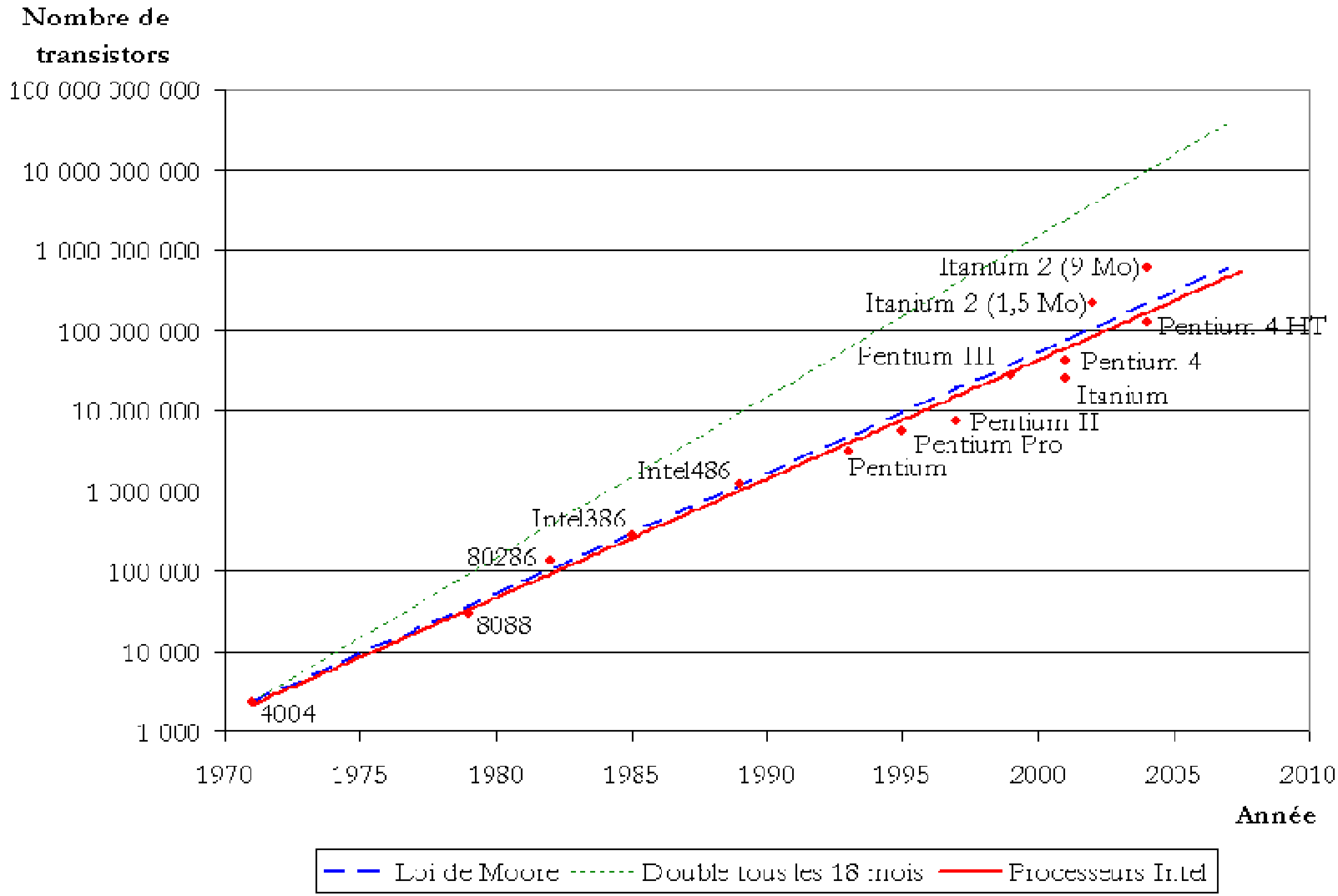
Gestion de la Mémoire

- **Mémoire :** organe d'un ordinateur permettant d'enregistrer, de stocker et de restituer des données.
- La mémoire est une ressource importante qui doit être gérée avec attention.
- La quantité de mémoire d'un ordinateur ne cesse d'augmenter.

  Mais la taille des programmes s'accroît aussi.
  - **Loi de Moore**: *les capacités de stockage doublent en taille tous les 18 mois.*
  - **Loi de Parkinson**: *les programmes grossissent en taille aussi vite que la mémoire.*

Gestion de la Mémoire



Gestion de la Mémoire

- La nécessité de gérer la mémoire de manière **optimale est toujours d'actualité.**
- Malgré des capacités de plus en plus grandes et des coûts moindres. Elle n'est en général, jamais suffisante, ceci en raison de la **taille continuellement grandissante des programmes.**

  → On aura toujours besoin de gestionnaires de mémoires performants

Gestion de la Mémoire

- Situation idéale (souhaits des programmeurs et utilisateurs) donner à chaque processus une mémoire :

  - ✓ infiniment grande,
  - ✓ infiniment rapide,
  - ✓ non volatile,
  - ✓ ayant une consommation énergétique réduite,
  - ✓ Moins chère.

Gestion de la Mémoire

- Malheureusement, ces critères sont mutuellement incompatibles. Il n'existe pas encore de mémoire possédant simultanément toutes ces caractéristiques. Les mémoires de grande capacité sont lentes, celles qui sont rapides sont chères.
- Frein technologique → hiérarchie de la mémoire

Gestion de la Mémoire

Il existe trois types de mémoires :

- **Mémoire morte (*mémoire non volatile)***
  - ✓ mémoire ROM (Read-Only Memory)
  - ✓ mémoire ne s'effaçant pas en absence de courant électrique
  - ✓ mémoire conservant les données nécessaires au démarrage de l'ordinateur
  - ✓ temps d'accès de l'ordre de 150 ns

Gestion de la Mémoire

- **Mémoire vive (*mémoire volatile)***
  - ✓ mémoire RAM (Random Access Module)
  - ✓ données ne perdurant pas en l'absence de courant électrique
  - ✓ deux types de mémoire RAM : DRAM et SRAM
    - temps d'accès pour la DRAM de l'ordre de 50 ns
    - temps d'accès pour la SRAM de l'ordre de 10 ns

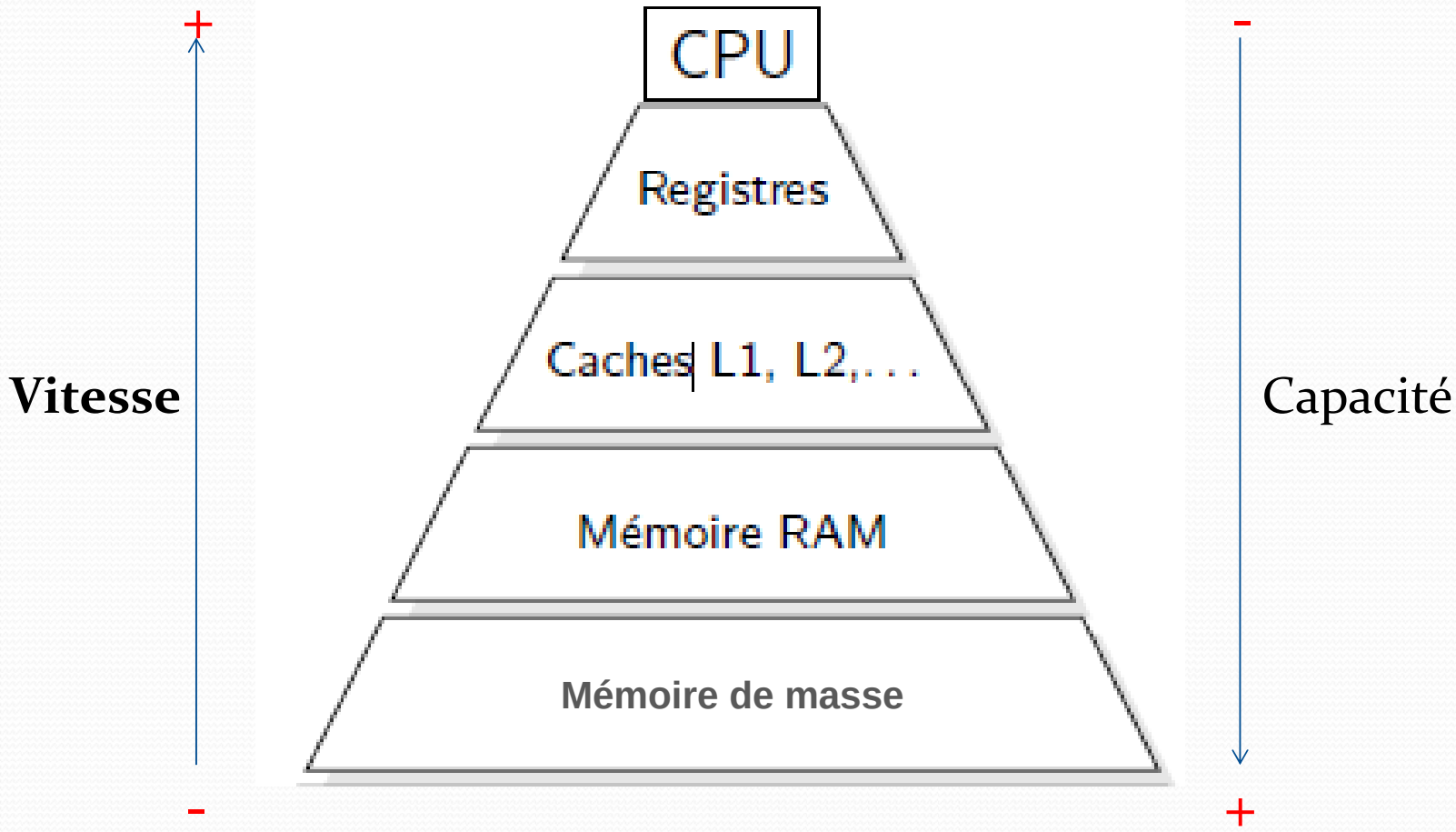
Gestion de la Mémoire

- **Mémoire flash**
  - ✓ compromis entre la mémoire RAM et la mémoire ROM
  - ✓ non volatilité de la mémoire morte
  - ✓ accès en lecture/écriture de la mémoire vive

Gestion de la Mémoire

- Deux niveaux de gestion de la mémoire :
  - **Niveau matériel**
    - les registres du processeur
    - la mémoire cache
  - **Niveau système d'exploitation**
    - la mémoire principale (appelée également mémoire centrale ou interne)
    - la mémoire secondaire (appelée également mémoire de masse ou physique)
    - **Rôle du gestionnaire de mémoire du SE**

Hiérarchie de la Mémoire



10

Gestion de la Mémoire

- **Les registres** sont les composants de mémoire très performants et les plus rapides.
- D'autre part, les registres servent d'emplacement de mémoire interne à un processeur et se situent en tête de la hiérarchie mémoire : il s'agit de la mémoire avec une performance du temps d'accès, avec un coût de fabrication plus élevé car son emplacement dans un microprocesseur est limitée et son nombre dépasse donc rarement quelques dizaines d'octets.

