

Protocoles de communication dédiés

Jean-Philippe Babau

Département Informatique

INSA Lyon

## Plan

- Introduction
- Réseaux sans fil pour l'embarqué
  - RFID, IrDA, Bluetooth
- Réseaux de terrain
  - I2C, CAN, FIP, TTP
- Systèmes distribués
  - Partage d'informations

## Les besoins

- Gestion distante de périphériques
  - Configuration
    - Initialisation, modes de marche, ...
  - Opérations
    - Dépendantes du périphérique
    - Contrôle, suivi
- Partage de données
  - Variables d'environnement
    - Température, vitesse, ...
  - Etat d'un périphérique
    - Marche/arrêt, état des composants (capteurs, actionneurs)
  - Fichiers
    - Multimédia, internet
  - Opérations
    - Lecture ou écriture de données

## La communication

- Liaison série

- Medium classique de l'industriel
  - Lien privilégié avec un périphérique
- Protocole dédié
  - Forme générale

Octets de début de trame (BOF)	DATA	CRC	octets de fin de trame (EOF)
--------------------------------	------	-----	------------------------------

- DATA
    - Nombre d'octets variable
      - » Length + Data
    - Nombre d'octets fixe
      - » codeAppel sur 1 octet + n paramètres (n octets)
      - » Bourrage si nécessaire
  - Exemples : Carte à puce (cf. cours), norme NMEA pour les GPS, ...
  - Ports
    - 1 ou 2 ports par processeur/carte
    - cartes dédiées (16 E/S série ou plus )
- Utilisation de réseaux et protocoles classiques
    - protocoles dédiés
    - Internet
      - Adaptation à l'embarqué : WAP (Wireless Application Protocol)

## La communication

- Réseau de terrain

- Relier plusieurs composants actifs et passifs
  - Éviter les fils point à point
- Généralement imité aux couches MAC (1/2/3)
- Domaine de l'industriel
  - Modbus, Profibus, CANOpen
- Domaine du transport
  - Automobile : CAN, TTP, FlexRay
  - Ferroviaire : FIP
  - Avionique : ARINC

- Réseaux sans fil

- RFID
- Mode connecté : irDA, bluetooth
- Consommation
  - Antenne, protocole

## Plan

- Introduction
- Réseaux sans fil pour l'embarqué
  - RFID, IrDA, Bluetooth
- Réseaux de terrain
  - I2C, CAN, FIP, TTP
- Systèmes distribués
  - Partage d'informations

## RFID

- « Successeur » du code barre
- Etiquette passive
  - Lecture seule, données non modifiables (ID, data)
  - Capacité de 32 à 128 bits
  - Distance de l'ordre de 10 cm
  - Durée de vie quasi illimitée
  - 5 centimes l'unité, 0.15 mm × 0.15 mm
  - Étiquette EPC (Code Produit Electronique), 96 bits
- Etiquette active
  - Lecture et écriture
  - Capacité jusqu'à 10 kbits
  - Distance de l'ordre de 50 m
  - Durée de vie limitée à 10 ans
  - Pile interne extra-plate
  - Quelques euros, 2 cm x 2 cm
  - Suivi et historisation de produits, de passages, ...

## IrDA

- Principes

- Communication infra-rouge
  - IrDA Data, IrDA Control
- Portée de 1 mètre pour IrDA Data, 5 mètres pour IrDA control
- Angle 30° pour IrDA Data, 50° pour IrDA control
- Débit
  - 2400 à 115200 kbps, 1MB, 4 MB, 16 MB pour IrDA Data
  - 75 kbps pour IrDA control
- Transmission série : un bit de start, 8 bits, un bit de stop
  - 0 : pulse 3/16ème, 1 : rien
- Bidirectionnel, pas de détection de collision

