Réseaux optiques de communications : physique et architecture

R. Boirat, M Rousseau

► To cite this version:

R. Boirat, M Rousseau. Réseaux optiques de communications : physique et architecture. Revue de Physique Appliquée, 1984, 19 (2), pp.81-86. 10.1051/rphysap:0198400190208100 . jpa-00245177

HAL Id: jpa-00245177

<https://hal.science/jpa-00245177>

Submitted on 1 Jan 1984

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Classification
Physics Abstracts
42.80 — 62.60

Réseaux optiques de communications : physique et architecture

R. Boirat (*) et M. Rousseau (**)

(*) CIT ALCATEL, B.P. 6, Nozay, 91620 La Ville du Bois, France

(**) CLTO, 35, rue Jean Jaurès, 95870 Bezons, France

(Reçu le 3 juin 1983, accepté le 12 août 1983)

Résumé. — Les propriétés avantageuses des fibres optiques sont intéressantes pour la constitution de réseaux reliant un grand nombre de postes et assurant des échanges d'information complexes.

Diverses architectures sont possibles, qui font appel à des éléments spécifiques, coupleurs, commutateurs, émetteurs, ... dont les solutions actuelles sont examinées et leurs limitations discutées.

Les performances ou les propriétés souhaitables pour ces diverses fonctions sont ensuite exprimées, en vue d'une plus large introduction des fibres optiques dans les réseaux.

Abstract. — The favourable characteristics of optical fibres are very attractive for forming networks connecting a large number of terminals and ensuring complex exchanges of information.

Varied architectures are possible and use specific components such as couplers, switches, etc. The existing technical solutions are examined and their limitations are discussed.

The performances and desirable characteristics of these components are given with the objective of a wider introduction of optical fibres in local area networks.

1. Introduction.

Les fibres optiques et les composants optoélectroniques présentent incontestablement un grand nombre d'avantages qui en font un support de choix pour des communications dans les conditions les plus diverses :

- faible affaiblissement et bilan énergétique intéressant, dans une gamme spectrale étendue,
- large bande passante,
- insensibilité aux rayonnements électromagnétiques, notamment aux parasites industriels,
- isolement galvanique,
- légèreté, ténuité,
- rayonnement extérieur nul,
- pas de transport d'énergie électrique.

Toutes ces propriétés sont particulièrement attractives pour des réseaux complexes interconnectant un nombre important de postes désirant indifféremment échanger des informations entre eux, installés dans des milieux industriels perturbés, éventuellement en atmosphère dangereuse, ou plus simplement dans des immeubles, des bureaux, des navires ou des avions.

L'exploitation, sur le terrain, des avantages des fibres optiques passe par la mise en place de structures de distribution des informations qui peuvent être

spécifiques de ce support — c'est le cas des répartitions autour d'un coupleur étoile — ou s'inspirer fortement des systèmes classiques sur paires de cuivre — c'est le cas des distributions en boucle ou en série. Dans l'un et l'autre cas, le travail de conception du système met en évidence la nécessité de disposer d'éléments généraux (fibres, connecteurs, composants optoélectroniques, ...) ou plus particuliers, de fabrication industrielle délicate (coupleurs intégrés, ...).

L'objet de cet exposé est précisément d'examiner les structures et les éléments constitutifs qui s'y rattachent. Ainsi après avoir décrit les architectures envisageables pour les réseaux de distribution à fibres optiques et analysé les liaisons individuelles qui les composent, l'accent est mis sur les éléments et composants fondamentaux développés ou restant à développer.

2. Architectures.

Selon le type et la quantité des échanges à assurer, le nombre et la répartition des postes à interconnecter, diverses configurations peuvent être envisagées : les réseaux maillés, en boucle, en arbre ou en étoile, les bus série ou les bus en étoile, ...

2.1. Les systèmes cherchant à exploiter les principales qualités de transmission des fibres optiques, comme les réseaux de distribution à large bande, sont généralement des réseaux étoilés : tous les abonnés sont reliés à un centre qui leur distribue les services demandés (Fig. 1).

