

1) Préambule : Comment fonctionne l'ordinateur ?

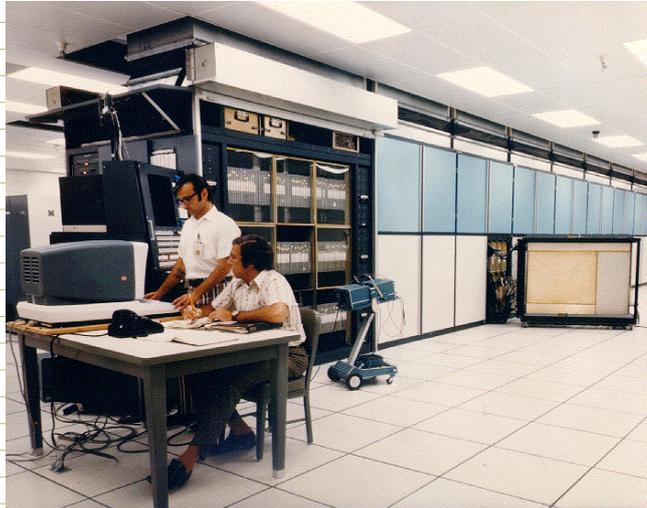
Un système informatique est un système complexe à tous les niveaux, puisqu'il intègre de très nombreux **composants matériels et logiciels** interagissant étroitement.

C'est le prix à payer pour disposer d'un outil particulièrement versatile capable d'être **l'assistant** d'un nombre **de tâches** sans cesse croissant.

Tirer profit d'un tel outil quand on se destine à un métier scientifique ou technique est essentiel. Exploiter ses possibilités ne nécessite pas de devenir un spécialiste de l'informatique, mais posséder des « idées justes » sur son fonctionnement devient très important pour « piloter » cet outil en tant que scientifique, avec la volonté d'en comprendre les principes explicatifs principaux.

C'est l'objet de ce cours de fournir les clés d'accès à une **vision correcte** sur laquelle tout scientifique pourra s'appuyer pour **exploiter l'outil informatique** au mieux de ses besoins.

Un ordinateur dans les années 70



Introduction

PCI Université Claude Bernard

2

2) Introduction

Si les ordinateurs ont beaucoup évolué dans leurs technologies depuis leur apparition, les principes qui régissent leur fonctionnement n'ont pas beaucoup évolués.

L'ordinateur tel qu'on le voit de l'extérieur est composé de ce que beaucoup appellent l'« unité centrale » (une tour dans le cas de l'image présentée) à laquelle sont « connectés » un écran, un clavier et une souris.

Installer un ordinateur consiste le plus souvent à positionner ces composants et à « connecter » chaque élément périphérique par son cordon à l'arrière de la tour en général.

Si l'écran, le clavier et la souris sont effectivement des « unités périphériques », ce que l'on appelle par abus de langage « l'unité centrale » est en fait une boîte contenant plusieurs composants comme on va le découvrir.

Un ordinateur aujourd'hui



Introduction

PCI Université Claude Bernard

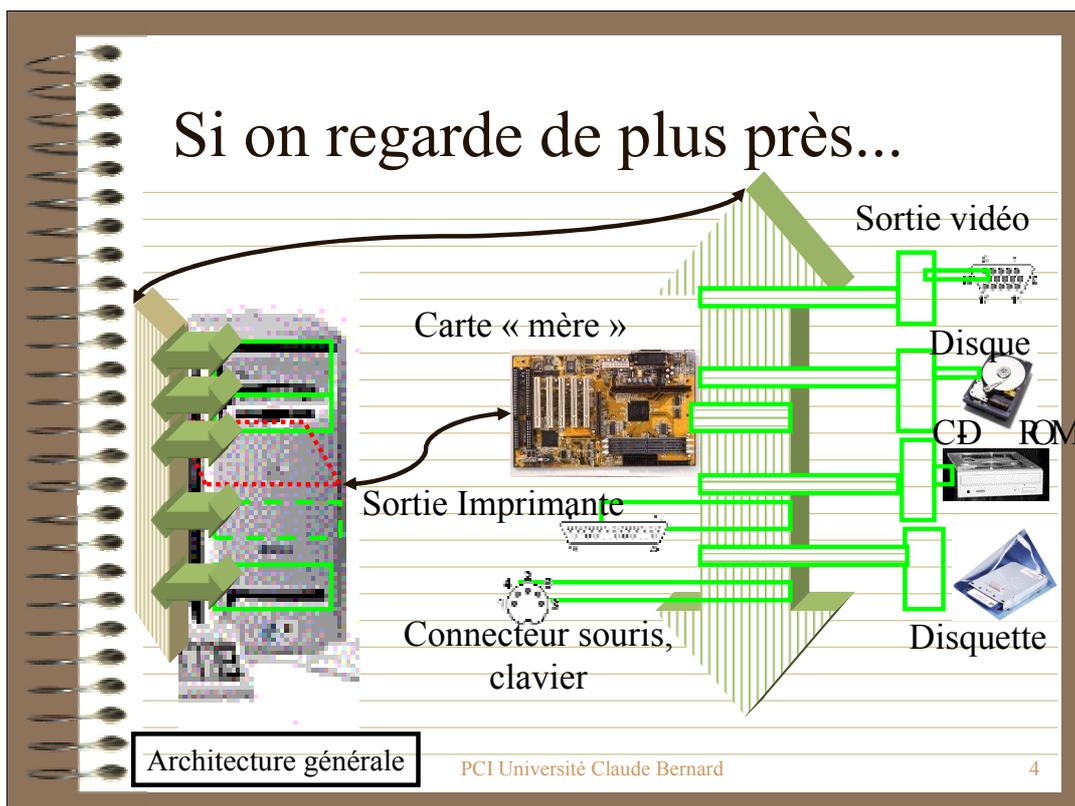
3

Si les ordinateurs ont beaucoup évolué dans leurs technologies depuis leur apparition, les principes qui régissent leur fonctionnement n'ont pas beaucoup évolués.

L'ordinateur tel qu'on le voit de l'extérieur est composé de ce que beaucoup appellent l'« unité centrale » (une tour dans le cas de l'image présentée) à laquelle sont « connectés » un écran, un clavier et une souris.

Installer un ordinateur consiste le plus souvent à positionner ces composants et à « connecter » chaque élément périphérique par son cordon à l'arrière de la tour en général.

Si l'écran, le clavier et la souris sont effectivement des « unités périphériques », ce que l'on appelle par abus de langage « l'unité centrale » est en fait une boîte contenant plusieurs composants comme on va le découvrir.



3) Architecture générale

Si on regarde de plus près la façade de la tour et si (encore plus curieux!), on ouvre la boîte, différents composants essentiels se découvrent:

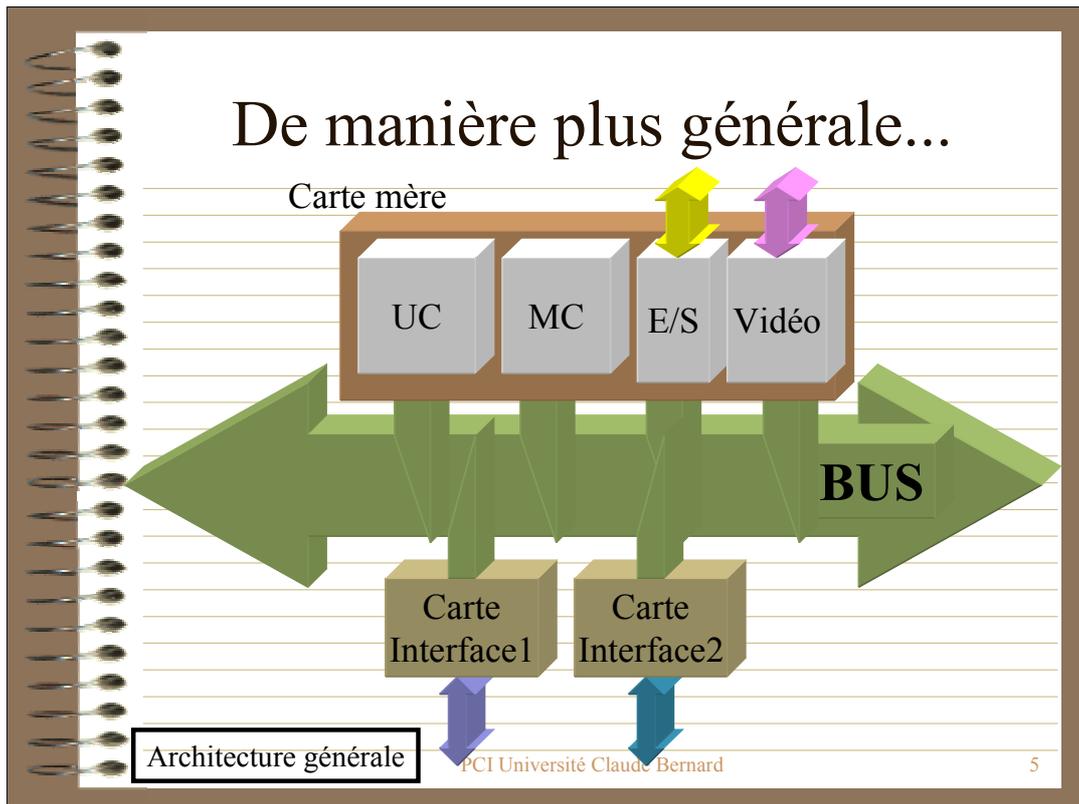
- des périphériques de stockage comme l'unité de disquette, l'unité de disque dur, l'unité de disque optique (CD ou DVD), l'unité de gravage optique (CD ou DVD), éventuellement une unité de stockage (bande, bernouilly, ..)

