

Approche de la liaison USB

UNIVERSAL SERIAL BUS



- Objectifs :**
- ⇒ Mettre en évidence les principes du bus USB
 - ⇒ Définir les particularités de la liaison USB
- Ressources :**
- ⇒ Guillaume FONDEVILLE Ingénieur ENIB : fondeville.free.fr
 - ⇒ Jean-Etienne Poirrier : www.poirrier.be
 - ⇒ Christian COUDERC, Voile et Electronique.
 - ⇒ commentcamarche.net/pc/usb
 - ⇒ ACQUIER Bernard, abcelectronique.com
 - ⇒ Patrick ABATI, lycée Antonin ARTAUD, MARSEILLE
 - ⇒ Marie-Chantal MARSOLAT, lycée Fourcade, GARDANNE
 - ⇒ Encyclopédie en ligne WIKIPEDIA

Ce cours mis à jour est téléchargeable sur le site : www.stielec.ac-aix-marseille.fr. Il a été réalisé à des fins pédagogiques. Vous pouvez contribuer à le faire évoluer, en nous faisant parvenir, via le [courriel](mailto:philippe.escolano@ac-aix-marseille.fr), toutes les remarques constructives.

philippe.escolano@ac-aix-marseille.fr



1. Universal Serial Bus

1.1 Nouveau standard

1.2 Genèse de l'USB

2. Architecture d'un système

3. Les ports USB

3.1 Connectique USB

⇒ Connecteur USB type A

⇒ Connecteur USB type B

⇒ Connecteur USB mini

3.2 Gestion des ports USB sous Windows

4. La liaison USB

4.1 Le standard USB

4.2 USB 1.1 ou USB 2.0 Full Speed

4.3 USB 2.0 High Speed

4.4 Compatibilité USB1.1 et USB 2.0 High Speed

4.5 Protocole de branchement

4.6 Transfert des données

4.7 Alimentation

4.8 Emulation des anciens ports

5. Schéma d'une Clé USB

6. Un bus concurrent : FireWire

7. Le Wireless USB

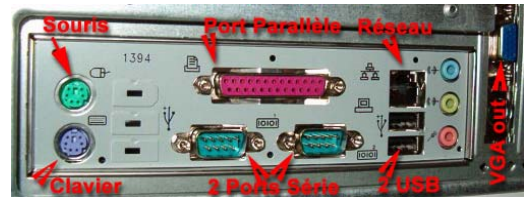
8. Le futur : USB 3



1. Universal Serial Bus

1.1 Nouveau standard

L'USB (Universal Serial Bus) a été conçu pour remplacer les nombreux ports externes d'ordinateur lents et incompatibles, c'est le successeur des antiques liaisons RS-232 et parallèle, mais avec des performances nettement meilleures..



Ce bus a de grandes qualités et se décline en deux versions : une version transitoire l'USB 1.1 et depuis 2002 l'implantation stable qu'est la version USB 2.0.

Le bus USB est maintenant un standard sur tous les PC, et est généralement utilisé pour brancher les imprimantes, scanners, modems et de nombreux appareils stockant des données (disque dur, clé USB...).

1.2 Genèse de l'USB

Ce standard (**Universal Serial Bus**) a été élaboré par Intel, Compaq, Digital, IBM, Microsoft, NEC et Northern Telecom, en 1996 (USB 1.0). Les versions USB 1.1 et USB 2.0 apparurent par la suite.

L'architecture qui a été retenue pour ce type de port est de type **série** pour deux raisons principales :

- Le câble série est plus économique que le câble parallèle. L'usage croissant des ordinateurs et des systèmes numériques de contrôle pose constamment aux concepteurs le problème de la transmission des données numériques d'un système à l'autre.
- La technologie d'interface série actuelle permet d'utiliser une cadence d'horloge plus élevée qu'une interface parallèle ancienne.

2. Architecture d'un système

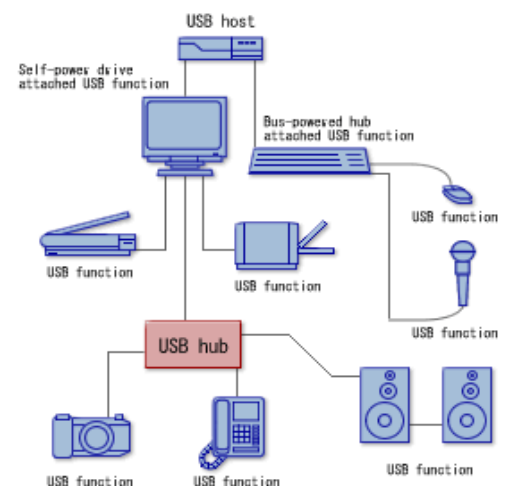
Les connexions se font **point à point**. Tous les appareils ont une connexion amont vers l'hôte. Il est possible de connecter jusqu'à **127** périphériques simultanément.

