

# Universal Serial Bus

## 1 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

### 1.1 Introduction :

Le nouveau Bus de connexion série, promu par les principaux constructeurs informatiques et éditeurs de logiciels (*Compaq, DEC, IBM, Intel, Microsoft, NEC, Nortel*) et dont les premières spécifications (version 1.0) sont du 15/01/1996, doit permettre le raccordement sur une prise unique de plusieurs équipements divers (*imprimante, téléphone, modem, fax, clavier, souris, scanners, écrans...*). On désire ainsi éviter la multiplication actuelle des connecteurs sur les PC. Ce BUS permet la transmission de données, de la voix et de l'image compressée.

Cette nouvelle technique se doit d'être rapide, bidirectionnelle, synchrone, de faible coût et l'attachement d'un nouveau périphérique doit être dynamique. De plus la télé-alimentation des équipements est possible.

Une version 2.0 (spécification éditée en 1999) permet un débit jusqu'à 40 fois plus important afin de raccorder des équipements véhiculant de l'image (scanner, caméra ...).

Consultez [www.usb.org](http://www.usb.org)

### Techniques existantes :

- ADB "Apple Desktop Bus" : 16 appareils , 90 kbit/s.
- RS485 : 32 appareils, 2 Mbit/s max.
- I<sup>2</sup>C "Inter Integrated Circuit" (Phillips) : 127 appareils, 100 kbit/s.
- IEEE P1394 (vidéo...) : jusqu'à 100 Mbit/s.
- IEE 488 (Hewlett-Packard) : Bus parallèle, 15 appareils, 1 Mo/s max., 20m.

### 1.2 Caractéristiques générales :



Figure 1. Icône USB

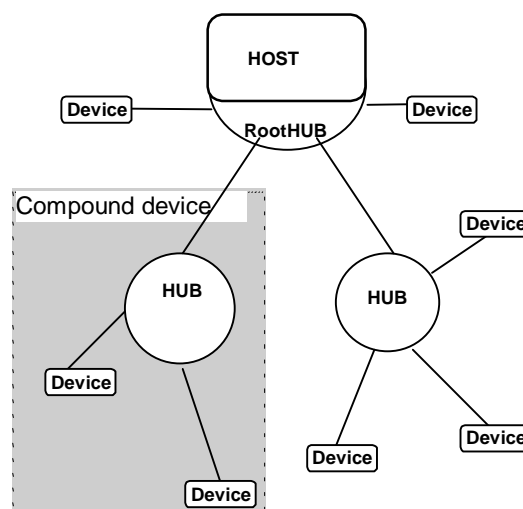


Figure 2. topologie USB

- Débit : jusqu'à **12 Mbit/s** maxi. (option faible coût possible = basse vitesse : 1,5 Mbit/s maxi). **Attention** : c'est le débit brut (émission plus réception) qui doit être partagé entre tous les appareils connectés au BUS.
- **127 appareils** maximum.
- Topologie : BUS étoilé via des "HUB", chaque lien est de type point à point. Maximum 5 HUB traversés entre le maître (*Host*) et un esclave (*function*).
- Câble : 1 paire (torsadée) pour les données + 1 paire pour l'alimentation (5 v).
- Connecteur : miniature (1cm<sup>2</sup>), 4 contacts. 2 modèles proposés.

