



ÉLECTRONIQUE ET COMPOSANTS DES SYSTÈMES

CHAPITRE 3: MÉMOIRES

Dr. Boudebza Souaad

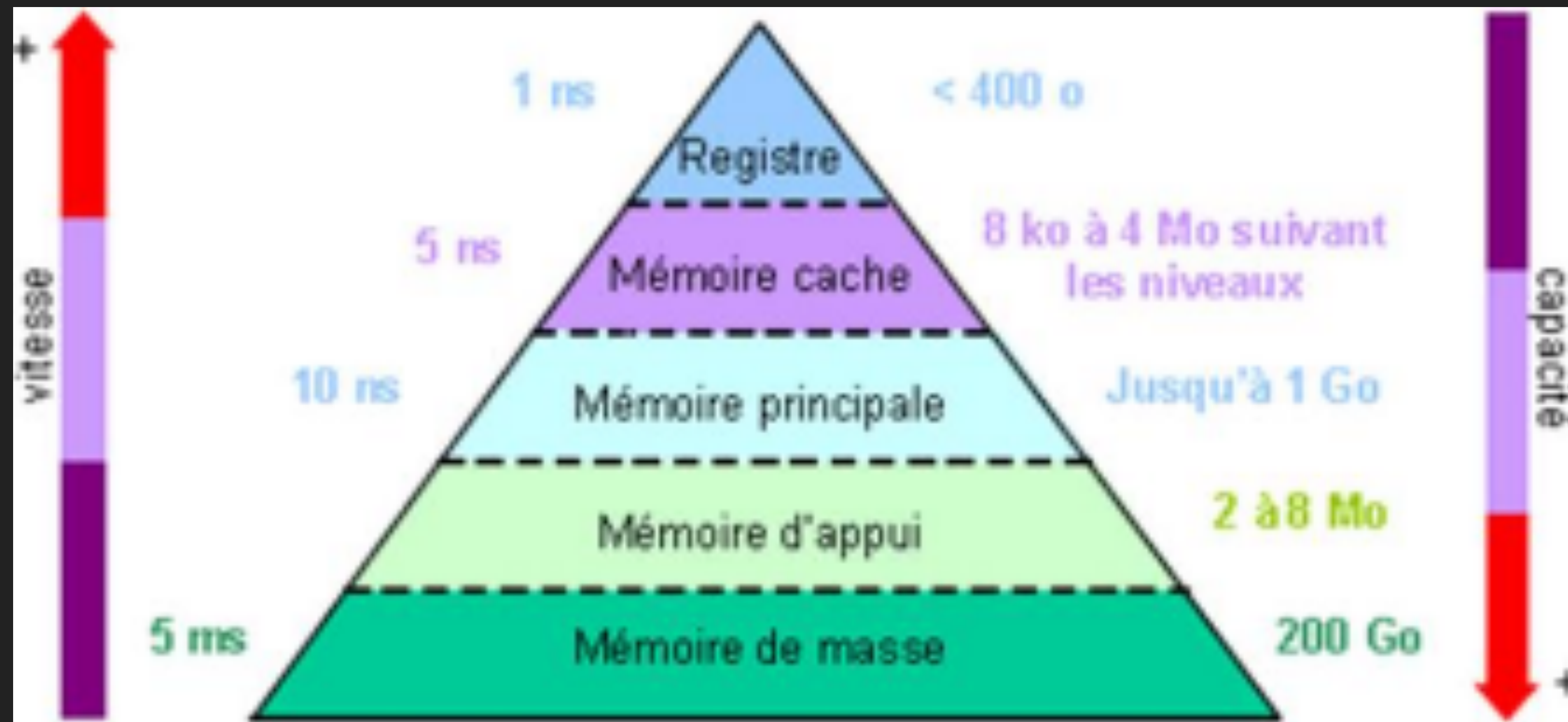
souad.boudebza@univ-jijel.dz

Site du cours: <https://sites.google.com/esi.dz/ecs-site/accueil>

- ▶ Hiérarchie des mémoires
- ▶ Mémoire à semi-conducteur
- ▶ Disque dur

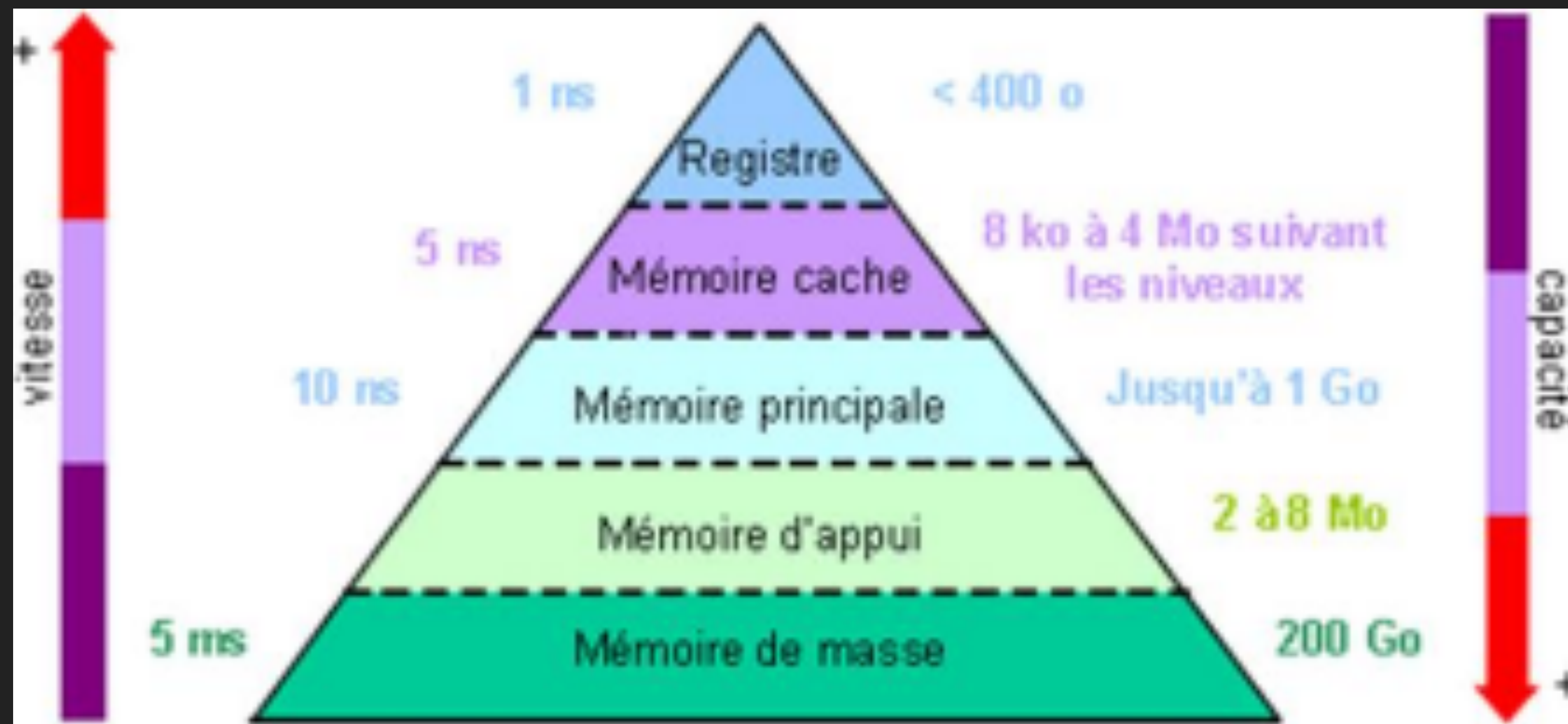
HIÉRARCHIE DES MÉMOIRES

- ▶ Les éléments de mémoire d'un ordinateur se répartissent en plusieurs niveaux caractérisés par leur capacité et leur temps d'accès.
- ▶ Types de mémoire et la hiérarchie qui existe entre les niveaux:



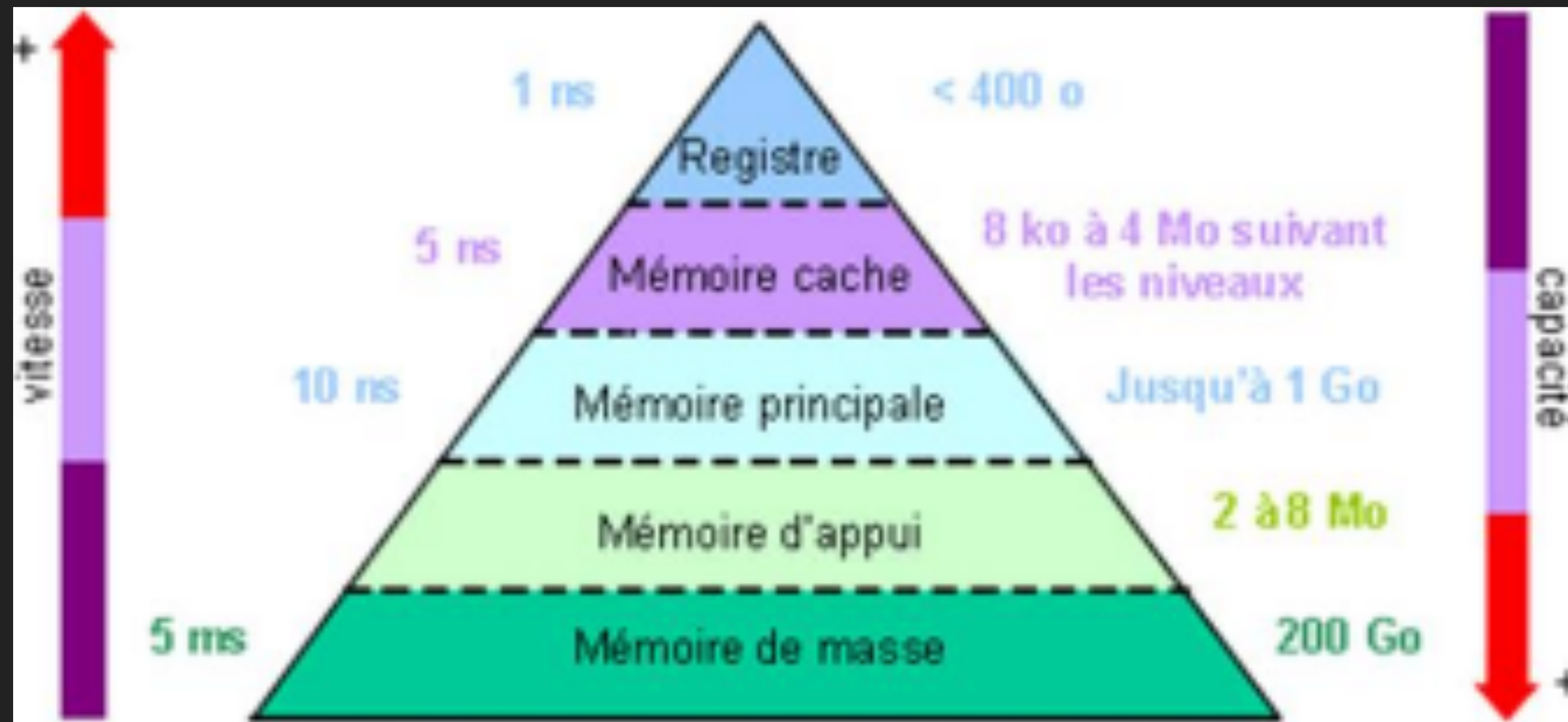
HIÉRARCHIE DES MÉMOIRES

- **Les registres:** éléments de mémoire qui sont situés dans le CPU. Ils sont caractérisés par une grande vitesse et servent principalement pour le stockage des opérandes et des résultats intermédiaires.