Les ports USB supportent le **Hot Plug & Play**, c'est à dire qu'un périphérique peut être connecté et reconnu, sans redémarrage de l'ordinateur. Les périphériques qui disposent actuellement de ce type de port sont les imprimantes, scanners, webcams... Ils peuvent être connectés les uns à la suite des autres (en bus) ou reliés à un Hub (en étoile), comme le laisse entrevoir son logo générique.



L'USB utilise une topologie en étoile à étages, qui ressemble à celle d'Ethernet. Ceci impose l'utilisation d'un Hub quelque part, mais qui est inclus dans de nombreux appareils. Un hub joue le rôle de multiplexeur (connexion de plusieurs périphériques à un même câble) mais aussi de répéteur, d'amplificateur, de contrôleur du signal et de fournisseur de courant.

Par exemple le clavier peut contenir un Hub qui est connecté à l'ordinateur. La souris et d'autres appareils tel qu'un caméscope numérique peuvent être branchés facilement au dos du clavier. Les moniteurs ne sont que d'autres périphériques sur une longue liste d'appareils qui comportent communément des Hubs intégrés.



3. Les ports USB

3.1 Connectique USB

Le câble se compose de 4 fils et il comporte un connecteur mâle de type A à une extrémité (connexion vers l'hôte) et un autre connecteur mâle de type A ou B à l'autre extrémité (connexion vers l'appareil). Un **blindage** est fortement recommandé pour une utilisation à 12 Mbits/s ou plus. La longueur maximale est de **5 mètres**.

Au-delà d'une dizaine de mètres, la liaison devient défaillante à cause des retards "d'**handshake**", on perd alors des données lors de la transmission. (*L'**handshake** est la séquence de signaux échangés entre deux appareils afin d'assurer la synchronisation de la transmission des données*)

Le câble comporte un connecteur mâle de type A à une extrémité (connexion vers le host = ordinateur) et un connecteur mâle de type B à l'autre extrémité pour une connexion vers l'appareil périphérique. Un blindage est fortement recommandé pour une utilisation à 12 Mbits/s ou plus. La longueur maximale est de 5 mètres. On retrouve ces deux connecteurs sur l'image ci dessous :

Connecteur type A (mâle à gauche)



Connecteur mâle type B :



Les connecteurs amont et aval ne sont pas interchangeables mécaniquement (male et femelle), éliminant ainsi les connexions de rebouclage interdite aux Hubs.

Le câble utilisé est composé de quatre fils isolés :

- 2 sont pour l'alimentation, un au potentiel +5V (VBUS) (qui permet d'alimenter éventuellement les périphériques USB) et l'autre à la masse GND,
- les fils 2 restants DATA+ (D+) et DATA- (D-) forment une **paire torsadée** qui transfèrent les signaux de données différentiels. La transmission différentielle améliore l'immunité aux bruits parasites de l'environnement physique du périphérique ou de son câble.

N° de la broche	Couleur du fil	Fonction
n°1	rouge	alimentation Vbus (5v)
n°2	blanc	D-
n°3	vert	D+
n°4	noir	masse

On utilise des couleurs standards pour les fils intérieurs des câbles USB de façon à faciliter l'identification des fils d'un constructeur à un autre.

Tous les câbles de même aspect visuels sont électriquement identiques.

⇒ Connecteur USB type A

Le port USB de l'ordinateur est toujours de la même forme. De même, toute extrémité de câble USB qui se connecte à l'ordinateur est toujours de type "A".

