

*Télécommunications
par fibre optique*

Et la lumière révolutionna
les télécoms



Dodo Alexis Dealoue

Télécommunications par fibre optique

*Et la lumière révolutionna
les télécoms*



Editions EDILIVRE APARIS
Collection Universitaire
93200 Saint-Denis – 2011

www.edilivre.com

Edilivre Éditions APARIS

175, boulevard Anatole France – 93200 Saint-Denis

Tél. : 01 41 62 14 40 – Fax : 01 41 62 14 50 – mail :
actualite@edilivre.com

Tous droits de reproduction, d'adaptation et de traduction,
intégrale ou partielle réservés pour tous pays.

ISBN : 978-2-8121-5238-2

Dépôt légal : juin 2011

© Edilivre Éditions APARIS, 2011

DEDICACE

- A ma tendre épouse Togbo Bouka Lydie*
- A mes enfants qui lisent et relisent inlassablement mes innombrables manuscrits.*
- A mes 'Frères et Sœurs' de ZOUKOUGBEU*
- A tous mes collègues de Côte d'Ivoire Telecom et d'Orange Côte d'Ivoire*
- A tous les passionnés des Télécoms à travers le monde*

Je dédie cet ouvrage

PREFACE

Mon jeune frère et collègue m'a honoré en me demandant de préfacier son premier ouvrage dédié aux télécommunications. Qu'il écrive un livre pratique destiné aux professionnels et non professionnels des télécommunications, au sujet d'une matière aussi pointue et d'actualité que sont les câbles à fibre optique ne m'a pas étonné vu la curiosité d'esprit qu'il a toujours manifesté, le nez fourré dans les livres, en train de chercher à comprendre, à étudier et à concevoir des solutions autour des télécommunications. J'avoue que lorsqu'il m'a présenté son manuscrit et m'a demandé de lui faire plaisir en le préfaçant, j'ai eu des appréhensions relativement à la marge de manœuvre qu'il pourrait avoir pour innover sur cette matière largement entamée aujourd'hui dans le monde. Que va-t-il dire qui ne soit déjà publié ?

J'ai demandé à lire le manuscrit immédiatement. Heureuse coïncidence: en 1981, alors élève-ingénieur à l'École Polytechnique de Montréal (Canada), mon mémoire de fin de cycle d'ingénieur a justement porté sur la fibre optique, qui en était à ses tout débuts, avec pour sujet : « Transmission de données à grande vitesse sur pylônes THT de la Baie James à Montréal », commandé par Hydro-Québec Canada. Trouver les formules à cette époque était déjà très difficile, expliquer la fibre optique pouvait vous rendre chauve à force de tirer sur vos cheveux, et sa mise en œuvre pratique était un exercice dans lequel tous les St Thomas de l'époque ne se retrouvaient pas : voyez ici, dans ce manuscrit, avec quelles maestria et perspicacité Alexis, que j'ai plaisir à traiter de « tête chercheuse », un vrai fouineur, a mis à nu (c'est le cas de le dire) la fibre optique dans son explication et son utilisation pratique.

Différents « coups d'état » ont eu lieu dans les télécommunications, au cours des siècles, du point de vue évolution technologique, et Alexis en montre ici un exemple : la Fibre optique a été au câble de cuivre, ce que le cellulaire est aujourd'hui au fixe, ce que la commutation numérique est

aujourd'hui à la commutation analogique, ce que le Wi-Max est à l'ADSL etc.

Pour décrire ce média, mille ouvrages ne suffiront pas tant ce support de transmission a fait de notre planète terre un village où Noirs, Blancs, Jaunes, Rouges, riches, pauvres sont fédérés. En somme, les fibres optiques posées dans les océans, sous les chaussées, sur les pylônes électriques ont non seulement rapproché les hommes de cultures différentes mais ont construit une communauté, donnant un sens réel à la notion d'être vivant supérieur, à la civilisation des hommes.

J'ai parcouru le manuscrit avec attention et enthousiasme. Loin des grandes théories et formules mathématico-physiques à donner des migraines, Alexis nous présente de façon simple et claire l'usage de ce support extraordinaire en expliquant dans un langage accessible à tous, les notions importantes liées à l'histoire de la fibre optique, à sa fabrication et à son usage, principalement dans les télécommunications, en exposant les précautions à prendre lorsqu'on décide de bâtir un réseau de câbles à fibres optiques.