Gestion de la Mémoire

- **la mémoire cache** est une mémoire au temps d'accès rapide avec une faible capacité destinée à augmenter l'accès à la mémoire centrale pour ensuite stocker les éléments utilisés fréquemment par le microprocesseur.
- La mémoire cache est un type de mémoire à laquelle le microprocesseur peut accéder plus rapidement qu'à la mémoire RAM habituelle. Généralement, elle est directement intégrée dans la puce de l'unité centrale (UC) ou placée sur une puce distincte dotée d'une interconnexion par bus à l'UC.

Gestion de la Mémoire

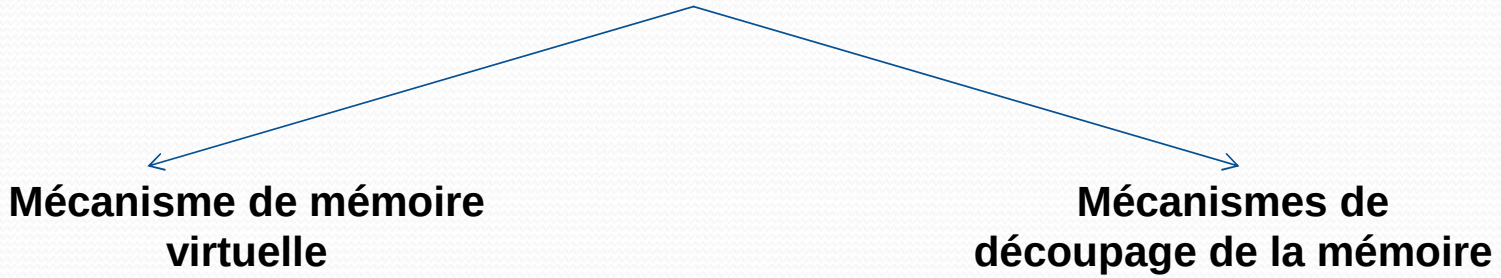
- La fonction de base de la mémoire cache est de stocker les instructions de programme qui sont fréquemment référencées par les logiciels en cours d'exécution. L'accès rapide à ces instructions accroît la vitesse globale des logiciels.
- La mémoire cache est rapide et coûteuse. Traditionnellement, elle est classée « par niveaux » en fonction de sa proximité avec le microprocesseur et de son degré d'accessibilité à ce dernier :
- **La mémoire cache de niveau 1** (L1) est extrêmement rapide mais relativement petite, et généralement incorporée dans le processeur.
- **La mémoire cache de niveau 2 (L2)** a souvent une plus grande capacité que la L1 ; elle peut être placée sur l'UC, sur une puce distincte ou sur un coprocesseur équipé d'un autre bus système à grande vitesse assurant son interconnexion avec l'UC afin qu'elle ne soit pas ralentie par le trafic du bus principal.

13

Gestion de la Mémoire

Objectifs du gestionnaire de mémoire du système d'exploitation :

- Partager la mémoire
- Allouer des blocs de mémoire aux différents processus
- Protéger les espaces mémoire utilises
- Optimiser la quantité de mémoire disponible



Gestion de la Mémoire

- **Mémoire virtuelle**
- La mémoire virtuelle est une *fonctionnalité* d'un système d'exploitation qui permet à un ordinateur de *compenser* le manque de mémoire physique en transférant temporairement des pages de données de la mémoire vive (RAM, Random Access Memory) vers un stockage sur disque.
- Pour un processus nécessitant une taille de 1 Go, si la mémoire centrale physique possède une taille de 512 Mo.

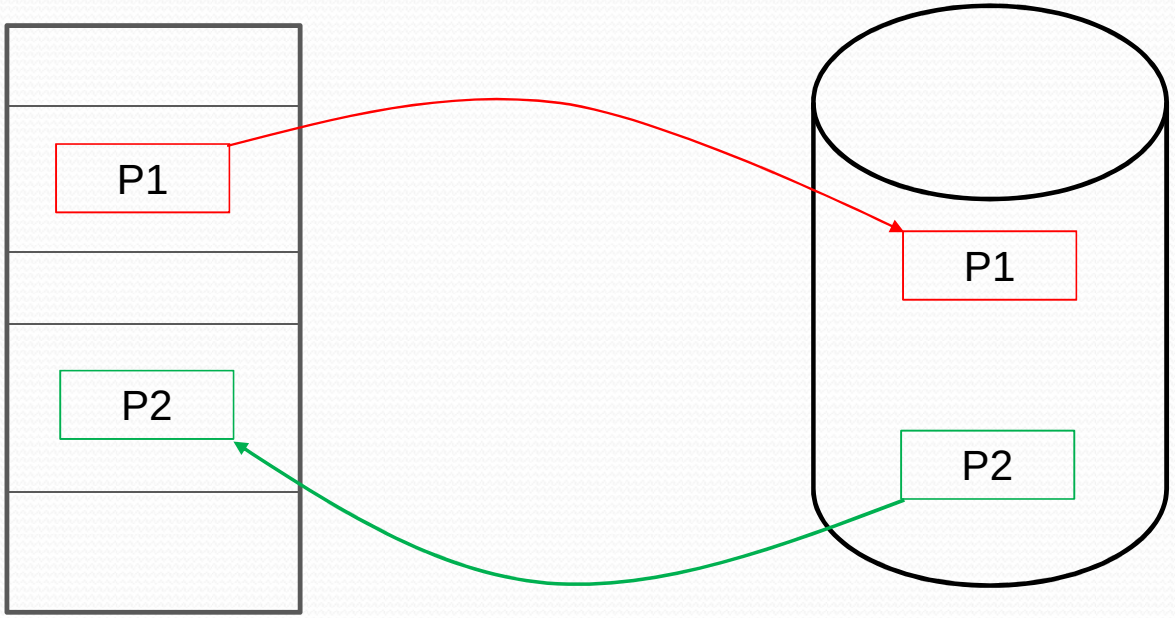
Gestion de la Mémoire

- le mécanisme de **mémoire virtuelle** permet de ne mettre à un instant donné dans les 512 Mo de la MC, que les éléments strictement nécessaires à l'exécution du processus, les autres éléments restant stockés sur le disque dur, prêts à être ramenés en MC à la demande.
- Une partie de l'espace d'adressage d'un processus peut être enlevé temporairement de la mémoire centrale au profit d'un autre (**swapping**)

Va-et-vient

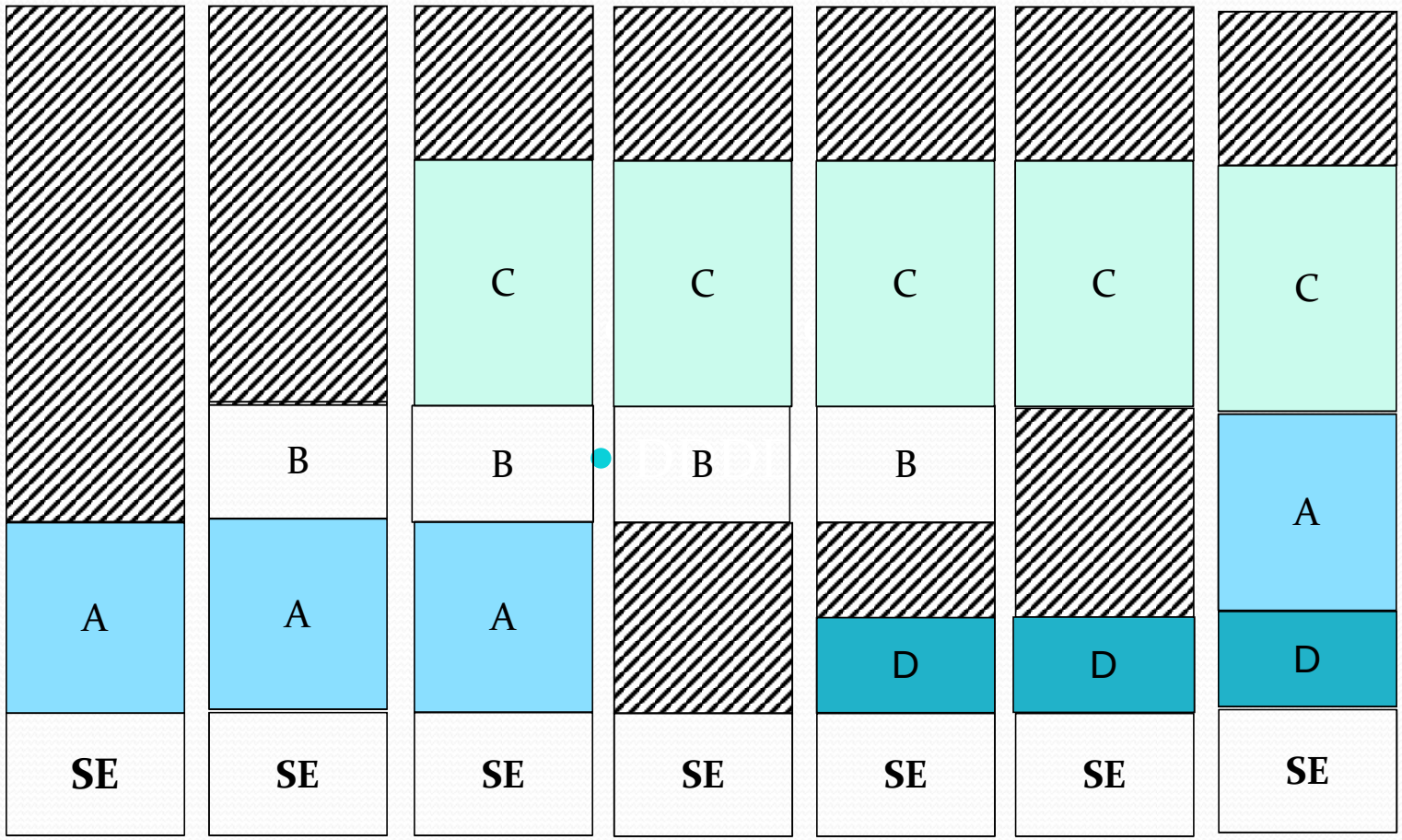
Le swap (ou va-et-vient)