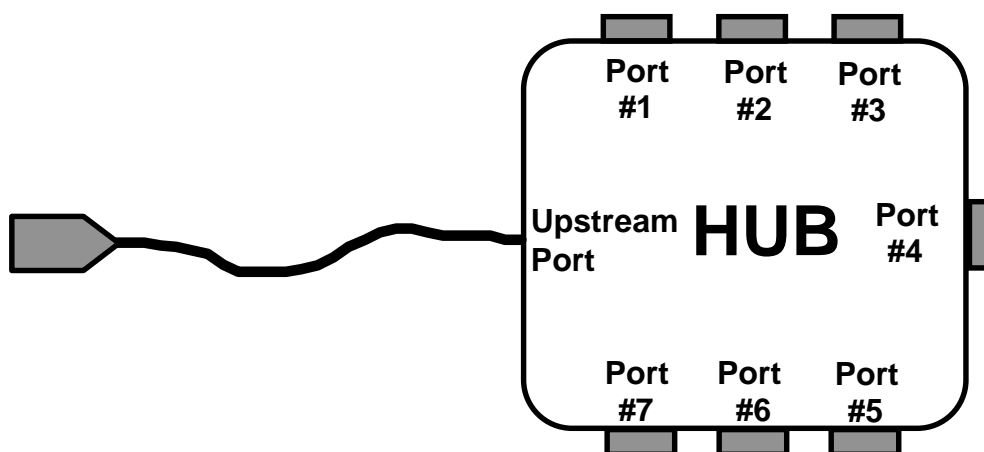


Figure 3. HUB Typique

### 1.3 Caractéristiques mécaniques :

#### 1.3.1 Câble

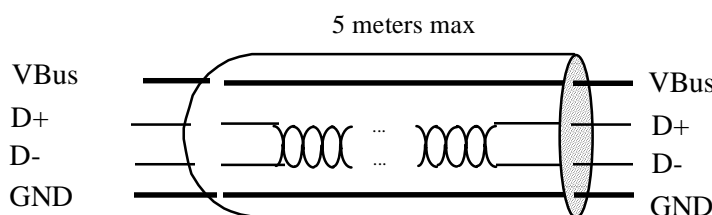


Figure 4. Câble USB

Longueur maxi = 5 m (3m si 1.5Mbit/s).

Temps de propagation maxi = 30 ns ( $< 1/2$  bit).

Diamètre extérieur : 3,4..5,3 mm - couleur = blanc.

- **1 Paire données :**  
torsadée (6..8 cm) (non torsadée toléré si 1.5Mbit/s), 28 AWG mini, isolant polyéthylène,  $Z_c = 90 \Omega \pm 15\%$ , atténuation = 38 dB/1000 pieds à 10MHz.
- **1 Paire alimentation :**  
non torsadée possible, isolant PVC, pour alim. = 5 V, 0.5A max.
- **écran :** nécessaire si 12Mbit/s ou plus (optionnel si 1.5Mbit/s).

**1.3.2 Connecteurs**

Afin de permettre la distribution de l'alimentation sans ambiguïté sur le sens de diffusion, on impose 2 connecteurs. Les cordons détachables posséderont obligatoirement un connecteur A à une extrémité et un connecteur B à l'autre.

