



**Dominique Paret**

# **Le Bus CAN**

## **Applications**

**CAL, CANopen,  
DeviceNet, OSEK, SDS...**

# TABLE DES MATIÈRES

---

INTRODUCTION - LE CAN A DÉJÀ FÊTÉ SES DIX ANS ! .....	1
Le concept CAN en deux mots .....	1
Le parcours du CAN .....	2
Le marché du CAN .....	3
Le marché Automobile .....	3
Le marché de l'automatisme industriel .....	3
Couches applicatives et organismes de supports .....	4

---

## **PARTIE 1**

### **COMMUNICATION ET MODÈLE**

---

CHAPITRE 1 - COMMUNICATION ET MODÈLE .....	7
1.1 Le modèle ISO/OSI .....	8
1.2 Architecture des couches .....	10
1.2.1 Couche 0 – médium .....	10
1.2.2 Couche 1 – physique : Physical Layer (PL) .....	11
1.2.3 Couche 2 – liaison de données : Data Link Layer (DLL) .	11
1.2.4 Couche 3 – réseau .....	13
1.2.5 Couche 4 – transport .....	14
1.2.6 Couche 5 – session .....	14
1.2.7 Couche 6 – présentation .....	15

1.2.8	Couche 7 – application	15
1.2.9	Les couches au-dessus des nuages	16
1.2.10	Couche (8) – Device Profiles	17
1.2.11	Couche (7 1/2) – Communication Profile	17
1.3	Une autre vue du modèle ISO/OSI	18
1.3.1	Le point de vue utilisateur	18
1.3.2	Le point de vue du transporteur	18
1.3.3	Couche objet et couche transport	18

## PARTIE 2

### RAPPEL DU PROTOCOLE CAN

CHAPITRE 2 - RAPPEL DU PROTOCOLE CAN ET DE SES PARTICULARITÉS		23
2.1	Remarque préliminaire à la seconde partie	23
2.1.1	Pourquoi effectuer un rappel du protocole ?	23
2.2	Les grandes définitions	24
2.2.1	Propriétés du CAN et vocabulaire spécifique	24
2.3	Les grands principes de la communication	30
2.3.1	Les différentes trames de communication du CAN	30
2.3.2	Le bit CAN	30
2.4	Le CAN 2.0 A – format standard	31
2.4.1	Trame de données	31
2.4.2	Début de trame	32
2.4.3	Champ d'arbitrage	32
2.4.4	Champ de commande	32
2.4.5	Champ de données	33
2.4.6	Champ de CRC (Cyclic Redundancy Code : code à redondance cyclique)	33
2.4.7	Champ d'acquiescement	33
2.4.8	Fin de trame de données	33
2.4.9	Inter-trame	34

2.4.10	Quelques remarques très importantes .....	34
2.4.11	Trame de requête de données .....	35
2.5	Détection et traitement des erreurs de transmission .....	36
2.5.1	Les différentes sortes d'erreurs pouvant se produire ...	37
2.5.2	Notions de bulletin de santé d'un réseau .....	38
2.5.3	Mécanisme du traitement des erreurs de confinement .	38
2.5.4	Signalisation des erreurs .....	43
2.5.5	Recouvrement des erreurs .....	47
2.5.6	Validité des messages transmis .....	47
2.5.7	Sleep Mode et Wake-Up .....	48
2.6	Le CAN 2.0 B – format étendu .....	48
2.6.1	Formats de trames de communication .....	49
2.6.2	Identificateurs et champ d'arbitrage .....	49
2.6.3	Le champ de commande .....	50
2.6.4	Obligations d'un contrôleur CAN 2.0 B .....	50
2.6.5	Compatibilités CAN 2.0 A et CAN 2.0 B .....	50
2.7	La couche physique CAN .....	51
2.7.1	Qualités fondamentales et spécifiques que doit posséder le support physique .....	51
2.7.2	Architecture du bit CAN .....	51
2.7.3	Architecture du Nominal Bit Time .....	55
2.7.4	Détermination des valeurs des segments du Nominal Bit Time .....	56
2.7.5	Valeur du segment de synchronisation .....	56
2.7.6	Valeur du segment de propagation .....	56
2.7.7	Valeurs des segments de buffers de phase 1 et 2 .....	64
2.7.8	Incidences de la précision, dérives et tolérances des fréquences des oscillateurs .....	69
2.7.9	En guise de conclusion .....	70
2.7.10	Débit binaire du réseau (Bit Rate) .....	71
2.7.11	Temps de latence .....	73
2.7.12	Exemple de synthèse .....	74
2.7.13	Qualités et limites des couches 1 et 2 du protocole CAN	75

