

# ... Introduction aux Bus et Réseaux

## Bus SPI et Bus I2C



PCI EXPRESS®



CAN



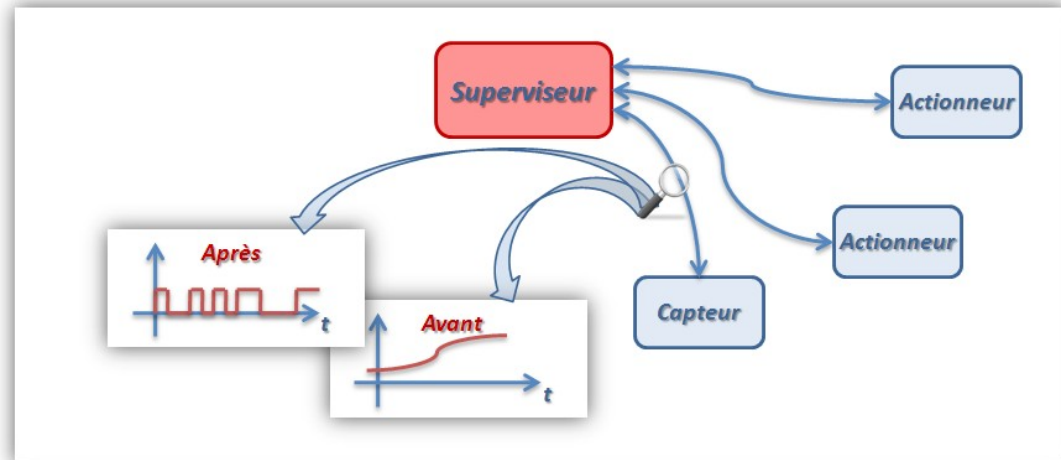
The background of the slide is a deep blue with several flowing, translucent, light blue ribbons or waves that curve and swirl across the frame, creating a sense of motion and depth.

# *1. Introduction*

# 1. Introduction

Deux des principaux but de la création des bus et réseaux étaient :

- Effectuer des transferts de données en évitant des boucles analogiques (ex: boucle 4-20mA). Transports numériques d'information via des signaux de type TOR (Tout Ou Rien). **Meilleure insensibilité aux problèmes de CEM.**



... Introduction  
aux bus et réseaux

## 1. Introduction

### • Intérêt des bus

#### • avant les bus ?

- parallèle ou série
- Topologies

### • Questions à se poser

### • Familles de bus

- bus informatique
- bus de terrain
- bus fond panier

### • Types de connexion

- Maître/esclave
- prod./conso.
- client/serveur

## 2. bus SPI

### • Interface

### • Protocole

- Data
- Phase et polarity

### • Avantages/Inconv.

### • Périphériques

## 3. Bus I2C

### • Interface

### • Protocole

### • Avantages/Inconv.

### • Périphériques

# 1. Introduction

## ... Introduction aux bus et réseaux

### 1. Introduction

#### • Intérêt des bus

- avant les bus ?
- parallèle ou série
- Topologies

#### • Questions à se poser

#### • Familles de bus

- bus informatique
- bus de terrain
- bus fond panier

#### • Types de connexion

- Maître/esclave
- prod./conso.
- client/serveur

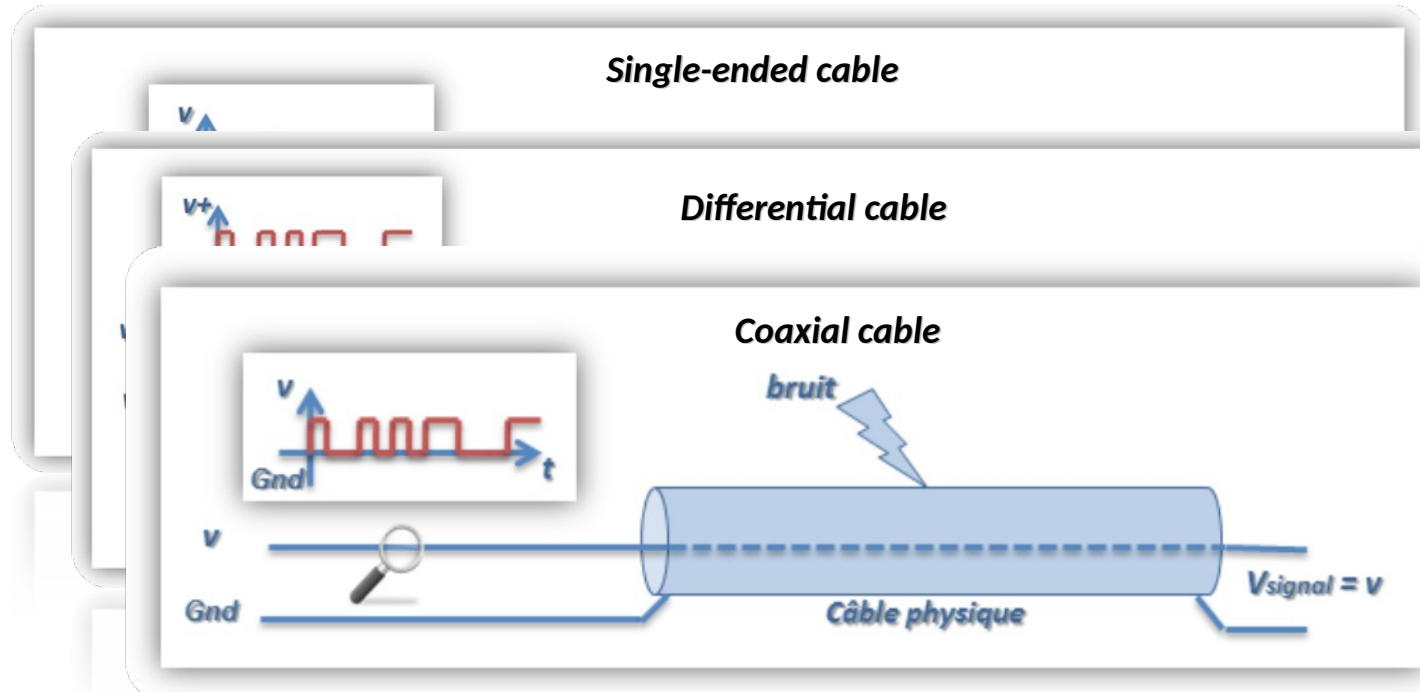
### 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

De façon général au-delà de  $\sim 1\text{m}$ , les différents protocoles de communication série travaillant avec des câbles utilisent des signaux électriques différentiels (limitation problèmes CEM). Nous parlons de paire différentielle torsadée (USB, ETHERNET-RJ45, RS-485 ...) :





# 1. Introduction

- Utiliser idéalement un support physique unique pour interfacer et faire communiquer différents dispositifs électronique. **Coût matériel, temps d'installation, maintenance, évolutivité.**

... Introduction  
aux bus et réseaux

## 1. Introduction

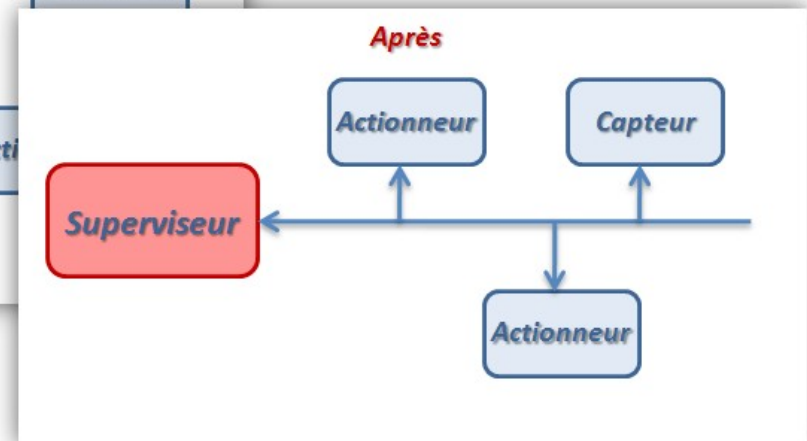
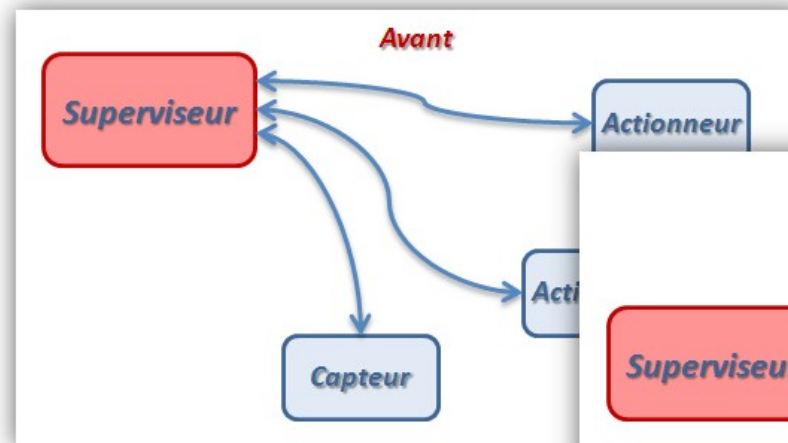
- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

