

A.O. Partie 4 – composants électroniques; parallélisme; entrées/sorties

1. Composants électroniques

1.1. Semi-conducteurs

1.2. Diodes

1.3. Transistors

1.4. Circuits intégrés et imprimés

1.5. Portes NON

1.6. Portes OU

1.7. Portes NAND et NOR

1.8. Délais

2. Performances et parallélisme

2.1. Définitions

2.2. Clusters, grilles, cloud (+ quelques chiffres sur "l'énergie grise" des ordinateurs ou du cloud et leurs impacts environnementaux)

2.3. Parallélisme interne

2.4. Parallélisme externe

2.5. Pipelining

2.6. Processeur vectoriel

2.7. Architectures CISC, RISC et superscalaires

3. Matériels d'entrées/sorties

3.1. Typologie, types d'imprimantes

3.2. Écrans et couleurs

3.3. Connecteurs arrières

4. Architectures et procédures d'entrées/sorties

4.1. Les interruptions

4.2. Le DMA

4.3. Canal d'entrées/sorties

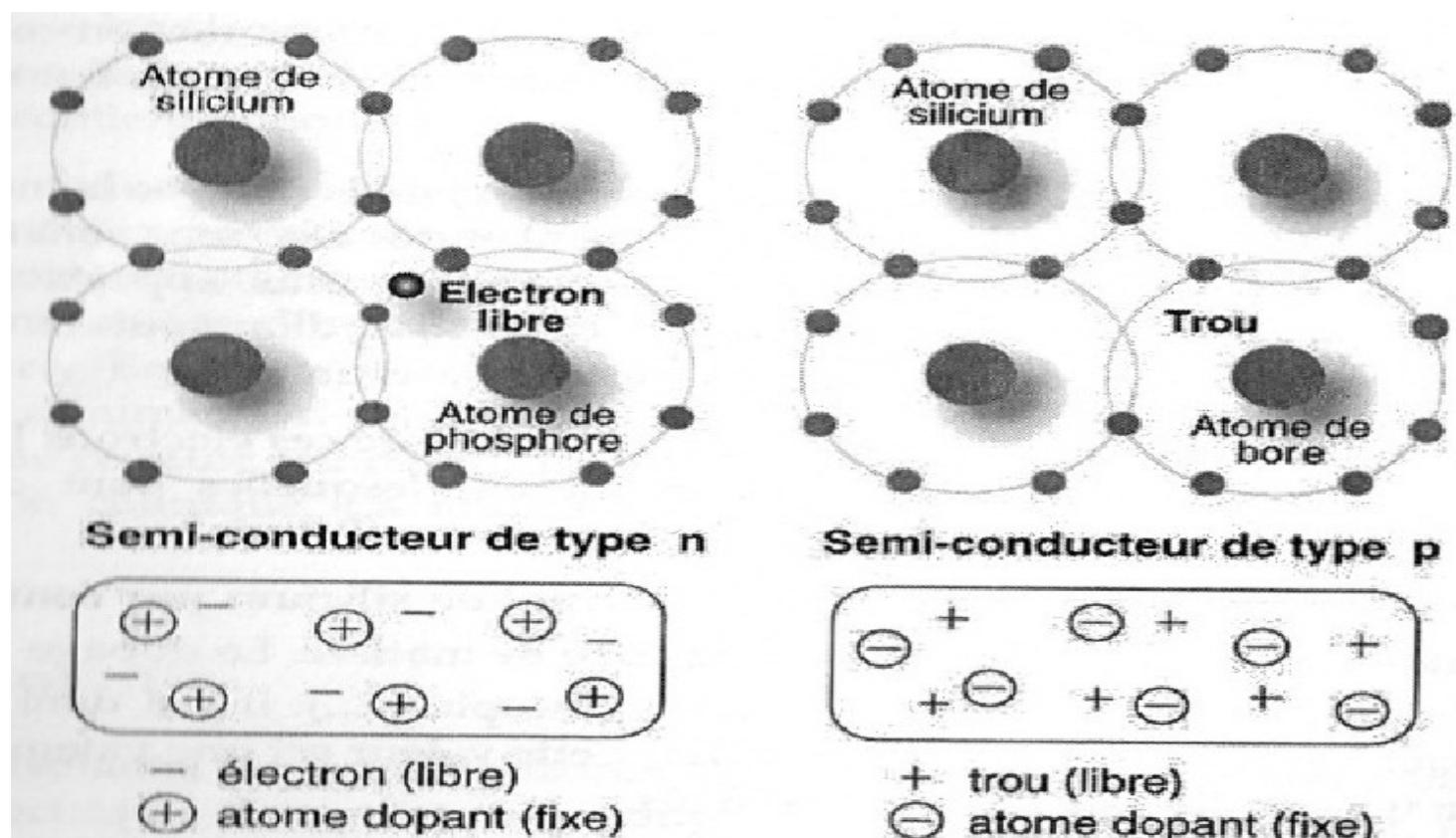
1.1. Composants électroniques - semi-conducteurs

Semi-conducteur (e.g., silicium, germanium): "isolant" à très basse température, légèrement "conducteur" à température ambiante.

Dopage de semi-conducteur: amélioration de sa conductivité par insertion d'atomes étrangers dans un réseau d'atomes semi-conducteur (lesquels ont 4 électrons sur leur couche périphérique); environ 1 atome étranger pour 1 million d'atomes semi-conducteur.

Semi-conducteur de type N (Négatif): dopé avec des atomes à 5 électrons sur leur couche périphérique (e.g., phosphore, arsenic) afin de créer une légère surabondance d'électrons → ces électrons sur-numéraires vont facilement quitter leur atome, attirés par une anode, et être remplacés par d'autres électrons sur-numéraires → électricité passe (et plus d'électrons circulent, plus il y a d'intensité; la tension est fixée par l'anode et la cathode).

Semi-conducteur de type P (Positif): dopé avec des atomes à 3 électrons sur leur couche périphérique (e.g., bore, gallium) afin de créer une légère surabondance de "trous d'électrons". Plus il y a de tels trous, plus des électrons libres vont pouvoir circuler vers l'anode, plus il y aura d'intensité.

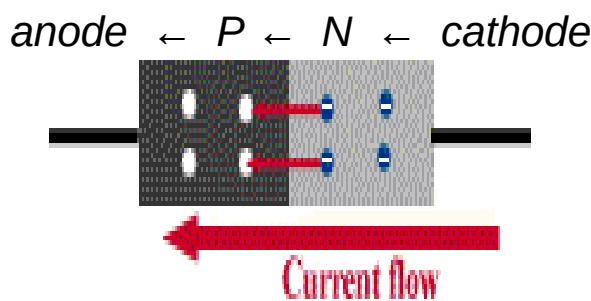


1.2. Composants électroniques - diodes

Diode électronique : composée de 2 régions adjacentes, l'une de type P, l'autre de type N, qui (comme toute diode) ne laisse passer le courant électrique/optique/... que dans un sens, ici P->N, d'où le symbole suivant (mais les électrons vont dans le sens inverse du sens conventionnel, donc de N->P).

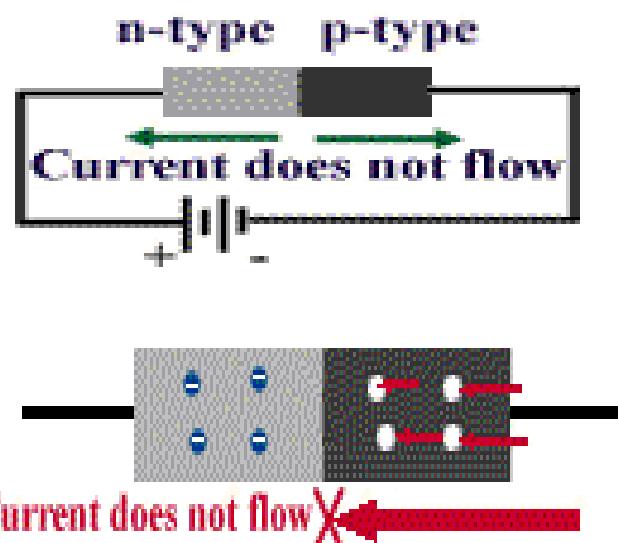


Si la région P (Positive) est connectée au côté positif d'une alimentation électrique (anode), et la région N (Négative) au côté négatif d'une alimentation électrique (cathode), les électrons surabondants de la région N sont attirés vers l'anode via (à travers) la région P (ils peuvent s'insérer dans les "trous d'électrons" de cette région P) et sont remplacés par les électrons provenant de la cathode (et ainsi de suite, le courant peut donc circuler) :



Note: ici, "current" désigne le courant des électrons, pas le sens conventionnel du courant électrique.

Si la région P est connectée à la cathode et la région N à l'anode, les électrons de la cathode vont très vite remplir les trous de la région P et les électrons surabondants de la région N peuvent aller vers l'anode mais, comme ils ne sont pas remplacés, le semi-conducteur devient vite isolant.



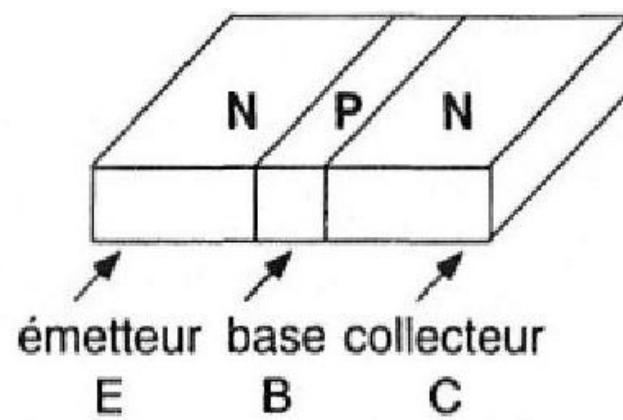
Note: si la région N ou P est, via une autre source, alimentée en électrons, le courant peut passer de P vers N. C'est ce qui se passe dans le collecteur (la partie centrale) d'un transistor bipolaire NPN ou PNP (voir page suivante).

1.3. Composants électroniques - transistors

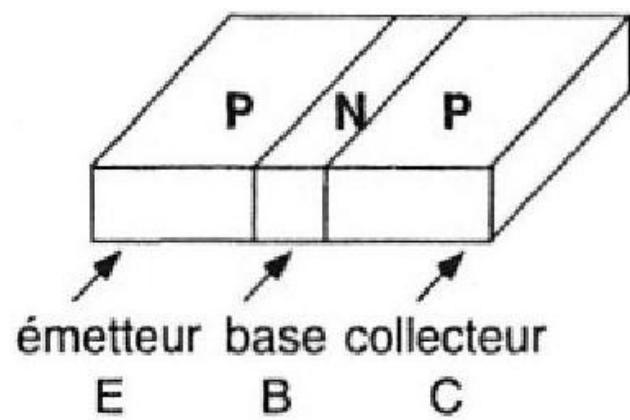
Transistor (électronique): composant électronique à la base de tout circuit électronique actuel; il peut être utilisé comme commutateur ou amplificateur et donc aussi pour remplacer des éléments tels que diodes et résistances (à lire: article on "transistor aging").