- Le swap est mis en œuvre lorsque tous les processus ne peuvent pas tenir simultanément en mémoire.
- On doit alors en déplacer temporairement certains sur disque dans une zone de swap.



17

Va-et-vient



18

Gestion de la mémoire dans le SE

Le mécanisme de gestion de la mémoire par le SE a pour objectifs :

- l'organisation de la mémoire en zones ,
- l'allocation, libération des zones
- la protection des processus
- la simulation d'une mémoire de grande taille (mémoire virtuelle sur disque)
- la transparence des accès (quelque soit le type de mémoire physique ou virtuelle)

Organisation de la mémoire

On peut voir la mémoire comme un tableau à une dimension.

- Elle est divisée en zones de taille fixe ou variable
- Une zone de taille N de la mémoire est un sous-ensemble des N mots (ayant des adresses consécutives)
- Le SE doit garantir l'intégrité de ces zones en interdisant les accès non autorisés
- Le contenu de certaines zones doit pouvoir être partagé

Organisation de la mémoire - Multiprogrammation

La plupart des systèmes modernes autorisent l'exécution de processus multiples en même temps.

- séjour de plusieurs programmes en même temps en mémoire
- naissance à la gestion moderne de la mémoire.

Pour supporter la multiprogrammation (l'existence de plusieurs processus) en mémoire principale, on peut distinguer deux grandes stratégies d'allocation mémoire:

- allocation de partitions contiguës
- allocation de partitions non-contiguës.

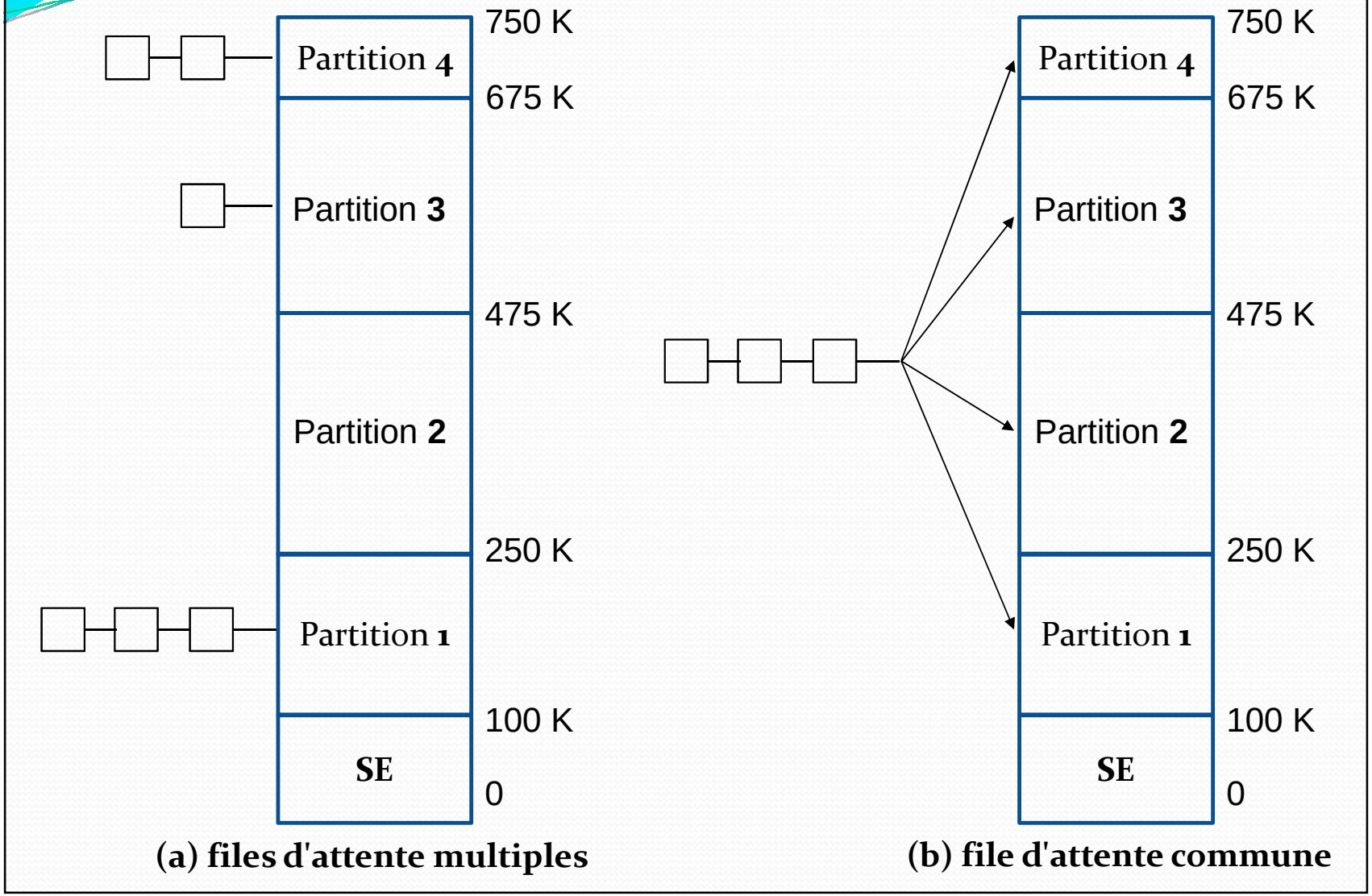
Multiprogrammation et partitions multiples contigües

L'espace mémoire est divisé en partitions. Chaque partition peut être allouée à un programme. La taille des partitions et donc leur nombre peuvent être fixe ou variable.

- **Partitions contiguës fixes** : dans cette stratégie la mémoire est divisée en n partitions de tailles fixes. Ce partitionnement se fait au démarrage du système. Le système d'exploitation maintient une table de description des partitions.

  - files d'attente séparées : quand un processus arrive, il peut être placé dans la file d'attente des entrées de la plus petite des partitions assez larges pour le contenir.

Partitions contigües fixes



Multiprogrammation et partitions multiples contigües

Inconvénients :

Possibilités d’avoir une file d'attente vide pour une grande partition

longue file d’attente pour une petite partition

Partitions contigües fixes : file d'attente commune

- files d'attente commune (b):

Une autre solution est de créer une seule file d'attente.

