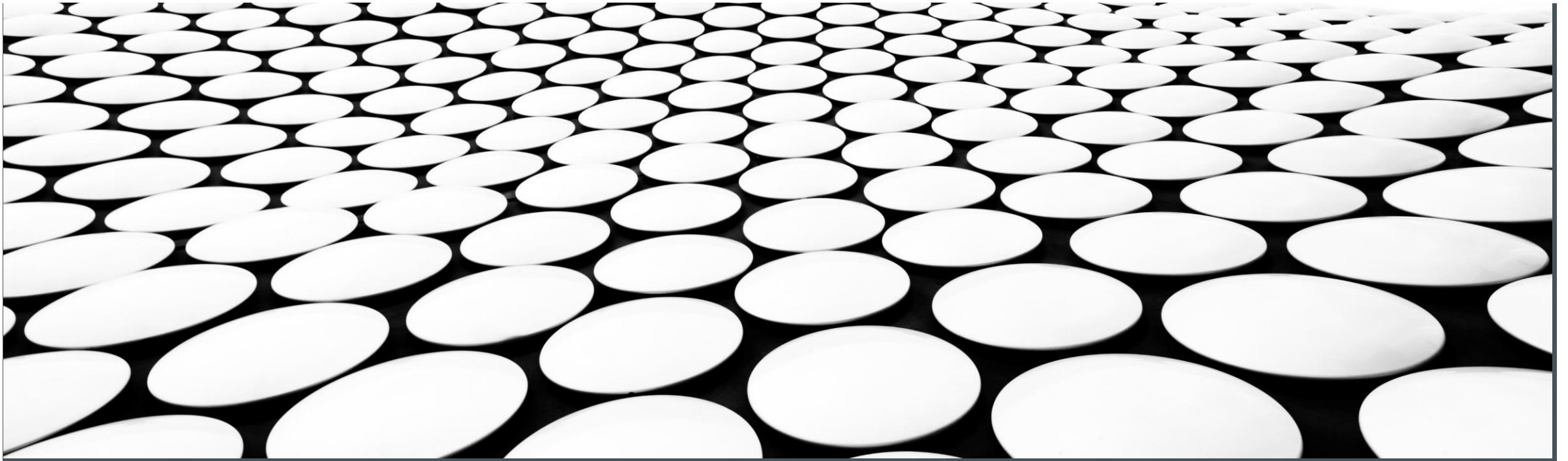

ES207 : COMPOSANTS ET ARCHITECTURES EMBARQUÉES

BRUNO MONSUEZ (ENSTA-PARIS/U2IS)





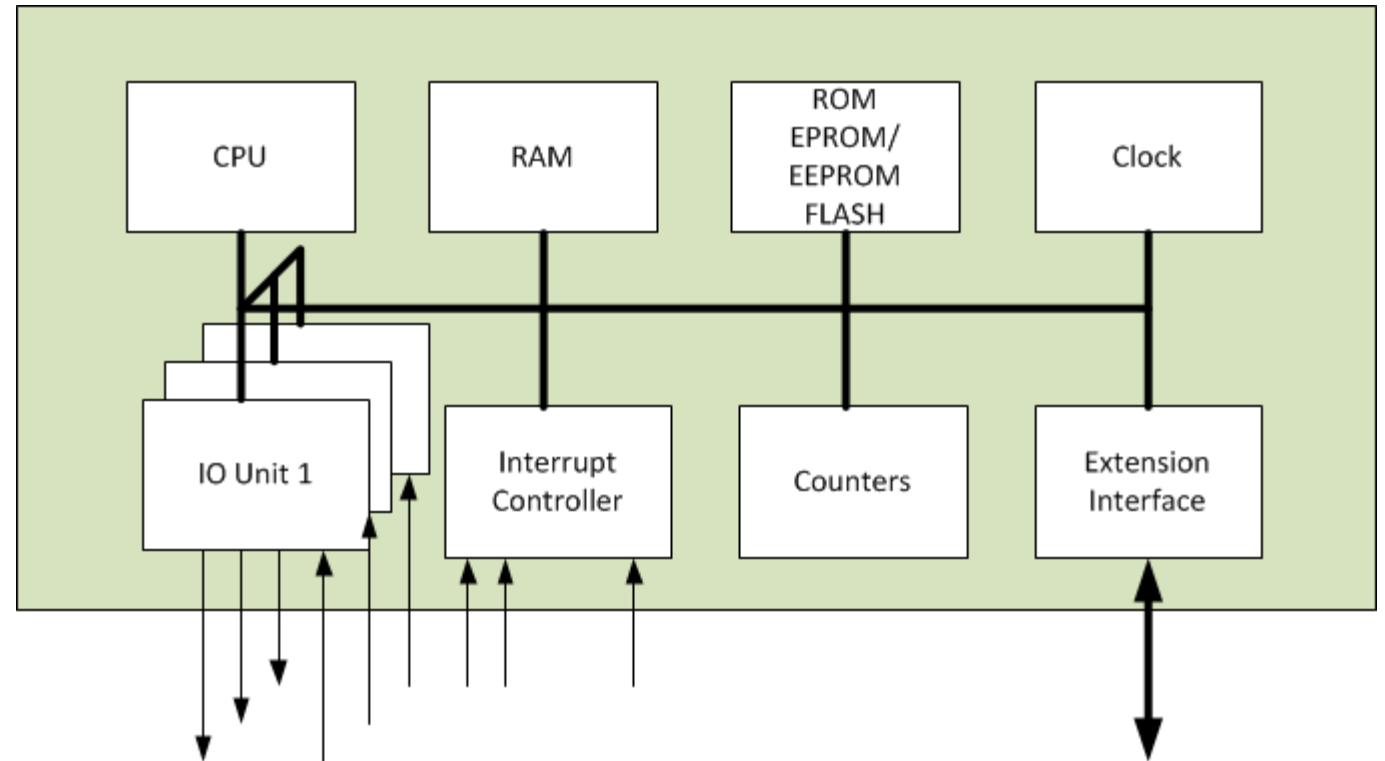
MICROCONTROLLEUR



DEFINITION

■ Microcontrôleur

→ Un “One Chip Computer” qui intègre périphérique & CPU sur un composant



COMPONENTS OF MICRO-CONTROLLERS

- Coeur CPU
 - 8/16/32/64 bits core
 - Coeurs souvent moins complexes
- Unité d'entrées/sorties (IO Unit)
 - SPI
 - I2C
 - UART
 - SPP
 - ...
- ADC
 - Convertit une valeur analogique en numérique
 - Différente précisions
- Counters/Time Counters
 - Incrément ou décrémente par pas de temps
 - Génère une interruption quand un événement se produit.
- Watchdogs
 - Test si un système est vivant
 - Lance une cation si le système ne répond pas (ex: relance le système)
- Canaux de communication temps-reels.
- Interrupt Manager
 - Gère les interruptions
 - Active et désactive les interruptions
- DMA
 - Priorise les interruptons
 - Transfère les données entre les différents composants sans passer par le CPU
- Power Management Unit
 - Actualise la fréquence de fonctionnement
 - Déconnecter certaines unites si non requises.



