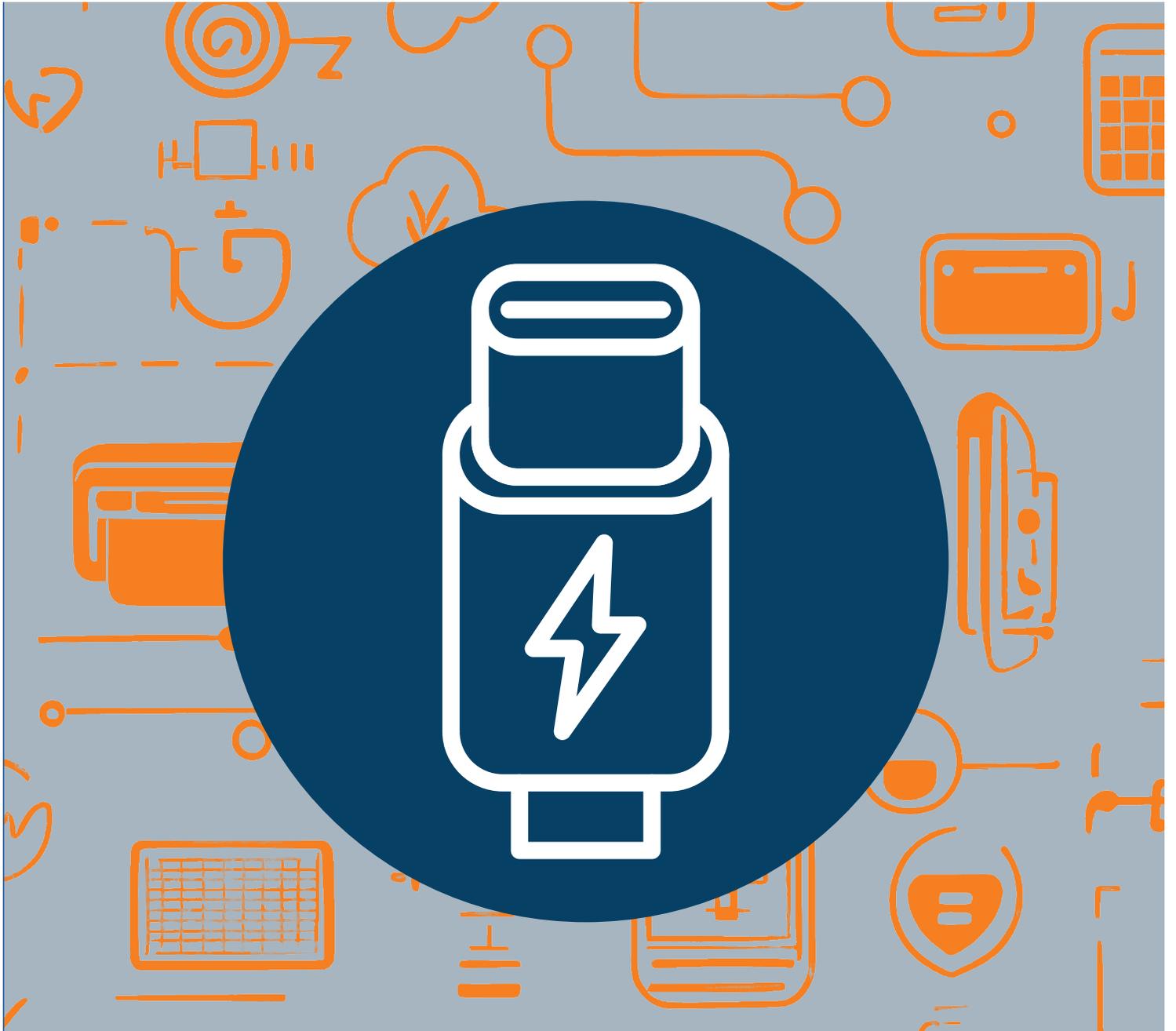


# Guide complet sur l'USB

Par Mark Patrick



L'USB est sans doute l'interface filaire la plus réussie de l'histoire de la technologie. D'abord utilisée pour connecter des appareils à votre PC, elle est devenue l'interface de chargement par excellence pour les smartphones, les tablettes et les ordinateurs portables. Et son développement est loin d'être terminé. Plus récemment, la norme a ajouté la prise en charge des signaux vidéo tunnelisés, permettant aux utilisateurs de connecter leurs appareils USB-C à un moniteur ou à un téléviseur.

Certes, il y a eu quelques faux pas en cours de route, comme une incursion dans le sans fil et la convention d'appellation de plus en plus cryptique à mesure que de nouvelles normes de débit de données plus élevées ont été déployées. Mais, dans l'ensemble, même les utilisateurs moins avisés d'un point de vue technique reconnaissent ce sigle à trois lettres et savent pour quoi l'utiliser, ce qui était l'objectif initial de cette interface.

Alors, où tout cela a-t-il commencé, comment cela fonctionne-t-il, et l'USB conservera-t-il sa position de leader dans le monde de la technologie en constante évolution ?

## Histoire de l'USB

Au début des années 1990, ajouter n'importe quel type de matériel à votre ordinateur de bureau ou portable nécessitait des compétences proches de celles d'un magicien. Les cartes d'extension devaient se voir attribuer une adresse en mémoire, pouvaient être ajoutées uniquement lorsque la machine était hors tension et nécessitaient un logiciel pilote. Les périphériques externes, comme les disques ZIP de grande capacité<sup>1</sup> ou les scanners, nécessitaient des blocs d'alimentation dédiés puisque les interfaces de l'époque ne fournissaient pas suffisamment de puissance. Pour Microsoft, le fournisseur du système d'exploitation, et Intel, le fournisseur de la plupart des processeurs et chipsets pour PC, il était clair qu'une plus grande simplicité était nécessaire.