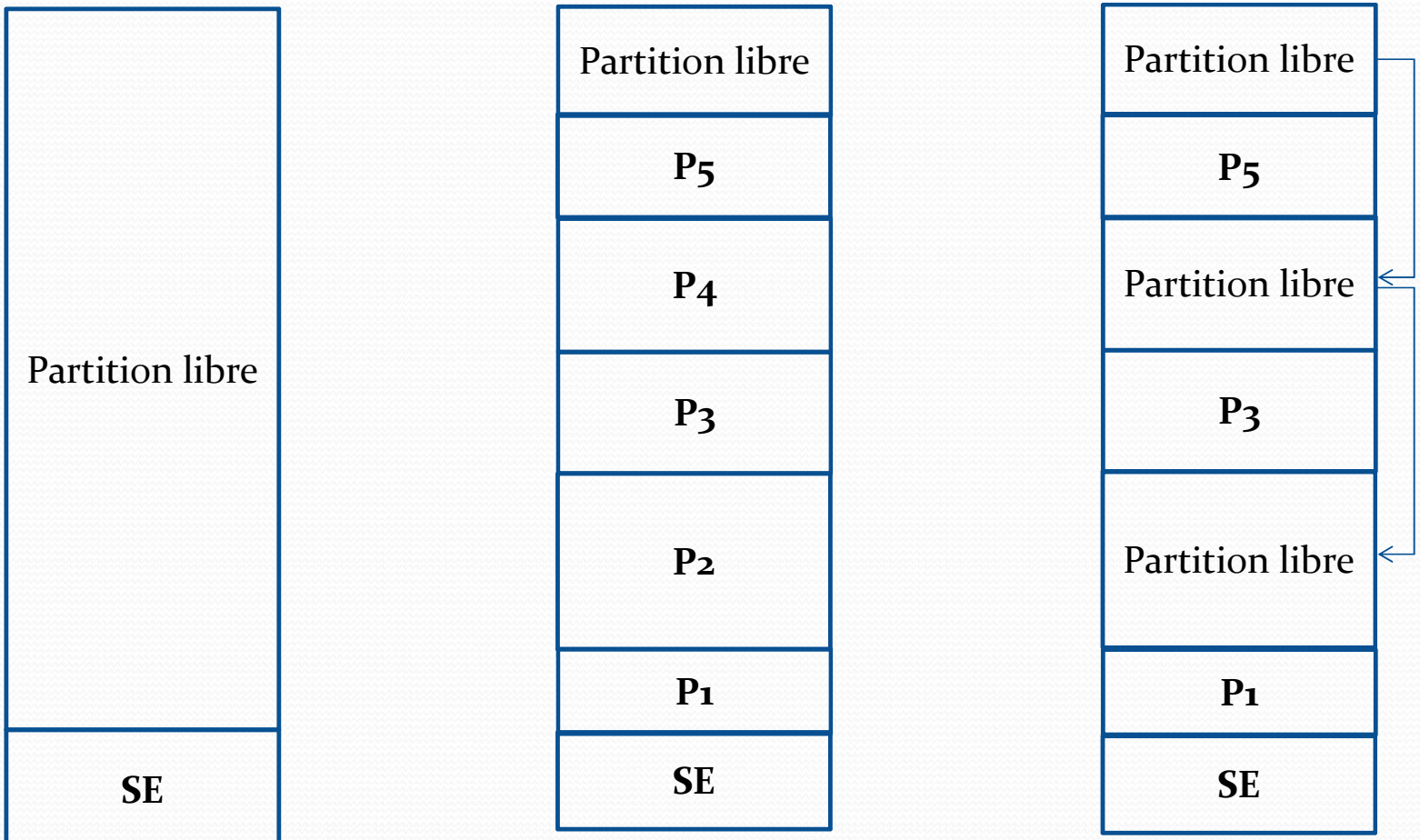
Lorsqu'une partition se libère, on consulte la file pour trouver la tâche qui l'occuperait de manière optimale.

Partitions dynamiques

Dans cette stratégie la mémoire est partitionnée dynamiquement selon la demande. Lorsqu'un processus se termine sa partition est récupérée pour être réutilisée (complètement ou partiellement) par d'autres processus.

- Au fur et à mesure des chargements de programmes, la zone libre va se réduire et à l'instant t, elle n'occupe plus qu'une fraction de la mémoire centrale.
- Lorsque l'exécution des programmes se termine, la mémoire est libérée : il se crée alors pour chaque zone libérée, une nouvelle zone libre. Finalement, la mémoire centrale se retrouve constituée d'une ensemble de zones allouées et de zones libres réparties dans toute la mémoire. Les zones libres sont organisées en une liste chaînée de zones libres repérée par une tête de liste.

Partitions dynamiques



Stratégies d'allocation

Le chargement d'un nouveau processus dans les partitions consiste à trouver une zone libre suffisamment grande pour pouvoir y placer le programme et il se fait selon différentes stratégies.

Le gestionnaire de la mémoire doit avoir une liste des partitions occupées et des partitions libres.

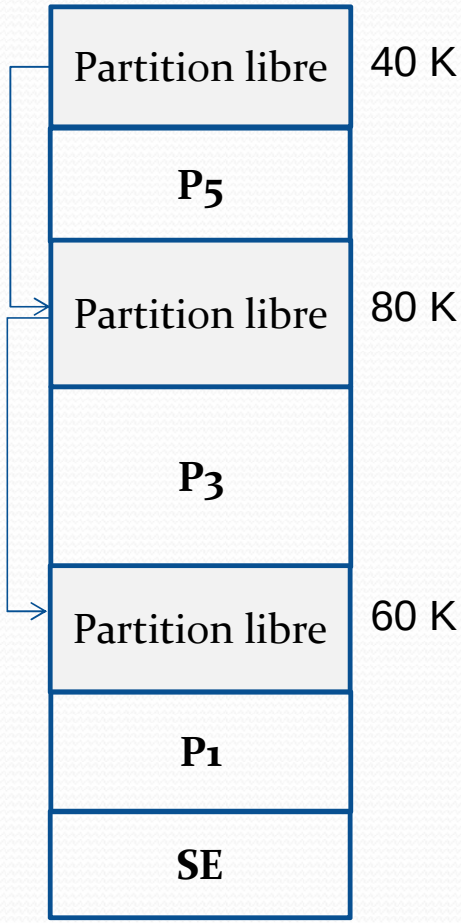
On distingue les stratégies de placement suivantes:

- Stratégie du premier qui convient (First Fit): La liste des partitions libres est triée par ordre des adresses croissantes. La recherche commence par la partition libre de plus basse adresse et continue jusqu'à la rencontre de la première partition dont la taille est au moins égale à celle du processus en attente.

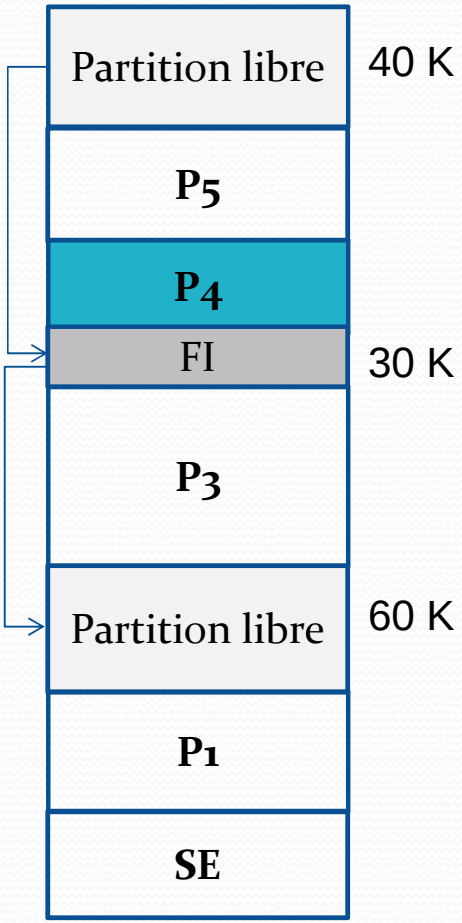
Stratégies d'allocation

- Stratégie du meilleur qui convient (Best Fit): On alloue la plus petite partition dont la taille est au moins égale à celle du processus en attente. La table des partitions libres est de préférence triée par tailles croissantes.
- Stratégie du pire qui convient (Worst Fit): On alloue au processus la partition de plus grande taille.

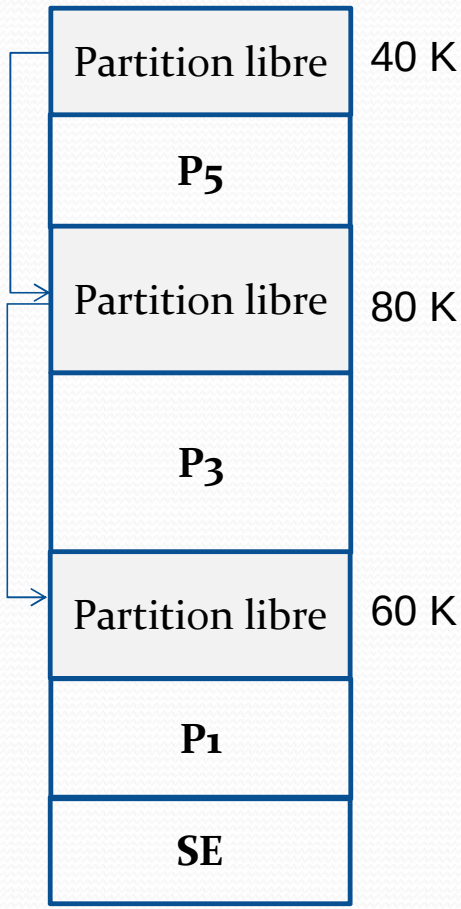
Stratégies d'allocation – First Fit



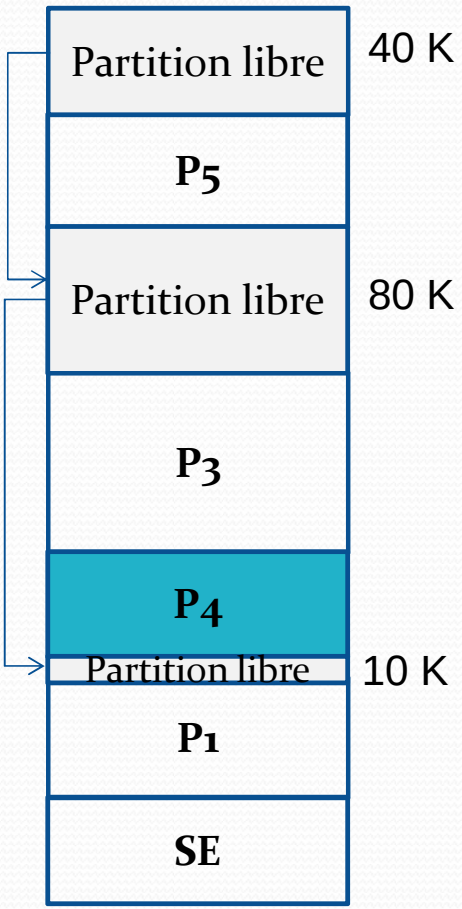
P4 (50 K) ?



Stratégies d'allocation – Best Fit



P4 (50 K) ?