Transistor (électronique) bipolaire: composé de 3 régions adjacentes, NPN ou PNP, respectivement appelées émetteur, base et collecteur; les électrons passent de l'émetteur vers le collecteur si et seulement si la base est alimentée en électrons.

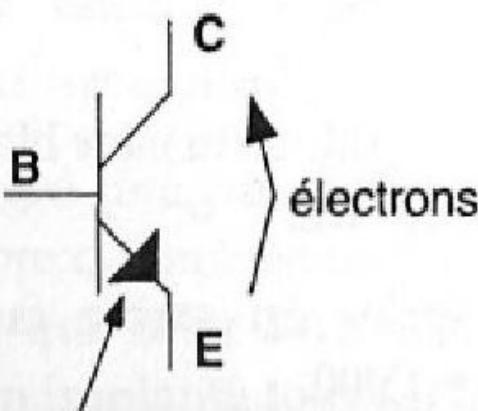
sens des
électrons : -----> ----->



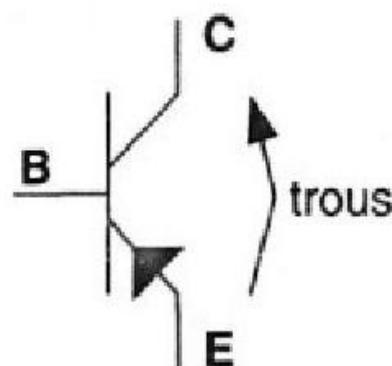
Transistor NPN



Transistor PNP



la flèche indique
le sens du courant

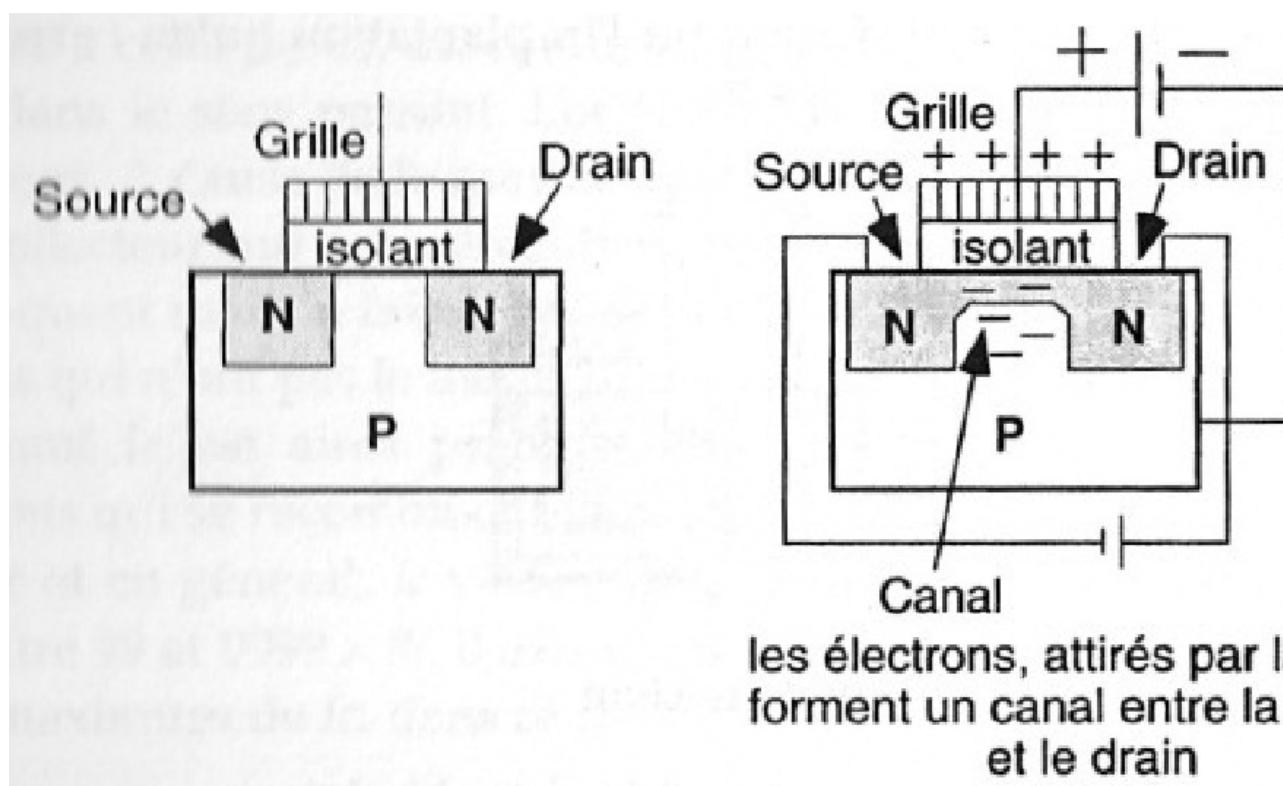


1.3. Composants électroniques - transistors

Transistor (électronique) unipolaire (alias "à effet de champ", FET, MOS, MOSFET): réalisé en structure MOS [Metal-Oxide-Semiconductor] en utilisant un effet de champ [Field Effect Transistor]; peut par exemple commuter 250 milliards de fois par seconde. Documentez-vous pour comprendre son fonctionnement, e.g., à http://fr.wikipedia.org/wiki/Transistor_à_effet_de_champ

Une diode laser ou un transistor optique est beaucoup plus rapide et ne chauffe pas mais réaliser des portes ET/OU/... reste difficile, e.g., parce que les photons en ligne droite s'ils ne sont pas guidés par des fibres optiques ou s'il n'y a pas de phénomène de diffraction.

Cf. "diode laser", "transistor optique", "processeur optique" puis "ordinateur du futur" sur Wikipedia et dans d'autres sources.



1.4. Composants électroniques - circuits intégrés et imprimés

Circuit intégré: plaquette de silicium de 5 à 500 mm² contenant des milliards de composants électroniques actifs et passifs.

Elément actif: capable d'amplifier un courant ou une tension, e.g., un transistor.

Elément passif: résistance, condensateur, diode, ...

VLSI [Very Large Scale Integration]: de 10 milles à 10 millions de transistors dans un circuit intégré; c'était déjà atteint dès 1977 en laboratoire.

Après le VLSI vint le ULSI [Ultra Large Scale Integration].

Le degré d'intégration - donc la petitesse des circuits et donc leur rapidité et la capacité des mémoires - dépend de la finesse des connections que l'on peut tracer sur une plaquette. Les recherches se portent sur les

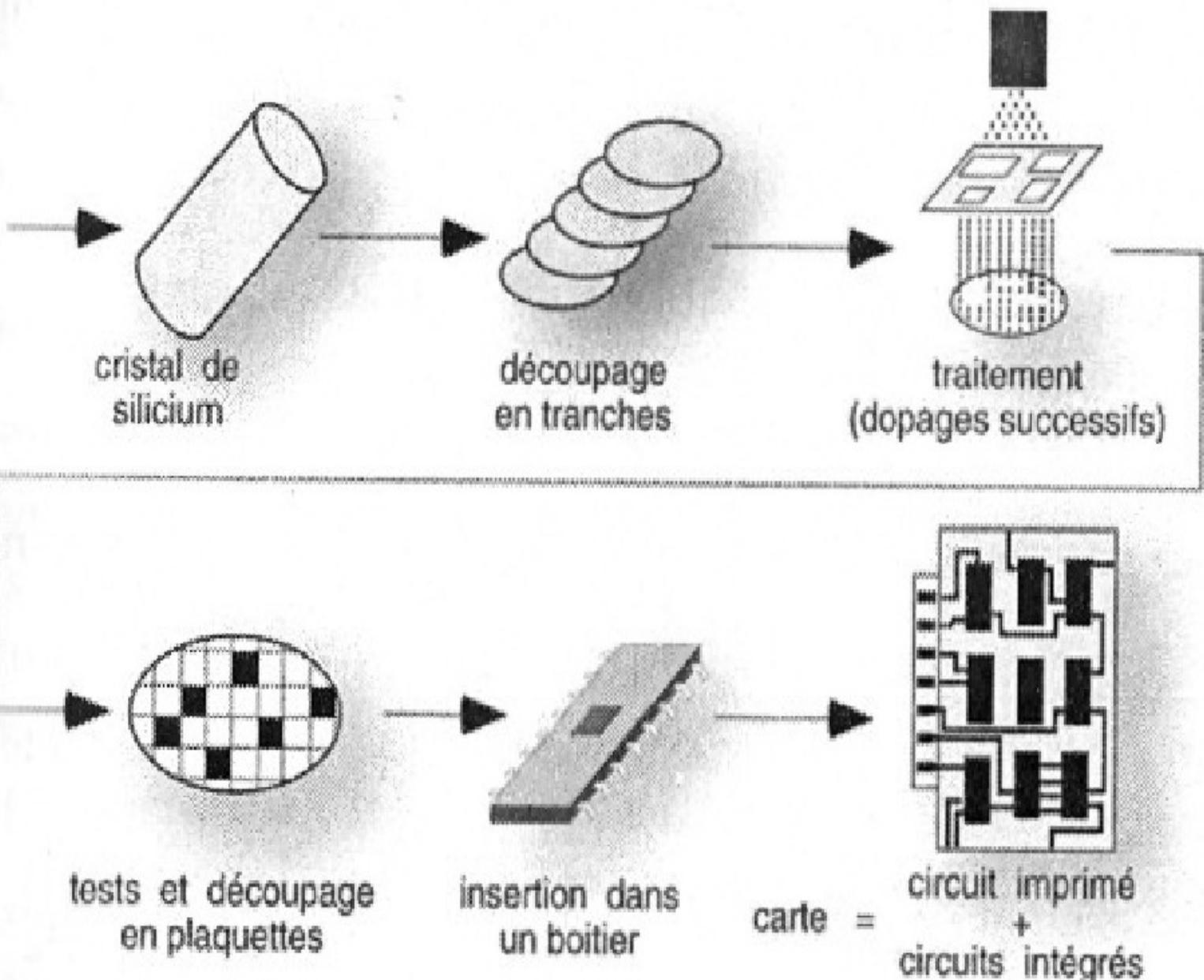
- WSI [Wafer Scale Integration], supraconducteurs, dispositifs quantiques
- composants optiques (mais commuter 1000 fois plus vite implique de dissiper 100 fois plus de chaleur).

génération	date approximative	technologie	vitesse (opérations/s)
1	1946-1957	tube à vide	40 000
2	1958-1964	transistor	200 000
3	1965-1971	SSI/MSI	1 000 000
4	1972-1977	LSI	10 000 000
5	1978-	VLSI	100 000 000

Circuit imprimé (ou carte) [printed circuit]: support isolant où divers circuits intégrés (et d'autres éléments) sont connectés.