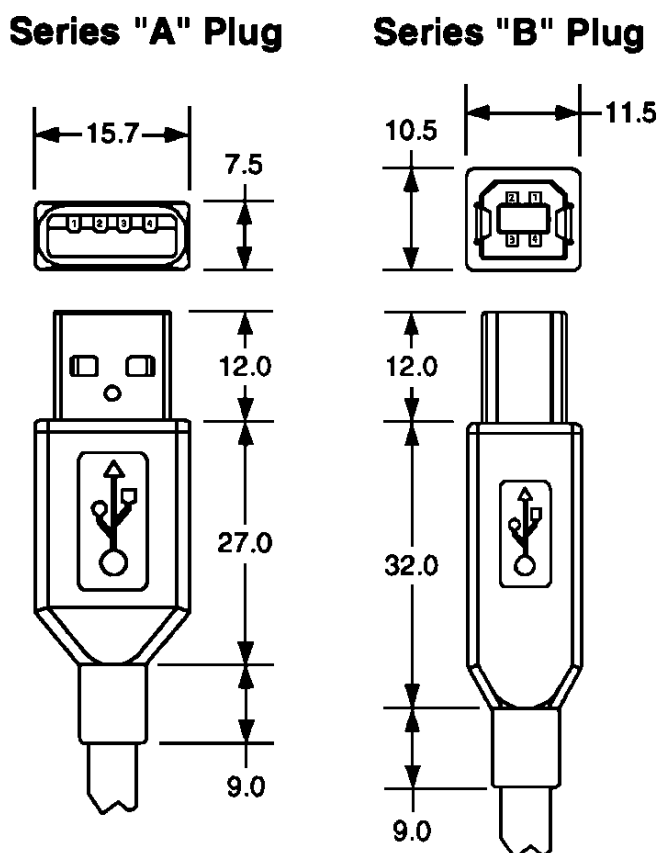


Figure 5. Connecteurs

- **Connecteur série A :**  
 Destiné au raccordement montant vers le « Host », l'alimentation est sortante sur le réceptacle femelle (châssis).  
 4 contacts à plat (D+ et D- au milieu et plus courts).
- **Connecteur série B :**  
 Destiné au raccordement descendant du « Host » sur les périphériques, lorsqu'il y a un connecteur entrant. L'alimentation est entrante sur le réceptacle.  
 4 contacts (+v et -data d'un coté, Gnd et +data de l'autre).

| Contact Number | Color | Signal Name | Comment      |
|----------------|-------|-------------|--------------|
| 1              | Red   | VCC         | Cable power  |
| 2              | White | - Data      |              |
| 3              | Green | + Data      |              |
| 4              | Black | Ground      | Cable ground |

**1.4 Caractéristiques électriques :**

**1.4.1 Etats de D+ et D-**

Etat repos :  $D+ = V_{OH}$  et  $D- = V_{OL}$  (inverse si 1,5Mbit/s).

Transmission de données : D+ inverse de D- (mode différentiel).

Fin de paquet ("EOP") :  $D+ = D- = V_{OL}$  pendant 2 bits.

Déconnexion : D+ tend vers  $V_{OL}$  car R2 débranchée (D- si 1,5Mbit/s).