Comparaison des algorithmes

Même si Best Fit semble le meilleur, ce n'est pas toujours l'algorithme retenu en pratique car il demande beaucoup de temps de calcul.

First Fit, malgré sa simplicité apparente, est souvent utilisé.

Dans le cas d'une liste de partions libres triée par taille, le Best-fit et le First-fit sont aussi rapides l'un que l'autre.

Comparaison des algorithmes

Au fur et à mesure des opérations d'allocation et de libération, la mémoire centrale devient composée d'un ensemble de zones occupées et de zones libres éparpillées dans toute l'étendue de la mémoire centrale.

Ces zones libres peuvent devenir trop petites pour permettre l'allocation de nouveaux processus (problème de fragmentation de la mémoire). Pour permettre l'allocation d'un processus, il faut réunir l'ensemble des zones libres pour ne former plus qu'une zone libre suffisante : c'est l'opération de compactage de la mémoire centrale

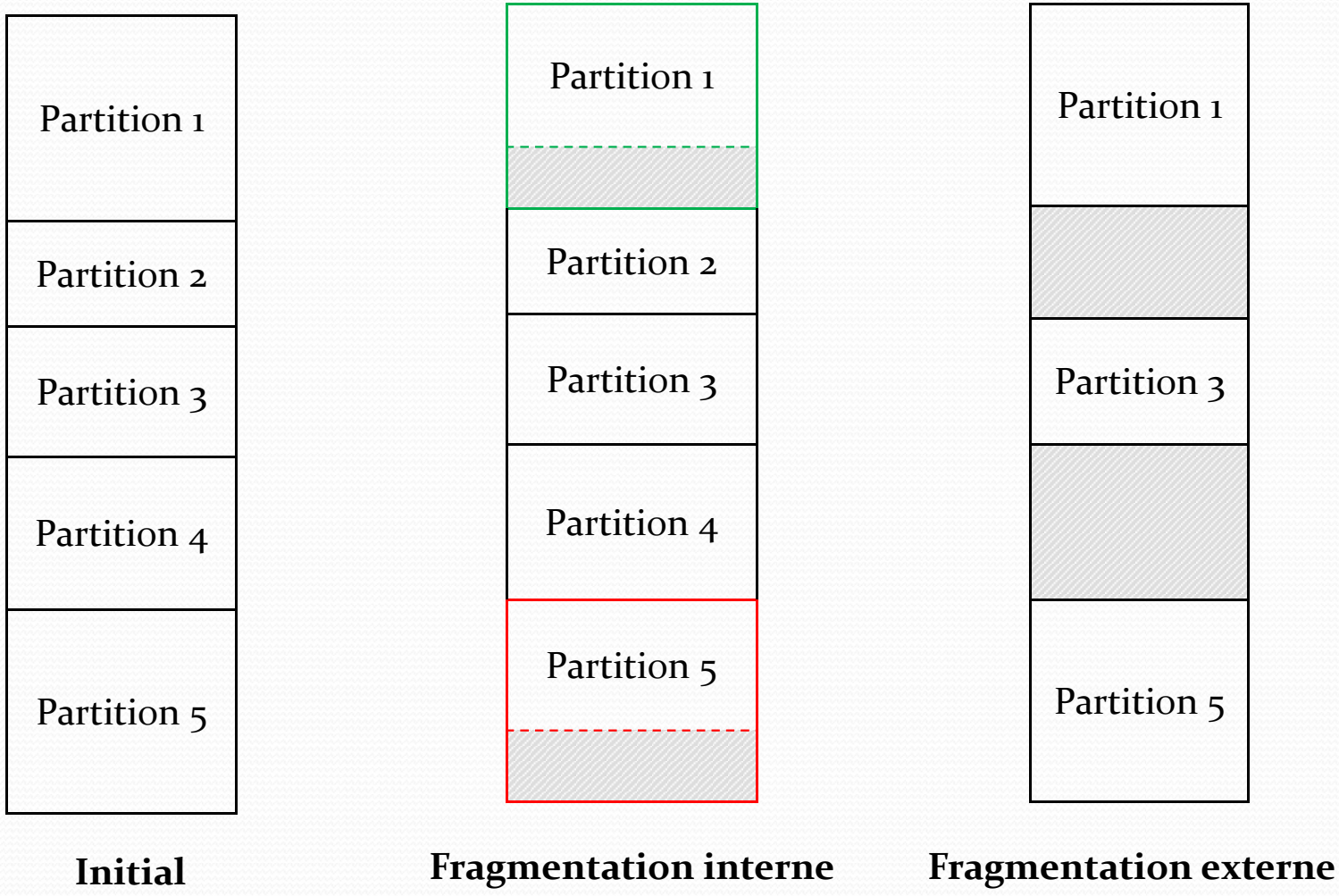
Fragmentation et Compactage

- Une mémoire fragmentée est une mémoire dans laquelle plusieurs blocs de mémoire non contigus sont libres.
- L'allocation contiguë de partitions à taille fixe crée de la ***fragmentation interne***. Entre chaque partition de taille fixe, un peu de mémoire est perdue parce que le programme contenu dans la partition n'a pas nécessairement la même taille que la partition.
- L'allocation contiguë de partitions à taille variable crée de la ***fragmentation externe***. Lorsqu'un programme est retiré de la mémoire, il laisse un bloc de mémoire libre.

Fragmentation et Compactage

- Il est possible, par la suite, que ce bloc soit rempli partiellement par un processus de taille moindre (dans une nouvelle partition). Il reste alors de la mémoire libre à l'extérieur des partitions.
- Une mémoire très fragmentée est une mémoire lente et une mémoire dans laquelle des blocs (programmes) de grandes dimensions ne peuvent plus être alloué, car l'espace libre est répartie partout dans le mémoire.
- Il existe des méthodes de compaction (pour la mémoire) et défragmentation (pour un disque dur) afin de réduire la fragmentation.

Fragmentation externe Vs Fragmentation interne



Fragmentation et Compactage

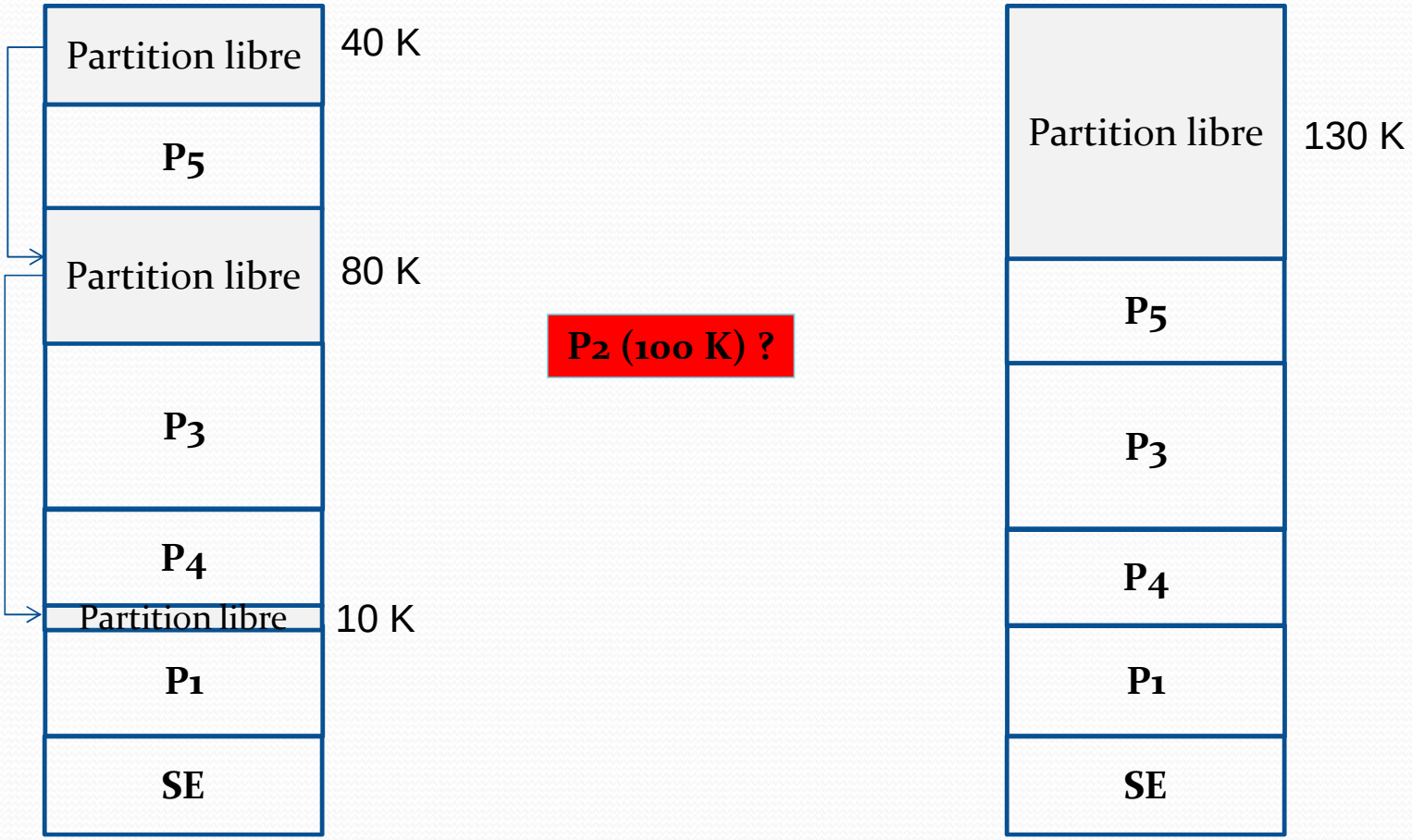
Compactage de la mémoire centrale

- Le compactage de la mémoire centrale consiste à déplacer les programmes en mémoire centrale de manière à ne créer qu'une seule et unique zone libre.
- Le compactage de la mémoire centrale est une opération coûteuse.
- Il nécessite une translation des adresses dynamiques. Dans le mécanisme de chargement dynamique, les adresses du programme chargé en mémoire centrale ne sont pas translatées de la valeur de l'adresse d'implantation au moment du chargement, mais seulement au moment de l'exécution.