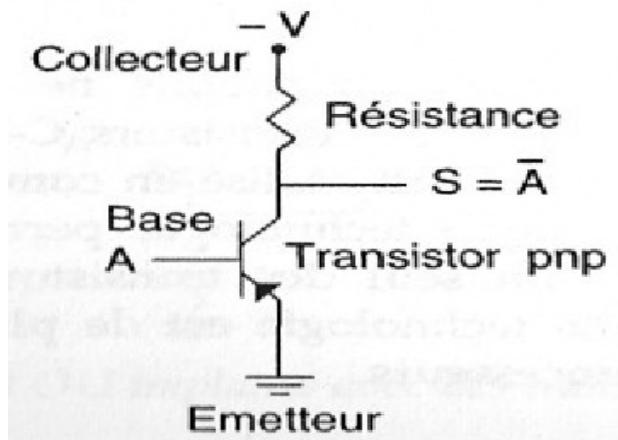
Carte mémoire: circuit imprimé contenant les circuits de mémoire d'un ordinateur.

1.4. Composants électroniques - circuits intégrés et imprimés

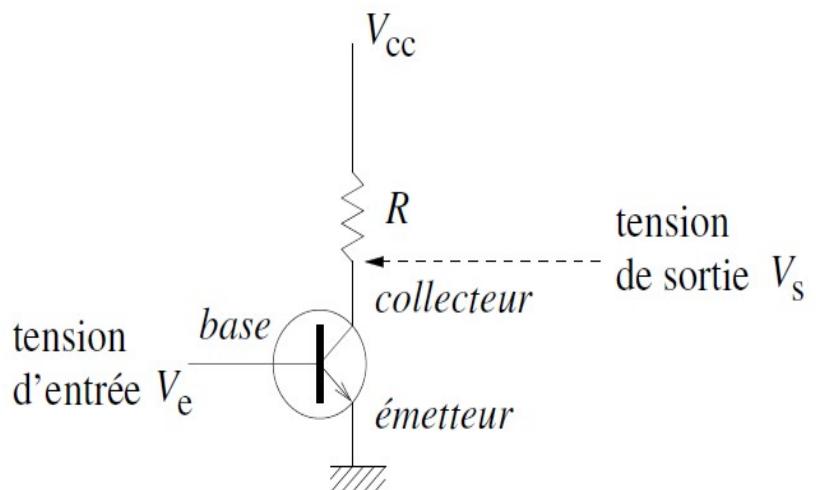


1.5. Composants électroniques - portes NON

Avec transistor bipolaire PNP:



Avec transistor bipolaire NPN:



Fonctionnement:

(rappel: $A = 0$ volt \rightarrow pas de courant entre l'émetteur et le collecteur)

$$A = 0 \text{ volt} \quad \rightarrow \quad S = -V \text{ volts}$$

$$A = -V \text{ volts} \quad \rightarrow \quad S = 0 \text{ volt}$$

Donc: $S = \text{non}(A)$ si l'on utilise une interprétation en "logique positive", i.e., 0 volt \rightarrow faux et $-V$ volts ($\neq 0$ volt) \rightarrow vrai

Fonctionnement:

$$V_e = 0 \text{ volt} \quad \rightarrow \quad V_s = V \text{ volts}$$

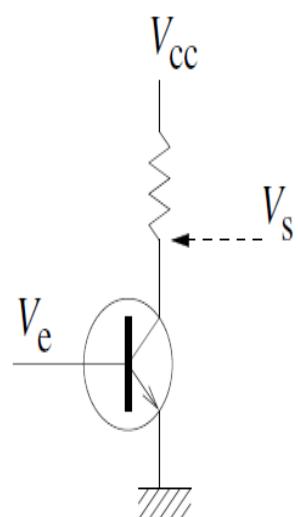
$$V_e = V \text{ volts} \quad \rightarrow \quad V_s = 0 \text{ volt}$$

Donc: $V_s = \text{non}(V_e)$ avec une interprétation en "logique positive", i.e., 0 volt \rightarrow faux et V volts ($\neq 0$ volt) \rightarrow vrai

QW "ao4wooclap" sur la page Moodle du cours :

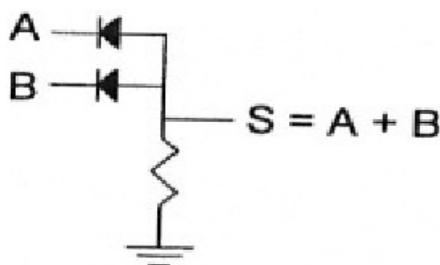
Le circuit ci-contre (à droite) peut être interprété comme effectuant l'opération ...

- A) AND avec 0v interprété comme Faux et V volts comme Vrai
- B) AND avec 0v interprété comme Vrai et V volts comme Faux
- C) NOT avec 0v interprété comme Faux et V volts comme Vrai
- D) NOT avec 0v interprété comme Vrai et V volts comme Faux
- E) aucune des 4 autres réponses

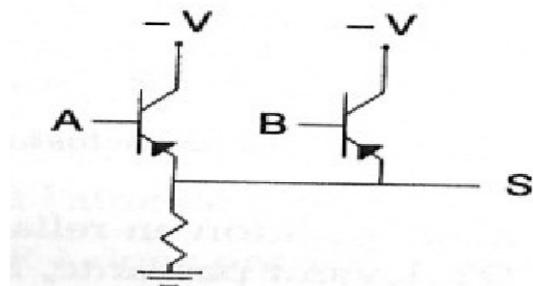


1.6. Composants électroniques - porte OU

Avec des diodes:



Avec transistor bipolaire PNP



Fonctionnement:

$$A = B = 0 \text{ volt} \rightarrow S = 0 \text{ volt}$$

$$A = -V \text{ volts} \text{ ou } B = -V \text{ volts} \rightarrow S = -V \text{ volts}$$

$\rightarrow S = A + B$ si 0 volt \rightarrow faux et $-V$ volts \rightarrow vrai
(interprétation en "logique positive")

$\rightarrow S = A \cdot B$ si 0 volt \rightarrow vrai et $-V$ volts \rightarrow faux
(interprétation en "logique négative")

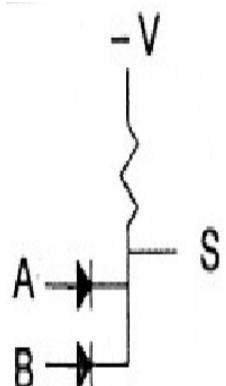
A	B	$A+B$	$A \cdot B$
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	1

Une table de vérité contient des 0 et des 1 "logiques", i.e., faux et vrai, elle ne contient pas des volts !
En logique positive, 0 volt est traduit par un 0 logique.
En logique négative, 0 volt est traduit par un 1 logique.
Inversement, ne mettez pas un "1" (logique) dans le schéma d'un circuit électrique, mettez $+V$ ou $-V$!

QW "ao4wooclap" sur la page Moodle du cours :

Le circuit ci-contre (à droite) peut être interprété en "logique négative" comme effectuant l'opération ...

- A) AND
- B) OR
- C) NAND
- D) NOR
- E) aucune des 4 dernières réponses

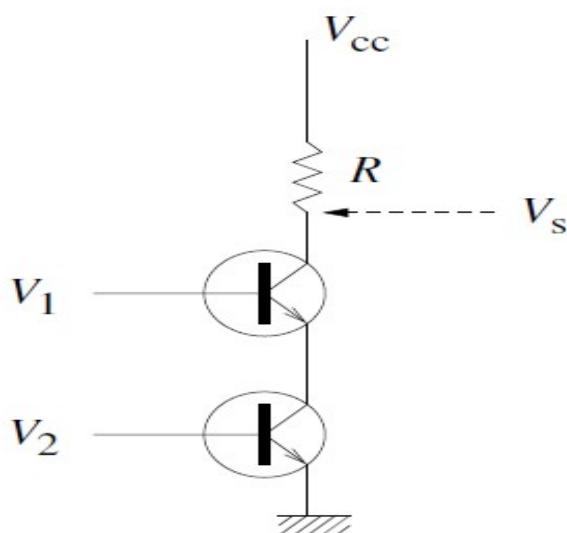


1.7. Composants électroniques - portes NAND et NOR

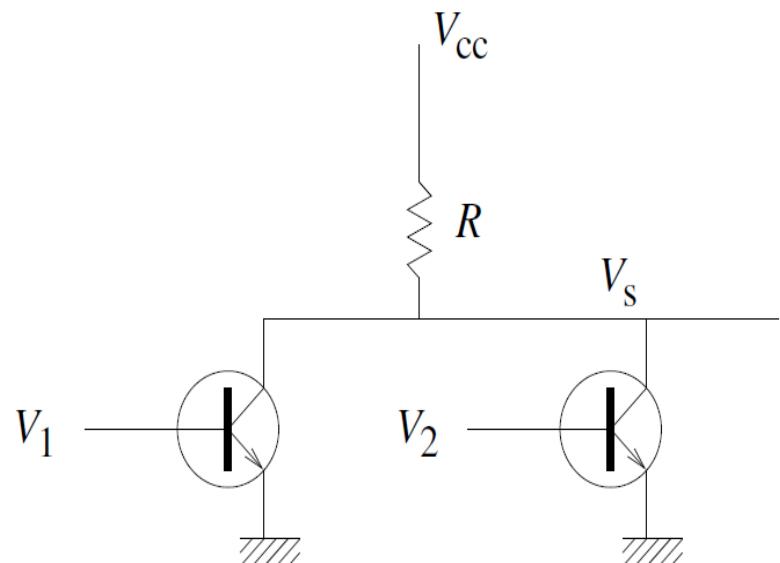
Avec des transistors NPN et une interprétation en "logique positive":

$1 \Leftrightarrow$ vrai \Leftrightarrow (V volts ou bien $-V$ volts) et $0 \Leftrightarrow$ faux \Leftrightarrow 0 volt.