PROGRAMMATION BAS-NIVEAU

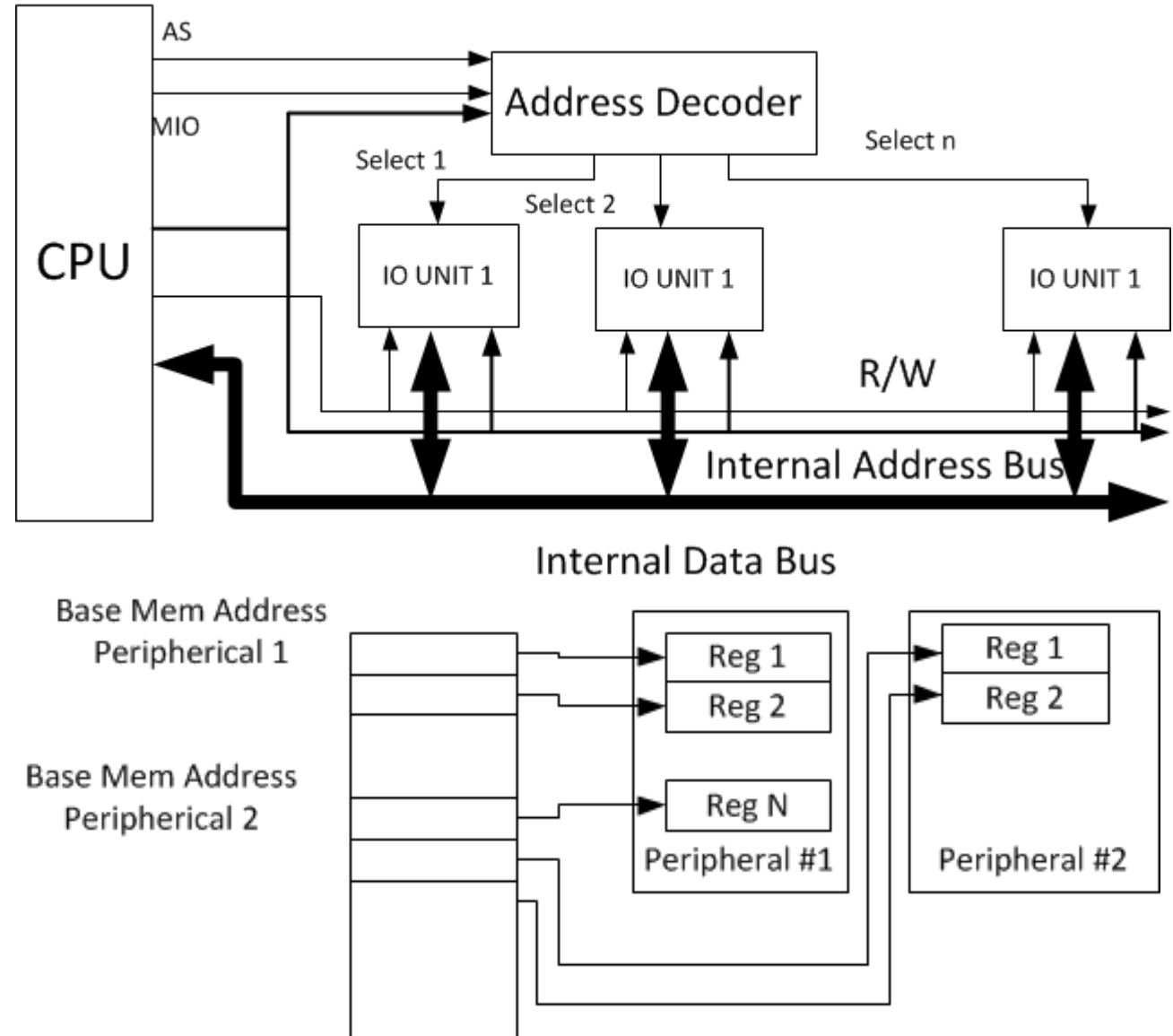


ACCESSING TO HARDWARE RESOURCES AT LOW-LEVEL

- Lire une donnée
 - Lire l'état du hardware
 - Récupérer le nombre de coeurs, ...
 - Lire l'état d'un register
 - Récupérer la valeur d'un convertisseur ADC
- Ecrire une donnée
 - Modifier l'état du système
 - Sélectionner la Vitesse de communication
 - Activer/désactive un composant
 - Envoyer des données
 - Ecrire dans un register pour transmettre la donnée...
- Générer un événement/une interruption
 - Signale que quelque s'est produit
 - Une donnée est disponible
 - Une faute s'est produite (division par zero)
 - Génère un signal périodique (Horloge, Watch Dog, etc)

ACCÈDER AUX PÉRIPHÉRIQUES

- Lire & Ecrire les registres des périphériques
 - Soit mapper les “registers internes” sur les adresses mémoires,
 - Soit disposer d’instructions read/write spécifiques
- Protéger les accès
 - Activer/Désactive les unités ou fonctions
 - Gérer les accès par :
 - Les mécanismes propres à chaque composant
 - La MMU (Gestion de la mémoire par le processeur)



CE QUI REND LA PROGRAMMATION BAS NIVEAU COMPLIQUÉE

- Accès aux périphériques
 - Formats de données depend du composant
 - Encodage des données (Size, Endianess, ...)
 - Nombre et type de registres
 - Access may be possible or not possible
 - Reading/Writing data may be possible at a given time, in a given mode
 - Accessing Registers may imply to perform another operation before.
- Problèmes de temporalité
 - Lecture & Ecriture doivent s'effectuer à certains moments
 - Synchronisation
 - Evènement doivent être générés
 - Les opérations sont bloquantes ou pas
- La gestion des interruption
 - Arrête l'exécution du flot et se branche sur un code ad hoc.
 - Que se passe-t-il quand une interruption se produit ?
 - Le context du programme est sauvé
 - L'interruption est remise à zéro
 - Le code associé à l'interruption est exécutée
 - Problème de la suspension de l'exécution
 - Nécessite un temps de traitement contenu
- Application
 - ADC a de nouvelles données, DMA a terminé un transfert, Un chronmètre s'est déclenché
 - ...

