

Contrôle-commande moderne de plusieurs tunnels autoroutiers

L'exemple de la Transjurane

Franco Boschetti, Mario Mirolo, Renzo Flamigni, Locarno

L'article décrit les grandes lignes du concept de contrôle-commande des 10 tunnels de la N 16 sur le territoire de la République et Canton du Jura.

Ce concept s'appuie sur une définition nouvelle des différents processus nécessaires à l'exploitation d'un tunnel autoroutier. Une fois définis, il les intègre dans une structure informatique répartie, apte à piloter le tout selon une hiérarchie strictement établie, culminant au centre d'exploitation et d'entretien situé à Delémont.

Pour assurer les communications un réseau numérique à intégration de services est prévu entre les tunnels et le centre.

F.B.

Introduction

Dans la République et Canton du Jura, la Transjurane, ou N 16, s'étire sur plus de 50 km, de la frontière française à la frontière bernoise. Sur ces 50 km il y a environ 30 km de tunnel ce qui n'est pas surprenant vu la géographie particulièrement mouvementée de la région. L'ensemble du tronçon est subdivisé en trois segments qui correspondent aux étapes de construction. Nous avons donc chronologiquement: la première étape (Porrentruy est – Delémont ouest) avec 3 tunnels, la deuxième étape (frontière française – Porrentruy est) avec 5 tunnels et la troisième étape (Delémont ouest – frontière bernoise) avec 2 tunnels.

Le mandat, attribué par la République et Canton du Jura à la SA bureau d'ingénieurs Maggia, ingénieurs conseils à Locarno, est de dégager un concept général pour l'organisation du contrôle-commande des installations électromécaniques réparties le long de la N 16 et ceci presque exclusivement dans les 10 tunnels. La structure de contrôle-commande à mettre en place doit être apte à «digérer» trois étapes de construction échelonnées sur une quinzaine d'années, donc assez souple pour intégrer dix tunnels, et leurs particularités, et quinze années de développement technologique, tout cela sans qu'elle ne devienne caduque. Nous avons travaillé très étroitement, d'une part avec le service des ponts et chaussées – section route nationale à Delémont – plus particulièrement avec les deux ingénieurs responsables respectivement des tunnels et des équipements électromécaniques et, d'autre part, avec l'office fédéral des routes (OFR) à Berne. Nous pouvons ainsi assurer que le concept mis sur pied respecte le point de vue cantonal tout en s'intégrant parfaitement à la conception fédérale.

Le fait de n'hériter aucune installation déjà existante, de partir pratiquement de zéro, nous a permis d'imaginer sans entrave un concept résolument moderne. C'est également le cas du point de vue humain: le canton s'équipe, l'infrastructure autoroutière n'existe pas encore, par conséquent

Franco Boschetti, chef du projet, Mario Mirolo et Renzo Flamigni, ingénieurs à la SA bureau d'ingénieurs Maggia, ingénieurs conseils, Locarno

le service d'exploitation non plus. D'où la possibilité pour les responsables cantonaux d'engager employés et techniciens selon l'outil à utiliser et non pas l'inverse, c'est-à-dire l'outil selon le personnel, ce qui est souvent le cas.