Les prises femelles de **type A** se trouvent sur les hôtes et les Hubs :



⇒ Connecteur USB type B

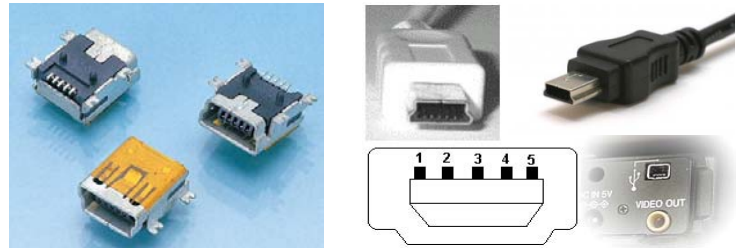
Afin de s'adapter aux appareils de dimension plus petite on a créé du côté périphérique un connecteur USB type B (utilisé notamment pour les imprimantes)



⇒ Connecteur USB type mini

Il existe une autre série de connecteurs appelée USB "mini A" et "mini B". Ce sont les connecteurs que l'on retrouve sur les appareils photo et les lecteurs MP3.

Si on regarde en détail, on s'aperçoit que ces connecteurs disposent non pas de 4 connexions mais de 5. Soit celles du bus USB, plus une connexion supplémentaire pour la configuration du périphérique, utile lors de l'utilisation OTG (On The Go).



L'OTG est une évolution de la norme USB, qui permet la connexion entre deux appareils **sans ordinateur**, par exemple entre un appareil photo et une imprimante. L'USB ayant besoin d'un hôte (host) et un host unique, la fonction de l'OTG est de donner ce rôle d'hôte à un des deux périphériques.

Le rôle host/device est fixé par le sens du câble, en positionnant cette broche supplémentaire à +Vusb ou à la masse (GND) suivant les extrémités.

Cet échange est normalisé par la norme HNP (Host Negotiation Protocol).

3.2 Gestion des ports USB sous MS-Windows

Sur un ordinateur PC, pour découvrir les ports USB disponibles sous MS-Windows, il faut aller dans le panneau de contrôle, cliquer sur l'icône "Système", puis sur l'onglet "Matériel" et y trouver le "Gestionnaire de périphériques". Dedans, il faut trouver l'entrée "Contrôleurs USB" et l'étendre.

La liste de ports USB sous MS-Windows est de ce type :



Pour connaître (ou modifier) les paramètres d'un port USB, il suffit de cliquer sur son item.

4. La liaison USB

4.1 Le standard USB

Si l'USB 2.0 est supporté par Windows XP et Vista, il ne l'est pas par les anciennes versions Win98 et antérieures.

Ce bus très intéressant devient le standard pour tous les périphériques de sorties du PC et du Mac, mais la version 1 présentait certains défauts majeurs qui ont ralenti son introduction !

Attention pour de raisons de marketing, il y a eu des changements de noms qui peuvent induire en erreur :

- L'ancienne norme USB 1.1 se nomme maintenant « **USB 2.0 Full Speed** », le débit atteint 12 Mbits/s (1,5 Mo/s).
- La norme USB 2.0 devient « **USB 2.0 High Speed** », le débit atteint 480 Mbits/s (60 Mo/s).



Par rapport aux anciennes liaisons séries, ce bus est un réel progrès permettant d'unifier les interfaces avec une norme commune. C'est une très bonne solution pour connecter certains appareils et il présente l'avantage du branchement/débranchement sous tension avec reconnaissance, c'est le "**hot plug and play**". Avec l'explosion rapide des nouveaux périphériques, et le passage à la deuxième génération maintenant stabilisée, tous les problèmes de départ s'estompent.

4.2 USB 1.1 ou USB 2.0 Full Speed

L'USB version 1.1 peut communiquer dans deux vitesses :

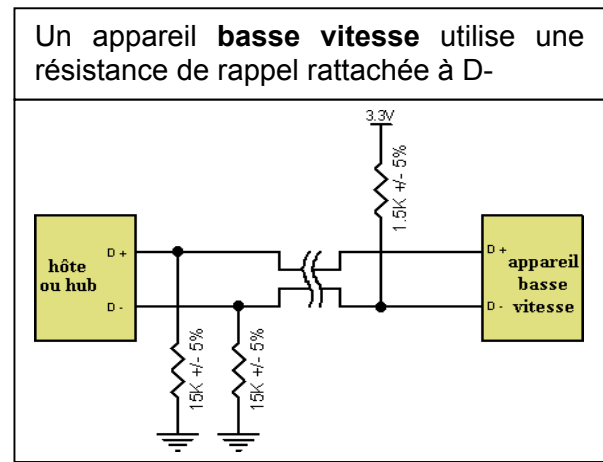
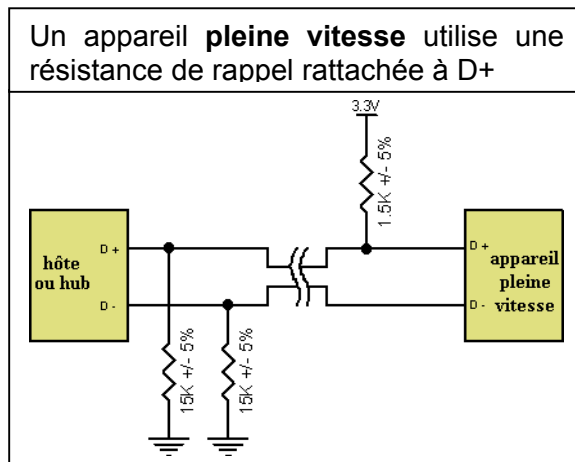
- Un mode rapide (**full speed**) de 12 Mbits/s, pour des disques durs, scanners, graveurs DVD...
- Un mode lent (**low speed**) jusqu'à 1,5 Mbits/s, pour des périphériques transférant peu de données (clavier, souris...)

