

L'amplification sous marine, historique

Durant la manifestation du Village des Sciences aux Champs libres à Rennes où Armorhistel présentait une histoire des câbles sous-marins, plusieurs visiteurs nous ont posé des questions sur l'amplification : comment fonctionnent ces amplificateurs/régénérateurs immergés qui permettent cet exploit technologique de transmettre des signaux électriques ou optiques sur des milliers de kilomètres au fond des océans? Question très pertinente car l'absence de solutions techniques satisfaisantes a été durant de longues décennies un obstacle au transport de la voix dans les liaisons intercontinentales. L'objectif de cet article est de faire un point sur les techniques d'amplification utilisées dans l'histoire

L'amplification jusqu'à la fibre optique

La possibilité de construire des câbles sous-marins télégraphiques est liée à l'apparition dans les années 1840 d'une résine végétale originaire d'Asie, la gutta percha. Dans les premiers temps, pour télégraphier il n'y a pas de vrai besoin de système de type amplificateur. Au pire, pour obtenir un débit rapide, lorsqu'on exploite un Baudot par exemple, on profite de points d'amerrissage pour insérer un dispositif appelé relais-translateur qui retransmet automatiquement en relevant leur niveau, les impulsions électriques qu'il reçoit. C'est un peu l'ancêtre des répéteurs régénérateurs numériques. C'est le cas lors du contournement de l'Afrique.

Tout va changer avec l'arrivée du téléphone. La question du franchissement des mers et océans va vite se poser. Les câbles téléphoniques sous-marins ne sont pas substantiellement différents des câbles télégraphiques, ils utilisent aussi la gutta percha. Or celle-ci a des caractéristiques électriques qui donnent une forte capacité aux circuits isolés par ce moyen, donc un fort affaiblissement. Les communications ne peuvent s'établir que sur des distances assez courtes. La largeur de la Manche est dans ce cas et en 1891 une liaison téléphonique est posée entre Sangatte et Ste Margaret : on peut téléphoner de Paris à Londres et réciproquement.

La situation technique va connaître une évolution avec la méthode de réduction de l'affaiblissement des câbles (appelés à paires symétriques) par l'augmentation artificielle de la self des circuits téléphoniques. Cette adjonction revêt deux aspects soit adjonction de self localisée, c'est la pupinisation, soit une adjonction de self répartie par la pose autour d'un circuit d'un ruban métallique c'est le système Krarupt. Pose à travers la Manche, en 1910 d'un câble pupinisé par le British Post Office, suivi en 1911 d'un câble Krarupt par les PTT françaises. Avec la pose dans les années 1920 du réseau de câble souterrain en France, câbles pupinisés et amplifiés, en particulier le câble Paris Strasbourg mis en service en 1926, on va pouvoir établir des liaisons téléphoniques entre Londres et Berne, Berlin, ou Prague.

La constitution des supports va évoluer avec l'apparition de câbles à paires coaxiales et l'invention par ICI d'un nouvel isolant le polyéthylène (1933). En janvier 1931 est mis en service un câble coaxial sous-marin entre Key West et la Havane avec un système à courant porteurs 3+3, 28 KHz de bande passante, d'une longueur de 108,6 milles marins (Annales des PTT 1932 page 426 et 427) soit 201 km. Il n'est pas question d'amplification. Pas plus d'ailleurs que pour les câbles coaxiaux posés entre Jersey et Pirou en 1938 et 1940 avec 12 voies téléphoniques, ni pour les deux câbles coaxiaux posés en 1944 entre l'Angleterre, Swanage et Cherbourg (12 circuits) , Fermanville en fait., puis entre Sangatte et St Margareth, 3 câbles avec 60 circuits chacun.

A ce moment, pour assurer une liaison entre deux points, on utilise deux câbles un par sens de transmission. Les deux moyens utilisables sont soit comme ici deux supports distincts, chaque sens occupant la même bande passante, soit un seul support , les deux sens de transmission n'occupant pas la même bande passante. On verra que ces deux moyens seront utilisés au cours du temps.

L'amplification par tubes à vide

Ce qui s'oppose alors à l'utilisation d'amplificateur sous-marin, ce n'est pas une question de maîtrise la technique de l'amplification, les schémas d'amplificateurs étaient bien connus et maîtrisés depuis les années 1910 (aux EU 1915, en France 1917 Etc.), mais la fiabilité et la durée de vie des tubes à vide utilisés pour l'amplification. Il faut aussi réaliser un contenant étanche, résistant à la pression, pouvant contenir les composants et qui soit réparable. Les études vont commencer dès les années 1938/1939, au Royaume-Uni, aux États-Unis, en France, en Allemagne et au Japon. Dans ce domaine aussi, la guerre va perturber le développement technique donnant un coup de frein aux études menées dans les trois derniers pays cités. Dans les deux premiers pays cités, études et expérimentation

seront conduites pendant toute la guerre.

Pour faire court, je dirais seulement qu'un premier répéteur téléphonique est immergé en juin 1943 par les Anglais en vue d'étudier son vieillissement. Un second essai a lieu en 1946, puis un autre en 1951 montrant la nécessité de modifier la technique de pose et la constitution des câbles.