On ne peut pas dire que le Comité Nobel norvégien n'a pas eu le nez creux en distinguant Charles Kao, pionnier et inventeur de la fibre optique à utilisation télécom.

Cet ouvrage, je le conseille particulièrement à tous ceux et celles qui sont désireux d'apprendre à mieux connaître la fibre optique ou à l'utiliser au meilleur de ses capacités...

GNON L. Basile

CEO and Founder BCCA Networks & Technologies

Ancien DG de l'Agence des Télécommunication
de Côte d'Ivoire (ATCI)

Consultant International Telecom et NTIC,

Membre d'IEEE, USA

Sommaire

DEDICACE	5
PREFACE	7
INTRODUCTION / HISTORIQUE	15
CHAPITRE 1 – LA FIBRE OPTIQUE ET LE GUIDAGE DE LA LUMIERE	19
11. C’EST QUOI LA LUMIERE	19
111. La nature de la lumière	19
112. Le spectre lumineux	20
113 L’onde électromagnétique	20
12. DESCRIPTION DE LA FIBRE OPTIQUE	21
13. GUIDAGE DU FAISCEAU LUMINEUX	21
131. Indice de réfraction d’un milieu	21
132. Loi Snell-Descartes	22
133. Astuce du guidage	23
14. NOTIONS DE MODES	24
141. Définition de Mode	24
142. Fréquence normalisée	24
15. LES DIFFERENTS TYPES DE FIBRES OPTIQUES	25
151. Fibres optiques multi modes à sauts d’indice	25
152. Fibres optiques multi modes à gradients d’indice	26
153. Fibres optiques unimodales	27
154. Fibre active	27
16. COMPARAISON	28
161. Comparaison de la fibre optique et du fil de cuivre	28
162. Comparaison de fibres entre elles	28

17. APPLICATION DE LA FIBRE OPTIQUE AUTRE QUE LES TELECOMS.....	29
171. Médecine.....	29
172. Mesure	29
18. NORMALISATION UIT DES FIBRES OPTIQUES	30
CHAPITRE 2 – TECHNIQUES DE FABRICATION DE LA FIBRE OPTIQUE.....	31
21- LA PREFORME.....	31
22. LE TUBE EBAUCHE	32
23. LA FABRICATION DE LA GAINÉ OPTIQUE	33
24. LA FABRICATION DU CŒUR OPTIQUE	33
25. LE FIBRAGE	35
26. LE CABLE A FIBRE OPTIQUE	36
CHAPITRE 3 – TRANSMETTRE SUR LA FIBRE OPTIQUE	39
31. CHOIX DES LONGUEURS D’ONDE DE TRAVAIL.....	39
311. La diffusion de Rayleigh.	39
312. L’absorption.....	40
313. Choix des fenêtres de longueurs d’onde de travail	40
314. Expression de l’atténuation.....	41
32. ETUDES DE LA DISPERSION ET DE LA BANDE PASSANTE.....	42
321. Notion de dispersion	42
322. La dispersion intermodale.....	43
323. Interprétation du signe de la dispersion chromatique	45
324. Compensation de la dispersion chromatique le long d’une liaison.....	47
325. La dispersion de mode de polarisation (PMD)	47
33. CALCUL DE LA BANDE PASSANTE D’UNE LIAISON A FIBRE OPTIQUE.....	49
331. Expression générale	49
332. Bande passante des fibres multi modes à saut d’indice	50
333. Bande passante des fibres multi modes à gradient d’indice	50
334. Bande passante des fibres monomodes	50
335. Cas des débits numériques.....	51