## 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

## 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques



# 1. Introduction

... Introduction  
aux bus et réseaux

## 1. Introduction

### • Intérêt des bus

- avant les bus ?
- parallèle ou série
- Topologies

### • Questions à se poser

### • Familles de bus

- bus informatique
- bus de terrain
- bus fond panier

### • Types de connexion

- Maître/esclave
- prod./conso.
- client/serveur

## 2. bus SPI

### • Interface

### • Protocole

- Data
- Phase et polarity

### • Avantages/Inconv.

### • Périphériques

## 3. Bus I2C

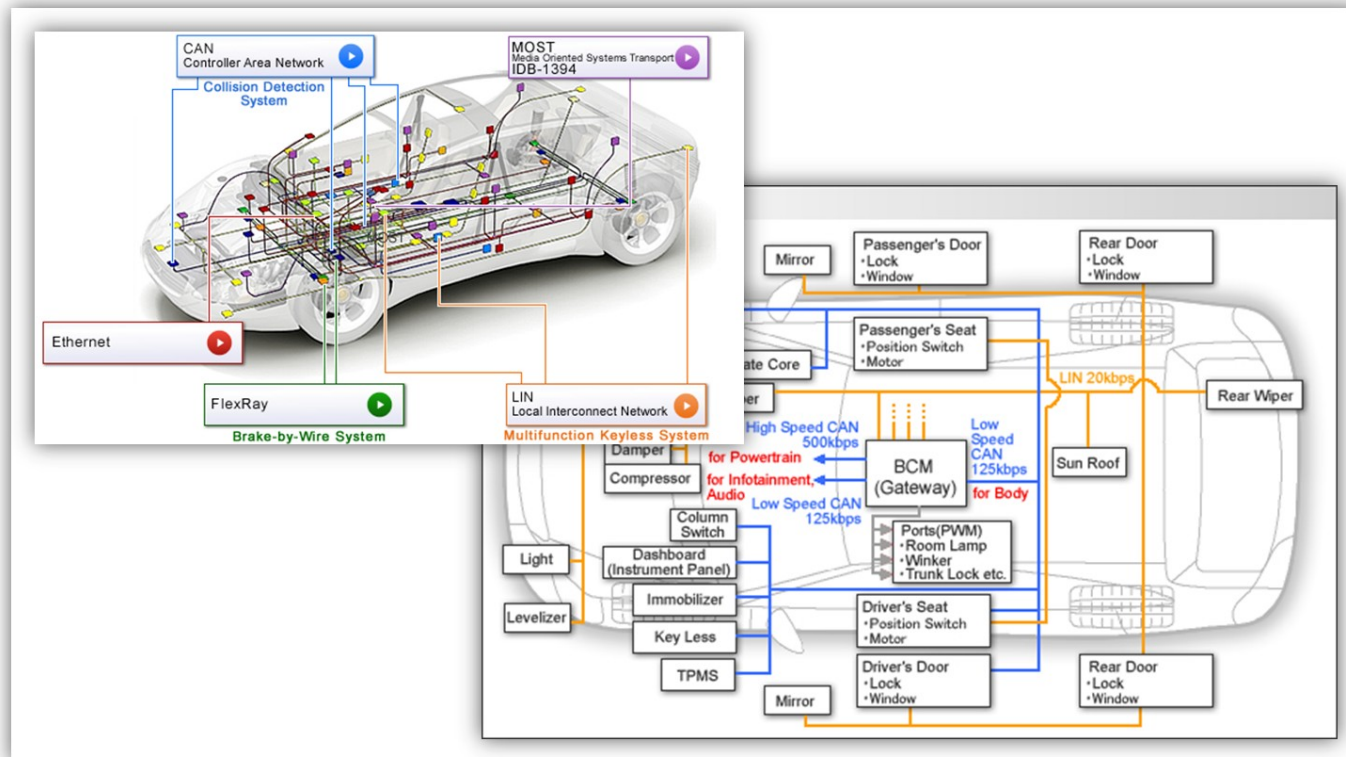
### • Interface

### • Protocole

### • Avantages/Inconv.

### • Périphériques

Prenons l'exemple d'un domaine exigeant une grande robustesse des applications et mettant en œuvre des solutions très fortement communicantes, l'automobile :



# 1. Introduction

... Introduction  
aux bus et réseaux

## 1. Introduction

### • Intérêt des bus

- avant les bus ?
- parallèle ou série
- Topologies

### • Questions à se poser

### • Familles de bus

- bus informatique
- bus de terrain
- bus fond panier

### • Types de connexion

- Maître/esclave
- prod./conso.
- client/serveur

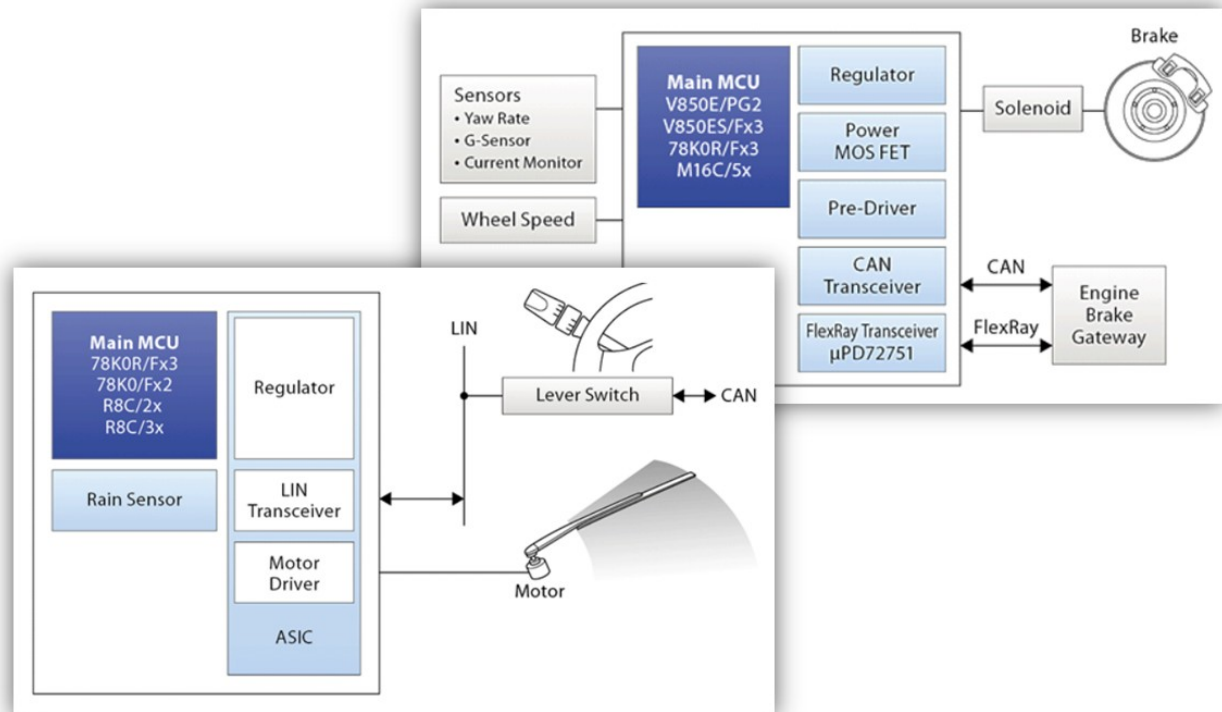
## 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

## 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

Dans le cadre de l'application précédente, observons deux nœuds sur l'un des bus. Les bus rencontrés dans le domaine de l'automobile (CAN, LIN ...) font partie de la famille des **bus de terrain** (cf. suite de l'introduction) :



# 1. Introduction

## ... Introduction aux bus et réseaux

### 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

### 2. bus SPI

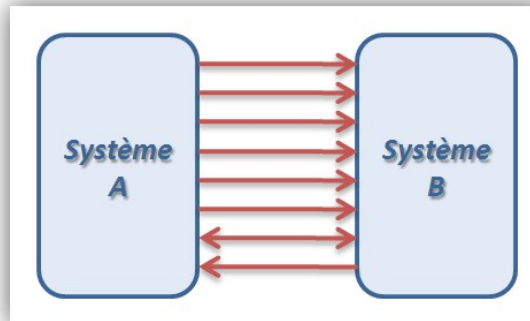
- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

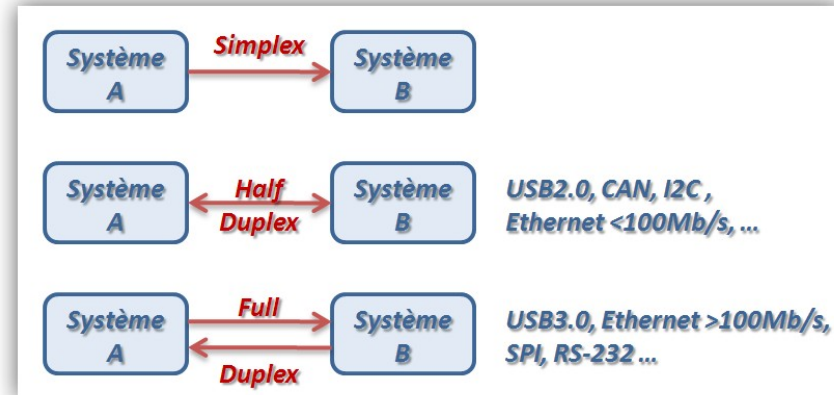
Les bus de communication actuels sont le plus souvent des bus séries. Pour les applications exigeant des débits importants nous pouvons trouver des solutions mixtes parallèle/série. Mise en parallèle de liens série (ex : PCI-e, Ethernet 1Gb/s, DisplayPort ...) :

Bus parallèle



- Débit payload plus élevé
- Coût matériel élevé (câbles, connectiques, cuivre ...)
- nombre broches côté processeur
- Problèmes de routage
- ...

Bus série





# 1. Introduction

... Introduction  
aux bus et réseaux

## 1. Introduction

### • Intérêt des bus

- avant les bus ?
- parallèle ou série
- Topologies

### • Questions à se poser

### • Familles de bus

- bus informatique
- bus de terrain
- bus fond panier

### • Types de connexion

- Maître/esclave
- prod./conso.
- client/serveur

## 2. bus SPI

### • Interface

### • Protocole

- Data
- Phase et polarity

### • Avantages/Inconv.

### • Périphériques

## 3. Bus I2C

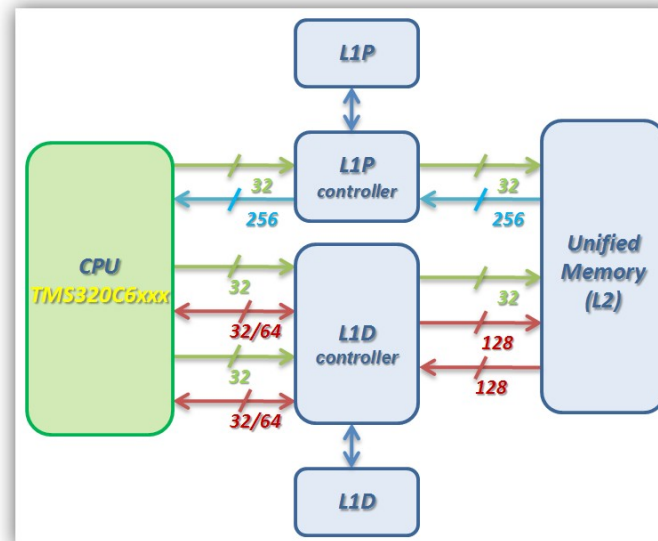
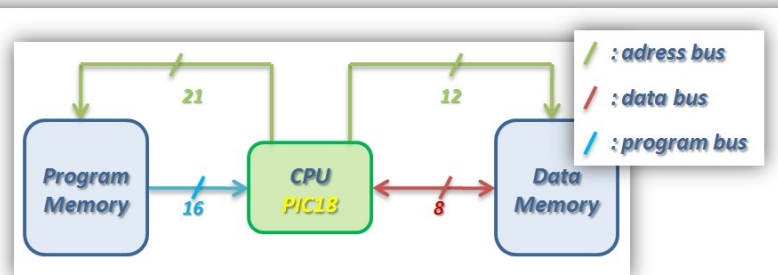
### • Interface

### • Protocole

### • Avantages/Inconv.

### • Périphériques

Néanmoins, les bus parallèles restent très rencontrés, par exemple sur tout composant à architecture à CPU (MCU, DSP, GPP ou MPU ...) :



# 1. Introduction

... Introduction  
aux bus et réseaux

## 1. Introduction

### • Intérêt des bus

- avant les bus ?
- parallèle ou série
- Topologies

### • Questions à se poser

### • Familles de bus

- bus informatique
- bus de terrain
- bus fond panier

### • Types de connexion

- Maître/esclave
- prod./conso.
- client/serveur

## 2. bus SPI

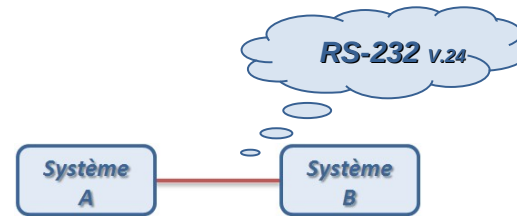
- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

