

Universal Serial Bus (USB)

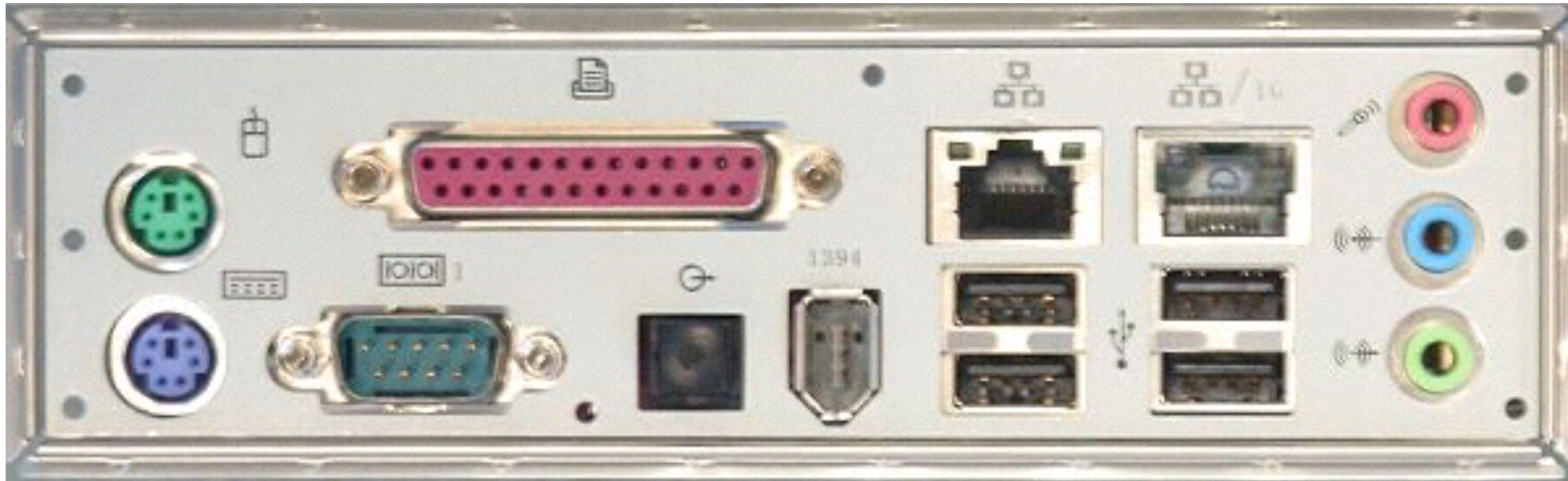


Aujourd'hui: USB!

- Origine, évolution
- Aspects matériels
- Aspects logiciels

Pourquoi le USB?

Circa 1997



Circa maintenant



Qu'est-ce qui utilise USB?

https://youtu.be/1rlwBz_1_1w?t=5m6s

USB

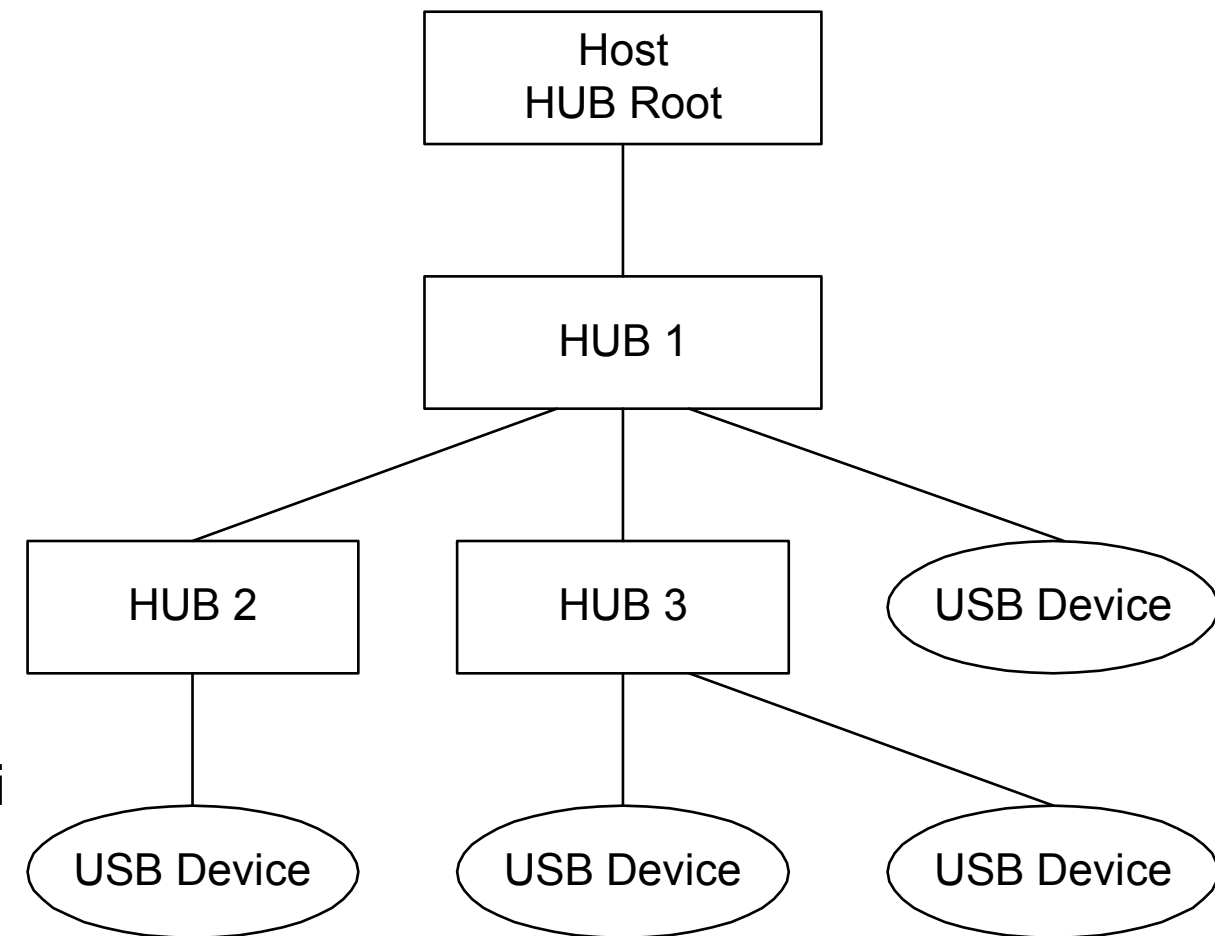
- USB: **U**niversal **S**erial **B**us
- Le USB a été conçu afin de remplacer le port série
- L'utilisation du USB implique des redevances. Être membre officiels des développeurs de USB coûte 2500\$ USD par année. Avoir un Vendor_ID coûte 200\$ USD par année...
- Il existe trois normes USB principales:
 - USB 1.1 (1998)
 - USB 2.0 (2000, révisé en 2002).
 - USB 3.0 (2008)
- Dans le cours, nous allons nous concentrer sur USB 2.0 (avec quelques mentions de 3.0)