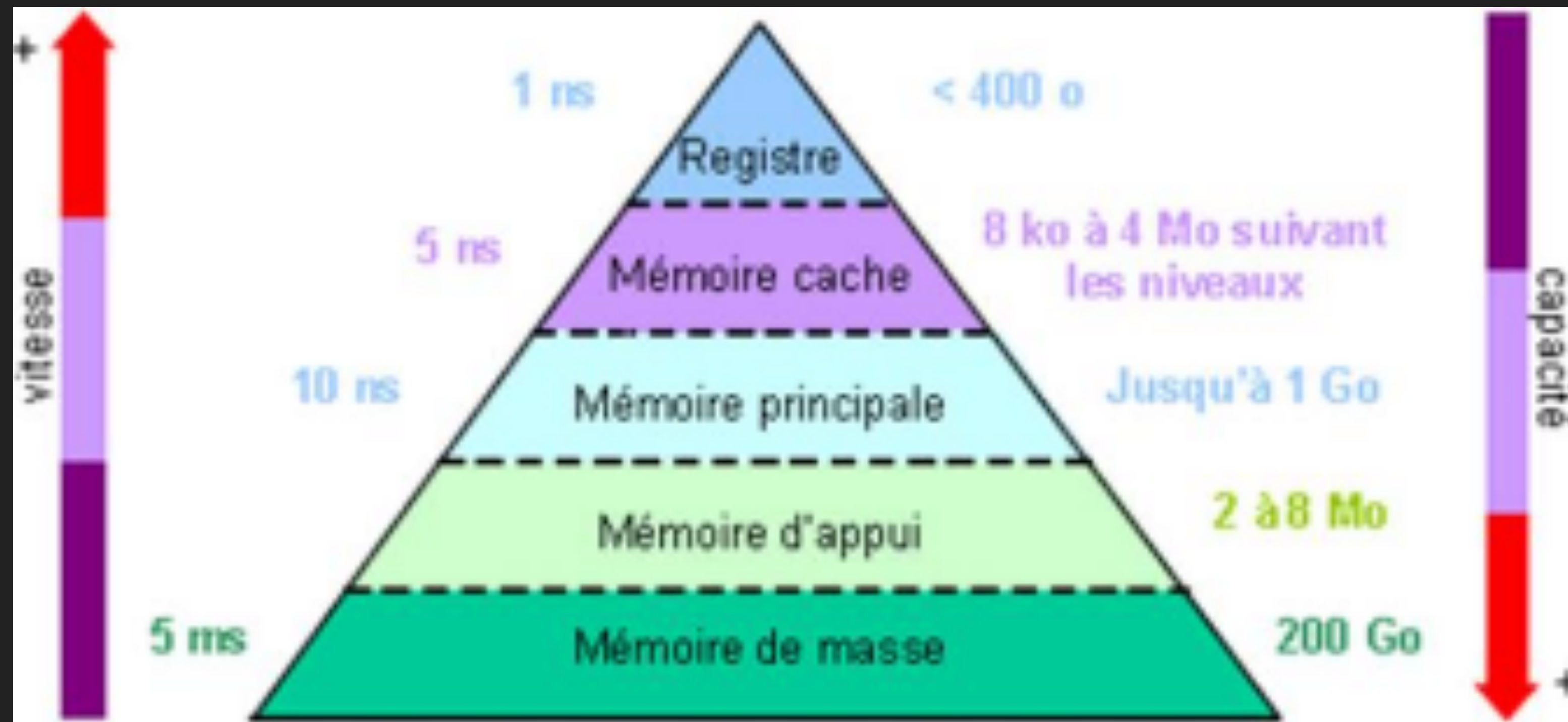
HIÉRARCHIE DES MÉMOIRES

- **Les mémoires caches:** est une mémoire rapide de faible capacité (par rapport à la mémoire centrale) utilisée comme mémoire tampon entre le CPU et la mémoire principale. Cette mémoire permet au CPU de faire moins d'accès à la mémoire principale et ainsi gagner du temps.



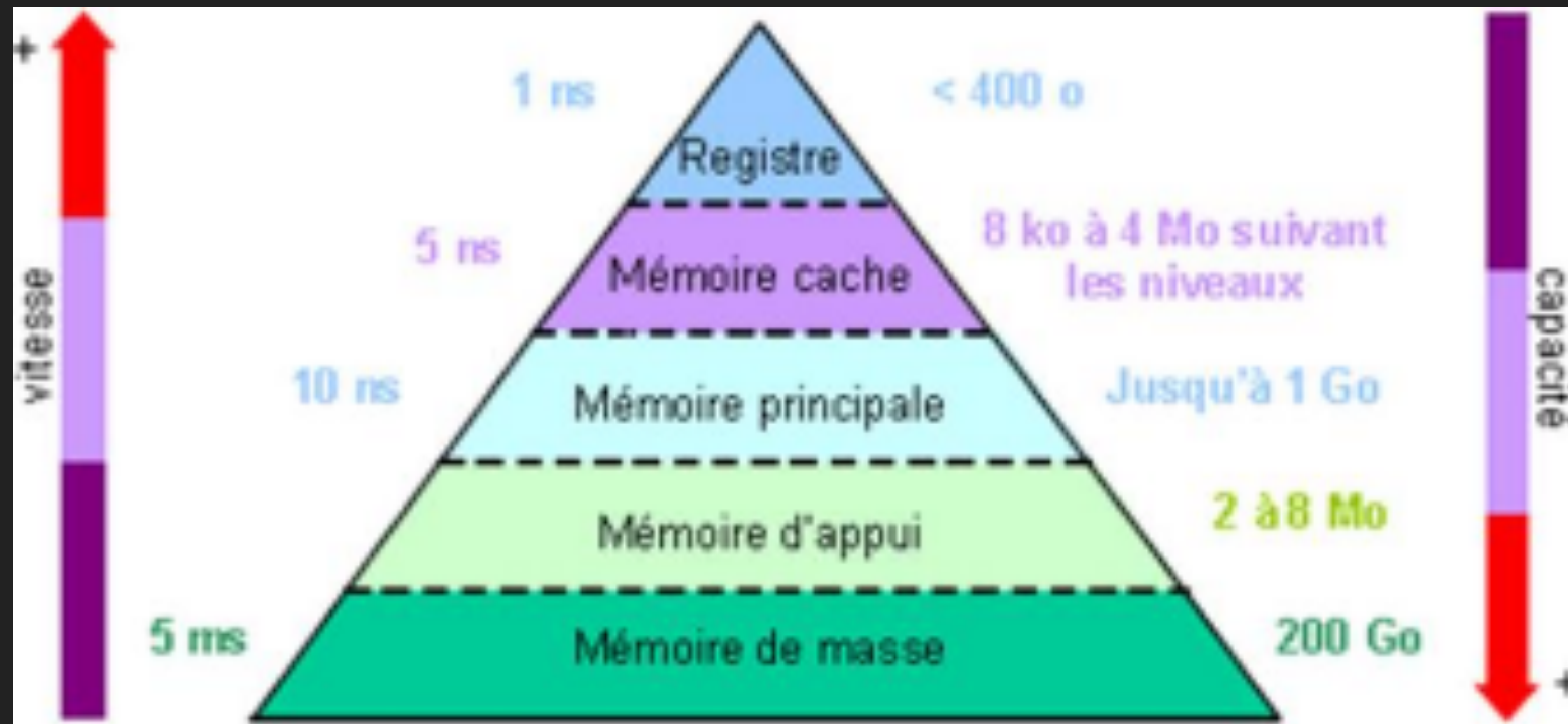
HIÉRARCHIE DES MÉMOIRES

- **La mémoire centrale:** est l'organe principale du rangement des informations utilisées par le CPU. Pour exécuter un programme il faut le charger en mémoire centrale. Cette mémoire est une mémoire à semi-conducteurs, mais son temps d'accès est beaucoup plus grand que celui des registres et du cache.