## 3. Bus I2C

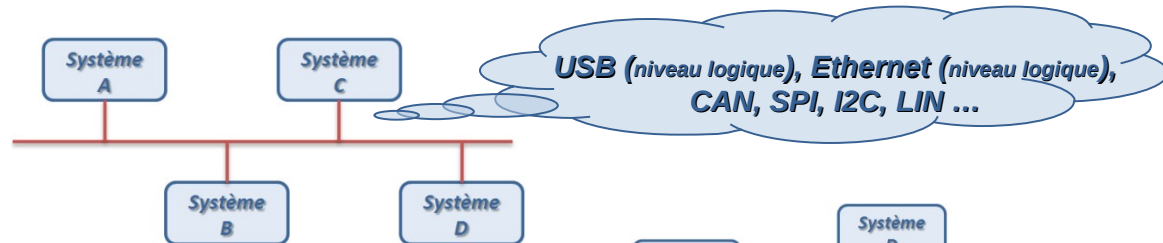
- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

Il existe également différentes topologies permettant de classer les réseaux. Voici 3 des plus répandues :

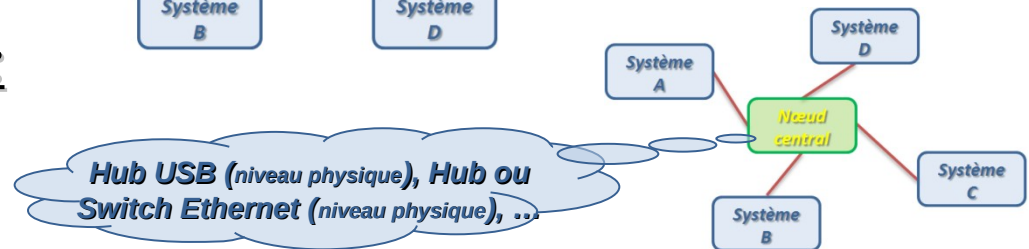
### • point à point :



### • Bus :



### • Etoile :



• Nous pouvons également rencontrer des topologies en **anneau** (ex : interbus), **maillé** (ex : internet, WIFI), en **arbre** ...

# 1. Introduction

Il existe également différentes topologies permettant de classifier les réseaux. Voici 3 des plus répandues :

... Introduction  
aux bus et réseaux

## 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

## 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

## 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

• **point à point** (peer to peer) : communication qu'entre deux systèmes. Non évolutif.

• **Bus** : Réseaux simple à mettre en œuvre, évolutif et peu coûteux (vs anneau et étoile par exemple). Politique d'accès au bus nécessaire.

• **Etoile** (star) : système évolutif mais coûteux (concentrateur). Passage par un concentrateur (Hub), commutateur (switch) ou routeur (router). Sensible à une panne du nœud central. Avantage, intelligence déportée dans le concentrateur.

# 1. Introduction

## ... Introduction aux bus et réseaux

### 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

### 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

Avant de mettre en œuvre un quelconque réseau ou bus, il faut répondre à un certain nombre de questions :

### • Questions d'ordre général :

- ✓ Communauté d'utilisateurs (forums , spec. Techniques , standard international, support technique...)
- ✓ Système libre (royalties, licences, certifications ...)
- ✓ Outils de développement (kits de développement, analyseurs protocole, tool suite sur PC, API pour OS embarqué, coût ...)
- ✓ composants d'interface externe ou dans MCU (fabricants, API, coût, pérennité protocole ...)



# 1. Introduction

## ... Introduction aux bus et réseaux

### 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

### 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

- Questions d'ordre topologique et physique :
  - ✓ Topologie du réseau
  - ✓ Longueur Max (nombre de répéteurs, type du medium ...)
  - ✓ Nombre Max de nœuds (nombre de répéteurs ...)
  - ✓ Débit Max (débit utile, débit réel ...)
  - ✓ Protocole (famille de bus, application ...)
  - ✓ Latence Max
  - ✓ Multimaître (émission, broadcast ...)
  - ✓ Détection voir gestion des erreurs (CRC, parité, réémission, ACK ...)
  - ✓ Système évolutif (ajout/retrait nœuds, charge réseau ...)
  - ✓ Sensibilité aux bruit et problèmes de CEM

# 1. Introduction

Les différents réseaux et bus peuvent être classés en trois grandes familles :

... Introduction  
aux bus et réseaux

## 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

## 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

## 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

### Bus Informatique

USB, Ethernet,  
RS-232, FireWire ...



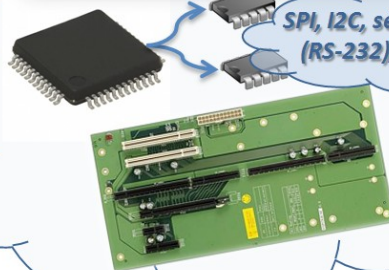
### Bus de terrain

CAN, Ethernet, RS-485,  
LIN, ProfiBus, ModBus,  
LON, InterBus, FrexRay ...



### Bus de fond de panier ou inter-composants

SPI, I2C, série asynchrone  
(RS-232), PCIe, SRIO ...



# 1. Introduction

... Introduction  
aux bus et réseaux

## 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

## 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

## 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

**Les bus informatique servent d'interface de communication avec un PC.** Ils s'adaptent donc le plus souvent aux standards rencontrés sur les PC grand public. Les protocoles dédiés aux applications vidéo (HDMI, DisplayPort, DVI, VGA ...) ne seront pas présentés car ils restent spécifiques aux contraintes imposées par les applications vidéo et n'ont pas de vocation généraliste :





# 1. Introduction

... Introduction  
aux bus et réseaux

## 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

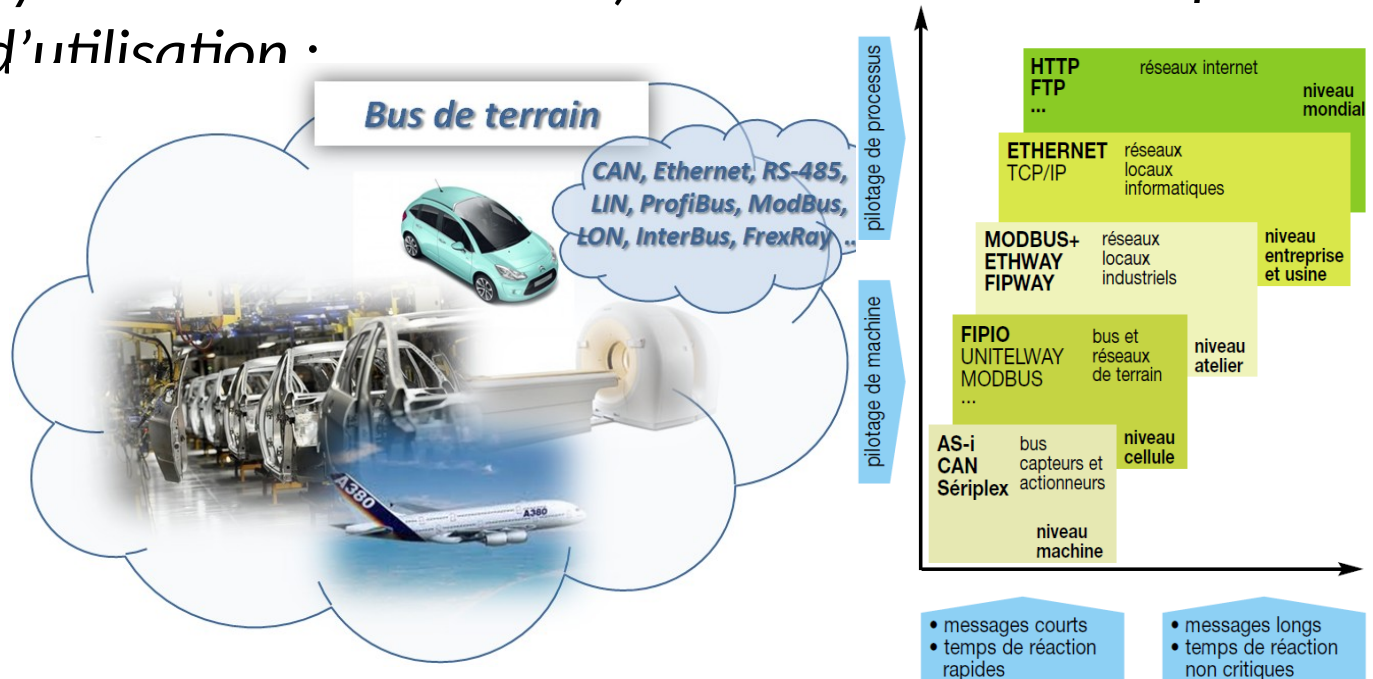
## 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

## 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

Les réseaux et bus de terrain sont des systèmes d'interconnexion de capteurs, d'actionneurs et de systèmes de contrôle/supervision à l'échelle d'une cellule, d'un atelier voir d'une entreprise. Les bus de terrain respectent tous le modèle OSI (Open Systems Interconnection). Observons des exemples d'utilisation :





# 1. Introduction

... Introduction  
aux bus et réseaux

## 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

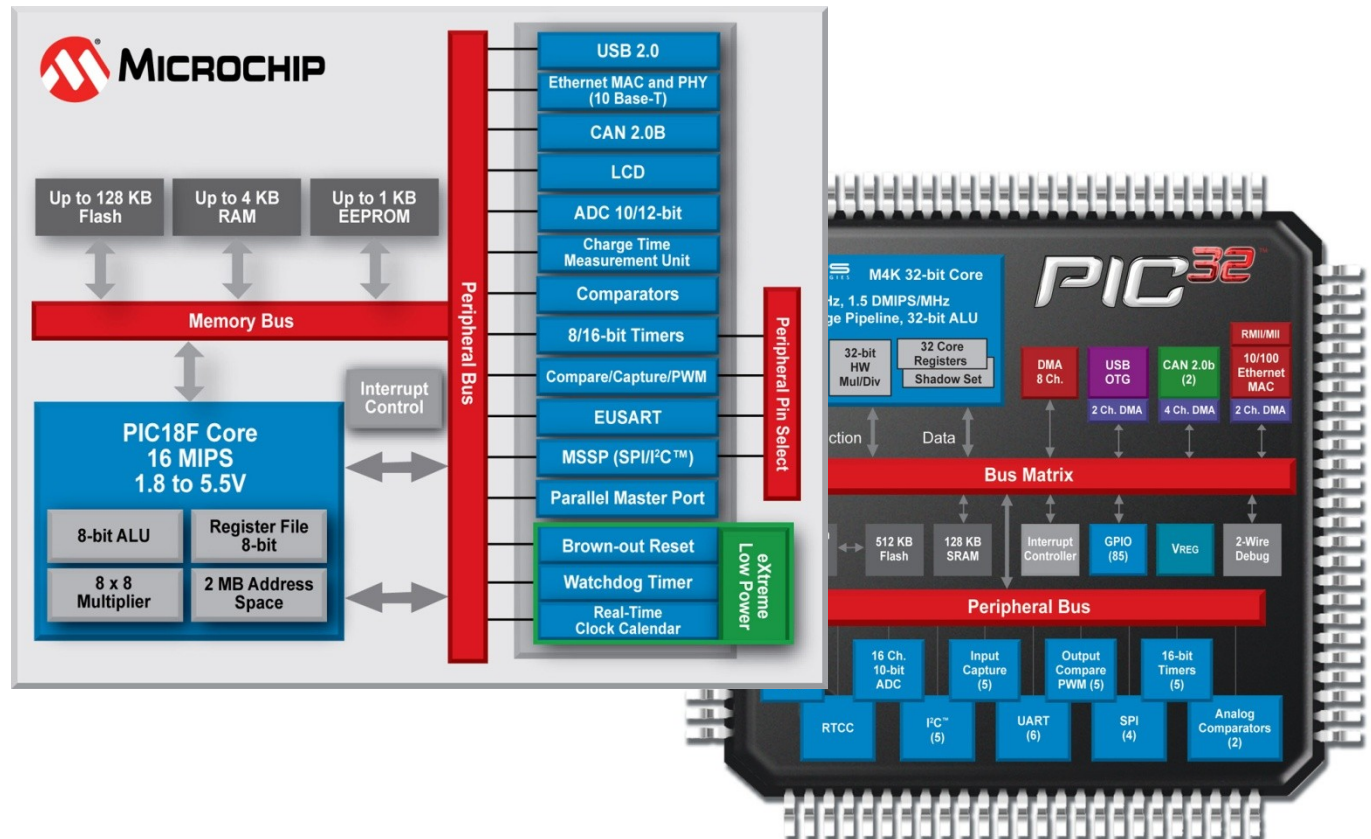
## 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