Versions de USB & vitesses de communication

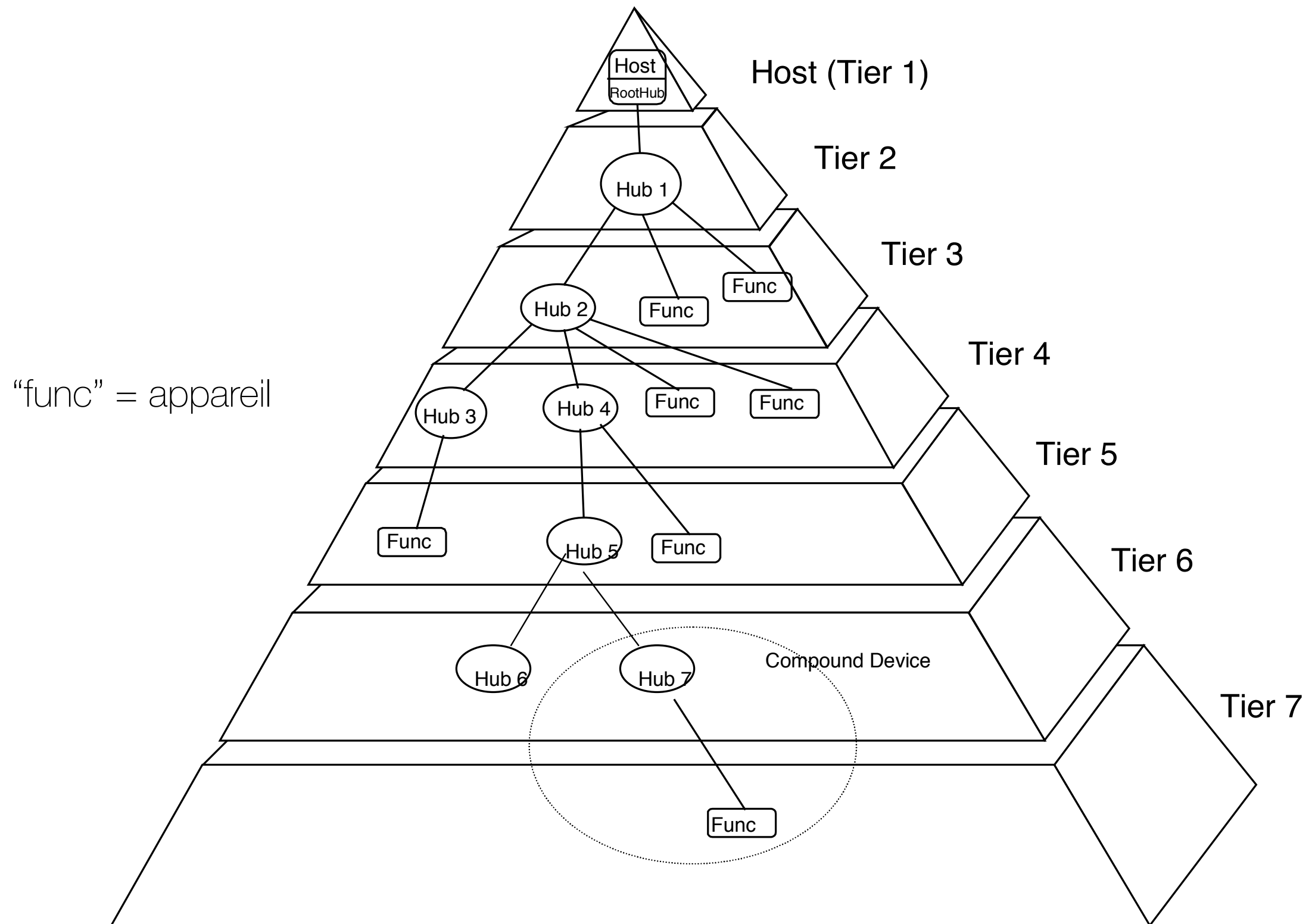
- 1.0 “Low Speed”: 1.5 Mb/s
 - claviers, souris, joystick
- 1.0 “Full Speed”: 12 Mb/s
 - appareils à gros débits comme les modems et téléphones.
- 2.0 “High Speed”: 480 Mb/s
 - appareils multimédia à très haut débit comme les caméras numériques
- 3.0 “SuperSpeed”: 5 Gb/s
- 3.1 “SuperSpeed+”: 10 Gb/s