- Couches

- IrDA Phy : n XBOF BOF DATA CRC16 EOF
- IrLAP : client/serveur (connexion, échange de données)
- IrLMP : gestion de services

jean-philippe.babau@insa-lyon.fr

## IrDA et la QoS

- Contraintes

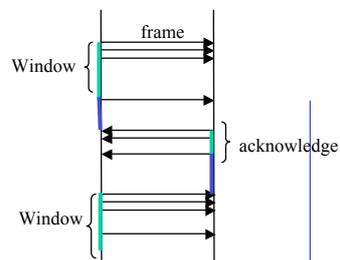
- Br : Baud rate (9.600 kbps, 11.52 kbps, ..., 16 Mbps)
- Link disconnect (3s, 8s, 12s, ... 40s)
- **MTt** : Maximum Turnaround Time (50ms, 100ms, 250ms, 500ms)
- **mtt** : minimum turnaround time (0ms, 0.01ms, ..., 5ms, 10ms)
- Window Size (1-127 frames)
- Frame Size (64B, 128B, ..., 2048B)
- Additional BOF

- Valeurs par défaut

- Br : 9.6 kbps, frame : 64 octets, 1 frame/window

- Négociations

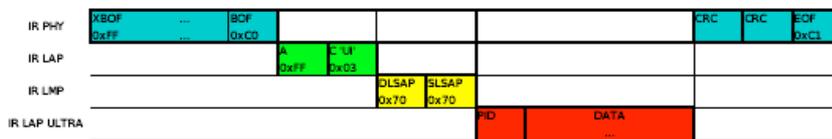
- Le 1er périphérique envoie des paramètres de QoS
- Le 2ème envoie des paramètres possibles
- Type 0 : peut être modifié
- Type 1 : doit être le même



jean-philippe.babau@insa-lyon.fr

## IrDA Ultra

- Version simplifiée
  - Mode non connecté
  - 9600 bauds
  - DATA : moins de 400 octets
  - Implémenté dans moins de 1 Ko de ROM
- Compatibilié
  - IrDA
  - Utilisable sous Linux



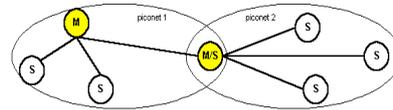
## IrDA

- Protocoles de haut niveau
  - Tiny TP
    - TCP
  - IrOBEX
    - Put, Get
    - http
  - IrTan-P
    - Photos, vidéos
- Domaine
  - Taux d'erreur faible  $10^{-9}$
  - Faible consommation
  - Faible coût
  - Mobilité des appareils
  - Appareil fixes en communications
    - bureau
    - télécommande
    - téléchargement court

## Bluetooth

- Principes

- Fréquence d'émission : 2,4 Ghz
- Distance de 10 mètres / 70 mètres
- Communication maître / esclave
  - Point à point
  - 7 esclaves maxi
- 255 connexions maximum
  - 7 connexions actives en même temps
- Réseaux de piconets (*scatternet*)
  - Un maître peut être esclave
  - Un esclave peut avoir deux maîtres



- Format

- Slot de 625 micro sec
- Code (72 bits) + en-tête (54 bits) + contenu (0/2745 bits)
- Code : synchronisation
- En-tête : adresse sur 3 bits + adresse MAC

## Connexion

- Mode passif

- Écoute sur le réseau
- Consommation d'énergie, sécurité faible si pas de communication

- Procédure de connexion

- Phase de découverte
  - Découverte des points d'accès
  - Échange d'adresses
- Synchronisation avec les points d'accès (*paging*)
  - Horloge
- Découverte des services du point d'accès
  - Protocole *SDP* (*Service Discovery Protocol*).
- Création d'un canal avec le point d'accès
- Pairage à l'aide d'un code PIN
  - Sécurité
  - Demande de confirmation à l'utilisateur (optionnel)

- Echanges

- Appel des services

## Bluetooth

- Équivalent de l'USB dans le sans fil
- **Domaine**
  - Faible consommation
  - Systèmes mobiles grand public
  - Bureautique

## Plan

- Introduction
- Réseaux sans fil pour l'embarqué
  - RFID, IrDA, Bluetooth
- **Réseaux de terrain**
  - I2C, CAN, FIP, TTP
- Systèmes distribués
  - Partage d'informations

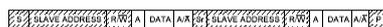
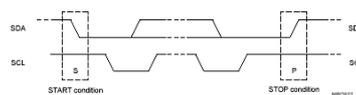
## I2C