Fragmentation et Compactage

- L'adresse d'implantation du programme est conservée dans un registre processeur - le registre de translation –
- Ainsi lors de l'opération de compactage, déplacer un programme consiste à changer la valeur d'adresse d'implantation à charger dans le registre de translation.

Compactage de la mémoire



Conclusion

- Le partitionnement de la mémoire que ce soit avec des partitions de tailles fixes ou de tailles variables, ne permet pas d'utiliser la mémoire au mieux.
- L'allocation contigu de la mémoire centrale souffre donc de deux défauts principaux :
- Elle nécessite une opération de compactage de la mémoire qui est une opération très coûteuse
- Elle exige d'allouer le programme en une zone d'un seul tenant.
- Une solution est de diviser le programme en portions de taille fixe et égales à l'unité d'allocation de la mémoire centrale. On dit alors que le programme est découpé en pages. Le mécanisme d'allocation associé s'appelle la ***pagination***.

Allocation non contigüe

Il y a deux techniques de base pour faire ceci: la ***pagination*** et la ***segmentation***.

- La **segmentation** utilise des parties de programme qui ont une valeur logique (des modules)
- La **pagination** utilise des parties de programme arbitraires (morcellement du programmes en pages de longueur fixe).
- La combinaison des deux (**segmentation paginée**)

Pagination

La technique de pagination ou paging consiste à organiser la mémoire en zones de taille fixes ou identiques appelées *cadres* de page ou en anglais «page *frame*».

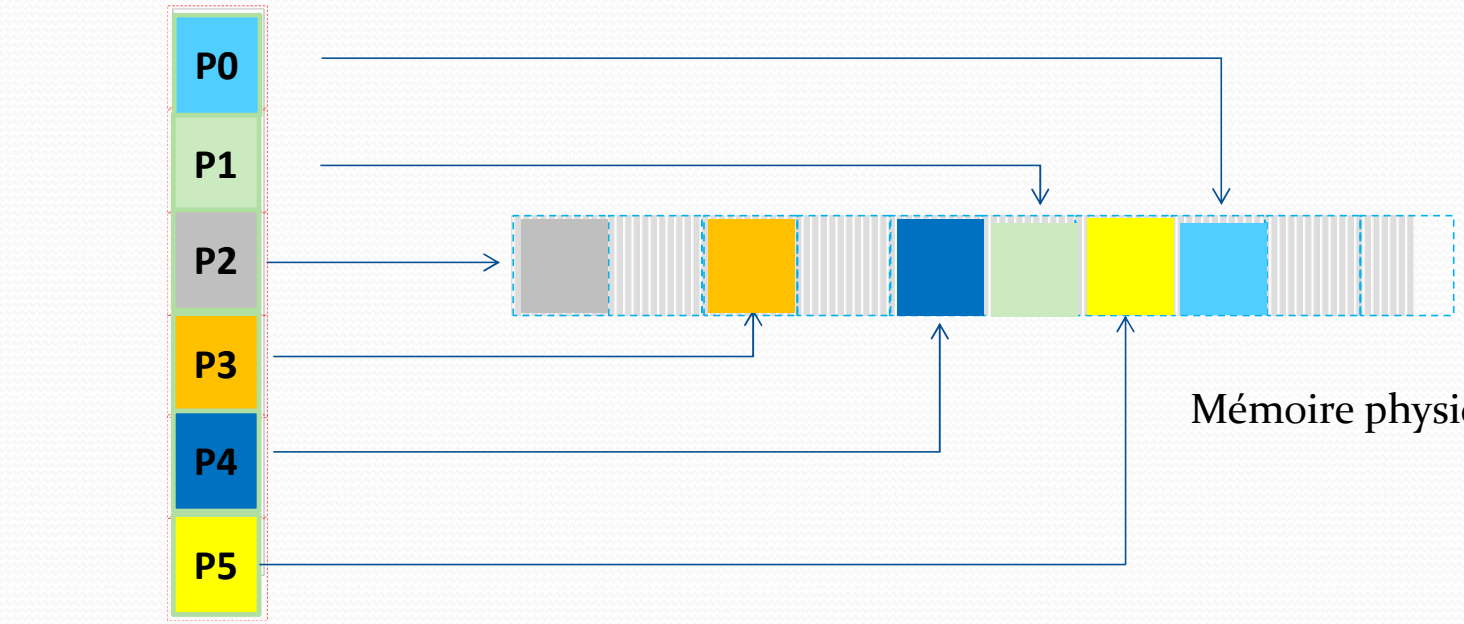
Principe :

- L'espace d'adressage virtuel est divisé en petites unités de taille appelées *pages*
- Les unités correspondantes dans la mémoire physique sont appelées *cadres* de pages (pages frames)
- Les *pages* et les *cadres* de pages ont toujours la **même taille**

Pagination

- Chaque page est indivisible: Elle est entièrement en mémoire physique ou elle n'y est pas du tout.
- Il peut y avoir plus de pages que de cadres (c'est la tout l'intérêt)
- Il n'est plus nécessaire de placer le processus dans une zone contiguë de mémoire.
- Il devient possible d'allouer de la mémoire à un processus sans forcément avoir à réaliser de compactage.

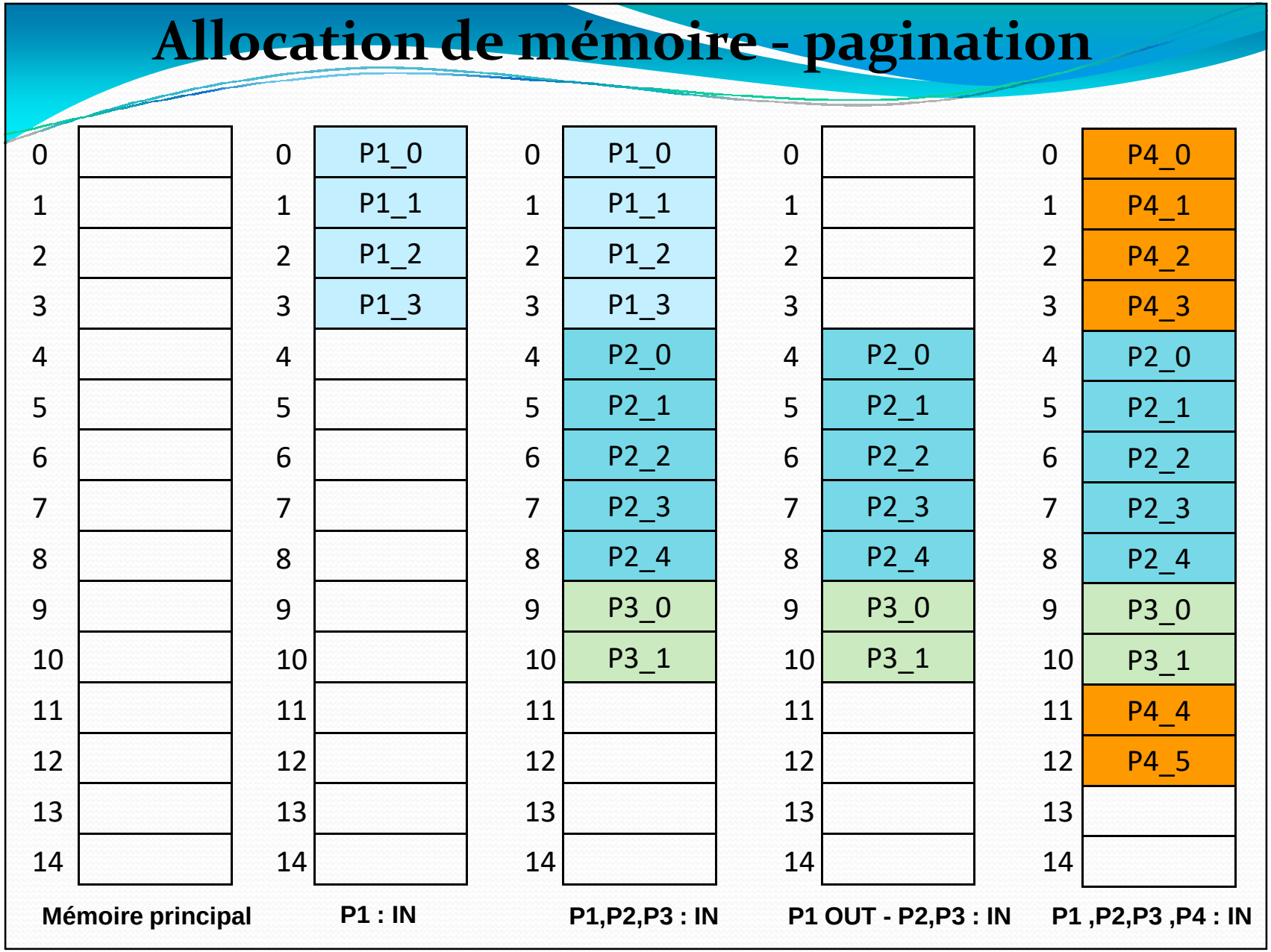
Pagination



Pagination

- Les pages logiques d'un processus peuvent donc être assignés aux cadres disponibles n'importe où en mémoire principale
- Conséquences:
  - ✓ un processus peut être éparpillé n'importe où dans la mémoire physique.
  - ✓ la fragmentation externe est éliminée
  - ✓ Seule la dernière page d'un processus peut souffrir de fragmentation interne (qui peut être plus petite qu'un cadre)

Allocation de mémoire - pagination



Pagination

Même s'il ne reste pas d'espace continu suffisant, un processus peut être chargé sans défragmentation de la mémoire.