Porte NAND :



Porte NOR :



A	B	A NOR B	A NAND B
---	---	---------	----------

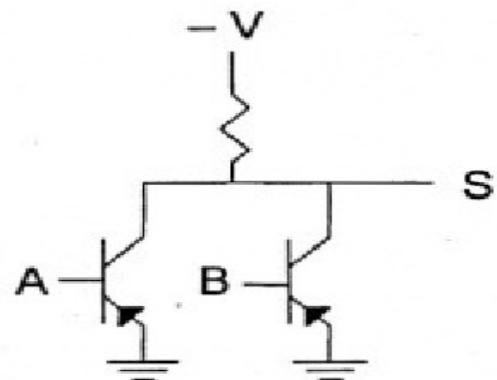
0	0	1	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	0	0

Ici, $0 \rightarrow 0$ volt et $1 \rightarrow V$ volts
(interprétation en "logique positive")

QW "ao4wooclap" sur la page Moodle du cours :

Le circuit ci-contre (à droite) peut être interprété comme effectuant l'opération ...

- A) OR si interprété en logique positive
- B) OR si interprété en logique négative
- C) NOR si interprété en logique positive
- D) NOR si interprété en logique négative
- E) aucune des 4 autres réponses



1.8. Composants électroniques - délais

Délai de montée/descente: temps d'un changement de valeur entre 0 et 1.

Délai de propagation: temps de passage d'un signal au travers d'une porte.

Chemin critique d'un circuit: chemin le plus long pour la propagation des signaux à travers le circuit (dépend du nombre de portes et du temps de propagation de chaque type de porte) -> temps minimal à attendre pour avoir une sortie valide.

Horloge: signal périodique (1 demi-période à 0, l'autre à 1) permettant de lire des valeurs à des instants précis et à des intervalles réguliers
-> utile pour lire les signaux dans leur états valides
-> utile pour les circuits séquentiels synchrones.

QW "ao4wooclap" sur la page Moodle du cours :

Supposons que l'horloge d'un microprocesseur tourne à 1 GHz et que chaque porte de ce microprocesseur soit synchronisé par l'horloge, le délai de propagation minimal dans ce microprocesseur est ...

- A) 1/2 micro-seconde B) 1 nano-seconde
- C) le temps d'exécution de l'instruction la plus courte
- D) les 2 réponses précédentes E) aucune des 4 réponses précédentes

2.1. Performances et parallélisme - définitions

Performance d'un ordinateur: quantité de travail accompli pendant un laps de temps donné. Cela dépend de nombreux facteurs: vitesse de son/**ses CPU(s)** (mais désormais plus la vitesse d'horloge), présence de mémoires cache ou entrelacées, processeurs spécialisés (e.g., processeur graphique), du parallélisme et de la synchronisation entre ses nombreux éléments ... et de quels types d'éléments le logiciel d'une application donnée fait intervenir.

SPEC [System Performance Evaluation Cooperative]: un "benchmark" (programme de test) de performance utilisé par plusieurs fabricants pour définir des mesures standard communes.

Ce benchmark est composé d'une dizaine de programmes, principalement scientifiques, écrit en C et en Fortran. d'autres benchmarks existent comme les Whetstones, Dhrystones, Livermore Loops, Linpack ainsi que les NAS spécialement conçus pour tester les performances des systèmes parallèles.

MIPS [Million of Instructions Per Second]: unité de référence pour l'évaluation de la performance d'un ordinateur. Toutefois, plus les jeux d'instructions des machines comparées sont différents, moins la comparaison a de sens. Cela n'a aucun sens de comparer des machines RISC et CISC (détails plus loin).

MFLOPS [Million of Floating point Operation Per Second] (nombre d'opérations arithmétiques en virgule flottante par seconde): autre unité de mesure aussi trompeuse que le MIPS, pour les mêmes raisons et parce que les additions et divisions ne sont pas distinguées (dans les MFLOPS) alors qu'elles ont des temps d'exécution très différents.

TFLOPS (TeraFLOP: 10^{12} FLOPS) et **PFLOPS** (PetaFLOP: 10^{15} FLOPS): ordres de grandeurs désormais pertinents (car maintenant courants) pour des mesures en FLOPs. Il n'y a bien sûr aucune contradiction entre le fait que ces ordres de grandeurs soient maintenant pertinents/courants pour ces mesures et le fait que ces mesures soient trompeuses (pour des personnes peu averties).

[QW "ao4wooclap" sur la page Moodle du cours :](#)

Le TFLOPS ...

- A) est égal à un milliard de FLOPS
- B) est égal à un millionième de PFLOPS (Peta-FLOPS)
- C) est une unité aussi trompeuse que le MIPS
- D) les 3 dernières réponses E) aucune des 4 dernières réponses

Superordinateur [supercomputer]: machine capable de résoudre des problèmes qui ne peuvent être traités par les autres ordinateurs du moment
-> étiquette vague et éphémère.

De nos jours, les gros ordinateurs étant basés sur des microprocesseurs, ce qui différencie les gros ordinateurs des micro-ordinateurs, c'est

- un plus grand nombre d'unités (CPU ou éléments de CPU) en parallèle,
- une plus grosse taille de mémoire et une gestion plus performante de celle-ci, et surtout
- des dispositifs d'entrée/sorties ou périphériques plus performants.

Accédez et lisez les pages Wikipedia suivantes:

- [Les 500 superordinateurs les plus performants](#)
- [Le supercomputer "Watson" d'IBM](#)
- [Le supercomputer "Blue Gene".](#)

[QW "ao4wooclap" sur la page Moodle du cours :](#)

Exemple de question d'évaluation: **De nos jours, ce qui différencie les gros ordinateurs des micro-ordinateurs, c'est ...**

- A) un plus grand nombre d'unités utilisées en parallèle
- B) une plus grosse taille de mémoire
- C) des dispositifs d'entrée/sorties ou périphériques plus performants
- D) les 3 dernières réponses E) aucune des 4 dernières réponses

2.2. Performances et parallélisme - clusters, grilles, cloud

(+ quelques chiffres sur "l'énergie grise" des ordinateurs ou du cloud et leurs impacts environnementaux)

Il est (et sera) de plus en plus difficile de continuer à réduire la finesse des connections, même avec les synchrotrons, la supraconductivité et l'opto-électronique (des laboratoires d'IBM ont montré [en 1989 via une image](#) puis [en 2013 via une vidéo](#) qu'ils savaient manipuler les atomes 1 par 1).

Pour gagner un facteur de 100 ou 1000 sur les performances actuelles, il *faudra continuer à augmenter* le parallélisme des actions à *tous* les niveaux des architectures matérielles et surtout logicielles -> nouveaux langages et compilateurs.

Un facteur encore plus grand est (et sera) obtenu en augmentant le parallélisme dans les "systèmes d'exploitation" (cours 5) et, plus généralement, les systèmes d'informations et de collaboration.

Exemple: les clusters et les grilles, qui permettent de mettre en commun une partie de la capacité des unités des ordinateurs (mémoire vive, processeur, espace disque, périphériques, ...) à travers un réseau, car les taux d'utilisation de ces unités ne sont que de 5 à 20% (en entreprise).

QW "ao4wooclap" sur [la page Moodle du cours](#) :

Si l'on considère que le facteur d'accroissement de la performance durant les 30 dernières années est de 3 millions, cela est dû à ...

- A) l'augmentation d'un facteur de 3000 coté matériel et 1000 coté logiciel
- B) l'utilisation de plus de parallélisme à *tous* (déjà tous) les niveaux
- C) la manipulation individuelle des atomes
- D) les 3 dernières réponses
- E) aucune des 4 dernières réponses

Cluster: ordinateurs regroupés de telle sorte qu'on a l'impression de n'avoir qu'une seule machine; les clusters sont apparus bien avant les grilles et peuvent être des éléments de grilles.

Grille [GRID] (Globalisation des Ressources Informatiques et des Données): grille d'information [data grid], grille de stockage, grille de calcul [grid computing]. Chaque ordinateur à sa propre adresse IP.

C'est une technologie jeune → manque de standardisation, de logiciels, de garantie de qualité et de sécurité, etc. *Exemples de projet:*

- le projet Globus pour une implémentation efficace de OGSA [Open Grid Service Architecture];
- les projets SETI et Decryphon: exemples d'utilisation d'ordinateurs de centaines de milliers de particuliers pour résoudre plus rapidement des problèmes (pour le projet Decryphon: 10 heures de calcul pour chaque ordinateur au lieu de 1140 années pour un seul) ;
- le projet "European Data Grid" pour stocker et analyser les petaoctets de données produites par le collisionneur LHC du CERN (Centre Européen de Recherche Nucléaire).

Informatique en nuage [cloud computing]: services informatiques (serveurs, stockage, mise en réseau, logiciels) via internet (-> le "*cloud*" ou "nuage") : SaaS (Software as a Service), PaaS ([Platform as a Service](#)), IaaS ([Infrastructure as a Service](#)), MBaaS ([Mobile Backend as a Service](#)), ... (rappel: si vous ne connaissez pas la signification/définition d'un mot ou d'une expression, e.g. à quoi réfère "[Platform as a Service](#)", documentez-vous, par exemple via Wikipedia).

Énergie grise: quantité d'énergie consommée lors du [cycle de vie](#) d'un matériau/produit à l'exception de l'[utilisation](#) : la [production](#), [l'extraction](#), [la transformation](#), [la fabrication](#), [le transport](#), [la mise en œuvre](#), [l'entretien](#) et enfin [le recyclage](#). L'[énergie grise](#) est donc une énergie cachée, indirecte, au contraire de l'énergie liée à l'utilisation. L'usage d'énergies et de matières premières est fortement lié au mode de vie de leurs utilisateurs (et probablement à une récession durable à court/moyen terme sauf éventuelle révolution technique par exemple [dans les nano-technologies](#)). L'usage d'énergies non-renouvelables ou de matériels pour capter les énergies renouvelables produit du [gaz à effet de serre](#) et entraîne un [réchauffement climatique sans précédent](#).