- Inter-Integrated Circuit
  - Philips
  - SMBus, DDC
- Bus série
  - 2 fils
    - SDA : signal Data
    - SCL : signal Clock
  - Logique NAND
- Principes
  - Communication point à point
  - Adresse par périphérique ou par machine
  - Multi maître / multi esclave
  - Maître
    - Initie le transfert (émission ou réception)
      - Prend le contrôle du bus
      - Adresse les esclaves
    - Gère l'horloge
    - Stoppe le transfert
  - Débit
    - 100 kbits / s en Standard-mode
    - 400 kbits / s en Fats-mode
    - 3.4 Mbits / s en High-speed-mode

jean-philippe.babau@insa-lyon.fr

## I2C

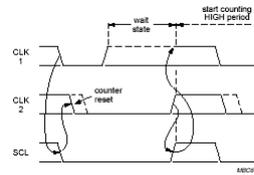
- Accès au bus
  - Bus libre : les deux fils à 1
  - Start , Stop
  - Une donnée est présente durant le 1 de l'horloge
- Trame
  - Adresse sur 7 bits
  - R/W : le maître est lecteur(1) ou écrivain (0)
  - Accusé réception
    - L'émetteur à 1
    - Le receveur à 0
  - Plusieurs transferts possible
- Conflit
  - le premier qui envoie 1 perd
    - Adresse
    - Si même adresse : data



jean-philippe.babau@insa-lyon.fr

## I2C

- Synchronisation
  - Plus petite période à 1
  - Plus grande période à 0
- Adresse générale
  - 0000000
  - Raz adresses
  - Émission vers appareil inconnu
- Adressage 10 bits
  - 2 octets
  - Compatible 7 bits
    - 1111xxx, 0000xxx interdit pour 7 bits
    - Adresse 10 bits : 11110xx xxxxxxxx
- HS mode
  - Adresse du maître émis en FS mode
  - Communication en HS mode



jean-philippe.babau@insa-lyon.fr

## I2C

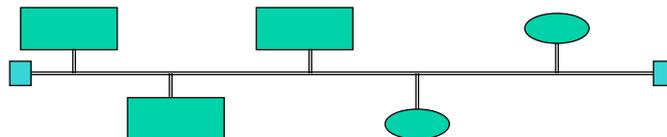
- Simple
  - Peu coûteux
  - Faible consommation
- Systèmes hétérogènes
  - Horloges
  - Voltage
  - Versions compatibles
- Microcontrôleurs I2C
- Non centralisé
  - flexible
  - 2 octets
- Point à point

jean-philippe.babau@insa-lyon.fr

## CAN : principes

- Réseau de terrain
- Bosch, année 85
  - Control Area Network
- Domaine
  - automobile
  - grand volumes
- Standard ISO (11519 et 11898)
- Besoins
  - Robuste
  - Systèmes hétérogènes, modulaires
  - Réduction des câbles, du poids

## CAN : principes



- Bus série
  - En général 1 paire torsadée avec bouchons (120 ohms)
- **Diffusion** des trames
- Machines, capteurs, actionneurs
- Identifiant par trame et non par nœud
- Bit présent sur tout le réseau (CSMA/CD)
  - durée(bit) > 2 x (délai de transmission du bit)
    - En général 4 x (délai de transmission du bit)
  - 40 mètres max pour un débit de 1Mbit/s
  - 100 mètres max pour un débit de 500ko/s

## Couches ISO

- **Physique**
  - moyens matériels (libre sous CAN)
  - représentation du bit : fixé par CAN
  - niveau du signal (libre sous CAN)
- **Liaison**
  - établissement, maintien et libération des connexions entre les entités du réseau
  - LLC (Logical Link Control)
    - le filtrage des messages,
    - notification des surcharges (overload),
    - procédure de recouvrement des erreurs.
  - **MAC** (Medium Access Control)
    - mise en trame du message
    - arbitrage,
    - acquittement,
    - détection des erreurs,
    - signalisation des erreurs.
- **Autres couches**
  - réseau, transport, session, présentation, application
  - vide sous CAN
  - CANOpen, DeviceNet, CAL (CAN Application Layer)