Description du concept

Les options de base

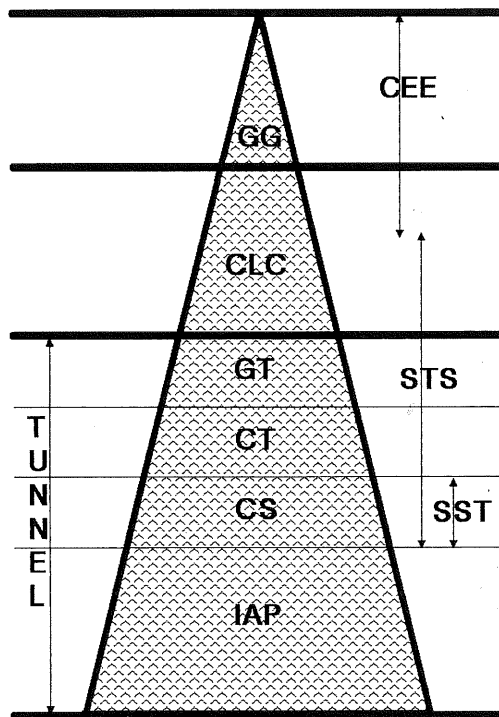
- Limite de fourniture: chaque tunnel peut être attribué pour la réalisation du projet à un mandataire différent. Ces bureaux d'ingénieurs doivent avoir une certaine marge de manœuvre. Cependant, comme on peut facilement le comprendre, les options prises auront des répercussions en amont et risqueront d'être contradictoires entre elles, d'un tunnel à l'autre. Le concept de contrôle-commande organise strictement l'environnement des tunnels jusqu'à, et y compris, l'interface «tunnel – monde extérieur». Il ne peut toutefois pas s'arrêter là et négliger totalement le contrôle-commande interne, propre aux tunnels, pour cela il s'immisce sous la forme d'une structure cadre à respecter dans tous les cas.
 - Pluralisme: une solution, très peu helvétique, serait de confier à une seule firme la réalisation de la tâche complète de contrôle-commande. Cette solution se heurte principalement à deux obstacles. Le premier est d'ordre économique: peut-on imaginer la même firme, présente pendant quinze ans, qui, après avoir équipé le premier tunnel, garderait des prix concurrentiels au gré des réalisations? Le deuxième est d'ordre technique: les différentes installations équipant les tunnels sont pour la plupart d'entre elles gérées par des automates industriels et aptes à communiquer, mais ce sont des produits hétérogènes, d'entreprises différentes.
- Il est plus sage, certainement, d'oublier l'utilisation d'un système de gestion complet, allant jusqu'aux actionneurs, qui se heurterait à la diversité des installations par sa technologie peut-être incompatible avec les différentes fournitures. Nous avons jugé plus souple l'utilisa-

Auf die 50 Kilometer der N 16 im Kanton Jura (Transjurane) von der französischen Grenze zum Kanton Bern entfallen ca. 30 Kilometer auf zehn Tunneln. Deren Steuerung und Überwachung erfolgt nach einem neuartigen Konzept, das sich auf eine Definition der Prozesse abstützt, die zum Betrieb von Autobahntunneln notwendig sind. Die somit definierten Prozesse sind in einem Datenerfassungs- und -verarbeitungssystem integriert, welches im Stande ist, die ganze Struktur nach einer strikten Hierarchie zu steuern. Die Betriebs- und Unterhalts-Zentrale in Delsberg steht in dieser Hierarchie an oberster Stelle. Die Verbindung zwischen dieser Zentrale und den einzelnen Tunneln wird durch ein digitales, integriertes Kommunikationsnetzwerk für Daten und Sprache garantiert.

E. Z.

tion des capacités de gestion et de communication des installations dans leur diversité, jusqu'au point d'interfaçage «tunnel-monde extérieur». Un système tout fait, déjà disponible sur le marché, qui ne laisserait aux entrepreneurs que le soin de fournir les actionneurs, imposerait ses propres contraintes.

PYRAMIDE HIERARCHIQUE DU CONTROLE-COMMANDE D'UN TUNNEL TYPE



GG = GESTION GENERALE	CEE = CENTRE D'ENTRETIEN ET D'EXPLOITATION
CLC = CONTROLE DE LA LIGNE DE COMMUNICATION	STS = STATION SECTEUR
GT = GESTION TUNNEL	SST = SOUS-STATION
CT = CONTROLEUR DE TETE	
CS = CONTROLEUR SUBORDONNE	
IAP = INSTALLATIONS ACTIVES/PASSIVES	