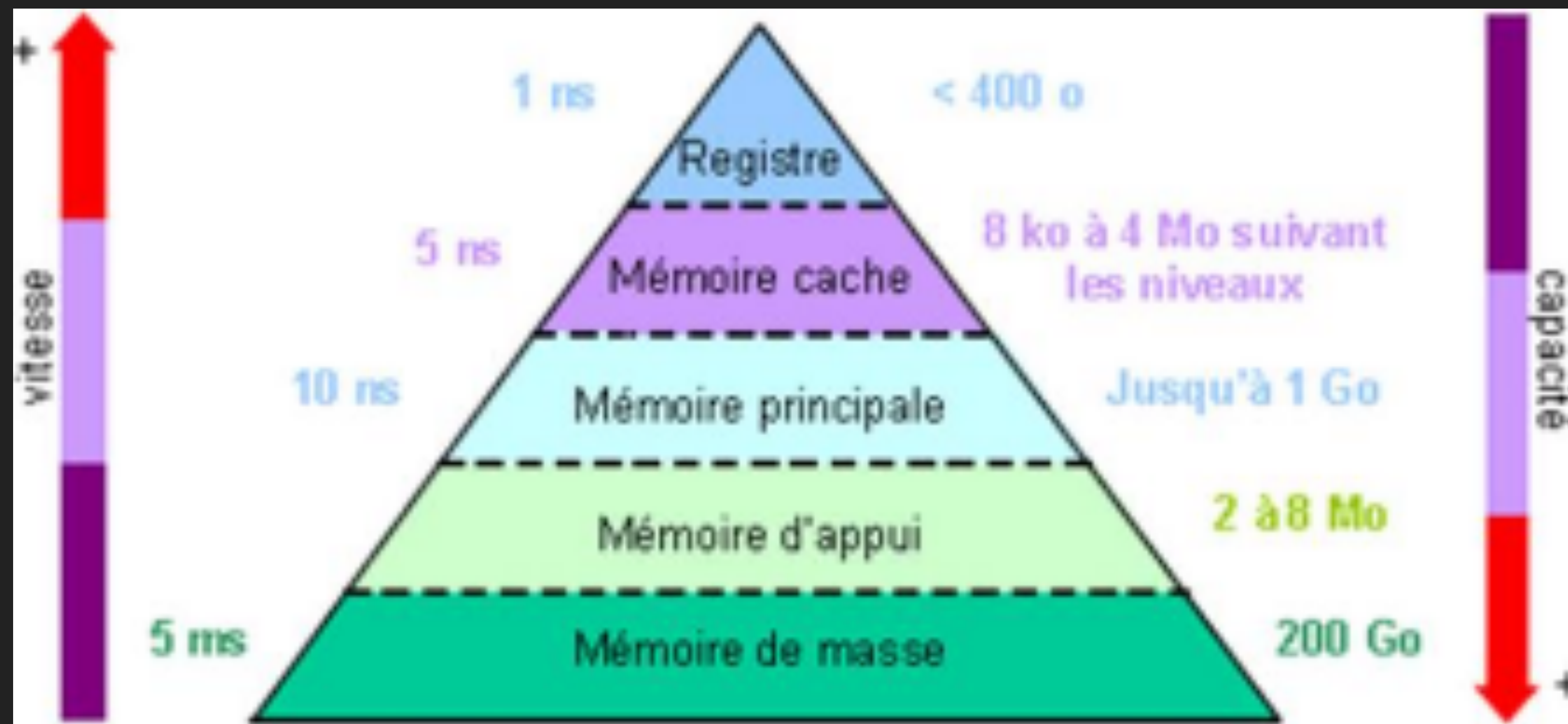
HIÉRARCHIE DES MÉMOIRES

- **La mémoire d'appui:** sert de mémoire intermédiaire entre la mémoire centrale et les mémoires de masse. Elle joue le même rôle que la mémoire cache. Elle est présente dans les ordinateurs les plus évolués et permet d'augmenter la vitesse d'échange entre la mémoire centrale et les mémoires de masse.



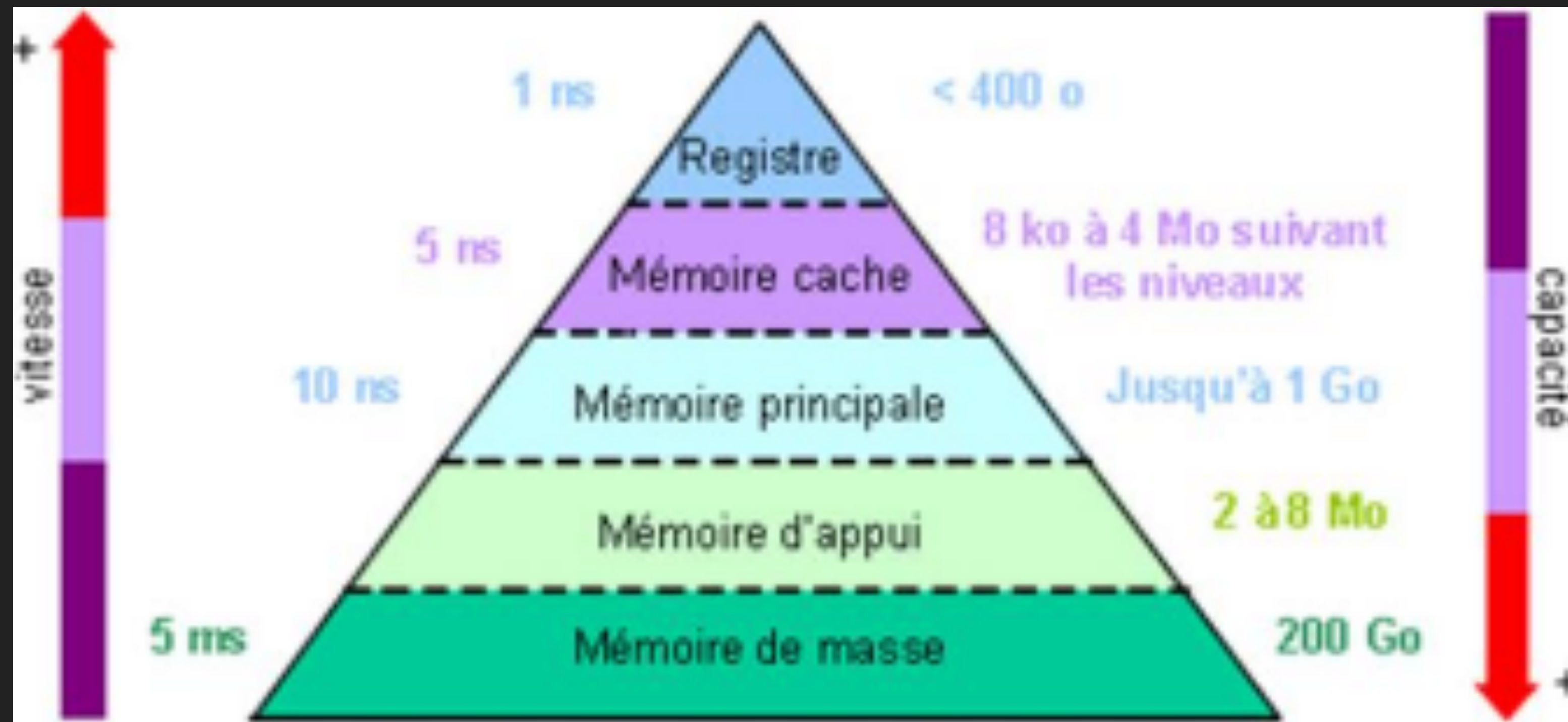
HIÉRARCHIE DES MÉMOIRES

- **La mémoire de masse (auxiliaire):** mémoire périphérique de grande capacité de stockage et de coût relativement faible utilisée aussi pour le stockage permanent des informations, et utilisent pour cela des supports optiques ou magnétiques.



HIÉRARCHIE DES MÉMOIRES

- ▶ Quand on s'éloigne du CPU vers les mémoires de masse, on constate que le temps d'accès et la capacité des mémoires augmentent, mais que le coût par bit diminue.



MÉMOIRES À SEMI-CONDUCTEUR

- ▶ Depuis le début des années 70, les mémoires à semi-conducteurs constituent les éléments de base de toutes mémoire centrale.
- ▶ Types de mémoires à semi-conducteurs:
 - ▶ Les mémoires vives
 - ▶ Les mémoires mortes
 - ▶ Les mémoires caches

MÉMOIRES À SEMI-CONDUCTEUR

Les mémoires vive

- ▶ La RAM (Random Access Memory) ou mémoire vive est une mémoire:
 - ▶ À accès directe ou à accès aléatoire : les informations ont une adresse propre. Le temps d'accès à l'information est indépendant de sa place en mémoire.
 - ▶ Volatile : la conservation de son contenu nécessite la permanence de son alimentation électrique.
 - ▶ Ayant un temps d'accès moyen mais plus rapide que les mémoires magnétiques .
 - ▶ De capacité limitée mais il y a toujours une possibilité d'une extension.

MÉMOIRES À SEMI-CONDUCTEUR

Les mémoires vive

- ▶ Il existent deux grandes familles des mémoires vives :
 - ▶ SRAM (Static RAM) pour mémoire statique
 - ▶ DRAM (Dynamic RAM) pour mémoire dynamique

MÉMOIRES À SEMI-CONDUCTEUR

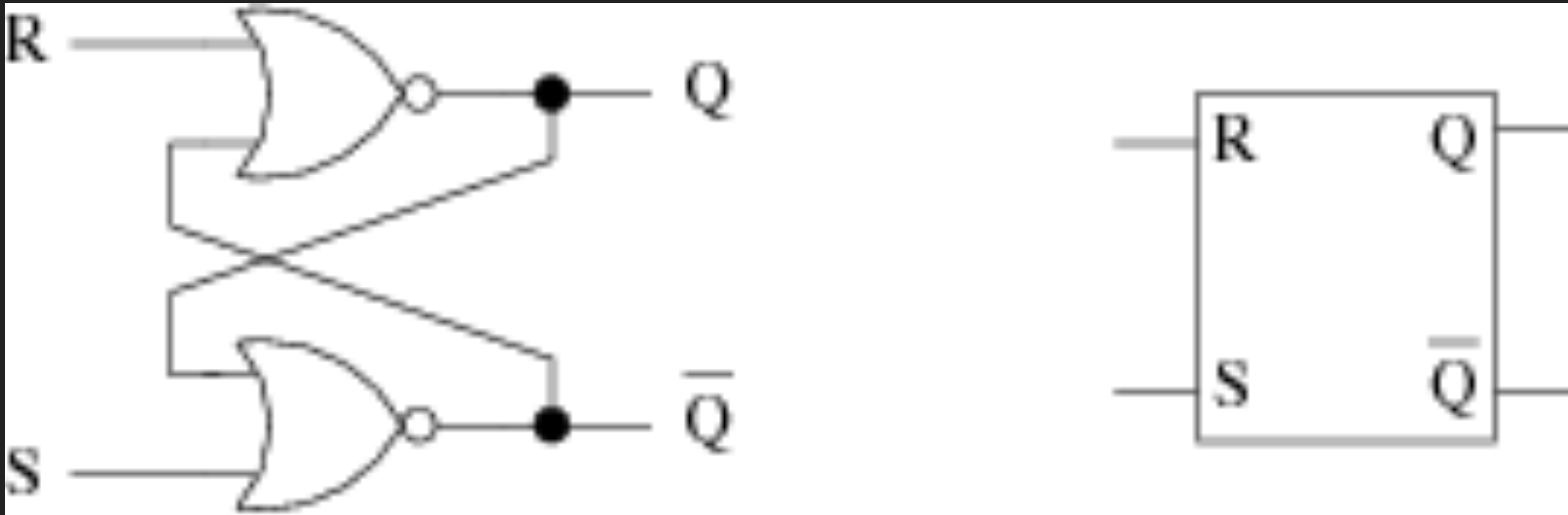
La SRAM (Static RAM)

- ▶ C'est une mémoire vive statique dont chaque point mémoire est composé d'une bascule.
- ▶ Elle nécessite en principe quatre à six transistors, car un bistable (basculer) est constituée de deux portes logiques NOR et chaque porte NOR est constituée de deux transistors.
- ▶ C'est une mémoire très rapide.