D'autres entreprises ayant un intérêt direct dans un marché des PC sain ont rejoint Microsoft et Intel pour étudier comment relever ce défi. À l'époque, les souris et les claviers étaient généralement connectés à une interface série ou PS/2, les imprimantes étaient connectées au port parallèle et les modems, pour la connectivité Internet, étaient connectés à une interface série ou étaient disponibles sous forme de cartes d'extension. Le port d'imprimante était de plus en plus choisi pour des activités non liées à l'impression, telles que les scanners de documents et les lecteurs de disque. De nombreuses cartes d'extension personnalisées étaient également en cours de développement pour des applications spécifiques à l'utilisateur.

## USB 1.1 – Pleine vitesse et mode lent

L'objectif principal de l'USB était de rester fidèle à son nom en développant un véritable bus série universel (USB signifie « Universal Serial Bus »). Mais cela devait aussi être simple pour les utilisateurs quotidiens de PC. Du point de vue des connecteurs, la prise et la fiche USB A à quatre broches étaient intégrées du côté PC du système, tandis que son pendant, USB B, était réservé aux périphériques comme les imprimantes. Les quatre fils géraient l'alimentation à 5 V, jusqu'à 500 mA, et une paire différentielle de lignes de données (D+ et D-). Cependant, en raison des chutes de tension sur plusieurs

câbles et concentrateurs, les appareils doivent être conçus pour fonctionner à partir de 4,40 V. L'USB 1.0 a été la première spécification (1996), mais c'est l'USB 1.1 (1998) qui a été largement adopté, grâce à la prise en charge spécifique de l'USB dans Windows 98 (Figure 1). Deux débits de données ont été définis : pleine vitesse (FS) et mode lent (LS) .



*Figure 1 : une souris et un clavier USB sont devenus plus courants avec l'introduction de Windows 98 (Source : (Images Adobe Stock))*

L'USB à pleine vitesse assure un débit de 12 mégabits par seconde (Mbps) mais nécessite un câble blindé pour répondre aux exigences de compatibilité électromagnétique (CEM). L'USB en mode lent utilise un débit de 1,5 Mbps mais ne nécessite pas de câble blindé. Cette solution a été mise en œuvre pour les périphériques d'entrée à faible coût comme les souris et les claviers qui bénéficieraient d'un câble plus flexible et pourraient s'accommoder d'une longueur de câble maximale plus courte (3,0 m au lieu de 5,0 m). Ces dispositifs n'ont pas non plus besoin de câbles amovibles, c'est pourquoi un câble fixe avec un connecteur USB A est défini.

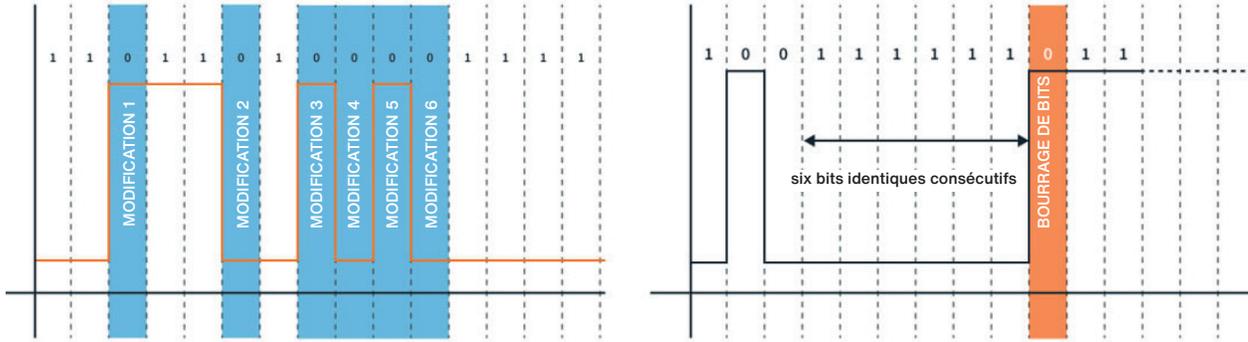
Les hubs USB ont été définis pour pouvoir ajouter des connecteurs USB supplémentaires sans avoir à ouvrir le boîtier de l'ordinateur. Il s'agit essentiellement de répéteurs dotés d'un certain contrôle de la puissance. Les hubs disposant de leur propre alimentation peuvent fournir jusqu'à 500 mA par port, tandis que ceux qui tirent leur alimentation d'un port USB en amont ne peuvent pas fournir plus de 500 mA sur l'ensemble de leurs ports.

Avec suffisamment de hubs, il est possible de connecter jusqu'à 127 périphériques USB au contrôleur hôte USB d'un PC. Cependant, même si cette possibilité existe, elle n'est pas vraiment pratique. La bande passante disponible est partagée entre les appareils connectés, ce qui limite considérablement les performances des appareils gourmands en données tels que les lecteurs flash et les webcams.

## Signalisation et bande passante

À l'époque, une bande passante de 12 Mbps semblait être plus que suffisante pour la plupart des cas d'utilisation. En réalité, aucun périphérique USB ne peut bénéficier de toute cette bande passante pour lui seul. Tout d'abord, la communication est semi-duplex, ce qui signifie que les données circulent soit vers le périphérique, soit vers le PC.