<hr/>	
CHAPITRE 3 - RETOUR AU PROTOCOLE CAN ET AU MODÈLE ISO	79
<hr/>	
3.1 Imbrication du protocole CAN et du modèle ISO/OSI	79
3.1.1 Le document de référence Bosch et le modèle ISO/OSI	80
3.1.2 Les documents CAN officiels ISO et le modèle ISO/OSI	80
3.1.3 Le pourquoi de l'absence des couches 3 à 6 du modèle ISO/OSI dans le CAN	81
3.2 Notion « d'objet CAN »	82
3.2.1 Entête de trame	83
3.2.2 Champ de données	85
3.2.3 Quelques remarques	85
3.3 Imbrication des composants CAN et du modèle ISO/OSI	85
3.3.1 Découpage fonctionnel des composants CAN dans un système	86
3.3.2 Les différentes possibilités d'implémentation du protocole CAN	87
3.4 Possibilités d'enrichissement du protocole CAN par les composants	90
3.4.1 Au niveau de la couche 2 de communication de données	91
3.4.2 Au niveau des couches 0 – médium et 1 – physique	93
En conclusion	96

## **PARTIE 3**

### **APPLICATIONS CAN EN RÉSEAU ET PROBLÈMES SOULEVÉS**

<hr/>	
CHAPITRE 4 - LES APPLICATIONS BASÉES SUR DES RÉSEaux CAN	99
<hr/>	
4.1 Les applications industrielles	99
4.2 Les applications automobiles	100

CHAPITRE 3 - RETOUR AU PROTOCOLE CAN ET AU MODÈLE ISO . . . .	79
3.1 Imbrication du protocole CAN et du modèle ISO/OSI . . . . .	79
3.1.1 Le document de référence Bosch et le modèle ISO/OSI . . . . .	80
3.1.2 Les documents CAN officiels ISO et le modèle ISO/OSI . . . . .	80
3.1.3 Le pourquoi de l'absence des couches 3 à 6 du modèle ISO/OSI dans le CAN . . . . .	81
3.2 Notion « d'objet CAN » . . . . .	82
3.2.1 Entête de trame . . . . .	83
3.2.2 Champ de données . . . . .	83
3.2.3 Quelques remarques . . . . .	83
3.3 Imbrication des composants CAN et du modèle ISO/OSI . . . . .	83
3.3.1 Découpage fonctionnel des composants CAN dans un système . . . . .	84
3.3.2 Les différentes possibilités d'implémentation du protocole CAN . . . . .	87
3.4 Possibilités d'enrichissement du protocole CAN par les composants . . . . .	90
3.4.1 Au niveau de la couche 2 de communication de données . . . . .	91
3.4.2 Au niveau des couches 0 – médium et 1 – physique . . . . .	91
En conclusion . . . . .	91

## **PARTIE 3**

### **APPLICATIONS CAN EN RÉSEAU ET PROBLÈMES SOULEVÉS**

CHAPITRE 4 - LES APPLICATIONS BASÉES SUR DES RÉSEAUX CAN . . . . .	91
4.1 Les applications industrielles . . . . .	91
4.2 Les applications automobiles . . . . .	101