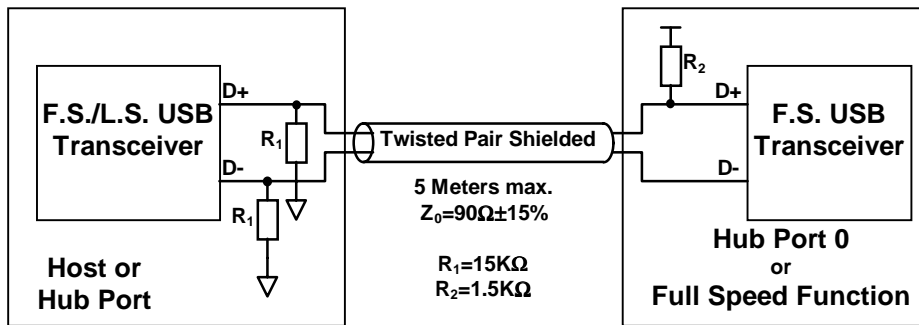


Figure 6. Full Speed Connections

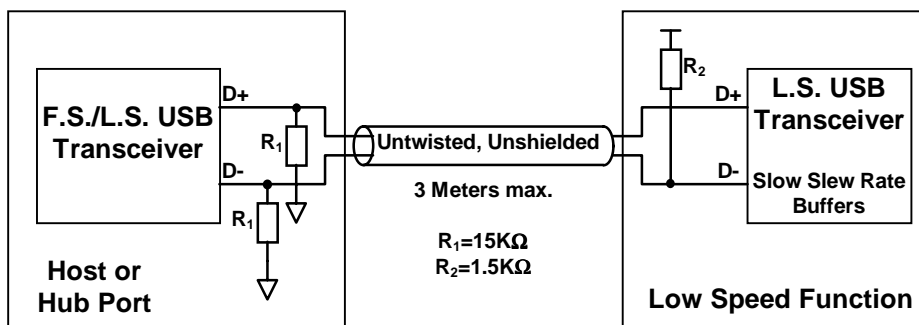


Figure 7. Low Speed Connections

**1.4.2 Emetteur sur D+ et D-**

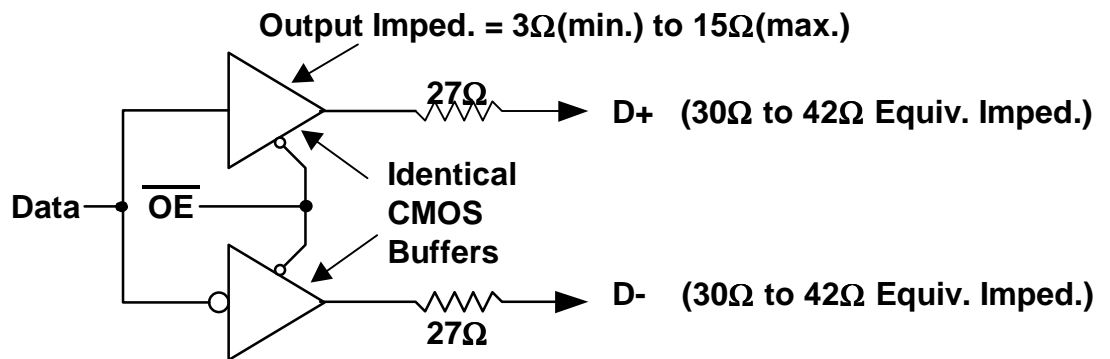


Figure 8. Exemple de Circuit de sortie

Impédance de sortie :  $30\Omega..42\Omega$  (câble =  $90\Omega$ ).  
 Niveau haut :  $V_{OH} > 2,8V$  (avec  $R=15k\Omega$  sur masse)  $V_{OHmax}=3,6V$ .  
 Niveau bas :  $V_{OL} < 0,3V$  (avec  $R=1,5k\Omega$  sur +V).  
 Temps de montée/descente :  $4..20ns$  ( $75..300ns$  si  $1,5Mbit/s$ ).

### 1.4.3 Récepteur sur D+ et D-

- Mode différentiel (réception de données) :  
Sensibilité  $> 200mV$  pour signal entre  $0,8v$  et  $2,5v$ .
- Mode commun (D+ ou D- par rapport à la masse) :  
Seuil = niveau TTL ( $0,8..2V$ ) avec hystérésis conseillé.

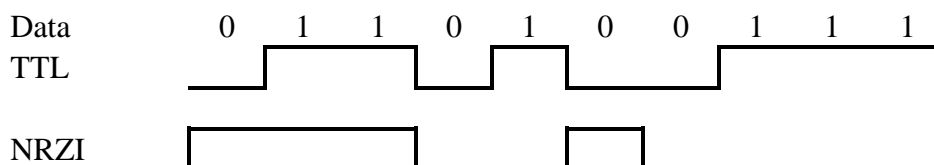
### 1.4.4 Alimentation

Port générateur =  $5V$  ( $4.75..5.25V$ ) /  $0,5A$ .  
 Un HUB alimenté doit pouvoir fournir  $0,5A$  sur ses ports (pas forcément tous en même temps).  
 Un HUB télé alimenté doit pouvoir fournir  $100mA$  sur ses ports avec une perte maxi de  $350mV$ .

## 1.5 Codage des données :

Code NRZI (*Non Return to Zero Inverted*) : "0" codé par une inversion et "1" par aucun changement.

Pour conserver l'horloge lorsque l'on rencontre une suite de "1", on insère systématiquement un "0" après 6 "1" consécutifs.



## 2 TRANSMISSION SUR LE BUS

Le maître émet un **paquet SOF toutes les 1ms**  $\pm 0,05\%$  ( $125\mu s$  pour la version USB2 « High speed »). Ce paquet synchronise tous les échanges. Durant cet intervalle (trame) plusieurs échanges entre le maître et les dispositifs connectés peuvent avoir lieu selon les besoins prédéterminés par le maître. Le taux de transfert nécessaire pour chaque sens et pour chaque dispositif détermine la taille maximum de chaque paquet de données autorisés.

### 2.1 Format des Paquets :

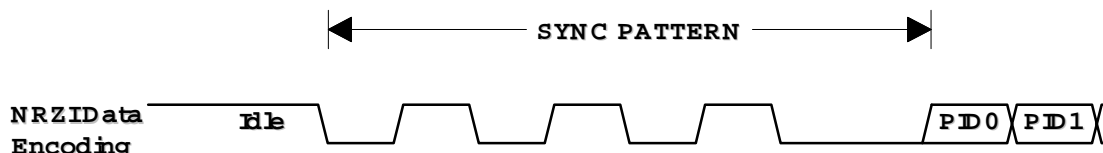
Les octets sont transmis avec LSB (*Less Significant Bit*) en tête.