Deuxièmement, la synchronisation de l'horloge est intégrée au flux de données, car il n'y a pas de signal d'horloge séparé. Ceci est mis en œuvre à l'aide d'un codage inversé sans retour à zéro (NRZI) (Figure 2). Lorsqu'un 0 est émis, les signaux différentiels D+ et D- de l'interface



**Figure 2 :** le non-retour à zéro inversé garantit des fronts de signal réguliers pour la récupération d'horloge (à gauche). Le bourrage de bits (à droite) garantit un front après six 1 consécutifs (Source : <https://www.circuitbread.com/tutorials/how-usb-works-introduction-part-1>)

physique USB changent d'état. Cependant, lorsqu'un 1 est émis, D+ et D- ne changent pas d'état. Si une longue série de 1 est émise, D+ et D- resteraient inchangés pendant une période prolongée, ne laissant aucun front sur lequel une horloge et une boucle à verrouillage de phase (BVP) pourraient être synchronisées. Pour éviter cela, un 0 est inséré dans le flux de bits après six 1 consécutifs et retiré à l'extrémité opposée pendant la communication. Ainsi, une partie de la bande passante disponible est perdue dans cette approche de codage.

La troisième limitation concerne les types de transferts de données pris en charge par l'USB. Les données sont divisées en quatre types de transfert :

- Transferts de commande : ils sont principalement utilisés pour détecter les fonctionnalités des périphériques connectés et les configurer. Ils bénéficient d'une priorité élevée et d'une livraison de données garantie pour détecter et configurer les périphériques nouvellement connectés, avec 10 % de la bande passante qui leur est réservée.
- Transferts d'interruption : la latence est critique pour certains périphériques tels que la souris et le clavier. Les transferts d'interruption nécessitent également une certaine quantité de bande passante (jusqu'à 90 %) et bénéficient d'une garantie de transmission des données. Cependant, au lieu de générer des interruptions matérielles comme le ferait un clavier, ils sont régulièrement interrogés pour déterminer si un transfert de données est nécessaire (dans un sens ou dans l'autre).
- Transferts en masse : ils offrent le débit le plus élevé et une livraison garantie, mais il n'y a pas de garantie de largeur de bande. Ils sont idéaux pour les appareils tels que les lecteurs flash, les imprimantes ou les scanners de documents, où il ne doit pas y avoir de perte de données, mais où le temps nécessaire au transfert des données est moins important.
- Transferts isochrones : ils offrent une bande passante garantie (jusqu'à 90 %) mais pas de garantie de livraison. Si les données sont corrompues entre le PC et le périphérique ou si le transfert échoue, elles ne sont pas répétées. Ce type de transfert est conçu pour des applications telles que les données audio qui

doivent être transmises à un taux de transfert continu, mais pour lesquelles l'oreille humaine ne détecterait pas la perte de quelques échantillons.

Il convient également de noter que seuls les transferts de commande et d'interruption sont disponibles pour les dispositifs à faible vitesse. En revanche, un périphérique USB à pleine vitesse utilisera des transferts de commande ainsi qu'un ou plusieurs des trois autres types de transfert. Toutefois, l'hôte USB peut éventuellement refuser l'ajout d'un nouveau périphérique USB si, par exemple, la bande passante disponible n'est pas suffisante pour répondre aux besoins des transferts isochrones du périphérique.

Les premiers développeurs se sont appuyés sur des outils de reniflage USB dédiés pour analyser les paquets de données et l'énumération, le processus par lequel les capacités d'un périphérique USB sont découvertes et enregistrées auprès de l'hôte USB. Aujourd'hui, il suffit d'un oscilloscope USB comme le PicoScope 3403D MSO<sup>3</sup> de Pico Technology (Figure 3). Avec quatre voies d'entrée, 16 entrées numériques, une résolution verticale de 8 bits et une bande passante de 50 MHz, il est idéal pour sonder les communications USB à basse vitesse et à pleine vitesse. Le décodage USB 1.0/1.1 est inclus dans le logiciel PicoScope 7<sup>4</sup>, demandant uniquement à l'utilisateur de définir quelle sonde est connectée à quelle ligne de données (Figure 4). En parallèle, d'autres signaux ou communications numériques sur le système cible peuvent être sondés.



**Figure 3 :** la série PicoScope 3000, avec une bande passante de 50 MHz et un MSO, est idéale pour décoder l'USB et surveiller d'autres signaux de systèmes intégrés en parallèle (Source : [https://www.mouser.de/images/pico/hd/PP957\\_PicoScope\\_3403D\\_MSQ\\_SPL.jpg](https://www.mouser.de/images/pico/hd/PP957_PicoScope_3403D_MSQ_SPL.jpg))