## 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

- Beaucoup de MCU embarquent "on chip" des interfaces pour des bus de terrains standards (exemple des PIC8 et PIC32 de Microchip).



# 1. Introduction

## ... Introduction aux bus et réseaux

### 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

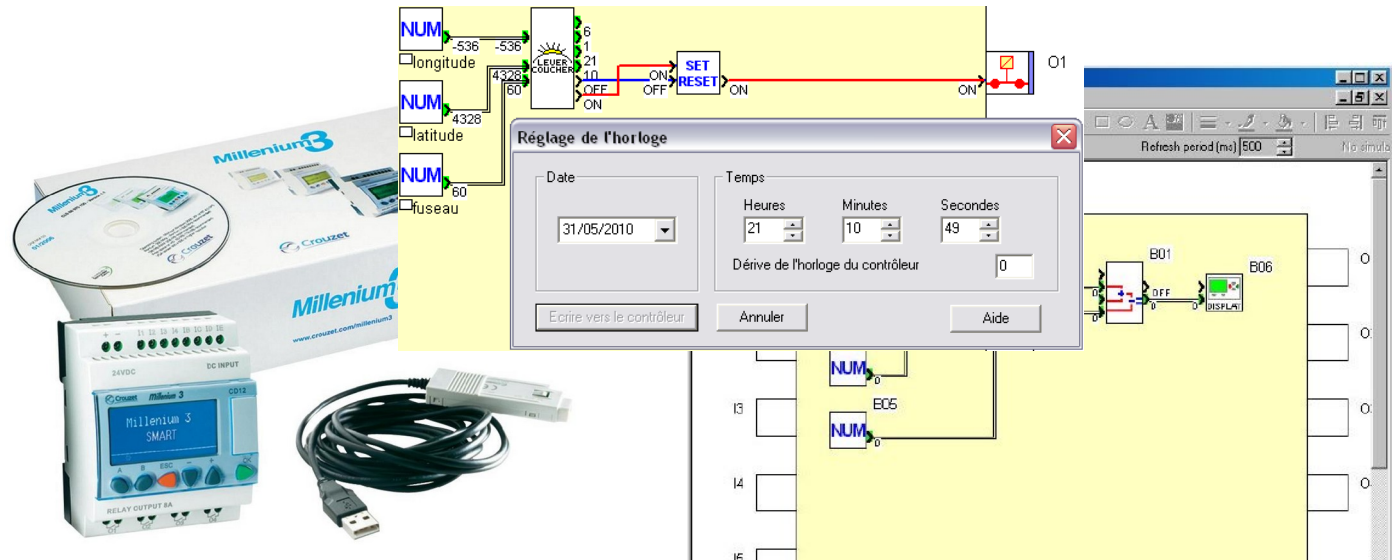
### 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

- Dans un contexte industriel, les composants au centre des réseaux de communication sont souvent des API (Automate Programmable Industriel). Composant embarquant un voir plusieurs MCU mais se programmant le plus souvent via des langages de type FDB (Function Block Diagram, ~90% des utilisateurs chez Crouzet en 2011 ).



Millenium 3 - [www.crouzet.fr](http://www.crouzet.fr)

# 1. Introduction

... Introduction  
aux bus et réseaux

## 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

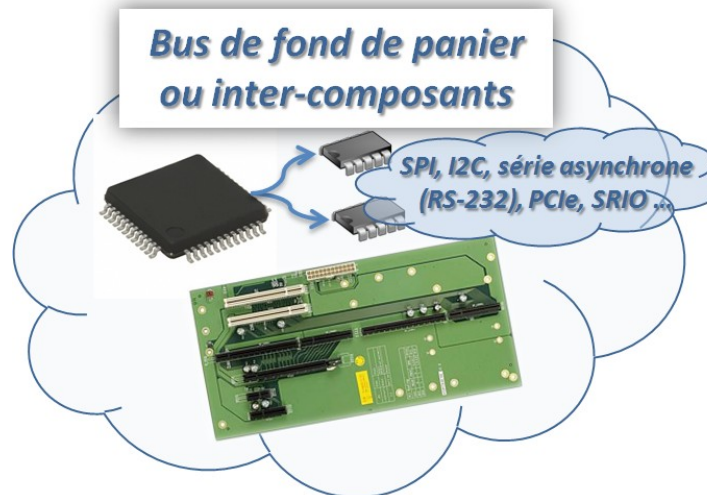
## 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

## 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

**Les bus de fond de panier, inter-cartes (PCIe, VME, PXI ...) ou inter-composants (SPI, I2C, OneWire ...) sont des bus implémentés le plus souvent directement sur le PCB (Printed Circuit Board) avec des distances d'interconnexion très courtes. Ils ne respectent pas forcément le modèle OSI et certains d'entre eux autorisent des débits extrêmement importants (PCIe, SRIO, Thunderbolt, S-ATA ...).**



# 1. Introduction

## ... Introduction aux bus et réseaux

### 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

### 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

Dans la suite de cet enseignement nous allons être amené à développer une application autour du bus SPI. Prenons quelques exemples d'applications utilisant le bus SPI (ou l'I2C son grand concurrent) :

- EEPROM
- ADC, DAC, codec Audio
- Divers capteurs (température, pression ...)
- Afficheurs LCD/OLED
- Power Manager/Supervisor
- RTCC (Real Time Clock and Calendar)
- SD Card ou MMC
- contrôleurs GPS, GSM, WIFI, BlueTooth, Ethernet, Touch Screen ... etc. **la liste pourrait-être très longue !**



# 1. Introduction

Prenons quelques exemples d'applications utilisant le bus SPI. Voici les bus SPI que vous avez déjà rencontré sans le savoir :

... Introduction aux bus et réseaux

## 1. Introduction

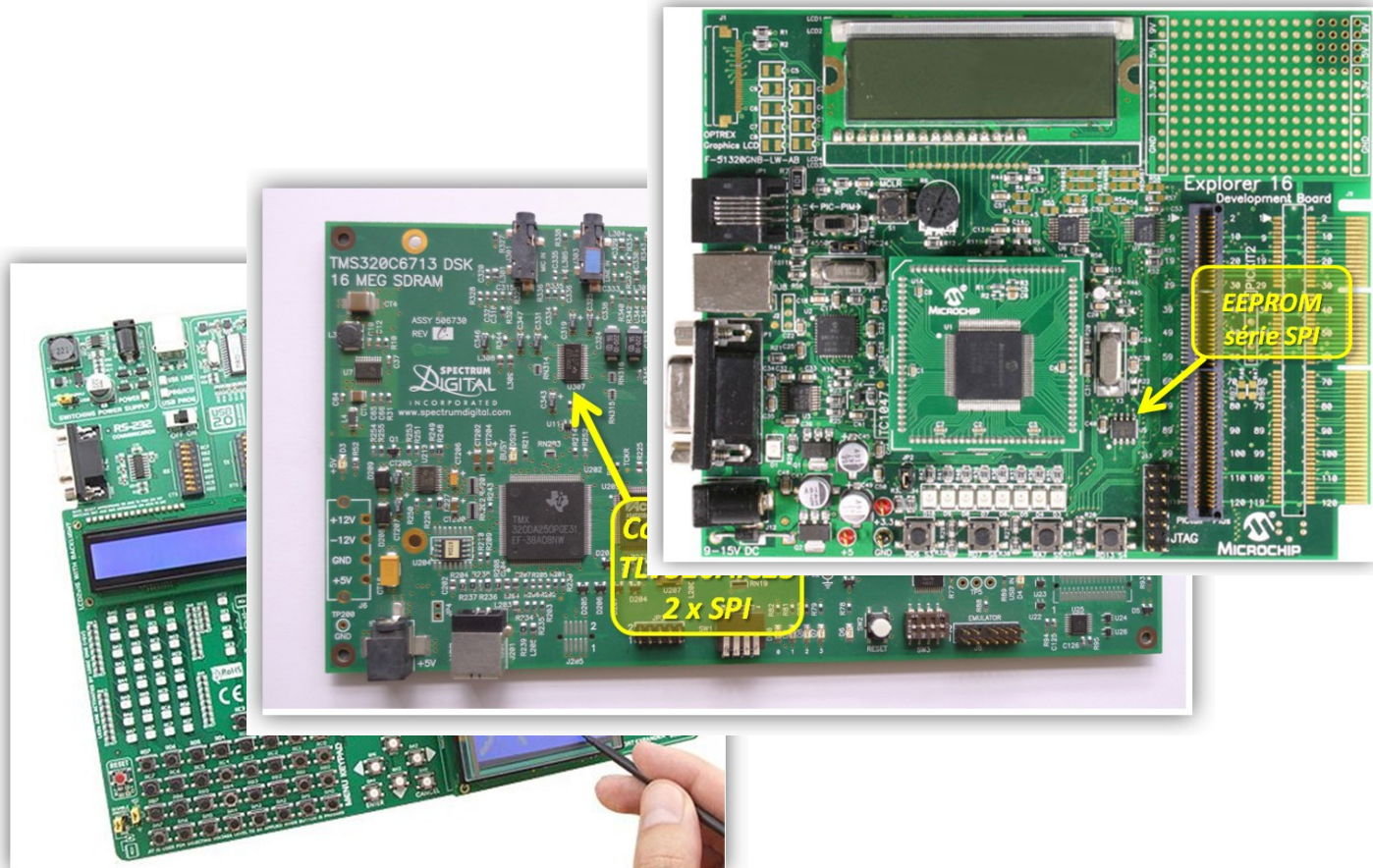
- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

## 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

## 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques



# 1. Introduction

Observons 3 grands types de connexion au niveau applicatif d'une application :

... Introduction  
aux bus et réseaux

## 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

## 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

## 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

- **Maître/Esclaves (SPI, I2C, USB, LIN, ModBus ...)** : Le maître est le chef du bus, il est à l'initiative de toutes les communications. Les esclaves ne font que répondre à des requêtes du maître.
- **Producteur/Consommateurs (CAN ...)** : Un producteur produit une donnée et la diffuse sur le bus. Les consommateurs peuvent la lire ou pas. Sur le bus CAN, tout nœud peut être consommateur.
- **Clients/Serveur (Ethernet ...)** : Les clients envoient des requêtes au serveur chargé de répondre.

