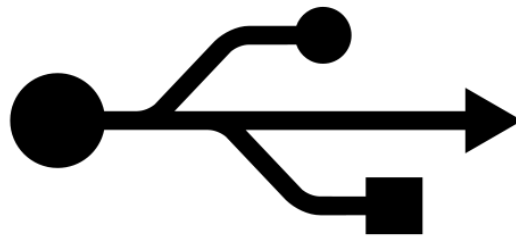


# Module: Informatique Industrielle

## Le Bus USB



Carole Lavault

[carole.lavault@aii-biomedical.com](mailto:carole.lavault@aii-biomedical.com)

# Informatique Industrielle Le bus USB

## Plan

- Origine, Caractéristiques principales
- Couche physique
- Trames, paquets
- Pipes, transferts
- Composants logiciels, Séquencement
- Interfaçage au bus USB
- USB OTG USB3

# Informatique Industrielle Le bus USB

## Origine

### “Universal Serial Bus”






- Créé par un Consortium: Compaq, DEC, IBM , Intel, Microsoft, NEC, Northern Telecom
- But: raccorder à un PC :
  - facilement et à moindre coût
  - des périphériques à faible, moyenne et hautes performances

## Caractéristiques Principales

- Adjonction d'un périphérique :
  - Pas d'ouverture du PC, pas de cavaliers de configuration
  - 1 seul type de câble qui assure également l'alimentation
  - Jusqu'à 127 périphériques sur un ordinateur
  - Possibilité de travailler avec des périphériques temps réel (caméra, microphone ....)
  - HotPlug/Unplug, détection et configuration au moment de la connexion
  - Robustesse
  - *Sollicitation modérée des ressources système*

# Informatique Industrielle Le bus USB

## Bande passante

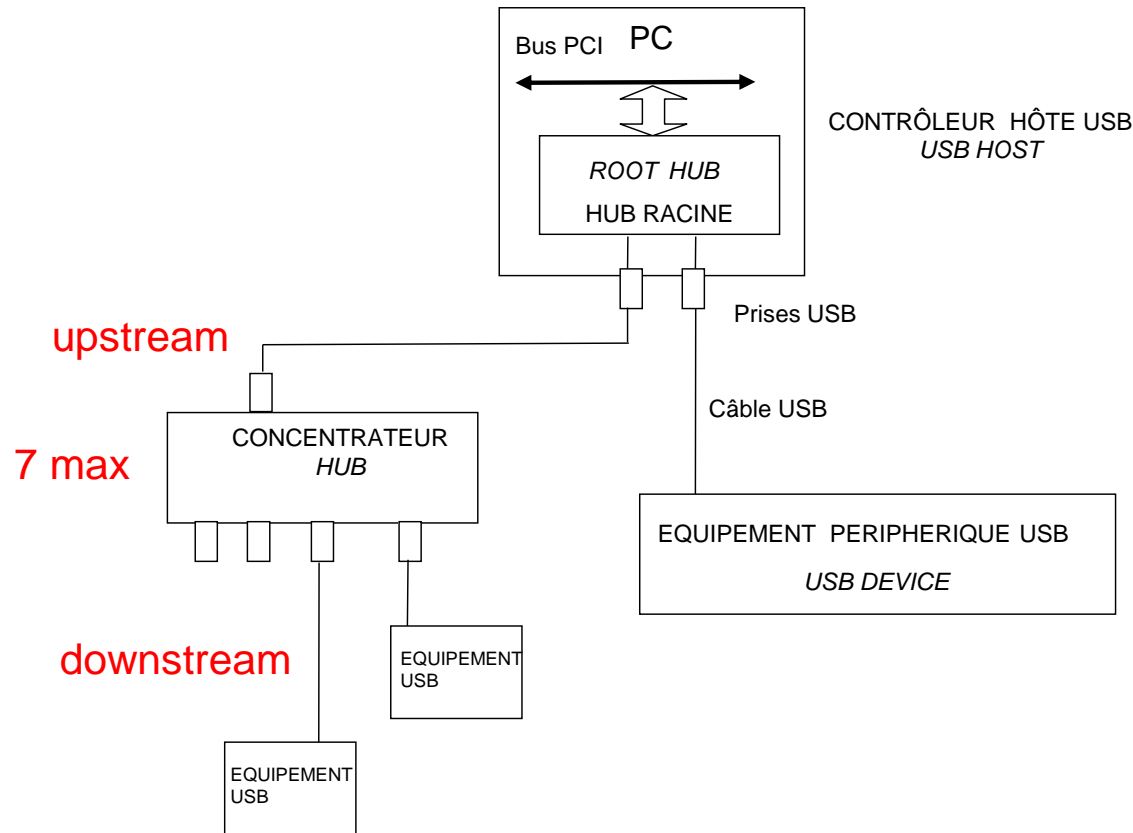
	USB 1.0	USB 1.1	USB 2.0	USB3	USB 3.1 Gen2	USB 3.2 ...USB 4
Speed	Low	Full	High	Super	Super +	
Année	1996	1998	2000	2008	2013	2017
Mb/s	1,5	12	480	4 800	10 000	20 000 40 000
Mo/s	0,19	1,5	60	600	1200	2500/5000
						
Débits théoriques : /2 optimal /4 normal /15 nombreux périphériques						

Débits théoriques, en réalité bande passante partagée entre les périphériques

# Informatique Industrielle Le bus USB

## Topologie:

- Un **Arbre** à la racine duquel : le contrôleur USB « **USB HOST** »



127 devices Max

# Informatique Industrielle Le bus USB

## Topologie: Hubs et Fonctions

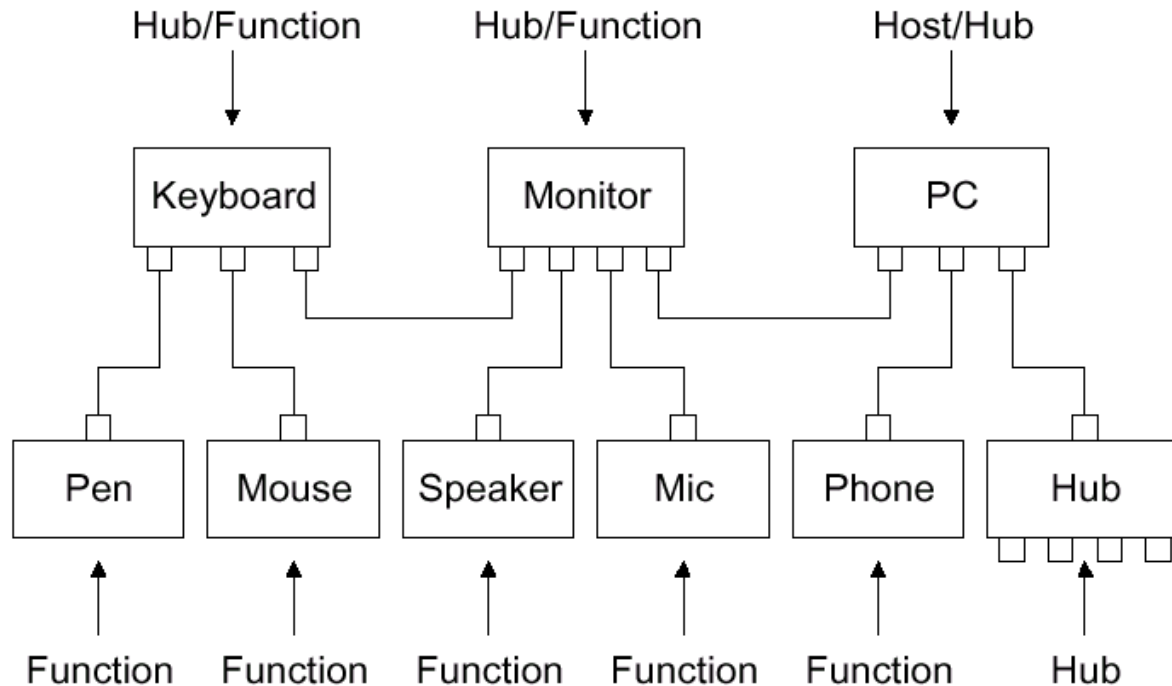
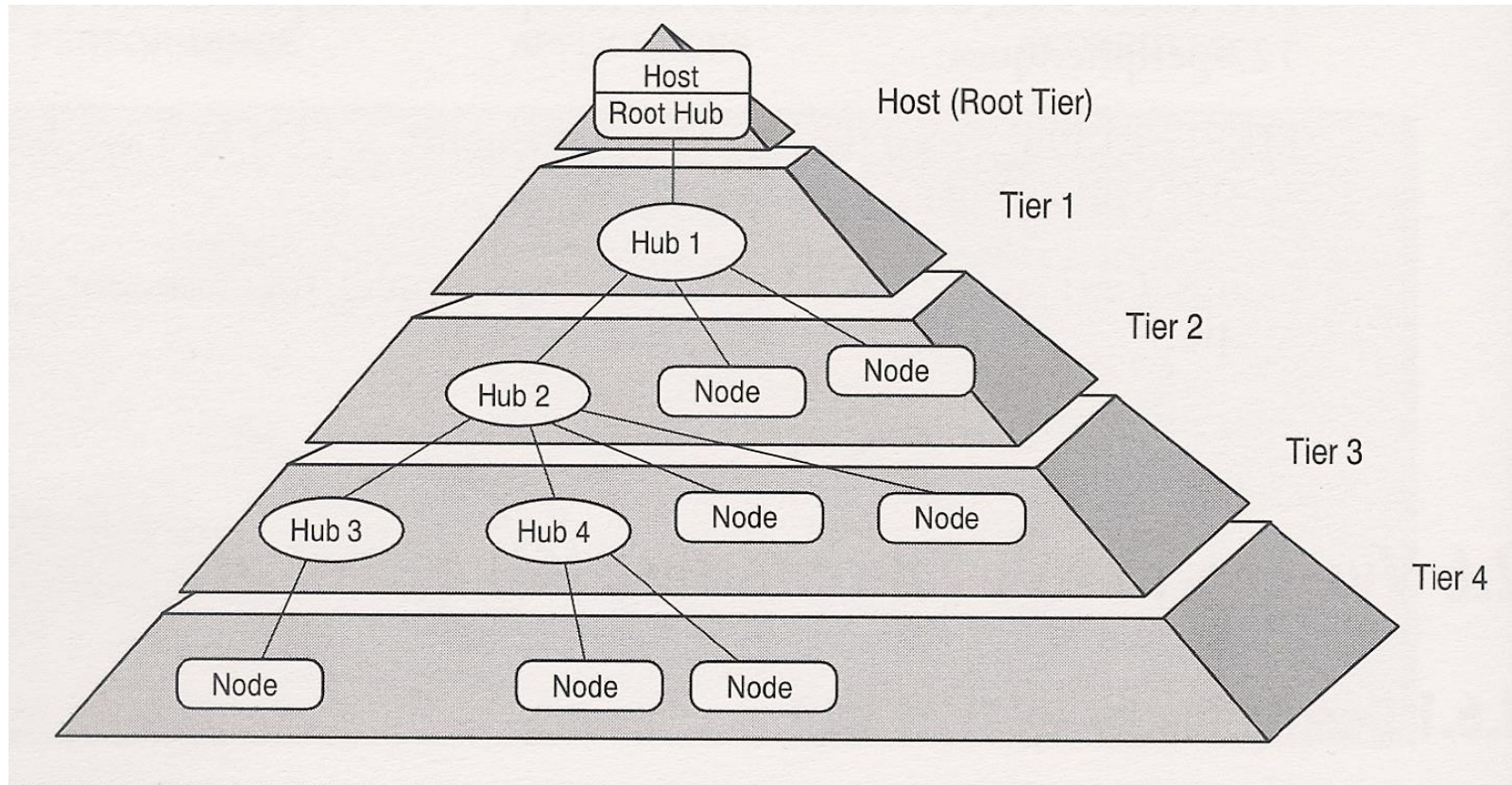