Topologie d'un réseau USB

- Un réseau USB a une topologie en étoile.
- Le port USB est contrôlé entièrement par un contrôleur unique appelé hôte ("host"). Souvent le PC, il initie toutes les communications, et est le maître absolu du bus.
- Les "hubs" permettent de relier plusieurs appareils à un seul port USB.
 - Le rôle principal des hubs est de transférer les données de l'hôte aux périphériques.
 - Chaque hub contrôle ses ports afin de savoir si un appareil s'y connecte
 - Il peut y avoir 5 niveaux de hub en plus du hub racine.
- Il y a 127 appareils maximum dans un réseau USB. Chaque appareil a son adresse.



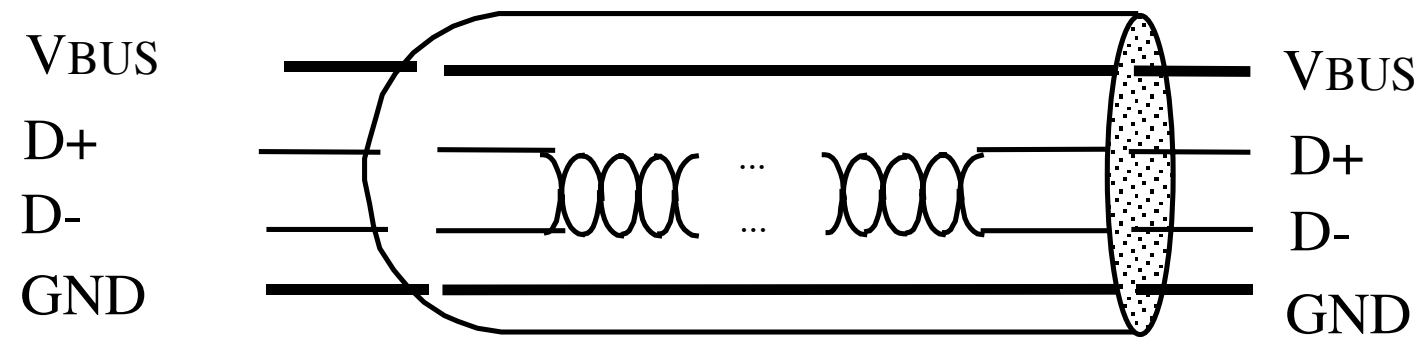
Topologie d'un réseau USB



Classes d'appareils USB

- Tous les périphériques USB appartiennent à une classe. Les classes d'appareils sont:
 - Audio (Haut parleurs)
 - Communication (Modem)
 - Souris, Claviers
 - Écrans
 - Physical feedback devices (Force feedback joystick)
 - Alimentation (UPS—batterie de backup)
 - Imprimante
 - Disque dur
 - Hub!
- Une constante est associée à chaque classe (voir plus loin)

Matériel — fils

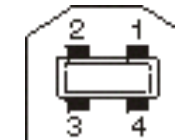


- Le câble USB est constitué de 4 fils:
 - Vbus** est l'alimentation 5Vdc (entre 4.75V et 5.25V)
(peut alimenter les appareils branchés sur le bus!)
 - D-** et **D+** servent au transport des données.
 - GND** est la référence électrique

Matériel — connecteurs

- Il y a deux types de connecteurs USB: A et B.
- Pour garantir la topologie étoile, les connecteurs:
 - A “pointent” toujours vers le haut, vers l’hôte
 - B “pointent” toujours vers le bas, vers les périphériques

Series "A" Connectors	Series "B" Connectors
◆ Series "A" plugs are always oriented upstream towards the <i>Host System</i>  "A" Plugs (From the USB Device)  "A" Receptacles (Downstream Output from the USB Host or Hub)	◆ Series "B" plugs are always oriented downstream towards the <i>USB Device</i>  "B" Plugs (From the Host System)  "B" Receptacles (Upstream Input to the USB Device or Hub)



Tiré de usb_20.pdf
(<http://www.usb.org/developers/>)
<http://www.networktechinc.com/technote.html>

Matériel — connecteurs



micro-B

mini-B

standard-A
(femelle)

standard-A
(mâle)

standard-B

Matériel — mode différentiel

- USB utilise le mode différentiel:
 - les données sont transmises par la différence entre D+ et D-.
 - lorsque D+ et D- sont forcés près de la masse par l'hôte, cela signifie une demande de reset.