## trames CAN

- **trame de données (Data Frame)**
  - 8 octets maximum
  - 4 entiers
  - 2 flottants
- **trame de requête (Remote Frame)**
  - envoi d'un ID
- **trame d'erreur (Error Frame, Error Delimiter)**
  - 6 bits à 0 (1 si error-passive cf. suite)
  - 8 bits à 1
- **trame d'attente (Overload Frame)**
  - 3 bits à 1

## trame CAN

- Un identifiant (ID) par trame
  - CAN standard : 11bits
  - CAN étendu : 29 bits
- Identifiant ID = priorité
  - 0100 plus prioritaire que 0101
- trame à taille limité
- Principe d'accès au médium
  - bit dominant (0) / récessif (1)
  - bit récessif par défaut
  - si libre émission
  - si envoi d'un bit 1 et bit 0 présent, fin d'émission
  - début d'émission : 0
  - 3 bits à 1 entre 2 trames

## trames de données et de requêtes

- Un bit de départ *SOF (Start Of Frame)*
  - 0
- Un champ adresse *arbitration*
  - identifiant / priorité ID (11 bits)
  - un bit RTR (Remote Transmission Request)
    - données : 0
    - requête : 1
- Un champ contrôle *control*
  - 2 bits réservés
  - 4 bits pour la longueur des données
    - 0 : 0000 (requête)
    - 8 : 1000
- Un champ données *data*
  - 0 à 8 octets

## trames de données et de requêtes

- Un champ *CRC* (Cycle Redundancy Code)
  - de SOF à data
  - code de redondance sur 15 bits
  - un bit délimiteur : 1
- Un champ accusé réception *ACK*
  - 1 bit d'ack
    - émetteur : 1
    - un récepteur : 0
  - 1 bit de fin 1
- Un champ final *End Of Frame*
  - 7 bits à 1
- Bit-stuffing
  - de SOF à CRC
  - principe
    - 5 bits consécutifs de même valeur : ajout d'un bit de valeur opposé

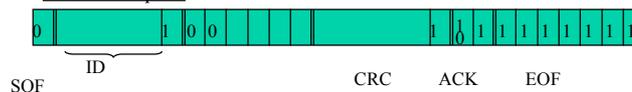
## trames de données et de requêtes

- Longueur
  - 44 bits + 8 nombre d'octets transmis
    - sans bit-stuffing
  - de 0 à 60% d'information utile

trame de donnée



trame de requête



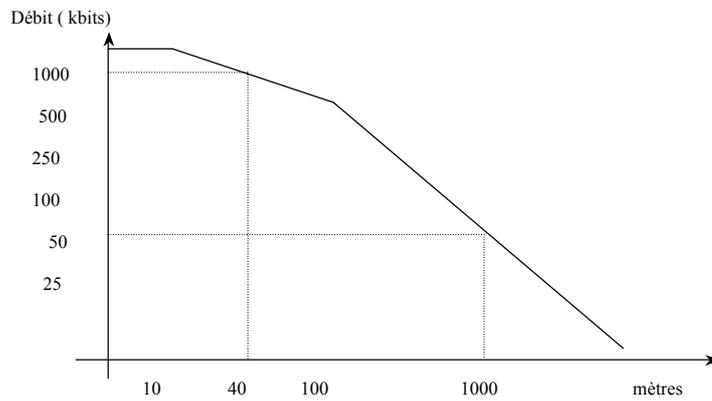
## Détection d'erreurs

- Bit error
  - bit sur le réseau  $\neq$  bit émis
  - sauf pour ID et ACK
- Stuff error
  - 6 bits de même valeur
- CRC error
  - CRC calculé par le récepteur  $\neq$  CRC émis
- Form error
  - vérification de la valeur des délimiteurs
- ACK error
  - pas de de remise à 0 de Ack
- Taux d'erreurs non détectées :  $10^{-11}$

## Recouvrement d'erreurs

- Réaction à la détection d'une erreur
  - envoi d'une trame 6 bits à 0 (à 1 si error-passive)
  - puis émission de bits à 1
  - tout le monde en erreur (bit-stuffing)
- Fin d'erreur
  - 1 détecté sur le réseau
  - émission de 7 bits à 1
  - au pire : 23 bits
- Compteur d'erreur
  - réception REC
    - Erreur + 1      Ok -1
  - émission TEC
    - Erreur + 8      OK -1
  - état
    - error-active : REC et TEC < 127
    - error-pasive : REC ou TEC > 128 et < 256
    - bus-off : TEC > 256
- Ré-émission automatique
  - sauf si error-passive ou bus-off

