

# Virtualisation (mémoire) : segmentation

Thibaud Martinez

[thibaud.martinez@dauphine.psl.eu](mailto:thibaud.martinez@dauphine.psl.eu)

Cette présentation couvre les chapitres 13, 14, 15 et 16 de Operating Systems: Three Easy Pieces.

Les diapositives sont librement adaptées de diapositives de *Youjip Won (Hanyang University)*.

## **Qu'est-ce que la virtualisation de la mémoire ?**

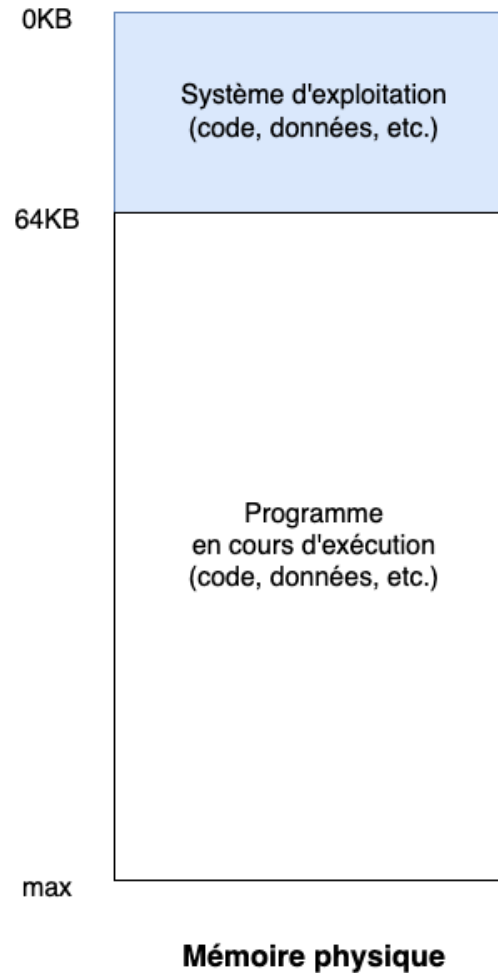
Le système d'exploitation fournit l'illusion au processus qu'il est le seul à utiliser la mémoire et qu'il peut l'utiliser en totalité.

# Pourquoi virtualiser la mémoire ?

- Facilité d'utilisation pour la programmation.
- Efficacité de la mémoire en termes de temps et d'espace.
- Garantie d'isolation pour les processus et le système d'exploitation.
  - Protection contre les accès erronés depuis d'autres processus

# Les premiers systèmes d'exploitation

Chargement d'un seul processus en mémoire.



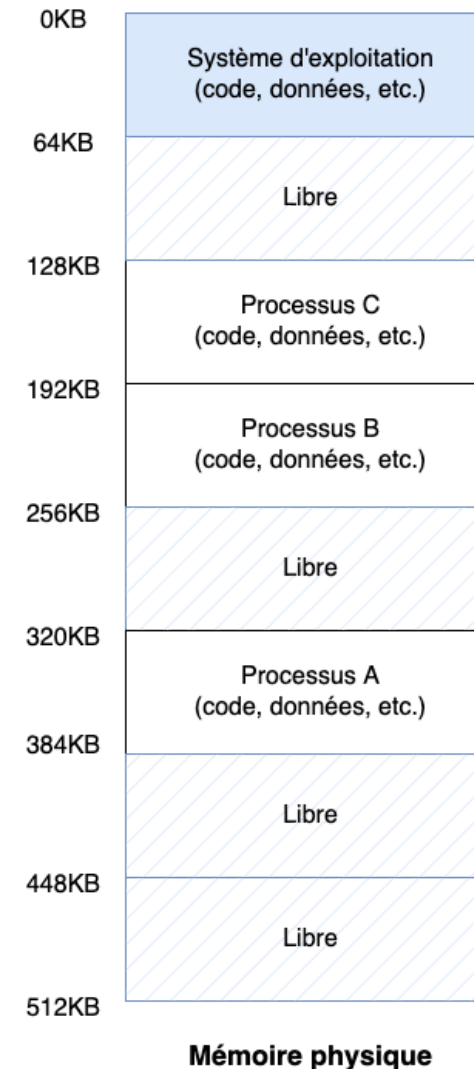
# Multiprogrammation et *time sharing*

Chargement de plusieurs processus en mémoire.

