

CABLES SOUS-MARINS DE TÉLÉCOMMUNICATIONS ET TOPOGRAPHIE

René Salvador

Ingénieur Général des Télécommunications, France Télécom

Résumé

Les câbles sous-marins sont aujourd'hui un des plus importants moyens d'acheminer les télécommunications intercontinentales. Leur histoire depuis le premier câble télégraphique en 1866 jusqu'aux récents systèmes à fibre optique est résumée. Les besoins topographiques sont restés les mêmes : reconnaissance du fond et mesure des profondeurs, positionnement du navire-câblé. Ils apparaissent en trois occasions : choix du tracé, pose, réparations. Récemment la demande de précision a été accrue pour ensouffler le câble sur les plateaux continentaux afin de le mettre à l'abri des crochages par chalutiers. Les principes des opérations sont les mêmes depuis plus de cent ans et sont sommairement décrits. Mais les moyens de mise en œuvre ont suivi les progrès des différentes technologies et l'histoire de cette évolution du plomb de sonde aux sondeurs acoustiques modernes et du sextant aux systèmes de repérage par satellite est évoquée.

Abstract

Submarine cables are today one of the most important means to carry intercontinental telecommunications. Their story from the first transatlantic telegraph cable in 1866 until the recent optical fiber systems is briefly related. Topographic needs are the same along this story: bottom survey and cable ship position. They occur in three circumstances: cable route selection, laying, repairing. Recently more accurate data became necessary to bury the cable on continental shelf to avoid trawlers hookings. The principles of these operations, which are the same since more than one century, are briefly described. But the devices used to reach a good result followed all the technological developments and the story of this evolution, from wire soundings until modern echo sounders, and from sextant until satellite locating systems is called up.



PLACE DES CABLES SOUS-MARINS DANS LES TELECOMMU- NICATIONS INTERCON- TINENTALES

Les câbles sous-marins sont aujourd'hui un moyen de première importance dans les télécommunications intercontinentales. Leur domaine d'élection est celui des liaisons fixes à trafic concentré (Europe Amérique du Nord en traversée du Pacifique par exemple) sur lesquels ils sont en passe d'acheminer 100 % du trafic d'ici la fin du siècle, permettant de réserver aux satellites qui ne peuvent pas tout faire les services pour lesquels ils sont irremplaçables (télédiffusion d'images ou de données, liaison avec les mobiles, observation, météo, besoins stratégiques, etc...) et pour lesquels la demande croît de façon explosive.

Curieusement ceci est peu connu en dehors des opérateurs de télécommunications internationales et de leurs gros clients qui savent, eux, ce qu'on peut obtenir de ce moyen.

L'extension rapide du réseau de systèmes optiques depuis six ans, due à leur qualité de transmission et à leur coût très attractif en est la preuve.

HISTOIRE DES CABLES SOUS-MARINS

C'est l'ancienneté qui est sans doute à l'origine de cette méconnaissance, car pour beaucoup, les câbles sous-

marins, c'est encore le 19ème siècle. Ils ont en effet vu le jour en 1851 avec la première traversée de la Manche, mais leur grand départ est 1866, date de l'ouverture à la clientèle privée du premier câble transatlantique, après bien des déboires dus aux difficultés soulevées par les profondeurs de plusieurs milliers de mètres. Cependant ces premiers échecs ont été bien utiles, car les plus grands savants de l'époque se sont penchés sur le problème et ont établi un certain nombre de principes sur les caractéristiques mécaniques des câbles et la conduite des travaux en mer qui n'ont jamais perdu de leur valeur.

De 1866 à la fin du siècle, hommes d'affaires d'une part, grandes puissances coloniales de l'autre se sont intéressés aux câbles sous-marins pour leurs besoins commerciaux et stratégiques et un réseau mondial s'est développé dans tous les océans pour atteindre 650 000 km en 1914.

L'entre deux guerres a sérieusement mis en cause la situation privilégiée des câbles car la Radio sur ondes décimétriques est là, permettant le téléphone -ouverture du premier circuit transatlantique en 1926- dont les câbles sous-gutta sont incapables. Mais ceux-ci se maintiennent grâce à leur longue durée de vie, leur coût d'exploitation faible et le secret des communications. Le réseau non seulement subsiste, mais est même modernisé (nouveaux câbles "KRAUP" à vitesse de transmission plus élevée).