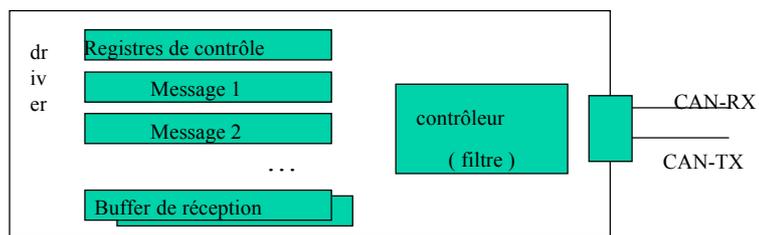
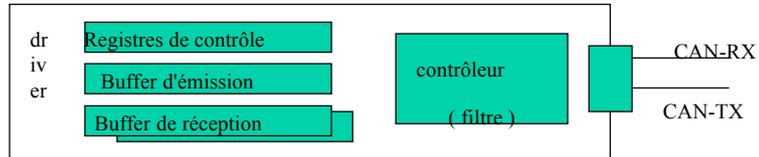
## Débit



## DeviceNet

- Spécifie une hiérarchie d'identifiants (11 bits)
- Groupe 1 (000 - 3FF)
  - 0 - MsgID(4 bits) - Nœud (6 bits)
  - Priorité maximale (équité entre les nœuds)
- Groupe 2 (400 - 5FF)
  - 10 - Nœud (6 bits) - MsgID(3 bits)
  - Priorité par nœud
- Groupe 3 (600 - 7BF)
  - 11 - MsgID(3 bits) - Nœud (6 bits)
  - Idem 1 mais moins prioritaire que le groupe 2
- Groupe 4 (7C0 - 7EF)
  - 1111 - MsgID(6 bits)
  - Trame de fond
- Identifiants invalides (7F0 - 7FF)

## Architectures matérielles



## FIP : Principes

- Factory Instrumentation Protocol
- Bus à diffusion
- Accès centralisé avec un arbitre de bus
- Modèle producteur / consommateur
- Échanges de données
  - Variables périodiques
  - Variables apériodiques (scrutation périodique)
- Modèle avec/sans acquittement

## FIP : protocole

- Une table d'arbitrage contient la séquence d'échange
  - { date – producteur – variable périodique/apériodique}
- Envoi de trames de demandes d'échanges de variables apériodiques
  - Réponse des variables prêtes à émettre
- Échanges des variables périodiques / apériodiques (si nécessaire)
  - L'arbitre émet une trame vers le producteur
  - Le producteur émet les variables que les consommateurs copient
    - + demande d'émission de message d'apériodique si nécessaire
- Envoi d'une trame de demandes d'échanges de message apériodique
- Échange des messages apériodiques
- Séquence de bourrage : synchronisation

## FIP : exemple

Variable	Période
V1	100
V2	200
V3	500
V4	100
V5	200

### Ordonnancement RM

T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
V1									
V4		V1		V1		V1		V1	
V2		V4		V4	V1	V4		V4	
V5	V1	V2	V1	V2	V4	V2	V1	V2	V1
V3	V4	V5	V4	V5	V3	V5	V4	V5	V4

## FIP : caractéristiques

- Statique
  - Changement => reconfiguration
- Messages apériodiques
  - Transmis dans les temps creux
- Overhead
  - Faible pour les données
  - Important pour les messages de service
- Ferroviaire
  - 1 FIP doublé par voiture + 1 FIP doublé pour le train

## TTP : principes

- Bus à diffusion
- Horloge globale
  - Synchronisation des horloges
- Gestion des communications
  - Le temps divisé en slots
  - Un slot est pré-assigné à une station pour un message
  - La table d'émission / réception est connue et commune à toutes les stations
- Tolérance aux fautes
  - Redondances
    - Stations, bus
  - Services
    - Retrait/ré-introduction d'un nœud défaillant