Quelques extraits de Wikipedia

(https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_grise#Fabrication_d'un_ordinateur https://fr.wikipedia.org/wiki/Impact_environnemental_du_num%C3%A9rique https://fr.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing#Inconv%C3%A9nients) :

- La **fabrication d'un ordinateur** pourrait nécessiter une énergie (3000 kWh) 4 fois plus élevée que celle correspondant à son alimentation électrique sur une période de trois années, selon le magazine allemand *Der Spiegel* ; à raison de 3 heures d'utilisation par jour pendant 300 jours, sur une durée de 4 ans, pour une puissance de 150 kWh, la consommation directe d'énergie s'élèvera à environ 400 kWh. //lien entre 4 et 3000/400=7.5 ?
- **Internet** engloutit déjà entre 6% et 10% de la consommation mondiale et pèserait près de 5% des gaz à effet de serre globaux. Si Internet était un pays, il serait le troisième plus gros consommateur d'électricité au monde, derrière la Chine et les États-Unis. Le trafic sur les réseaux télécoms explose de 100% par an. Netflix consomme à lui seul 15% de la bande passante mondiale, et la vidéo pèse désormais 58% de l'ensemble du trafic sur Internet, d'après une récente étude de Sandvine.
- La **vidéo en ligne** a généré en 2019 60 % des flux de données mondiaux et plus de 300 millions de tonnes de CO₂ par an, soit 20 % du total des émissions de gaz à effet de serre dues au numérique, soit encore 1 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Elle se répartit en quatre types de contenus : la **vidéo à la demande** (VoD) (34 %), la pornographie (27 %), les « tubes » (YouTube, Dailymotion, ...) (21 %) et les autres vidéos (18 %).
- Le **réseau mobile** de 4^{ème} génération (**4G**) a (selon Frédéric Bordage, expert en **GreenIT** et **sobriété numérique**) un impact sur la planète environ 20 fois supérieur à celui d'un réseau filaire de type **ADSL** ou fibre équipé de Wi-Fi. La 4G augmente considérablement le débit disponible pour l'utilisateur final, ce qui autorise le développement d'usages **multimédia** dont l'impact environnemental est très important, notamment le **streaming**.
- De la même façon, le **cloud computing** (informatique en nuage), indissociable de la 4G, a un impact négatif sur la planète. L'ONG **Greenpeace**, par exemple dénonce ceci dans un rapport de 2010 sur l'impact écologique du secteur informatique : si toutes les fermes de serveurs d'informatique en nuage constituaient un pays, celui-ci viendrait au quatrième rang mondial des plus grands consommateurs d'énergie.

De plus, la facilité qu'offre le cloud à activer de nouveaux services conduit à un accroissement de la consommation de ressources par **effet rebond**, voire à une augmentation des coûts s'ils ne font l'objet d'un contrôle.

Note : ce n'est un argument que si ces services peuvent aussi être accessibles "en local", i.e. sans accès à internet.

- **Autres inconvénients (i.e. non liés à l'énergie) de l'usage d'un cloud :**

✗ **Problèmes de sécurité.** 1) L'utilisation des réseaux publics, dans le cas du *cloud* public, entraîne des risques liés à la **sécurité du cloud**. En effet, la connexion entre les postes et les serveurs applicatifs passe par le réseau Internet et expose à des risques supplémentaires de **cyberattaques** et de violation de confidentialité. Le risque existe pour les particuliers, mais aussi pour les grandes et moyennes entreprises, qui ont depuis longtemps protégé leurs serveurs et leurs applications des attaques venues de l'extérieur, grâce à des réseaux internes cloisonnés. 2) Comme pour tout logiciels, ceux du *cloud computing* permettent de lancer des attaques (**cassage de mot de passe, déni de service...**). 3) Des questions juridiques sont posées par l'absence de localisation précise des données du *cloud computing*. Quelles lois pour quel serveur, quel centre de données et, surtout, quel pays ? 4) Les entreprises perdent la maîtrise de l'implantation de leurs **données**. De ce fait, les interfaces inter-applicatives (qui peuvent être volumineuses) deviennent beaucoup plus complexes à mettre en œuvre que sur une architecture hébergée en interne. 5) Les entreprises n'ont plus de garanties (autres que contractuelles) de l'utilisation qui est faite de leurs données, puisqu'elles les confient à des tiers. 6) En cas d'accident mettant en cause un site fournissant les prestations de services liées au cloud pour des fonctions critiques d'une entreprise cliente, les données contenues dans les serveurs détruits peuvent être perdues, à moins d'avoir été sauvegardées par ailleurs, chez d'autres hébergeurs ou sur d'autres serveurs du prestataire. Les entreprises touchées doivent engager sans délai leur **plan de reprise d'activité informatique**.

✗ **Problèmes de dépendance.** 1) Un service de *cloud computing* est dépendant de la qualité du réseau pour l'accès à ce service. Aucun fournisseur de service *cloud* ne peut garantir une disponibilité de 100 %. E.g., des défaillances sur les services *cloud* sont référencées par l'International Working Group of Cloud Resiliency. 2) Beaucoup de fournisseurs de cloud facturent des "**frais de sortie des données**" [**data egress fees**] et l'export les données d'un service *cloud* (ou les frais de sortie) n'est pas toujours prise en compte dans le cadre du projet. Le client se trouve ainsi « piégé » par son prestataire ; c'est lorsqu'il y a des problèmes (changement des termes du contrat ou des conditions générales d'utilisation, augmentation du prix du service, besoin d'accéder à ses données en local, etc.) qu'il se rend compte de l'**enfermement propriétaire** (*vendor lock-in*) dans lequel il se trouve.

Conclusions / exemples de questions à l'oral ou à l'écrit, avec une argumentation bien structurée demandée (e.g. via un champ libre à l'écrit) :

- vaut-il mieux stocker et/ou accéder des fichiers sur sa machine ou sur un cloud ?
- vaut-il mieux acheter un terminal portable (en lien avec des serveurs non locaux) ou un ordinateur portable (capable, pour la majorité des tâches effectuées via cet ordinateur, de fournir un service équivalent à l'usage de serveurs), e.g. pour des raisons environnementales, économiques (prix, éventuels problèmes de casses ou vols, etc.), ... ?

À lire également :

- [**https://fr.wikipedia.org/wiki/Informatique_durable**](https://fr.wikipedia.org/wiki/Informatique_durable) (informatique durable, alias informatique verte, numérique responsable, *green IT* ou éco-TIC) : ensemble de techniques visant à réduire l'empreinte sociale, économique et **environnementale** du numérique.
- [**https://spectrum.ieee.org/mems-switches-for-low-power-logic**](https://spectrum.ieee.org/mems-switches-for-low-power-logic) : des circuits intégrés plus lents mais moins consommateurs d'énergie.
- Relatif à l'IA (LLMs) :
 - <https://www.wired.com/story/ai-great-things-burn-planet/>
 - www.reutersevents.com/sustainability/can-ai-light-way-smarter-energy-use
 - www.avnet.com/wps/portal/silica/resources/article/fpga-vs-gpu-vs-cpu-hardware-options-for-ai-applications
 - "Les sacrifiés de l'IA" (doc. FranceTV) : [1](#) (jusqu'au 17/06/2025), [2](#), [3](#).
- **Cadre d'usage de l'IA en éducation** : vous ne devez **PAS** utiliser d'IA si/sans ...
 - sans autorisation explicite de l'enseignant et/ou votre description cette utilisation ;
 - si une alternative plus écologique (recherches sur le Web, ...) est pertinente ;
 - si vous ne pouvez pas évaluer l'exactitude factuelle et la pertinence de ses résultats ;
 - sans vérifier que l'IA est une "solution libre permettant le contrôle des corpus utilisés ainsi que des procédures de traitement" ou qu'il n'existe pas de telles alternatives.

2.3. Performances et parallélisme - parallélisme interne

Le facteur d'accroissement de la performance durant les 30 dernières années est de plusieurs millions: facteur de 1000 coté matériel * facteur de 3000 coté logiciel (nouveaux algorithmes, langages, méthodes, ...).

Parallélisme visible: nécessitant la collaboration de certains utilisateurs, e.g., des programmeurs.

Parallélisme transparent: complètement automatique, donc invisible pour les utilisateurs, par exemple (sauf exceptions), les mécanismes de parallélisme interne.

Parallélisme interne: à l'intérieur d'un processeur (ou ordinateur classique); trois formes:

- **Parallélisme par duplication** (-> "simultanéité réelle"): multiplication d'éléments permettant d'effectuer une certaine tâche, e.g., additionneurs parallèles, bus multi-lignes pour transferts parallèles, mémoire à blocs indépendants entrelacés, additionneur ou multiplicateur supplémentaire.
- **Parallélisme par anticipation:** actions pour réduire le temps d'attente d'une unité critique (UAL, ...), e.g.,
 - recouvrir le temps d'exécution d'une instruction avec la recherche de l'instruction suivante,
 - utiliser une mémoire cache, ou transférer des données d'un périphérique vers la MP,
 - utilisation d'un pipeline (détails plus loin).
- **Parallélisme par multiplexage** (-> "simultanéité apparente"): utilisation de plusieurs unités lentes pour servir une unité rapide, e.g., système en "temps partagé" [time sharing].

2.4. Performances et parallélisme - parallélisme externe

Parallélisme externe: travail de plusieurs processeurs en liaison plus ou moins étroite.

Architecture SISD [Single Instruction (Stream) Single Data (Stream)]:

- une seule unité de commande (UC) traitant une seule séquence d'instruction [Single Instruction (Stream)];
- une seule unité d'exécution (UAL) traitant une seule séquence de données [Single Data (Stream)].

C'est l'architecture de von Neumann, strictement séquentielle, dépourvue de parallélisme externe.

Trois types possibles d'architecture "parallèle externe":

- **SIMD** [Single Instruction (Stream) Multiple Data (Stream)]: 1 UC, plusieurs UAL ou sous-unités d'UAL (esp. GPU, e.g. pour téléphones portables); tous les processeurs exécutent la même instruction simultanément; exemple: les **processeurs vectoriels** qui exécutent la même instruction sur des éléments différents d'un tableau.
- **MIMD** [Multiple Instruction (Stream) Multiple Data (Stream)], e.g., des
 - multiprocesseurs partageant une même mémoire [Shared Memory systems],
 - multiordinateurs travaillant ensemble via un réseau [Distributed Memory systems], e.g., dans un cluster.
- **MISD** [Multiple Instruction (Stream) Single Data (Stream)]: aucune implémentation connue.

Parallélisme massif: lorsque plusieurs milliers d'UCs coopèrent.

Système "pouvant passer à l'échelle" [scalable]: lorsque la capacité de calcul ou de mémoire peut être augmentée sans rencontrer de limitations en augmentant le nombre de processeurs ou de mémoires.

2.5. Performances et parallélisme - pipelining

Pipelining (d'une opération/unité complexe sur une série de données): application de sous-opérations sur la série de données, en parallèle (mais à différents stades de traitement) *comme dans le travail à la chaîne*. Cette technique est applicable à toute opération/unité, à tous les niveaux, e.g.,

- le "cycle instruction" peut être décomposé en la séquence:
chercher en mémoire l'instruction suivante,
décoder le code opération, chercher l'opérande,
activer le séquenceur ou le micro-code,
effectuer l'opération, et avancer le CO d'une unité;
- une addition peut être décomposée en la séquence:
comparer les exposants, inter-changer les mantisses si nécessaire,
les décaler, les additionner et normaliser le résultat.