- Exécuter un processus pendant une courte période.
- Passer d'un processus à l'autre en mémoire.

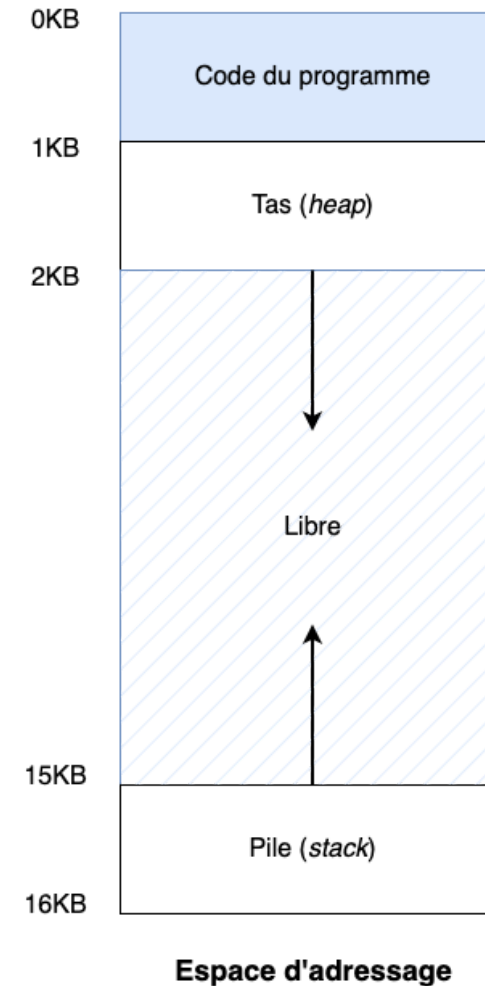
→ Augmenter l'utilisation et l'efficacité.

Problème de protection : **accès erronés à la mémoire par d'autres processus.**

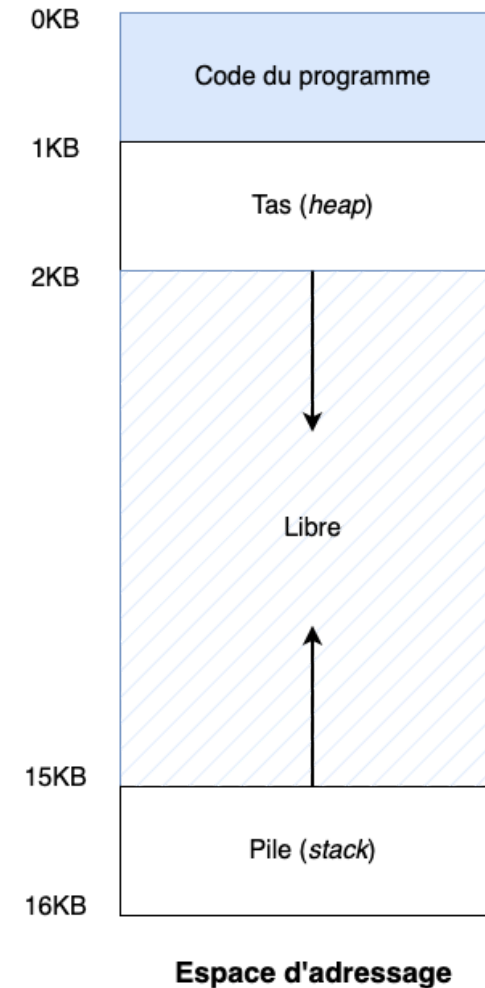


# Espace d'adressage

- Le système d'exploitation crée une abstraction de la mémoire physique.
- Il s'agit d'une "vue" de la mémoire physique pour un processus.
- L'espace d'adressage contient tout ce qui concerne un processus en cours d'exécution : code du programme, du tas, de la pile, etc.