Les échanges sont composés de petits paquets, il existe 4 types de paquets : jeton, SOF, données, contrôle. Toutes les paquets commencent par un octet synchro et un octet PID.

Le début de paquet est marqué par la première transition D+D- (synchro) et la fin de paquet par l'état particulier EOP (*End Of Packet*) : D+=D-=0 pendant 2 bits puis on passe à l'état repos.

**2.1.1 Synchronisation**

En début de paquet, on émet l'octet \$80 générant en NRZI 7 transitions (les "0") puis une absence de transition (le "1").



**2.1.2 PID = Packet Identifier Field**

Les 4 bits B0..B3 désignent le type de paquet et les 4 bits B4..B7 sont les complémentaires de B0..B3 respectivement.

Type de paquet selon B1-B0 :

- 00 : Spécial (préambule pour passage en faible vitesse).
- 01 : paquet jeton (*Token*).
- 10 : paquet contrôle (*Handshake*).
- 11 : paquet données (*Data*).

| PID Type  | PID Name | PID[3:0] | Description   |
|-----------|----------|----------|---|
| Token     | OUT      | b0001    | Address + endpoint number in host -> function transaction                                 |
|           | IN       | b1001    | Address + endpoint number in function -> host transaction                                 |
|           | SOF      | b0101    | Start of frame marker and frame number  |
|           | SETUP    | b1101    | Address + endpoint number in host -> function transaction for setup to a control endpoint |
| Data      | DATA0    | b0011    | Data packet PID even  |
|           | DATA1    | b1011    | Data packet PID odd   |
| Handshake | ACK      | b0010    | Receiver accepts error free data packet   |
|           | NAK      | b1010    | Rx device cannot accept data or Tx device cannot send data                                |
|           | STALL    | b1110    | Endpoint is stalled   |
| Special   | PRE      | b1100    | Host-issued preamble. Enables downstream bus traffic to low speed devices.                |

**2.2 Paquet Jeton (Token) :**

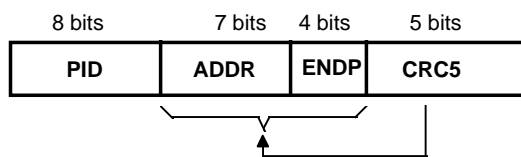


Figure 9. Format du Paquet jeton (*Token Format*)

Ce paquet comporte :

- un champ ADDR (adresse) de 7 bits (0..127) désignant la source ou le destinataire de la transaction (adresse du dispositif).
- un champ ENDP (End point) de 4 bits (0..15) désignant un sous-canal éventuel.
- un CRC sur 5 bits ( $x^5+x^2+1$ ).

**2.3 Paquet SOF (Start Of Frame) :**

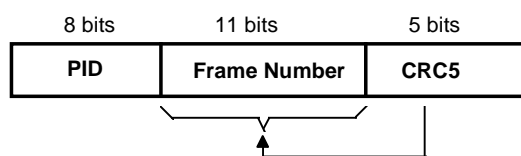


Figure 10. Format du Paquet SOF (*Start Of Frame Packet*)

Ce paquet est émis par le maître toutes les 1ms et sert de synchro frame, il comporte :

- un champ numéro de frame de 11 bits (éventuellement ignoré par les récepteurs).
- un CRC sur 5 bits ( $x^5+x^2+1$ ).

**2.4 Paquet Données (Data) :**

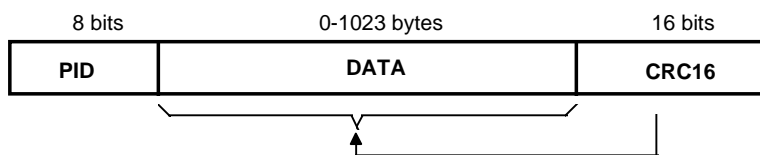


Figure 11. Format du Paquet de données (*Data Format*)

Ce paquet comporte :

- un champ données (0..1023 octets maxi).
- un CRC sur 16 bits ( $x^{16}+x^{15}+x^2+1$ ).