Processeur vectoriel [vector processor]: UAL organisée pour (aussi) effectuer des opérations sur un vecteur [vector] (série de données); le programmeur n'a pas besoin d'utiliser des boucles quand il utilise ces opérations (instructions vectorielles); ces opérations étant souvent des opérations à virgule flottante, la performance de ces processeurs est mesurée en MFLOPS, TFLOPS ou PFLOPS.

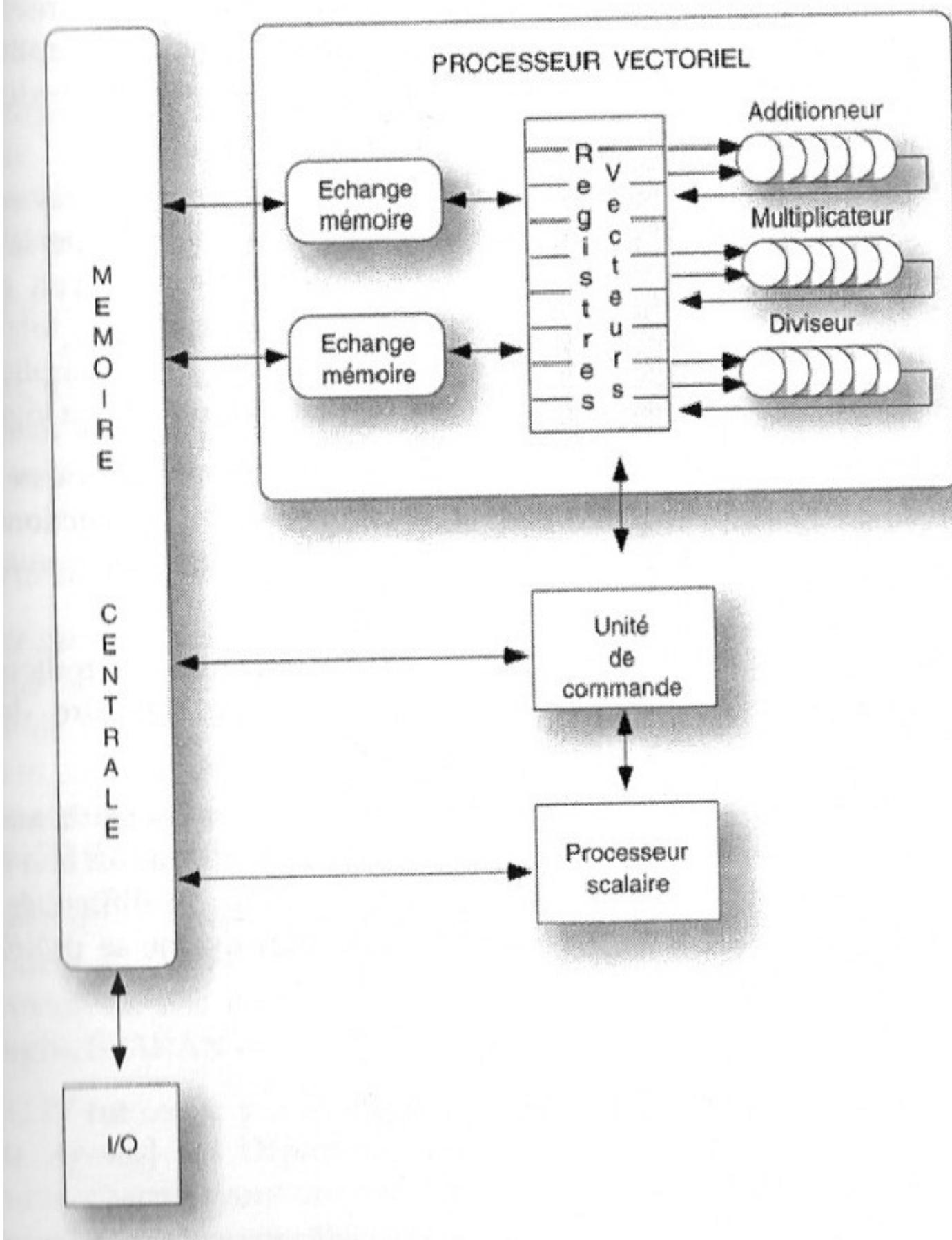
Processeur scalaire: processeur n'ayant pas d'instructions vectorielles mais seulement des instructions opérant sur des variables scalaires, i.e., des variables qui ne sont pas des vecteurs.

Registres de pipeline: blocs de registres très rapides pour stocker les vecteurs en cours de traitement (le Pentium 4 avait un "hyper-pipeline": 31 étages en 2005); même si les pipelines sont rarement utilisés à plus de 10% ou 20%, l'augmentation de vitesse [speedup] grâce à l'utilisation d'un processeur vectoriel (en plus du processeur scalaire; tous deux commandés par la même unité de contrôle) peut être d'un facteur 10 à 100.

Chaînage [chaining] de pipelines: lorsque la sortie d'une instruction vectorielle est directement réutilisée comme entrée par une autre instruction vectorielle; cela réduit les accès à la MP.

QW "ao4wooclap" sur [la page Moodle du cours](#).

2.6. Performances et //isme - processeur vectoriel



2.7. Performances et parallélisme - architectures CISC, RISC et superscalaires

Machine CISC [Complex Instruction Set Computer]: machine ayant un jeu d'instructions riche et donc ayant un certain nombre d'instructions complexes (traité via un séquenceur micro-programmé) afin de faciliter la tâche du compilateur.

A la fin des années 1970, on remarque que dans 80% des cas, un CPU n'utilise que 20% de son jeu d'instruction -> idée de limiter le jeu d'instruction.

Machine RISC [Reduced Instruction Set Computer]: machine ayant un jeu d'instructions simples effectuables en un cycle d'horloge, afin de pouvoir utiliser un format d'instruction simplifié et unique (généralement sur 32 bits) et ainsi

- utiliser un séquenceur câblé et de nombreux registres généraux, et
- effectuer certaines instructions en parallèle.

Les processeurs RISC sont ainsi plus simples et plus rapides mais les compilateurs doivent alors être plus complexes.

De nos jours, les approches CISC et RISC ont convergé: exécution d'une ou plusieurs instructions en un cycle d'horloge très rapide via des techniques de parallélisme (cache, pipeline, processeurs spécialisés, ...); tous les processeurs sont 64 bits et deviennent multicores (multiprocesseurs).

QW "ao4wooclap" sur [la page Moodle du cours](#) :

Une architecture RISC typique ...

- A) a des instructions qui s'effectuent en plus d'un cycle d'horloge
- B) a un format d'instructions unique
- C) utilise un séquenceur microprogrammé et de nombreux registres généraux
- D) les 3 dernières réponses
- E) aucune des 4 dernières réponses

Microprocesseur superscalaire: microprocesseur pouvant exécuter plusieurs instructions simultanément, e.g., une en virgule fixe, deux en virgule flottante, et une instruction de saut; ceci peut nécessiter plusieurs pipelines indépendants; pour que ceci soit utile, le compilateur doit être capable de trouver suffisamment d'instructions pouvant être exécutées en parallèle, i.e., n'ayant pas de dépendance entre leurs variables.

Optimisation du code par le compilateur:

- optimisation de l'allocation des registres, du cache et des multiples processeurs, élimination des redondances, branchements différés pour optimiser les pipelines, remplacement d'opérations lentes par des opérations rapides (e.g., certaines multiplications ou divisions par des décalages), etc. (cas amusant de l'échange de 2 variables sans variable intermédiaire)
- afin que les processeurs soient toujours alimentés en instructions, le compilateur gère les "threads" (-> simultanéité apparente d'exécution de sous-processus indépendants d'un programme), effectue de la réorganisation de code et même des prédictions de branchement (pré-chargement et pré-exécution de certaines portions de code, quitte à jeter les résultats lorsque la prédition s'avère fausse).

QW "ao4wooclap" sur la page Moodle du cours :

Un microprocesseur superscalaire ...

- A) peut exécuter plusieurs instructions simultanément
- B) peut nécessiter plusieurs pipelines indépendants
- C) nécessite une optimisation du code par le compilateur
- D) les 3 dernières réponses E) aucune des 4 dernières réponses

QW "ao4wooclap" sur la page Moodle du cours :

Une condition suffisante pour que des instructions puissent s'exécuter en parallèle est que ...

- A) elles ne travaillent pas sur de même variables ("variables communes")
- B) qu'il n'y ait pas de dépendance entre leurs variables communes
- C) qu'aucune des instructions mettent à jour les variables communes
- D) les 3 dernières réponses E) aucune des 4 dernières réponses

3.1. Matériels d'entrées/sorties - typologie, types d'imprimantes

Dispositifs d'entrée: clavier, micros, caméras, digitaliseur (numériseur) [scanner] avec/sans logiciel de "reconnaissance de caractères" [OCR: Optical Character Recognition], périphériques de biométrie (voix, yeux, empreintes, ...), etc.

Dispositifs de pointage (et donc aussi d'entrée): souris (mécanique, LED, laser), manche à balai [joystick], manette à boule [trackball], tablettes graphiques (grille pour détecter la position d'un stylet), écrans tactiles [touch-screens], etc.

Dispositifs de sortie: écran, imprimantes, traceurs de courbes [plotter], mémoires, disques, etc.

Lecteur (et parfois aussi enregistreur) de support d'identification, e.g., lecteur de codes barres ou de puces RFID [Radio Frequency Identification].

Les imprimantes utilisent des pigments/colorants des 3 couleurs primaires soustractives (cyan, magenta et jaune) [Cyan, Magenta, Yellow (CMY)].

- **Imprimante avec impact:** dont la tête d'impression frappe sur le papier;
 - imprimante à marguerite [daisy wheel], comme dans les machines à écrire,
 - imprimante matricielle (par point) [matrix/dot printer] utilisant une grille d'aiguilles actionnée par des électro-aimants.
- **Imprimante sans impact:** imprimante thermique, imprimante à jet d'encre liquide/solide, imprimante à laser.

3.2. Matériels d'entrées/sorties - écrans et couleurs

Pixel (contraction de "PICTure ELEMent"): point élémentaire d'un écran ou d'une image.

Exemple de question d'évaluation: **Sachant qu'un pixel est défini par 3 couleurs qui se composent, combien de couleurs peut-on obtenir si l'intensité de chacune de ces 3 couleurs est codée avec 2 bits ?**

- A) 12 B) 16 C) 32 D) 64 E) aucune des 4 dernières réponses

Écran monochrome: composé de pixels ne pouvant qu'être allumés ou éteints (-> image binaire).

Image binaire [bitmap]: chaque pixel est représenté par un seul bit (-> allumé ou éteint).

Écran à niveau de gris (image pixmap): chaque pixel est représenté par 8 bits afin de pouvoir coder 256 niveaux de gris.

Écran couleur: chaque pixel de l'écran est composé de trois points/triangles/bandes de phosphore, respectivement rouge, vert et bleu.