- Il n'est plus nécessaire de placer le processus dans une zone contiguë de mémoire.
- Il devient possible d'allouer de la mémoire à un processus sans forcément avoir à réaliser de compactage.

Problème

- Taille d'un processus > taille mémoire principale
- Taille de l'ensemble des processus > taille mémoire principale

Pagination

Même s'il ne reste pas d'espace continu suffisant, un processus peut être chargé sans défragmentation de la mémoire.

- Il n'est plus nécessaire de placer le processus dans une zone contiguë de mémoire.
- Il devient possible d'allouer de la mémoire à un processus sans forcément avoir à réaliser de compactage.

Problème

- Taille d'un processus > taille mémoire principale
- Taille de l'ensemble des processus > taille mémoire principale

Mémoire virtuelle

Motivations :

- Attribuer à chaque processus un espace d'adressage complet revient trop cher (mémoire physique coûteuse)
- Mémoire secondaire (disques, mémoire étendue, ...) peu coûteuse

Idée :

- Utiliser la mémoire secondaire "comme" mémoire RAM.
- Il s'agit de conserver en mémoire une « partie » des processus

Mémoire virtuelle

- Si un programme P veut s'exécuter alors qu'il n'y a plus de place en mémoire, un morceau d'un autre programme est déplacé en mémoire secondaire et remplacé par un morceau de P.

Définition :

- La mémoire virtuelle est une fonctionnalité d'un système d'exploitation permettant de compenser le manque de mémoire physique en transférant temporairement des pages de données de la RAM vers le disque.
- La mémoire virtuelle c'est la capacité de donner l'illusion à chaque processus d'avoir accès à toute la mémoire de l'ordinateur pour lui tout seul

Mémoire virtuelle

- L'astuce consiste en fait à swapper les pages inutiles afin de ne conserver en mémoire vive que celles dont on a forcément besoin.
  - Si un programme P veut s'exécuter alors qu'il n'y a plus de place en mémoire, un morceau d'un autre programme est déplacé en mémoire secondaire et remplacé par un morceau de P.

Mémoire virtuelle

Le concept de mémoire virtuelle utilise deux types d'adressages de l'espace :

- ***Adresse virtuelle (logique)*** est une adresse utilisée à l'intérieur d'un programme accessible par l'utilisateur. Elle est générée par le CPU.
- ***Adresse physique (réelle)*** est une adresse réelle dans la mémoire principale, vue par l'unité de mémoire.

Mémoire virtuelle

Le concept de mémoire virtuelle pose de nouveaux problèmes :

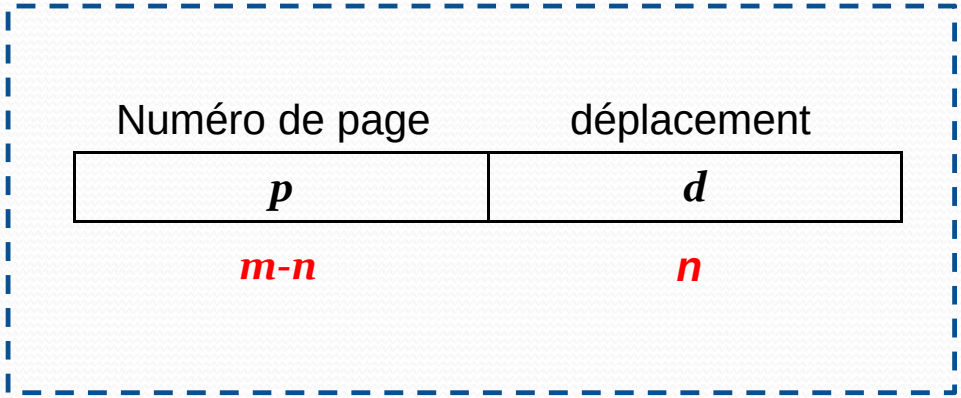
- Comment les adresses virtuelles sont elles converties en adresses physiques ?
- Comment gérer la mémoire physique ?
- Comment assurer la protection mutuelle ?

Mémoire virtuelle

- Système de pagination → à chaque page virtuelle correspond une page physique.
- Chaque adresse générée par le processeur comprend deux parties : numéro de page *p* et déplacement dans la page *d*.
- Le système maintient pour chaque programme une table de correspondance entre les pages virtuelles et les pages physiques, appelée **table des pages** (index répertoriant les adresses virtuelles et physiques des pages de données).
- Chaque processus a sa propre table des pages.
- Deux processus en mémoire peuvent utiliser la même *adresse virtuelle*. *Les adresses physiques* calculés correspondantes sont différentes.

Mémoire virtuelle

- Si une adresse virtuelle (*AV*) a *m* bits (espace d'adressage virtuel 2^m), et si la taille des pages est 2^n, alors:
  - Les *n* bits les moins significatifs de *AV* sont utilisés comme déplacement (*d*),
  - les bits restants de *AV* sont utilisés comme numéro de page (*p*).



Application

- Supposons que la taille d'une page est de 1 Ko et un espace d'adressage logique de 15 bits.

  Combien de pages y a-t-il dans le système?

  Combien faut il de bits pour adresser chaque octet dans une page?

  — 1 Ko = 1024 octets = 2^{10} octets

  — Il reste 5 bits pour le numéro de page.

  → 2^5 (soit 32)

- Considérons un espace d'adressage de 15 bits avec 8 pages logiques. Quelle est la taille des pages?

Application

- Avec un espace d'adressage de 15 bits et 8 pages logiques.
- Il faut **3** bits pour référencer 8 pages logiques ($2^3 = 8$). Cela laisse **12** bits pour la taille de la page et donc la taille des pages est 2^{12} (soit 4Ko)

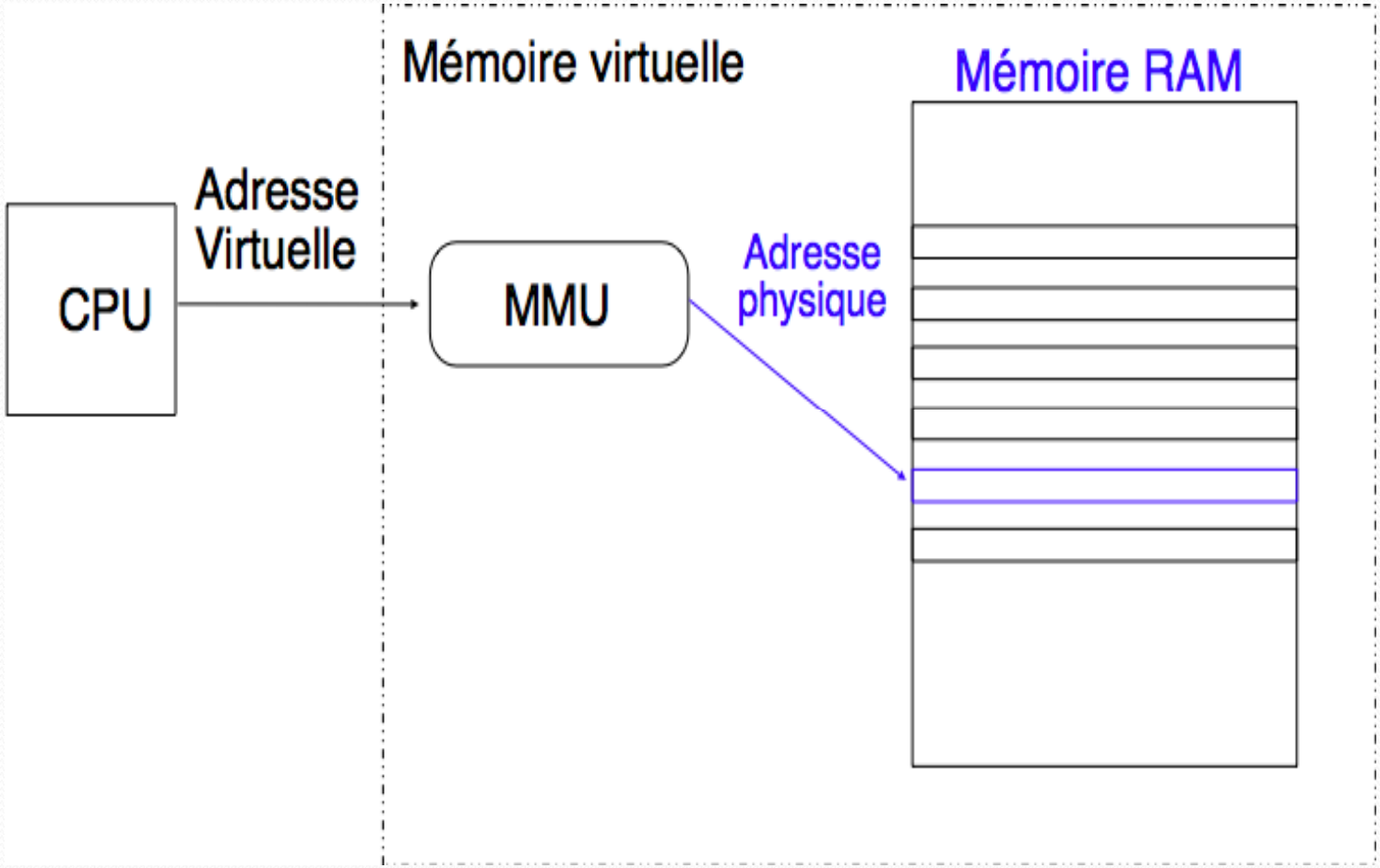
Structure d'une entrée de la table des pages

- Une entrée de la table des pages contient les numéros des pages virtuelles, leur N° da cadre (si elles sont chargées),
- Lors de la traduction d'une adresse, la MMU teste si la page est déjà chargée en mémoire
  - Si oui, l'adresse physique est calculée.
  - Si non, déroutement vers le système d'exploitation : défaut de page.
    - *Un bit* de présence/absence est ajouté dans la table des pages
- Lors du vidage d'un cadre, la MMU doit savoir si la page a été modifiée (recopie sur le disque le cadre associé lorsqu'il sera vidé)
  - *Un bit* de référencement est aussi ajouté (il joue un rôle dans certains algorithmes de remplacement de pages)
- Etc.