MÉMOIRES À SEMI-CONDUCTEUR

La SRAM (Static RAM)

- Structure d'une SRAM contenant une cellule qui stock un bit



MÉMOIRES À SEMI-CONDUCTEUR

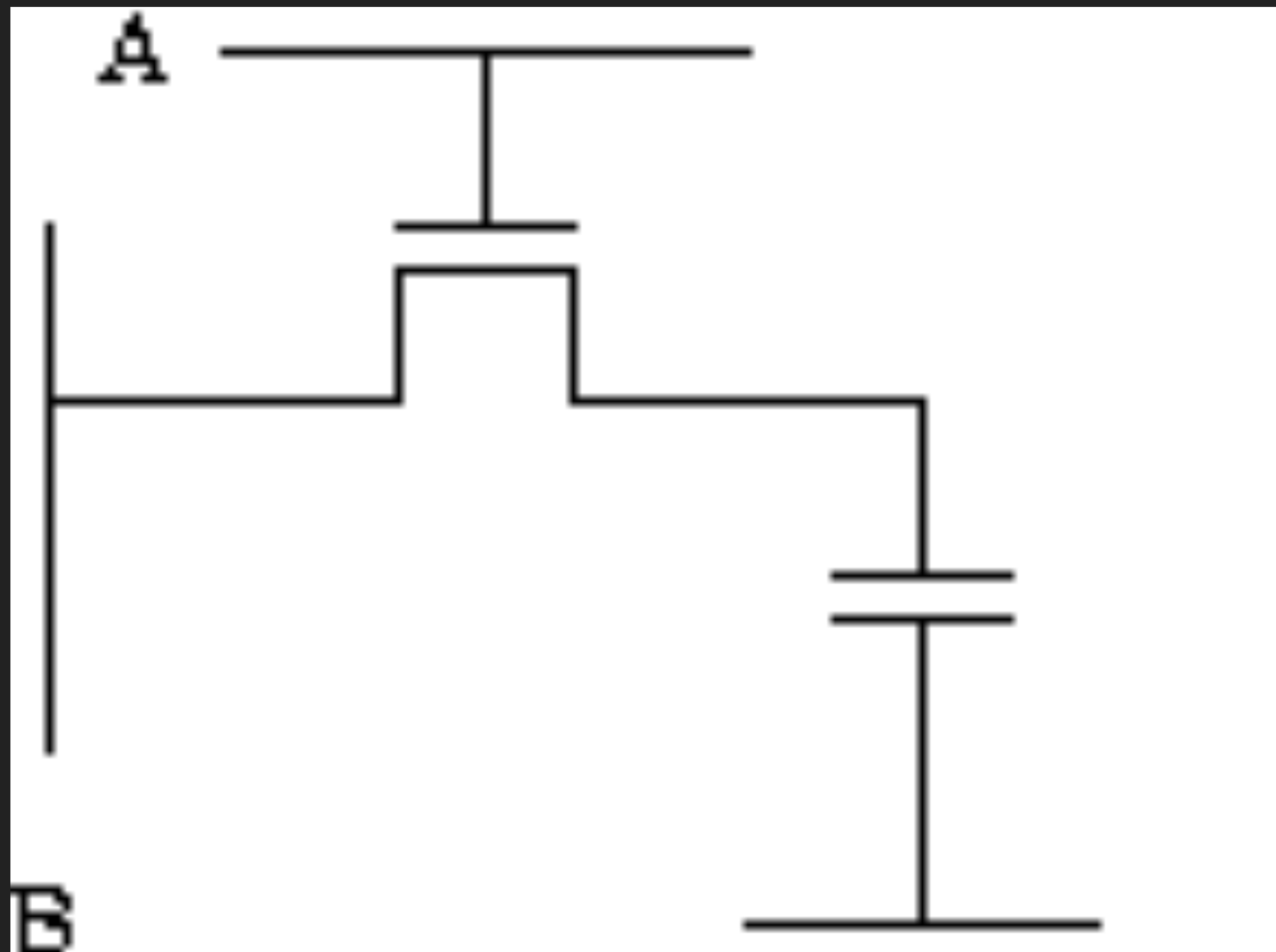
La DRAM (Dynamic RAM)

- ▶ C'est une mémoire vive dynamique dont une cellule mémoire est constituée d'un transistor couplé à un condensateur.
- ▶ Les données sont stockées sous forme de charge sur des condensateurs dont l'information doit être rafraîchie périodiquement (par exemple toutes les quelques millisecondes).
- ▶ On interprète la présence ou l'absence de charge sur un condensateur sous forme de 1 ou de 0.
- ▶ Le condensateur se décharge progressivement, entraînant la perte d'information. Donc les DRAM ont besoin d'un rafraîchissement: il faut périodiquement lire le signal (la charge du condensateur), l'amplifier et la réécrire afin de maintenir le stockage des données.

MÉMOIRES À SEMI-CONDUCTEUR

La DRAM (Dynamic RAM)

- Structure d'une DRAM contenant une cellule qui stock un bit



- La ligne A est appelée *ligne de commande* ou *ligne d'adresse*.
- La ligne B est la *ligne de donnée* sur laquelle est lu ou écrit le bit d'information.

MÉMOIRES À SEMI-CONDUCTEUR

Types de RAM

► Différence entre SRAM et la DRAM:

Mémoire dynamique	Mémoire statique
Utilise 1 transistors et un condensateur pour stocker un bit	Utilise 4 à 6 transistors pour stocker un bit
Grande densité d'intégration	Petite densité d'intégration
Bon marché	Chère
Lente (temps d'accès de 60 à 120 ns)	Rapide (temps d'accès de 6 à 25 ns)
Mécanisme de rafraîchissement	Pas besoin de rafraîchissement
Utilisée dans la mémoire principale	Utilisée dans la mémoire cache

MÉMOIRES À SEMI-CONDUCTEUR

Les mémoires mortes

- ▶ La mémoire morte est une mémoire non volatile (permanante): elle n'a pas besoin d'une source d'alimentation pour conserver les données.
- ▶ Elle N'autorise (en général) que la lecture de données: l'écriture étant soit impossible, soit possible sous des conditions particulières.
- ▶ C'est une mémoire microprogrammée: dans certaines mémoires les données sont introduites lors du processus de fabrication, dans d'autres cas, les les données peuvent être introduites électriquement par un fournisseur ou un client.
- ▶ Elle contient les informations nécessaires au bon fonctionnement interne d'un ordinateur ou d'un périphérique (routines systèmes, paramètres de configurations).

MÉMOIRES À SEMI-CONDUCTEUR

Les mémoires mortes

- ▶ On distingue plusieurs types de mémoires mortes:
 - ▶ ROM
 - ▶ PROM
 - ▶ EPROM
 - ▶ EEPROM
 - ▶ Mémoire flash

MÉMOIRES À SEMI-CONDUCTEUR

ROM (Read Only Memory)

- ▶ C'est une mémoire non volatiles où l'on peut lire uniquement, l'écriture étant impossible. Les données sont programmées lors du processus de fabrication. Cette opération engendre deux problèmes :
 - ▶ Coût de réalisation élevé ce qui impose une fabrication en grandes séries.
 - ▶ Il n'y a pas de place à l'erreur: si un bit est faut tout le lot est inutilisable

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">▶ Non volatile▶ Très rapide.▶ Coût faible par grandes quantités (>1000)	<ul style="list-style-type: none">▶ Ecriture impossible▶ Modification impossible.▶ Délai de fabrication de 3 à 6 semaines▶ Obligation par grandes quantités

MÉMOIRES À SEMI-CONDUCTEUR

PROM (Programmable ROM)

- ▶ Une mémoire morte programmable une seule fois par un fournisseur ou un client, et de manière irréversible.
- ▶ Le processus de programmation (écriture) s'exécute électriquement et peut intervenir au cours d'une phase ultérieure de fabrication. Il fait appel à un équipement spéciale. Les PROM sont souples et pratiques.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">▶ Non volatile et vitesse élevée comme pour les ROM.▶ Programmation en quelques minutes▶ Coût relativement faible▶ Compatibilité du brochage avec les ROM.	<ul style="list-style-type: none">▶ Ecriture impossible▶ Modification impossible.

MÉMOIRES À SEMI-CONDUCTEUR

EPROM (Erasable Programmable ROM)

- Une mémoire morte effaçables et programmable. Le principe est le même que celui des PROM, mais elles offrent la possibilité de pouvoir être effacées un certain nombre de fois. L'effacement se fait par exposition aux rayons ultraviolets. Le temps de l'effacement est de l'ordre de 20 minutes.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">► Non volatile et reprogrammable.	<ul style="list-style-type: none">► Coût plus élevé► accès est beaucoup plus lent que sur une RAM (environ 1000x).► Écriture impossible► Impossible de sélectionner une seule cellule à effacer

MÉMOIRES À SEMI-CONDUCTEUR

EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM)

- ▶ Ces mémoires suivent le même principe des EPROM, elles sont reprogrammables mais elles sont à effacement électrique qui est plus rapide et pratique. L'effacement totale ne demande pas plus d'une minute. De plus l'effacement est sélectif: on peut l'écrire à tout moment sans effacer les informations importantes.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">▶ Comportement d'une RAM non volatile▶ Effacement et programmation sélectif	<ul style="list-style-type: none">▶ Coût très élevé▶ Très lente pour une utilisation en RAM.