et comme il y a des périphériques, il y a bien un centre:

- une carte « mère », qui est une carte électronique assemblant les éléments processeurs et d'accès aux moyens de communications avec les périphériques (via ce que l'on appelle un « bus » comme nous le verrons).

Cette carte mère est organisée autour du microprocesseur, mais possède des caractéristiques propres au constructeur qui l'a conçue, ce qui donne des performances parfois très différentes entre deux cartes construites autour du même microprocesseur (notion de chipset que les « connaisseurs » regardent de très près avant d'acheter un matériel).

Le schéma montre d'une part l'apparente configuration en « façade » de ce qui est visible et d'autre part l'organisation fonctionnelle autour du bus, sorte de « nappe » filaire mettant en relation les différents composants de l'ordinateur (ce bus est matérialisé par des nappes et par un « fond de panier » qui est un circuit comportant des connecteurs plus ou moins nombreux dans lesquels on « enfiche » les composants.).

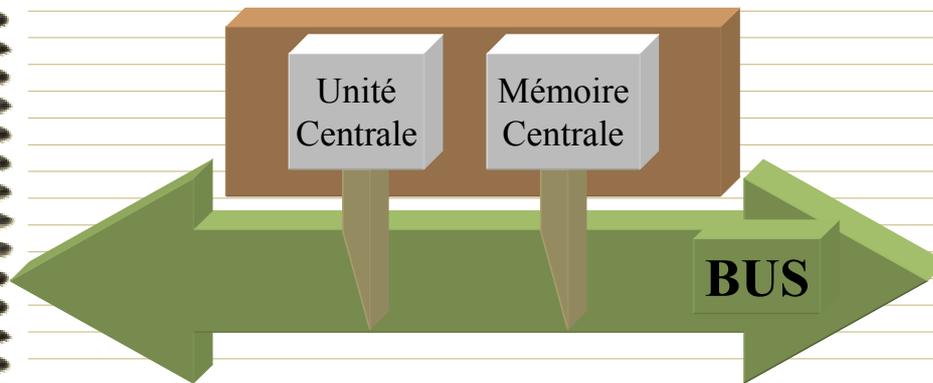


La carte mère est elle-même constituée d'éléments essentiels:

- l'unité centrale proprement dite cette fois, c'est à dire pour l'essentiel le microprocesseur et l'électronique de couplage au bus,
- la mémoire qui se décline elle-même en espaces spécialisés : mémoire centrale qui abrite les programmes et leurs données associées à un instant donné, mémoire vidéo qui est chargée de « maintenir » à l'écran l'image calculée à un instant donné pour l'affichage et un contrôleur de mémoire qui assure le couplage au Bus.

Les équipements périphériques sont connectés soit par des cartes spécialisées communiquant avec l'unité centrale via le bus (ce qui est le cas le plus courant) soit par une électronique embarquée sur la carte mère lorsqu'il s'agit de périphériques que l'on retrouve presque toujours (les ports de communications série - souvent appelés COM1 et COM2- qui peuvent servir par exemple à connecter un modem, - et de plus en plus un port « Ethernet » pour le réseau local, et bien sûr la sortie vidéo vers l'écran).

Le cœur du système...



Architecture générale

PCI Université Claude Bernard

6

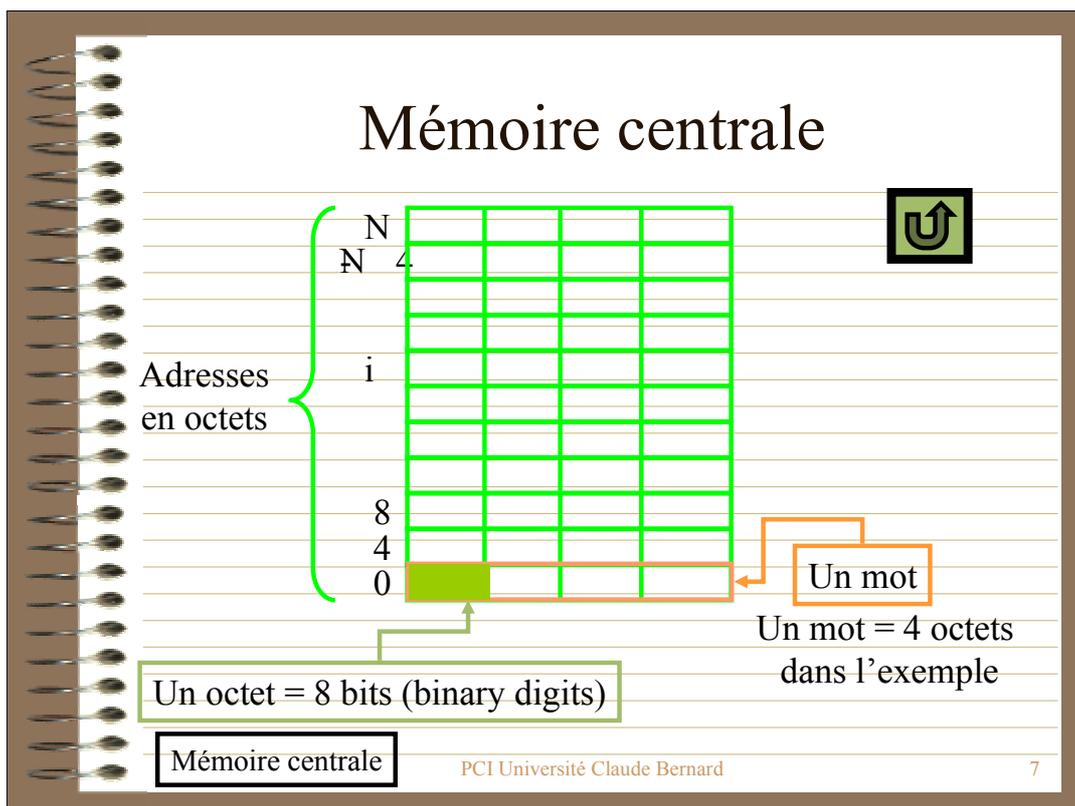
Pour « frapper les esprits », une analogie peut être tentée avec ce que l'on peut trouver sous le capot d'une voiture.

L'unité centrale est le « moteur » du système: c'est là que les instructions des programmes sont décodées et exécutées.

La mémoire centrale contient le « carburant » du moteur: c'est là que les instructions des programmes en cours d'exécution sont stockées ainsi que les données que les programmes manipulent.

La cadence des échanges entre l'unité centrale et la mémoire centrale se fait à la fréquence de l'équipement le moins rapide. Il est donc nécessaire que les autres équipements plus rapides « attendent » les fins d'échange pour enchaîner les communications suivantes. Ces attentes sont gérées par des signaux de synchronisation (à la manière des feux de signalisation, il faut attendre le signal pour passer).

La mémoire centrale est organisée conformément au schéma de la diapositive suivante.