# 1. Introduction

A ces 3 grands types de connexion est associé 3 modes d'adressage :

## ... Introduction aux bus et réseaux

### 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

### 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

- **Maître/Esclaves (SPI, I2C, USB, LIN, ModBus ...)** : Chaque esclave possède sa propre adresse qui sont toutes connues du maître.

- **Producteur/Consommateurs (CAN ...)** : C'est la nature du message qui sert "d'adresse". Prend le message qui se sent concerné.

- **Clients/Serveur (Ethernet ...)** : Le serveur possède une adresse connue des clients. C'est à travers ce chemin que les clients envoient leurs requêtes.





## *2. Bus SPI* *(Serial Peripheral Interface)*



### ... Introduction aux bus et réseaux

#### 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

#### 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

#### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

Le SPI (Serial Peripheral Interface) est un bus de communication :

- **synchrone**
- **full duplex**
- **Maître/Esclave**
- Le maître est à l'initiative toutes les communications
- Pas de vitesses imposées par le standard. Débits élevés tolérés (typiquement ~1MHz-100MHz)
- Spécifié par Motorola (Freescale est la branche semi-conducteur de Motorola)
- 4 broches unidirectionnelles côté IC (typiquement)
- Nommé de temps en temps "**4-Wire**" en référence au bus "1-Wire" de Dallas ou à l'I2C appelé souvent "2-Wire".

## 2. Bus SPI

### ... Introduction aux bus et réseaux

#### 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

#### 2. bus SPI

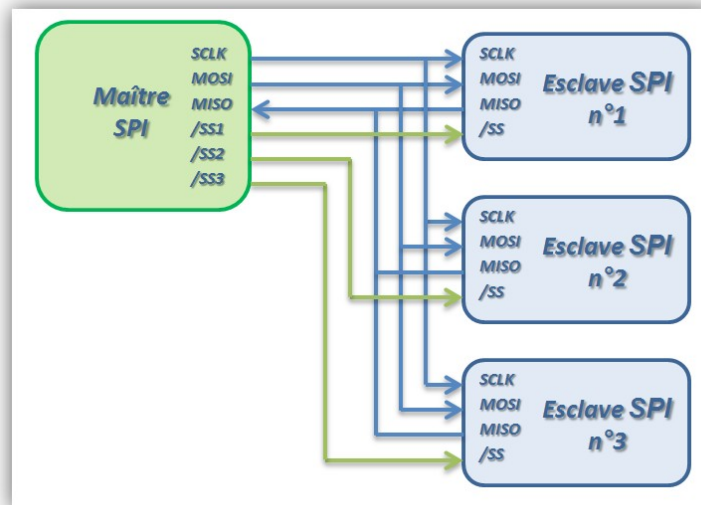
- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

#### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

Observons une **connexion typique du Bus SPI**. Il existe une autre variante moins rencontrée permettant de chaîner les esclaves en le faisant coopérer (daisy chain) :

- **SCLK** (Serial Clock) ou CLK ...
- **MOSI** (Master Out Slave In) ou SDI/SDO, DI/DO ...
- **MISO** (Master In Slave Out) ou SDI/SDO, DI/DO ...
- **/SS** (Slave Select) ou CS, /CS ...



## 2. Bus SPI

### ... Introduction aux bus et réseaux

#### 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

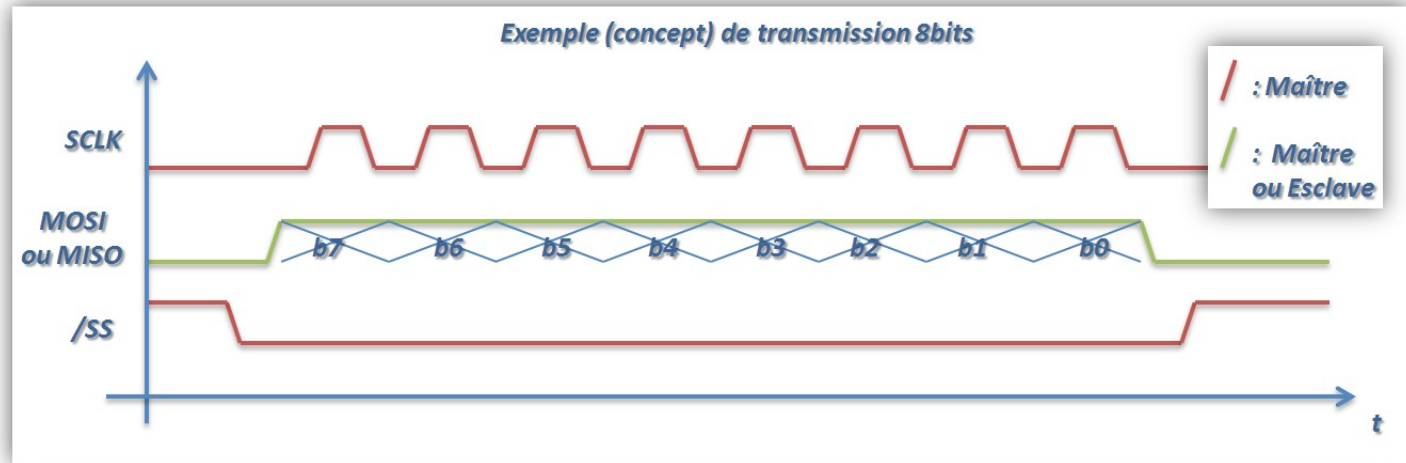
#### 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

#### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

La fréquence de travail est imposée par le Maître et doit respecter les contraintes Max de l'esclave (typiquement entre 1MHz et 100MHz). La taille des données peut être variable et dépend du contrôleur SPI et de l'application visée (typiquement 8-12-16-24-32bits). En général le Msb est envoyé en premier.



## 2. Bus SPI

### ... Introduction aux bus et réseaux

#### 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

#### 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

#### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

De façon général, sur un contrôleur SPI nous pouvons configurer l'état au repos de la ligne d'horloge, nous parlerons de polarité (CPOL, Clock Polarity). Nous pouvons également définir la sensibilité aux fronts montants ou descendants, nous parlerons de phase (CPHA, Clock Phase). Le standard définit différents modes :

mode	CPOL	CPHA
1	L	L
2	L	H
3	H	L
4	H	H



## 2. Bus SPI

Observons les différents cas de figure :

### ... Introduction aux bus et réseaux

#### 1. Introduction

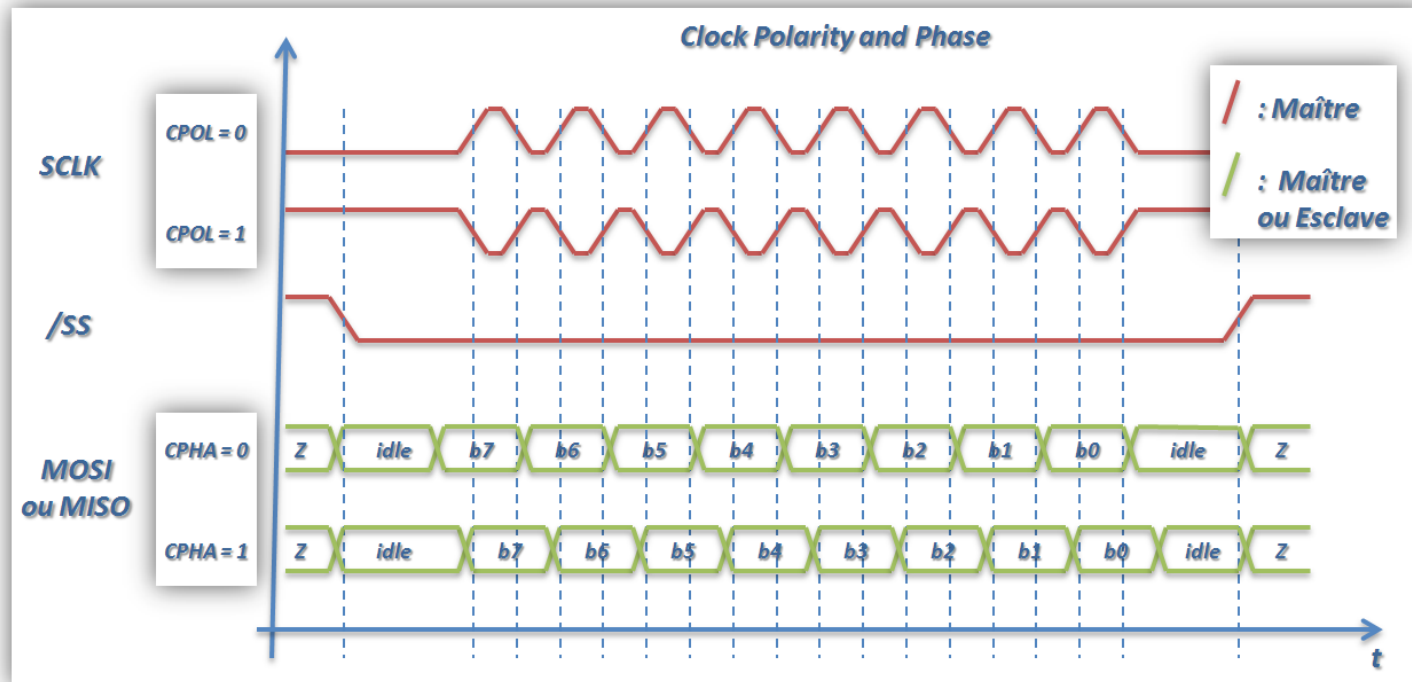
- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

#### 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

#### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques



## 2. Bus SPI

Observons les différents avantages et inconvénients du bus SPI. Le comparatif est basé sur ses principaux concurrents (I2C, série Asynchrone ou RS-232, 1-Wire ...).

### ... Introduction aux bus et réseaux

#### 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

#### 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

#### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

#### • Avantages :

- ✓ Débit important (full duplex, débit utile = débit réel ...)
- ✓ Données utiles ou payload à taille variable (série Asynchrone 8bits fixe)
- ✓ Contrôleur moins complexe et moins de ressource hardware (consommation moins élevée, esclave sans résonateur externe de précision, pas de transceiver ...)
- ✓ Pas d'arbitrage

✓ Signaux unidirectionnels (isolation galvanique plus aisée)

### • Inconvénients :

- ✓ Nécessite plus de broches côté IC et fils sur le PCB. Nombre de broches = 3 + nombre d'esclaves (1-Wire une broche, I2C deux broches, RS-232 trois broches ...)
- ✓ Pas d'acquiescement ou acknowledgment (le maître peut parler dans le vide)
- ✓ Multi-maître impossible
- ✓ pas de détection ni gestion des erreurs.
- ✓ Pas de contrôle de flux côté esclave
- ✓ Communications sur de courtes distance (RS-232 : ~4m à 115,2Kbd/s, ~50m à 9600bd/s ...)