Fig. 1. — Réseau étoile : chaque poste est relié à un même centre.

[Star network : every station is connected to the same centre.]

Les liaisons sont alors du type point-à-point. Les longueurs de fibres installées sont importantes mais cet inconvénient est le plus souvent compensé par la simplicité des échanges, généralement multiples, bidirectionnels et simultanés.

2.2. Dans le cas d'échanges plus complexes, comme dans la bureautique, dans une installation de contrôle industriel, un centre informatique, etc..., la situation est sensiblement différente.

La distribution « série » est généralement recherchée pour assurer une compatibilité avec les bus électriques actuels, déjà largement implantés et normalisés. On cherche ainsi à reconduire des procédures ayant fait l'objet de larges développements, également à exploiter les avantages de mise en œuvre plus facile et des possibilités d'extension du nombre d'abonnés. Les échanges se font la plupart du temps par paquets.

Le nombre et la distribution géographique des postes conduisent à des configurations un peu différentes utilisant des coupleurs spécifiques selon les cas. Les figures 2 à 5 illustrent les architectures principales et donnent leurs caractères dominants.

2.3. D'autres solutions sont évidemment possibles, bus bouclés (en « marguerite »), réseaux maillés, réseaux arbre/étoile, ..., qui ne diffèrent guère des précédents qu'en ce qui concerne la conduite, le contrôle et la sécurisation des échanges. Quelques références bibliographiques traitant des réseaux en général ou des cas particuliers sont donnés à la fin de l'article.

2.4. Les limites de telle ou telle configuration apparaissent sur ces figures :

— le réseau étoilé et le bus étoilé exigent une plus grande longueur totale de fibres,

— le bus série à coupleurs passifs ne peut associer qu'un faible nombre de postes,

Fig. 2. — Réseau série : — tous les messages traversent tous les postes, — un poste en panne met tout le réseau en panne.

[Serial network : — all the messages go through all the stations, — a failure of one station causes a general failure.]

Fig. 3. — Réseau bus série : — l'affaiblissement d'insertion des coupleurs limite le nombre de postes.

[Bus network : — the insertion loss of the couplers limits the number of stations.]

Fig. 4. — Réseau bus étoilé : — la panne d'un poste est sans conséquence pour les autres, — l'insertion du coupleur étoile limite moins le nombre de postes.

[Bus star network : — the failure of one station doesn't affect the others, — the insertion loss of the star coupler has less influence on the number of stations.]

Fig. 5. — Réseau bus série à coupleur actif/passif; l'affaiblissement d'insertion peut être nul : — association possible d'un très grand nombre de postes, — insertion des postes nouveaux au fur et à mesure des besoins.

[Bus network with active/passive couplers ; there can be no insertion loss : — possible association of a very large number of stations, — insertion of extra stations according to the needs.]

Fig. 6. — Coupleur passif achromatique : — simple, passif, — affaiblissement d'insertion : 2 à 3 dB, — directivité : — 10 à — 30 dB.

Coupleur à miroir partiel : ● aisément ajustable à la fabrication, ● simple sens (pour bus série en boucle), ● inhibition nécessaire du récepteur pendant l'émission locale.

[Achromatic passive coupler : — simple, passive, — insertion loss : 2 to 3 dB, — directivity : — 10 to — 30 dB.

Splitter : ● easily adjustable in the manufacturing process, ● one way (for loop network), ● necessary inhibition of the receiver during the local transmission.]

— le groupement d'un grand nombre de postes nécessite des coupleurs plus complexes partiellement actifs, etc...

2.5. Signalons enfin que, dès que la taille du réseau ou la quantité des échanges deviennent un peu importantes, plusieurs conséquences de la diversité des raccordements, des couplages, etc... entraînent certaines complications :

— les informations arrivant sur un récepteur en provenance des postes distincts ont des niveaux différents, exigeant par là un contrôle très rapide du gain du récepteur,

— les temps de propagation des informations sont aussi très variables selon les postes d'où elles proviennent, ce qui rend plus difficile la synchronisation des messages ; en particulier pour les bus série comportant des répéteurs-régénérateurs en ligne ou en redondance avec la ligne principale, le temps de propagation des circuits optoélectroniques peut être supérieur au temps de boucle autorisé dans les échanges maître-esclaves,

— ces temps sont souvent plus courts que la durée des messages : en cas de boucle une coupure « tampon » devra être ménagée pour éviter toute superposition de paquets, etc...