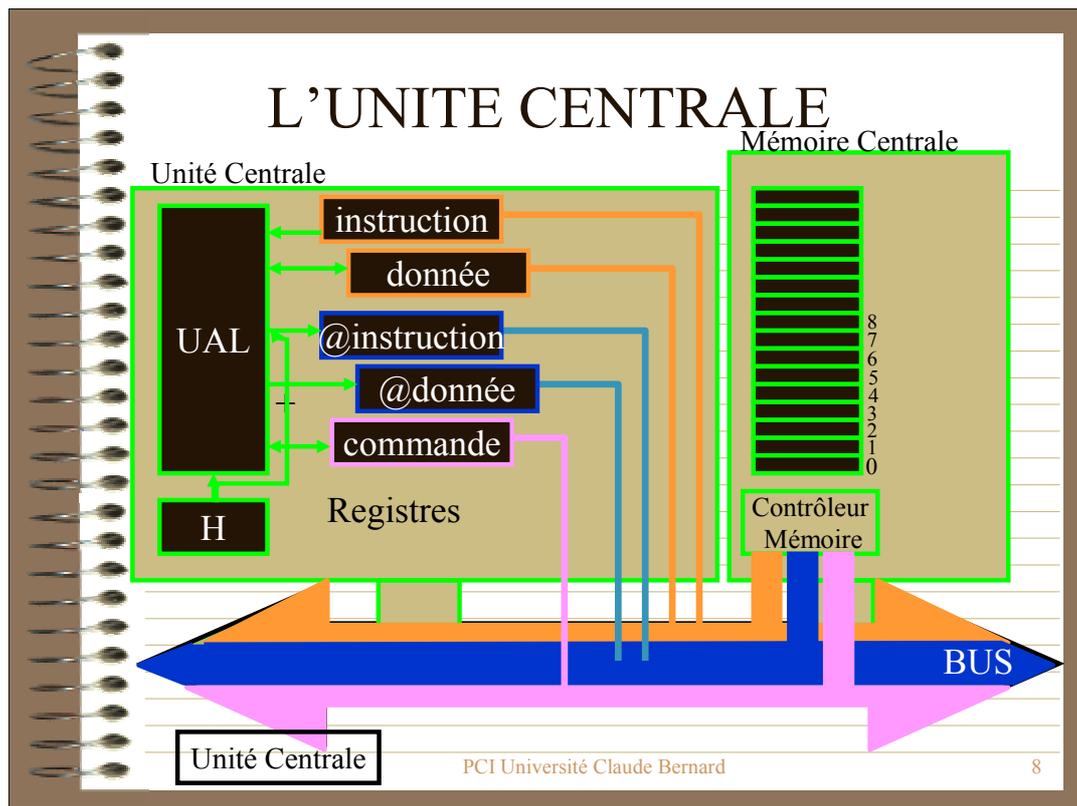
3-1) Mémoire centrale

La mémoire centrale est organisée comme un tableau de MOTS. Un MOT est la quantité de mémoire que l'on peut échanger en une seule fois (un seul intervalle de temps) entre la mémoire centrale et l'unité centrale. Un mot est constitué de K octets (K est actuellement égal à 4 la plupart du temps). Un octet (BYTE en anglais) est constitué de 8 bits (chiffres binaires, 0 ou 1).

Les instructions comme les données sont rangées dans cette mémoire, et on peut donc lire ou écrire dans cette mémoire. Pour savoir à quel endroit lire ou écrire dans le tableau de mots constitué par la mémoire, il est nécessaire d'indiquer à quelle ADRESSE (numéro de case mémoire) la donnée ou l'instruction à lire ou écrire est située.

Les adresses sont indiquées en octets, ce qui explique que sur le schéma, l'adresse du premier mot soit 0 et celle du second soit 4 et ainsi de suite.

L'accès à la mémoire se fait par un dispositif électronique appelé CONTRÔLEUR MEMOIRE qui permet de copier le contenu de la mémoire sur le bus (lecture mémoire) ou de copier le contenu du bus dans la mémoire (écriture mémoire). Il est important de noter que la mémoire possède toujours un contenu (constitué de 0 ou 1) et que l'expression « effacer la mémoire » consiste à « écrire en mémoire » une information conventionnellement sans signification (par exemple 0 pour une valeur numérique ou le code de « » -le caractère espace- pour une valeur alphabétique).



3-2) Unité Centrale

Si on continue à « zoomer » sur les équipements essentiels, il faut alors faire appel à son imagination, car les éléments qui sont maintenant décrits sont « gravés » dans le silicium et n'apparaîtraient qu'avec l'aide d'un microscope puissant.

Supposons que nous ayons ces moyens d'investigation et l'on pourrait alors distinguer les éléments décrits ci-dessus:

- tout d'abord une UAL (Unité Arithmétique et Logique) chargée de faire les calculs (ce qui justifie le nom de computer). Cette unité est « câblée » c'est à dire capable de faire un certain nombre d'opérations prédéfinies liées à la manière dont son circuit a été conçu (par INTEL, MOTOROLA, HP, etc...).

- les opérations sont « cadencées » par une HORLOGE interne H. A chaque coup d'horloge, une opération élémentaire est exécutée (plusieurs centaines de millions d'opérations par seconde!).

- les opérations sont sélectionnées à partir du décodage d'instructions lues en mémoire. C'est le REGISTRE D'INSTRUCTION (un registre est une zone de mémoire élémentaire gravée dans l'unité centrale) qui contient l'instruction en cours. Cette instruction est lue en mémoire centrale à une adresse contenue dans le REGISTRE D'ADRESSE D'INSTRUCTION encore appelé compteur ordinal.

- le REGISTRE d'adresse d'INSTRUCTION. Ce registre s'incrémente automatiquement grâce à l'horloge de façon à pouvoir chercher l'instruction « suivante » automatiquement.

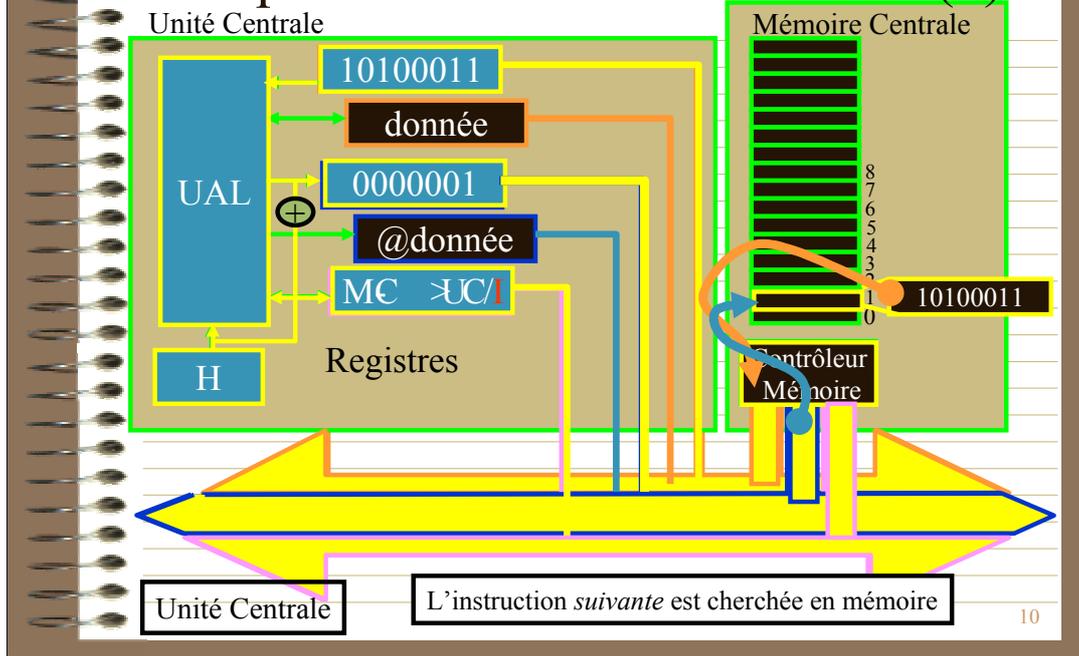
L'adresse de l'instruction peut également être le résultat d'un calcul à partir de l'instruction en cours (une instruction de débranchement dans le programme). En effet une instruction peut posséder un « paramètre » qui est une donnée associée. La donnée est sélectionnée en mémoire grâce au REGISTRE D'ADRESSE DE DONNÉES.

- au REGISTRE d'adresse de données en mémoire. Ce registre indique quelle cellule mémoire doit être lue et amenée dans le REGISTRE DE DONNÉES.

- REGISTRE DES DONNEES (appelé le plus souvent ACCUMULATEUR car il sert également à contenir les résultats des calculs de l'UAL).

De la même manière que des données peuvent être lues en mémoire centrale pour alimenter l'UAL, des données (résultat d'un calcul par exemple) peuvent être écrites en mémoire centrale par un processus symétrique (une instruction indique qu'il faut écrire la donnée stockée dans le registre de données à l'adresse stockée dans le registre d'adresse de données).