Figure 4-4. Hubs in a Desktop Computer Environment

# Informatique Industrielle Le bus USB

## Topologie: Architecture générale

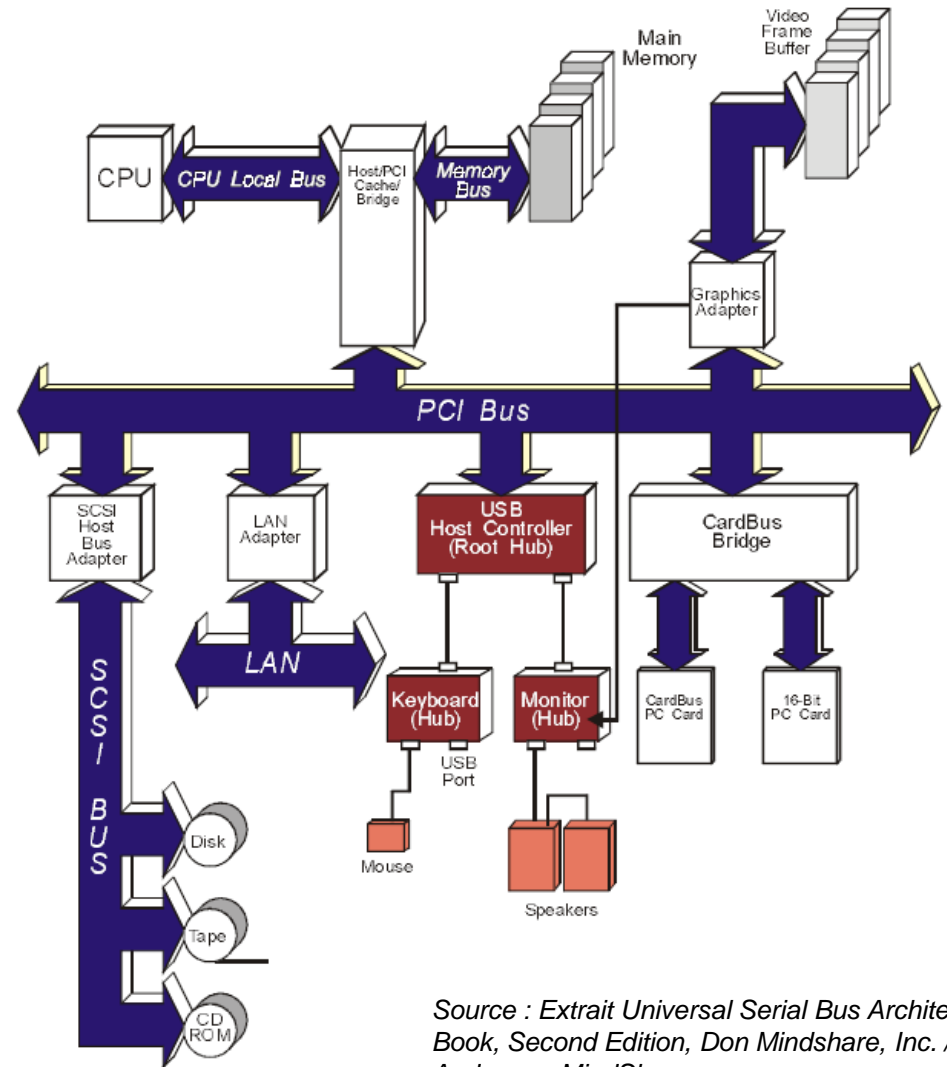


La bande passante est partagée entre les périphériques connectés

# Informatique Industrielle Le bus USB

Figure 2-1: USB System Implemented in a PCI-Based Platform

## L'USB dans l'architecture PC



PCIe <> USB 3.0

Source : Extrait Universal Serial Bus Architecture Book, Second Edition, Don Mindshare, Inc. / Anderson, MindShare



# Informatique Industrielle Le bus USB

## Couche Physique : Câbles et Connecteurs

Les câbles comportent une extrémité contrôleur, une extrémité périphérique

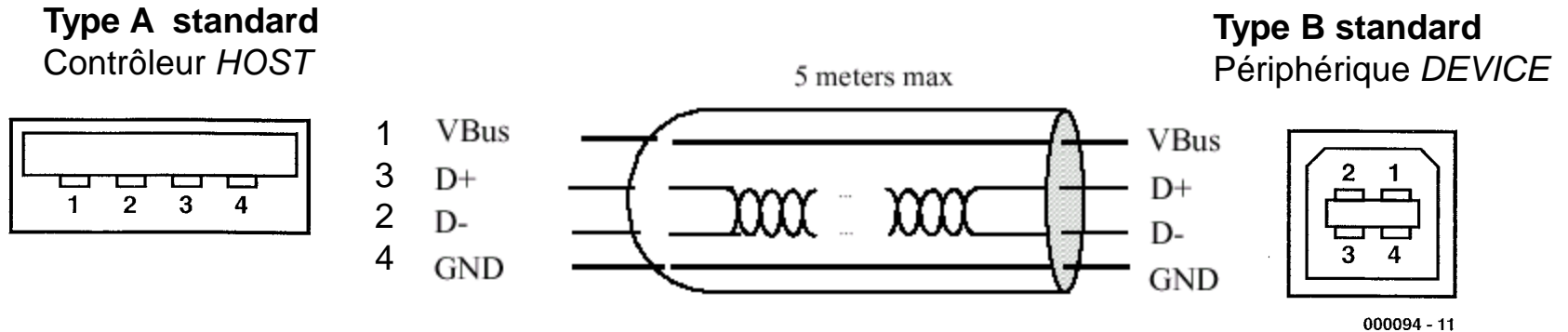


Figure 4-2. USB Cable

Fonction	Couleur	Numéro de broche pour les types A et B
Alimentation +5 V (VBUS)	Rouge	1
Données (D-)	Blanc	2
Données (D+)	Vert	3
Masse (GND)	Noir	4

# Informatique Industrielle Le bus USB

## Couche Physique : Câbles et Connecteurs

Figure 3-2: Cross Section of a Low-Speed Cable Segment

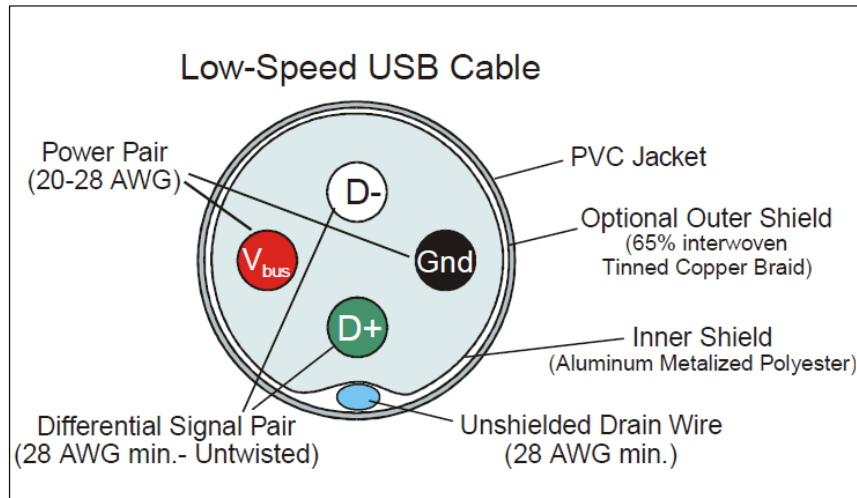
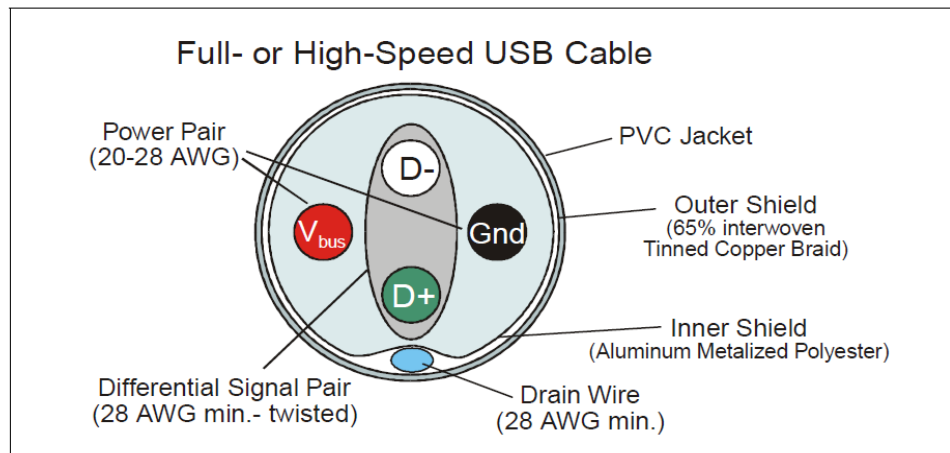


Figure 3-3: Cross Section of a High-Speed Cable Segment



Structure du câble différente entre Low-Speed et Full-High speed.

Longueur max. 3m (non blindé), 5m (blindé)

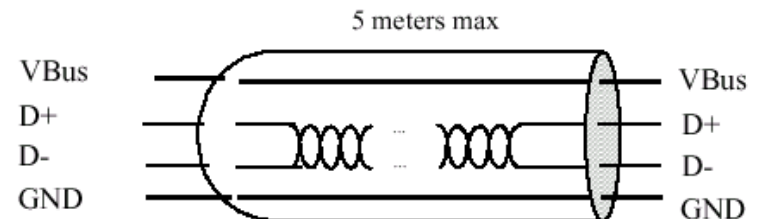


Figure 4-2. USB Cable

Source : Extrait Universal Serial Bus Architecture Book, Second Edition, Don Mindshare, Inc. / Anderson, MindShare

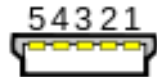
# Informatique Industrielle Le bus USB

## Couche Physique : Câbles et Connecteurs

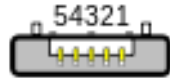
Evolution des prises USB 1 et 2



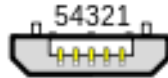
Mini-A



Mini-B



Micro-A



Micro-B

Fonction

N° de broche pour le type mini B

Alimentation +5 V (VBUS)

1

Données (D-)

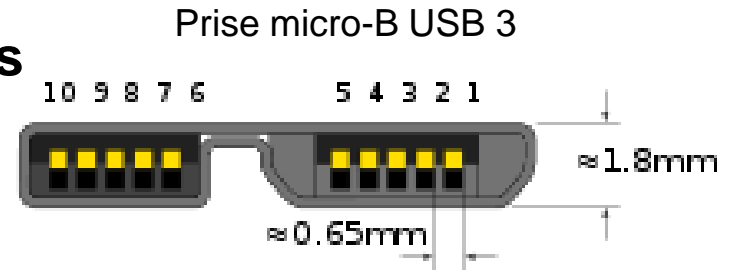
2

Données (D+)

3

Masse (GND)

5



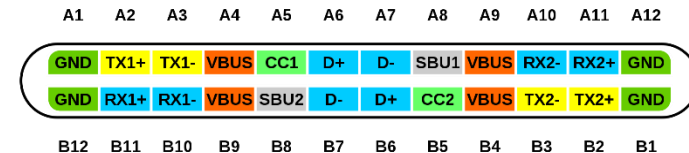
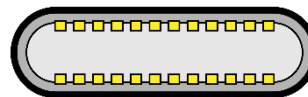
Prise micro-B USB 3

Description prise Micro-B USB 3

- 1 : alimentation (VBUS)
- 2 : USB 2.0 paire différentielle (D-)
- 3 : USB 2.0 paire différentielle (D+)
- 4 : USB OTG ID pour identifier les lignes
- 5 : masse
- 6 : USB 3.0 ligne de transmission du signal (-)
- 7 : USB 3.0 ligne de transmission du signal (+)
- 8 : masse
- 9 : USB 3.0 ligne de réception du signal (-)
- 10 : USB 3.0 ligne de réception du signal (+)

*Souvent utilisé pour les disques durs externes nécessitant des hauts débits*

Prise USB Type C

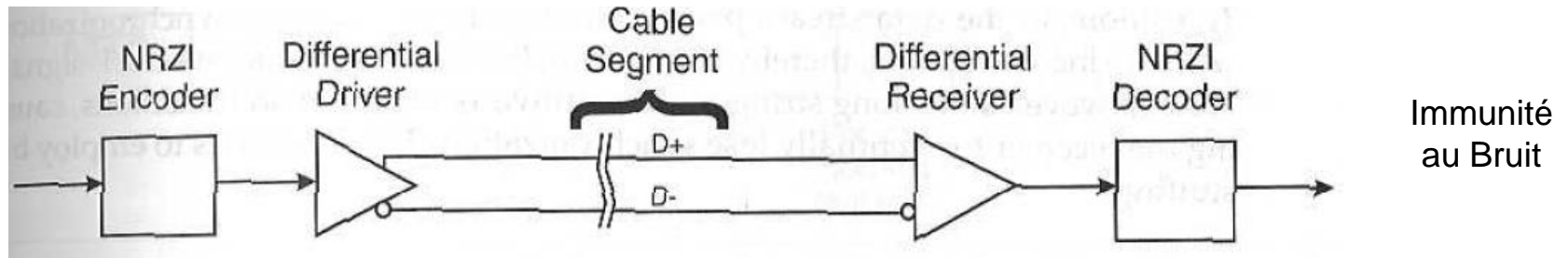


Connecteur réversible, destiné à remplacer tous les connecteurs précédents.

# Informatique Industrielle Le bus USB

## Couche Physique : Transmission et codage des données

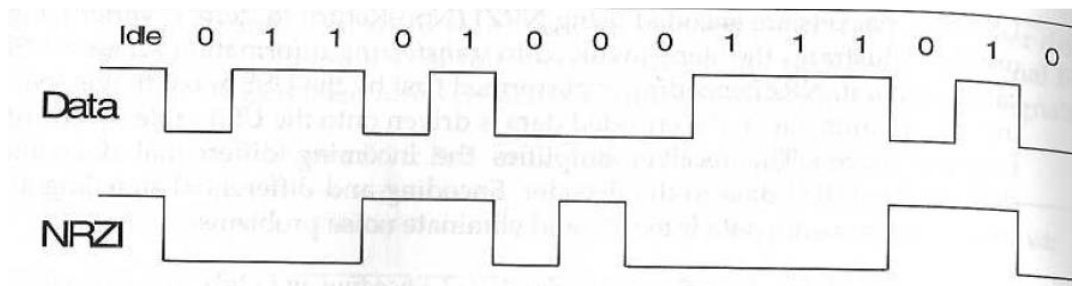
Figure 5-17 : Transfert Across USB Cables Employ NRZI Encoding and Differential Signaling



### **NRZI : Non Return to Zero Inverted**

Les transitions dans le flux de données permettent au décodeur de maintenir la synchro sans besoin d'avoir une clock séparée.