Figure 1

- Structure générale du contrôle-commande (voir fig. 1): de par la disposition géographique des processus à piloter, un système informatique réparti s'impose presque naturellement. A la différence d'un système réparti total, où chaque ordinateur du réseau jouit d'une autonomie et où aucun ne doit jouer de rôle particulier, nous avons fixé des rôles stricts et précis à chaque ordinateur ou groupe d'ordinateurs de façon à les faire travailler dans le cadre d'une pyramide hiérarchique. Cette structure donne une large place à la décentralisation de manière à garantir, de façon presque certaine, la continuité du fonctionnement de l'ensemble en cas de panne. Si la panne intervient à la base ce sont des fonctions opératives qui sont perdues, si, par contre, elle se produit au sommet ce sont des fonctions gestionnaires qui sont atteintes. Le système ne sera paralysé que par des pannes simultanées à tous les niveaux.

- Commande des processus: l'automate programmable de type industriel est l'élément de base constituant le réseau de contrôle-commande. Il est installé le plus près possible de l'action.
- Signaux: les signaux acquis et restitués sont digitaux et analogiques. A l'intérieur du système les signaux sont numériques et transmis en mode sériel.
- Support physique de transmission: en règle générale c'est la fibre optique qui sera utilisée.

Mode d'exploitation d'un tunnel type

Le tunnel type ne disposera pas de salle de commande locale, son exploitation ne nécessitera aucune personne sur place. Normalement le tunnel est autonome, surveillé depuis le centre d'exploitation et d'entretien (CEE) qui peut intervenir à tout moment et qui est renseigné en permanence sur l'état du tunnel. En cas d'entretien ou de mise en service un contrôle local est prévu. Nous avons les quatre types d'exploitation suivants:

- Commande «distance»
Toutes les commandes proviennent du CEE. Aucune intervention ne peut être effectuée au niveau tunnel, les données d'ajournement et les alarmes sont dirigées vers le CEE.
- Commande «local»
Les commandes du CEE sont bloquées. Les commandes manuelles sont possibles. Les données d'ajournement et les alarmes sont dirigées vers le CEE. Les installations concernées s'en tiennent à la dernière commande reçue du CEE.
- Commande locale «manuel»
Les commandes du CEE sont bloquées. Les commandes manuelles sont possibles. Les données d'ajournement et les alarmes sont dirigées vers le CEE.
- Commande locale «entretien»
Les commandes du CEE sont bloquées. Les commandes manuelles sont possibles. Les données d'ajournement et les alarmes ne sont plus dirigées vers le CEE.

Tâches

Par «tâches» nous entendons les installations qui assurent des fonctions spécifiques (processus). Du point de vue organisationnel les tâches sont indépendantes. Elles sont subdivisées en activités partielles de la manière suivante:

- activité de gestion: elle définit le cadre dans lequel opère ou doit opérer l'installation;
- activité de contrôle: elle exécute les commandes reçues de l'extérieur ou déterminées par l'activité de gestion;
- activité de régulation: elle lie à l'aide d'algorithmes définis, les capteurs et les actionneurs. Les valeurs de consigne sont déterminées par l'activité de gestion;
- activité de surveillance: elle surveille le fonctionnement des organes et des transmissions, elle annonce les alarmes et fournit les données nécessaires au maintien de l'efficacité de l'installation.

Les activités brièvement décrites ci-dessus, sont assurées par des automates programmables et ne sont pas toujours toutes présentes. Dans la configuration minimale nous retrouvons, dans tous les cas, les activités de gestion et de surveillance. Le nombre total d'activités partielles dépend, en définitive, du mode de fonctionnement de l'installation. Sont définies *actives* les installations qui peuvent recevoir

des commandes de l'extérieur, du CEE (par ex.: l'éclairage). Sont *passives* celles qui agissent sans commande de l'extérieur. Elles sont donc purement manuelles (par ex.: dans notre cas, la moyenne tension) ou totalement autonomes (par ex.: la détection incendie).

Comme nous l'avons vu plus haut, par installations effectuant des fonctions spécifiques, ou processus, nous entendons les différentes tâches nécessaires à l'exploitation d'un tunnel. Ce sont des tâches de sécurité ou purement techniques, sans lesquelles le tunnel ne pourrait pas être livré au trafic.