Séquence des instructions (2)



Si l'instruction qui vient d'être chargée en mémoire centrale (on parle d'un FETCH en jargon d'informaticien) ne modifie pas le registre d'adresse d'instruction, alors c'est l'horloge qui va provoquer l'incrément automatique du registre d'adresse d'instruction.

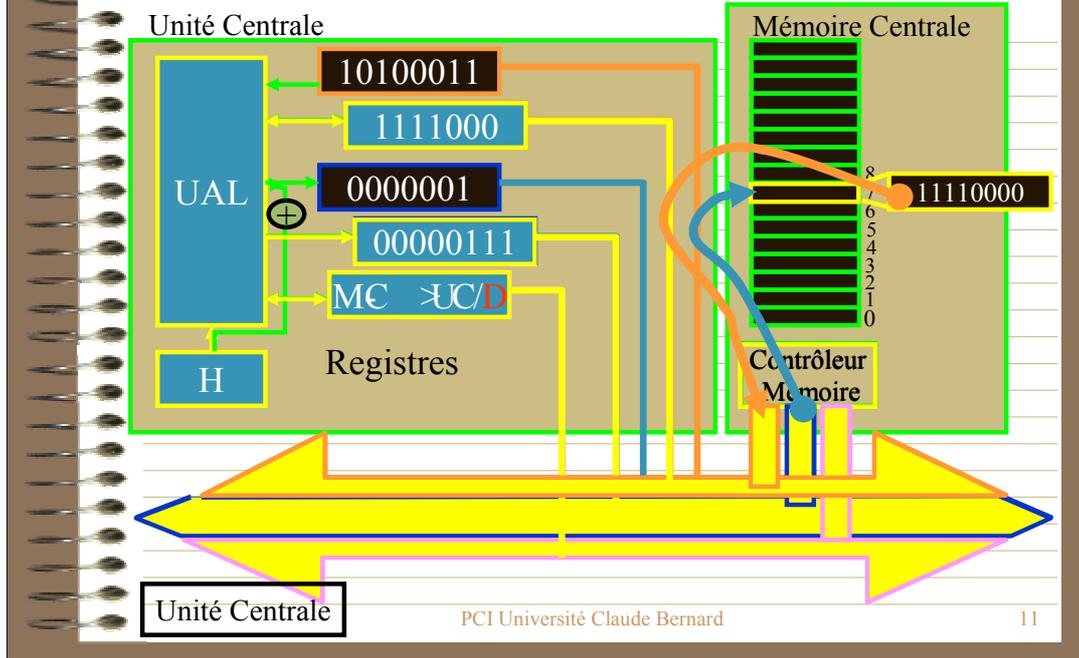
Comme pour le premier cycle d'adresse 0, les échanges sont toujours contrôlés par le registre de commande dans le sens MC vers UC, et le code de l'instruction contenue à l'adresse [00000001] est chargé dans le registre d'instruction.

Le mécanisme de base d'exécution d'un programme est résumé dans ce cycle:

- à chaque coup d'horloge, une instruction peut être chargée en mémoire soit par incrément automatique du registre d'adresse d'instruction (séquence), soit par écriture d'une adresse particulière dans le registre d'adresse d'instruction par l'instruction en cours (débranchement).

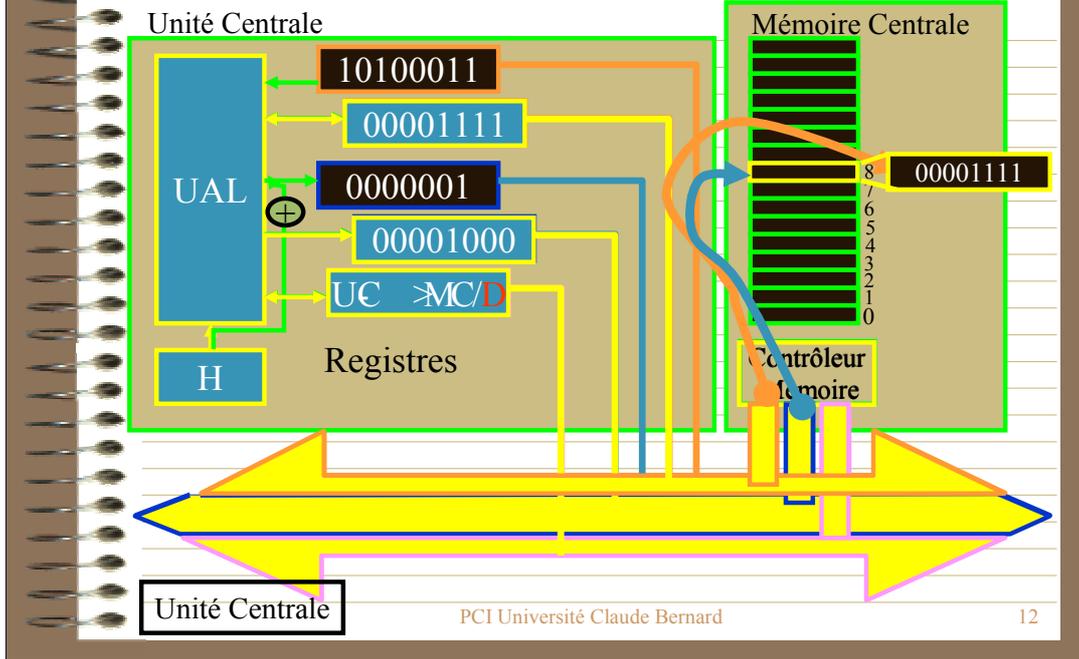
Si une instruction réclame une lecture de donnée ou une écriture de donnée, un ou plusieurs cycles sont alors nécessaires comme l'illustre les schémas des diapositives suivantes.

Lecture d'une donnée en mémoire



Dans le cas d'une lecture de données, l'adresse [00000111] (7 en décimal) à laquelle la donnée doit être lue est positionnée dans le registre d'adresse. Cette adresse, transmise sur le bus et décodée par le contrôleur de mémoire, contient [11110000]. Le registre de commande indique qu'il s'agit d'un échange dans le sens Mémoire Centrale vers Unité Centrale et qu'il s'agit de Données (et non pas d'instruction). En conséquence le contenu de l'adresse [00000111] est copié sur le Bus, puis copié du Bus dans le registre de données. Cette donnée est alors exploitable pour un calcul par l'UAL.

Écriture d'une donnée en mémoire



Dans le cas d'une écriture d'une donnée en mémoire (cette donnée est le résultat d'un calcul par exemple), le cycle commence de la même façon: l'adresse de destination [00001000] est positionnée dans le registre d'adresse des données, le contrôle indique qu'il s'agit d'un échange de données dans le sens Unité Centrale vers la Mémoire Centrale. La donnée est copiée du registre de données sur le bus puis copiée du bus à l'adresse convenable par le contrôleur de mémoire.

Quatre notions fondamentales

- **SEQUENCEMENT** DES INSTRUCTIONS
- **CONTRÔLE** : les opérations sont faites sous le contrôle d'une « signalisation » assurant la synchronisation des échanges
- **ADRESSAGE** : toute information (instruction ou donnée) possède une adresse en mémoire pour être atteinte
- **SEPARATION** des circuits **DONNEES** / **INSTRUCTIONS**.