Ce dernier mode plus lent est moins sujet aux perturbations Electro-Magnétique (EMI) réduisant ainsi le coût des composants utilisés. Les périphériques USB utilisent un quartz de 12 MHz, pour un bon fonctionnement, la précision de cette fréquence est importante.

Ci-contre le logo d'un matériel USB 1.1 (jusqu'à 12 Mbits/s) :



Identification de la vitesse : Un appareil USB doit indiquer sa vitesse en mettant D+ ou D- à la tension 3,3V.



4.3 USB 2.0 High Speed

L'USB 2.0 est 40 fois plus rapide que l'USB 1.1, il y a une compatibilité descendante partielle qui dépend des périphériques.

Logo d'un matériel USB 2.0 (jusqu'à 480 Mbits/s) :



4.4 Compatibilité USB1.1 et USB 2.0 High Speed

En pratique, la compatibilité est relative !

La vitesse n'est pas le problème, mais les hubs première génération ne sont pas assez rapides pour supporter les nouvelles vitesses.

La tension des signaux de 3,3V en USB 1 a été abaissée en 0,4V en USB 2 pour accepter les grandes vitesses.

Pour pouvoir connecter des matériels récents sur un port USB 1.1, la fiche technique de ceux-ci doit spécifier : "**Certifié USB 2.0 Hi-Speed, compatible amont USB 1.1**"

Il faudra donc identifier les anciens périphériques USB 1 et les nouveaux USB 2 pour les brancher sur les bons ports.

Les matériels USB 2 ne fonctionnent directement que sous XP et versions suivantes, mais ils ne sont pas reconnus par les versions plus anciennes qui n'ont pas les drivers.

Pour vérifier la version d'un port USB (2.0 ou 1.1) il faut s'en référer à la documentation de l'ordinateur, mais une carte de PC conçue avant 2002 est obligatoirement en USB 1.

4.5 Protocole de branchement

Le bus USB supporte un protocole « **Hot plug and play** ». Ainsi, les périphériques peuvent être branchés sans éteindre l'ordinateur, la machine étant déjà allumée (**branchement à chaud**, en anglais **hot plug**).

4.5.1 Enumération

Lors du démarrage de l'ordinateur, celui-ci interroge tous les périphériques USB connectés à son bus et leur assigne à chacun une adresse.

De même lorsqu'on connecte un périphérique USB à chaud, l'ordinateur (hôte) détecte l'ajout du nouvel élément grâce au changement de la tension entre les fils D+ et D- et le même processus se produit.

Débute alors l'étape d'**énumération** qui permet d'identifier le périphérique (type, constructeur, nom et version) et de le configurer en déterminant le driver (pilote) le plus approprié parmi ceux que possèdent le système d'exploitation. Les drivers génériques donnent accès aux fonctions de base, mais des fonctions avancées peuvent manquer.

Ainsi à la connexion, l'ordinateur envoie un signal d'initialisation au périphérique pendant 10 ms, puis lui fournit du courant grâce aux fils GND et VBUS (jusqu'à 100mA). Le périphérique est alors alimenté en courant électrique et récupère temporairement l'adresse par défaut (l'adresse 0). L'étape suivante consiste à lui fournir son adresse unique et définitive (c'est la fin de la procédure d'énumération). Pour cela, l'ordinateur interroge les périphériques déjà branchés pour connaître la leur et en attribue une au nouveau, qui en retour s'identifie (clé mémoire, appareil photo, souris...). L'hôte, disposant de toutes les caractéristiques nécessaires est alors en mesure de charger le pilote (driver) approprié.

