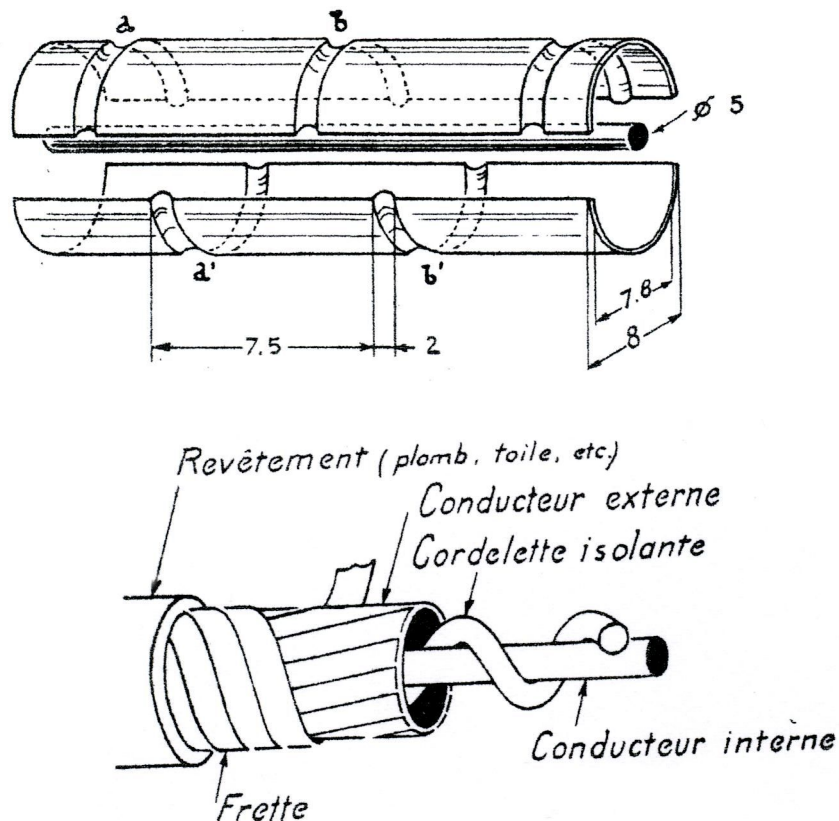
En 1940, le câble était posé et exploité en BF entre Paris et Vierzon, et posé entre Vierzon et Limoges. Les stations principales et intermédiaires étaient amorcées entre Limoges et Toulouse. La priorité a donc été transférée à Toulouse, alors que la pose entre Bordeaux et Coutras avait bien confirmé que la priorité initiale était à Bordeaux. La raison évidente est le statut de la région de Bordeaux sous l'Occupation.

Une direction annexe des LGD a été constituée en zone libre qui, malgré les difficultés, a continué le câble coaxial de Vierzon à Toulouse pour le terminer en 1943. Et le résultat a été bon, comme l'a montré la première mise en service d'un groupe secondaire (soixante voies) en France, inaugurée par le ministre Eugène Thomas le 29 juillet 1947. Signalons à cette occasion qu'il était posé entre Brive et Toulouse un seul câble comportant les deux paires coaxiales, trente-huit quartes DM de diamètre 0,9 mm et quatre paires radio de 1,4 mm.

La liste des stations d'amplification entre Paris et Toulouse comportait 13 stations surveillées et 29 télé-surveillées. La distance entre deux stations consécutives va de 13,948 km (Honor-de-Cos–Montauban) à 19,021 km (Le Gauliat–Brive).

Après la guerre, il a bien entendu été nécessaire de fabriquer à nouveau des paires de ce type pour les réparations inéluctables. Cela a posé le problème de retrouver et de refaire, si nécessaire, les composants de cette paire. À ce sujet, il m'a été confié une anecdote : pour retrouver un conducteur central du diamètre voulu et de la souplesse nécessaire, il fallait recuire le cuivre de façon inhabituelle - ce qui devait être fait à Ivry dans l'usine Tréfinmétaux - puis, vu l'urgence du besoin, expédier le plus rapidement possible le matériau vers l'usine de la SAT à Riom. Le camion parti, il est apparu que les caractéristiques du fil n'étaient pas bonnes et qu'il fallait recuire. Comme le besoin de la paire finie était pressant, le responsable de la SAT (celui qui m'a raconté l'anecdote) a fait intercepter le camion sur son trajet et l'a fait revenir d'urgence à Ivry !

Indiquons par ailleurs qu'une paire de ce type a été utilisée en 1957 pour des essais de télévision par câble entre Lille et Haubourdin, petite localité située à quelques kilomètres au sud-ouest de Lille. Un échantillon de cette paire est exposé au Musée Régional des Télécommunications et de la Radio à Marcq-en-Barœul.



Bibliographie

- [1] R. Bellus, *Les câbles coaxiaux et leur emploi en haute fréquence pour la télévision*, L'Onde électrique, juil.-août 1938
- [2] G. Gerbier, *Le câble Fortin – Hermann*, Les Cahiers de la FNARH, n° 70, nov.-Déc. 1998
- [3] L. Parcé, *Paires concentriques pour hautes fréquences*, Annales des PTT, 1939
- [4] P. Desjoyeux & J. Tardy, *Quelques points particuliers relatifs à l'installation du câble Paris-Vierzon*, Annales des PTT, 1939
- [5] B. Jolibois, *La transmission interurbaine sur câbles métalliques, 1925-1953*, doc. DGT 1990.