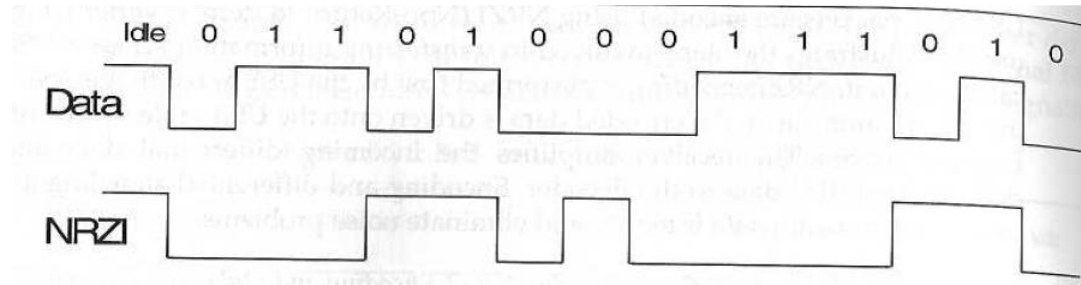
Figure 5-18 : NRZI Encoded Data



Intégrité  
des  
données

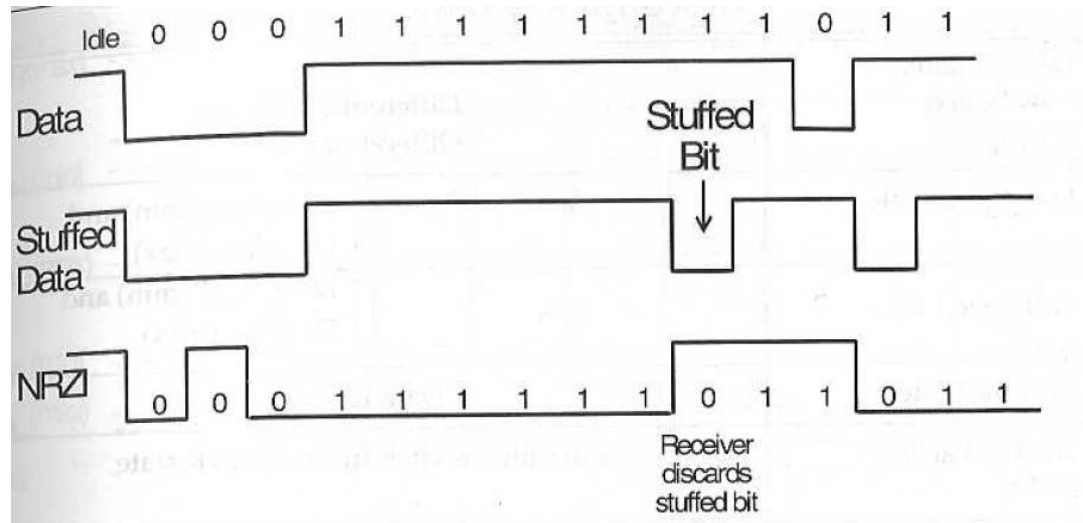
# Informatique Industrielle Le bus USB

## Couche Physique : Transmission et codage des données



Problème: risque de **perte de synchronisme** si une suite de 1 se présente

Solution : le « **Bit Stuffing** »: on rajoute un zéro dans les données après une suite de 6 « 1 » consécutifs.

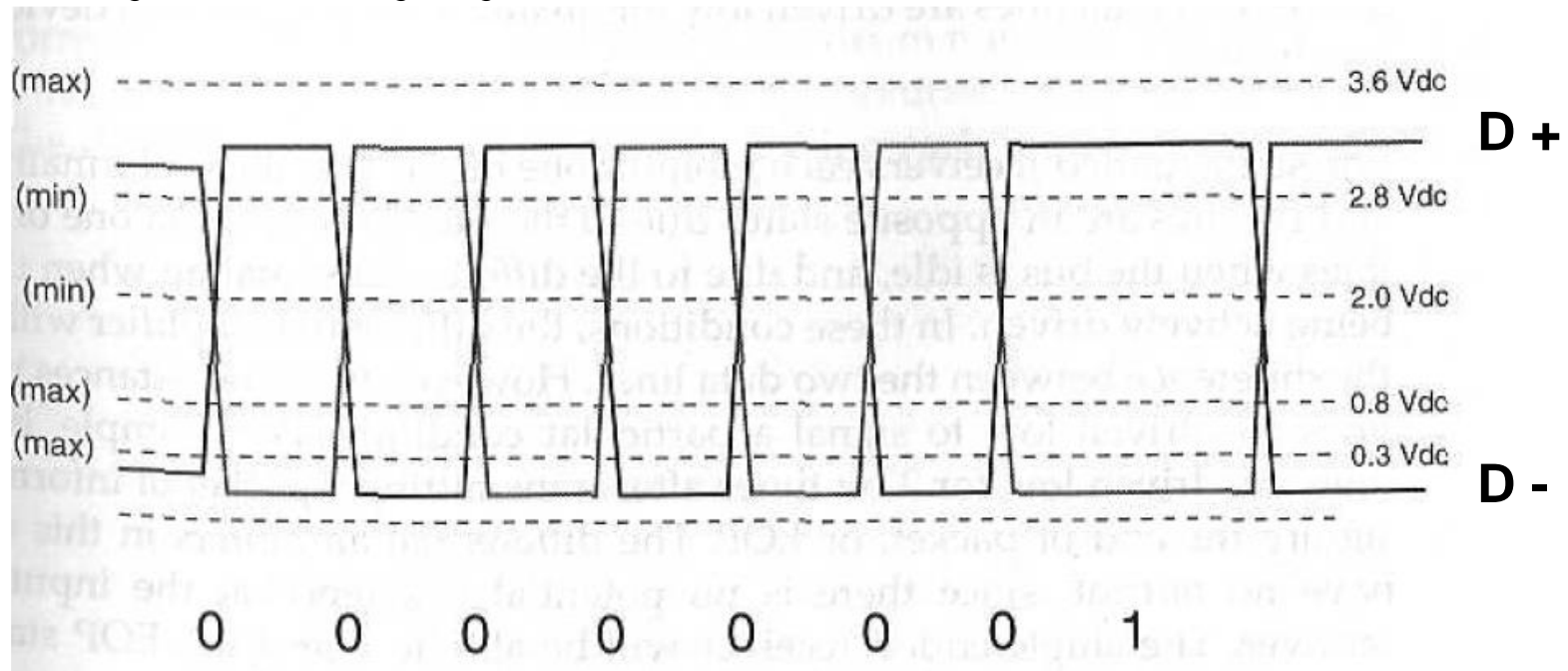


# Informatique Industrielle Le bus USB

## Couche Physique : Transmission et codage des données

**D+ et D- sont, en général, complémentaires ...**

*Figure 5-20 : USB Signaling Levels*

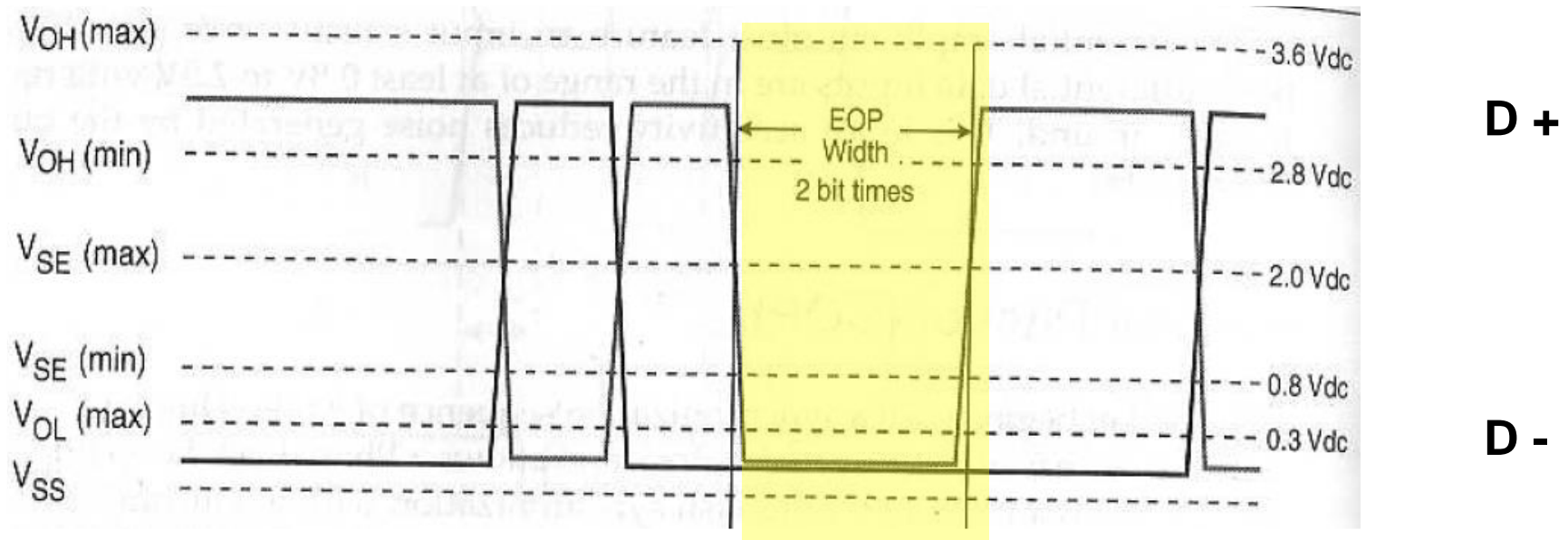


Ici une séquence de début de paquet (SOP). Chaque packet démarre par une séquence de synchro de 8 bits permettant d'établir la synchro avec le packet entrant.

# Informatique Industrielle Le bus USB

## Couche Physique : Transmission et codage des données

... mais peuvent être dans le même état dans certains cas particuliers :



Ici une séquence de fin de paquet (EOP)

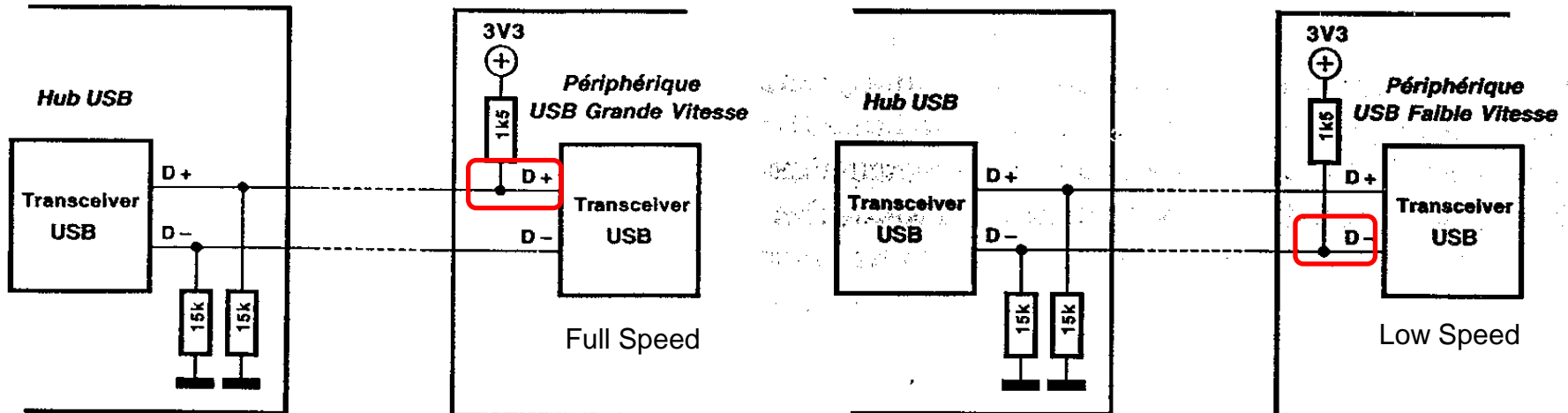


# Informatique Industrielle Le bus USB

## Couche Physique : Détection et identification d'un périphérique

Lors du raccordement d'un périphérique :

- Le contrôleur principal (USB HOST) le détecte (niveaux sur D+ et D-)
- Il envoie une interruption au système d'exploitation (OS)
- L'OS interroge le périphérique (identité, bande passante, besoin en alimentation)
- Si tout est OK :
  - Installation du pilote logiciel adéquat,
  - Attribution d'une adresse [1-127] unique
  - Envoi de l'adresse et des infos de configuration au périphérique



USB 2 : Etape supplémentaire envoi d'un signal « Chirp » si reconnu en tant que périphérique USB2



# Informatique Industrielle Le bus USB

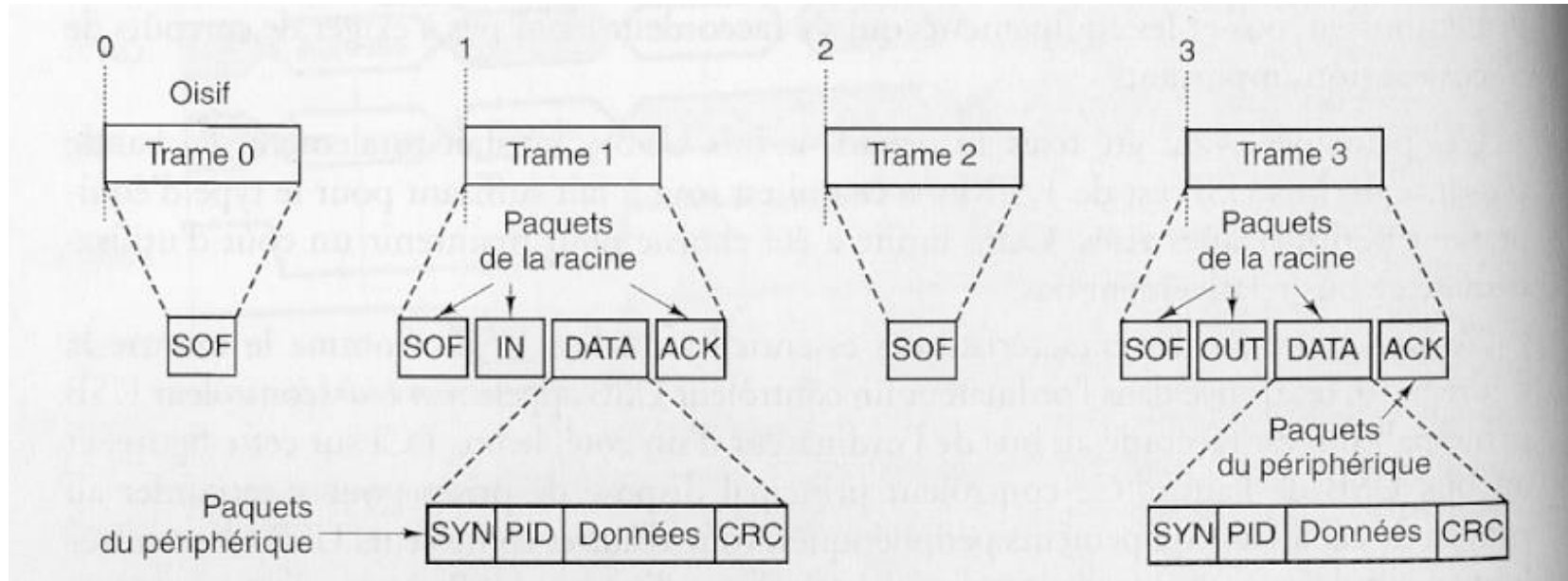
## Couche Physique : Gestion des alimentations

- Le HOST (ou le HUB) peut alimenter le périphérique (bus powered device)
- Certains périphériques (ou HUBs) ont leur propre alimentation (self-powered)
- Normalement 100 mA
- Sur requête, jusqu'à 500 mA (USB1 et 2) plus en USB3
- Attention aux courts-circuits !
- Attention VBUS peut être compris entre 4,2V et 5,25V
- La chute maximum tolérée sur VBUS est de 330mV

Attention, la mise en cascade de plusieurs Hubs s'accompagne de contraintes d'alimentation et de consommation.