Mémoire flash

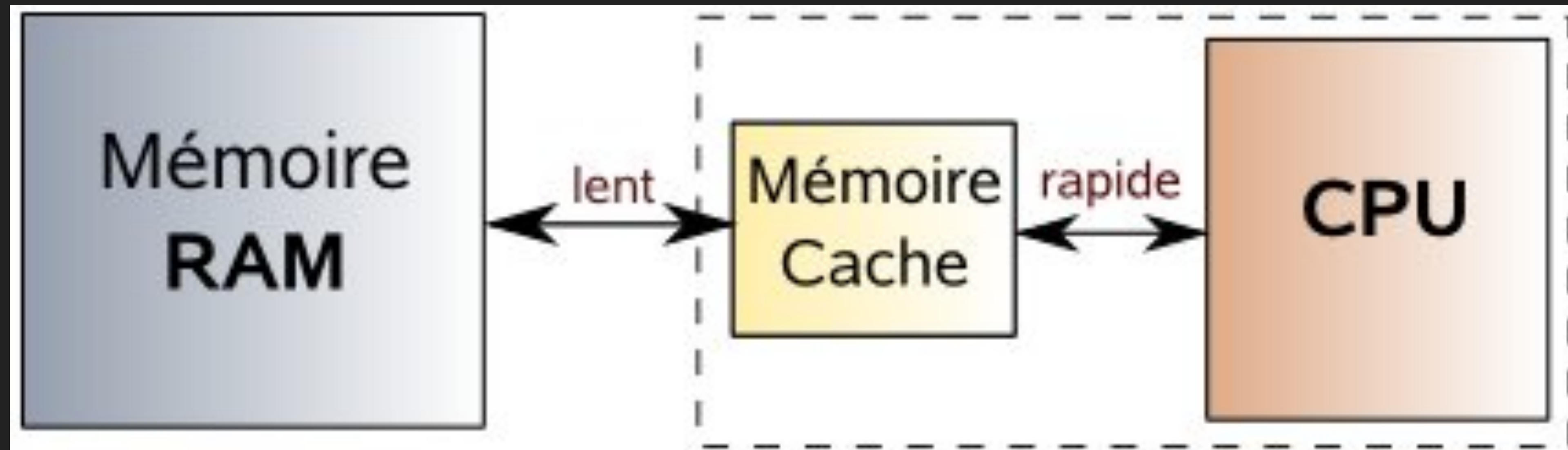
- ▶ Mémoire flash, on l'appelle ainsi en raison de la vitesse à laquelle on peut la reprogrammer. Introduite au milieu des années 1980, la mémoire flash est similaire aux EEPROM, elle utilise l'effacement électrique. Il est possible d'effacer tout le contenu d'une mémoire flash en quelques secondes. De plus, l'effacement peut se faire sélectivement par bloc. Elle se décline sous plusieurs formes: CompactFlash, MultiMediaCard, MemoryStick, USB disk.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">▶ Comportement d'une RAM non Volatile.▶ Effacement sélectif par bloc▶ Ne nécessite pas le démontage du circuit	<ul style="list-style-type: none">▶ Coût élevé▶ Lenteur écriture/lecture par bloc

MÉMOIRES À SEMI-CONDUCTEUR

Mémoire cache

- ▶ La mémoire cache est une mémoire très rapide mais pas très grande insérée entre le CPU et la mémoire centrale afin d'accélérer l'accès à la mémoire centrale en stockant une copie des informations les plus fréquemment utilisées par le processeur.
- ▶ Elle apporte une solution au problème de la trop grande différence de vitesse entre le CPU et la mémoire centrale.



MÉMOIRES À SEMI-CONDUCTEUR

Mémoire cache

- ▶ C'est une mémoire associative: les informations ne sont pas accessibles par adresse (mémoire centrale) mais sont adressables par contenu. Chaque case mémoire comprend deux champs :
 - ▶ La clé : l'adresse en mémoire principale de l'information
 - ▶ L'information associée à la clé: l'instruction ou la donnée elle-même
- ▶ Les ordinateurs actuels ont plusieurs niveaux de caches de quelques méga-octets qui sont séparés pour les données et pour les instructions.

MÉMOIRES À SEMI-CONDUCTEUR

Principe de fonctionnement de la mémoire cache

- ▶ L'élément demandeur (processeur) demande l'information
- ▶ Le cache vérifie s'il possède cette information
 - ▶ Si c'est le cas: il la transmet au demandeur
 - ▶ Sinon:
 - ▶ Il la demande au fournisseur (mémoire principale)
 - ▶ Le fournisseur traite la demande et renvoie la réponse au cache.
 - ▶ Le cache la stock pour une réutilisation ultérieure et la transmet à l'élément demandeur.

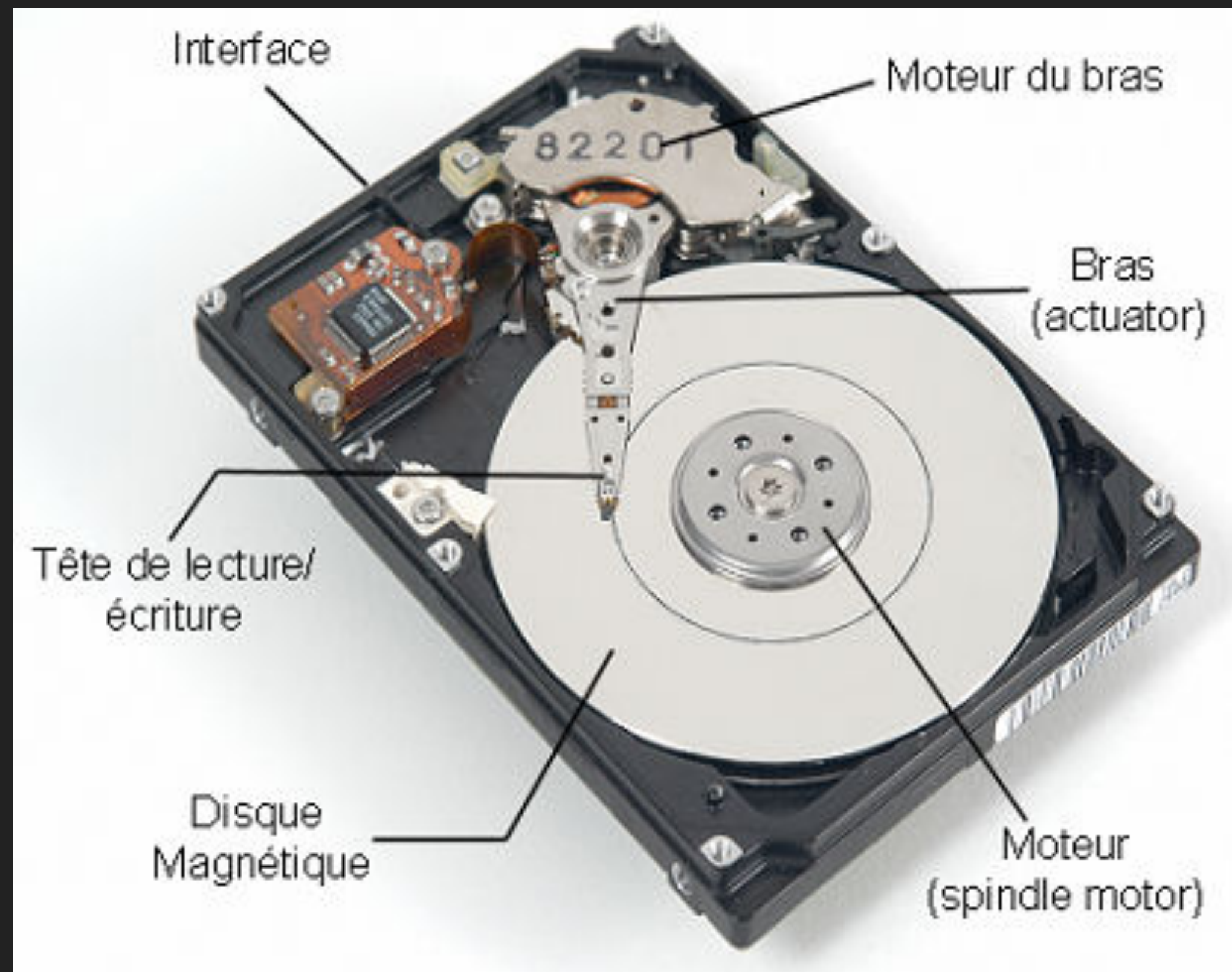
- ▶ Les mémoire de masse (mémoire auxiliaire) sont des mémoires permettant de stocker une grande quantité d'information à long terme même à l'arrêt de l'ordinateurs, elles correspondent aux: supports magnétiques (disques durs), optiques (CD ou DVD), etc.
- ▶ Le disque dur est un support servant à conserver les données de manière permanente.
- ▶ Les données peuvent être: Système d'exploitation, Les logiciels, les fichiers, les images, vidéos, etc.
- ▶ Le disque dur est relié au processeur via une interface (contrôleur de disque dur) qui gère l'échange entre le processeur et le disque dur.

DISQUE DUR

- ▶ Les disques durs sont des supports magnétiques qui permettent de stocker les données binaires sous forme magnétique (champs magnétique).
- ▶ Les avantages du stockage magnétique sont:
 - ▶ La durabilité: les données peuvent être conservées assez longtemps.
 - ▶ La capacité de stocker une très grande quantité d'information.
- ▶ On trouve des disques durs:
 - ▶ Internes branchés directement sur la carte mère.
 - ▶ Externes USB: connexion via port USB
- ▶ Mais les deux types ont la même structure

DISQUE DUR

Composition d'un disque dur



DISQUE DUR

Composition d'un disque dur

- ▶ Les disques durs sont constitués de:
 - ▶ Plateaux
 - ▶ Têtes de lecture/écriture
 - ▶ Pistes
 - ▶ Cylindres:
 - ▶ Secteurs
 - ▶ Blocs