6.3.2	Remarques importantes concernant la présentation des couches . . . . .	138
-------	--	-----

---

## CHAPITRE 7 - CAL/CAN APPLICATION LAYER . . . . . 139

---

7.1	CAL en quelques mots . . . . .	141
7.1.1	Le cœur des CAL . . . . .	142
7.1.2	Conclusion concernant les CAL . . . . .	145
7.2	CMS-CAN based Message Specification . . . . .	147
7.2.1	CMS, langage standard de modélisation pour applications distribuées . . . . .	147
7.2.2	Les objets CMS . . . . .	147
7.3	NMT – Network Management . . . . .	154
7.3.1	NMT ou la coordination et supervision d'applications distribuées . . . . .	154
	<i>Le maître et les esclaves NMT</i> . . . . .	155
7.3.2	Les services NMT . . . . .	156
7.3.3	Les objets NMT . . . . .	157
7.3.4	Les classes de réseau CAL . . . . .	158
7.3.5	Initialisation du réseau . . . . .	159
7.4	DBT – (identifier) DistriBuTor . . . . .	160
7.4.1	Méthode d'attribution des COB ID . . . . .	162
7.5	LMT – Layer Management . . . . .	166
7.6	LME-Layer Management Entity . . . . .	167
7.7	Couche physique du CAL . . . . .	167
7.7.1	Médium et connecteurs . . . . .	167
7.7.2	Nominal bit time et position du point d'échantillonnage . . . . .	169
7.8	Implémentations logicielles d'applications basées sur CAL . . . . .	170
7.8.1	Exemple d'outils d'implémentation logicielle . . . . .	170

---

## CHAPITRE 8 - CANOPEN . . . . . 173

---

8.1	Objectif de CANopen . . . . .	173
8.2	Relations entre CANopen et CAL . . . . .	174
8.3	Architecture de CANopen . . . . .	175
8.3.1	Le modèle de référence de communication de CANopen . . . . .	175

8.3.2	CANopen Communication Profile .....	177
8.3.3	CANopen Device Profile .....	178
8.3.4	En conclusion .....	178
8.4	Le modèle de communication de CANopen .....	179
8.4.1	Services et Process Data Object-SDO et PDO .....	179
8.4.2	Les objets de communication prédéfinis de CANopen ..	183
8.5	Administration du réseau et communication .....	183
8.5.1	Réseau allégé .....	184
8.5.2	Distribution des identificateurs .....	184
8.5.3	Initialisation du réseau et séquence de boot up .....	184
8.6	Les Device prof iles de CANopen .....	186
8.6.1	Dictionnaire d'objets .....	186
8.7	Fonctionnalités minimales supportées par un élément .....	188
8.8	En résumé .....	189
8.9	Implémentation de CANopen sur des éléments maître ou esclave	190
8.10	Couche physique du CANopen .....	191
<hr/>		
CHAPITRE 9 - DEVICENET .....		193
<hr/>		
9.1	Présentation générale de la couche applicative DeviceNet ...	193
9.1.1	Relation entre les couches ISO/OSI et DeviceNet .....	194
9.2	La couche communication de données de DeviceNet .....	195
9.2.1	Messagerie et mode de connexion de station à station	195
9.2.2	Modes d'adressage de DeviceNet .....	202
9.2.3	Échange de données .....	204
9.2.4	Fragmentation de la messagerie .....	204
9.3	Profils de communication .....	206
9.4	Couche physique de DeviceNet .....	207
9.4.1	Généralités .....	207
9.4.2	Médium de transmission et topologie du réseau .....	209
9.4.3	Connexion au médium .....	212
9.4.5	Possibilités d'alimentation des stations par DeviceNet ..	216