Au lendemain de la deuxième guerre mondiale pourtant, il devient évident que la radio ne pourra plus faire face ni à la croissance du trafic, ni aux exigences de qualité de la clientèle : il faut trouver autre chose. Les spécialistes du câble ont heureusement fait travailler les laboratoires pour adapter au milieu sous-marin la technique de transmission sur coaxial par courant porteur. Les problèmes sont nombreux : fiabilité et durée de vie des composants électriques,

Distribution de services (3ème CITOP) - Distribution de ser

structure mécanique des répéteurs immergés, mais ils sont résolus en 1955, et un nouveau réseau se développe très vite (premier transatlantique en 1956, premier Marseille-Alger en 1957).

En 1965, l'apparition du satellite géostationnaire redonne vigueur aux systèmes radioélectriques, ouvrant pendant vingt ans une course poursuite entre câbles et satellites, bénéfique pour le client d'une part : augmentation de la qualité et du nombre de circuits immédiatement disponibles, sécurisation par diversification des itinéraires, et pour les opérateurs d'autre part : baisse des coûts, possibilité de choisir dans chaque cas la solution la plus avantageuse et la plus facile à mettre en œuvre et à gérer. La complémentarité déjà entrevue, c'est-à-dire le partage des domaines d'action entre chaque moyen, apparaît de plus en plus nettement au fil du temps. La dimension du réseau posé en trente ans, 300 000 km représentant 300 millions de circuits x kilomètres, prouve la place prise par les câbles.

Mais dans les années 80, le câble s'essouffle -capacité stationnaire, numérisation difficile, plus de gain de coût au circuit possible- alors que la demande croît et que la numérisation des réseaux se généralise et que l'on risque d'avoir de plus en plus besoin de lui. La solution : adapter au sous-marin la transmission numérique sur fibre optique. Malgré les difficultés, c'est fait en 1986 pour les courtes distances (Manche, Continent Corse) et en 1988 à travers l'Atlantique (TA8). Qualité, coût, souplesse d'exploitation, besoins attisés par la déréglementation s'allient alors pour provoquer la plus formidable explosion de systèmes sous-marins jamais connue, celle que nous vivons aujourd'hui : plus de 200 000 km de câbles posés en huit ans, 280 puis, 560 Mbits par paire de fibre avec régénération des signaux dans chaque répéteur et dès 1995 5 Gbits par paire de fibre avec amplification directe des signaux optiques dans les répéteurs, le tout assorti d'un coût si faible à l'unité de transmission de base de 64 Kbits qu'on peut installer une sécurisation par boucle (TAT 12 + TAT 13 dans l'Atlantique. TPC 5 Nord et Sud dans le Pacifique). Et ce n'est pas fini car l'an 2000 avec l'effet "soliton" et le multiplexage en longueur d'onde permet des capacités encore plus grandes par paire de fibre.

BESOINS TOPOGRAPHIQUES DANS LES ENTREPRISES DE CABLES SOUS-MARINS

Tout ceci n'était qu'une entrée en matière car notre but est de parler topographie des grands systèmes linéaires, or qu'y a-t-il de plus long et de plus linéaire qu'un câble transocéanique ?

Les besoins des promoteurs de liaisons sous-marines sont de deux sortes : repérage de la position du navire câblé en surface d'une part, bathymétrie et nature du fond d'autre part.

Ils se présentent dès l'établissement du projet, lorsqu'il s'agit de choisir le tracé. Celui-ci doit être le meilleur compromis entre le parcours le plus court possible, des fonds réguliers et stables, exempts si possible de risques de séisme ou d'effondrement, un passage au mieux des accidents inévitables tels qu'abords rocheux des côtes, pente des plateaux continentaux, zones de rifts, le tout sans omettre d'éviter les zones de pêche intense ou de travaux offshore qui pourraient faire courir des risques de ruptures ultérieures du câble posé.

La température du fond a également une très grande importance, car elle agit sur les paramètres électriques du

câble, et il est nécessaire de la connaître pour adapter à la construction la longueur des sections entre répéteurs.

Les besoins se présentent ensuite dans les travaux du navire câblé dont le principe d'exécution est toujours le même.