Nous avons dans un tunnel type, long de plus de 500 m, les tâches suivantes:

- *ventilation* (VEN):
tâche technique, de type actif, n'émet et ne reçoit que des données.
- *éclairage* (ECL):
tâche technique, de type actif, n'émet et ne reçoit que des données.
- *détection d'incendie* (DIN):
tâche de sécurité, de type passif, n'émet que des données.
- *signalisation routière* (SIR):
tâche de sécurité, de type actif, n'émet et ne reçoit que des données.
- *télésurveillance* (IVI):
tâche de sécurité, de type actif, émet des données et des images mobiles, reçoit des données.
- *réseau basse tension* (RBT):
tâche technique, de type passif, n'émet que des données.
- *moyenne tension* (MT):
tâche technique, de type passif, n'émet que des données.
- *services auxiliaires* (SA):
tâche technique, de type passif, n'émet que des données.
- *niches SOS* (SOS):
tâche hybride, à la fois technique et de sécurité, de type passif, n'émet que des données.
- *téléphone des routes nationales* (TRN):
tâche de sécurité, de type actif, émet des données et la parole, reçoit des données et la parole.

Structure d'une tâche type

La tâche dans son ensemble est le siège des quatre activités fondamentales décrites plus haut, grâce à cela elle peut piloter le processus qui lui est assigné. La tâche type est composée d'un réseau spécifique d'automates programmables reliés entre eux par des canaux de communication, indépendants des autres tâches, obéissant à la hiérarchie suivante:

- *Contrôleur de tête* (CT):
Le CT gère l'ensemble de la tâche dont il est responsable, c'est l'unique point de passage de l'information bidirectionnelle entre son supérieur, la gestion tunnel, et ses subordonnés. Le CT est installé dans la centrale principale, généralement à l'un des portails, appelée station secteur (STS).

- *Contrôleur subordonné* (CS):

Le CS exécute les ordres provenant du CT et lui transmet ses propres informations. Le CS peut également gérer, en cas de besoin, sa zone de façon autonome. Le CS est placé dans la station secteur et, si la tâche le requiert, dans chaque centrale supplémentaire, appelée sous-station (SST).

N'oublions pas qu'un tunnel est, par nature, équipé d'installations dispersées sur toute sa longueur. Pour des questions de distribution d'énergie, à partir d'une certaine longueur, il faut créer des centrales supplémentaires. Dans notre cas, le plus long des tunnels disposera au total de trois centrales, une à chaque portail et une au centre. Pour un petit tunnel (moins de 500 m) nous n'aurons qu'une centrale, donc, par tâche, un CT et un CS. Par contre, pour un long tunnel nous aurons, pour une tâche répartie sur toute la longueur, un CT et autant de CS qu'il y a de centrales.

En règle générale, le fonctionnement serait comparable à celui d'un muscle contrôlé localement, là où il est engagé par un élément d'intelligence décentralisé.

- *Communication interne*

Comme nous l'avons vu plus haut, la structure informatique est fortement répartie de par l'allure nettement linéaire du processus à piloter. Par conséquent une importance particulière doit être apportée au problème de la transmission des signaux.

Les automates sont munis de canaux pour la transmission numérique sérielle bidirectionnelle. L'organisation du réseau de communication ainsi que le choix des protocoles de transmission sont libres, laissés à la responsabilité des différents mandataires. Par contre le support physique pour le transport des signaux est spécifié, il s'agit dans tous les cas de la fibre optique.