---

## CHAPITRE 10 - SDS – SMART DISTRIBUTED SYSTEM

---

- 10.1 Caractéristiques principales de SDS
- 10.2 Couche applicative SDS
  - 10.2.1 Généralités
  - 10.2.2 Les services de l'APL
  - 10.2.3 Compléments
  - 10.2.4 Types de messagerie utilisables avec SDS
  - 10.2.5 Notion de messages courts, longs et longs fragmentés
  - 10.2.6 Utilisation de la trame CAN en SDS
- 10.3 Administration du réseau SDS
  - 10.3.1 Phase de détection de débit
  - 10.3.2 Phase de cartographie (du réseau mapping)
  - 10.3.3 Phase de fonctionnement normal
  - 10.3.4 Remplacement sur site des éléments
- 10.4 Les Device Models
- 10.5 Implémentation
- 10.6 La couche physique SDS
  - 10.6.1 Topologie, longueur et débit
  - 10.6.2 Purement électronique
  - 10.6.3 Interface ligne
  - 10.6.4 Câbles et connecteurs
- 10.7 Conformité, interopérabilité, normalisation
  - 10.7.1 Conformité, interopérabilité
  - 10.7.2 Normalisation
  - 10.7.3 Product selection guide

---

## CHAPITRE 11 - RÉSUMÉ ET SYNTHÈSE DES PERFORMANCES CAN, CANOPEN, DEVICENET ET SDS

---

- 11.1 Remarques importantes
- 11.2 Assignation des valeurs des identificateurs des messages
- 11.3 Méthode d'échange et de traitement des données
  - 11.3.1 Architecture et organisation

11.3.2	Déclenchement des messages .....	25
11.3.3	Cartographie (des « objets Application » mapping ) ..	25
11.4	Communication point à point .....	25
11.4.1	CAL .....	25
11.4.2	CANopen .....	255
11.4.3	DeviceNet .....	255
11.4.4	SDS .....	255
11.5	Méthodes d'établissement de connexions de données .....	255
11.6	Administration du réseau .....	256
11.7	Modélisation et profils des éléments .....	258
<hr/>		
CHAPITRE 12 - CAN KINGDOM .....		261
<hr/>		
12.1	Les performances de CAN Kingdom .....	262
12.2	Usage du CAN pour le CAN Kingdom .....	263
12.3	Fonctions de la couche applicative CAN Kingdom .....	263
12.4	Réponses aux nombreuses interrogations .....	265
12.4.1	Quel est le rôle du Roi dans le CAN Kingdom ? .....	265
12.4.2	Qu'arrive-t-il si le Roi meurt ? .....	265
12.4.3	Si seul le Roi connaît tout le système, est-il possible de le remplacer ? .....	266
12.4.4	Comment le Roi connaît-il la place de chacun des modules ? .....	266
12.4.5	Qu'arrive-t-il si l'on permute la localisation de deux modules ? .....	266
12.4.6	Comment l'enregistrement de l'identité de chaque module est-elle effectuée ? .....	267
12.4.7	Comment régler les problèmes liés à des débits différents ?	267
12.4.8	Le Roi peut-il effectuer toutes sortes de changement dans un module ? .....	267
12.4.9	Faut-il des composants performants pour réaliser tout cela ?	268

CHAPITRE 13 - M3S – MULTIPLE MASTER, MULTIPLE SLAVE .....	26
13.1 Architecture générale du système M3S .....	26
13.1.1 Les éléments de M3S .....	27
13.2 Les fonctions de key et de « dead man » switches .....	27
13.2.1 Key switch .....	27
13.2.2 Dead man .....	27
13.3 Initialisation, configuration, sélection .....	27
13.3.1 Initialisation .....	27
13.3.2 Configuration .....	27
13.3.3 Sélection .....	27
13.4 Évolution et conclusion .....	27
CHAPITRE 14 - LES COUCHES APPLICATIVES AUTOMOBILES .....	27
14.1 Situation à l'ISO .....	27
14.1.1 TF1 .....	27
14.1.2 TF2 .....	27
14.1.3 TF4 .....	27
14.1.4 TF5 .....	27
14.2 Situation à la SAE .....	27
14.3 Situation à l'OSEK .....	27
CHAPITRE 15 - OSEK/VDX .....	27
15.1 Architecture de la couche OSEK .....	28
15.1.1 OSEK-OS-Operating System .....	28
15.1.2 OSEK-COM-Communication .....	28
15.1.3 OSEK-NM (Network Management) .....	29
15.1.4 Les couches basses ISO/OSI de l'OSEK/VDX .....	29
15.1.5 Implémentation OSEK/VDX .....	29
15.1.6 Certification de l'OSEK .....	29