Écran couleur 8 bits: chaque pixel de la "mémoire image" de l'écran a 8 bits; une "table des couleurs" [color lookup table] fait correspondre une couleur particulière à chacune des 256 valeurs possibles.

Écran couleur 24 bits [True Color]: chaque pixel de la "mémoire image" de l'écran a 24 bits (8 bits par couleur primaire additive: rouge, vert et bleu); sur un écran, pour obtenir des "niveaux de gris", il faut que les valeurs pour ces 3 couleurs primaires soient égales (e.g., pour un gris à mi-chemin entre le noir et le blanc: valeur du rouge = valeur du vert = valeur du bleu = 128); il y a donc 2^8 (= 256) niveaux de gris possibles.

Couleurs primaires pour la synthèse soustractive. Les couleurs cyan, magenta et jaune [Cyan, Magenta, Yellow -> CMY]) sont les [couleurs primaires](#) pour la **synthèse soustractive** de couleurs, i.e., pour la combinaison de l'absorption par des surfaces (papier, ...) des ondes lumineuses ayant certaines longueurs d'onde (les ondes lumineuses qui ne sont pas absorbées sont réfléchies, d'où la couleur de ces surfaces). Ce sont donc les couleurs primaires utilisées pour la peinture et l'imprimerie mais pas pour les écrans. Une surface blanche diffuse (alias, réfléchit, renvoie) toutes les couleurs (i.e., toutes les ondes lumineuses). Une surface rouge absorbe une bonne part des ondes lumineuses bleu et jaune de la lumière blanche et renvoie les ondes lumineuses rouge (cette surface apparaît donc rouge). Une surface noire absorbe toutes les couleurs. Mélanger des colorants rouge et bleu sur une surface va engendrer l'absorption des ondes lumineuses jaunes qui font partie de la lumière blanche.

Couleurs primaires pour la synthèse additive. Les couleurs bleu, rouge et vert [Blue, Red, Green -> RGB] sont les [couleurs primaires](#) pour la **synthèse additive** des lumières colorées. Ce sont donc les couleurs primaires des luminophores et les écrans. Elles sont primaires car elles ne sont pas composées d'autres couleurs et les combiner permet de créer toutes les autres couleurs. Ainsi, la synthèse additive de ces trois couleurs donne du blanc : combiner les longueurs d'onde de lumières rouge, verte et bleu permet de couvrir toutes les longueurs d'ondes de la lumière blanche. L'absence de couleur (et donc de lumière) donne du noir.

Parmi les modèles pour [encoder de telles couleurs](#), il y a le modèle RGB et le modèle HSL/HLS/HSV (Hue, Saturation, Lightness/Brightness/Value : teinte, saturation, luminosité). [Javascript a des fonctions utilisant ces modèles.](#)

Capteurs de couleurs dans les yeux humains : essentiellement, 1) les bâtonnets qui captent l'intensité lumineuse, 2) trois types de cônes qui captent les photons dans des bandes de longueur d'onde correspondant respectivement au bleu, au rouge et au vert (approximativement). Cela permet de capter l'ensemble des longueurs d'onde du spectre lumineux visible: du violet proche de l'ultra-violet (~380 nano-mètre; ~800 teraHz en fréquence) au rouge proche de l'infra-rouge (~620 nm ; ~480 THz en fréquence).

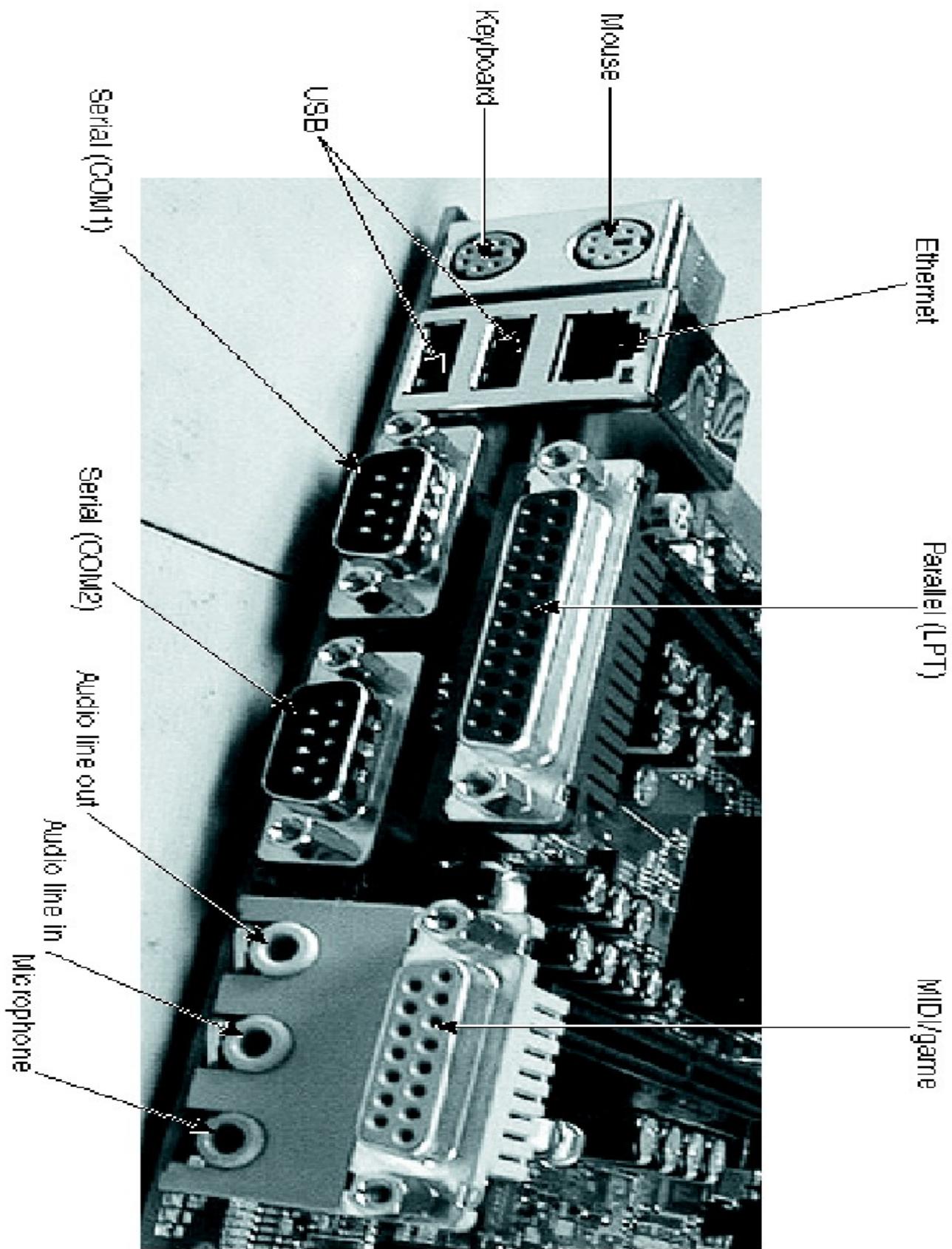
Résolution d'écran: nombre de pixels de l'écran, représenté via le nombre de pixels par ligne – ou de **points/pixels par pouce (ppp)** [**dot per inch (dpi)**] – et le nombre de lignes, e.g., 640*480, 1024*768, 1280*1024 et 1600*1200.

Standard/mode d'affichage: spécifie (et donc permet de choisir) des résolutions d'écran selon les possibilités de la carte vidéo; par exemple, SVGA [Super Video Graphics Array] permet d'utiliser les 4 dernières résolution citées.

Types d'écran :

- **Écran cathodique:** composé d'un écran vidéo TRC [cathode Ray Tube]; un filament incandescent émet des électrons qui sont accélérés, focalisés et projetés vers l'écran; les standards imposent que les pixels doivent être ré-éclairés ("rafraîchis") au moins 70 fois par secondes afin d'obtenir une image persistante; dans les écrans couleurs, trois faisceaux d'électrons excitent chacun une couche de luminophores (particules de phosphore) de couleurs différentes (rouge, vert ou bleu).
- **Écran plat:** écran à cristaux liquides [Liquid Crystal Display (LCD)] (seul type d'écran pat à ne pas émettre de la lumière et pouvant donc être rétro-éclairé), écran 3D, écran plasma [Plasma Display Panel (PDP)], écran à effet de champ (de lumière) [Field Emission Display (FED)], écran OLED [Organic Light Emitting Diode].

3.3. Matériels d'entrées/sorties - connecteurs arrières



4.1. Architectures/procédures d'E/S - les interruptions

Le CPU peut connaître l'état d'une unité périphérique via les drapeaux [flags] (bits) du "registre d'état" de cette unité. Toutefois, le CPU doit alors souvent "scruter" tous les drapeaux de tous les périphériques (e.g., pour savoir si un transfert est fini).

Il est plus efficace d'utiliser un système d'interruptions.

Interruption [interrupt]: signal électronique envoyé au CPU (sur son entrée IRQ [Interrupt ReQuest]) par une unité fonctionnelle (e.g., un contrôleur de périphérique) ; lorsqu'il détecte ce signal, le CPU

- arrête le programme en cours à la fin de l'opération courante lorsqu'il voit que le bit IRQ est à 1 ;
- sauve l'état de la machine (les registres utilisés et le contenu du vecteur d'état : cf. ci-dessous) dans d'autres registres (pour ce qui est des registres utilisés) et dans une mémoire cache ;
- exécute le programme de traitement de l'interruption; lorsque celui-ci est fini:
- rétablit l'état de la machine et reprend l'exécution du programme interrompu.

Les interruptions (ou au moins leur mécanisme général ci-dessus) sont souvent l'objet de questions lors de questions d'interviews de recrutement.

Vecteur d'état (alias descripteur/image de processus): zone mémoire où sont stockées les informations essentielles sur le programme en cours d'exécution, par exemple, son identificateur, sa priorité, ses besoins en ressources, son statut (e.g., s'il est maître du CPU, s'il est chargé en mémoire, ...), etc.

Les **causes d'une interruption** sont indiquées dans le vecteur d'état qui est donc consulté par le programme de traitement de l'interruption à moins que chaque type d'interruption soit directement associée à l'adresse d'un programme spécifique.

Exemple de cause d'**interruption interne** (au CPU): dépassement de capacité, code opération inexistant, erreur d'adressage, utilisation non autorisée d'instruction privilégiée, panne de courant.

Cause d'**interruption externe** (au CPU): "matérielles" (système d'entrée-sortie indiquant par exemple au CPU son état ou la fin d'un transfert de données) ou "logicielles" (demande du programme en cours d'exécution, e.g., demande de privilège "SYSTEM").