Fondamentaux

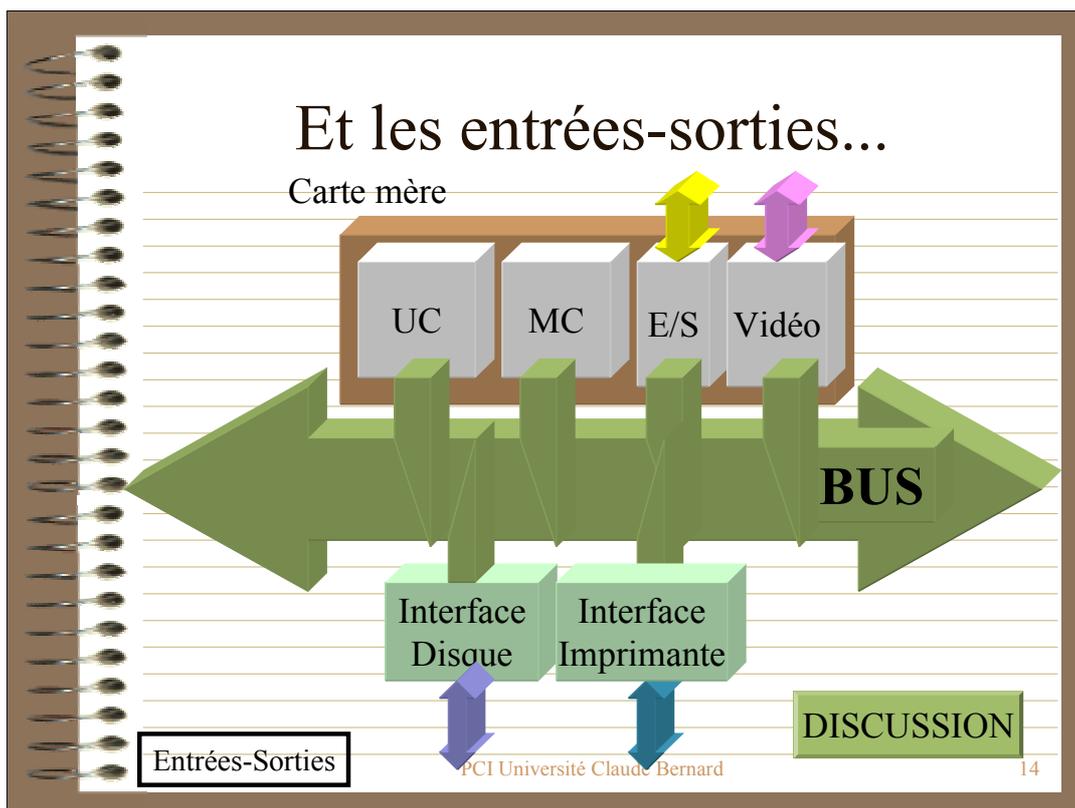
PCI Université Claude Bernard

13

4) Notions fondamentales

Les commandes, les adresses et les données sont les trois grands types d'information que vous manipulerez presque toujours avec un ordinateur, que ce soit consciemment (programmation) ou inconsciemment (exploitation).

En effet, il vous faudra presque toujours indiquer ce que vous voulez faire (commande), sur quelle information (données) et où cette information doit être trouvée ou stockée.



5) Entrées-sorties

Les entrées-sorties sont en fait des « effets de bord » d'actions sur des données qui sont « réputées » être en mémoire. Nous appelons « effet de bord » le fait qu'en écrivant une donnée dans une « case » mémoire particulière, l'écriture aura pour conséquence une action « physique » sur un périphérique. Le principe général est toujours le même, une carte électronique particulière (interface) décode un certain nombre d'adresses qui normalement devraient se trouver dans la mémoire centrale et selon ce qui sera écrit dans ces « cases » agira en fonction des possibilités offertes par le périphérique pour lequel il assure l'interface.

Nous allons découvrir trois grandes familles d'échange:

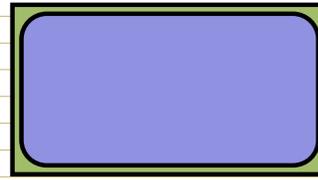
- l'échange vidéo, très particulier puisqu'il concerne l'affichage permanent à l'écran d'un certain nombre d'informations,
- l'échange « orienté caractères », c'est à dire que les échanges se font octet par octet vers des périphériques plutôt lents (tout est relatif), comme l'imprimante,
- l'échange « orienté blocs », c'est à dire en « bloquant » ensemble les échanges d'octets pour gagner en efficacité pour échanger des données plutôt volumineuses vers des périphériques plutôt rapides, comme le disque.

L'affichage vidéo

Chaque pixel (picture element) a son équivalent en mémoire vidéo. Chaque point voit sa couleur codée sur 1, 2, 3 ou 4 octets.

Le contenu de la mémoire vidéo est réaffiché 25 fois par seconde à l'écran.

Modifier les informations de la mémoire vidéo = modifier l'affichage



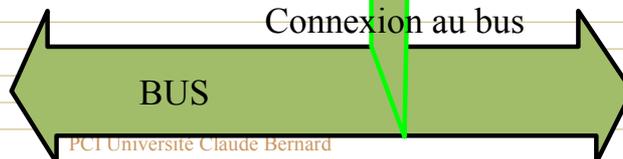
Contrôleur moniteur

Connectique externe

Mémoire Vidéo

Contrôleur Mémoire

Connexion au bus



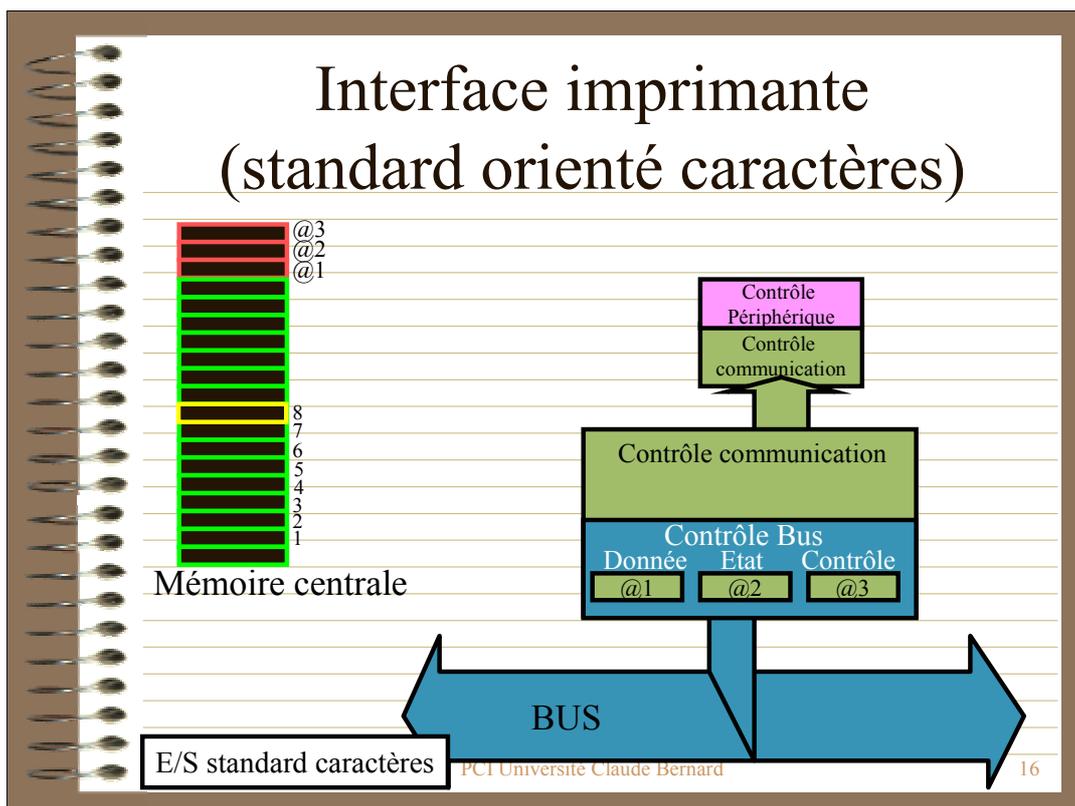
Vidéo

PCI Université Claude Bernard

15

5-1) Carte vidéo

Historiquement, une partie de la mémoire centrale était réservée pour mémoriser les pixels (éléments d'image = picture elements) qui représentent ce qu'il faut afficher à l'écran. L'écran vidéo est un moniteur du même type que la télévision: la matrice active est balayée ligne par ligne avec un spot éclairé ou non (version simple!) de façon à couvrir l'ensemble de l'écran 25 fois par seconde (persistance rétinienne). Dans le cas de la télévision, la trame à afficher est reçue sur le tuner du récepteur télé et sert de source à l'activation du rayon. Dans le cas du moniteur vidéo, la valeur du spot est « lue » point par point de chaque ligne dans la mémoire vidéo. Si rien ne change dans la mémoire, la même image est inlassablement reproduite à l'écran. Si un programme modifie les données aux adresses de la mémoire vidéo, l'affichage se modifie en conséquence.