# Informatique Industrielle Le bus USB

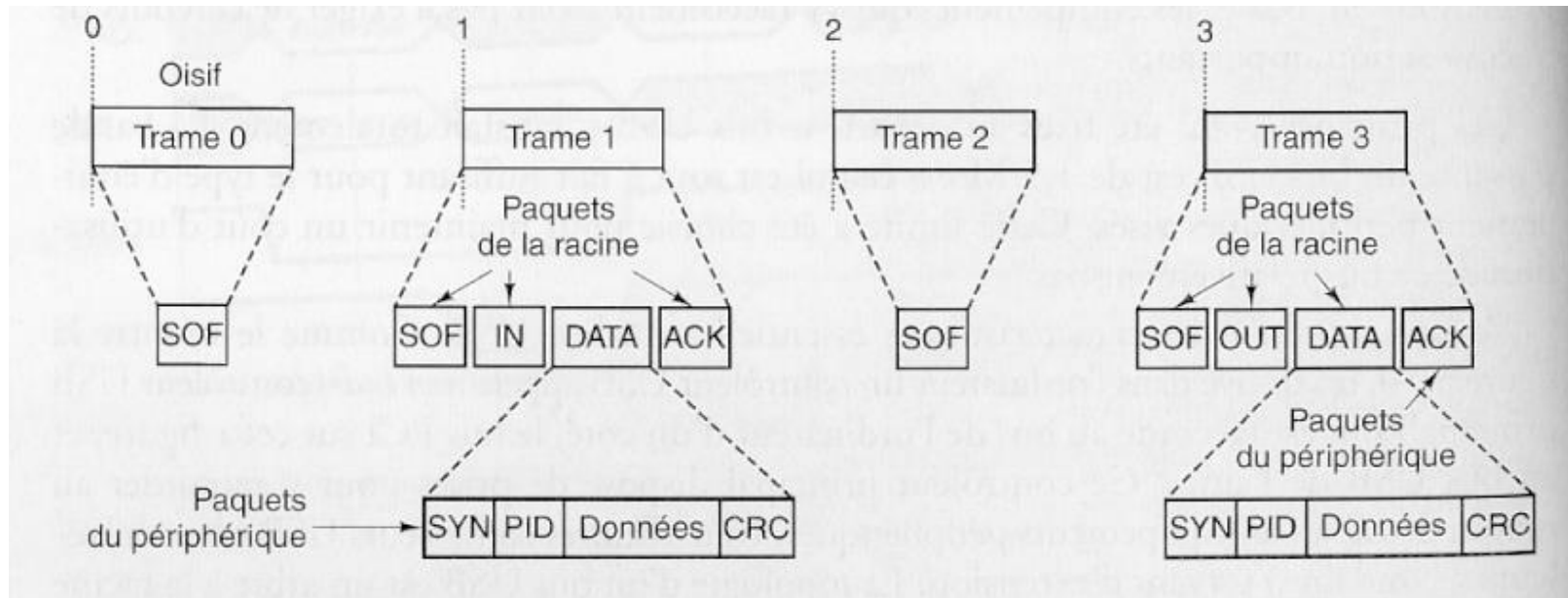
## Couche Liaison : Les *TRAMES* (Frames)



- Le contrôleur principal envoie toutes les  $1 \pm 0.05$ ms une TRAME:
  - Soit une trame de **synchronisation**
  - Soit une trame **d'information** (échange de 1 ou plusieurs paquets)
- Lors d'une action de communication:
  - La 1ere trame provient toujours du contrôleur
  - Les suivantes proviennent soit du contrôleur, soit d'un périphérique

# Informatique Industrielle Le bus USB

## Couche liaison : Les *TRAMES* (Frames)

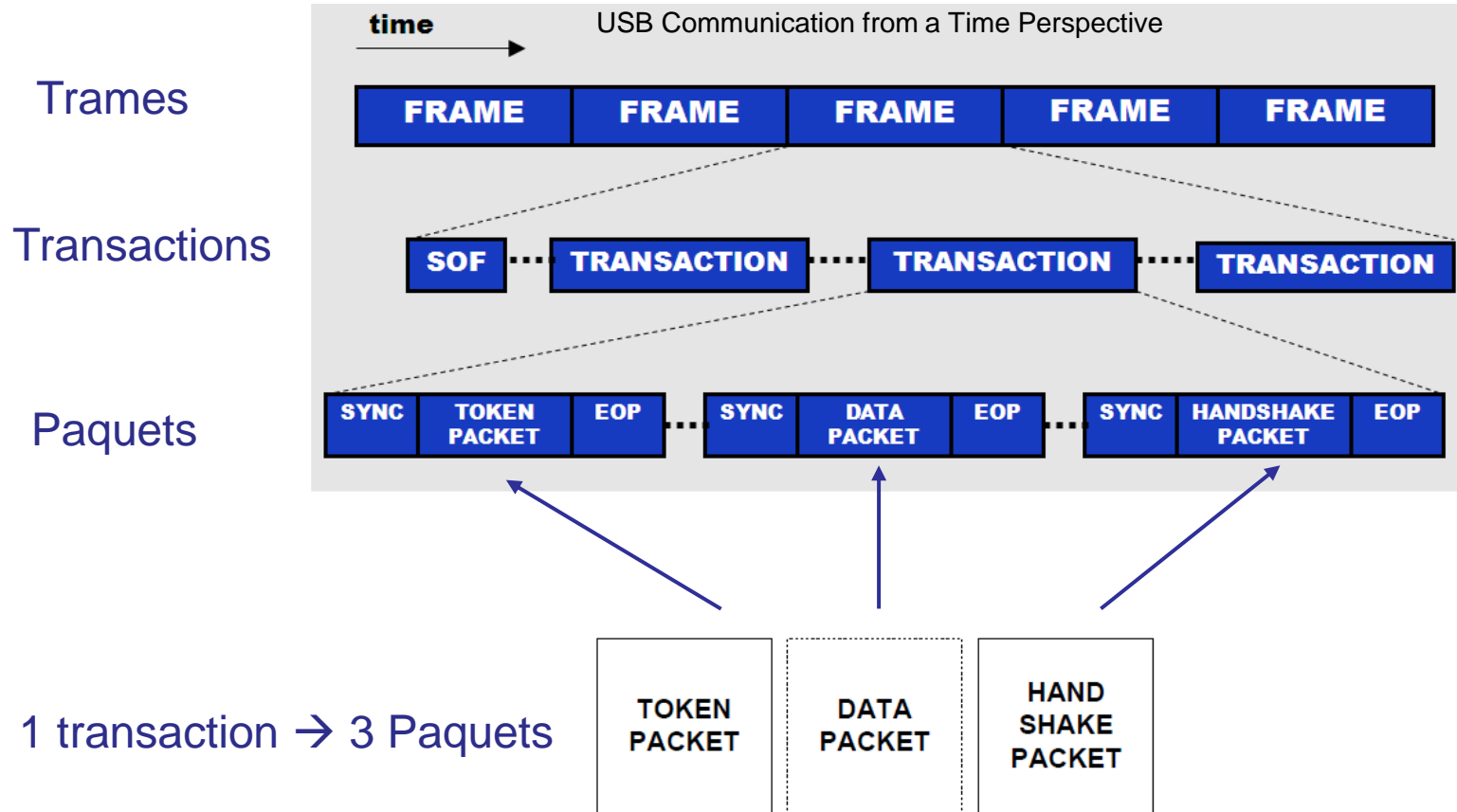


Trame 0	SYNCHRO	pas d'info	maintien du synchronisme
Trame 1	INTERROGATION		demande au scanner de transmettre une image
Trame 2	SYNCHRO	pas d'info	maintien du synchronisme
Trame 3	TRANSMISSION		transmission de données à l'imprimante

**Chaque trame est constituée de paquets**

# Informatique Industrielle Le bus USB

## Couche réseau : Les *Paquets*

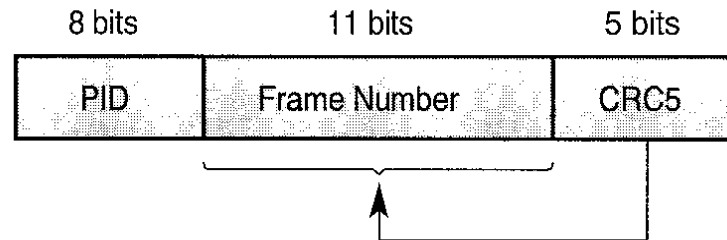


Source Cypress - USB 101: An Introduction to Universal Serial Bus 2.0

# Informatique Industrielle Le bus USB

## Couche réseau : Les *Paquets*

SOF	Start of Frame	Contrôleur	début de trame, cadencement
-----	----------------	------------	-----------------------------

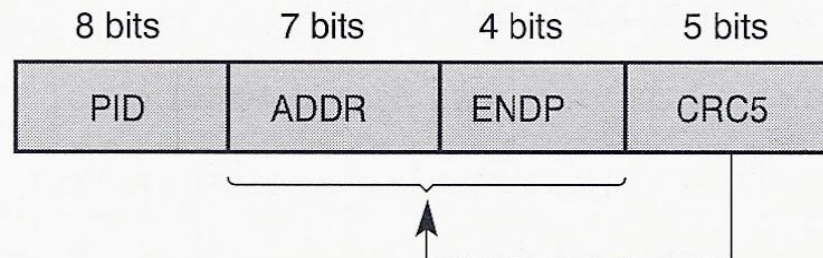


TOKEN  
PACKET

DATA  
PACKET

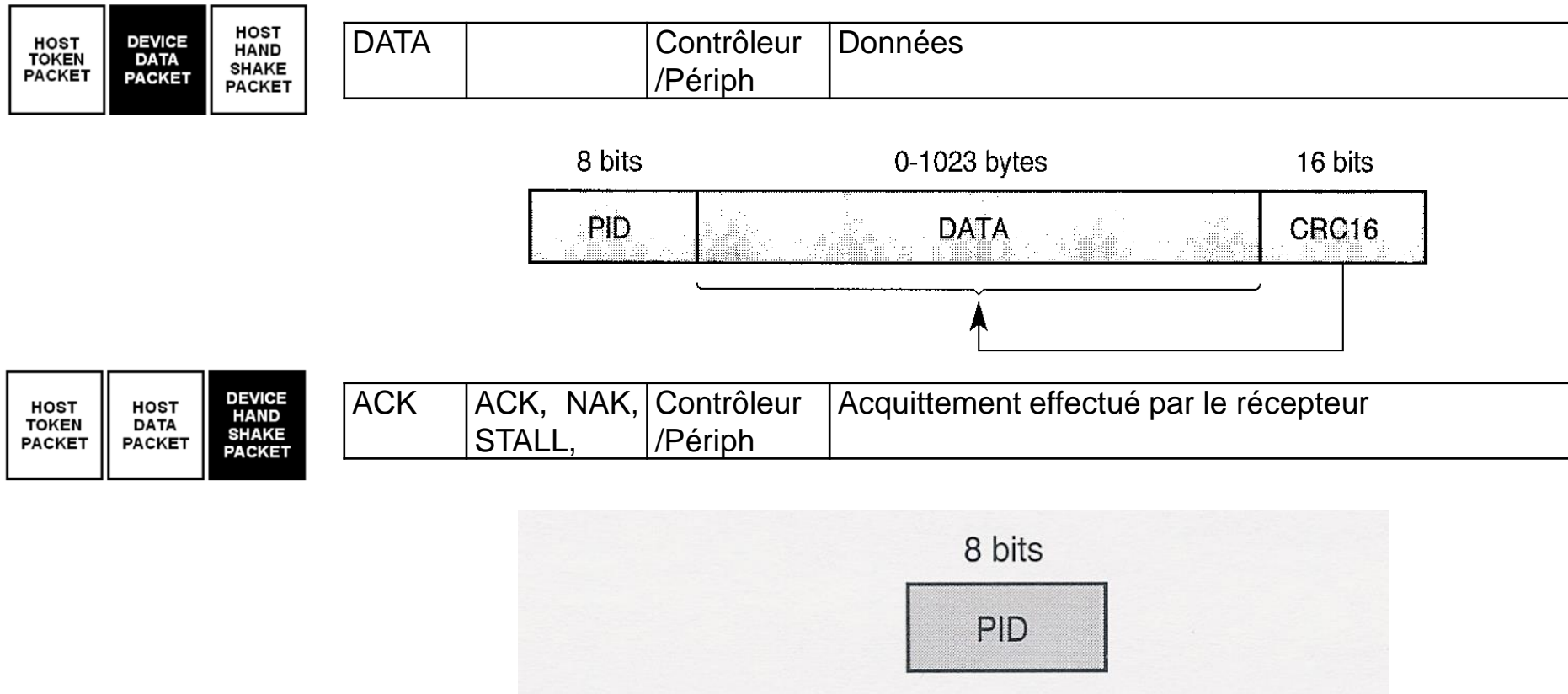
HAND  
SHAKE  
PACKET

TOKEN	IN, OUT	Contrôleur	"JETON" : débute un dialogue avec un périphérique
-------	---------	------------	---