Les laboratoires Bell avaient des tubes en étude de vieillissement depuis la fin des années 30. Cependant, c'est en 1950 que le système sous-marin complet est prêt. Il est expérimenté entre Key West et La Havane, 220 Km, il utilise 4 répéteurs et fournit 24 circuits téléphoniques, l'étape suivante sera la traversée de l'Atlantique.

En France, après des débuts d'études (en 1938/1939) arrêtées par la guerre, des travaux sont conduits clandestinement dans un laboratoire de la CSF et les premiers tubes sont mis en test en 1943. Ce qui en 1946 conduit le CNET de création récente, à équiper le câble télégraphique Toulon Ajaccio d'un répéteur pour un essai de 6 mois. Expérience suivie en octobre 1950 par la pose d'une liaison à un répéteur de Cannes à Nice fournissant 4 circuits de bonne qualité. Cependant, malgré le succès de l'opération, le directeur des câbles sous-marins, Marcel Bayard, est écarté de son poste et traduit en cour de discipline budgétaire, pour « avoir commandé le câble sur des crédits d'entretien prévus pour la remise en état du réseau télégraphique » !

Tout cela nous amène en 1956 avec deux câbles posés dans l'atlantique nord entre Clarenville et Oban, un par sens de transmission fournissant 36 circuits, passé à 48 par une astuce technique, l'ensemble est appelé TAT1.

En 1959 le TAT2 identique au TAT 1 est mis en service entre Clarenville et Penmarch.

L'amplification par transistors

Au début des années 1960, Les capacités maximum atteintes avec les systèmes utilisant des tubes seront de 270 voies, 3 mhz de bande passante avec un pas d'amplification de 16,5 km. La solution viendra d'une part de la mise au point de nouveaux câbles coaxiaux (8,2/38,8 mm) et surtout de transistors spécifiquement destinés à cet usage. On atteindra tout d'abord 6mhz et finalement en 1970 on aura un système japonais à 10 mhz avec pas de 6,5 km. Les progrès se poursuivront et on finira par exemple en France (mais il y a des équivalents ailleurs) par un système Alcatel à 25 mhz de bande passante et 3440 circuits.

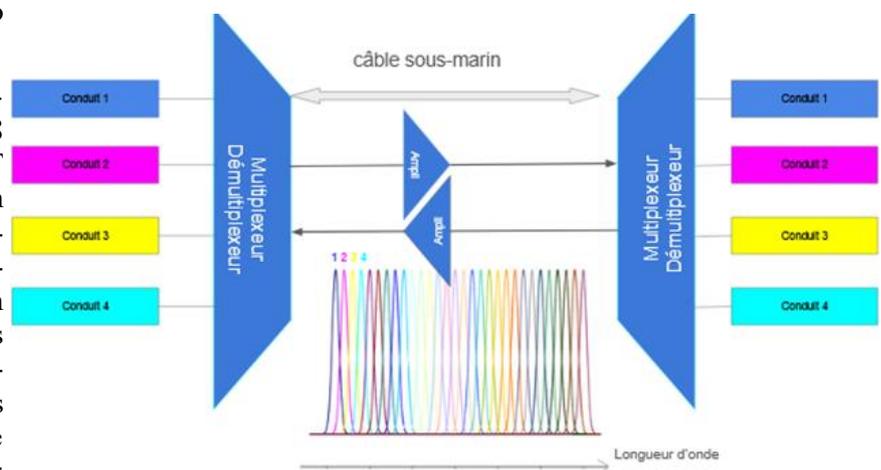
L'ensemble des problèmes techniques ont été résolus, le globe va se couvrir d'un réseau de câbles coaxiaux sous-marins qui attendra une longueur totale de 316 700 km, d'une capacité de plus en plus grande, je citerai le dernier transatlantique, le TAT 7 : Tuckerton Land's-End comportant 4246 circuits.

Mais la technique a évolué, place maintenant aux câbles à fibres optiques.

L'amplification pour les câbles à fibres optiques

Née dans les années 1960, la fibre optique commence à être effectivement utilisée en 1977 dans le réseau terrestre en utilisant les trois « fenêtres » du spectre où l'affaiblissement est acceptable, de l'ordre de 0,5 db/KM, c'est à dire 820, 1310 et 1550 nanomètres. Le BPO expérimente dès 1980 un premier câble sous-marin, qui permet d'identifier les progrès encore à faire en particulier dans la fiabilité des composants optoélectroniques, lasers et détecteurs. Une liaison Marseille Ajaccio est mise en service en 1987.