### ... Introduction aux bus et réseaux

#### 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

#### 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

#### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

## 2. Bus SPI

Les contrôleurs SPI sont le plus souvent implémentés sous forme de deux registres à décalage formant un buffer circulaire entre composants. Prenons l'exemple d'un MCU interfaçant un périphérique SPI :

### ... Introduction aux bus et réseaux

#### 1. Introduction

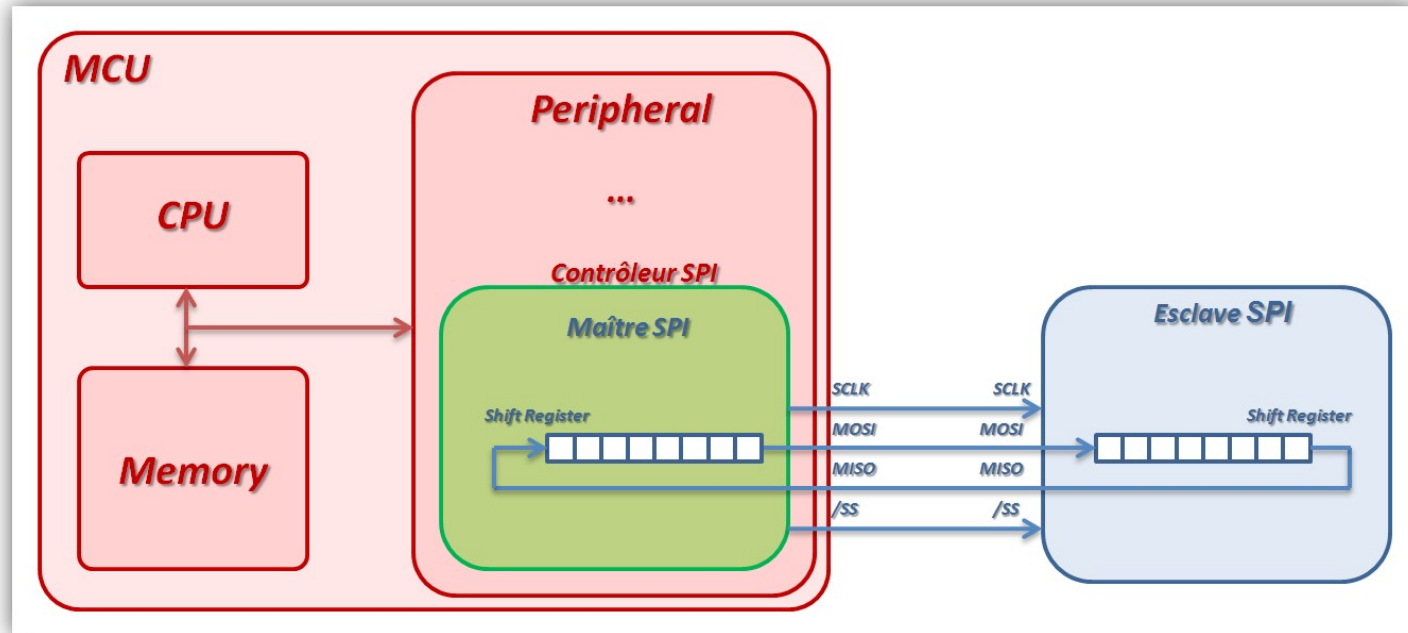
- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

#### 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

#### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques





## 2. Bus SPI

### ... Introduction aux bus et réseaux

#### 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

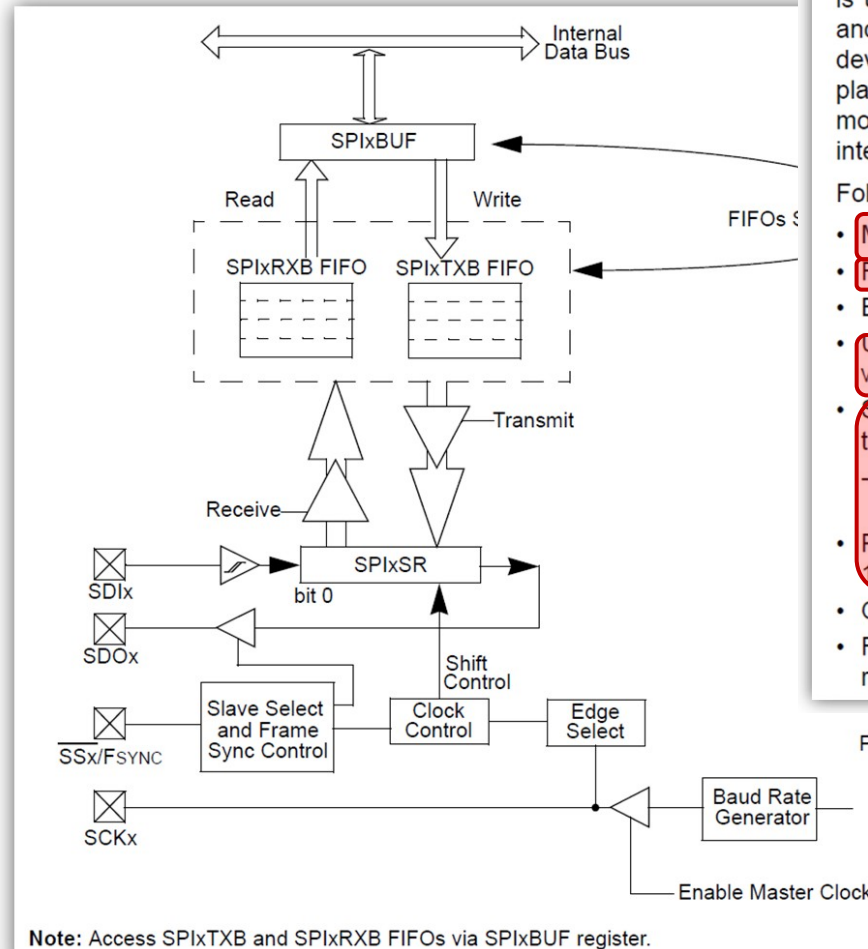
#### 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

#### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

Observons le contrôleur SPI des PIC32, celui que nous allons utiliser en TP :



The SPI module is a synchronous serial interface that is useful for communicating with external peripherals and other microcontroller devices. These peripheral devices may be Serial EEPROMs, Shift registers, display drivers, A/D Converters, etc. The PIC32MX SPI module is compatible with Motorola<sup>®</sup> SPI and SIOP interfaces.

Following are some of the key features of this module:

- Master and Slave modes support
- Four different clock formats
- Enhanced Framed SPI protocol support
- User-configurable 8-bit, 16-bit and 32-bit data width
- Separate SPI FIFO buffers for receive and transmit
  - FIFO buffers act as 4/8/16-level deep FIFOs based on 32/16/8-bit data width
- Programmable interrupt event on every 8-bit, 16-bit and 32-bit data transfer
- Operation during CPU Sleep and Idle mode
- Fast bit manipulation using CLR, SET and INV registers

## 2. Bus SPI

... Introduction  
aux bus et réseaux

### 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

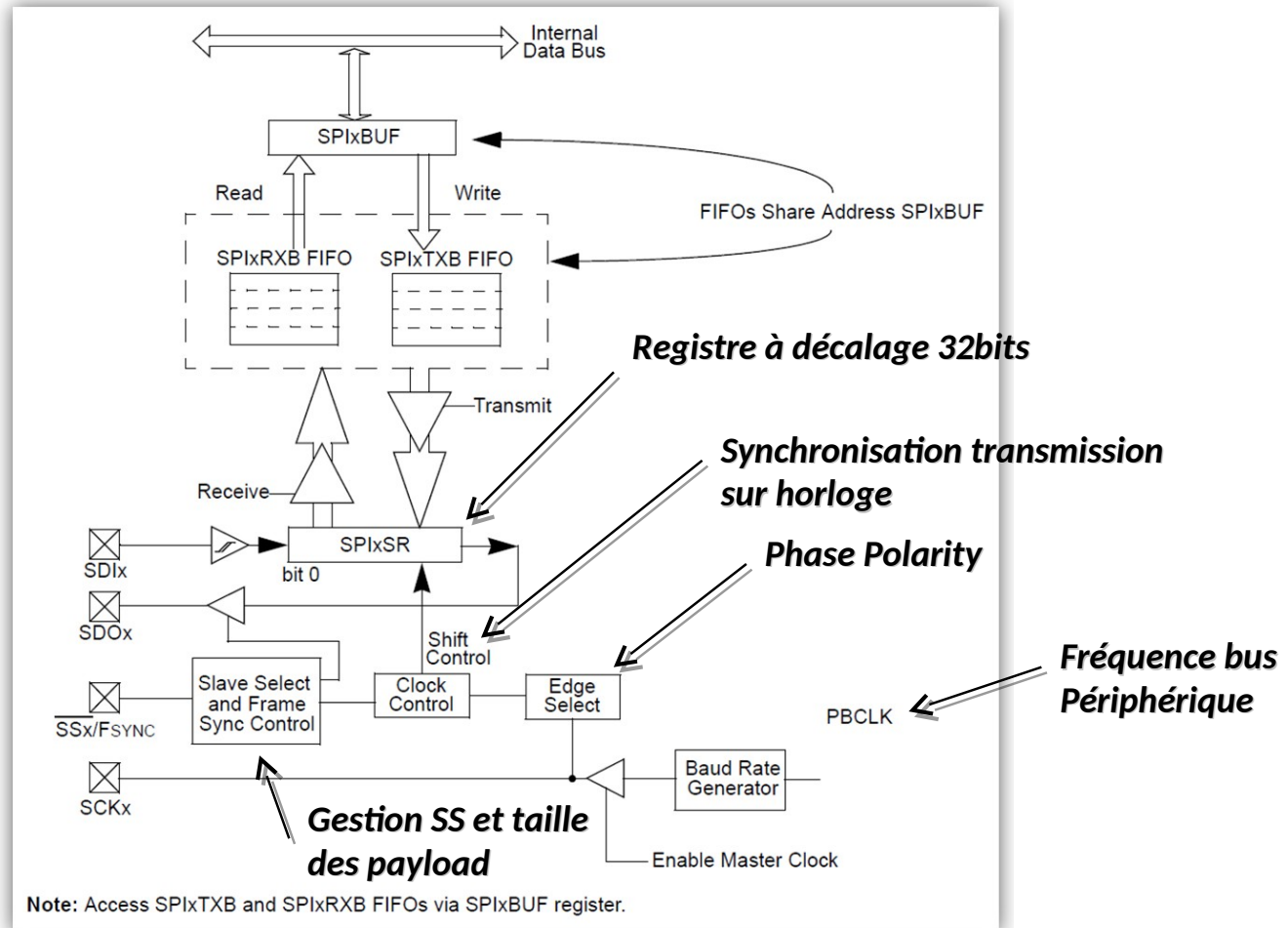
### 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