DISQUE DUR

Composition d'un disque dur

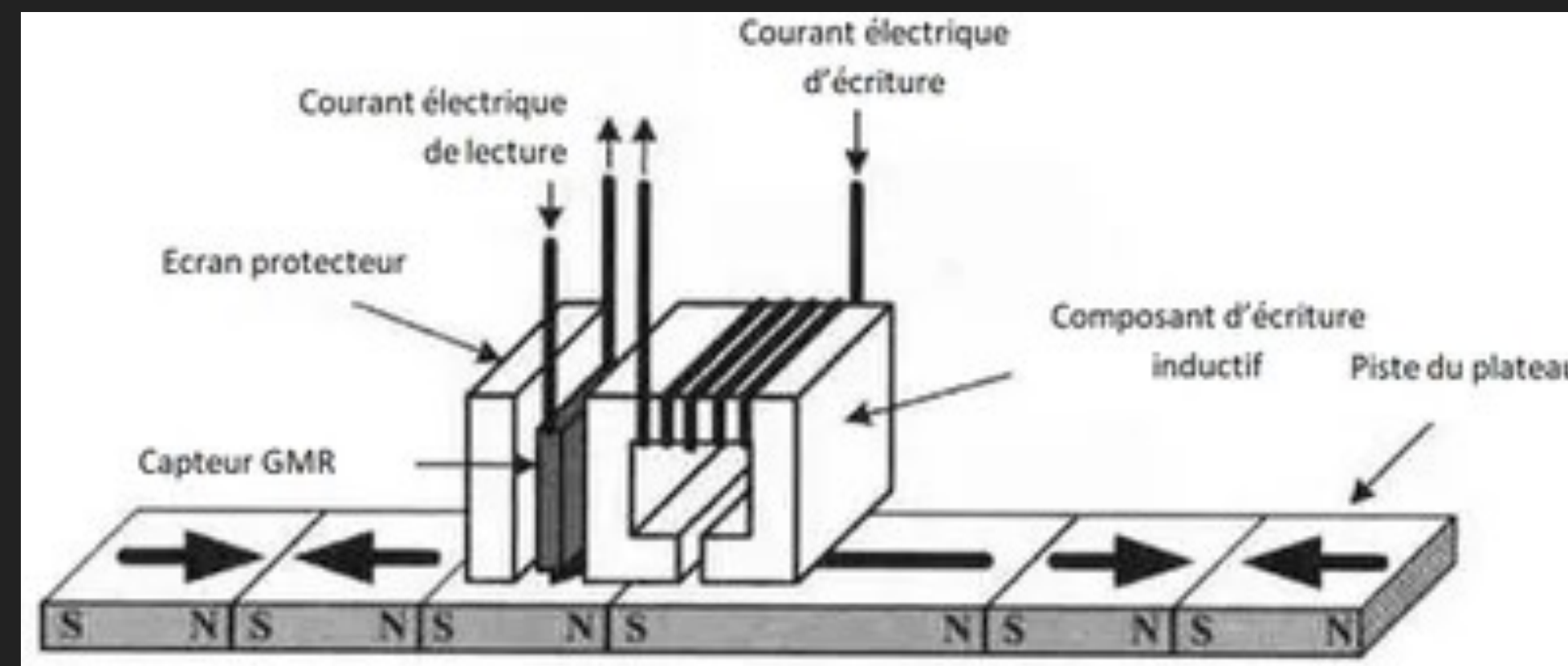
► Plateaux (platters):

- Un DD est composé de plusieurs disques empilés les uns des autres.
- Les disques sont composés d'aluminium, de verre ou de céramique dans les disques actuels. Ils sont recouverts d'une couche magnétique.
- Les plateaux constituent le support d'information: les données sont stockées sur la couche magnétique sur les deux faces d'un plateau.
- Les plateaux (disques) tournent autour d'un même axe dans le sens inverse de l'aiguille d'une montre.

DISQUE DUR

Composition d'un disque dur

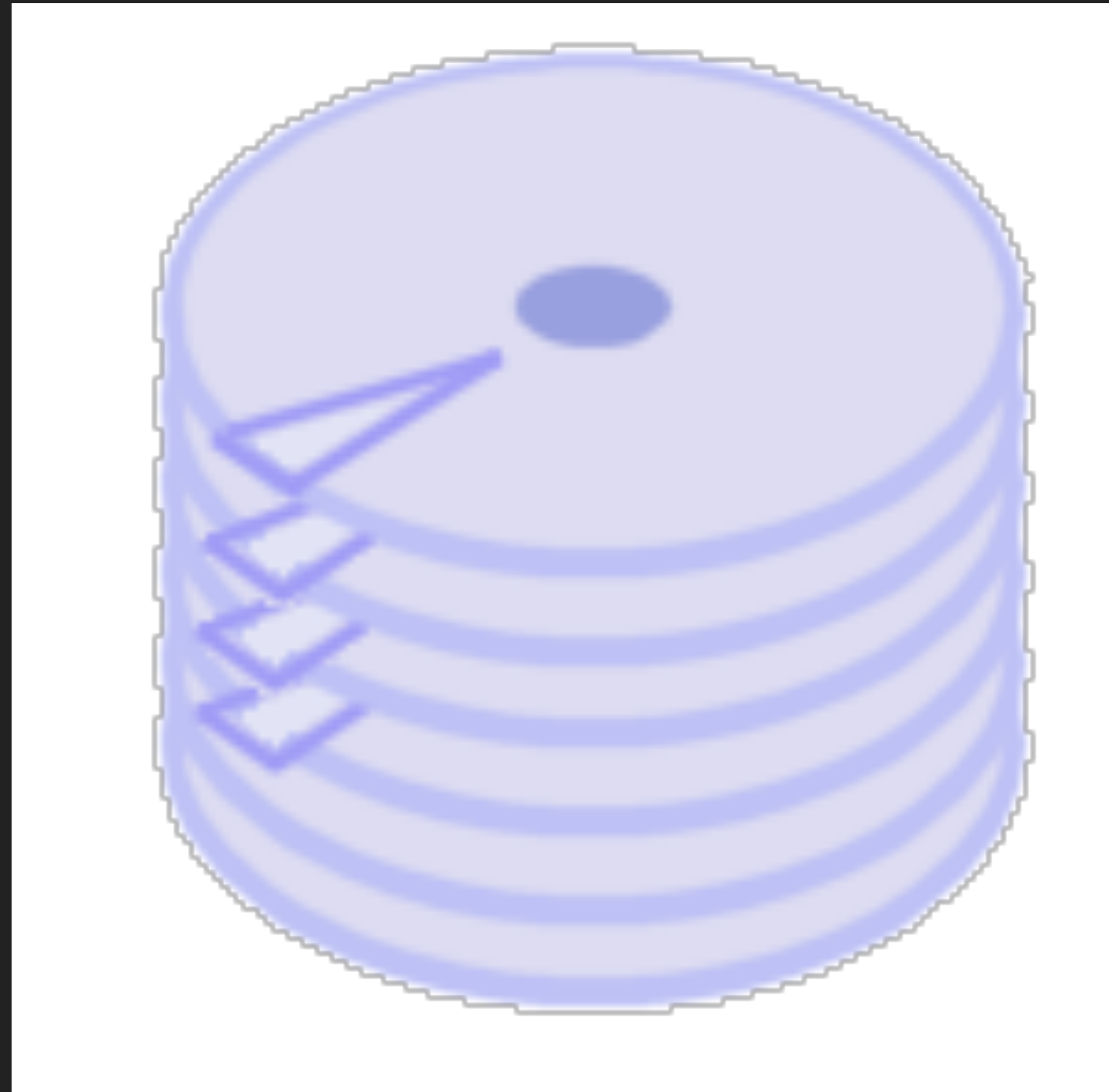
- ▶ Plateaux (platters):
- ▶ Un bit est représenté par deux petits aimants (cellules). Pour représenter 1, les deux cellules sont aimantées dans la même direction, sinon, c'est un 0.



DISQUE DUR

Composition d'un disque dur

- Plateaux (platters):



DISQUE DUR

Composition d'un disque dur

▶ Les têtes de lecture/écriture (head):

- ▶ La lecture/écriture de données se fait grâce à des têtes de lecture/écriture. Pour chaque disque (plateau), on a deux têtes.
- ▶ Les têtes se baissent et se lèvent pour pouvoir lire/écrire d'information.
- ▶ Les têtes sont à quelques microns de la surface du disque.
- ▶ Elles sont fixées sur un bras mobile.
- ▶ Un bras permet de déplacer une tête littéralement du centre au périphérie.
- ▶ Avec la rotation des disques, les têtes peuvent balayer toute la surface du disque.

DISQUE DUR

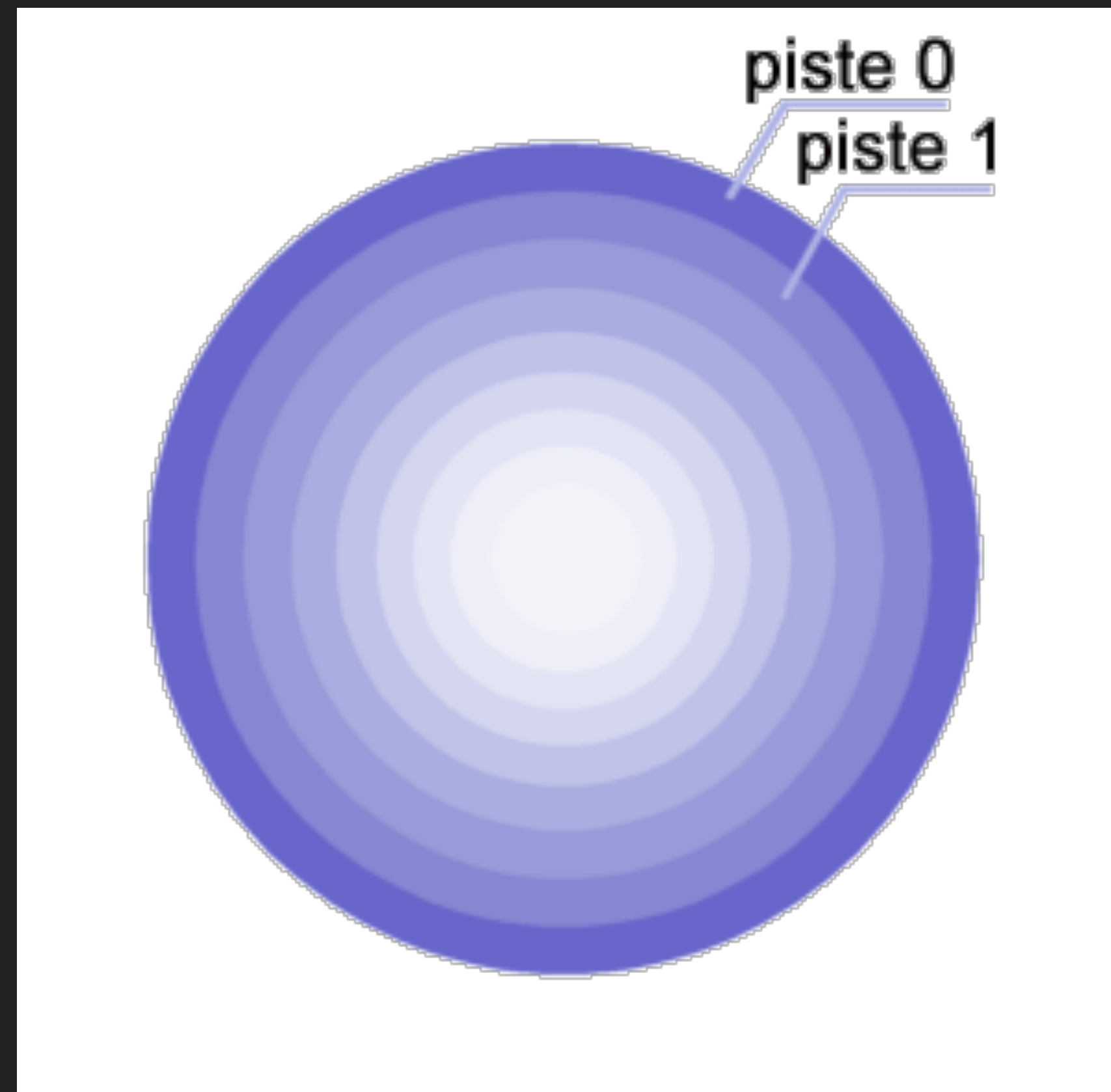
Composition d'un disque dur

- ▶ *Les pistes (track):*
 - ▶ Les surfaces des disques sont divisées en *pistes concentriques*.
 - ▶ Les pistes sont *numérotées* depuis l'extérieur vers le centre.
 - ▶ La *densité d'enregistrement* est maximale vers le centre mais plus faible vers la périphérie, là où les pistes sont plus longues.