# Informatique Industrielle Le bus USB

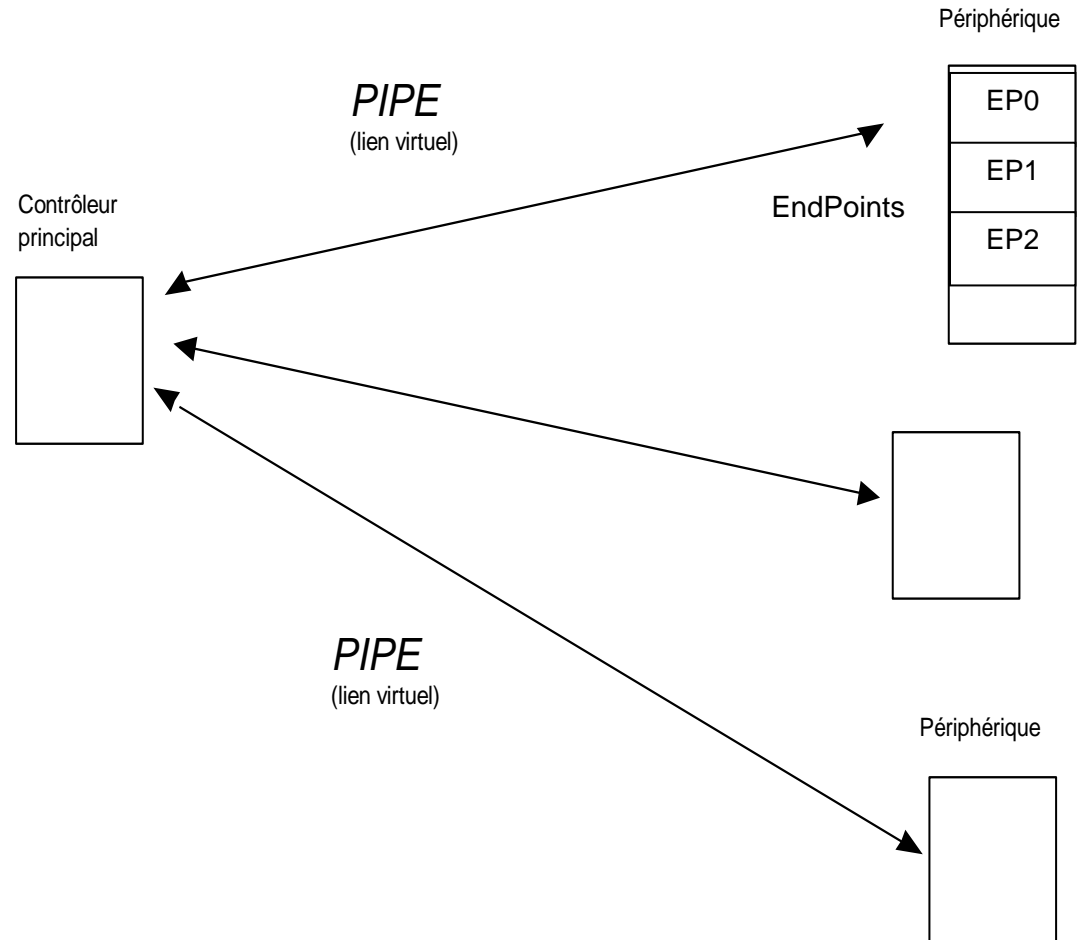
## Couche réseau : Les *Paquets*



# Informatique Industrielle Le bus USB

## Types de transferts : Les PIPES

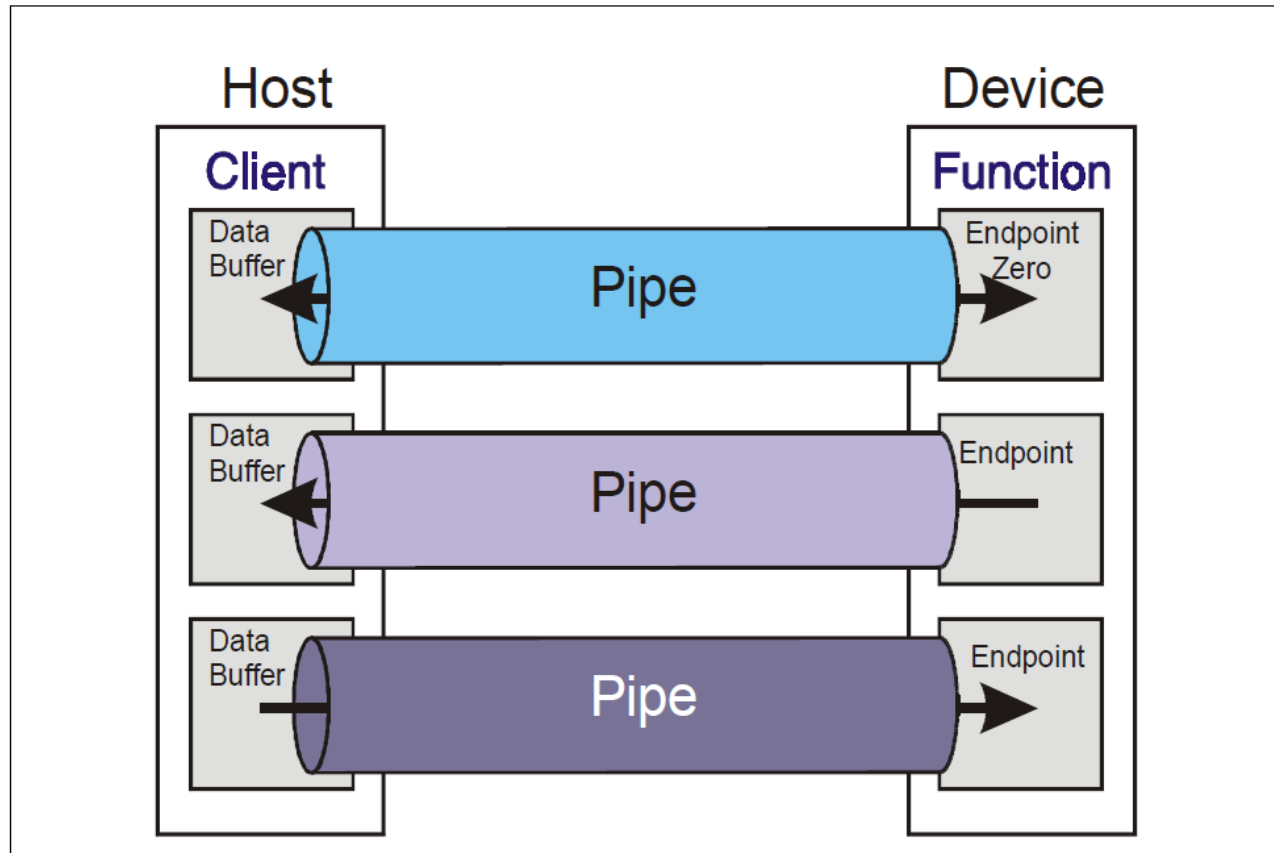
- Le 1er paquet de chaque transaction (*Token Packet*) indique :
  - l'adresse USB du Device (ou du Hub)
  - la sous-adresse concernée (*End-Point*)
  - le sens de la transaction
- **Un End-Point permet d'établir un canal de communication ('Pipe') entre une fonction interne du Device et l'application Host**
- Un Device USB peut supporter jusqu'à 16 End-Points, et doit supporter au moins le End-Point n° 0 (utilisé pendant l'initialisation et pour le controle)
- Chaque End-Point possède, pour l'échange des données, une FIFO de taille variable (précisée lors de l'énumération : de 8 à 1024 octets)



# Informatique Industrielle Le bus USB

## Types de transferts : Les PIPES et les Endpoints

*Figure 6-1: Communications Pipes Between Client Software's Memory Buffer and Device Endpoints*



Source : Extrait Universal Serial Bus Architecture Book, Second Edition, Don Mindshare, Inc. / Anderson, MindShare



# Informatique Industrielle Le bus USB

## Types de transferts : Les PIPES

Types de *PIPES* (1 seul type transfert par *PIPE*) :

	Information	Garanti	Priorité	Exemple
CONTROL	Config, ordres	sans perte de données		
BULK	Echange MASSIF de données	sans perte de données	mini BP selon dispo.	Imprimante
INTERRUPT	petites quantités de données transmises rapidement	Temps de réponse < tspéc		Souris
ISOCHRONE	Temps réel	Délai et BP pas de retry	MAXI	Voix, flux video

Pas d'échange direct entre 2 périphériques : tout passe par le contrôleur principal

Allocation de la Bande Passante

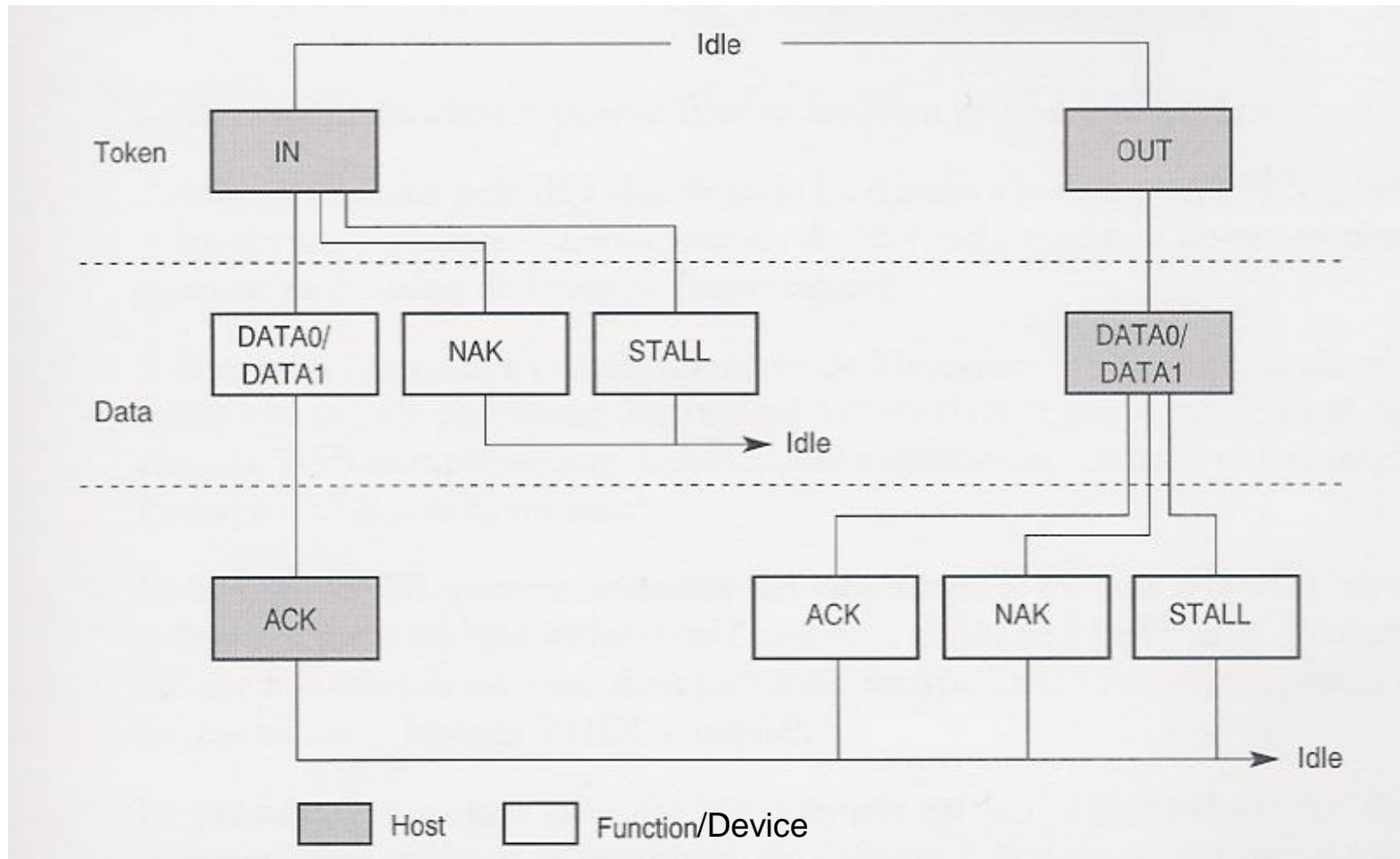
En fonction des *PIPES*

Bloquante (on ne peut pas la modifier).