Pour poser, le navire avance le long du tracé prévu en laissant filer le câble avec une tension de retenue calculée pour obtenir une application correcte sur le fond sans suspensions ni tension résiduelle. La conduite d'une telle opération nécessite de connaître avec précision la position du navire afin de suivre en surface la route qui permettra au câble sur le fond de respecter la trace prévue et les paramètres permettant de régler la vitesse de déroulement du câble : profondeur et profil du fond au point de contact avec celui-ci, et vitesse sol du navire.

Un câble sous-marin, même fabriqué et posé selon toutes les règles de l'art, n'est jamais à l'abri d'un défaut, qui doit être réparé. Des mesures électriques aux extrémités et l'examen des documents de pose permettent de situer la position géographique du défaut. Le navire câblé s'y rend, drague le câble, le remonte à bord, élimine le défaut et pose une section neuve de remplacement. Il faut pour cela posséder bien sûr le matériel nécessaire, mais la difficulté et la clef du succès résident dans la manœuvre du navire pour laquelle il est nécessaire de connaître à tout instant position et profondeur.

Ces types d'opération ont toujours existé mais un nouveau chapitre s'est ouvert depuis 1975. Vu l'importance croissante du volume de trafic acheminé par les câbles, il fallait les protéger contre les menaces d'agression dues au nombre grandissant de chalutiers de pêche. La seule solution efficace était l'ensouillement à 0,80 ou 1 m de profondeur sur les plateaux continentaux et leurs abords jusqu'à 1000 m de fond au moins partout où la nature du fond le permettait. Ce genre de travaux a pu être mis au point et réalisé de deux manières : soit pose à travers une charrue remorquée par le navire, soit ensouillement du câble préalablement posé de façon classique par un véhicule robot télécommandé, télésurveillé et téléalimenté par un navire porteur. Pour les réparations d'un câble ensouillé qui ne peut être ni dragué, ni relevé par les méthodes de dragage habituelles, il faut faire appel également à un véhicule robot qui déterre le câble, le coupe, l'amarre à des filins qui pourront le hisser à bord du navire câblé sur lequel l'opération se poursuit classiquement et réensouille la section de remplacement et les épissures lorsqu'elles ont été reposées sur le fond.

Ces opérations exigent une préparation beaucoup plus minutieuse et en particulier une étude approfondie du sol avant de fixer le tracé. Pendant l'exécution, si le véhicule robot repère le câble grâce à des signaux transmis dessus par les extrémités, le navire câblé doit se positionner avec une précision accrue et mesurer la position relative du robot par rapport à lui.

Depuis plus de cent ans que les câbles sous-marins existent, ce ne sont pas les principes d'exécution qui ont changé et en particulier les règles de manœuvre en cours de pose, de dragage, de relevage et lorsque le navire doit rester en station avec le câble en pendant jusqu'au fond depuis ses davières, mais ce sont les moyens de les mettre en œuvre qui ont suivi de très près les progrès des différentes techniques impliquées. Structure des navires, équipement, machines de pose et de relevage, auxiliaires pour manœuvrer ont évolué progressivement. En voici deux exemples : d'abord la souplesse de l'appareil propulsif qui

est resté de longues années du type machine alternative à vapeur pour passer directement dans les années 50 au diesel électrique avec toutes ses améliorations successives Ward-Leonard boucle à intensité constante, source alternative redressée par thyristors. Ensuite les propulseurs auxiliaires pour la manœuvre sans erre, gouvernail actif dans les années 50, propulseurs transversaux avant et arrière aujourd'hui.

Pour le sujet qui nous concerne plus particulièrement ici, nous allons suivre l'évolution historique jusqu'à la situation présente en commençant par la mesure de la profondeur et l'étude du fond, pour passer ensuite au positionnement du navire.

BATHYMETRIE ET ETUDE DU FOND

Au milieu du siècle dernier, il n'y avait pas d'autre moyen de mesurer la profondeur que le plomb de sonde et les premiers projets de câble transatlantique ont été établis avec ce seul moyen. Des sondages avec prélèvement d'échantillon du fond et mesure de température par thermomètre à renversement ont été effectués soit par des navires militaires affectés à des travaux hydrographiques, soit par les navires câblés eux-mêmes. L'étude d'un projet commençait comme aujourd'hui par l'examen des documents cartographiques existants, mais les renseignements donnés alors par ceux-ci concernant profondeur et relief du fond étaient très fragmentaires, il fallait donc des campagnes de sondage spéciales et les renseignements qu'elles ont apporté ont largement contribué à améliorer la connaissance du relief sous-marin. Ainsi tout fragmentaires qu'ils fussent, les renseignements recueillis en vue de la pose des premiers câbles transatlantiques ont permis de mettre en évidence ce que l'on a appelé le "plateau du télégraphe" entre l'Irlande et Terre-Neuve qui a servi de lit à de nombreux câbles télégraphiques. Il s'est avéré d'ailleurs depuis que le dit plateau était bien plus accidenté qu'on ne le pensait à l'origine.