Matériel — NRZI

- NRZI: “**N**on **R**eturn to **Z**ero **I**nverted”
- Habituellement, nous encodons les bits directement
 - “0” ou “1” logiques
- NRZI encode les bits par des *changements* d'états
 - changement d'état == “0”
 - état constant (pas de changement) == “1”

Bit à envoyer	État précédent	Nouvel état
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Matériel — NRZI

- Exemple:
 - bits à envoyer: 01 1001
 - (le protocole assure que la ligne soit à l'état 1)
 - après encodage NRZI: 000100

Bit à envoyer	État précédent	Nouvel état
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Matériel — NRZI

- NRZI: “**N**on **R**eturn to **Z**ero **I**nverted”
- Avantages?
 - Facile à implémenter
- Inconvénients?
 - Si on veut transférer “11111111”?
 - NRZI: “11111111”
 - trop de “1” de suite, on rajoute donc des bits “0” à chaque 6 bits, dans le signal original. Cela force donc des transitions dans le NRZI. Ce processus est appelé le “bit stuffing”.

Matériel — gestion de puissance

- L'USB 2.0 gère la puissance des appareils connectés sur le bus de plusieurs manières:
 - L'appareil doit négocier de la puissance en se connectant
 - En cours d'opération, l'hôte peut débrancher un appareil.
 - Des états envoyés du D+ et D- peut demander la réduction, le reset ou la mise en veille des appareils.
- USB 3.0 offre davantage de souplesse dans la gestion de la puissance parce que certains éléments du protocole ne sont plus requis.
 - Par exemple, le polling pour détecter les interruptions n'est plus nécessaire et un appareil avec interruption peut être débranché plus facilement.

Logiciel — structure logique

- Bien que les appareils soient branchés suivant une structure en étoile, l'hôte communique avec les appareils comme s'ils étaient branchés ensemble directement
- Si un hub est retiré, tous les appareils branchés au hub le sont aussi