DISQUE DUR

Composition d'un disque dur

► Les pistes (track):



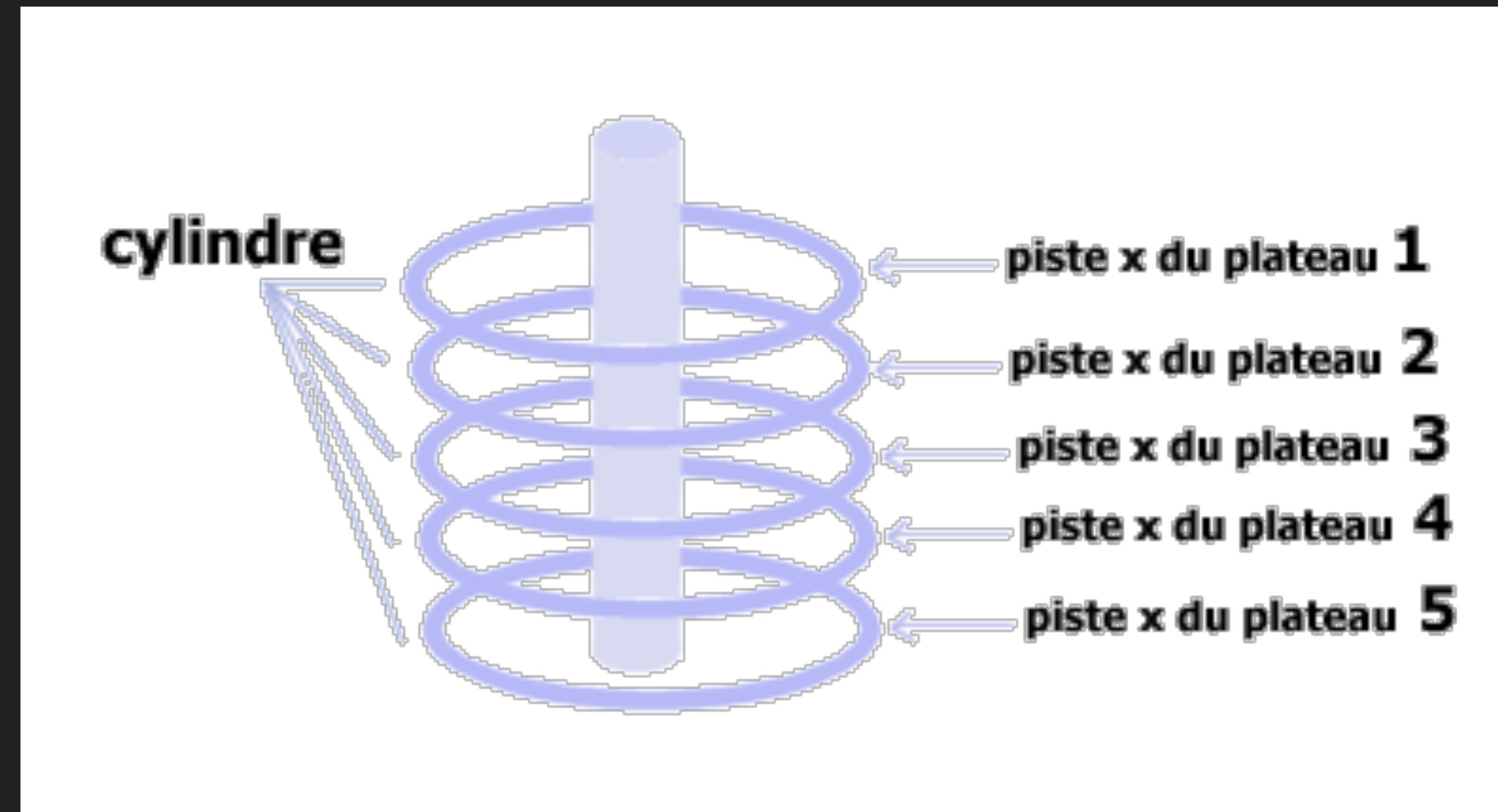
Composition d'un disque dur

- ▶ *Les cylindres (cylinder):*
- ▶ Les pistes des différents plateaux situées à la verticale les unes des autres portent donc des numéros identiques forment des cylindres.
- ▶ Les données situées dans la même cylindre peuvent être lues ou écrites sans déplacer les têtes.

DISQUE DUR

Composition d'un disque dur

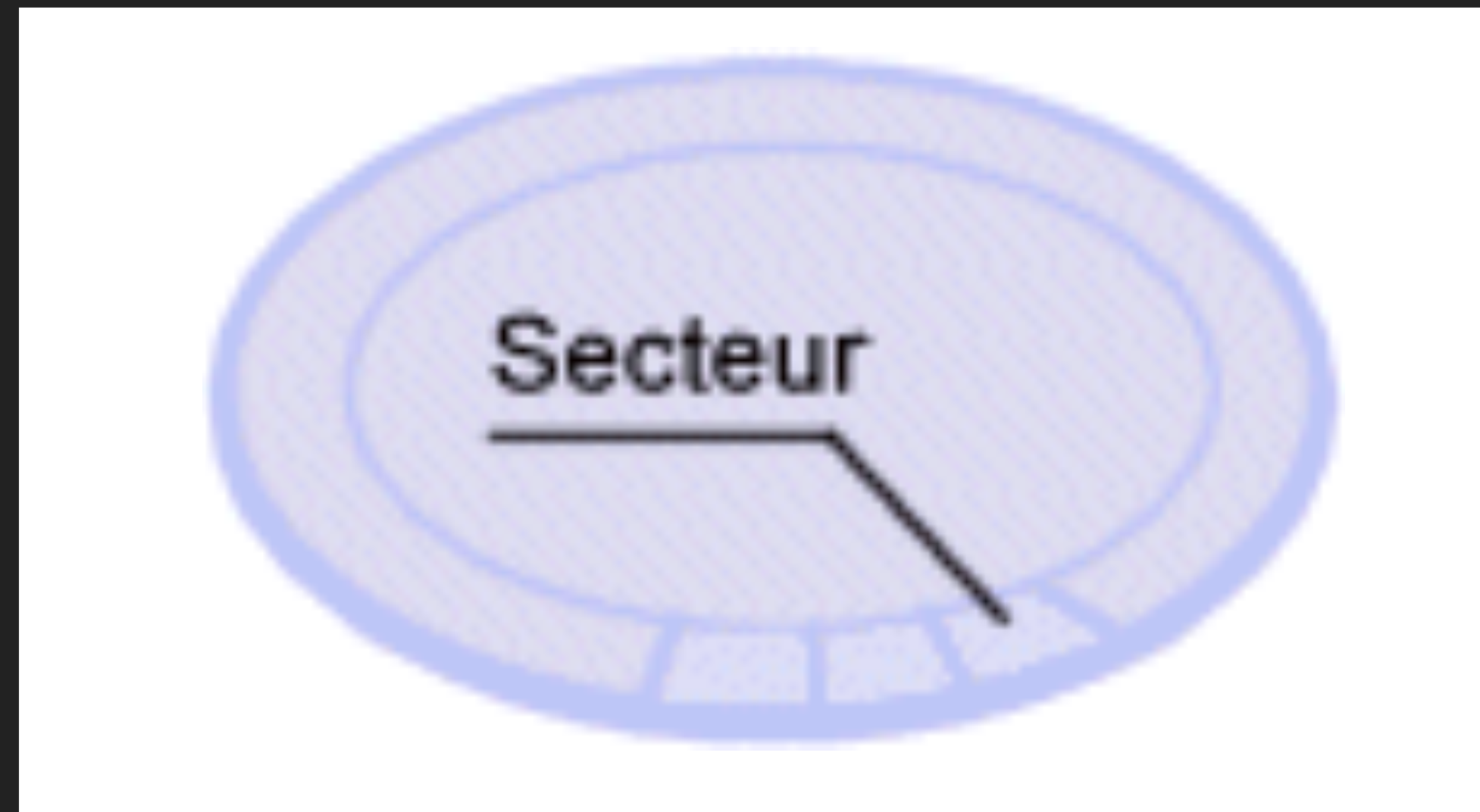
► Les cylindres (cylinder):



DISQUE DUR

Composition d'un disque dur

- ▶ Le secteur (sector):
 - ▶ Chaque piste est divisée en secteurs.
 - ▶ Les secteurs ont une taille conventionnelle de 512 octets.
 - ▶ Chaque secteur est repéré par ses coordonnées :
 - ▶ (n° de cylindre, n° de face, n° de secteur)