Structure d'un tunnel type

(voir fig. 2)

Le tunnel est la zone géographique groupant toutes les tâches; pour ce faire, chaque tunnel dispose d'une unité programmable appelée «gestion tunnel» (GT) située en station secteur (STS). La GT assure, d'une part, la bonne marche de toutes les tâches présentes en établissant les communications intertâches par tunnel et en assurant le passage bidirectionnelle de l'information entre son supérieur, la gestion générale (GG) au CEE, et ses subordonnés, les CT. D'autre part, bien que soumise à la gestion générale, elle assure d'une façon autonome la gestion du tunnel et peut, en l'absence accidentelle de communication avec la gestion générale, assurer d'elle-même l'exploitation du tunnel, les derniers scénarios reçus restant actifs. Il n'est pas prévu d'équiper la GT d'un système de communication homme-machine (CHM) bien que la possibilité existe, car c'est au niveau des contrôleurs de tête, donc des tâches, que la CHM a lieu et ceci sans requérir un local particulier. Pour les mises en service ou en cas de panne, un équipement de CHM mobile est à disposition et peut se brancher rapidement à la GT.

STRUCTURE DES TRANSMISSIONS

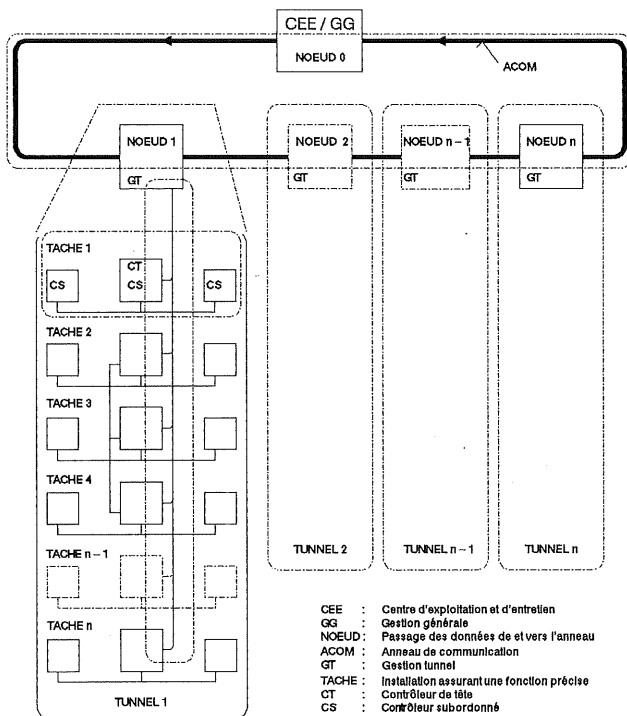


Figure 2

- Communication vers les tâches

La GT communique avec les CT par l'intermédiaire d'un réseau étoilé. Il lui faut donc au minimum autant de canaux de transmission numérique sériele bidirectionnelle que de CT. Dans ce cas l'interface de transmission est fixé, il s'agit de RS232-C. Le support physique de transmission des signaux n'est plus exclusivement la fibre optique mais, les CT et la GT étant dans le même local, une liaison métallique suffira.

- Redondance

En cas de panne de transmission vers les tâches, les installations devant réagir en cas d'incendie (VEN, ECL, SIR, IVI) reçoivent l'alarme par l'intermédiaire d'une structure de secours.

Il s'agit en pratique d'une ligne de transmission parallèle sur laquelle la tâche détection incendie (DIN) émet des signaux digitaux en cas d'alarme. Ces signaux ne sont pris en considération, par les tâches concernées, que si le circuit normal de transmission GT - CT ne transmet plus.

- Communication vers le CEE

Pour communiquer vers l'amont, la GT doit s'introduire sur le réseau privé de transmission prévu par l'intermédiaire d'un nœud. Chaque tunnel est donc rattaché à la gestion générale par un nœud exclusivement. Ceci nous donne pour chaque tunnel une configuration qui a l'allure d'une grappe, ce qui procure beaucoup d'avantages. En effet, l'interface «tunnel-mode extérieur» est, de cette façon, bien défini et facilement contrôlable. Au gré des mises en service ou en cas de panne, le tunnel est simplement déconnecté sans répercussion sur les autres tunnels.