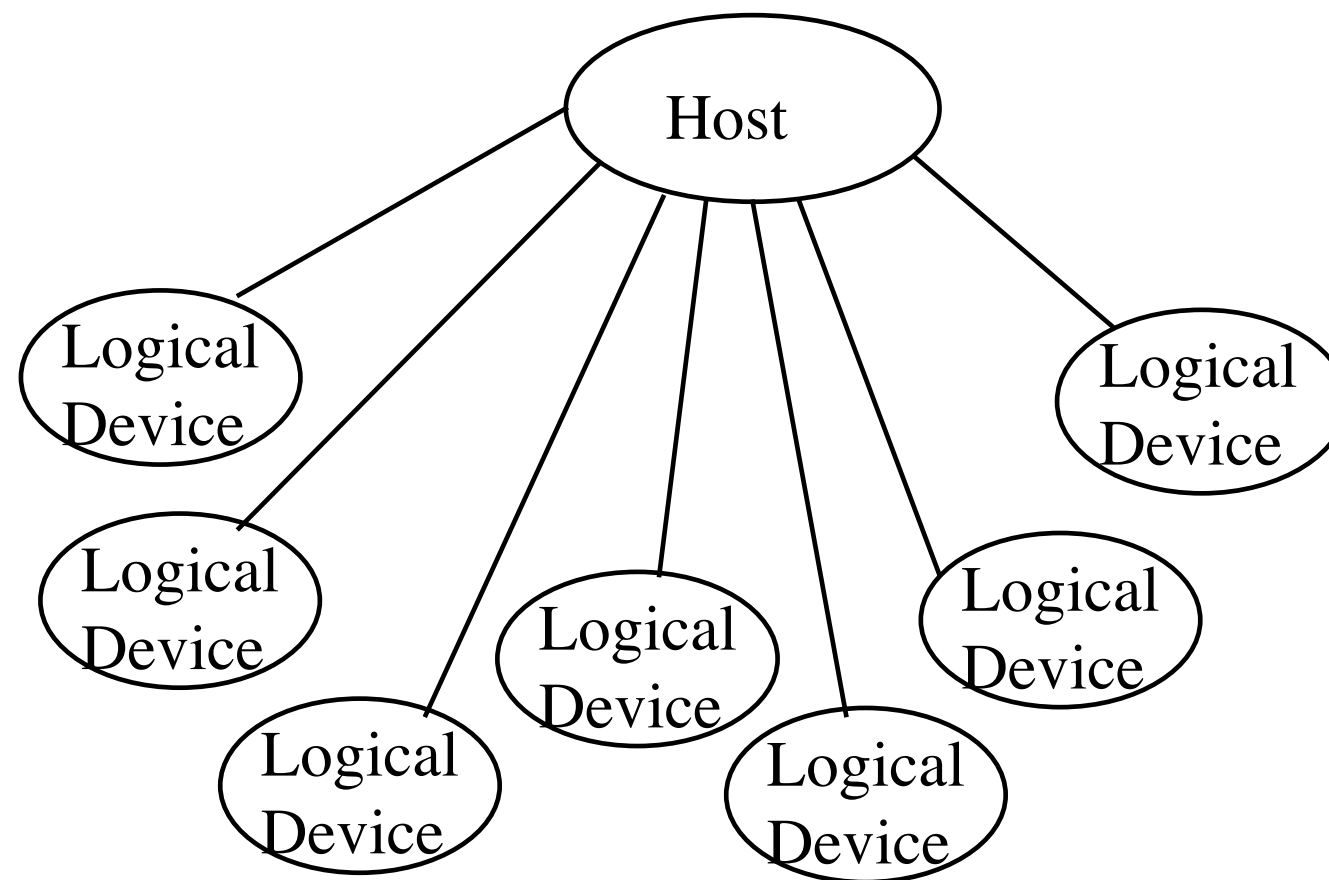


Figure 5-7. USB Logical Bus Topology

USB — matériel et logiciel

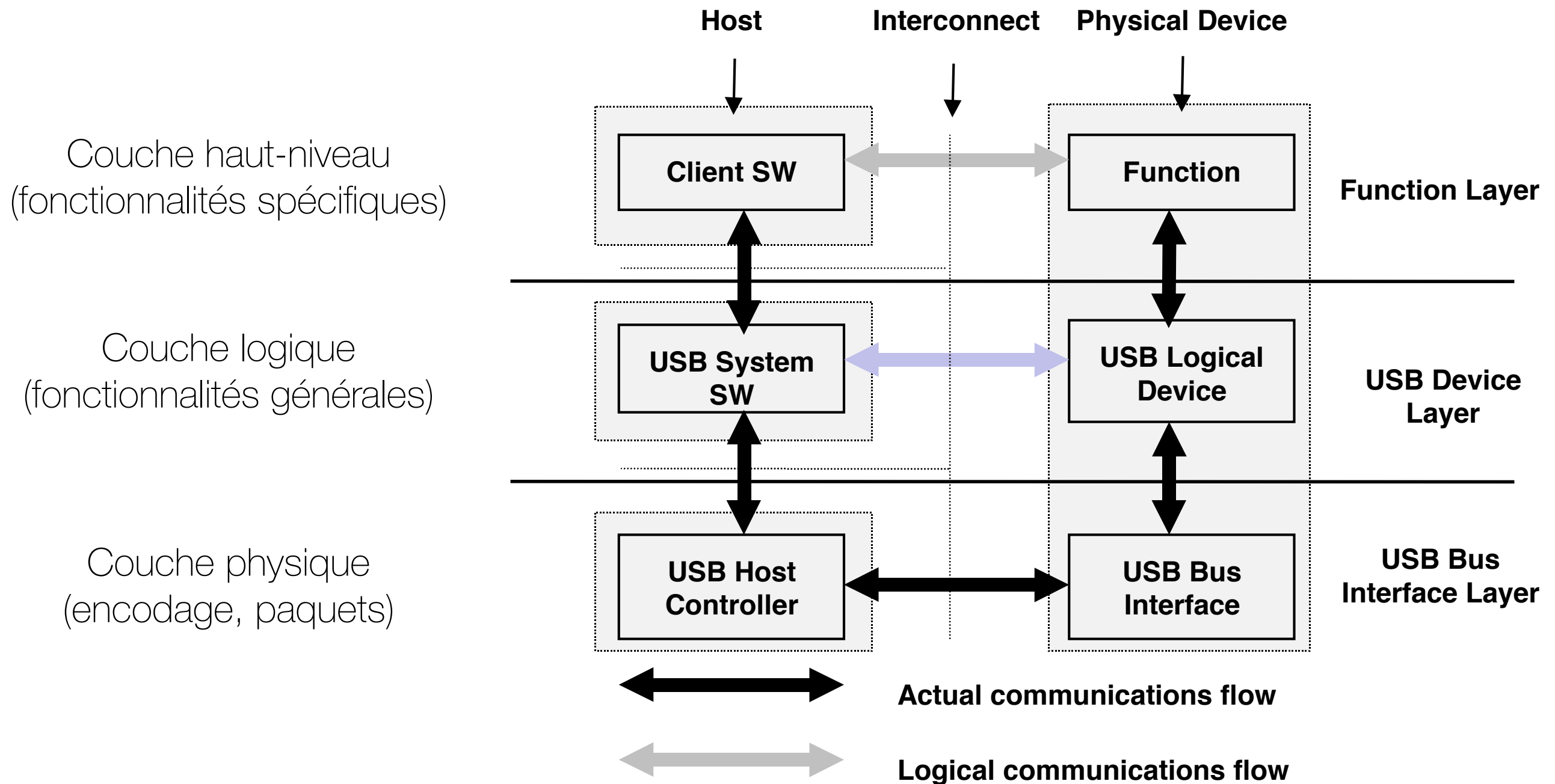


Figure 5-2. USB Implementation Areas

Logiciel — composantes logiques

- Chaque appareil USB contient une ou plusieurs connections logiques appelées terminaisons (“endpoints”). L’hôte envoie ou reçoit des données à partir d’une terminaison.
- Chaque appareil possède au moins une terminaison: la terminaison 0.
 - C’est avec cette terminaison que l’hôte communique avec d’obtenir des informations sur les configurations d’un appareil.
- Un groupe de terminaisons est appelé une interface. Un groupe d’interfaces est appelé une configuration.
- Un appareil peut avoir plusieurs interfaces, réparties dans plusieurs configurations. Toutefois, la plupart des appareils n’ont qu’une seule configuration, qui ne contient qu’une seule interface.
- Le lien entre l’hôte et une terminaison est appelé canal (“pipe”).