Le pas fondamental dans le progrès du sondage se situe au lendemain de la première guerre mondiale avec l'arrivée des sondeurs acoustiques sonores et ultrasonores. Leur facilité d'utilisation en a rendu tout de suite l'usage généralisé pour des profondeurs allant jusqu'à 1000 ou 1500 m où ils donnaient une excellente précision dès le début et les navires câblés en ont été équipés, ainsi par exemple le navire français Ampère II mis en service en 1930.

Pour les profondeurs plus grandes, il a fallu longtemps encore se contenter de sondeurs sonores qui faisaient du point par point sans enregistrement continu. Sur le navire français Pierre Picard en 1945, il y avait un sondeur à fréquence musicale avec écoute au casque de l'écho qui donnait de bons résultats jusqu'à plus de 5000 m, mais l'outil le plus utilisé par les câblés français a été le sondeur Marti dans lequel le choc initial était l'impact d'une balle de fusil sur la surface de l'eau.

Ce moyen peut faire sourire aujourd'hui, mais son usage s'est poursuivi jusqu'à l'arrivée dans les années 50 de sondeurs ultrasonores pour grands fonds avec enregistrement. C'est ce type de sondeur avec les perfectionnements qu'il a subi depuis trente ans qui équipe aujourd'hui couramment tous les câblés, mais il s'agit de sondeur à faisceau étroit unique qui ne donne, avec précision certes, que la profondeur à la verticale du navire. Ceci est amplement suffisant pour la plupart des travaux de câble. Pour la

pose en particulier, comme le câble touche le fond plusieurs kilomètres en arrière, on connaît suffisamment à l'avance le profil pour réagir à temps à l'approche d'une pente ascendante où les suspensions sont les plus difficiles à éviter.

Mais bien sûr, cela ne suffit pas pour établir un projet de câble, surtout lorsqu'il faut ensouiller certaines portions. Comme il n'est pas question d'équiper un navire câblé pour faire ce travail, on fait aujourd'hui systématiquement appel aux océanographes. L'avant projet est établi grâce aux documents existants qui sont maintenant très détaillés et précis, puis des campagnes de reconnaissances spéciales sont commandées à des navires équipées des sondeurs multi faisceaux les plus récents et de l'ensemble des dispositifs pour les mettre en œuvre. C'est ainsi que les projets SEA ME WE 2 (Méditerranée Océan Indien) une campagne de 150 jours effectuée par trois navires d'IFREMER couvrant 200 000 km² produisant 700 cartes de grand format, utilisées pour établir le tracé définitif et suivre le travail pendant la pose.

POSITIONNEMENT DU NAVIRE CABLIER

Au début des câbles sous-marins, il n'y avait hors de la vue des cotes pas d'autre moyen que le point astronomique pour déterminer la position du navire. Mais, le temps couvert ou la brume empêchant fréquemment les observations, il fallait lors d'une pose se fier à l'estime entre deux points souvent éloignés et le tracé n'était donc pas toujours suivi avec précision. Il n'a pas été rare, lors de réparations ultérieures de trouver le câble à 5 MN et même parfois 10 MN plus au nord ou plus au sud que le tracé porté sur les documents de pose.

Par contre, on a très rapidement trouvé une méthode qui donne la vitesse sol du navire et permet un contrôle du déroulement du câble bien meilleur que par la tension, dont la lecture sur dynamomètre est instable et imprécise. En même temps que le câble, un fil tendu est posé appelé "fil sans mou" et le contrôle de pose se fait par comparaison de la vitesse câble et de la vitesse fil qui donne en principe la vitesse sol.