**2.5 Paquet de contrôle (Handshake) :**

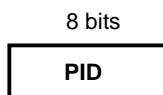


Figure 12. Format du Paquet de contrôle (*Handshake Packet*)

Ce paquet ne comporte qu'un PID indiquant le l'état de la transaction :

- ACK : Données acceptées,
- NAK : Données refusées (erreur, non disponible...),
- STALL : La fonction est indisponible (intervention du maître nécessaire).

### 3 TRANSFERT DES DONNEES

#### 3.1 Modèle :

Un modèle en trois couches permet de représenter les échanges via USB, les couches sont différentes chez le maître (*Host*) de chez les dispositifs connectés (*Devices*).

|                     | <b>Host</b>              | <b>Physical device</b> |
|---------------------|--------------------------|------------------------|
| 3 - Function        | Client                   | Function (interface)   |
| 2 - "USB device"    | USB System<br>(USBD+HCD) | USB logical device     |
| 1 - "USB interface" | USB Host controller      | USB Bus interface      |

Couche 3 : Permet d'établir une relation fonctionnelle unique avec un dispositif (*device*).

Le client du maître (*Host*) communique via des "pipes" avec les différents dispositifs, un n° de sous-canal (endpoint) peut être défini pour les dispositifs nécessitant plusieurs "pipes". Chaque dispositif possède une adresse unique attribuée par le maître lors de son branchement.

Couche 2 : Réalise l'étoile logique entre le maître et les différents dispositifs. Définit les opérations USB génériques (transactions).

Couche 1 : Connexion physique vers le BUS arborescent USB.

#### 3.2 Transfert de données :

- Le client initialise chaque canal selon les besoins du dispositif (celui-ci peut les fournir au maître) : maximum de data transmissible par IRP (*In/out Request Packet*), intervalle maxi (en ms) entre IRP ...
- Le client émet/reçoit ses données par IRP vers l'USBD (*USB Driver*), l'état de l'IRP (état du buffer...) est retourné au client.
- USBD vérifie que la demande de bande passante est réalisable et crée alors un canal approprié. Lorsque le canal est défini les IRP peuvent transiter.
- HCD (*Host Controller Driver*) vérifie que les IRP transitent correctement et que la bande allouée n'est pas dépassée. HCD met les IRP dans une liste de transactions et alerte le client.
- Le "Host Controller" est responsable de la transmission des transactions sur le BUS, il assure l'accès au Bus et le respect des délais. Le HC est généralement matériel (hardware) et il est aussi responsable du découpage en trames de 1ms (paquets SOF émis toutes les 1ms).



### **3.3 Transactions :**

Une transaction est un échange entre le maître et un des dispositif. Elle est obligatoirement d'une durée inférieure à 1ms. Une transaction commence toujours par l'émission par le maître d'un paquet Jeton (*Token*) indiquant l'adresse du dispositif concerné et le sens des données suivantes. Il existe 4 types de transactions :

- Volume (*Bulk*) : TOKEN (in/out) du host + Data + ACK/NAK (réponse).
- Contrôle : TOKEN (setup) du host + Data (host) + ACK/NAK (réponse).
- Interruption : TOKEN (in) du host + Data (device) + ACK (réponse).
- isochrone : TOKEN (in/out) du host + Data.

### **3.4 Bande passante :**

Le débit brut du Bus USB est de 12Mbit/s (480Mbit/s en USB2), il sera réparti entre tous les dispositifs selon leurs besoins (débit et sens). L'allocation de bande passante est établie en définissant la taille maximum (en octets) du paquet de données transmissible dans une transaction.

La trame étant de 1ms, elle peut contenir 1500 octets brut. 10% au moins sont nécessaire au contrôle des transferts. Le maître doit calculer la bande passante disponible avant d'ouvrir un nouveau canal.

#### Transferts asynchrones :

Pour du transfert de données, on pourra disposer par exemple de 19 canaux de 64 octets (512kbit/s) ou 33 de 32 octets (256kbit/s)... ou 71 de 8 (64kbit/s).. ou 107 canaux de 1 octet (8kbit/s). Un mixage de canaux de tailles différentes est évidemment possible. Pour un BUS à 1.5Mbit/s, le maximum est de 8 canaux de 8 octets (64kbit/s).