Logiciel — composantes logiques

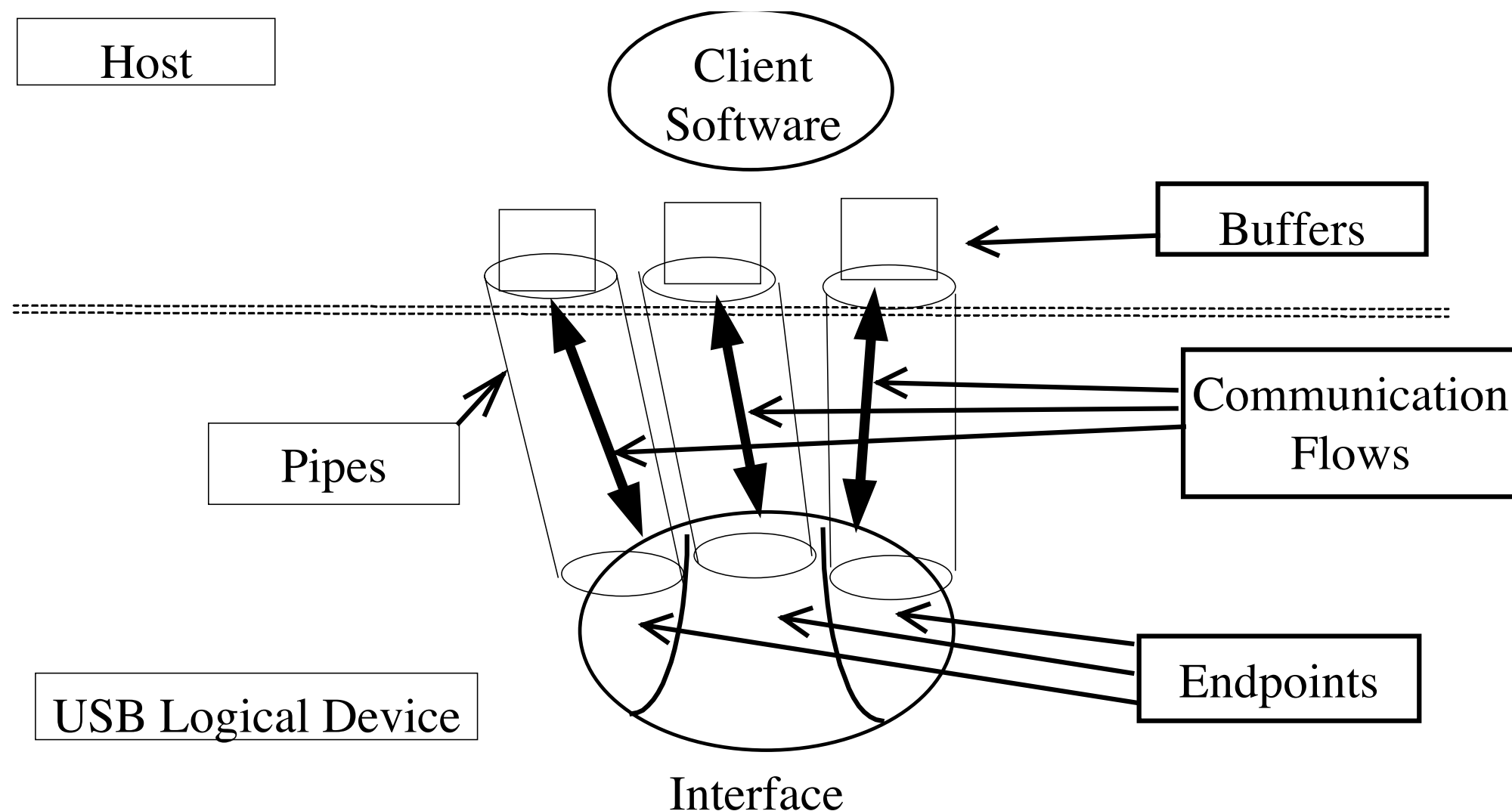


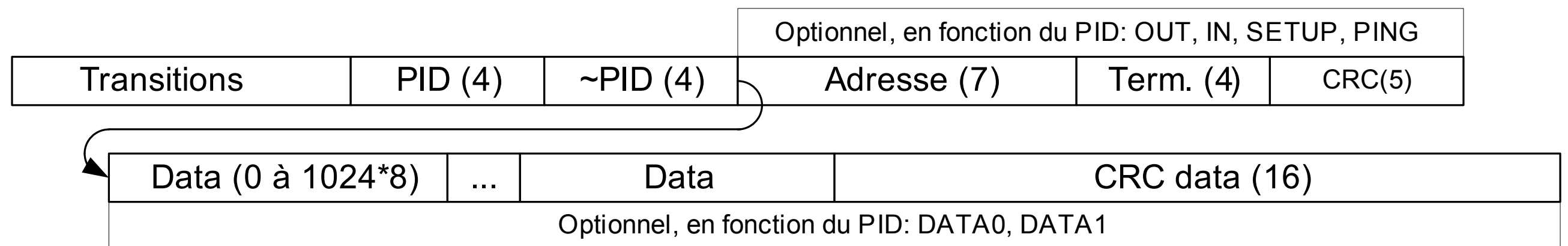
Figure 5-10. USB Communication Flow

Logiciel — transactions

- Les transactions USB se font à l'aide de jetons, c'est-à-dire à l'aide de bytes transmis ayant des valeurs et significations précises.
- Les jetons et messages transitent dans des trames de 1ms ou de 125us (haute vitesse).
- Les appareils nouvellement branchés sur le port USB sont détectés automatiquement.
- *USB 3.0*: les deux liens additionnels permettent aux slaves d'indiquer des événements de façon asynchrone au Master sans que celui-ci ait initié la communication.

Logiciel — paquets

- Un paquet est divisé en plusieurs parties:
 - Transition (“SYNC”): 10101010 en succession rapide pour synchroniser les horloges
 - “PID”: “packet identifier”, qui indique le type de paquet. On ajoute aussi une version inversée de ce PID. Pourquoi?
 - Adresse: appareil à qui s’adresse ce paquet, et la terminaison employée
 - Données: données à transmettre
 - Correction d’erreur (“Cyclic Redundancy Check”, CRC)



Types de paquets

Table 8-1. PID Types

PID Type	PID Name	PID<3:0>*	Description
Token	OUT	0001B	Address + endpoint number in host-to-function transaction
	IN	1001B	Address + endpoint number in function-to-host transaction
	SOF	0101B	Start-of-Frame marker and frame number
	SETUP	1101B	Address + endpoint number in host-to-function transaction for SETUP to a control pipe
Data	DATA0	0011B	Data packet PID even
	DATA1	1011B	Data packet PID odd
	DATA2	0111B	Data packet PID high-speed, high bandwidth isochronous transaction in a microframe (see Section 5.9.2 for more information)