Enfin, comme sécurité supplémentaire, chaque nœud doit avoir la possibilité d'être raccordé, en cas de besoin, au réseau public PTT pour la transmission par paquet X25.

Anneau de communication

Pour pouvoir transmettre les signaux du centre d'exploitation et d'entretien vers les dix tunnels prévus, et inversement, il faut un système de transmission dont la première des qualités soit la fiabilité. Fiabilité dans les lignes de transmission mais également dans le mode de codage et de transmission des signaux afin d'avoir le plus petit taux d'erreurs dans les messages.

- Pour la structure mécanique du réseau de transmission nous avons opté pour une configuration en boucle, chaque nœud se trouve sur l'anneau de communication (ACOM) et en fait partie. L'anneau est constitué de deux câbles placés dans des tubes le long des deux côtés de l'autoroute. On le voit, il faut 4 ruptures pour isoler un nœud, dans le cas contraire, c'est le nœud qui commutera sur la voie saine.
- Le support physique des lignes de transmission sera la fibre optique.
- Comme nous l'avons déjà dit, les signaux auxquels nous avons à faire sont numériques, c'est le signal de prédilection de la fibre optique.
- Le protocole de transmission sera du type «réseau de transmission numérique à intégration de service».

La finalité - il faut bien parler de finalité car dans le domaine des réseaux de transmission la situation est en pleine évolution - est de créer un réseau privé de transmission numérique à intégration de service (RNIS) qui permettra non seulement d'acheminer les données et la téléphonie, comme prévu au stade actuel du projet, mais également les images mobiles à un prix raisonnable.

Remarque: pour l'instant l'ACOM achemine sous forme numérique toutes les données et la téléphonie spécifiques à la tâche TRN; le signal vidéo de la tâche IVI est bien numérisé et acheminé au CEE, mais par câble à fibre optique séparé.

Centre d'exploitation et d'entretien

Le centre d'exploitation et d'entretien (CEE) sera situé à la jonction Delémont ouest, il abritera les services techniques et la police routière. Chaque service disposera d'une salle de commande avec tout l'équipement nécessaire à la communication homme-machine.

Le CEE constitue le nœud zéro de l'ACOM et est le siège de la gestion générale (GG), élément situé au sommet de la pyramide hiérarchique. La GG n'est plus un automate programmable mais un véritable ordinateur de gestion. Il communiquera avec les appareils périphériques: console de commande, terminal, synoptique, PC, mémoire, imprimante, display, etc. ... grâce à un réseau local «Ethernet» selon IEEE 802.3.

L'ordinateur de gestion générale sera doublé d'un deuxième de même type, placé en «hot standby» et capable de reprendre la gestion générale au moindre signe de défaillance du premier.

**MODELE DE REFERENCE
I.S.O. / O.S.I.**

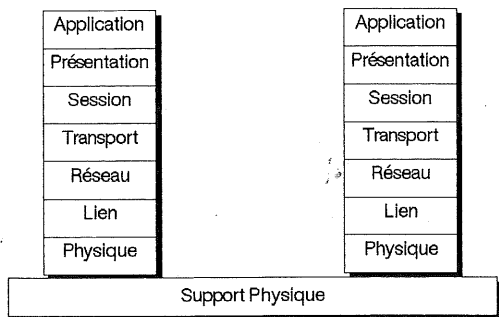


Figure 3

Caractéristiques techniques

Les paragraphes suivants nous permettront de définir les différents canaux et protocoles qui seront utilisés dans le cadre du système de communication du contrôle-commande de la N 16. Nous nous réservons le droit d'adapter, à tous moments, les définitions à l'évolution des techniques de transmission et, par conséquent, aux normes publiées. L'architecture des réseaux de communication (voir fig. 3) est basée sur le système à sept niveaux OSI (Open System Interconnection) défini par l'ISO (International Standard Organisation).

Canal de communication CS – CT

transmission: mode sériel
 support physique: pour 1 plus grand que 15 m, en fibre optique, du type monomode
 pour 1 plus petit que 15 m, en câble métallique
 protocole: dans ce cas particulier, le choix est laissé aux différents mandataires.