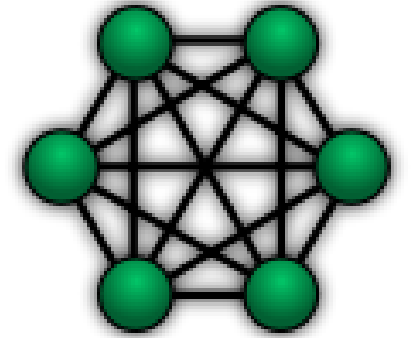


RÉSEAUX & BUS DE TERRAIN



CONNEXION POINT A POINT

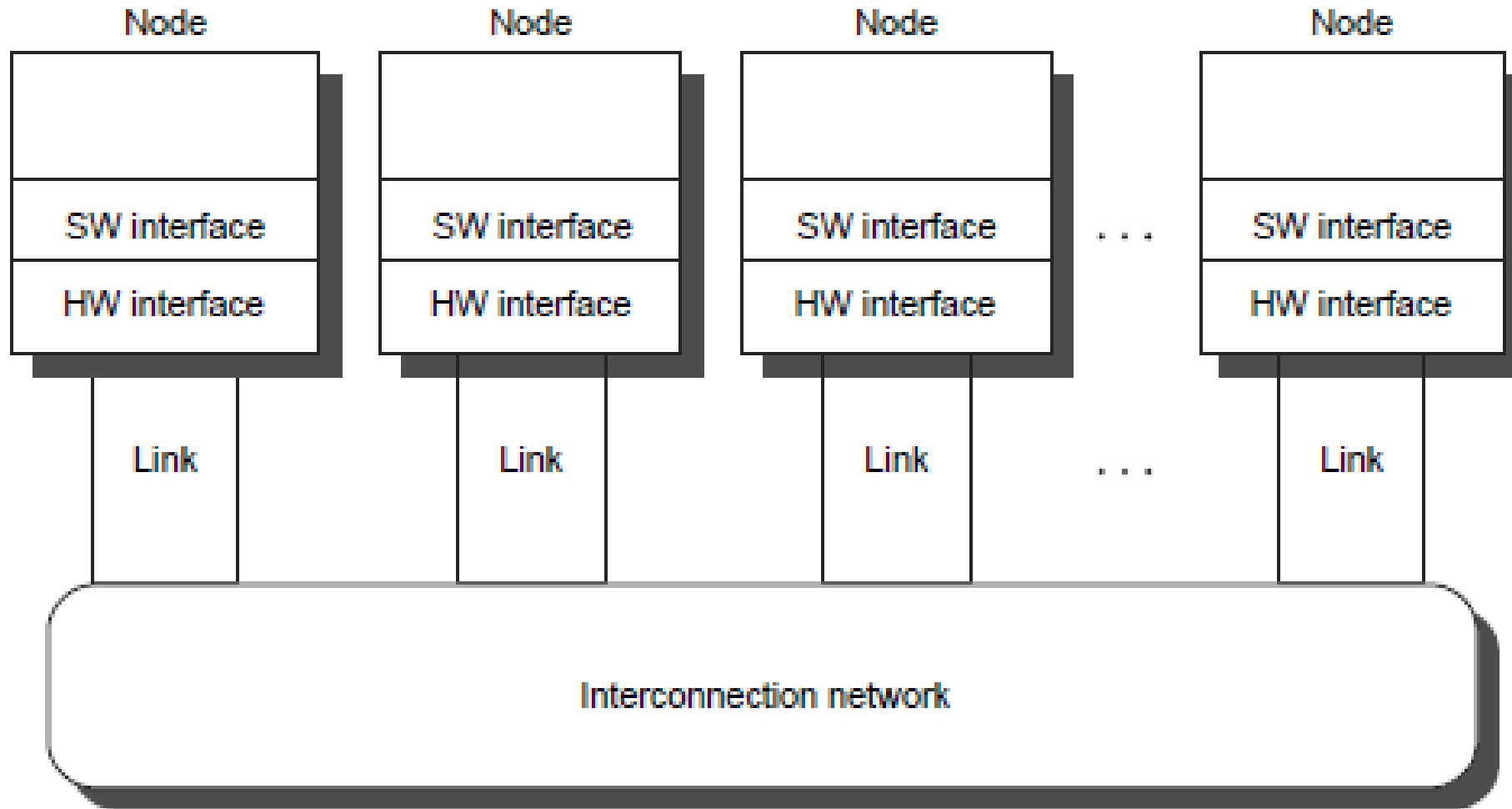
- Relier un point à un autre
 - Permanent (Ligne dédiée)
 - Un cable relie les connecteurs (pins) des deux composants
 - Avantages:
 - Toujours disponibles
 - Usage de la totalité de la bande passante
 - Temps de communication pouvant être précisément déterminé
 - Inconvénients
 - Nécessite beaucoup de « fils », problème d'électromagnétisme
 - Peu adapté aux connexions à longue distance
 - Occupe beaucoup de pins du composant



Fully Connected

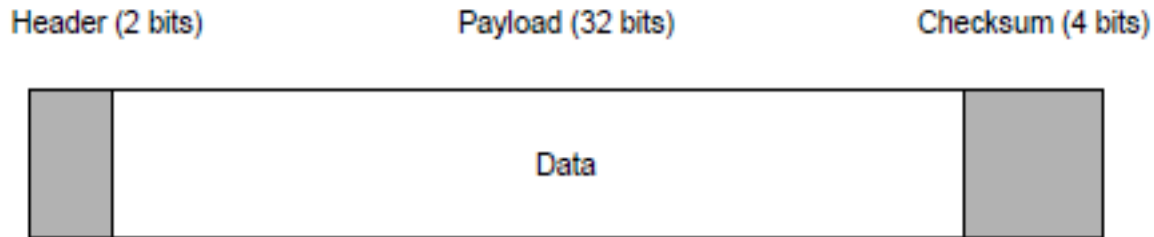
- Commuté
 - Un circuit met en relation les composants qui souhaitent discuter ensemble
 - Avantages :
 - Usage des fils partagé entre les composants
 - Usage de la totalité de la bande passante une fois la connexion établie
 - Temps de communication pouvant être précisément déterminé sous réserve d'un comportement déterministe et calculable du commutateur.
 - Inconvénients
 - Tout passe pas le circuit de commutation
 - La bande de communication est limitée par le composant de commutation