Réallouée sur fermeture d'un *PIPE*

# Informatique Industrielle Le bus USB

## Types de transferts : Les PIPES Echange en mode BULK



Source : Extrait Universal Serial Bus Architecture Book, Second Edition, Don Mindshare, Inc. / Anderson, MindShare

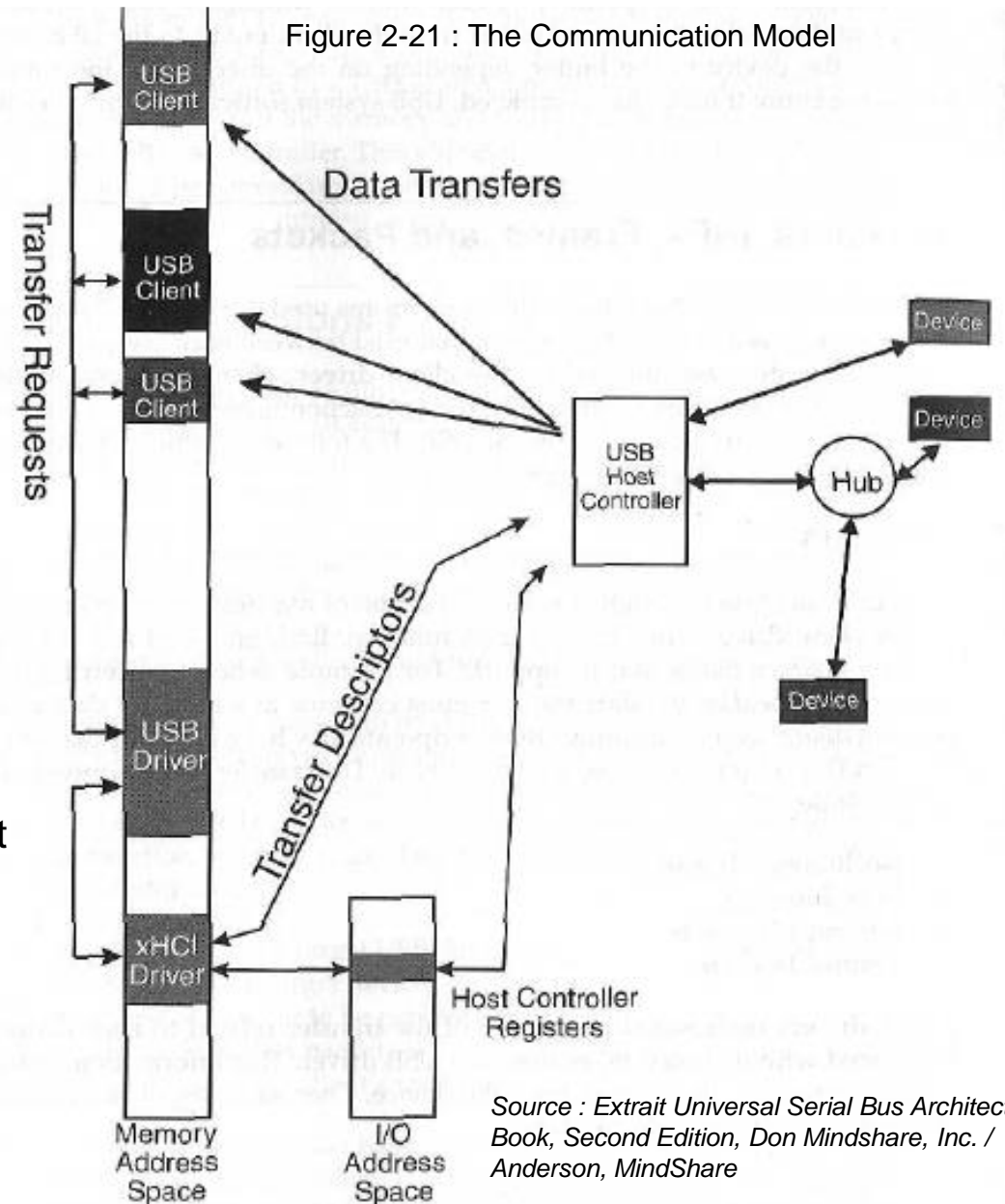
# Informatique Industrielle Le bus USB

## Composants logiciels

Représentation du flux basique de communication et les ressources systèmes utilisées par les systèmes USB

Un “Transfer descriptor” est une structure qui contient :

- Adresse du device USB cible
- Vitesse du device cible
- Type de transfert à réaliser (control, interrupt, isochrone, ...)
- Taille des paquets de données
- Adresse de l'espace mémoire du client

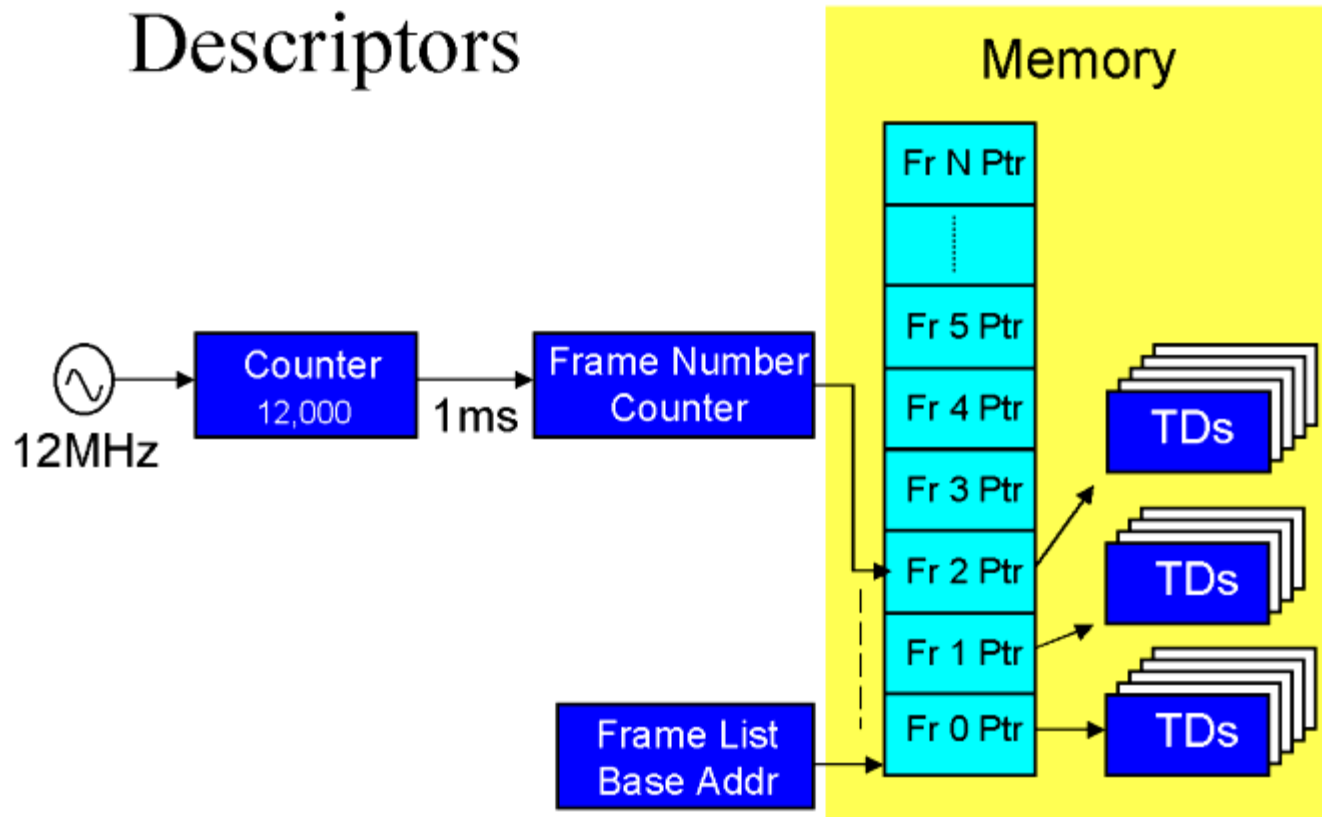


Source : Extrait Universal Serial Bus Architecture Book, Second Edition, Don Mindshare, Inc. / Anderson, MindShare

# Informatique Industrielle Le bus USB

## Séquencement

### How the H.C. Fetches the Descriptors

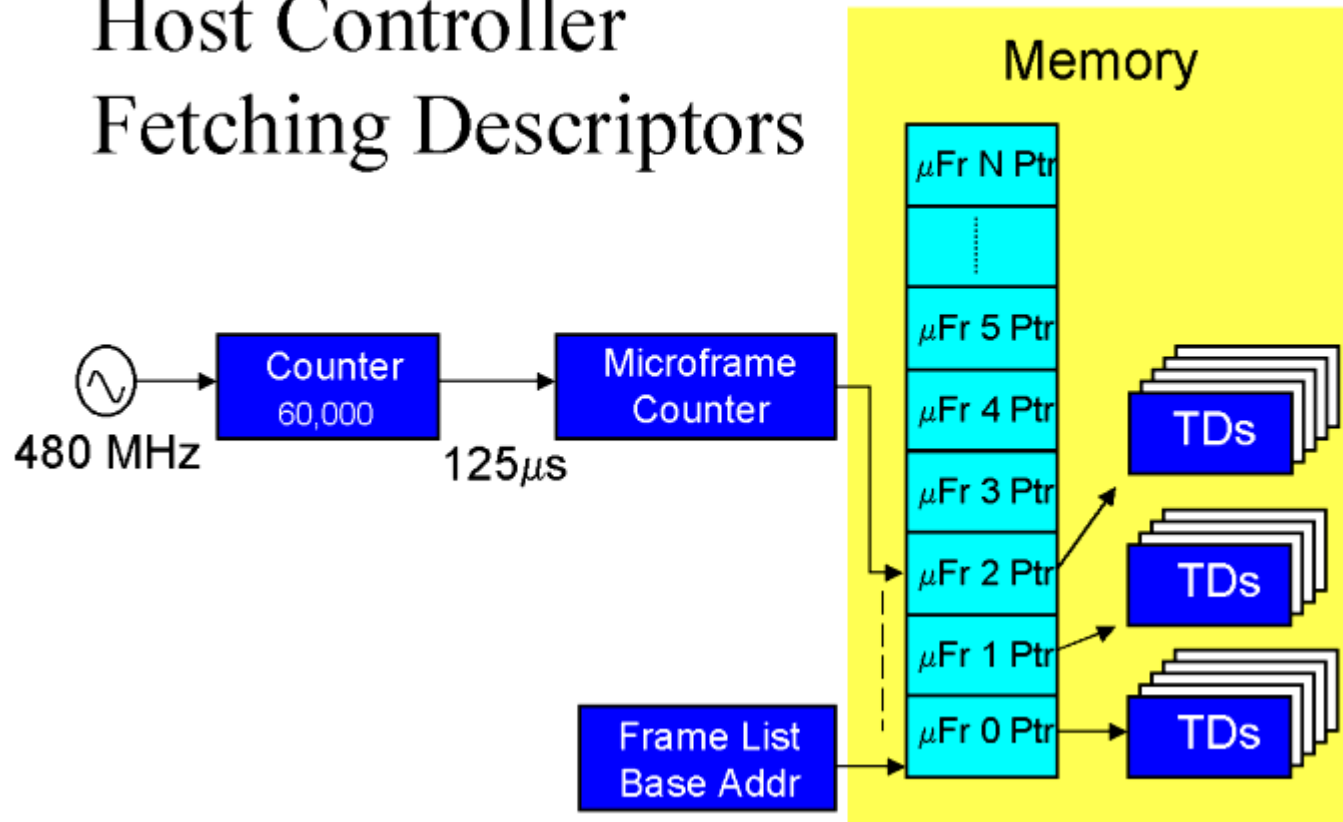


Source : Extrait Universal Serial Bus Architecture Book, Second Edition, Don Mindshare, Inc. / Anderson, MindShare

# Informatique Industrielle Le bus USB

## Séquençement USB2

### Conceptual View of HS Host Controller Fetching Descriptors

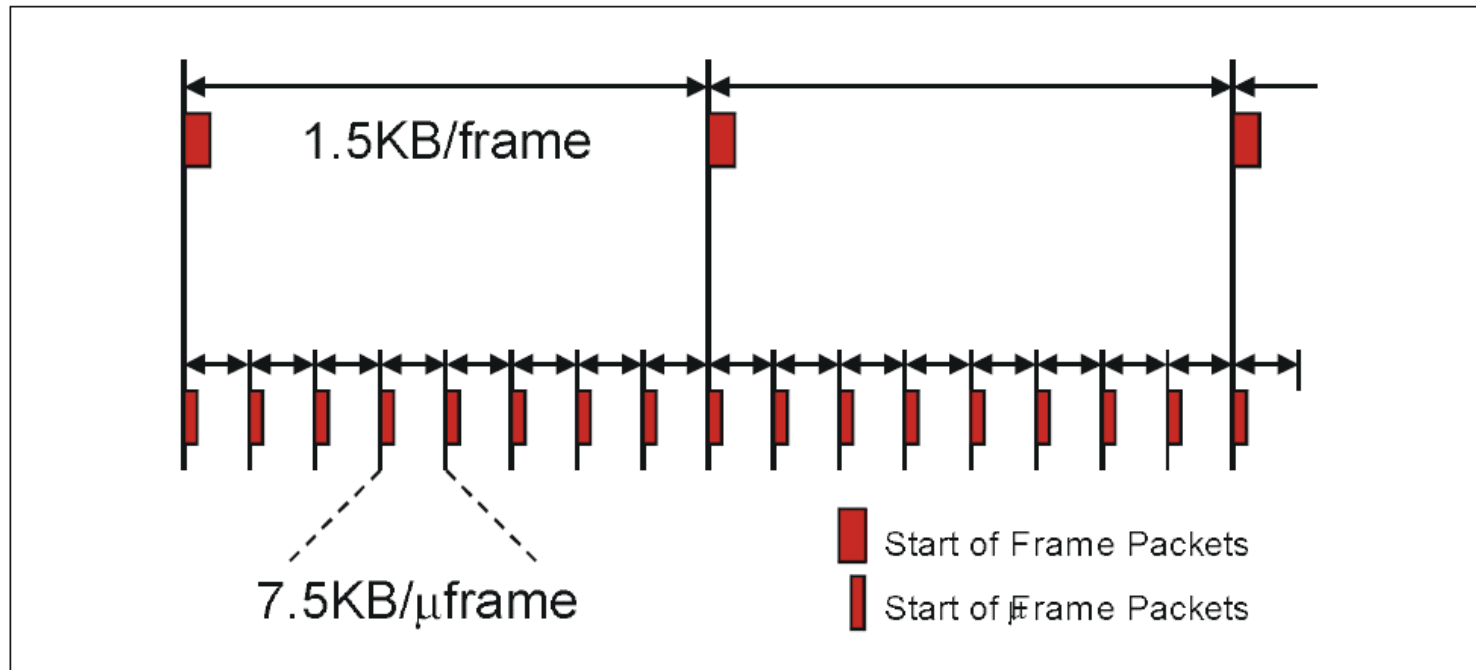


Source : Extrait Universal Serial Bus Architecture Book, Second Edition, Don Mindshare, Inc. / Anderson, MindShare