## Plan

- Introduction
- Réseaux sans fil pour l'embarqué
  - RFID, IrDA, Bluetooth
- Réseaux de terrain
  - I2C, CAN, FIP, TTP
- Systèmes distribués
  - Partage d'informations

## Gestion du trafic

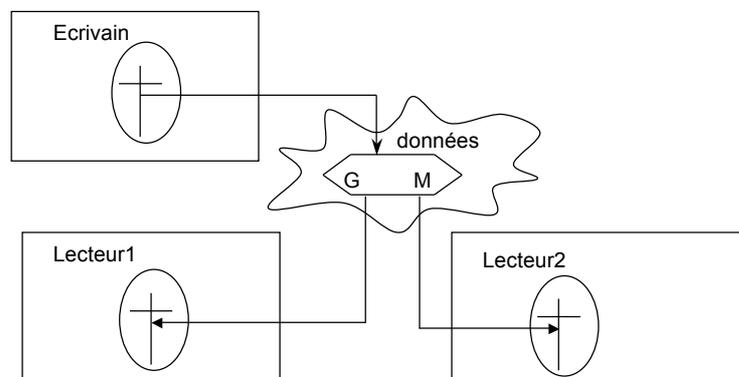
- Politiques de communication
  - Regroupement des données
  - Pull
    - Le producteur garde l'information
    - Le consommateur demande l'information au producteur
  - Push
    - Le producteur émet des informations aux consommateurs
- Utilisation du médium
  - Événementiel « event-triggered »
  - Temporisé « time-triggered »
    - Centralisé ou distribué
- Communication
  - Diffusion « Broadcast »
  - Point à point « Unicast »
  - Multipoint « Multicast »
  - Réseau à diffusion : CAN, TTP, FIP
  - Réseau Unicast/Multicast : I2C

## Gestion du trafic

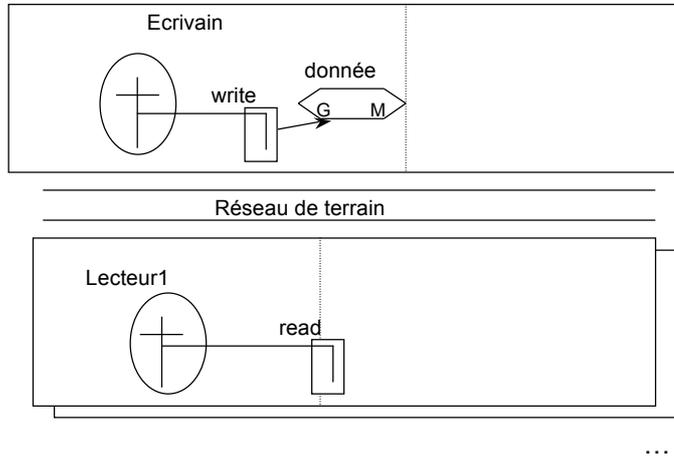
- Pull
  - Nombre important de messages (cf. internet)
    - Demande + réponse (x 2)
    - Multiple du nombre de lecteurs (x n)
  - Retard lié à l'attente de la réponse
- Push
  - Nombreuses copies
    - Place mémoire
    - Consistance temporelle des données
  - Fréquence d'émission à déterminer
    - Émetteur : pour chaque nouvelle information
      - Condition d'émission (garde, seuil, ...)
    - Récepteurs : rythme dirigé par le besoin utilisateur
    - Périodique ou événementielle
  - Indication de fonctionnement (« ping »)
- Approches mixtes
  - Pull sur des miroirs, alimentés en push