4.5.2 Transfert des données

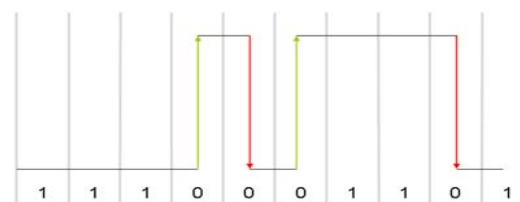
En terme de transfert de données les périphériques se connectant sur un port USB ayant des besoins différents, on a défini trois types de transferts de données séries.

- **Par interruption** (*interrupt*), utilisé par les périphériques qui envoient très peu de données, seulement à des moments précis (engendrant des interruptions) : clavier, souris...
- **En gros** (*bulk*), utilisé par les périphériques qui reçoivent (ou envoient) les données par gros paquets (exemple : imprimante). Dans ce mode, un bloc de données (64 bytes) est envoyé et vérifié (pour être sûr qu'il a été envoyé correctement).
- **Mode isochrone** (*isochronous*), utilisé par les périphériques qui doivent échanger les données en temps réel (exemple : haut-parleurs). Les données sont envoyées sous forme de flux, en temps réel, entre le PC et le périphérique. Il n'y a pas de correction d'erreur.

Le bus USB utilise pour le transfert des données un encodage NRZI (Pas de Retour à Zéro Inversé) pour envoyer des données avec un champ *sync* de manière à synchroniser les horloges de l'Hôte et du récepteur.

Le principe du codage NRZI consiste en ce que seul un changement de niveau tension (transition) provoque un "0" (d'où le terme inversé), sinon le signal reste à "1".

Pour éviter la perte d'horloge, un "0" est envoyé après six "1" consécutifs. Le récepteur doit prendre en compte ces éléments de remplissage (*stuffing*).



4.5.3 Bande passante et frames

Après la phase d'énumération, la gestion du Bus USB tient compte de toute la bande passante que les périphériques demandent.

Le contrôleur USB divise la bande passante en fenêtres (*frames*) et contrôle ces *frames*. Une *frame* contient 1500 octets (*bytes*). Une nouvelle *frame* débute chaque seconde. Durant une *frame*, les périphériques par interruption et isochrones en ont une partie afin de leur garantir la bande passante dont ils ont besoin. Les transferts en gros et les paquets de contrôle utilisent l'espace restant.



4.7 Alimentation

L'architecture USB a pour caractéristique de fournir l'alimentation électrique aux périphériques qu'elle relie, dans la limite de 500mA et 5V, soit 2,5 W maximum par périphérique

La norme précise clairement qu'un périphérique USB ne doit pas consommer plus de 500 mA.

L'alimentation de chaque appareil peut être contrôlée et même coupée si des conditions de surintensité se produisent sans perturber d'autres appareils USB.

Certains matériels, comme des disques externes dépassent en pointe cette limite de courant, Pour contourner cela ils utilisent une prise mâle USB supplémentaire qui se branche, grâce à des câbles astucieux sur une autre embase USB, ce qui permet de doubler le courant consommé.



4.8 Emulation des anciens ports

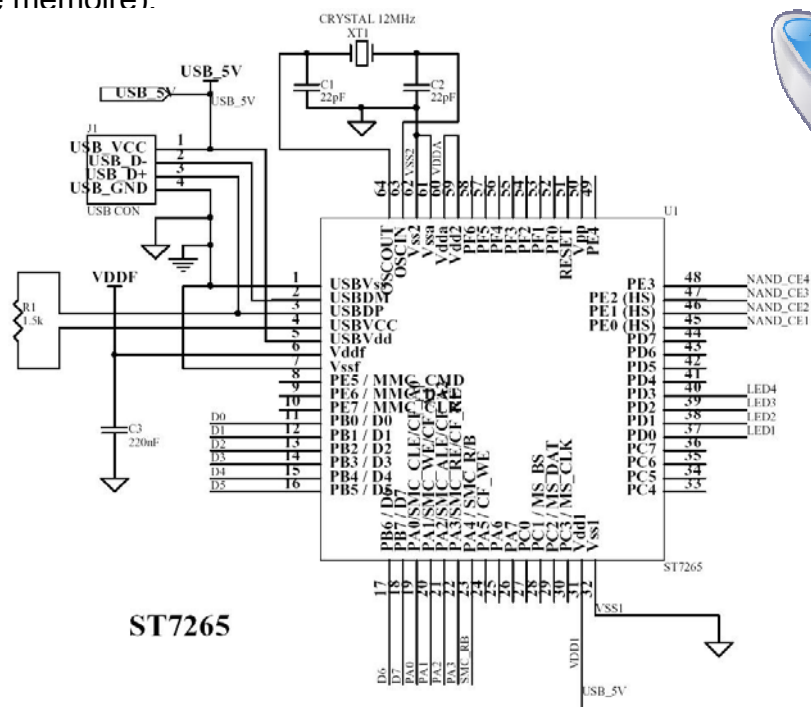
Depuis 2004, les PC de bureau ne sont progressivement plus équipés des anciens ports série et parallèle, sur lesquels se connectent des appareils (machines, périphériques, programmeurs...) que l'on a encore.