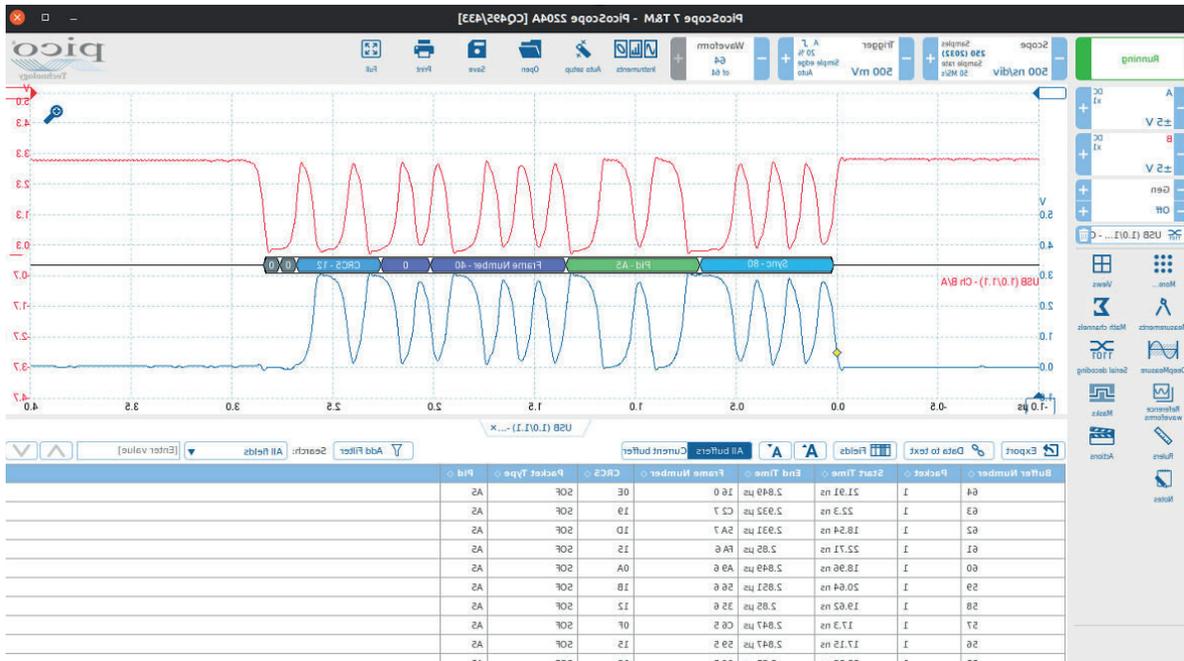


Figure 4 : PicoScope 7 fournit un décodeur de signal USB (Source : Stuart Cording – capture d’écran du logiciel)

## Modèle de logiciel USB

Le modèle logiciel est l’un des aspects les plus intelligents de l’USB, et c’est ce qui a fait passer la complexité du système de l’utilisateur au développeur du périphérique.

Un pilote hôte logiciel USB se situe au-dessus de l’interface physique analogique et numérique dans l’hôte USB (dans le PC). Il est chargé de découvrir les périphériques USB connectés et leurs capacités, ainsi que de gérer le bus (Figure 5). Il détecte également le détachement du périphérique et gère les modes de veille. Les dispositifs USB ont une couche logicielle similaire, mais plus simple, qui fournit les capacités du dispositif, les options de configuration et le nombre de points d’extrémité disponibles (tampons de données matérielles).

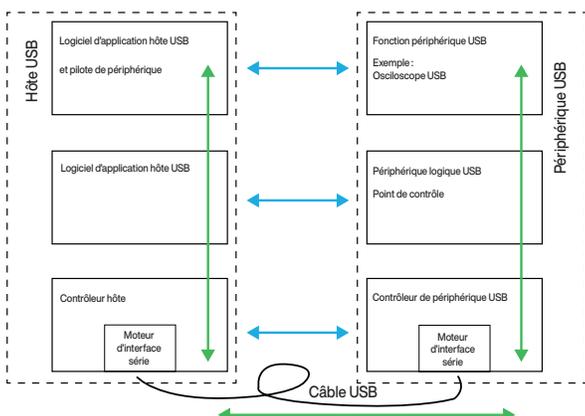


Figure 5 : les données USB circulent physiquement entre un périphérique USB et une application PC (chemins verts). Cependant, chaque couche hôte n’a qu’un flux de communication logique avec la couche correspondante du périphérique (chemins bleus) (Source : Mouser)

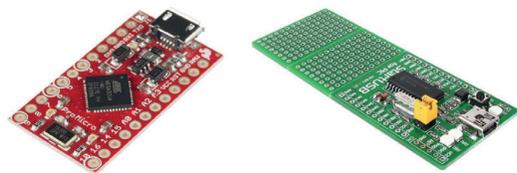
Étant donné que de nombreux fabricants de périphériques USB construisent les mêmes types de produits qui fonctionnent de la même manière (souris, clavier, lecteur de disque, imprimante), l’USB Implementers Forum (USB-IF) a défini des classes de périphériques. Dans ces définitions, les types de transferts étaient prédéfinis, de même que le formatage des données.

Par conséquent, si vous connectez une souris USB classique, votre système d’exploitation sait comment l’utiliser car un pilote de souris USB classique est disponible. Une souris PC appartient en fait à la classe HID (human interface device) qui comprend les claviers et les contrôleurs de jeu<sup>5</sup>. Pour être conforme, elle n’utilisera que des transferts de commande et d’interruption.

Cependant, certains fabricants souhaitent ajouter des fonctions supplémentaires à leur souris. Peut-être voulons-nous changer son éclairage LED RVB. Dans ce cas, le fabricant peut étendre la classe de son appareil et fournir un pilote et un logiciel supplémentaires pour prendre en charge cette capacité additionnelle.

Il est aujourd’hui très simple de se lancer dans le développement de dispositifs USB, la plupart des fournisseurs de microcontrôleurs (MCU) proposant l’USB sur certains dispositifs. Pour ceux qui aiment les MCU 8 bits, le PIC18F2550 de Microchip est bien pris en charge par une série de projets logiciels d’exemple (Figure 6). Prenant le devant de la scène sur la carte StartUSB for PIC<sup>6</sup> (MIKROE-647)

de MikroE, les développeurs disposent de beaucoup d'espace de prototypage et d'un accès facile à toutes les broches d'E/S. Des projets comme l'USB Mouse Jiggler<sup>7</sup> fournissent un point d'entrée simple vers une application HID avec du code disponible sur GitHub<sup>8</sup>.