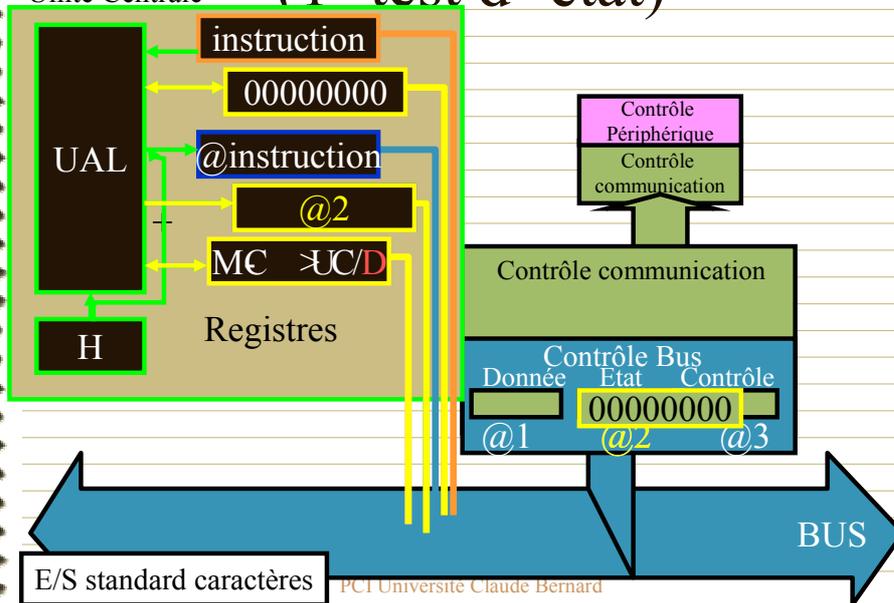
5-2) Carte d'E/S standard orientée caractères

La carte d'interface d'un périphérique du type imprimante (ou scanner par exemple) respecte la manière de communiquer sur le bus de la même façon que n'importe quelle autre carte qui y est raccordée. La carte d'interface décode (au minimum) 3 adresses de l'espace adressable de la mémoire (@1, @2 et @3). Ces adresses ne seront donc pas décodées par le contrôleur mémoire, et ce sont les « registres » de la carte qui seront lus ou écrits pour ces adresses. L'exemple présente 3 registres typiques: - le registre de données qui permettra d'échanger les données entre l'unité centrale et le périphérique qui les « interprétera »; le périphérique va en effet « interpréter » une donnée comme une action physique à réaliser (par exemple commander le jet d'encre d'une imprimante pour tracer un caractère correspondant au code ASCII de la donnée); - le registre d'état qui le plus souvent est utilisé pour connaître « l'état de fonctionnement » du périphérique (est-il prêt pour un échange?); - le registre de contrôle qui va permettre de contrôler les paramètres de l'échange (condition de fin, gestion d'interruption ou non, etc...).

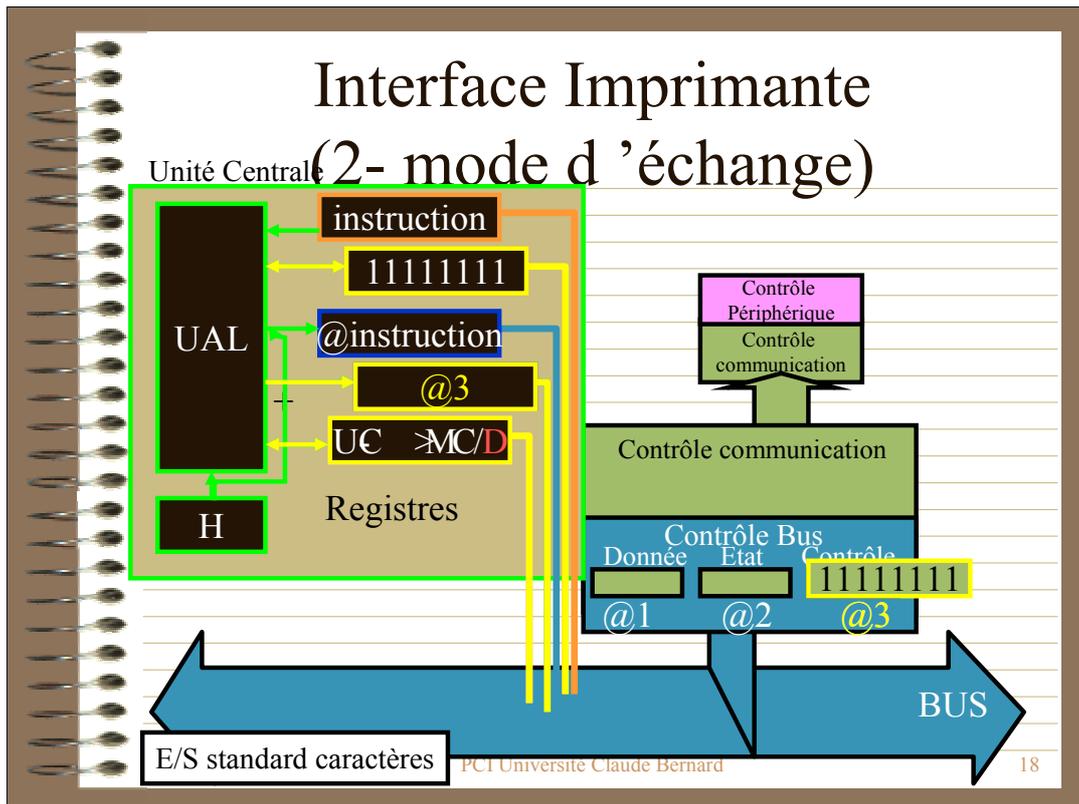
L'illustration des diapositives suivantes donne un exemple d'échange simple reposant sur ce principe.

Interface Imprimante

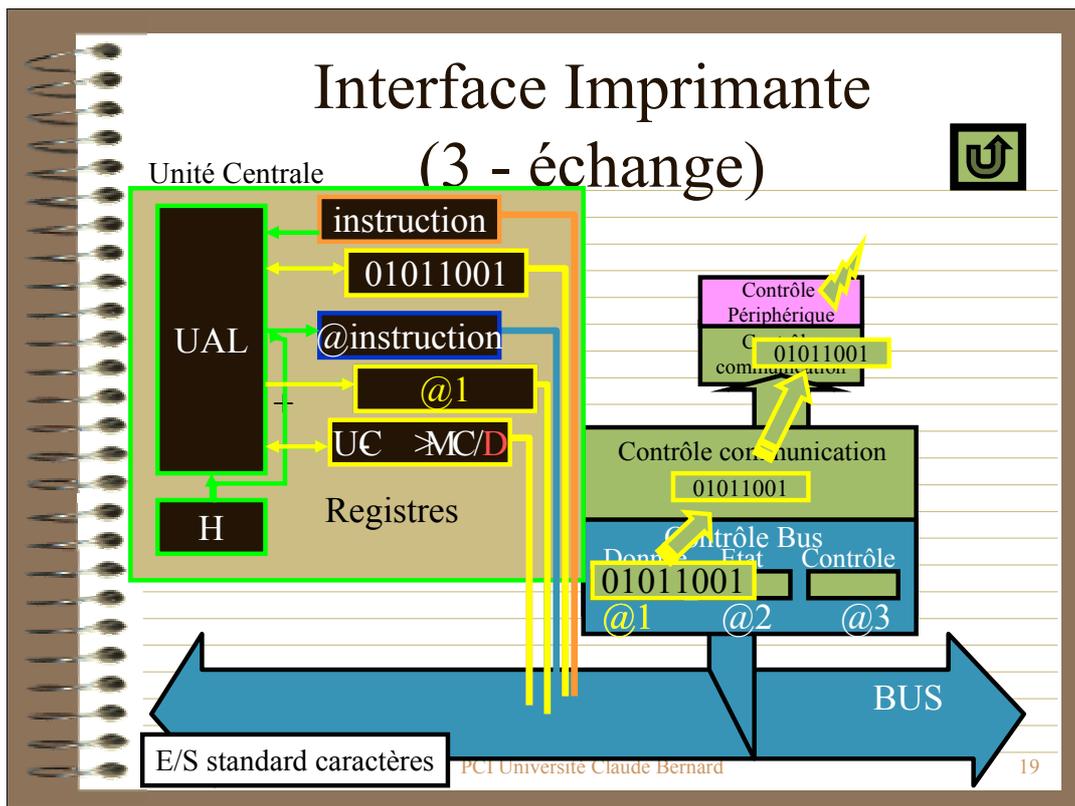
Unité Centrale (1- test d'état)



Avant de pouvoir échanger, le programme s'exécutant dans l'unité centrale doit s'inquiéter de l'état « prêt » du périphérique pour lui envoyer un nouveau caractère à traiter. C'est donc l'adresse @2 (état du périphérique) qui est utilisée pour « lire » son contenu et le tester. Ce test s'effectue en boucle jusqu'à ce que le périphérique soit prêt...(heureusement, avec les systèmes d'exploitation modernes, comme nous le verrons plus tard, le multitâche permet de ne pas bloquer la machine pour autant).