Système d'interruption hiérarchisé [priority interrupt system]

- (-> niveaux d'interruption de priorités différentes): résout
- l'arrivée de plusieurs signaux d'interruption pendant une instruction,
 - l'arrivée d'un signal d'interruption pendant l'exécution d'un programme d'interruption.

Pour chaque programme, un bon système d'interruption doit permettre au programmeur de

- **invalider/activer** [disable/enable] en bloc le système d'interruption ;
- **masquer/démasquer** chaque (type d')interruption individuellement ; une interruption masquée est prise en considération lorsque démasquée ;
- **armer/désarmer** chaque (type d')interruption individuellement ; une interruption désarmée est ignorée. *Note sur cette définition et la précédente : il s'agit de définitions classiques (e.g. cf. ce slide) et leur analyse est simple, e.g., la 1ère définition implique que l'interruption est mémorisée (cela est parfois précisé dans la définition mais rarement car cela est évident) alors que la 2nde définition (et son opposition à celle de la 1ère notion) implique que l'interruption n'est pas mémorisée (faire une action – qui plus est, une action de mémorisation – en réaction à une interruption, n'est pas l'ignorer). Rappels : i) vous devez analyser ce que vous lisez et ce cours (comme d'autres cours à l'université) doit évaluer votre esprit d'analyse, ii) si vous pensez que certains points d'un cours sont ambigus, il vous faut les signaler à l'enseignant du cours aussitôt que possible et bien sûr avant d'être interrogé sur ces points, e.g. avant que des questions de TD portant sur ces points vous soient posées.*
- **définir des niveaux de priorité** entre les types d'interruption ;
- **associer un programme** à chaque type d'interruption ;
- **utiliser une instruction de sauvegarde/rétablissement de l'état de la machine.**

4.2. Architectures/procédures d'E/S - le DMA

Contrôleur d'accès direct à la MP [Direct Access Memory (DMA)]:

- utilisé dans les ordinateurs (en particulier les petits) pour permettre aux périphériques d'accéder à la MP sans passer par le CPU; pour cela, il prend la place du CPU entre le(s) contrôleur(s) de périphérique(s) et le bus système; le DMA est prioritaire sur le CPU pour l'accès à la MP;
- le CPU indique au DMA quel bloc de données le DMA doit envoyer à (ou recevoir de) un périphérique et le DMA s'en charge.

Le DMA est doté d'un registre de données, d'un registre d'adresse (incrémenté après chaque octet transféré) et d'un compteur (décrémenté après chaque octet transféré); lorsque le compteur tombe à zéro, le DMA signale au CPU que le transfert de données est terminé. Les erreurs de transfert sont détectées par le contrôleur de périphérique.

Vol de cycle CPU par le DMA: temps d'attente (généralement un cycle) par le CPU pour accéder au bus.

QW "ao4wooclap" sur la page Moodle du cours :

Un contrôleur d'accès direct à la mémoire principale ...

- A) prend la place du CPU entre le(s) contrôleur(s) de périphérique(s) et le bus système
- B) peut effectuer un "vol de cycle" au CPU
- C) peut exécuter des programmes
- D) au moins 2 des 3 dernières réponses
- E) aucune des 4 dernières réponses

4.3. Architectures/procédures d'E/S - canal d'entrées/sorties

Canal d'E/S: processeur spécialisé (plus performant qu'un DMA) et capable d'exécuter des programmes d'E/S; utilisé dans les ordinateurs (en particulier les gros) à la place ou en plus d'un DMA quand il y a un grand nombre de périphériques; deux types:

- **Canal sélecteur:** réservé à un périphérique (rapide donc, e.g., les disques)
- **Canal multiplexé:** pour plusieurs périphériques; chaque sous-canal est activé à tour de rôle pour le transfert d'un octet ou d'un bloc

Les gros ordinateurs [mainframes] ont de nombreux canaux - parfois des dizaines - appelées de diverses manières, e.g., processeurs d'E/S, processeur périphérique, processeur frontal.

QW "ao4wooclap" sur la page Moodle du cours :

Un canal d'entrée/sorties sélecteur ...

- A) gère un seul périphérique
- B) est multiplexé
- C) active chaque sous canal pour le transfert d'un octet ou d'un bloc
- D) au moins 2 des 3 dernières réponses
- E) aucune des 4 dernières réponses

5. Exemples de questions de QCM pour cette partie

1. Un semi-conducteur ...

- A) a généralement 5 électrons sur la couche périphérique de ses atomes
- B) est isolant à haute température
- C) est conducteur à très basse température
- D) les 3 dernières réponses
- E) aucune des 4 dernières réponses

2. Une diode ...

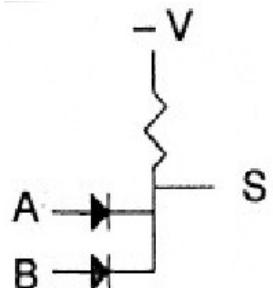
- A) est composée de 2 régions adjacentes, l'une de type P, l'autre de type N
- B) ne laisse passer les électrons que dans le sens N->P
- C) laisse passer les électrons de la région N vers la région P car les électrons surabondants de la région N sont attirés vers l'anode via par la région P (où ils peuvent s'insérer dans les "trous d'électrons" de la région P) et sont remplacés par les électrons provenant de la cathode
- D) les 3 dernières réponses
- E) aucune des 4 dernières réponses

3. Un transistor ...

- A) est un composant électronique à la base de tout circuit électronique actuel
- B) peut être utilisé comme commutateur ou amplificateur
- C) peut être utilisé à la place de diodes ou de résistances
- D) les 3 dernières réponses
- E) aucune des 4 dernières réponses

4. Le circuit suivant peut être interprété comme effectuant l'opération ...

- A) AND si 0 volt est interprété comme Faux et -V volts comme Vrai (→ "logique positive")
- B) AND si interprété en "logique négative"
- C) OR si interprété en "logique positive"
- D) NOR si interprété en "logique négative"
- E) aucune des 4 dernières réponses



5. Le vecteur d'état d'un processus peut indiquer si le processus ...

- A) vient d'effectuer une division par zéro
- B) est chargé en mémoire
- C) a un identificateur
- D) au moins 2 des 3 dernières réponses
- E) aucune des 4 dernières réponses

6. TD pour cette partie 4 du cours d'A.O.

I. Questions sur la partie "composants électroniques"

- 1) **Questionnaire:** indiquez si chaque affirmation ci-dessous est vraie ou fausse, et justifiez. Note: pour les transistors unipolaires, le cours demande de consulter le Web; la question h teste si cela a été fait.
- a) un semi-conducteur est un corps qui laisse passer le courant que dans un seul sens
 - b) un corps isolant est un corps dont les atomes ont leur couche périphérique saturée
 - c) une diode est toujours composée de semi-conducteurs
 - d) le dopage d'un semi-conducteur consiste à introduire des atomes étrangers dans une structure cristalline telle que le silicium, sans modifier cette structure
 - e) un transistor bipolaire est un transistor à jonctions
 - f) un transistor bipolaire est un amplificateur de tension
 - g) un circuit intégré est un microprocesseur
 - h) les transistors unipolaires sont plus rapides que les transistors bipolaires
 - i) les circuits de base (ET, OU, ...) n'ont qu'une implémentation possible
 - j) un circuit OU peut aussi être considéré comme un circuit ET.

2) Circuits

4. Réaliser un circuit ET ("interprétation en logique positive") avec des diodes
5. Réaliser un circuit NOR à 2 entrées avec des transistors PNP
6. Expliquer le fonctionnement du circuit de la figure 6.17, avec la convention : état 0 = 0 volt, état 1 = -v volt
7. Expliquer le fonctionnement du circuit de la figure 6.18, avec la convention : état 0 = 0 volt, état 1 = +v volt

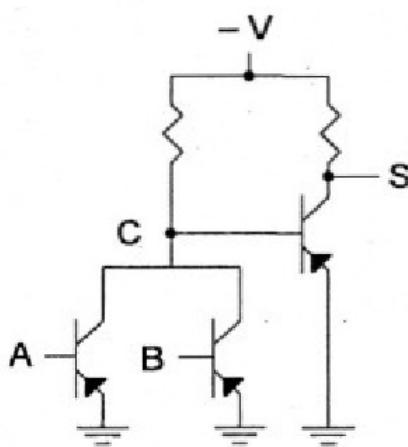


Figure 6.17 : Circuit de l'exercice 6

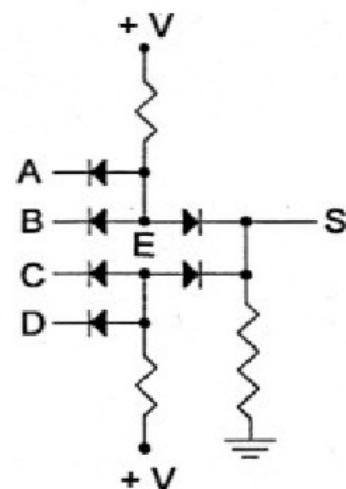


Figure 6.18 : Circuit de l'exercice 7

II. Questions sur les parties "entrées/sorties"

5. si, dans un écran ou dans un fichier image, toute couleur est définie par trois composantes primaires et que l'intensité de chacune des composantes primaires est définie par 3 bits, combien y a t-il de couleurs ?
6. quelle est la taille d'un fichier contenant une image de 11x8,5 pouces si la digitalisation s'est effectuée avec une précision de soit 72dpi, soit 300 dpi [dots per inch] (points par pouce) et en utilisant une "dynamique" (nombre de bits utilisés pour coder un point) de soit 8 bits, soit 24 bits ?
7. qui est prioritaire lors d'un accès simultané à la mémoire par le CPU et le DMA ?
8. où réside le programme canal, et par qui est-il exécuté ?
9. une interruption désarmée est-elle ignorée ?
10. une interruption masquée est-elle ignorée ?
11. lorsque le CPU reçoit une interruption, s'arrête t-il immédiatement ?
12. peut-on interrompre le programme de traitement d'une interruption ?
13. en quoi consiste la sauvegarde de l'état de la machine ?

Ce sujet de TD étant court, plus de questions Wooclap seront posées dans au moins 1 des 2 TDs relatifs à cette partie 4 du cours.

Relations entre différents points des parties P1 à P5 du cours :

Artefacts	Techniques
programmes applicatifs S.E. et réseaux (P5) langages, interpréteurs et compilateurs (P2) microprocesseurs (P2, P4) circuits (P3) portes logiques (P3, P4) transistors (P4)	programmation, logique et parallélisme (P5) théorie des langages, parallélisme (P4) parallélisme (P2) numération (P1), logique, parallélisme logique (P3), parallélisme électronique, parallélisme