Fig. 7. — Coupleur passif chromatique : — insertion d'un filtre, transparent à une longueur d'onde, réfléchissant à une autre, — filtres ou réseau de diffraction pour un nombre plus élevé de longueurs d'onde.

[Chromatic passive coupler : — insertion of a filter, transparent at one wavelength, otherwise reflecting, — filters or grating for larger number of wavelengths.]

3. Liaisons de communications.

Nous ne nous étendrons pas sur les liaisons proprement dites, largement décrites et connues par ailleurs.

De nombreux types existent, pour satisfaire les exigences les plus variées :

— depuis les plus simples, à diode électroluminescente et détecteur PIN, qui conviennent bien pour des réseaux implantés dans des environnements difficiles (avionique, militaire, industrie, ...), à faible nombre de postes (8 pour un bus série à coupleurs passifs) et des débits faibles,

— jusqu'aux plus compliqués, à diode laser et détecteur à avalanche.

La fibre est évidemment un élément essentiel et on choisira

— une fibre à échelon d'indice pour les faibles débits d'informations,

— une fibre à gradient d'indice pour des bandes plus élevées ou des distances importantes,

— dans les fibres à échelon, des fibres de verre ou de silice.

La fibre 100/140 tend à se généraliser de préférence à la fibre 50/125. La fibre 85/125, à gradient d'indice, présente également certains avantages. Enfin, les fibres plastiques peuvent être considérées pour des distances très courtes, encore que leur tenue dans le

Fig. 8. — Relais mobile : — affaiblissement d'insertion faible, — commande extérieure, — échanges simples ou sécurisation, — pièces mobiles.

[Relay : — low insertion loss, — external control, — very simple network or back up, — moving parts.]

temps, surtout dans une gamme de températures étendue, ne soit pas encore satisfaisante.

Le connecteur est également un élément important de ces liaisons, qu'il ne faut pas oublier car il n'est généralement pas simple à monter et surtout c'est une cause de pertes que l'on ne peut négliger. Dans la pratique il n'est pas rare de subir des pertes de connexion de l'ordre de l'affaiblissement de la fibre elle-même.

4. Eléments spécifiques des réseaux.

4.1 COUPLAGE. — C'est la fonction essentielle à la constitution d'un réseau complexe, destinée à injecter l'information sur la ligne principale où à l'extraire.

Un coupleur peut être, pour un bus série :

- statique et passif, achromatique ou non (Figs. 6 et 7)
- un relais mobile ou statique (Fig. 10).

Pour un bus étoile, c'est un répartiteur passif (Fig. 10).

Dans les deux cas le coupleur peut être à la fois passif et actif. C'est un simple répéteur pour un répartiteur

Fig. 9. — Relais statique électro-optique : — statique, — couplage ajustable, — insertion avec pertes (supérieures à 6 dB), — propagation unimodale, — échanges simples.

[Electro optical switch : — static, — adjustable coupling, — high insertion loss (larger than 6 dB), — single mode propagation, — simple network.]

Fig. 10. — Répartiteur étoile : — statique, simple, — affaiblissement d'insertion globale faible (la répartition varie comme $\log N$ alors que l'insertion de coupleurs série varie comme N), — temps de propagation et affaiblissement de transmission pouvant être rendus voisins, — longueur de fibres plus grande.

[Star coupler : — static, simple, — low total insertion loss, — propagation times and transmission loss of every links can be made equal, respectively, — larger length of fibres.]

Fig. 11. — Coupleur actif/passif série : — la voie passive peut pallier la défaillance de la voie active, — la voie active permet une insertion d'affaiblissement équivalent nul, — retard passif difficile à obtenir.