Pour les réparations, dès l'origine, il est apparu que le point astronomique était trop imprécis et trop variable entre deux observations à plus d'un jour d'intervalle pour pouvoir suivre correctement les évolutions du navire. On a donc été amené à utiliser la méthode de la bouée marque qui s'est perpétuée jusqu'à nos jours. Au début de l'opération une bouée est mouillée et soigneusement positionnée et sert de point de référence, tout se faisant ensuite par mesure du relèvement et de la distance de cette bouée.

Cette méthode, malgré sa lourdeur, a même été utilisée pour des poses un peu délicates pour lesquelles a été fait un balisage préalable.

Jusqu'à la seconde guerre mondiale, la bouée était munie d'un mat et d'un fanal son relèvement pris à l'alidade et sa distance mesurée au télémètre optique et ceci entraînait une perte de temps précieux, car il était impossible de travailler par temps de brume, or malheureusement qu'il dit brume dit généralement aussi temps calme donc maniable pour le navire câblé.

En 1945, le radar amène enfin dans ce domaine un progrès énorme. Son utilisation, combinée à celle du compas gyroscopique, a rapidement permis une lecture rapide sur un appareil unique et en permanence du relèvement de la

distance.

L'entre deux guerre n'a amené dans les moyens de repérage qu'un outil nouveau la radiogoniométrie qui a été largement utilisée sur les plateaux continentaux mais dont la précision devient insuffisante dès qu'on dépasse 100 MN des cotes. La première amélioration sensible se situe juste après la seconde guerre mondiale avec l'apparition des systèmes dits hyperboliques du type Decca, Rana ou Loran. Le Decca est aussi devenu l'outil numéro un dans la Manche, la Mer du Nord et les abords atlantiques du continent européen. Pour certaines poses, des chaînes temporaires ont même été installées. Le Loran, à part le type C en Méditerranée, n'a, par contre, vu sa précision moins bonne, été utilisé que comme moyen d'appoint.

Signalons également, dans les années 70 et pour certaines poses, l'utilisation de balises répondeuses mouillées sur le fond au préalable, mais ce procédé n'a pas donné de résultat significatif eu égard aux difficultés de sa mise en œuvre et a été rapidement abandonné.

Il faut d'ailleurs dire que ces années 70 ont enfin apporté au navire câblé le moyen permanent, précis et à couverture mondiale qu'ils attendaient depuis longtemps, le repérage par satellite. Dès que le système Transit a été ouvert à l'utilisation commerciale, les câblés en ont été équipés et ont suivi tous les progrès des appareils récepteurs, notamment le traitement des données destinées à faire l'estime entre deux passages de satellites et de corriger cette estime à chaque passage. Tous les autres moyens de repérage n'ont alors plus servi que d'appoint et vérification.

Le développement de ce système par satellite a été remarquable et nous sommes aujourd'hui à l'utilisation généralisée du système RPS, qui grâce au nombre de satellites mis en jeu et à la rapidité des calculs par ordinateur donne où que l'on soit en permanence une précision de l'ordre du mètre. Dans ces conditions, même la bouée marque n'est plus nécessaire et une pose peut se faire sans fil sans mou puisqu'on peut connaître la vitesse sol.

CONCLUSION

Aujourd'hui grâce aux progrès impressionnants de l'océanographie et aux reconnaissances approfondies que l'on peut demander aux navires spécialisés et grâce aux remarquables outils de travail utilisés par les navires câblés que sont le sondeur ultrasonore enregistreur de grand fond et surtout le système RPS de repérage par satellite, un câble sous-marin peut être assuré d'être bien posé sur le meilleur parcours, bien protégé et facilement repérable en cas de défaut éventuel. Il est très satisfaisant de constater que dans le domaine topographique les progrès ont été à la mesure de ceux qui ont permis une liaison sous-marine d'acheminer jusqu'à 50 000 conversations téléphoniques simultanées ou des données à très grande vitesse et des images animées, car il serait fort désagréable de poser dans des conditions imparfaites un outil de cette capacité.

VUES AERIENNES METRIQUES

Toutes échelles - Toutes émulsions : pour toutes applications

— Vues aériennes panoramiques —

Tous travaux photographiques de précision liés à la cartographie :
Agrandissement, réduction, modification, assemblage de plans - tous formats - tous supports.



AU SERVICE DES AMENAGEURS

670, rue Jean Perrin - Z.I. - 13851 AIX EN PROVENCE CEDEX 03

Téléphone : 42.60.05.45 - Télécopie : 42.24.26.04