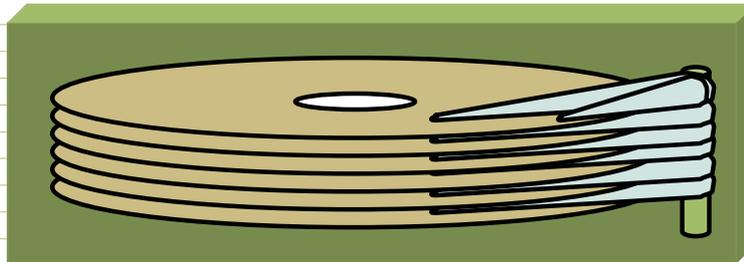


Dès que le registre d'état indique que le périphérique est prêt, il convient d'écrire un mot de contrôle dans le registre @3 qui positionne l'interface dans le mode de fonctionnement souhaité.



Enfin, la donnée à échanger est écrite dans @1. A partir du moment où l'information est présente dans le registre de la carte d'interface, le bus peut être libéré pour d'autres opérations (et en particulier, le programme peut continuer son exécution), tandis que l'information progresse de manière autonome de la partie contrôleur de bus à la partie contrôleur de communication, puis au périphérique lui-même qui exécute une action conforme (symbolisé par un éclair sur le schéma).

L'unité de disque



Une unité de disques est constituée d'un empilement de disques. Chaque face d'un disque est lue par une tête de lecture qui « vole » à quelques microns au dessus de la surface. Un disque tourne à plusieurs milliers de tours par minute.

E/S standard blocs

PCI Université Claude Bernard

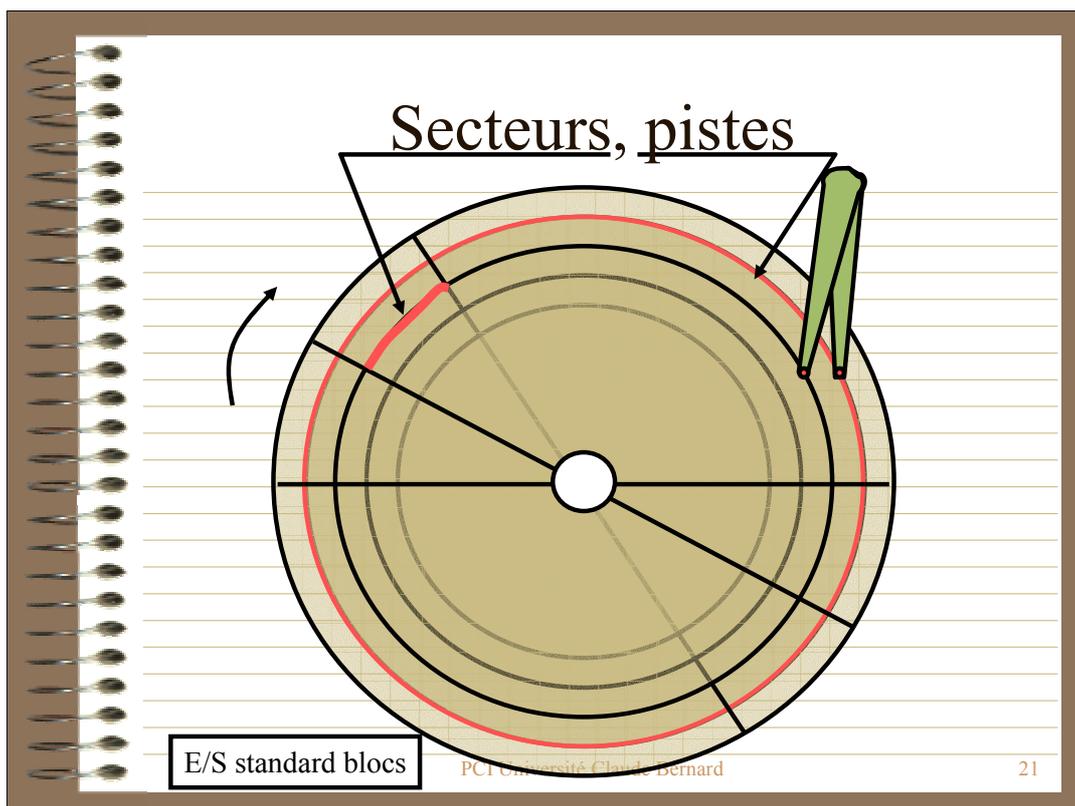
20

5-3) Carte d'interface E/S par blocs

Les unités de disques ont fait des progrès considérables en quelques années et les capacités des disques actuels sont impressionnantes par rapport à leur encombrement. Les disques magnétiques sont empilés, et chaque face de chaque disque est « parcourue » par une tête de lecture-écriture.

Il n'y a pas de contact physique entre le disque et la tête de lecture (sauf dans le cas des unités de disquettes, dont le support souple l'exige). Les enceintes qui contiennent les disques sont hermétiques et à pression constante, permettant d'atteindre une grande reproductibilité des mouvements relatifs des disques et des têtes, autorisant du coup des densités d'écriture très grandes.

Les informations que l'on lit ou écrit sur les disques doivent bien sûr être repérées; ceci est illustré sur les diapositives suivantes.



Chaque face d'un disque est survolée par la tête de lecture-écriture selon des pas de déplacements précis. Chaque position de la tête détermine « une piste » qui est la partie précisément survolée par la tête pendant un tour complet.

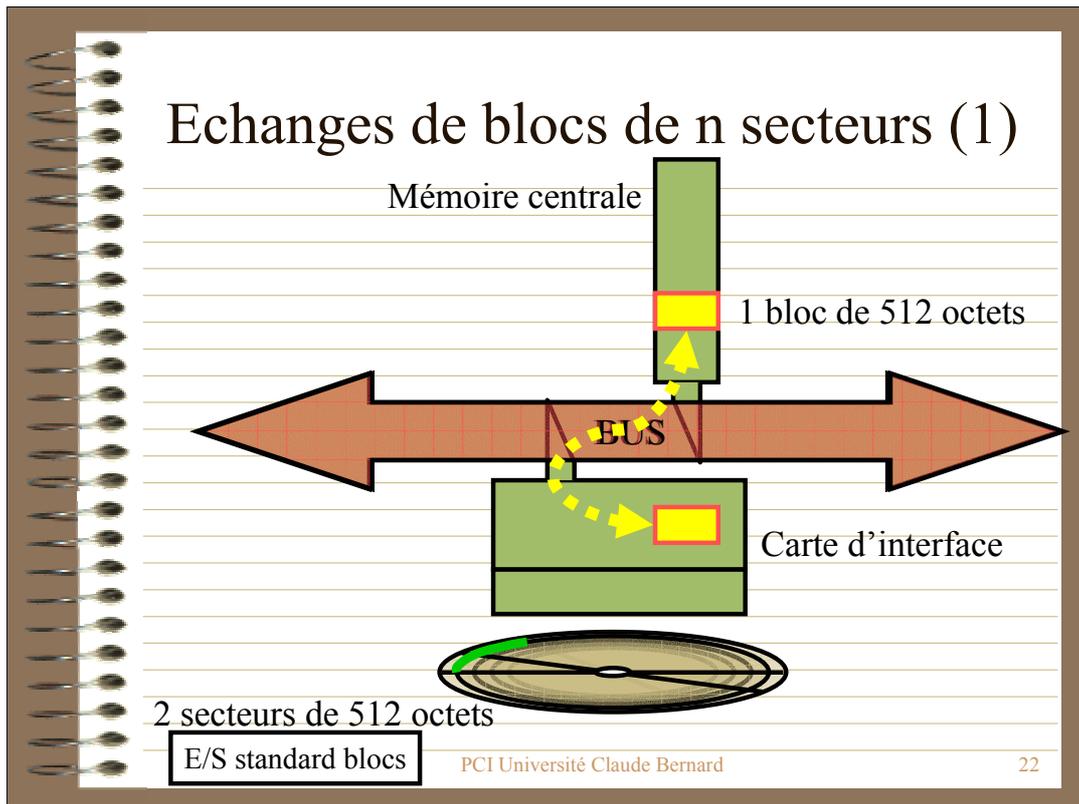
Comme la quantité d'information stockée sur une piste complète est importante, il n'est pas question de lire ou écrire une piste complète. Chaque piste est découpée en secteurs plus petits. Le secteur constitue la quantité d'information la plus petite que l'on peut lire ou écrire sur un disque. Typiquement, un secteur contient 512 octets.

Il est donc nécessaire de « bloquer » les échanges pour qu'ils soient efficaces.

Un secteur sera identifié par le numéro de tête de lecture-écriture (ou le numéro de face de disques dans l'empilement), la piste qui contient le secteur et le numéro de secteur à l'intérieur de cette piste.