Il existe des interfaces permettant de faire un pont <> série ou parallèle. Le pont est un dispositif possédant physiquement des prises de deux types, avec pour les relier, un microcontrôleur qui se chargera de convertir les signaux électriques et les trames, on a ainsi une compatibilité sur le plan hardware et software.



5. Schéma d'une Clé USB

Voici le schéma partiel d'une clé mémoire USB réalisé par la société STMicroelectronics, seule la partie représentant le connecteur et le μP gérant le transfert des données est représentée (ne figure pas la partie mémoire).



Questions :

Quelle est la valeur de la fréquence du quartz utilisé. De quelle version d'USB s'agit-il ?

Repérez la valeur de la résistance de tirage relié au connecteur ainsi que sa liaison, en déduire la vitesse de transfert possible.

6. Un bus concurrent : FireWire

Un autre bus série assez proche de l'USB 2 (mais incompatible) a été développé par Apple et par Sony (pour l'audio et vidéo) sous le nom standard de "bus FireWire" qui a d'autres noms : "IEEE 1394-1995" ou encore "i-link".

Malgré ses qualités comme le "hot plug & play", il reste peu présent sur les PC et a du mal à se développer.



FireWire



7. Le Wireless USB

Le WUSB est destiné à remplacer progressivement les connexions filaires de type USB2 en y ajoutant plusieurs avantages. Le remplacement du câble par une liaison radio présente surtout l'avantage, outre le désencombrement des fils, de s'affranchir de la limite des cinq mètres de distance.

Cette connexion passe par un spectre de transmission à très large bande s'étalant entre 3,1 et 10,6 GHz utilisé par impulsions brèves, ce qui garantit une faible consommation d'énergie). Il y a une coexistence avec les standards Bluetooth et réseaux locaux sans fil (type 802.11a à 5 GHz et 802.11b et g à 2,4GHz).

Les adaptateurs permettant d'utiliser le WUSB pourront exploiter les pilotes USB2 déjà présents sur les ordinateurs.

La sécurité de la connexion sans fil est assurée par un cryptage (type AES) sur 128 bits, basé sur un échange de clé dont le code est déterminé lors de la première connexion et qui empêcherait le piratage depuis un poste étranger.



8. Le futur bus : USB 3.0

La troisième version de l'USB arrive... bientôt. Les principales spécifications prévues pour l'USB version 3.0 ont été annoncées. par un consortium (Intel, HP, Texas Instruments, Microsoft, NEC et NXP semiconductors...) qui développe cette nouvelle norme.

Cette nouvelle technologie aura une compatibilité descendante avec l'USB2.0 (mais pas avec l'USB 1.1), mais on ne gagnera pas en performances avec des matériels anciens, bien entendu. Ce bus permettra un débit de l'ordre de 625 Mo par seconde (5 Gbps), à comparer à l'USB 2.0 : 60 Mo/s (480 Mbps) soit un rapport de 10, il autorisera ainsi un transfert très rapide de masses de données de plus en plus grandes, Il mettra moins d'une minute à vider complètement les plus grosses cartes mémoires disponibles.

L'USB 3.0 n'apportera guère de nouveautés au niveau connectique pour l'utilisateur. Il restera un périphérique simple et plug & play.

Par contre les liaisons seront de deux types différents : l'une entièrement électrique comme aujourd'hui, l'autre électrique et optique pour les mêmes vitesses de transfert.

Les spécifications finales de l'USB 3.0 doivent être établies durant le premier semestre 2008. Faute d'une évolution rapide, le FireWire (concurrent de l'USB) voit son avenir s'assombrir.