336. Exemples de fiches techniques d'un fabricant de fibre optique	52
34. LES COMPOSANTS OPTIQUES.....	55
341. Les coupleurs optiques	55
342. Les connecteurs optiques.....	55
343. Les filtres	56
334. Les atténuateurs	56
235. Les isolateurs	56
35. LES EMETTEURS OPTIQUES	57
351. Les diodes électroluminescentes	57
352. Les Diodes Laser	58
353. Comparaison.....	58
354. Les Modulateurs	58
36. LES RECEPTEURS OPTIQUES	60
361. Rôle et caractéristiques du récepteur.....	60
362. Les photodiodes PIN	61
363. Les photodiodes à Avalanche.....	61
364. Les Démodulateurs.....	61
365. Les comparaisons des récepteurs	61
CHAPITRE 4 – TECHNIQUES DE MULTIPLEXAGE ET D'AMPLIFICATION	63
41. APERCU DES PRINCIPES DE MULTIPLEXAGES TRADITIONNELS	63
42. MULTIPLEXAGE EN LONGUEUR D'ONDE (xWDM).....	64
421. Principe.....	64
422. Bandes de travail	64
43. LES AMPLIFICATEURS OPTIQUES	65
431. Principe de l'amplification	65
432. Fibre dopée erbium ou Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)	65
333. Amplificateur de type RAMAN	67
434. Comparaison des deux types d'amplification	68
3.4 LES MULTIPLEXEURS OPTIQUES A INSERTION ET EXTRACTION (OADM) (Optical Add and Drop Multiplexer).....	69

CHAPITRE 5 – INGENIERIE D’UNE LIAISON A FIBRE OPTIQUE	71
51. METHODOLOGIE	71
511. Etape 1 : Au bureau, étude sommaire	71
512. Etape 2 : Préparation de la mission de survey (sur le terrain),	71
513. Etape 3 : Sur le terrain, correction des prévisions	72
514. Etape 4 : De retour au bureau, affinement des prévisions	72
515. Etape 5 : Terminer	72
516. Cas d’une liaison sous marine ou fluviale	73
52. BILAN D’UNE LIAISON A FIBRE OPTIQUE	74
521. Bilan énergétique ou de puissance.....	74
522. Bilan chromatique.....	75
53 MAINTENANCE ET MESURE	76
531. La maintenance	76
532. La réflectométrie ou OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)	77
533. Exemples de fiches techniques d’OTDR.....	79
534. Analyseur de spectre optique.....	80
535. Autres appareils intéressants.....	81
536. Le raccordement des fibres optiques	82
54. LES DIFFERENTES TECHNIQUES DE POSE DE LA FIBRE	84
541. Les techniques de pose	84
542. Les précautions à prendre	84
CHAPITRE 6 – RESEAUX A FIBRES OPTIQUES ET PERSPECTIVES	85
61 TOPOLOGIES USUELLES.....	85
62. QUELQUES GRANDS RESEAUX A FIBRE OPTIQUE EN AFRIQUE	86
63. CAS DU MONDE	87
64. PERSPECTIVES	89

HOMMAGE À



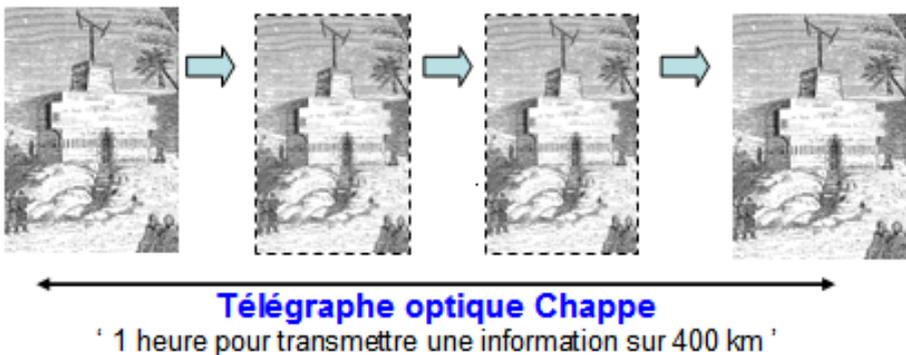
Pr. Charles Kuen KAO, Ingénieur
Inventeur de la Fibre Optique dédiée aux télécoms
Co-lauréat du Prix Nobel de Physiques 2009

« L'introduction de systèmes à fibres optiques révolutionnera les réseaux des communications. La faible atténuation de transmission et la grande capacité de la bande passante permettront aux signaux d'être transmis pour établir des communications sur de grandes distances avec peu ou sans amplification intermédiaire. »

INTRODUCTION / HISTORIQUE

Depuis la nuit des temps, les hommes ont toujours cherché à communiquer à distance. Des techniques diverses jalonnent le long parcours des inventions. Le tam-tam (onde sonore) par exemple a été beaucoup utilisé par les civilisations africaines comme vecteur d'informations.