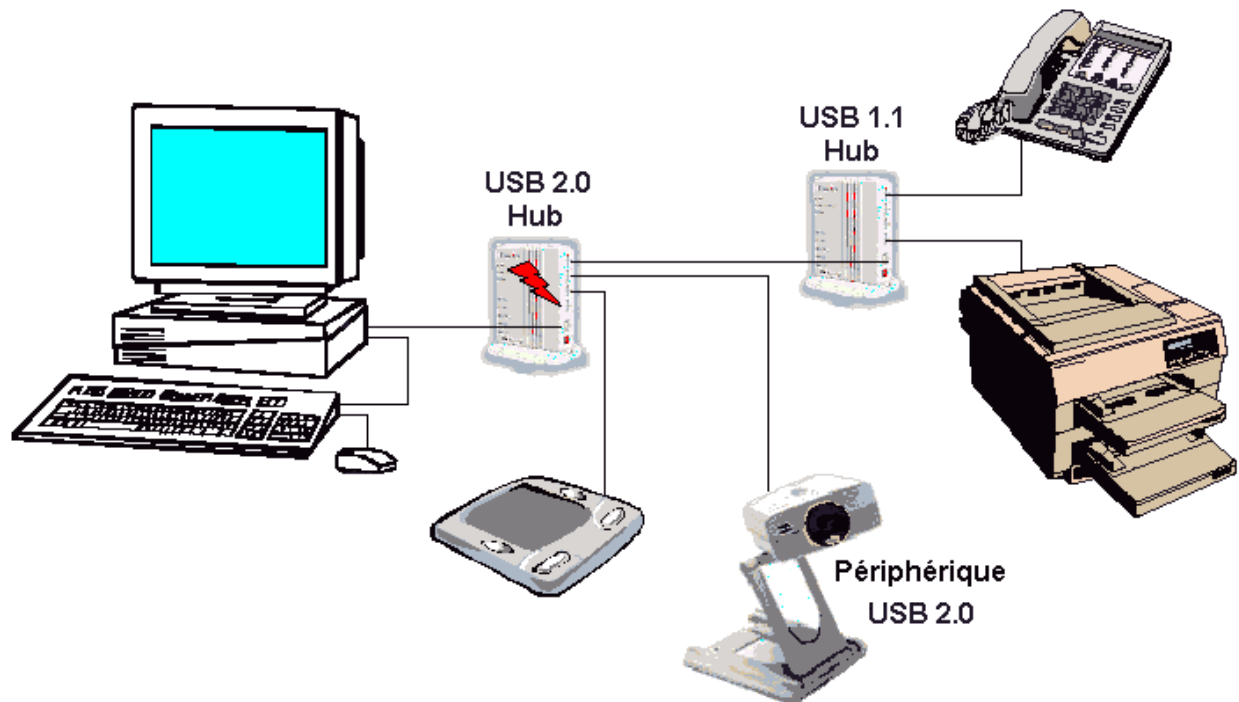
#### Transferts isochrones :

1 canal de 1023 octets (8Mbit/s) ou 2 de 512 (4Mbit/s) ou 5 de 256 (2Mbit/s) ou 10 de 128 (1Mbit/s), 20 de 64 (512kBit/s) ...150 de 1 octet (8kBit/s).

remarque : les canaux sont unidirectionnels !

## 4 USB version 2

Afin de permettre le raccordement d'équipements vidéo ou graphiques, une augmentation du débit jusqu'à un facteur de 40 (480 Mbit/s brut) est prévue par la version 2.0 de la norme (« high speed »). Cette version est compatible avec la version 1.1 précédente, largement diffusée. Les connecteurs et les câbles ont les mêmes formats mais l'écran doit être total et mis à la masse. Des HUB à la norme 2.0 permettent de raccorder des équipement à divers débits (480Mbit/s, 12Mbit/s, 1.5Mbit/s). Pour permettre le haut débit, la liaison avec le Host devra aussi être à haut débit.



**Exemple de configuration USB 2.0**