[Active/passive coupler : — the passive way can compensate for the failure of the active way, — with the active way there is no insertion loss, — passive delay difficult to realize.]

étoile ; pour un coupleur série la voie active et la voie passive sont parallèles (Fig. 11).

L'analyse de ces différents cas montre que peu de solutions actuelles répondent à l'ensemble des exigences des systèmes envisagés :

— les coupleurs série entièrement passifs ont des affaiblissements d'insertion trop élevés, qui limitent le nombre de postes d'un réseau,

— un coupleur électro-optique a beaucoup de souplesse mais son affaiblissement d'insertion est trop élevé et il ne s'accommode que de fibres unimodales, tout au moins à l'extraction,

— un relais mobile n'est utilisable que dans un système simple, à débit limité et sa fiabilité est *a priori* moins bonne,

— un coupleur étoile passif est intéressant car il permet un plus grand nombre de postes ; mais il entraîne une plus grande longueur de fibres,

— le compromis du coupleur série à la fois actif et passif est intéressant car il permet un très grand nombre de postes et une extension très facile à tout moment, mais il est compliqué, surtout par suite du retard inévitable du circuit actif, qu'il faut compenser par un retard égal dans le circuit passif ; il faut noter que, comme nous l'avons indiqué plus haut, si la procédure exige un fonctionnement en mode question-réponse, il est nécessaire de réduire le temps de propagation dans le bus optique (essentiellement dans les circuits et les régénérateurs) au-dessous d'une valeur maximale admissible, un délai de réponse trop grand étant jugé par le poste maître comme une panne de l'équipement interrogé.

4.2 BIDIRECTIONNALITÉ. — Certains systèmes exigent cette fonction, naturellement réalisée dans un réseau bus série bouclé ou bus étoile.

Si la structure est différente, une solution consiste à doubler le réseau, une autre à réaliser des échanges duplex en utilisant une longueur d'onde par sens. Le coupleur est alors sélectif, grâce à des filtres par exemple, et nécessite une collimation/focalisation généralement cause d'un affaiblissement d'insertion

important. Le système exige aussi des émetteurs fonctionnant à des longueurs d'onde précises et stables.

4.3 FIBRES. — On utilise pratiquement toujours des fibres multimodales car les fibres unimodales, de très grande bande passante mais de couplage et raccordement difficiles, sont rarement justifiées. On recherche du reste des dimensions et des ouvertures numériques grandes pour faciliter les connexions et les couplages, donc gagner en bilan énergétique et en économie.

Cette utilisation peut toutefois causer quelques difficultés de constitution des systèmes : les caractéristiques de propagation, le couplage de modes surtout, font que les taux de couplage effectifs peuvent être différents selon les longueurs de liaisons, pouvant ainsi conduire à un mauvais fonctionnement du système.

5. Conclusion.

La diversité des systèmes et dispositifs évoqués ci-dessus montre bien les possibilités intéressantes de la technique optique pour des réseaux complexes de communications. Dès aujourd'hui des réseaux sont réalisés, qui profitent des avantages signalés de cette technique.

Mais on aimerait faire mieux. Aussi pour terminer, voulons-nous lancer quelques avis de recherches qui, s'ils aboutissaient, feraient faire des pas supplémentaires vers une introduction encore plus large des

fibres optiques dans les réseaux. Le tableau joint donne les sujets principaux qui méritent dans notre esprit une attention particulière.

Les souhaits exprimés dans ce tableau ne sont que qualitatifs car leur quantification dépend notablement du degré de pessimisme ou d'optimisme des personnes qui s'expriment. Donnons tout de même quelques exemples :

— un affaiblissement négligeable est de 0,1 dB (2,3%),

— on aimerait disposer de connecteurs pour fibres multimodales, de pertes d'insertion inférieures à 0,2 dB, valeur respectée pendant 5 ans, dont le montage ne prenne pas plus de 5 min et dont le prix n'excède pas 5 F (le connecteur n'est pas seul en cause, la fibre l'est également),

— on aimerait utiliser des diodes laser peu sensibles aux variations de température (longueur d'onde : moins de 0,04 nm/K ; seuil : moins de 1 %/K) et dont le courant de seuil et la pente varient peu avec l'âge du laser (moins de 10^{-6} %/heure),

— on aimerait démultiplexer des signaux de longueurs d'onde aussi voisines que 5 nm,

— etc...