Concernant la traversée de l'Atlantique, la première liaison appelée TAT8 est mise en service en 1988 par ATT avec STC (anglais) et Submarcom (Alcatel). Il y a trois tronçons : Tuckerton point Y (ATT), point Y Wide-mouth (STC), Point Y Penmarch (Submarcom). Elle utilise trois paires de fibres optiques dans le tronçon commun, et deux paires de fibres dans les branches, exploitées dans la fenêtre 1310 nm avec des systèmes numériques

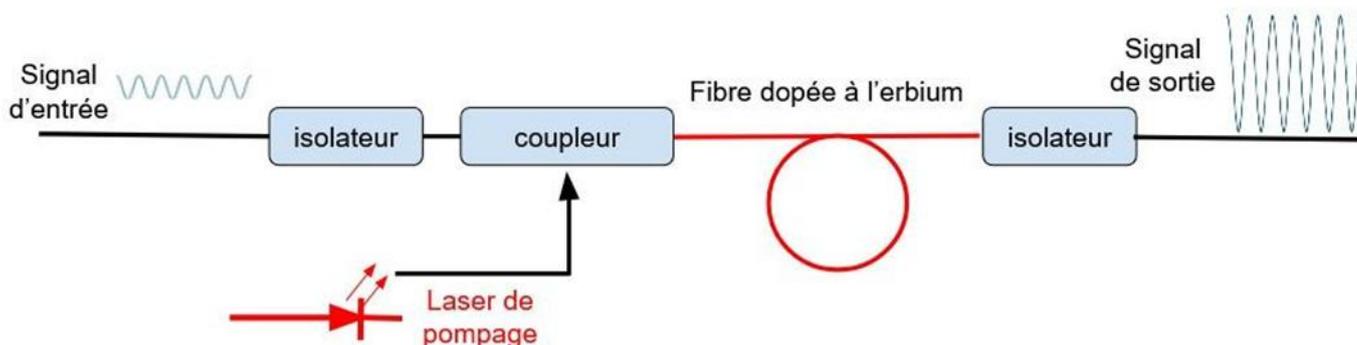


à 140 Mbits, qui commençaient à être largement déployés dans le réseau terrestre.

On utilise dans un premier temps, pour l'amplification du signal numérique, le principe des répéteurs régénérateurs terrestres qui imposent une conversion optique=> électrique puis électrique => optique, mais très rapidement, est mise au point puis généralisée une technique d'amplification dite "à pompage optique" ne nécessitant plus de passer en électrique.

Les multiplexeurs associés sont de type WDM (Wavelength Division Multiplexing): des faisceaux lumineux de différentes couleurs (longueurs d'ondes) sont modulés par des conduits numériques distincts. Les câbles peuvent contenir jusqu'à quelques dizaines de paires de fibres; on peut multiplexer sur une fibre jusqu'à cent conduits (et donc cent longueurs d'onde); chaque conduit peut atteindre le débit de 100 Gbits/sec. Le câble actuellement le plus performant atteint 300 Terabits/sec, soit environ 10 fois la totalité du trafic internet français!

Le codage en ligne est une combinaison de la modulation de phase et d'amplitude.



Bien que la perte de signal soit faible, il est cependant nécessaire de l'amplifier à intervalles réguliers, de 60 à 100 km). Contrairement aux premières liaisons numériques sur terre qui impliquent une conversion opto-électrique, les amplificateurs mis en œuvre amplifient directement le signal optique. Ces amplificateurs sont de type EDFA (Erbium-Doped Fiber Amplifier ou amplificateur à fibre dopée à l'Erbium)

La surveillance des océans: un nouvel usage crucial des câbles sous-marins

Pour terminer cette rétrospective, il faut mentionner un usage très récent mais qui va se généraliser sur les nouveaux câbles: la surveillance des océans. En effet, certains opérateurs équipent désormais les nouveaux câbles de capteurs qui permettent de collecter des données sur l'état des océans: ils mesurent la température, la pression, l'activité sismique et l'activité volcanique; les tsunamis sont vus en temps réel. Les câbles sous-marins sont donc essentiels non seulement pour les télécommunications, mais le deviennent aussi pour la protection de l'environnement et la sécurité des populations. Nous développerons ce thème dans un prochain numéro.

Le cœur de l'EDFA est une fibre optique spéciale, dopée avec des ions d'erbium. Ces ions ont la propriété d'absorber de la lumière à certaines longueurs d'onde spécifiques et d'émettre de la lumière à d'autres longueurs d'onde. On introduit dans la fibre un faisceau lumineux supplémentaire, appelé "pompe". Ce faisceau lumineux a une longueur d'onde spécifique qui excite les ions d'erbium et positionne les électrons sur un niveau élevé d'énergie. Lorsque l'onde lumineuse en entrée traverse la fibre dopée à l'erbium, les atomes se "désexcitent" en faisant chuter d'un niveau d'énergie les ions et en émettant une onde lumineuse amplifiée, avec une puissance accrue: c'est ce qu'on appelle l'émission stimulée.

Enfin, même si l'amplification est optique, ces amplificateurs sous-marins doivent être télé-alimentés électriquement pour fonctionner (alimentation du Laser de pompage, alimentation des composants); les câbles intègrent donc dans leur structure un conducteur électrique, permettant d'alimenter en série par une tension continue, l'ensemble des amplificateurs de la liaison sous-marine.

Ce déploiement des liaisons optiques a été une révolution car la technique de transmission optique a permis de franchir un gap considérable en terme de volume de données transmises. Environ 1,5 millions de kilomètres de câbles optiques ont été posés au fond des océans entre 1988 et 2024!

Pierre ARCANGELI et Jean URBAN