QU'EST CE QU'UN RÉSEAU



LA NOTION DE MESSAGE

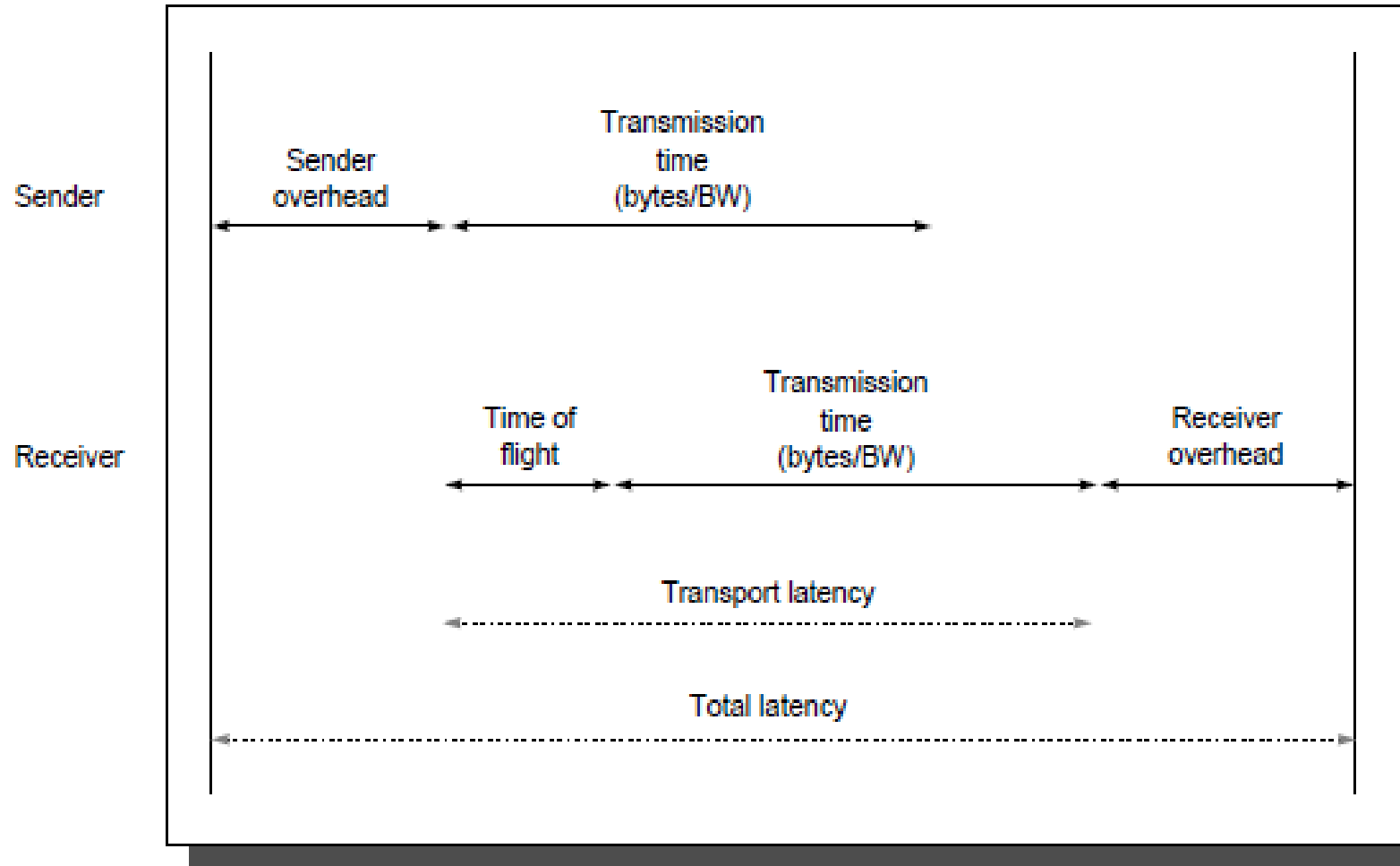
■ La structure d'un message



00 = Request
01 = Reply
10 = Acknowledge request
11 = Acknowledge reply

- **Bande passante** : Le débit maximum de propagation de l'information par le réseau
- **Time of flight** : Le temps nécessaire pour que le premier bit du message atteigne le récepteur.
- **Transmission time** : Le temps pour que le message soit intégralement transféré au récepteur

LA TEMPORALITE DE LA COMMUNICATION





BUS ET RÉSEAU DE TERRAIN (FIELDBUS & FIELD NETWORK)



BUS DE TERRAIN (DÉFINITION)

- Bus de terrain
 - Communication bidirectionnelle entre un contrôleur et un périphérique
 - Contrôleur contrôle et monitore le périphérique
 - Le périphérique répond au contrôleur
 - Le périphérique peut alerter le contrôleur
- Exemple de bus de terrains existants
 - Foundation Fieldbus
 - ProfiBus
 - CAN, FD-CAN, TT-CAN
 - FlexRay

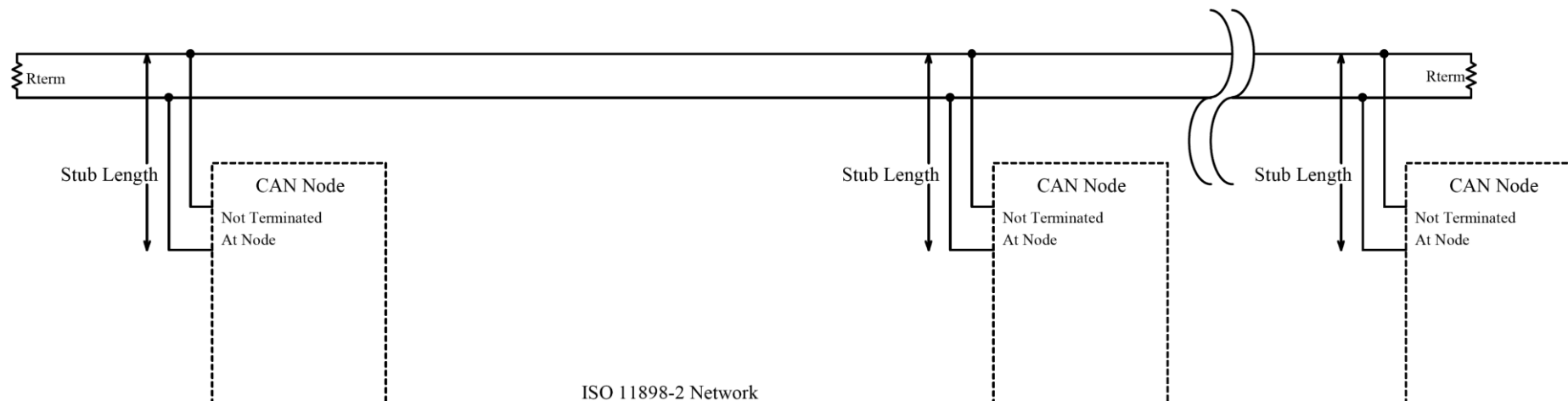
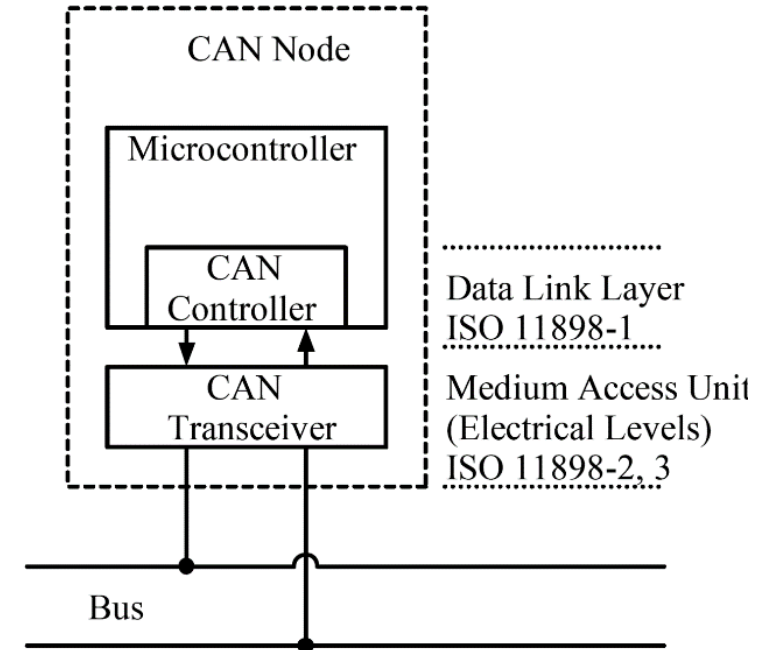
PROPRIÉTÉS DES BUS DE TERRAINS