Tous ces thèmes ne sont pas très nouveaux, ce sont les exigences qui sont plus fortes, pour des performances plus élevées. Espérons que cela ne rebutera pas les chercheurs et que les prochains Congrès nous révéleront des voies nouvelles et des résultats prometteurs. C'est tout ce que nous souhaitons.

WANTED

AVIS DE RECHERCHES

COUPLER

adjustable, chromatic or achromatic, very low loss and very low cross-talk.

SWITCH

static, achromatic, very low loss and very low coupling.

OPTICAL DELAY

tiny, easily adjustable, achromatic.

TRANSMITTERS

reliable, precise and stable wavelength.

CONNECTORS

fast assembly, stable and very low loss.

FIBRES

plastic, loss less than 15 dB/km around 0.8 μ m.

MULTIPLEXERS

lots of narrow transmitting windows, very low loss and very low cross-talk.

COUPLEUR

variable ou ajustable, chromatique ou achromatique, affaiblissement et diaphonie négligeables.

COMMUTEUR

statique, achromatique, affaiblissement et couplage négligeables.

RETARD OPTIQUE

très faible encombrement, variable ou ajustable aisément, achromatique.

EMETTEURS

fiabiles, longueurs d'onde précises et stables.

CONNECTEURS

montage rapide, affaiblissement stable et négligeable.

FIBRES

plastiques, d'affaiblissement inférieur à 15 dB/km dans la gamme 0,8 μ m.

MULTIPLIXEURS

fenêtres étroites et serrées, diaphonie et affaiblissement négligeables.

Devices used with multimode or single mode links.

Fonctions avec transmission multimodale ou unimodale.

Bibliographie

- [1] BARNOSKI, M. K., *Data Distribution Using Fiber Optics, Appl. Optics*, **14**, N° 11 (1975) 2571-2577.
 - [2] RAWSON, E. G., METCALFE, R. M., *Fibernet : Multimode Optical Fibers for Local Computer Networks, IEEE Trans. Commun. Com-26* N° 7 (1978) 983-990.
 - [3] UCHIDA T. et al., *Micro-Optic devices for Optical Communications*, 4^e ECOC, GENOVA Sept. 78, Papier VIII-1.
 - [4] ITO, K. et al., *Bidirectional Fibre Optic Loop, Structure Network, Electron. Lett.* **17**, N° 2 (1981) 84-86.
 - [5] CARRATT, M. et al., *Dérivateurs à fibres optiques OPTO 81* (Masson) 1981 p. 75-76.
 - [6] RICHARD, M. et al., *Substitution des fibres optiques aux paires de cuivre dans les bus de données. Article sur les problèmes de compatibilité électro-optique. Opto 81* (Masson) 1981, p. 116-117.
 - [7] ALBANESE, A., *Fail Safe Nodes for Lightguide Digital*
 - [8] RAWSON, E. G. et al., *Fibernet II : An active Star-Configured Fiber Optic Local Computer Network with Data Collision Sensing*, Topical Meeting on Optical Fiber Communication. Phoenix April 1982, Paper Tuff 1.
 - [9] PERSONICK, S. D., *Applications for Fibre Optics in Local Area Networks*, Conférence Européenne sur les Communications Optiques (Cannes 21-24 septembre 1982) 425-429.
 - [10] ALLAN, R., *Local Networks : Fiber Optics Gains Momentum, Electron. Design* (1983) 97-106.
 - [11] CHONG-WEI TSENG, BOR-UEI CHEN, *D-Net, A New Scheme for High Data Rate Optical Local Area Networks, IEEE J. Select. Areas Commun. SAC-1*, N° 3 (1983) 493-499.
-