	MDATA	1111B	Data packet PID high-speed for split and high bandwidth isochronous transactions (see Sections 5.9.2, 11.20, and 11.21 for more information)
Handshake	ACK	0010B	Receiver accepts error-free data packet
	NAK	1010B	Receiving device cannot accept data or transmitting device cannot send data
	STALL	1110B	Endpoint is halted or a control pipe request is not supported
	NYET	0110B	No response yet from receiver (see Sections 8.5.1 and 11.17-11.21)
Special	PRE	1100B	(Token) Host-issued preamble. Enables downstream bus traffic to low-speed devices.
	ERR	1100B	(Handshake) Split Transaction Error Handshake (reuses PRE value)
	SPLIT	1000B	(Token) High-speed Split Transaction Token (see Section 8.4.2)
	PING	0100B	(Token) High-speed flow control probe for a bulk/control endpoint (see Section 8.5.1)
	Reserved	0000B	Reserved PID

Logiciel — transactions

- Les transferts de données sont faits en mode half-duplex (*USB 3.0*: full-duplex)
- C'est l'hôte qui initie *tous* les transferts de données.
- La plupart des transactions nécessite l'envoi de 3 paquets:
 1. "Token packet": l'hôte envoie un paquet décrivant le type, et la direction de la transaction.
 - Le paquet contient:
 - L'adresse de l'appareil USB
 - Le numéro de terminaison sur cet appareil
 2. "Data packet": L'appareil USB correspondant s'active en fonction de l'adresse reçue. Un deuxième paquet est envoyé:
 - Le paquet contient les données correspondant à la transaction demandée,
 - Le paquet est envoyé selon la direction de la transaction (hôte vers appareil, ou appareil vers hôte),
 3. "Handshake packet": l'appareil de destination indique si la transaction a été complétée avec succès ou non.