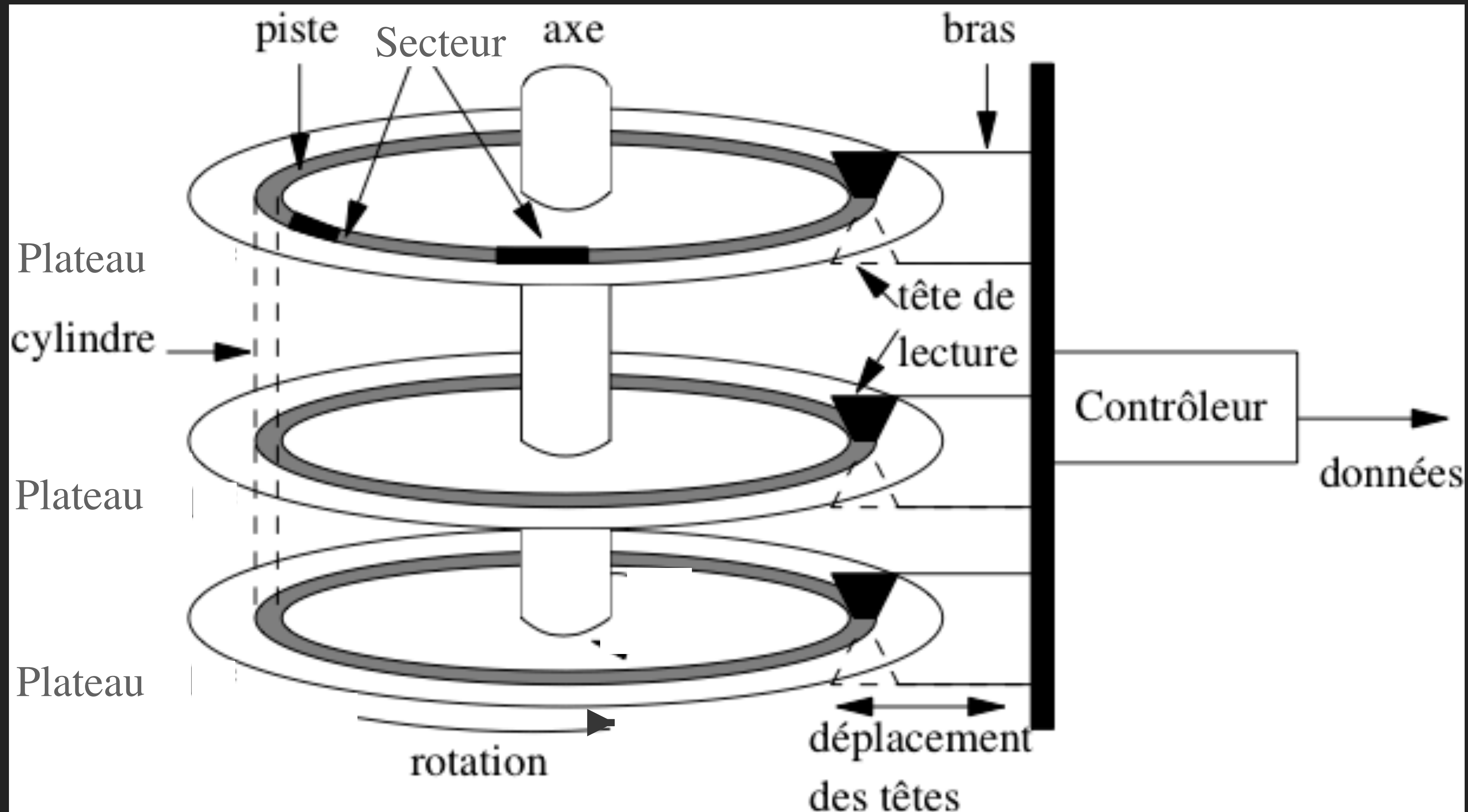
DISQUE DUR

Composition d'un disque dur

- ▶ **Le bloc (block):** les données du DD sont contenues par bloc.
- ▶ Un bloc représente la quantité minimale pouvant être lue ou écrite sans déplacer les têtes.

DISQUE DUR

Composition d'un disque dur



Caractéristiques du DD

- ▶ *La taille physique:* exprimée en pouces, c'est la taille du plateau interne au boîtier.
- ▶ Sur le marché les tailles disponibles sont:
 - ▶ 2,5 pouces pour PC.
 - ▶ 3,5 pouces pour les ordinateurs de bureau.

Caractéristiques du DD

- ▶ **La capacité:** le volume (quantité) de données pouvant être stocké sur le DD. Elle s'exprime en octet (multiples d'octets)
- ▶ Elle se calcule comme suit:

$$\text{Capacite} = \text{Nbr_tetes} \times \text{Nbr_cylindres} \times \text{Nbr_secteurs_par_piste} \times \text{taille_sceteur}$$

$$\text{Nbr_tetes} = \text{Nbr_faces}$$

$$\text{Nbr_cylindres} = \text{Nbr_pistes}$$

$$\text{Nbr_secteurs_par_piste} \times \text{taille_sceteur} = \text{taille_piste}$$

DISQUE DUR

Caractéristiques du DD

- ▶ **La vitesse de rotation:** la vitesse à laquelle les plateaux tournent, exprimée en tours par minutes (rpm).
- ▶ La vitesse du DD est de l'ordre de 7200 à 15000 rpm.
- ▶ Plus la vitesse du DD est élevée meilleur est le débit, mais le problème dans ce cas c'est le bruit et l'échauffement du DD.

DISQUE DUR

Caractéristiques du DD

- ▶ Le temps d'accès moyen:
- ▶ Exemple d'accès en lecture: pour lire un secteur, la carte d'interface du DD va:
 - ▶ Placer la tête sur le bon cylindre (piste)
 - ▶ Attendre l'arrivée du secteur recherché
 - ▶ Copier les données du secteur sur la carte d'interface
 - ▶ Envoyer les données au processeur.
- ▶ Le temps d'accès représente le temps moyen que met une tête pour se positionner sur la bonne piste et accéder à l'information.

Caractéristiques du DD

- ▶ *Le temps d'accès moyen:*
- ▶ Le temps d'accès moyen représente le temps moyen que met le disque entre le moment de la réception de l'ordre d'accès aux données et le moment où il les fournit.
- ▶ Il doit être le plus court possible pour avoir des meilleurs performances.

Caractéristiques du DD

- ▶ *Le temps d'accès moyen:*
- ▶ Il est calculé en fonction de la formule suivante:

$$\textit{Temps_access_moyen} = \textit{Temps_deplacement_moyen} + \textit{Temps_recherche_moyen} + \textit{Temps_transfert}$$

Caractéristiques du DD

- ▶ Le temps d'accès moyen:
 - ▶ Le temps de déplacement moyen: c'est le temps que met la tête pour se déplacer vers la piste contenant la donnée.
 - ▶ C'est le temps nécessaire pour changer la piste:
 - ▶ Au plus près (min): la tête va se déplacer vers la piste voisine.
 - ▶ Au plus loins (max): la tête va se déplacer du cylindre intérieur vers le cylindre extérieur.
 - ▶ Le temps de déplacement sera la moyenne.
 - ▶ Il est donné par le fabricant.

Caractéristiques du DD

- ▶ Le temps d'accès moyen:
 - ▶ Le temps de latence (recherche) moyen: c'est le temps que met le moteur pour tourner le plateau vers le secteur voulu.
 - ▶ C'est le temps pour trouver le secteur:
 - ▶ Au mieux: 0.
 - ▶ Au pire : 1 tour.
 - ▶ Le temps de recherche moyen est donc la durée d'un demi tour.

$$Temps_recherche = \frac{1}{2 \times Vitesse_rotation}$$

DISQUE DUR

Caractéristiques du DD

- ▶ *Le temps d'accès moyen:*
- ▶ *Le temps de transfert:* c'est le temps que met la tête pour lire/écrire un secteur de données.

$$Temps_transfert = \frac{1}{Nbr_secteurs \times Vitesse_rotation}$$

Caractéristiques du DD

- ▶ **Le taux de transfert (débit):** la quantité de données pouvant être lues ou écrites sur disque en une seconde.
- ▶ Il est exprimé en bits/seconde.

$$\text{Debit} = \text{Vitesse_rotation} \times \text{Taille_secteur} \times \text{Nbr_secteurs_par_piste}$$

DISQUE DUR

Caractéristiques du DD

- ▶ *La densité:*
 - ▶ *La densité radiale:* c'est le pistes par pouce (pistes/pouce).
 - ▶ *La densité linéaire :* c'est le bits par pouce (bits/pouce) sur une piste.
 - ▶ *La densité surfacique :* $\frac{\text{Densite_lineaire}}{\text{Densite_radiale}}$ (bits/pouce²).

Caractéristiques du DD

▶ *La capacité du cache:*

- ▶ La mémoire cache du DD permet de conserver les données auxquelles le DD accède souvent.
- ▶ Sa capacité varie de 5 à 32 Mo.

Accès aux fichiers dans les DD

- ▶ **Accès direct (aléatoire):** Un fichier est dit « à accès direct » si ses secteurs sont dispersés dans différents endroits du disque. À chaque secteur il faut :
 - ▶ Placer les têtes (durée=temps de déplacement moyen)
 - ▶ Attendre le secteur (durée=temps de latence)
 - ▶ Lire (durée fixe)

Accès aux fichiers dans les DD

- ▶ **Accès séquentiel:** Un fichier est dit « séquentiel » si tous ses secteurs sont mis dans le même cylindre, dans l'ordre. Quand un cylindre est plein, on passe au cylindre voisin.
- ▶ **Avantage:**
 - ▶ Dans une lecture du début à la fin, on économise les temps de latence et les temps de déplacement (sauf aux changements de cylindre)
- ▶ **Inconvénients:**
 - ▶ Souvent, la taille du fichier est fixée une fois pour toutes à la création.
 - ▶ On ne peut lire que dans l'ordre

Exercice

- ▶ Nous disposons d'un disque dur ayant 1020 cylindres, 63 secteurs par piste, 512 octets par secteur et 250 têtes, une vitesse de rotation de 7200 rpm, un temps de déplacement moyen de 8 ms et un temps de déplacement minimal de 2ms.
- ▶ Quelle est la capacité totale de ce disque?
- ▶ Quel est le temps d'attente (latence) moyen?
- ▶ Quel est le temps l'accès moyen?
- ▶ Quel est le taux de transfert en octets par seconde?

Exercice

- ▶ Un disque dur possède les caractéristiques suivantes :
 - ▶ Nombre de têtes de lecture : 4
 - ▶ Nombre de cylindres : 1200
 - ▶ Nombre de de secteurs par piste : 2000
 - ▶ Taille d'un secteur: 512 o
- 1. Calculer la capacité de ce disque dur en Go
- ▶ La latence moyenne du disque est mesurée expérimentalement comme étant 110 ms.
- 2. À quelle vitesse tourne le disque?
- 3. Quel est le temps de transfert d'un secteur?

Exercice

- ▶ On désire utiliser un disque métallique magnétisé sur les deux faces de 10 cm de diamètre avec un axe (inutilisable pour le stockage) de 2 cm pour construire un plateau de disque dur.
- 1. Quelle sera la capacité de d'un tel plateau sachant que la densité surfacique (capacité par unité de surface) du plateau est de 59 Mo/pouce² ?
- 2. On veut construire un disque dur de 66 Go à base de ces plateaux, combien de plateaux faut-il utiliser ?

QUESTIONS?