**Figure 6 :** les PIC18F2550 et ATmega32U4 sont d'excellents microcontrôleurs 8 bits simples à utiliser pour explorer les capacités de l'USB (Source : [https://www.mouser.de/images/sparkfun/hd/dev-12640\\_SPL.jpg](https://www.mouser.de/images/sparkfun/hd/dev-12640_SPL.jpg) et <https://www.mouser.de/images/mikroelektronika/hd/startusb.jpg>)

Alternativement, la carte ProMicro<sup>9</sup> compatible avec Arduino (DEV-12640) de SparkFun offre des fonctionnalités similaires avec leur carte de développement de base conçue autour d'un ATmega32U4. L'IDE Arduino inclut le support avec sa bibliothèque HID, ce qui signifie que vous pouvez rapidement coder votre propre application clavier ou souris. SparkFun fournit un tutoriel<sup>10</sup> pour cela sur son site Web, avec le code source.

Il existe bien sûr des appareils qui n'entrent dans aucune des catégories de classe USB existantes. Dans de tels cas, le développeur doit décider quels types de transfert sont requis, si des modes de secours sont nécessaires en cas de bande passante insuffisante, et fournir un pilote hôte USB entièrement personnalisé avec son logiciel d'application PC.

Grâce à une approche matérielle et logicielle bien équilibrée, à un marketing efficace et à une prise en charge intuitive des périphériques classiques par les systèmes d'exploitation, l'USB 1.1 a connu un succès retentissant. Cependant, la façon dont nous utilisons les PC et les ordinateurs portables évoluait et il était évident qu'une plus grande largeur de bande serait nécessaire.

## USB 2.0 et périphériques à haute vitesse (HS)

À la fin des années 1990, la photographie numérique produisait des fichiers de grande taille qui dépassaient la capacité de stockage des disquettes. Des webcams étaient également disponibles, et l'USB 1.1 n'offrait pas suffisamment de bande passante ou de vitesse pour offrir une bonne expérience à l'utilisateur. L'USB-IF a introduit l'USB 2.0 en 2000, offrant un taux de signalisation supplémentaire de 480 Mbps, connu sous le nom d'USB à haute vitesse (ou « High-Speed » – HS). La compatibilité ascendante avec les dispositifs USB 1.1 à faible et pleine vitesse, ainsi que la réutilisation des connecteurs et du câblage, ont été des éléments essentiels de son succès.

La signalisation est toujours différentielle en utilisant D+ et D-. Cependant, un nouvel hôte USB et un nouveau dispositif

matériel étaient nécessaires. Pour détecter un dispositif à haute vitesse, le périphérique émet un « chirp » (signal) au début de sa communication avec l'hôte. Si ce n'est pas le cas, le périphérique sera dénombré en mode pleine vitesse ou mode lent.

Le protocole USB a également subi quelques modifications qui ne concernent que les périphériques USB 2.0 à haute vitesse. Il s'agit notamment de nouveaux types de transactions et de la division de la trame USB de 1 ms en huit microtrames à haute vitesse de 125 µs. Pour la plupart des développeurs de périphériques, ces changements sont essentiellement transparents, car le pilote logiciel situé au-dessus du périphérique USB gère les détails de la communication.

Alors que la signalisation à haute vitesse est de 480 Mbps (60 Mo/s), environ 10 % de la bande passante du protocole à haute vitesse est utilisée pour la communication opérationnelle, ce qui laisse environ 50 Mo/s pour le transfert de données utiles (Tableau 1).

Type de transfert	Type de périphérique USB	Bande passante trame/microtrame par transfert	Max. Bande passante (octets/seconde)	Octets utiles/trame (LS/FS) ou microtrame (HS)
Isochrone	FS	69 %	10 23 000	1 023
	HS	41 %	49 152 000	6 144
Interruption	LS	14 %	48 000	48
	FS	5 %	1 216 000	1 216
En masse	HS	42 %	49 152 000	6 144
	FS	5 %	1 216 000	1 216
Commande	HS	8 %	53 248 000	6 656
	LS	30 %	24 000	24
	FS	7 %	832 000	832
	HS	3 %	15 872 000	1 984

**Tableau 1 :** comparaison du débit pour différentes vitesses USB et types de transfert (Source : Spécification USB 2.0<sup>11</sup>, Révision 2.0)

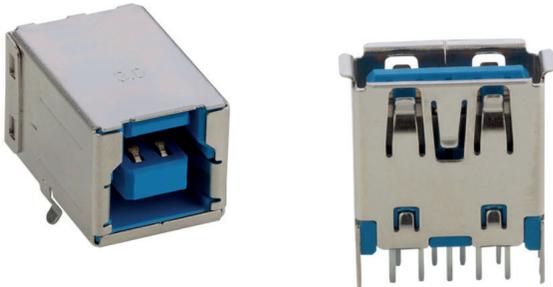
## Périphériques USB 3.2 et SuperSpeed

Comme nous l'avons vu, la technologie USB ne s'arrête jamais et en 2008, la spécification USB 3.0 SuperSpeed a été lancée. Elle fonctionne en parallèle avec l'USB 2.0 en ajoutant deux canaux de communication supplémentaires en plus des canaux D+ et D- existants. Il s'agit de deux chemins de données différentiels unidirectionnels : un pour la réception et un pour la transmission. La limite de courant supérieure pour les périphériques USB 3.0 a également été augmentée de 500 mA à 900 mA pour gérer la croissance des disques durs USB portables et leurs besoins en énergie.