Fieldbus	Bus power	Redundancy	Max devices	Synchronisation	Sub ms cycle
AFDX	No	Yes	Almost unlimited	No	Yes
AS-Interface	Yes	No	62	No	No
CANopen	No	No	127	Yes	No
CompoNet	Yes	No	384	No	Yes
ControlNet	No	Yes	99	No	No
CC-Link	No	No	64	No	No
DeviceNet	Yes	No	64	No	No
EtherCAT	No	Yes	65,536	Yes	Yes
Ethernet Powerlink	No	Optional	240	Yes	Yes
EtherNet/IP	No	Optional	Almost unlimited	Yes	Yes
Interbus	No	No	511	No	No
LonWorks	No	No	32	No	No
Modbus	No	No	246	No	No
PROFIBUS DP	No	Optional	126	Yes	No
PROFIBUS PA	Yes	No	126	No	No
PROFINET IO	No	Optional	Almost unlimited	No	No
PROFINET IRT	No	Optional	Almost unlimited	Yes	Yes
SERCOS III	No	Yes	511	Yes	Yes
SERCOS interface	No	No	254	Yes	Yes
Foundation Fieldbus H1	Yes	No	240	Yes	No
Foundation Fieldbus HSE	No	Yes	Almost unlimited	Yes	No
RAPIEnet	No	Yes	256 Under Development	Conditional	Conditional

Crédits: Wikipedia

CAN: IMPLANTATION DE CAN & COUCHES

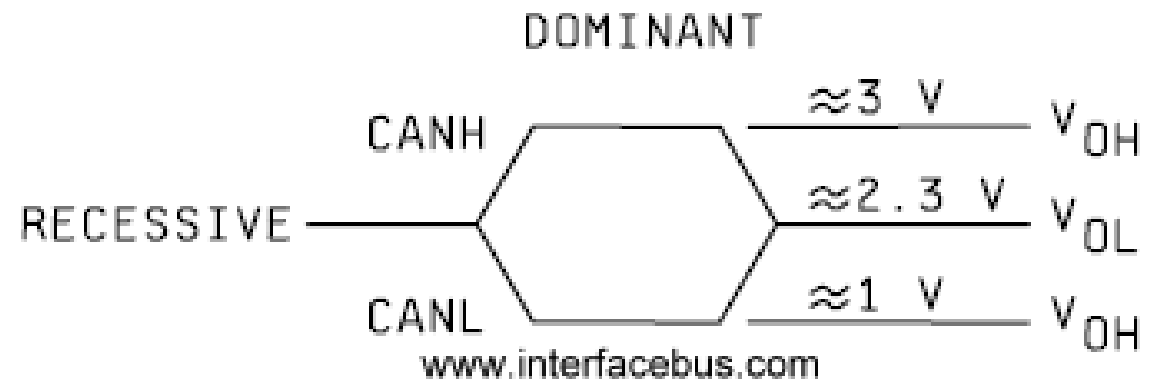
- Les fonctionnalités de CAN sont décomposé en deux couches
 - Data-Link (Couche logique)
 - Physical (Couche physique)