Observons le contrôleur SPI des PIC32 de Microchip, celui que nous allons utiliser en TP :



# *3. Bus I2C (Inter Integrated Circuit)*



*Logo I2C*

Le I2C (Inter Integrated Circuit) est un bus de communication :

### ... Introduction aux bus et réseaux

#### 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

#### 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

#### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

- **synchrone**
- **half duplex**
- **Maître/Esclaves ou multi-mâîtres** (détection des collision et arbitrage)
- Licence libre. Plages d'adresses payantes
- Spécifié par Philips (NXP est la branche semi-conducteur de Philips)
- 2 broches bidirectionnelles côté IC
- Nommé de temps en temps "**2-Wire**"
- Vitesses/modes imposées par le standard. Depuis la vs3.0 en 2007, 10Kbits/s (low-speed), 100Kbits/s (standard), 400Kbits/s (fast), 1Mbits/s (fast +), 3,4Mbits/s (high speed)



# 3. Bus I2C

Sur chaque bus I2C, deux résistances de tirage haut (pull-up) sont connectées à SDA (Serial Data) et SCL (Serial Clock) :

... Introduction  
aux bus et réseaux

## 1. Introduction

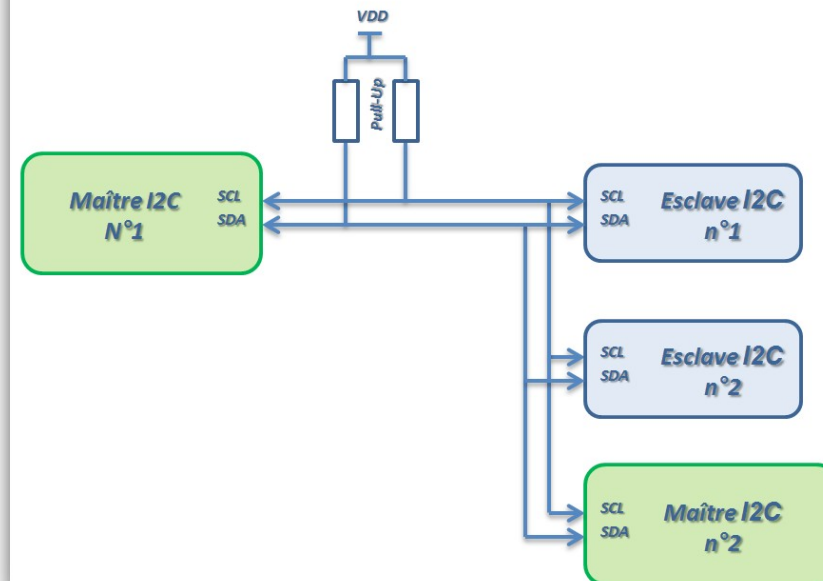
- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

## 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

## 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques



# 3. Bus I2C

Le bus I2C travail avec deux lignes  
bidirectionnelles à drain ouvert :

... Introduction  
aux bus et réseaux

## 1. Introduction

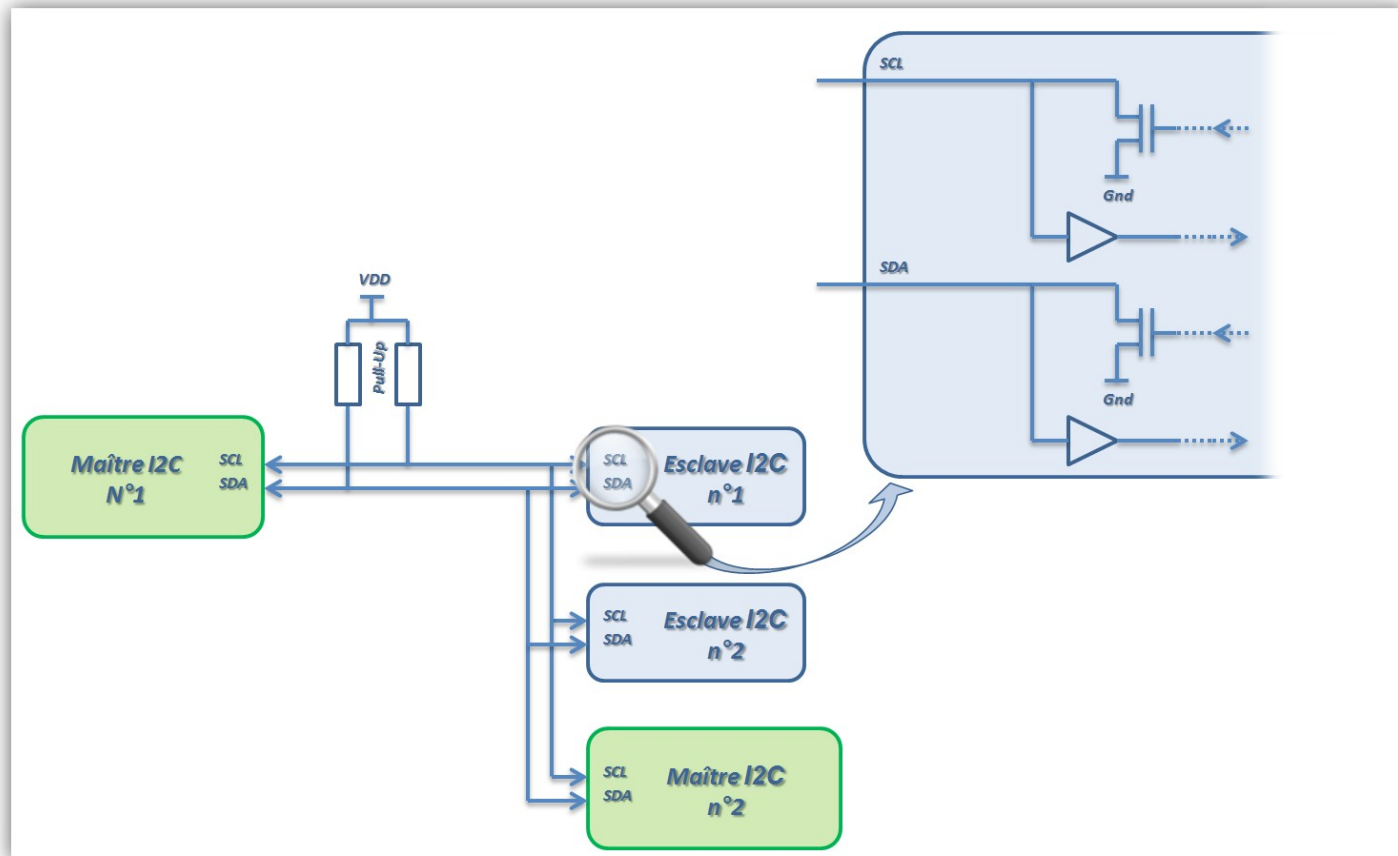
- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

## 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

## 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques



## 3. Bus I2C

Toute communication suit cette séquence :

### ... Introduction aux bus et réseaux

#### 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

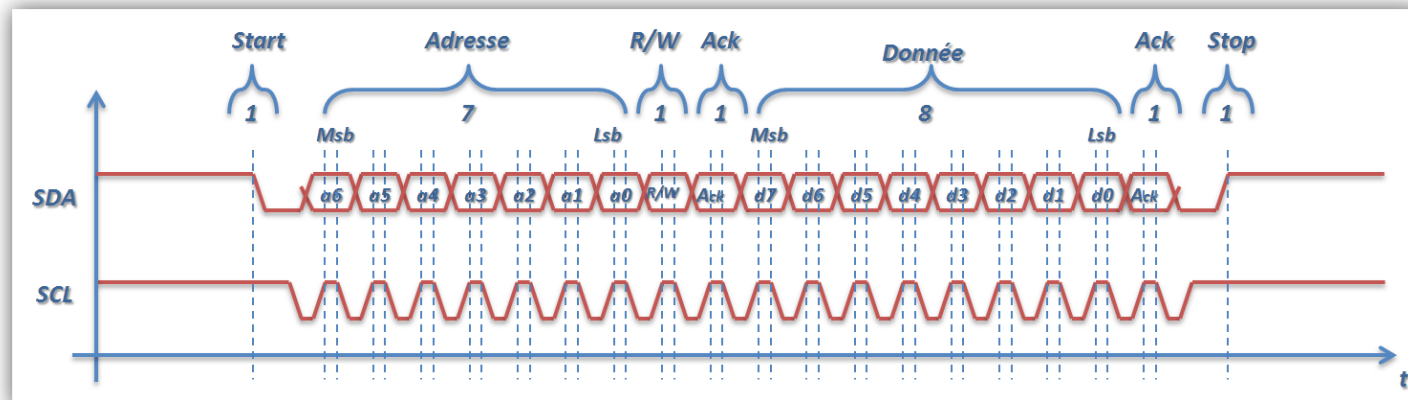
#### 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

#### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

- **Bit de Start** (maître). SCL est au niveau haut
- **Bits d'adresse** (maître) : Typ. 7bits ou 10bits
- **Bit Read (R=1) ou Write (W=0)** (maître). direction
- **Bit acquitement** (esclave). Acknowledgment à 0
- **Bits de données** (maître ou esclave). Taille variable
- **Bit acquitement** (esclave ou maître)



## 3. Bus I2C

... Introduction  
aux bus et réseaux

### 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

### 2. bus SPI

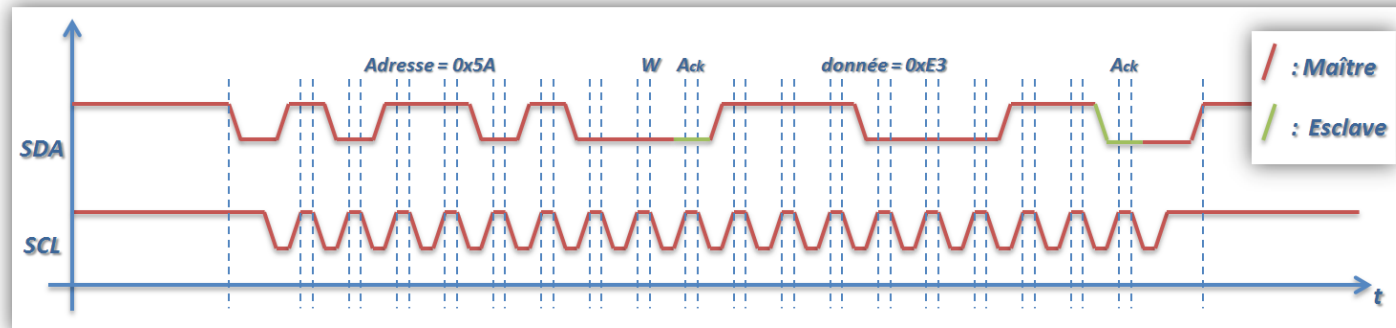
- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

### 3. Bus I2C

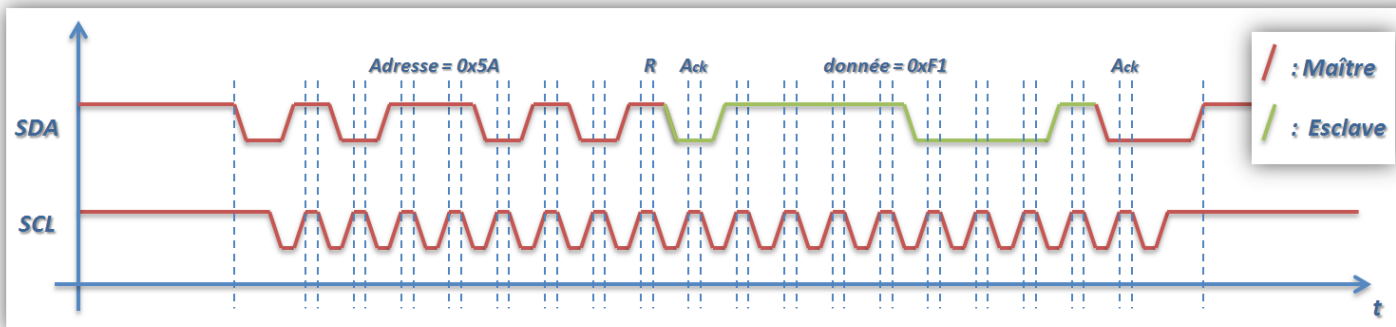
- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

Prenons deux exemples de communications entre un maître et un esclave à l'adresse 0x5A. Adresse sur 7bits et payload sur 8 bits.