Pour prendre en charge les signaux de données supplémentaires, les prises et fiches standard A ont reçu cinq signaux supplémentaires. Ceux-ci ont été intégrés de manière à ce que les câbles existants conçus pour l'USB 2.0 puissent toujours être utilisés. À l'autre extrémité, les prises et fiches standard B ont été agrandies pour faire de la place aux connexions supplémentaires. Les prises et fiches

Micro B ont été élargies. Par conséquent, les dispositifs USB 3.0 peuvent toujours exploiter les câbles USB 2.0, mais à un débit de données inférieur.

Le réceptacle et la fiche USB A restent de la même taille mais intègrent les connexions supplémentaires d'une manière qui les rend rétrocompatibles avec les connecteurs USB 2.0 (Figure 7).



**Figure 7 :** les prises USB B SuperSpeed (à gauche) sont légèrement plus hautes que les types USB 2.0, tandis que les connexions supplémentaires requises sont cachées dans la prise USB A (à droite) (Source : [https://cdn.amphenol-cs.com/media/wysiwyg/files/documentation/datasheet/inputoutput/io\\_usb\\_3\\_1\\_gen2\\_gsb4x.pdf](https://cdn.amphenol-cs.com/media/wysiwyg/files/documentation/datasheet/inputoutput/io_usb_3_1_gen2_gsb4x.pdf))

Au cours des années suivantes, les normes USB 3.1 et USB 3.2 ont été lancées, augmentant le débit de données de 5 Gbps à 10 Gbps, puis à 20 Gbps. Ces mises à jour ont également intégré le nouveau connecteur USB-C.

Les périphériques SuperSpeed utilisent une méthode différente pour encoder les données appelée 8b/10b et 128b/132b<sup>13</sup>. Comme NRZI, il permet de garantir suffisamment de changements d'état pour que l'horloge puisse être récupérée.

## Connecteurs et câbles USB

La plupart des utilisateurs USB seront habitués au port USB A sur leur PC ou ordinateur portable, au port USB B sur des périphériques tels que les imprimantes et au câble utilisé pour les connecter. Les broches sont étiquetées de 1 à 4 et se voient attribuer la fonction et les couleurs de câble suivantes :

1. VBUS – Rouge
2. D- – Blanc
3. D+ – Vert
4. Terre – Noir

Ceci s'applique aux périphériques USB en mode lent ainsi qu'à pleine et haute vitesse. L'USB ne sert pas uniquement aux applications grand public. Dans le cadre de leur série de connecteurs Buccaneer Standard<sup>14</sup>, des fournisseurs comme Bulgin proposent leur PX0848/B monté sur panneau. Ils sont classés IP68 et testés IP69K pour les applications industrielles (Figure 8). Le mécanisme de verrouillage est sûr et l'indicateur d'alignement devrait faciliter la connexion par rapport aux câbles USB classiques.



**Figure 8 :** pour une utilisation dans des applications industrielles, des fournisseurs comme Bulgin proposent des fiches et des prises USB classées IP (Source : [https://www.mouser.de/images/bulgin/hd/PX0848\\_RGB\\_SPL.jpg](https://www.mouser.de/images/bulgin/hd/PX0848_RGB_SPL.jpg))

Les connecteurs SuperSpeed ajoutent cinq signaux supplémentaires :

5. SSRX- – Réception SuperSpeed – Bleu
6. SSRX+ – Réception SuperSpeed – Jaune
7. GND\_DRAIN – Terre pour le retour du signal
8. SSTX- – Transfert SuperSpeed – Violet
9. SSTX+ – Transfert SuperSpeed – Orange

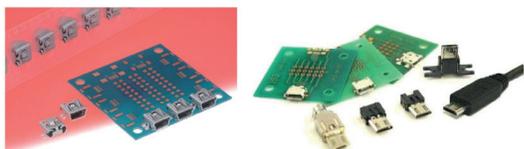
Les connecteurs USB sont disponibles dans une large gamme d'options, qu'ils soient empilés, comme sur une carte mère de PC (Stewart Connector/Bel SS-52000-005<sup>15</sup>), ou montés verticalement (Figure 9). Quel que soit votre défi mécanique, il existe probablement un connecteur USB conçu pour le résoudre.



**Figure 9 :** quel que soit le défi mécanique, il existe une solution de connecteur USB, comme ces prises USB A empilées de Stewart Connector/Bel (Source : [https://www.mouser.de/images/bel/hd/SS-52000-005\\_SPL.JPG](https://www.mouser.de/images/bel/hd/SS-52000-005_SPL.JPG))

L'introduction des petites fiches et prises USB Micro et Mini a ajouté une nouvelle broche à l'USB 2.0 : la broche d'identification (ID). Ce changement est lié à l'introduction de la nouvelle norme On-The-Go (OTG)<sup>16</sup> qui permet aux périphériques USB d'assumer une fonction hôte limitée en cas de besoin. Un exemple d'application est un périphérique qui fonctionne comme un port série mais qui pourrait également permettre de connecter une clé USB pour effectuer une mise à jour du micrologiciel.