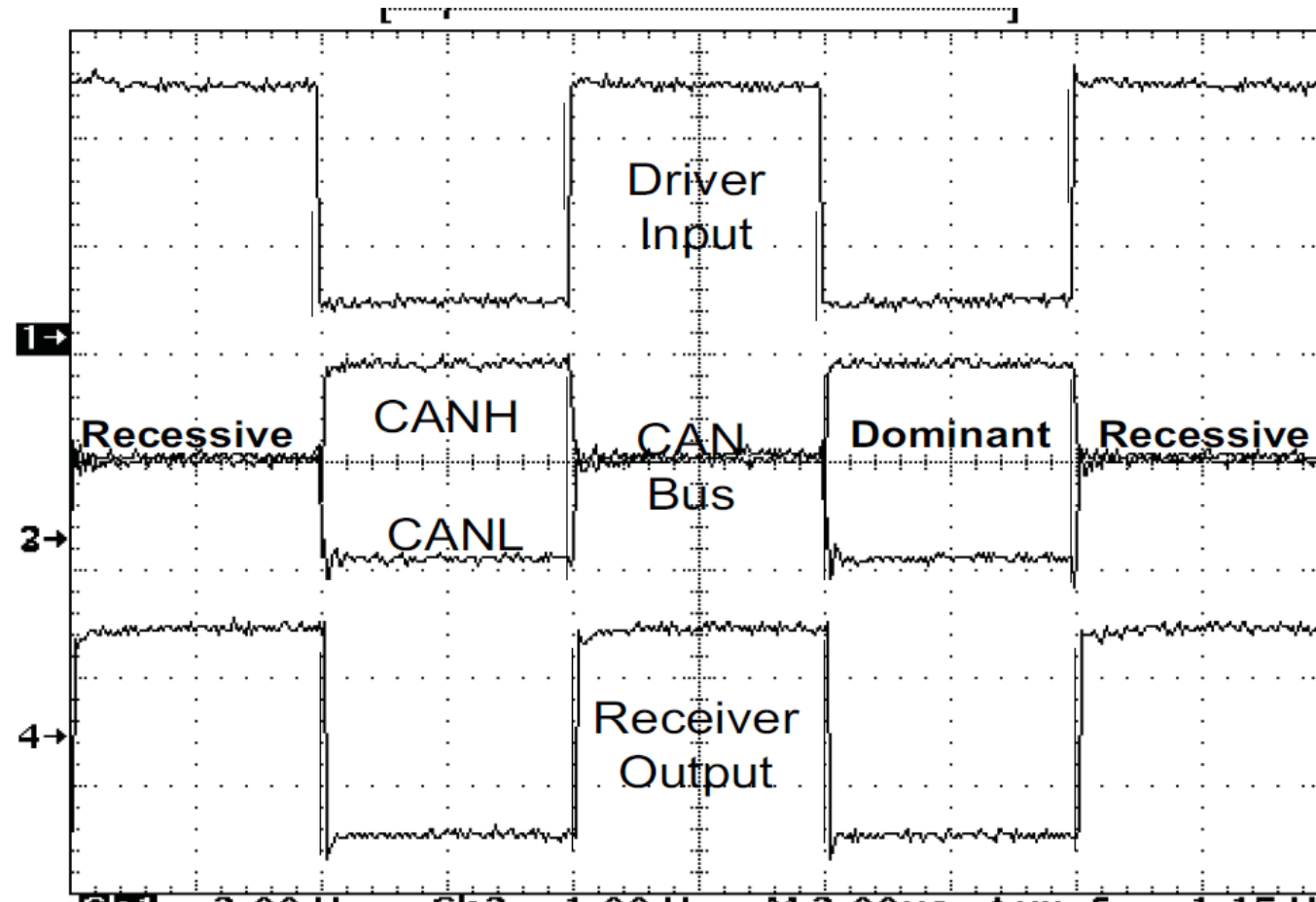
ISO 11898-2 Network

CAN : COUCHE PHYSIQUE

- Couche physique
 - Gère l'encodage des bits, le timing de communication, la synchronisation, bit timing, synchronization processes.
 - Encodage différentiel



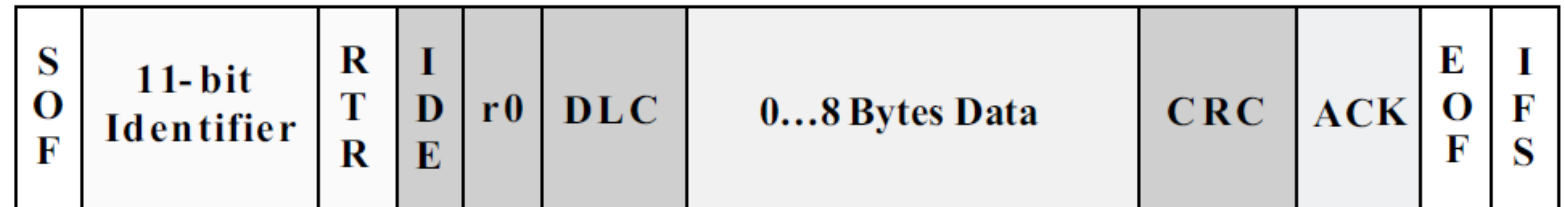
CAN : OBSERVATION DU SIGNAL CAN



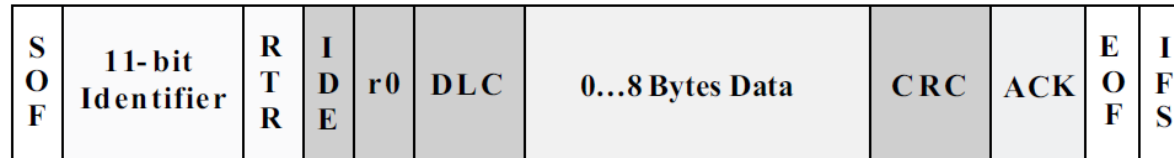
CAN : COUCHES LOGIQUES (DATA-LINK LAYER)

- Is divided into two layers
 - MAC (Medium Access Layer)
 - data encapsulation; frame coding, media access management, detection and signaling and acknowledgment tasks.
 - Logical-Link Layer
 - filtering messages, overload notification and recovery management.