#### • Le maître envoie la commande 0xE3 :



#### • L'esclave répond en renvoyant la donnée 0xF1 :





Observons les différents avantages et inconvénients du bus I2C. Le comparatif est basé sur ses principaux concurrents (SPI, série Asynchrone ou RS-232, 1-Wire ...).

### ... Introduction aux bus et réseaux

#### 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

#### 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

#### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

#### • **Avantages :**

- ✓ Nombre réduit de broches côté IC et de files sur le PCB (SPI 4 broches ...)
- ✓ Acquiescement ou acknowledgment possible
- ✓ Multi-maître possible
- ✓ Détection voir gestion des erreurs.
- ✓ Données utiles ou payload à taille variable (série Asynchrone 8bits fixe)

### ... Introduction aux bus et réseaux

#### 1. Introduction

- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

#### 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

#### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

### • Inconvénients :

- ✓ Débit utile faible (half duplex, débit utile != débit réel, protocole plus lourd que le SPI ...)
- ✓ Communications sur de courtes distance (RS-232 : ~4m à 115,2Kbd/s, ~50m à 9600bd/s ...)
- ✓ Signaux bidirectionnels (isolation galvanique coûteuse)
- ✓ Contrôleur complexe (empreinte silicium plus importante qu'un UART ou contrôleur SPI ...)
- ✓ Arbitrage en mode multimâtre
- ✓ plage d'adressage payante (NXP)

# 3. Bus I2C

## Observons le contrôleur I2C des PIC32 :

### ... Introduction aux bus et réseaux

#### 1. Introduction

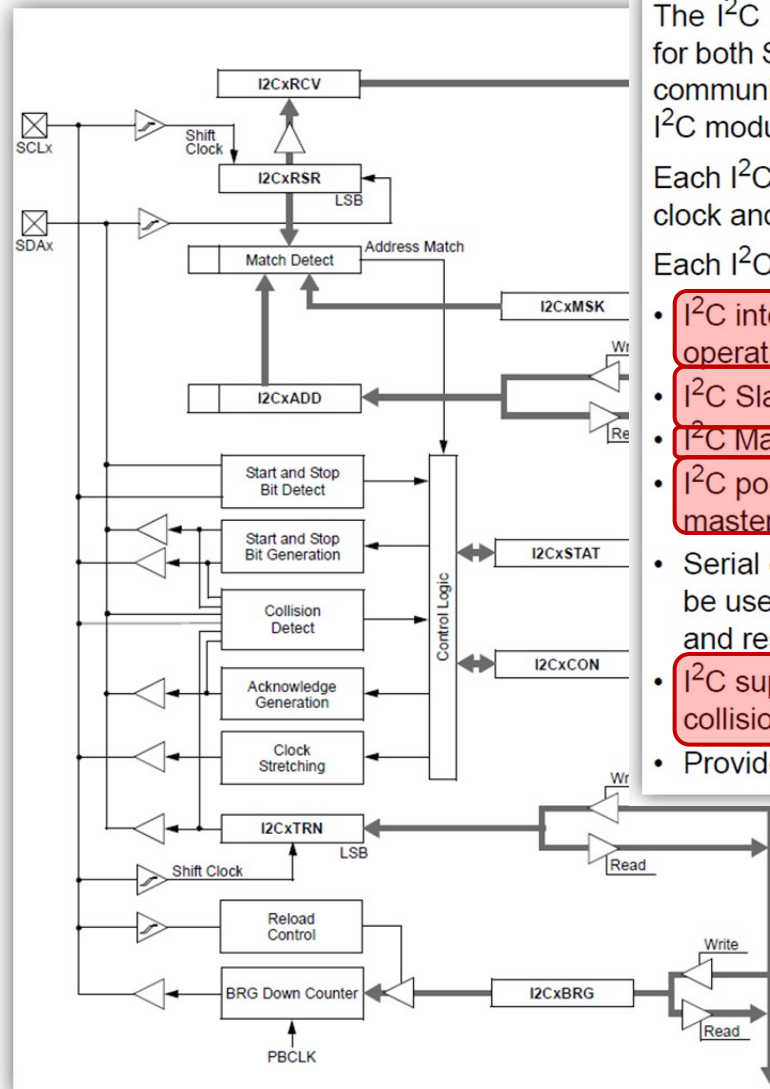
- **Intérêt des bus**
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- **Questions à se poser**
- **Familles de bus**
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- **Types de connexion**
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

#### 2. bus SPI

- **Interface**
- **Protocole**
  - Data
  - Phase et polarity
- **Avantages/Inconv.**
- **Périphériques**

#### 3. Bus I2C

- **Interface**
- **Protocole**
- **Avantages/Inconv.**
- **Périphériques**



The I<sup>2</sup>C module provides complete hardware support for both Slave and Multi-Master modes of the I<sup>2</sup>C serial communication standard. Figure 18-1 illustrates the I<sup>2</sup>C module block diagram.

Each I<sup>2</sup>C module has a 2-pin interface: the SCLx pin is clock and the SDAx pin is data.

Each I<sup>2</sup>C module offers the following key features:

- I<sup>2</sup>C interface supporting both master and slave operation
- I<sup>2</sup>C Slave mode supports 7-bit and 10-bit addresses
- I<sup>2</sup>C Master mode supports 7-bit and 10-bit addresses
- I<sup>2</sup>C port allows bidirectional transfers between master and slaves
- Serial clock synchronization for the I<sup>2</sup>C port can be used as a handshake mechanism to suspend and resume serial transfer (SCLREL control)
- I<sup>2</sup>C supports multi-master operation; detects bus collision and arbitrates accordingly
- Provides support for address bit masking

# 3. Bus I2C

## Observons le contrôleur I2C des PIC32 :

### ... Introduction aux bus et réseaux

#### 1. Introduction

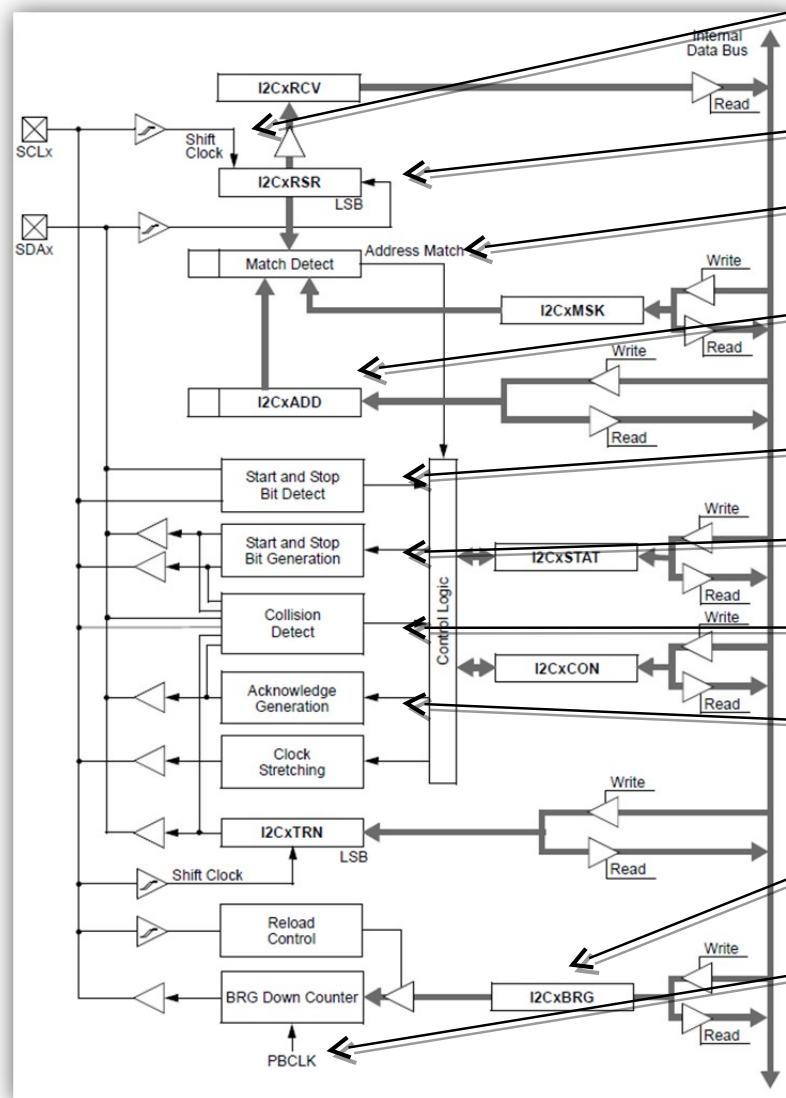
- Intérêt des bus
  - avant les bus ?
  - parallèle ou série
  - Topologies
- Questions à se poser
- Familles de bus
  - bus informatique
  - bus de terrain
  - bus fond panier
- Types de connexion
  - Maître/esclave
  - prod./conso.
  - client/serveur

#### 2. bus SPI

- Interface
- Protocole
  - Data
  - Phase et polarity
- Avantages/Inconv.
- Périphériques

#### 3. Bus I2C

- Interface
- Protocole
- Avantages/Inconv.
- Périphériques



Synchronisation sur l'horloge pour la reconstruction des données

Registre de réception/transmission

Détection validité adresse

Adresse (esclave ou maître)

Détection bits start/stop (esclave)

Génération bits start/stop (maître)

Détection collision (multi-maître)

Génération bit d'acquiescement

Configuration vitesse

Fréquence bus Périphérique



The background is a deep blue with several translucent, flowing ribbons or waves that create a sense of movement and depth. The ribbons are lighter blue and white, curving across the frame.

***Merci de  
votre attention !***