# Informatique Industrielle Le bus USB

## Séquencement USB2

Figure 12-1: Bandwidth Difference Between Full-Speed Frame and High-Speed Microframe

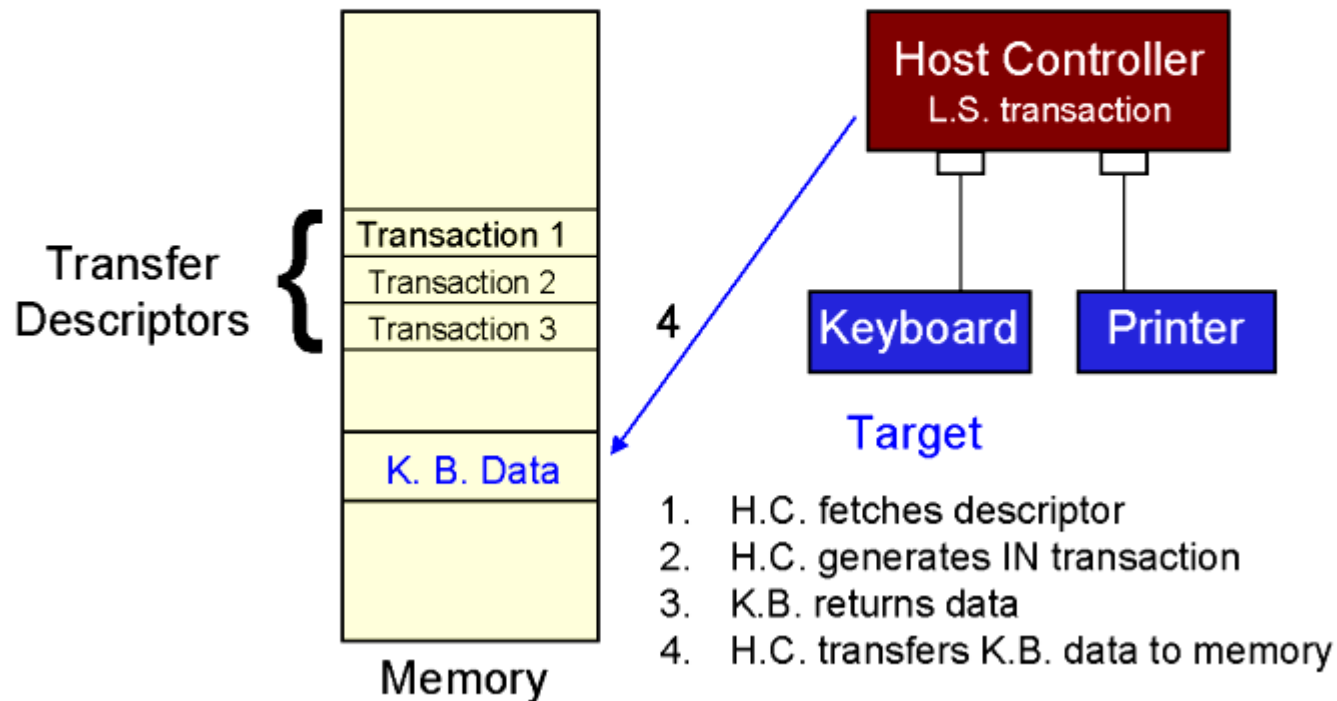


Source : Extrait Universal Serial Bus Architecture Book, Second Edition, Don Mindshare, Inc. / Anderson, MindShare