Bien entendu, il est nécessaire de « marquer » les pistes et les secteurs sur le support magnétique pour que les têtes de lecture-écriture soient « calées » convenablement. Le nombre de pistes et de secteurs possibles dépend de la technologie des disques (leurs possibilités) et de la version de l'interface matériel et logiciel (driver) installée sur l'ordinateur; il convient de « formater » les disques pour que les repères correspondent à ce qui a été prévu par les constructeurs de l'interface.

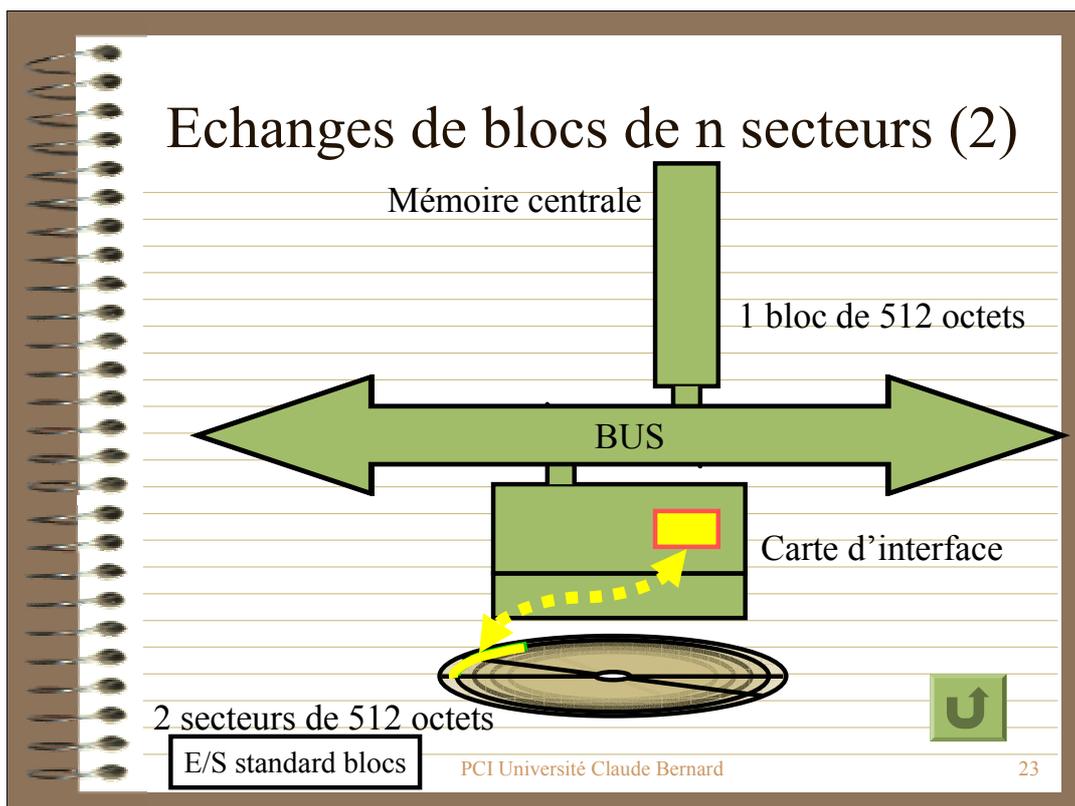
S'il ne vous arrive pas souvent de formater votre disque dur (évitons de le faire...), vous avez probablement du le faire pour les disquettes que vous insérez dans votre unité de disquette.



L'illustration de ces 2 diapositives montre de manière simplifiée un échange « bloqué » entre la mémoire et l'unité de disque:

- la première opération est de donner l'adresse d'une zone mémoire (en mémoire centrale) avec le nombre de mots à échanger. Ceci correspond à un bloc de données à échanger. Bien entendu, un bloc doit être un nombre entier de secteurs pour des raisons évidentes de performances. Le Bus est réservé pendant toute l'opération de transfert du bloc qui est en mémoire centrale vers une zone de mémoire spécifique à la carte d'interface.

Dès que cette opération est terminée, le bus peut-être libéré et les opérations suivantes peuvent se dérouler sans interférer avec le fonctionnement de l'unité centrale et de la mémoire centrale qui continue d'exécuter les programmes en cours.



Le bus libéré, les opérations continuent (en asynchrone dit-on pour montrer qu'il n'est pas nécessaire de synchroniser cette opération avec le fonctionnement des autres éléments du système).

La carte d'interface transfère les données à la partie contrôle de périphérique qui fabrique les signaux pour « marquer » les secteurs concernés par le bloc à écrire.

Une opération de lecture sur disque pour chargement en mémoire serait symétrique. Les données demandées seraient d'abord rapatriées sur l'interface, puis le bus serait monopolisé pour échanger l'ensemble du bloc dans la zone mémoire qui l'attend.

C'est cet asynchronisme des opérations qui permet à un ordinateur de faire apparemment plusieurs choses à la fois (imprimer tout en continuant à éditer un fichier texte par exemple, puisque les périphériques mobilisés ne sont pas les mêmes).

Discussion

- Nous venons de voir un « modèle » général du fonctionnement matériel d'un ordinateur.
- Au delà du modèle, il convient de se reporter aux descriptions techniques pour « comprendre » la technologie précise de votre ordinateur

Discussion

PCI Université Claude Bernard

24

6) Discussion

Présenter le fonctionnement de l'ordinateur de manière aussi rapide est une gageure, bien entendu.

Nous espérons que vous saurez à partir de ces principes édictés avoir les idées suffisamment claires pour profiter (et peut-être participer) des sites développés par des individus à des fins de formation directe.

Les sites de la page suivante sont indicatifs et on peut en trouver énormément sur le web.

Pour des renseignements techniques précis et fiables, il convient de contacter les sites des constructeurs.

Quelques sites

- Une sélection qui vieillira vite....
 - <http://www.01hardware.com/hardware/> pour l'assistance sur le matériel
 - <http://www.teaser.fr/~spineau/acrodictionary/> pour les acronymes informatiques
 - <http://www.aideonline.com>, un site d'aide en ligne gratuit...
 - www.multimania.com/lionelma/paged.htm une visite guidée par un « néophyte »
 - <http://perso.wanadoo.fr/ameliorer.son.pc/informatique.htm> par un autre néophyte
- 2 sites sur l'histoire de l'informatique...
 - <http://ei.cs.vt.edu/~history/TMTCTW.html>
 - <http://histoire.info.online.fr>

Liens

PCI Université Claude Bernard

25

Lecteur de CD-ROM



Annexe

PCI Université Claude Bernard

26

Unité de disque



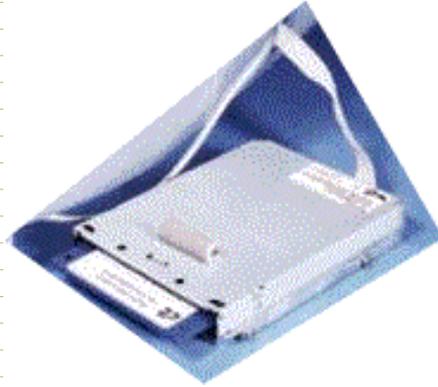
Annexe



PCI Université Claude Bernard

27

Unité Disquette

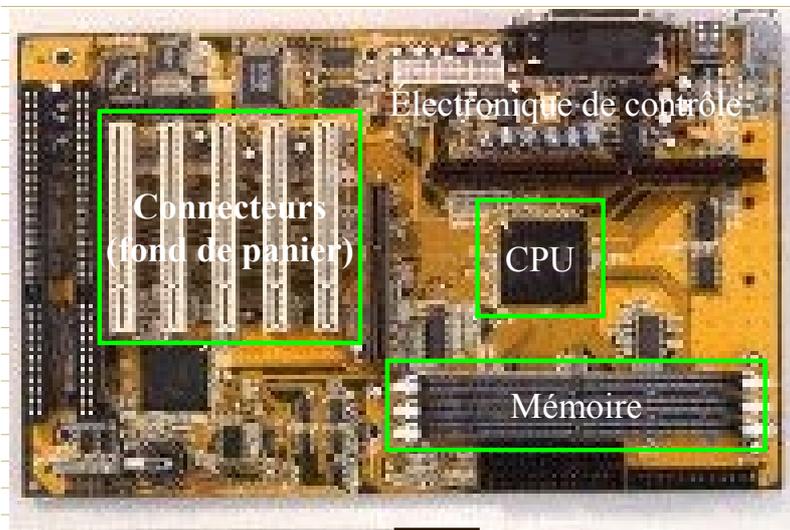


Annexe

PCI Université Claude Bernard

28

Zoom sur la carte mère...



Annexe

PCI Univ  de Bernard

29