Les connecteurs micro USB, comme le Hirose Electric UX60SC-MB-5ST(85)<sup>17</sup>, sont plus petits et continuent d'être utilisés régulièrement, notamment sur les cartes de développement de microcontrôleurs (Figure 10). Les connecteurs mini USB, comme leur ZX80-B-5S(30)<sup>18</sup>, sont légèrement plus grands et ne nécessitent qu'une durée de vie nominale de 5 000 cycles d'insertion et de retrait. Étant donné que les connecteurs Micro USB et USB-C sont les technologies les plus récentes et doivent être évalués à 10 000 cycles, il vaut la peine d'y réfléchir à deux fois si quelqu'un vous demande de concevoir un connecteur Mini USB de nos jours.



**Figure 10** : ces connecteurs Mini et Micro USB de Hirose Electric disposent de cinq broches pour prendre en charge les applications OTG (Source : [https://www.mouser.de/images/hiroseelectric/hd/ZX\\_series\\_SPL.jpg](https://www.mouser.de/images/hiroseelectric/hd/ZX_series_SPL.jpg) et [https://www.mouser.de/images/hiroseelectric/hd/ux60sc-mb-5s8\\_85\\_\\_SPL.jpg](https://www.mouser.de/images/hiroseelectric/hd/ux60sc-mb-5s8_85__SPL.jpg))

Dans le rôle d'hôte, une liste de périphériques pris en charge (Targeted Peripheral List, TPL) limite les types ou classes de périphériques pouvant être pris en charge.

La broche ID est ajoutée entre la broche D+ et la broche de mise à la terre. Les périphériques USB qui peuvent également fonctionner comme hôte OTG utilisent un réceptacle Micro AB spécial qui peut accepter les fiches Micro A et B. Un câble Micro A vers Micro B est alors nécessaire pour connecter les deux. La broche d'identification de la broche Micro A est mise à la terre, tandis que la broche d'identification du Micro B est flottante. Si deux appareils compatibles OTG sont reliés entre eux, l'appareil doté de la prise Micro A assume le rôle d'hôte et est responsable de la fourniture d'énergie.

## USB-C

Le changement le plus important en matière de câbles et de connecteurs a peut-être été l'introduction de l'USB-C. Ce connecteur 24 broches peut remplacer tous les connecteurs précédents et rend l'USB encore plus facile à utiliser pour les consommateurs. Tout d'abord, le connecteur USB-C figure aux deux extrémités du câble, ce qui simplifie la connexion des appareils à un PC ou à un ordinateur portable. Deuxièmement, l'orientation n'a pas d'importance, grâce à sa symétrie de rotation.

En plus des signaux USB 2.0 et USB 3.0 existants, quatre nouvelles broches apparaissent : deux broches d'utilisation de bande latérale (SBU) et deux broches de canal de configuration (CC). Celles-ci jouent un rôle pour les périphériques USB 2.0 utilisant l'USB-C, l'USB Power Delivery, le mode alternatif (pour prendre en charge la tunnellation de HDMI, Display Port, MHL et Thunderbolt), le débogage et les adaptateurs audio.

Encore une fois, il existe de nombreux connecteurs parmi lesquels choisir dans différentes orientations, comme l'USB 3.2 GCT USB4200 (Figure 11). Ce connecteur est également compatible avec la dernière norme Power Delivery (240 W, 5 A, 48 V).



**Figure 11** : les derniers connecteurs USB-C (ici GCT) prennent en charge les débits de données SuperSpeed et jusqu'à 240 W pour l'alimentation électrique (Source : [https://www.mouser.de/images/globalconnectortechology/hd/USB4200\\_SPL.jpg](https://www.mouser.de/images/globalconnectortechology/hd/USB4200_SPL.jpg))

## Alimentation USB

Grâce à l'omniprésence de l'USB sur les appareils mobiles tels que les smartphones et les tablettes, il est également devenu un connecteur de charge de facto. Même Apple a ajouté l'USB-C à ses produits. Et, après avoir abandonné l'ancien concept de « connecteur USB A pour PC », rien n'empêche désormais d'utiliser l'USB-C pour alimenter son ordinateur portable.

La première spécification USB Power Delivery (PD) a été lancée en 2012, dérogeant aux restrictions initiales de 5 V/500 mA/900 mA. La technologie utilise la broche CC du connecteur USB-C pour permettre aux appareils connectés de convenir d'une tension et d'un courant. En règle générale, une alimentation ou un chargeur fait office de source d'alimentation, tandis qu'un ordinateur portable, une tablette ou un smartphone négocie l'alimentation qu'il souhaite (puits d'énergie).

Le mode plage de puissance standard (SPR) prend en charge une plage de tension de 3,3 V à 20,0 V jusqu'à 100 W, tandis que la plage de puissance étendue (EPR) couvre 15,0 V à 48,0 V jusqu'à 240 W. La tension peut également être réglée avec précision grâce aux fonctions d'alimentation programmable (PPS) et d'alimentation réglable (AVS).

Les deux gammes offrent un courant maximum de 5,0 A avec des câbles appropriés. Cela ouvre la perspective d'alimenter les lecteurs de disque et les imprimantes via USB et permet de charger les tablettes et les smartphones plus rapidement en utilisant une norme commune.

Il existe de nombreux chipsets USB-PD dédiés qui gèrent la négociation de l'alimentation, simplifiant ainsi la mise en œuvre de la configuration de l'hôte ou du périphérique. Des périphériques comme le Rohm BD93E11GWL<sup>19</sup> sont conçus pour les applications portables qui intègrent leur propre batterie rechargeable (puits d'appareil). Il existe cependant un risque que la batterie entre dans un état de décharge profonde et ne puisse plus alimenter le circuit intégré (CI) USB-PD.