Canal de communication CT – CT

transmission: mode parallèle
 support physique: câble métallique
 signal: digital, émis par des contacts libres de potentiel
 code: binaire
 remarque: il s'agit d'une liaison de secours exceptionnelle, n'agissant qu'en cas de panne de la liaison normale CT – GT et affectant 5 tâches

Canal de communication CT – GT

transmission: mode sériel
 support physique: câble métallique
 canal: asynchrone RS 232-C
 prise V24/V28 – V21/V35
 baud rate 4800–9600–19200 Baud
 parity none, even, odd
 protocole: du type BSC (Binary Synchronous Communications)

Canal de communication GT – Nœud

transmission: mode sériel
 support physique: câble métallique
 canal: asynchrone RS 232-C
 prise V24/V28
 baud rate 9600–19200 Baud
 parity even, odd

protocole: du type BSC (Binary Synchronous Communications)
 remarque: afin de rester uniforme nous utilisons le même protocole, donc le même interface que pour la communication CT – GT

Canal de communication Nœud – Nœud

réseau: RNIS avec recherche automatique de parcours alternatif au niveau des nœuds
 support physique: fibre optique
 protocole: défini par le fournisseur

Canal de communication GG – Nœud

transmission: mode sériel
 support physique: câble métallique
 canal: asynchrone RS 232-C
 prise V24/V28
 baud rate 9600–19200 Baud
 parity even, odd
 protocole: du type BSC (Binary Synchronous Communications)
 remarque: chaque tunnel (nœud) disposera d'un canal

GLOSSAIRE	
Contrôle commande de la N16	
CEE	Centre d'exploitation et d'entretien (Noeud 0) -Centre nerveux N16 avec salle de commande "police" et "technique"
STS	Station secteur -Contrôle tous les tunnels de la N16, organise les communications
SST	Sous-station -Station principale du système CC, il y en a une par tunnel.
GG	Gestion générale -se trouve au CEE
GT	Gestion tunnel (Noeuds 1...n) -Contrôle d'un tunnel, de toutes ses installations et communique avec la GG, se trouve en STS
CT	Contrôleur de tête -gère une installation ou un regroupement d'installations dans le cadre d'un tunnel, il communique avec GT, se trouve en STS
CS	Contrôleur subordonné -gère une partie d'installation, il communique avec CT, se trouve en STS et en SST
ACOM	Anneau de communication
CLC	Contrôle de la ligne de communication
NOEUD	Passage des données de et vers l'anneau de communication
CHM	Communication homme-machine
T	Tâche, synonyme d'installation, d'équipement
IAP	Installations actives/passives
VEN	Ventilation
ECL	Eclairage
DIN	Détection incendie
SIR	Signalisation routière
RBT	Réseaux basse tension
MT	Moyenne tension
SA	Services auxiliaires
TRN	Téléphone des routes nationales
IVI	Installation vidéo
CCITT	Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique
RNIS	Réseau numérique à intégration de services
ISDN	Integrated Services Digital Network
BSC	Binary Synchronous Communications
ISO	International Standard Organisation
OSI	Open Systems Interconnection

Bibliographie

- P.G. Fontollet, «Systèmes de télécommunications» volume XVIII du traité d'électricité, Georgi, 1983
- M.D. Seyer, «L'interface RS-232», Masson
- P. Millet, «Transmission et réseaux locaux», Masson
- R.J. Deasington, «X25 Protocoles pour réseaux à commutation de paquets», Masson
- CCITT – Yellow Books, Volumes VIII 1 et VIII 2, ITU Genève
- La Recherche, numéro spécial, no. 204 novembre 1988, «Les réseaux d'ordinateurs» de Roland Dubois et Christine Brésillon, page 1396
- La Recherche, numéro spécial, no. 204 novembre 1988, «Les systèmes informatiques répartis» de Jean Pierre Verjus, page 1386