CHAPITRE 16 - LE SAE J1939 .....	295
16.1 Pourquoi avoir choisi un identificateur de 29 bits ? .....	296
16.2 Le champ d'identification CAN du J1939 .....	296
16.3 Les types de messages du J1939 .....	297
16.3.1 Messages de commandes .....	297
16.3.2 Messages de requêtes .....	297
16.3.3 Messages de diffusion/réponse .....	297
16.3.4 Messages d'acquittements .....	298
16.3.5 Messages de groupes de fonctions .....	298
16.3.6 Quelques compléments .....	298
16.4 La couche applicative J1939 .....	298
16.4.1 Les différents types de données transportées .....	298

## **PARTIE 5**

### **OUTILS, TESTS, MISE EN ŒUVRE, CONFORMITÉ**

CHAPITRE 17 - LES OUTILS D'AIDE AU DÉVELOPPEMENT POUR RÉSEAUX BASÉS SUR CAN .....	303
17.1 Méthodologie de conception de système .....	303
17.1.1 Phase d'étude .....	304
17.1.2 Phase d'intégration du système complet .....	304
17.1.3 Phase de production .....	304
17.1.4 Phase de maintenance du système .....	305
17.2 Outils d'aide au développement des couches basses de communication .....	305
17.2.1 Outils de démonstration et prise en main .....	305
17.2.2 Outils de simulation, émulation et analyse de protocole .....	306
17.2.3 Conformateur de performances .....	308
17.2.4 Outils de configuration de réseau .....	309
17.3 Outils d'aide au développement des couches hautes applicatives .....	310

17.3.1	Un exemple .....	311
17.3.2	En conclusion des systèmes de développement et outils de tests .....	313
17.4	Mises en œuvre de réseaux (modélisation et installation) .....	314
17.4.1	Modélisation de réseaux .....	314
17.4.2	Installation du réseau .....	314
17.4.3	Mise en œuvre d'un réseau .....	314
17.4.4	Mise en route et débogage des réseaux .....	315
17.4.5	Outils de mise en œuvre et test des réseaux .....	315
<hr/>		
CHAPITRE 18 - CONFORMITÉ, CERTIFICATION, TESTS .....		317
<hr/>		
18.1	Les problèmes de conformité et certification .....	317
18.2	Conformité au protocole de communication CAN .....	317
18.3	Conformité des IC's au protocole de communication CAN .....	319
18.3.1	Méthodologie de conformité .....	320
	<i>Écriture d'un Plan De Test</i> .....	321
	<i>Réalisation CAO du Plan De Test</i> .....	324
	<i>Testeur de composants</i> .....	326
18.3.2	Conclusion .....	326
18.4	Conformité aux protocoles des couches applicatives .....	327
18.5	Certification .....	327
18.6	Tests .....	328
<hr/>		
CHAPITRE 19 - CONCLUSION ET FUTUR DU CAN .....		329
<hr/>		
19.1	Conclusion .....	329
19.2	Le futur du CAN et de ses applications .....	329
<hr/>		
ANNEXES .....		331
<hr/>		
Annexe 1 : le CiA-CAN in Automation .....		331
	Sa mission, son rôle, son fonctionnement .....	331
	Ses activités .....	333

Annexe 2 : les bibles .....	334
Modèle ISO/OSI .....	334
Document de référence CAN .....	334
CAN et ISO .....	334
Couches applicatives « Industrielles » .....	334
Couches applicatives « Automobile » .....	336
Annexe 3 : les bonnes lectures .....	337
Revue, journaux, documentations .....	337
Ouvrages en langue allemande .....	337
Ouvrage en langue française .....	337
Annexe 4 : les bonnes adresses .....	338
ISO .....	338
CAL et CANopen .....	338
SDS .....	338
DeviceNet .....	338
CAN Kingdom .....	339
M3S .....	339
OSEK .....	339