■ Standard CAN: Message

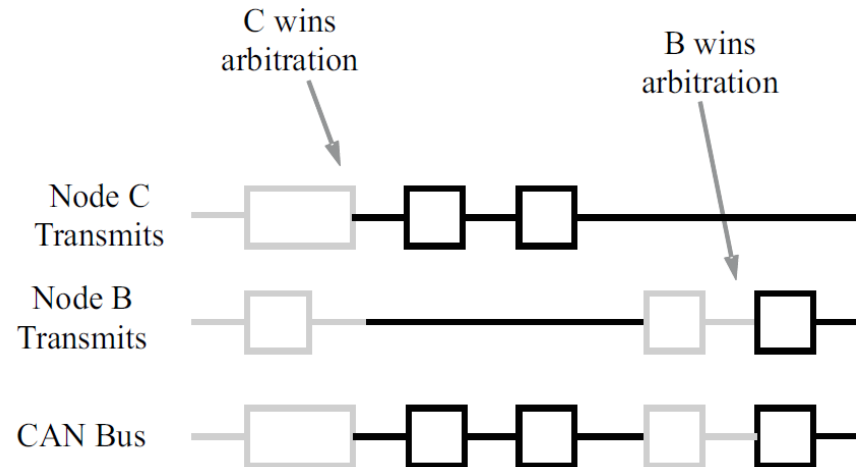


CAN: MESSAGE



- Standard CAN: Message

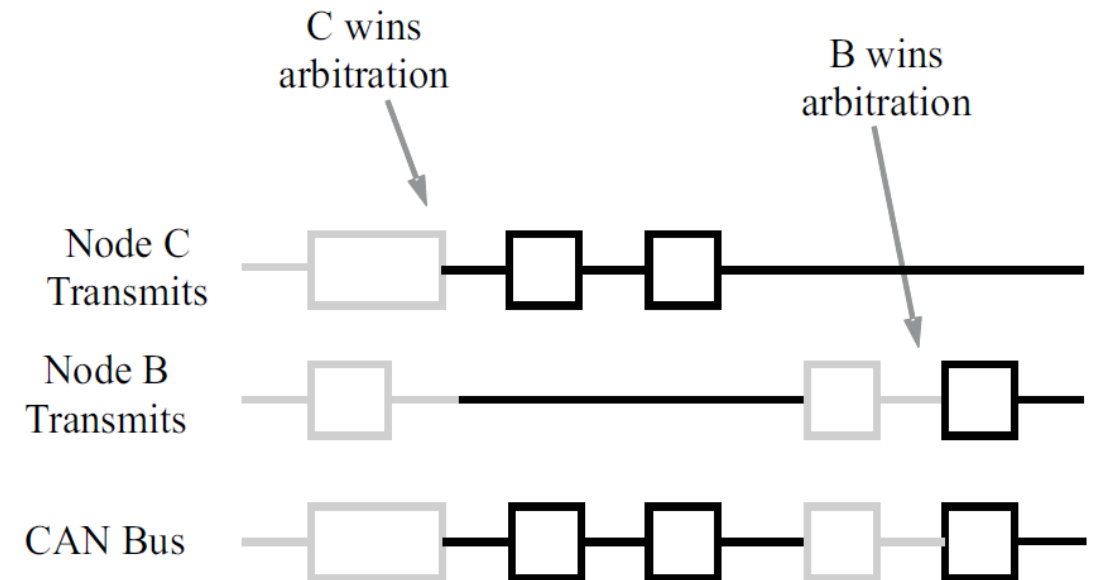
- Arbitration



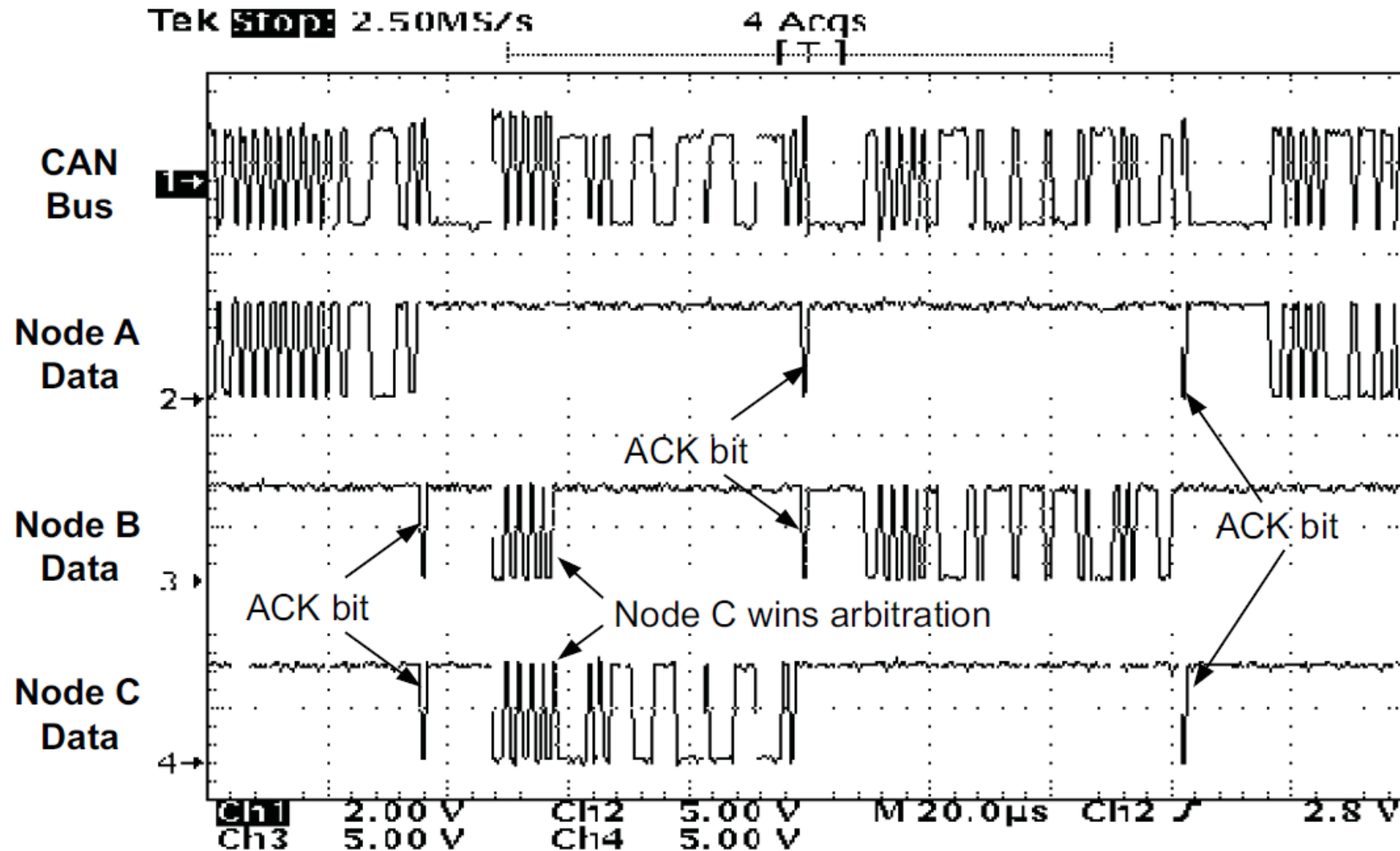
CAN: TYPE DE TRAMES & ARBITRAGE

- Type de trames
 - Data Frame : Communique des données
 - Remote Frame : Demande une communication de donnée
 - Error Frame : indique un état d'erreur sur le réseau/bus.
 - Overload Frame : indique une saturation du réseau/bus.

■ Arbitrage



CAN : EXEMPLE DE TRAFFIC AVEC ARBITRAGE





CAPTEURS



CAPTEURS : DÉFINITIONS GÉNÉRALES

- **Un CAPTEUR est un objet qui détecte un événement ou une modification de l'environnement**
- **Un Capteur génère :**
 - Un signal optique
 - Un signal électrique
- Production d'un CAPTEUR
 - TOR (Tout ou Rien) ON-OFF Signal
 - Analog Signal (Tension ou Intensité)
 - Digital Signal (Données encodées sous une forme binaire)
- CAPTEURS peuvent-être:
 - PASSIFS/ACTIFS
 - ALIMENTES/NON ALIMENTES

CAPTEURS : PROPRIÉTÉS

- **Sensibilité** : Ratio entre la valeur produite et la valeur mesurée. (Peut-être linéaire)
- **Résolution** : Capacité à discriminer entre deux valeurs. (Rarement linéaire et homogène).
- **Déviaton** :
 - **Biais** ou **Décalage** : value when measuring the « 0 » value. (Bias or Offset)
 - **Erreur dynamique** : erreur se produisant quand un évolution rapide des valeurs mesurées se produit. (Dynamic Error)
 - **Dérive** : erreur se produisant au fur et à mesure du temps de fonctionnement d'un capteur. (Drift)
 - **Hystérésie** : erreur se produisant quand un changement de direction/dynamique de mesure se produit. (Hysteresis)
 - **Bruit** : déviation aléatoire (Noise).
 - **Erreur de conversion** (binaire): erreur liée à la conversion d'une valeur analogique en valeur numérique. (Digital Conversion Error)

DICTIONNAIRE DES CAPTEURS :

MESURER LA POSITION, LES ANGLES ET LES DISTANCES

- Auxanometer
- Capacitive displacement sensor
- Capacitive sensing
- Doppler Radar
- Free fall sensor
- Gravimeter
- Gyroscopic sensor
- Impact sensor
- Inclinator
- Integrated circuit piezoelectric sensor
- Laser rangefinder
- Laser surface velocimeter
- LIDAR
- Linear encoder
- Linear variable differential transformer (LVDT)
- Liquid capacitive inclinometers
- Motion Detection
- Odometer
- Passive infrared sensor
- Photoelectric sensor
- Piezocapactive sensor
- Piezoelectric accelerometer
- Position sensor
- Proximity sensor
- Rate sensor
- Rotary encoder
- Rotary variable differential transformer
- Shock detector
- Stretch sensor
- Triangulation sensor
- Tilt sensor
- Tachometer
- Ultrasonic thickness gauge
- Variable reluctance sensor
- Velocity receiver