## Données partagées

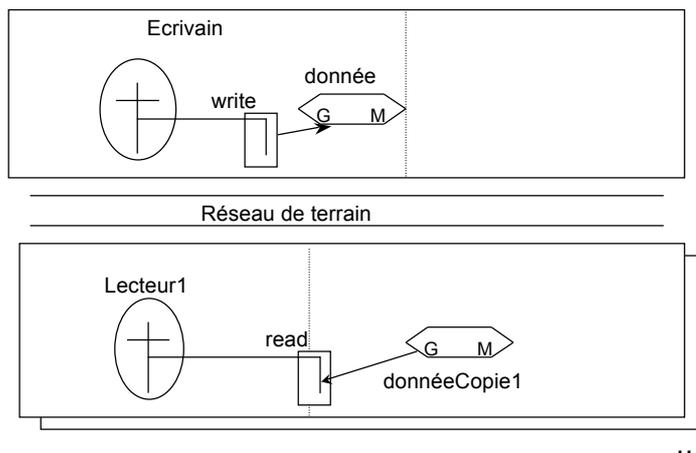
- Mono-écrivain / multi-lecteurs
- Mémoire partagée : réseau de terrain



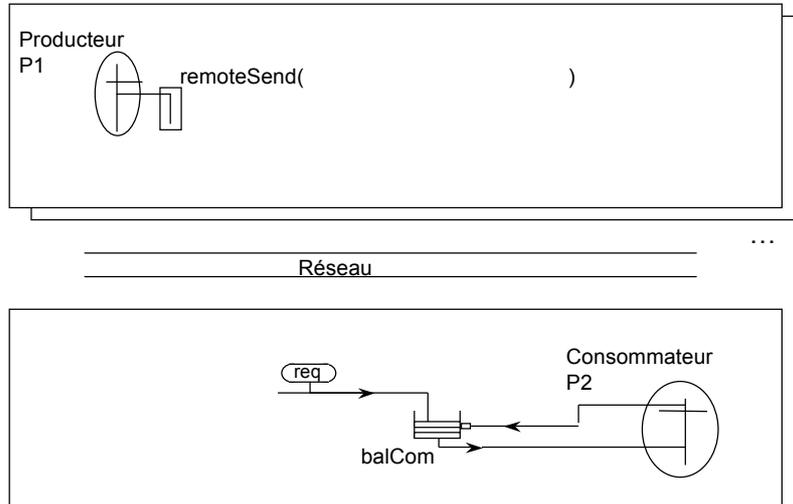
## Communication en mode pull



## Communication en mode push



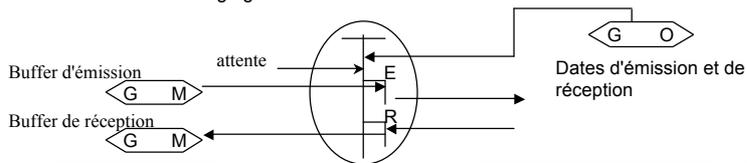
## Communication distante : envoi de messages



jean-philippe.babau@insa-lyon.fr

## Gestion du trafic

- Événementiel
  - CAN
  - émission dès que possible
    - réseau libre, file d'attente
  - attente active, gestion des conflits
  - « babbling idiot »
  - Bon temps de réponse
- Temporisé
  - TTCAN, TTP
  - Statique et prédictible
  - Pré-ordonnement
    - Dates d'émission, dates de réception
    - Horloge globale



jean-philippe.babau@insa-lyon.fr

## Comparaison

- Automobile
  - Intégrateur
    - Gestion du trafic réseau, contrôle du débit
  - Push temporisé (périodique) de données sur CAN
  - Période d'émission ajustée
    - Peut être  $\neq$  période de mise à jour de la donnée
    - Liée aux consommateurs de la donnée
  - Priorité du message ajustée
    - temps de réponse
- Solutions mixtes
  - Trafic push/temporisé pour les données
  - Trafic push/événementiel pour les messages urgents
  - Trafic pull pour les demandes de service
  - Trafic temporisé/centralisé pour les systèmes prédictible en temps
  - Trafic temporisé/distribué pour les systèmes tolérants aux fautes

## Conclusion

- Protocoles
  - Dédié par périphérique
- Réseaux de terrain
  - Spécifiques au domaine
  - Portabilité limitée
    - Unicast / broadcast, adressage par machine / message
    - Taille des données, QoS
- Sans fil
  - Versions plus moins complexes (couches, connexion, sécurité, ...)
    - Interopérabilité selon l'implémentation
  - Consommation
    - protocole
- Partage d'information
  - Prédicibilité des échanges
  - Maîtrise du débit
    - Push périodique
  - Solutions mixtes