En Europe, Claude Chappe invente en 1794 le télégraphe visuel. Grâce à l'utilisation d'un système de relais d'observateurs, la transmission des messages codés sous forme de **jeux de lumière** pouvait être communiquée en quelques minutes sur des distances importantes.



En 1854, John Tyndall, physicien irlandais démontre scientifiquement devant la Société Royale Britannique le principe de la réflexion totale interne de la lumière, battant ainsi en brèche l'idée que la lumière ne se déplace qu'en ligne droite. Sa découverte consistait à guider la lumière dans un jet d'eau sortant d'un trou percé à la base d'un réservoir. En injectant de la lumière dans ce jet, il a pu démontrer le principe qui est à la

base de la fibre optique actuelle : **guider la lumière dans un conduit transparent.**



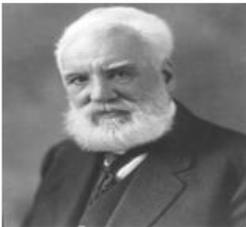
Physicien irlandais
John Tyndall



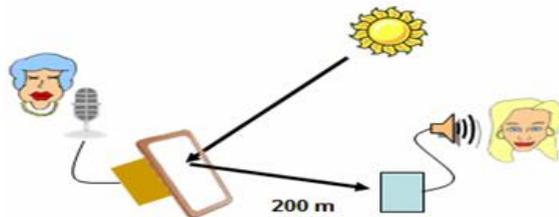
Expérience de canalisation
de la lumière dans l'eau

Mais on doit la première tentative de transmission optique de la voix humaine à Alexander Graham Bell, inventeur du téléphone. En effet, il a mis au point un appareil appelé photophone au cours des années 1880. Le principe est le suivant:

La voix humaine amplifiée par un microphone fait vibrer un miroir qui réfléchit la lumière du soleil. Quelque 200 m plus loin, un second miroir capte cette lumière pour activer un cristal de sélénium et reproduire le son transmis. Bien qu'opérationnelle en terrain découvert, cette invention n'a pu avoir une application industrielle du fait des aléas climatiques : pluie, neige et les obstacles.



Alexander Graham Bell



1^{ère} tentative de communication optique

Malgré ces déclics scientifiques, l'utilisation de la lumière comme support viable de transmission d'informations sur une longue distance n'a pu progresser. Les recherches s'étant heurtés entre autres aux difficultés de production de faisceaux lumineux fins et au support lui même. Il a fallu attendre 1960, année de la découverte du laser pour que les recherches s'accélérent.

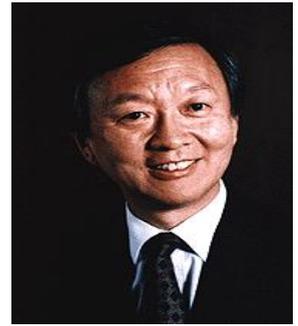
En 1964, **Charles Kuen Kao**, décrit dans un important document la possibilité d'utilisation du couple laser-fibre optique pour bâtir un système de communication longue distance à faible perte.

Trois scientifiques de la compagnie Corning Glass Works de New York, Robert Maurer, Peter Schultz et Donald Keck, produisirent en 1970 la première fibre optique avec un affaiblissement 20 dB/Km

Et depuis le premier réseau de Chicago (USA) en 1977 à nos jours, la fibre n'a cessé de s'améliorer en qualité (0,2 dB/Km) tout en s'imposant comme support de référence dans le monde des télécommunications longue distance.

Dans ce cours, nous décrirons la fibre, étudierons sa fabrication avant d'aborder dans un important chapitre les aspects de transmission proprement dits.

Les derniers chapitres aborderont l'ingénierie d'une liaison à fibre optique et les grands réseaux du monde sans oublier les perspectives.



Dr. Charles Kuen
Kao
1933