Logiciel — protocole de bus

Légende:

hôte vers
appareil

appareil vers
hôte

- Exemples de transactions:

- Transfert de données, du périphérique vers l'hôte



- Transfert de données, de l'hôte vers le périphérique



- Configuration, de l'hôte vers le périphérique



↑
"Token"

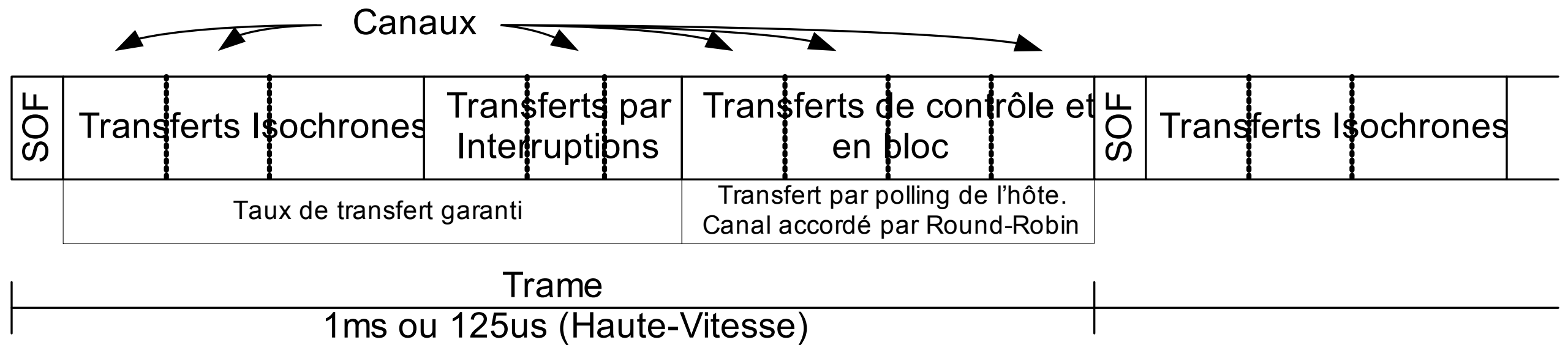
↑
"Data"

↑
"Handshake"

Types de transfert

- Le USB supporte 4 types de transfert:
 - **de contrôle**: sert à la configuration et à la commande d'un appareil. Il est effectué à partir de la terminaison 0.
 - **isochrone**: est un mode de transfert pour lequel les données sont transmises à vitesse constante, et garantie. Idéal pour les flux de données ("streaming").
 - **par interruption**: est utilisé par les appareils ayant peu de données à transmettre, mais ayant des données qui doivent être transmises rapidement (exemple: clavier ou souris). Ce ne sont pas de "vraies" interruptions: elles sont détectées par interrogation successives ("polling") de provenance l'hôte. La fréquence de ces interrogations est donnée par les descripteurs de l'appareil.
 - **par bloc**: permet de transférer des volumes importants de données lorsqu'il n'y a pas de contraintes temporelles (exemple: imprimante).

Trames USB



Branchement d'un nouvel appareil

- Lorsqu'un nouvel appareil est branché à un hub:
 - Le hub informe l'hôte d'un changement dans son statut.
 - L'hôte interroge le hub sur la nature de ce changement.
 - L'hôte demande au hub de faire un reset sur le port concerné.
 - Le hub réalise le reset après quoi le port est actif et l'appareil peut soutirer 100mA de Vbus.
 - Après avoir lu le descripteur d'appareil, l'hôte lui assigne une adresse unique.
 - L'hôte lit les informations de configuration et assigne à l'appareil l'une de ses configurations. La puissance fournie par Vbus peut alors augmenter; l'appareil est prêt à être utilisé.

Descripteurs

- De nombreuses requêtes demandent un “descripteur” à l'appareil.
- Descripteur: bloc de données organisées en champs bien définis.
- Par exemple, nous avons des descripteurs d'appareil, de configuration, d'interfaces, et de terminaisons.

Différences entre USB 2.0 et USB 3.0

Caractéristique	USB3	USB2
Vitesse maximum	5Gbps (SuperSpeed)(4Gbps effectif)	1.5 Mbps (low-speed), 12Mbps (full-speed) 480Mbps (high-speed)
Nombre de fils	8 fils + Drain (9 broches sur le connecteur) Même que USB2 + 2 liens différentiels	4 fils
Longueur Max de câble	Non spécifié (~3 mètres)	5 mètres
Encodage des octets	8/10bits	NZRI
Direction	FULL-DUPLEX	HALF-DUPLEX
Protocole de transaction	Master Slave, messages asynchrones des slaves possibles, messages avec routes distinctes	Master Slave, interruptions par polling, messages diffusés à tous
Détection d'appareil (Énumération)	Résistance de polarisation	Résistances de polarisation et machine d'états de port pour HI-SPEED
Gestion de puissance	Fournit 150mA de base et 900mA lors de configuration Peut débrancher un périphérique pour limiter la consommation de puissance Supporte la gestion de puissance à plusieurs niveaux (exemple: peut couper le transmetteur et le receveur seulement d'un appareil)	Fournit 100mA de base et 500mA lors de configuration Peut débrancher un périphérique pour limiter la consommation de puissance

Références et exercices

- Références
 - USB 2.0 Specification (voir site web du cours)
 - résumé de la spec: <http://www.beyondlogic.org/usbnutshell/usb1.shtml>
 - en français: http://grandzebu.net/electronique/usb/usb_resume.htm
- Exercices
 - Donnez les états de D+ et D- pour la séquence binaire suivante: 00110101.
 - Comment sont détectées les interruptions d'un appareil USB?
 - Décrivez les quatre types de transfert USB.