Ces appareils disposent souvent d'un mode batterie déchargée, permettant au système d'être alimenté par VBUS lorsque la batterie de l'appareil ne peut pas alimenter le circuit intégré. Une fois la batterie suffisamment chargée, elle peut à nouveau servir de source d'énergie. Ce circuit intégré est également disponible sur une carte d'évaluation<sup>20</sup> (BD93E11GWL-EVK-001), simplifiant l'exploration de cette technologie (Figure 12).



**Figure 12** : les périphériques récepteurs USB-PD peuvent être implémentés avec des chipsets comme le Rohm BD93E11GWL et testés sur leur carte d'évaluation (Source : [https://www.mouser.de/images/rohmsemiconductor/lrg/BD93E11GWL-EVK-001\\_DSL.jpg](https://www.mouser.de/images/rohmsemiconductor/lrg/BD93E11GWL-EVK-001_DSL.jpg))

## Résumé

L'USB n'a cessé d'évoluer depuis le défi initial qui consistait à faciliter l'installation de périphériques PC. D'abord câble de données alimenté, il constitue aujourd'hui la base de la communication de données à haut débit, de l'alimentation électrique, de la recharge universelle des smartphones et de l'interconnexion pour la connectivité des appareils vidéo. Et son développement se poursuit. L'USB4, qui prend en charge jusqu'à 80 Gbit/s, a été lancé et se déploie lentement grâce à Windows 11, aux derniers MacBooks, aux nouveaux processeurs et aux chipsets. Les premiers périphériques incluent des stations d'accueil et des disques SSD. Comme on pouvait s'y attendre, elle est également rétrocompatible avec les versions précédentes de l'USB.

Malgré toutes les améliorations et changements, l'USB reste très simple à déployer pour les utilisateurs et facile à mettre en œuvre pour les développeurs de périphériques USB. Au minimum, la plupart des ingénieurs expérimentés peuvent mettre en place et exécuter une application HID basée sur Arduino en une journée avec une carte de développement adaptée. Et, comme les PC, les ordinateurs portables et même les tablettes intègrent la prise en charge HID, votre périphérique USB devrait simplement fonctionner sur la plupart des systèmes d'exploitation sans logiciel supplémentaire. Il ne fait aucun doute que l'USB est une technologie d'interface sur laquelle vous pouvez compter pour une large gamme d'applications pendant de nombreuses années.

- 1 : <https://recoverit.wondershare.com/hard-drive/what-is-zip-drive.html>
- 2 : <https://www.intel.com/pressroom/archive/releases/1998/us111698.htm>
- 3 : <https://www.mouser.de/ProductDetail/Pico-Technology/PicoScope-3403D-MSO?qs=xZFQr2mActd%252B%252BUNeRAGLZQ%3D%3D>
- 4 : <https://www.picotech.com/products/picoscope-7-software>
- 5 : [https://www.usb.org/sites/default/files/documents/hid1\\_11.pdf](https://www.usb.org/sites/default/files/documents/hid1_11.pdf)
- 6 : <https://www.mouser.de/ProductDetail/Mikroe/MIKROE-647?qs=jBNCx3IXxWsvEBin7NRmDg%3D%3D>
- 7 : [https://electro-dan.co.uk/electronics/PIC\\_UsbMouseJiggler.aspx](https://electro-dan.co.uk/electronics/PIC_UsbMouseJiggler.aspx)
- 8 : <https://github.com/electro-dan/PICUsbJiggler>
- 9 : <https://www.mouser.de/ProductDetail/SparkFun/DEV-12640?qs=WYAARYrbSnb2jpr1B6qalg%3D%3D>
- 10 : <https://www.sparkfun.com/tutorials/337>
- 11 : <https://www.usb.org/document-library/usb-20-specification>
- 12 : <https://www.mouser.de/ProductDetail/Amphenol-Commercial-Products/GSB422137EU?qs=ToP8pWIZ0bND0j9XCxEk%3D%3D>
- 13 : [https://en.wikipedia.org/wiki/8b/10b\\_encoding](https://en.wikipedia.org/wiki/8b/10b_encoding)
- 14 : <https://www.mouser.de/ProductDetail/Bulgin/PX0848-B?qs=oV0QDuFiSZxyElyRJChTZA%3D%3D>
- 15 : <https://www.mouser.de/ProductDetail/Stewart-Connector-Bel/SS-52000-005?qs=IKkN%2F947nfA%2FvtGS%2FG05ow%3D%3D>
- 16 : [https://www.usb.org/sites/default/files/documents/usb\\_otg\\_and\\_eh\\_3-0\\_release\\_1\\_1\\_10may2012.pdf](https://www.usb.org/sites/default/files/documents/usb_otg_and_eh_3-0_release_1_1_10may2012.pdf)
- 17 : <https://www.mouser.de/ProductDetail/Hirose-Connector/UX60SC-MB-5ST85?qs=PABxe4V6HDqU4wOKLAdRFA%3D%3D>
- 18 : <https://www.mouser.de/ProductDetail/Hirose-Connector/ZX80-B-5S30?qs=1Nn7v2rJFSIA1qrxvrfkQ%3D%3D>
- 19 : <https://www.mouser.de/new/rohm-semiconductor/rohm-type-c-power-ics/>
- 20 : <https://www.mouser.de/ProductDetail/ROHM-Semiconductor/BD93E11GWL-EVK-001?qs=TCDPyi3sCW3viYDZXu%252BXAXA%3D%3D>