DICTIONNAIRE DES CAPTEURS : MESURER LES SOURCES OPTIQUES & LUMINEUSES

- Charge-coupled device
- CMOS sensor
- Colorimeter
- Contact image sensor
- Electro-optical sensor
- Flame detector
- Infra-red sensor
- Kinetic inductance detector
- LED as light sensor
- Light-addressable potentiometric sensor
- Nichols radiometer
- Fiber optic sensors
- Optical position sensor
- Photodetector
- Photodiode
- Photomultiplier tubes
- Phototransistor
- Photoelectric sensor
- Photoionization detector
- Photomultiplier
- Photoresistor
- Photoswitch
- Phototube
- Scintillometer
- Shack-Hartmann
- Single-photon avalanche diode
- Superconducting nanowire single-photon detector
- Transition edge sensor
- Visible light photon counter
- Wavefront sensor

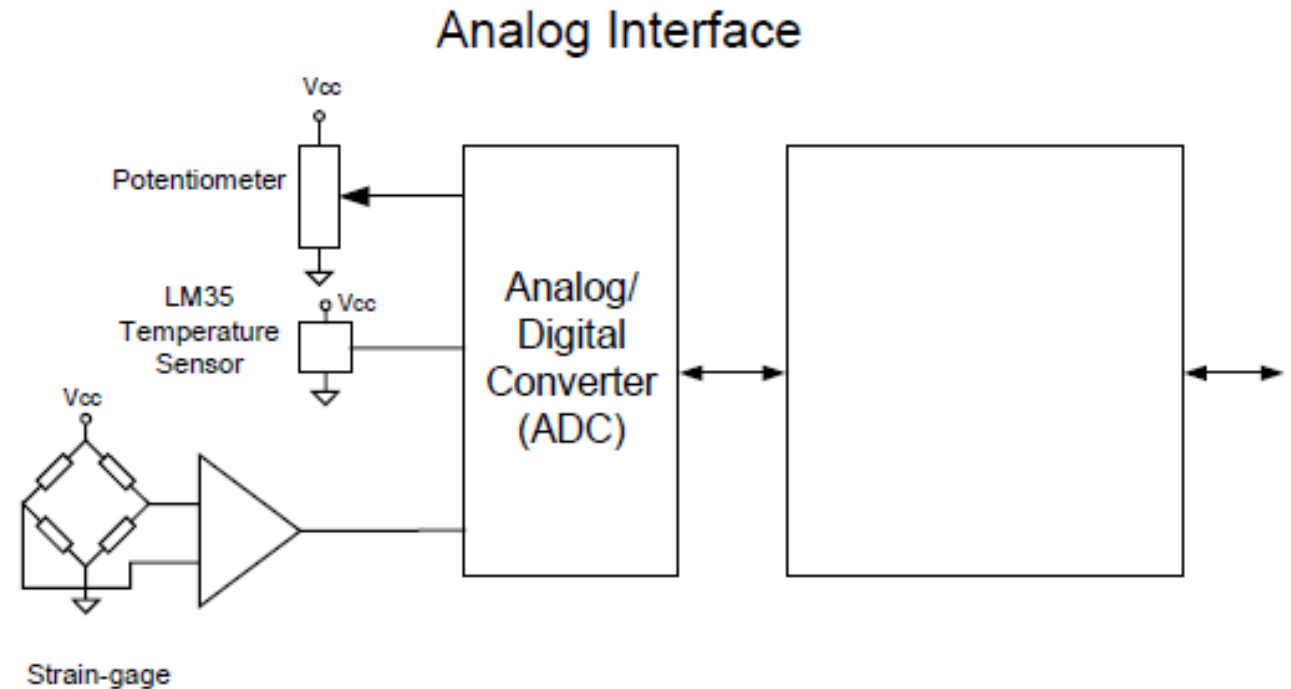
LA RÉVOLUTION DES MEMS

- Microelectromechanical systems (MEMS)
- Extension de la physique des semi-conducteurs à d'autres matériaux
 - Dépôt de couche-fines de matériaux (Polymères, Métaux, Céramique et Silicones)
 - Rognage et Dopage pour modifier les propriétés mécaniques, électriques et électromagnétiques des régions.
- Types de capteurs disponibles sous la forme de MEMS
 - Accelerometers, Gyroscopes
 - Pressure Sensors
 - Displays (Digital Micromirror Device)
 - Optical sensors & Optical Switching
 - Fluid acceleration
 - Ultrasound transducers
 - Bio-MEMS
 - ...



INTERFACER DES CAPTEURS

- Conversion analogique/numérique
- Avantages
 - Interface simple
 - Faible coût
 - Pas d'API pour y accéder
- Inconvénients
 - Coût augmentant avec la résolution souhaitée
 - Besoin d'un convertisseur ADC
 - Courte distance entre capteur et calculateur
 - Code spécifique pour la gestion du capteur



CAPTEURS INTELLIGENT

- CAPTEURS se connectant à un bus ou un réseau.
- CAPTEURS effectuant localement un traitement et un conditionnement des données.
- CAPTEURS offrant des fonctionnalités additionnelles comme :
 - Conversions ($F^{\circ}/C^{\circ} =$
 - Filtrage de valeurs
 - Génération d'événements

- Exemples de traitement de données offerts par les capteurs intelligents
 - Traitement d'image, détection de contours, détection d'obstacle, analyse de scène
 - Compression d'image
 - Filtrage des données, moyennage, élimination des points aberrants
 - ...
- Exemples de services que peut offrir un capteur intelligent
 - Datation des valeurs
 - Détection des erreurs,
 - Gestion de la QoS
 - Génération d'événements périodiques ou asynchrones.
 - Monitoring d'état
 - Auto ou Recalibrage
 - ...

CAPTEURS INTELLIGENTS (SUITE)

- Pas toujours pertinent
 - Haute performance/faible latence
 - Interface simple
 - Encodage des données complexes
- Normalisation en 3 couches (IEEE 1451)
 - Network Capable Applications Processor (NCAP)
 - Gestion de l'interconnexion au réseau
 - Support d'un réseau de type : CAN, ARIN 429, ProfiBus, Ethernet (WiFi).
 - Smart Transducer Interface Module (STIM)
 - Gère la couche physique du capteur et implante les opérations spécifiques de conversions et de commandes du capteurs
 - Transducer Independent Interface (TII)
 - Couche implantant les opérations de traitements de données et de services qui ne sont pas propres à l'implémentation du capteur.
- Intérêt de l'approche
 - Offre une boîte à outil pour transformer un capteur physique en capteur intelligent.