# Informatique Industrielle Le bus USB

## Séquencement

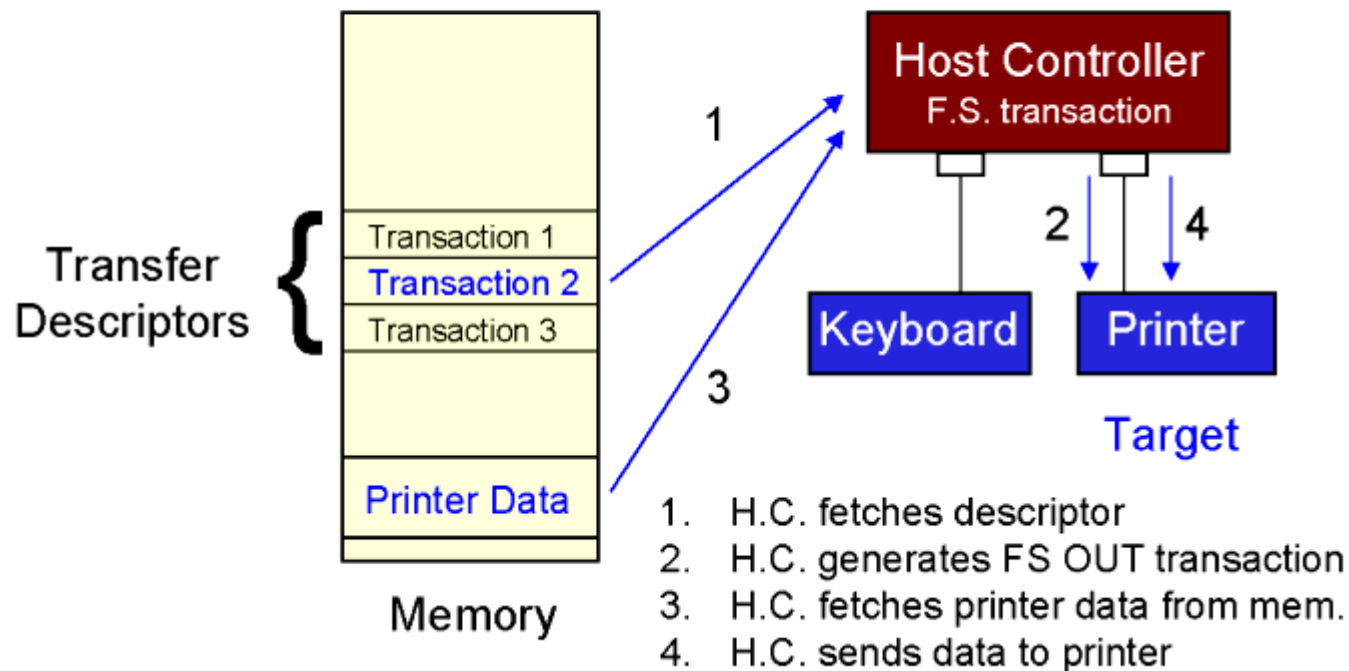
### How USB Transactions are Performed



# Informatique Industrielle Le bus USB

## Séquencement

### How USB Transactions are Performed

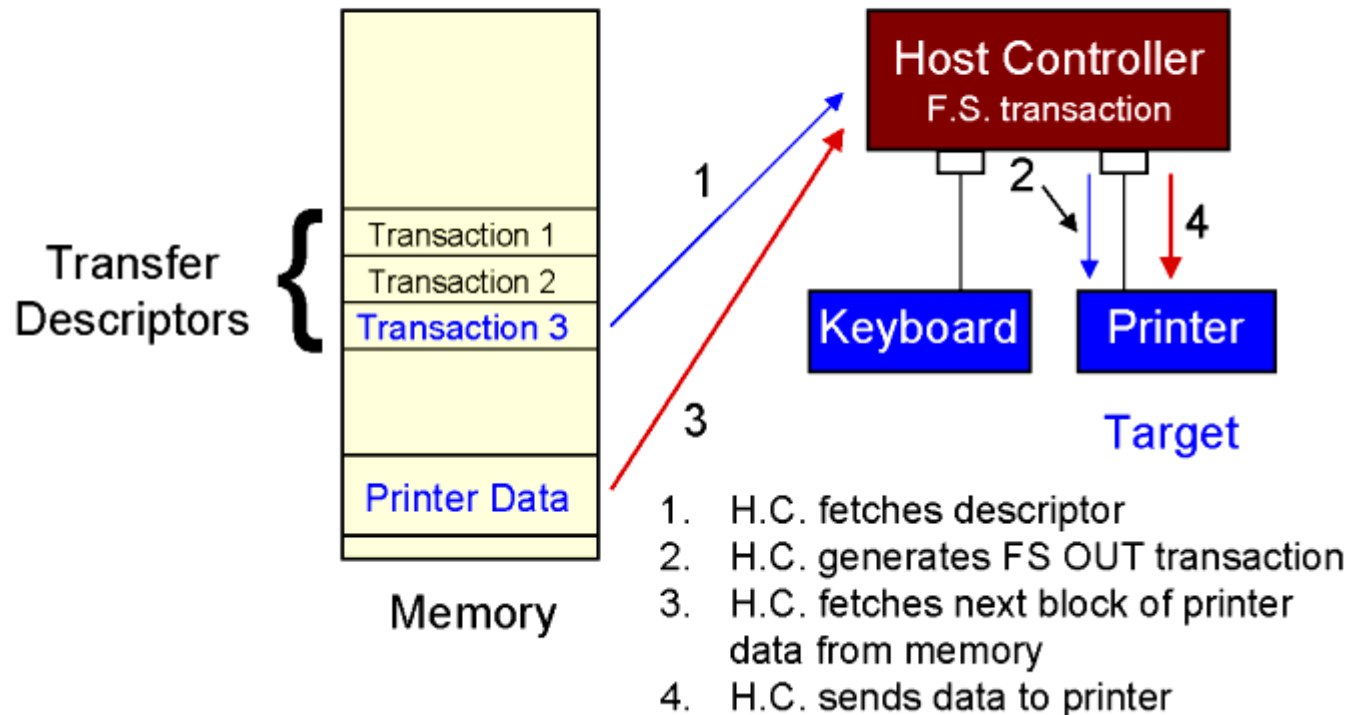




# Informatique Industrielle Le bus USB

## Séquencement

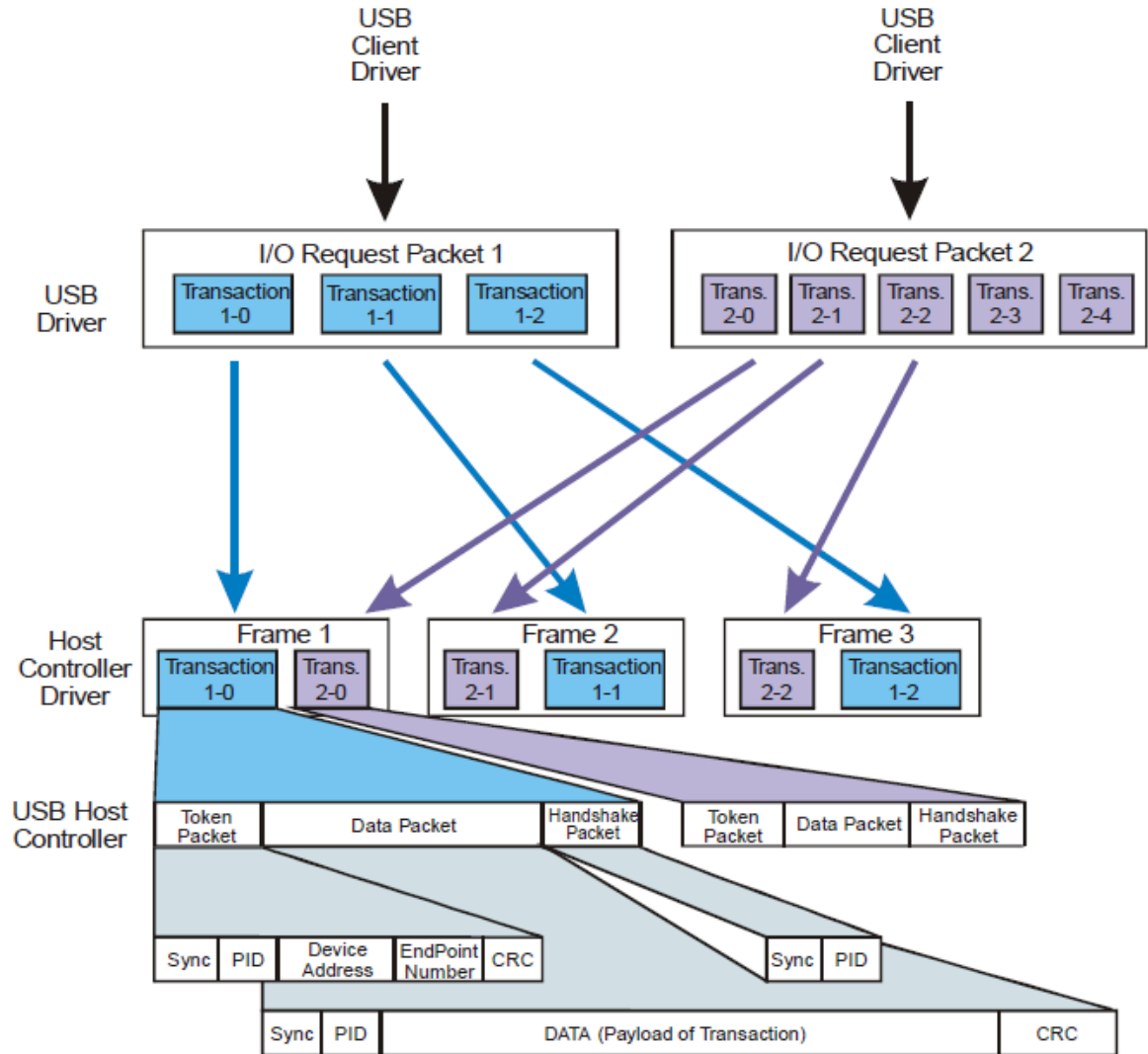
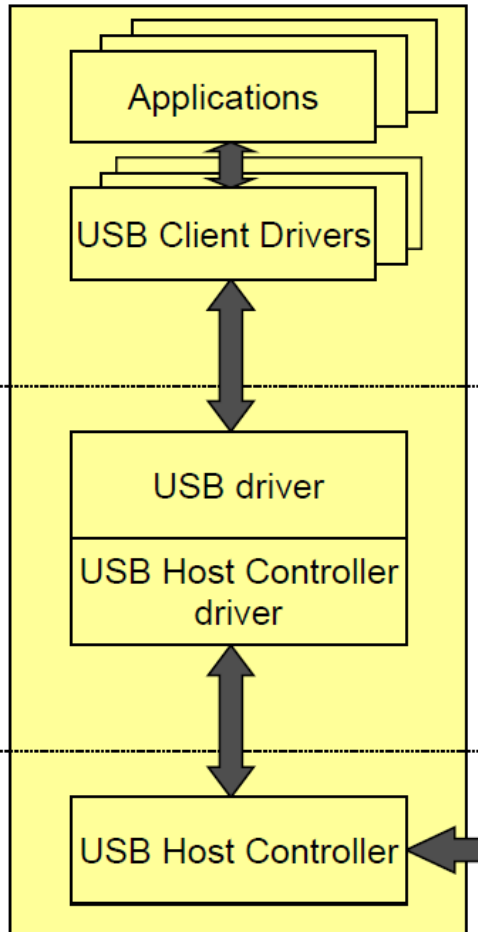
### How USB Transactions are Performed



# Informatique Industrielle Le bus USB

## Séquencement

### Host System

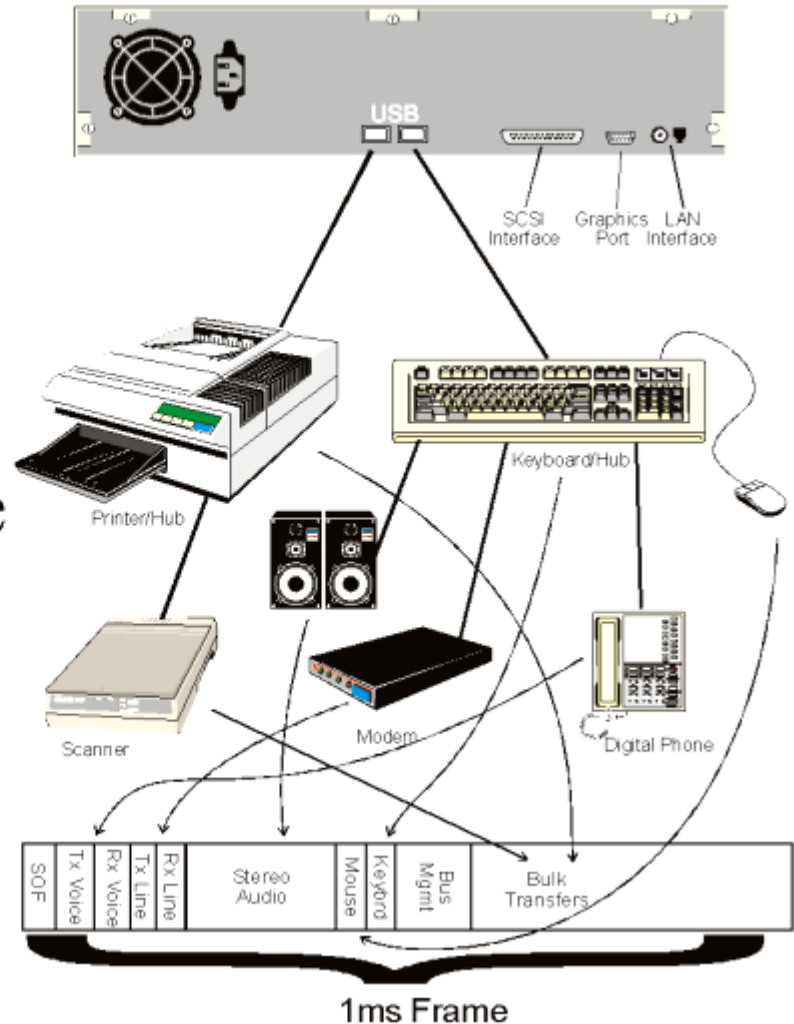


Source : Les Principes de base de l'USB,  
Cypress, Philippe Larcher

# Informatique Industrielle Le bus USB

## Séquencement

Example of  
Devices  
Sharing USB  
during a  
Single Frame

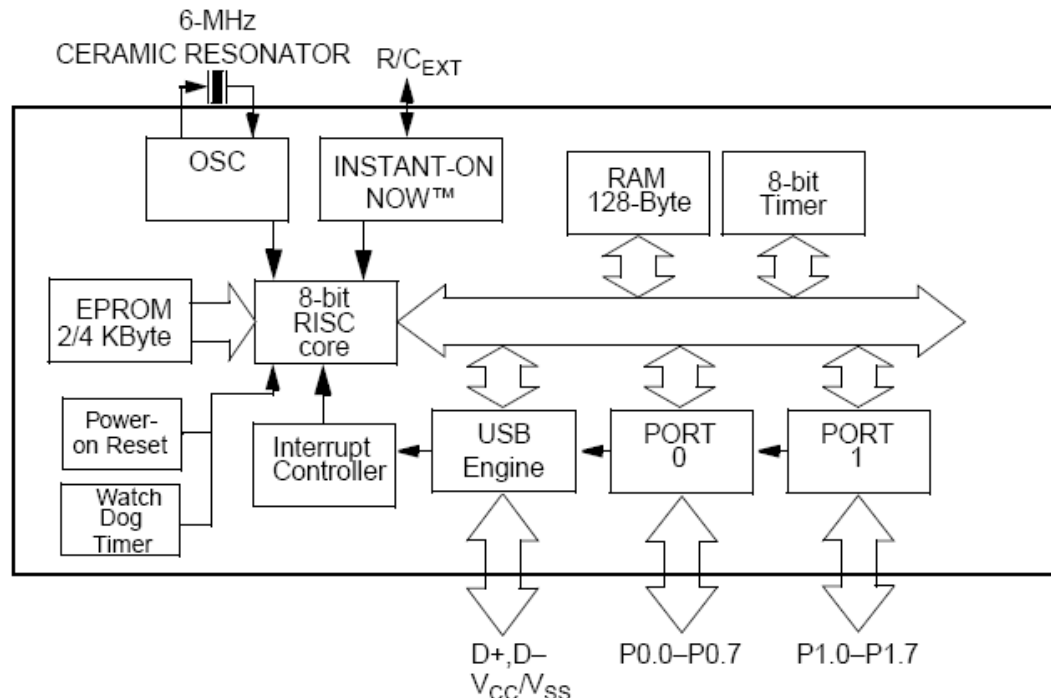


# Informatique Industrielle Le bus USB

## Interfaçage au Bus USB Universal Serial Bus Microcontroller



CY7C63000A/CY7C63001A  
CY7C63100A/CY7C63101A

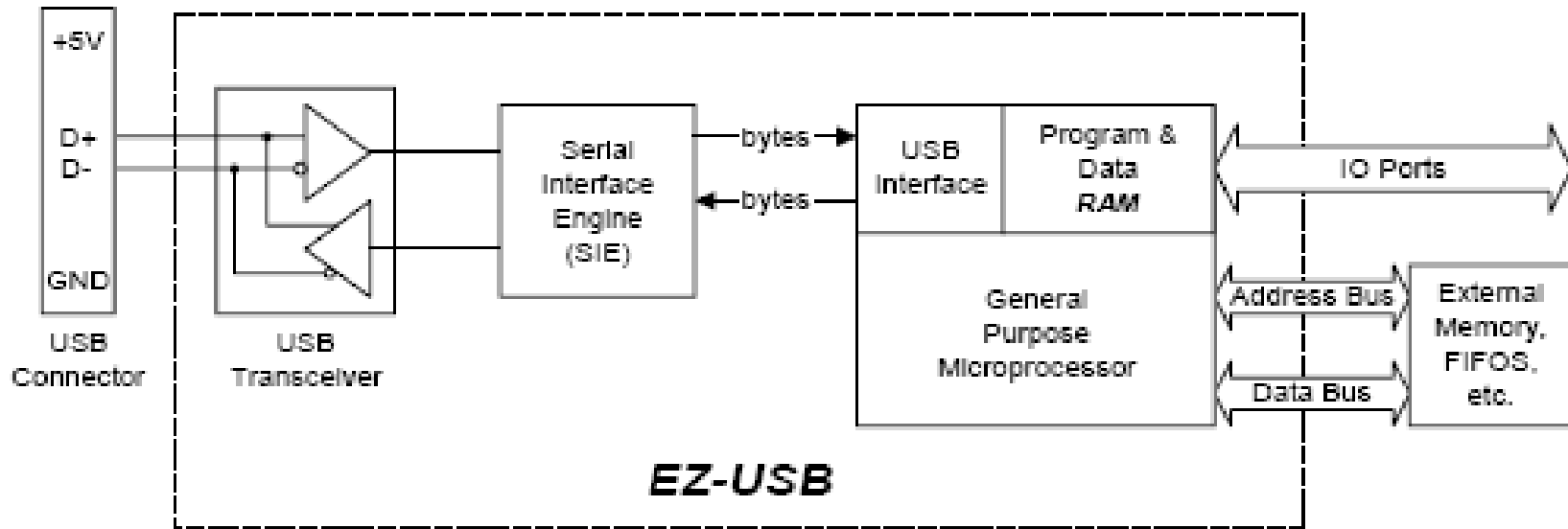


**Solution faible coût pour périphériques “low-speed” : souris, joystick, manette de jeu.**  
**Conforme à la spécification USB 1.1 1,5 Mbps**  
**1 Device address et 2 EndPoints (1 contrôle et 1 data)**  
**Microcontrôleur RISC**  
**12Mhz interne 128 octets RAM 4K ROM,**  
**Timer, Chien de garde**  
**Jusqu’à 16 E/S sur trigger de schmitt**  
**sur pull-up interne**  
**Jusqu’à 8 E/S permettant un pilotage de LED**  
**Alimentation de 4 V à 5,25V**

# Informatique Industrielle Le bus USB

## Interfaçage au Bus USB

CYPRESS AN 2131S (EZ-USB)



Microprocesseur dérivé du 8051 en version rapide et étendue

La RAM interne peut être utilisée pour stocker le programme et les données

Noyau USB capable de charger directement la RAM depuis l'USB et incorporant l'essentiel du protocole USB

Mode transfert rapide pour charger directement les FIFOs internes par une logique externe

24 IO + bus d'extension données et adresses

Alimentation 3,3V

# Informatique Industrielle Le bus USB

## La spécification USB OTG



Permet la connexion directe entre DEVICES USB, sans passer par l'intermédiaire d'un PC (HOST).

*Exemple : envoyer directement les photos d'un appareil photo à une imprimante ou un disque dur.*

Connexion point à point.

Supplément à la spécification USB 2.0

Ajout de fonctionnalités aux périphériques USB mobiles :

Capacités de Contrôleur HOST limitées pour permettre la liaison point à point,

Possibilité d'être HOST ou DEVICE et de passer de l'un à l'autre (*dual role*) à la suite d'une négociation (Host Negotiation Protocol NHP),

Réduction de consommation au niveau alimentation.

Définition d'un nouveau standard de connecteurs miniatures et de câbles :

Embase mini A-B pouvant recevoir des connecteurs mini-A ou mini-B

Détection faite par la 5eme broche (ID pin) connectée ou non à la masse.

# Informatique Industrielle Le bus USB

## USB 3.0



Compatible avec USB2

- 4,8 gigabits/s contre 480 mégabits/s (\*10)
- Technologie proche du PCI-Express
- Les câbles USB 3.0 sont composés de huit fils :  
quatre pour les données en mode USB 3.0,  
deux pour les données en mode USB 2.0  
deux pour l'alimentation
- Alimentation fournie :  
USB 2.0 minium 100 mA et au maximum 500 mA (avec une tension de 5 V)  
USB 3.0 on passe à 150 mA minimum et 900 mA au maximum (4,5 W).  
la tension d'utilisation minimale de l'appareil passe de 4,4 à 4 V.