Mémoire virtuelle

- Le mécanisme de traduction d'adresses est réalisé en temps réel, par un composant électronique MMU (Memory Management Unit).
- Le MMU est intégré au micro-processeur de la machine, il contient la table des pages.
- Chaque entrée de la table est un couple < N° page, N° cadre >

Mémoire virtuelle et MMU



https://sites.uclouvain.be/SystInfo/notes/Theorie/html/MemoireVirtuelle/vmem.html

Mémoire virtuelle

Page 0
Page 1
Page 2
Page 3
Page 4

Adressage virtuelle

Tables des pages	
N° Page	N° Cadre
Page 0	Cadre 3
Page 1	Cadre 2
Page 2	Cadre 5
Page 3	Cadre 7
Page 4	Cadre 0

Page 4	Cadre 0
	Cadre 1
Page 1	Cadre 2
Page 0	Cadre 3
	Cadre 4
Page 2	Cadre 5
	Cadre 6
Page 3	Cadre 7
	Cadre 8

Adressage physique

Application

- Considérons l'adresse logique 2049 et la table de pages suivante pour certains processus Po. Supposons un espace d'adressage de **15** bits avec une taille de page de **1** Ko.

Quelle est l'adresse physique à laquelle l'adresse logique 2039 sera mappée?

- Conversion de l'adresse logique en binaire:

2039 → 000011111110111

- Déterminez le numéro de page logique:

Comme il y a 5 bits alloués à la page logique, l'adresse est divisée

Application

- Considérons l'adresse logique 2049 et la table de pages suivante pour certains processus Po. Supposons un espace d'adressage de **15** bits avec une taille de page de **1** Ko.

Quelle est l'adresse physique à laquelle l'adresse logique 2345 sera mappée?

— Conversion de l'adresse logique en binaire :

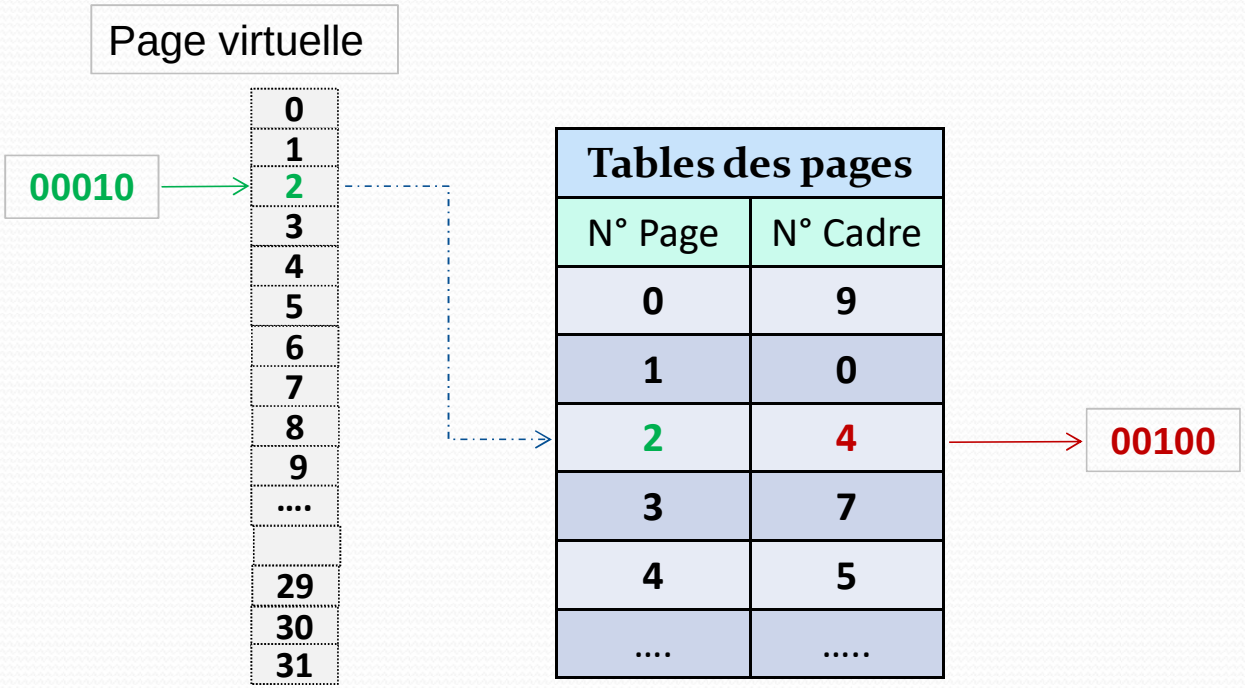
2345 → 000100100101001

— Déterminez le numéro de page logique:

Comme il y a 5 bits alloués à la page logique, l'adresse est divisée comme suit: **00010** **0100101001**

Numéro de page logique **déplacement dans la page**

Exemple : Application



Application

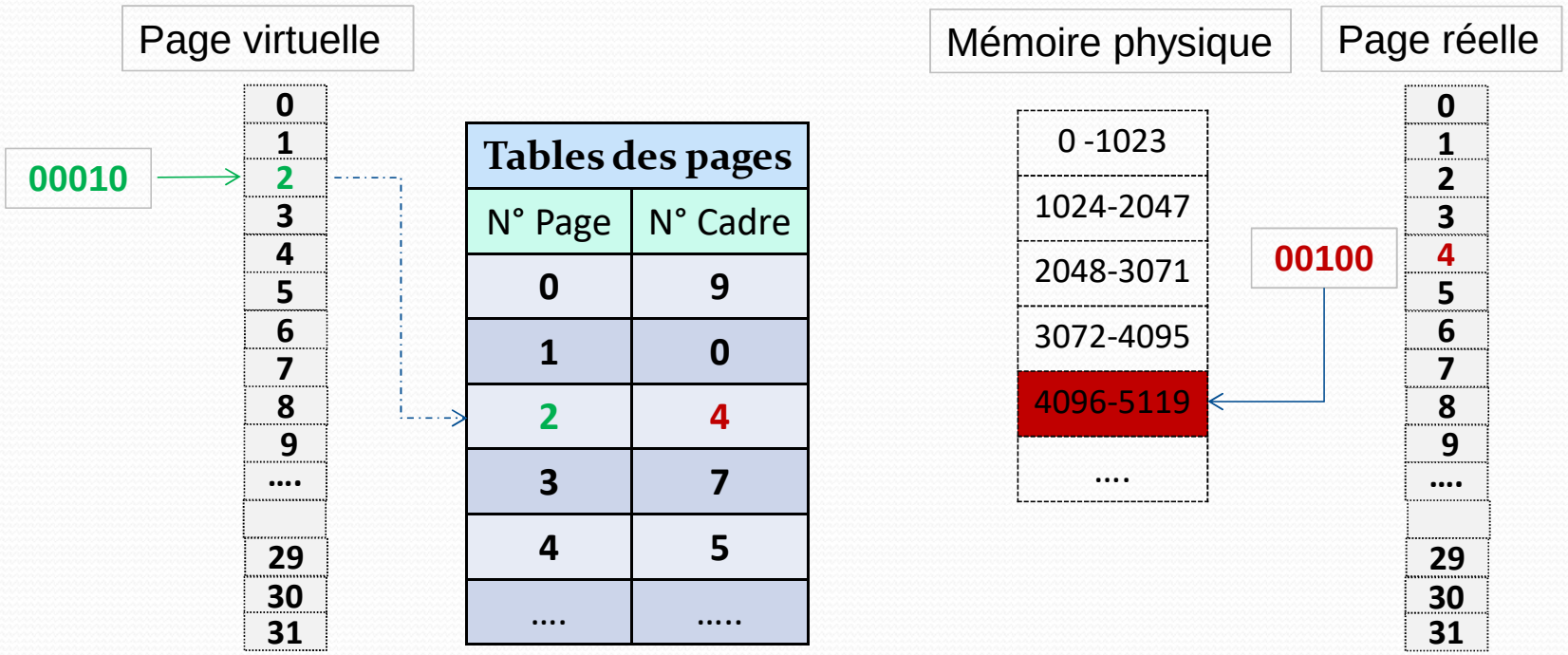
— Récupérer le numéro de la page physique à partir de la table des pages :

— Concaténer le déplacement avec le numéro du cadre de la page physique

Adresse virtuelle 0001000100101001

Adresse physique 0010000100101001

Exemple : Application



Adresse physique **001000100101001 = 4393**

Adresse Physique et logique - formules

- La conversion d'une adresse virtuelle AV sous la forme $AV = (p, d)$

  T = taille de page

  p = $AV \; DIV \; T$: numéro de la page

  d = AV MOD T : déplacement dans la page

  $\Rightarrow AV = p \times T + d$

D'une manière symétrique (avec c : numéro de la frame)

- La conversion d'une adresse physique AP sous la forme $AP = (c, d)$

  $\Rightarrow AP = c \times T + d$