- **Code**: où se trouvent les instructions.
- **Tas (*heap*)** : pour allouer dynamiquement de la mémoire.
  - `malloc` en langage C
- **Pile (*stack*)**
  - Stocke les adresses de retour ou les valeurs.
  - Contient les variables locales, les arguments des fonctions.





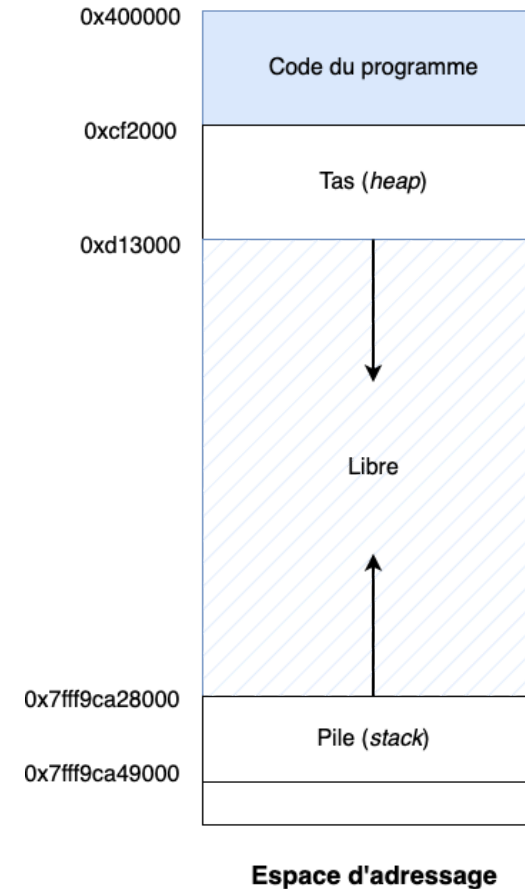
# Organisation de l'espace d'adressage : exemple

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(int argc, char *argv[]) {
    printf("location of code : %p\n", main);
    printf("location of heap : %p\n", malloc(100e6));
    int x = 3;
    printf("location of stack: %p\n", &x);
    return 0;
}
```

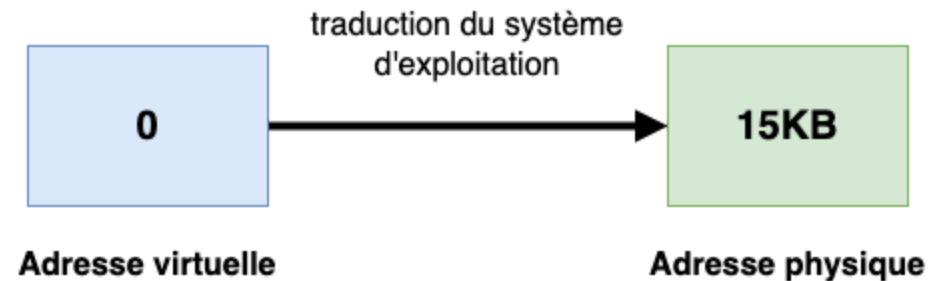
Le résultat sur une machine Linux 64 bits.

```
location of code : 0x40057d
location of heap : 0xcf2010
location of stack : 0x7fff9ca45fcc
```



# Adresse virtuelle

- Chaque adresse d'un programme en cours d'exécution est **virtuelle**.
- Le processus a l'impression que son espace d'adressage débute à l'adresse mémoire 0.
- Le système d'exploitation traduit l'**adresse virtuelle** en **adresse physique**.



**Note :** toutes les adresses mémoires affichées par un processus en mode utilisateur sont des adresses virtuelles.

# Comment virtualiser la mémoire avec efficacité et contrôle ?

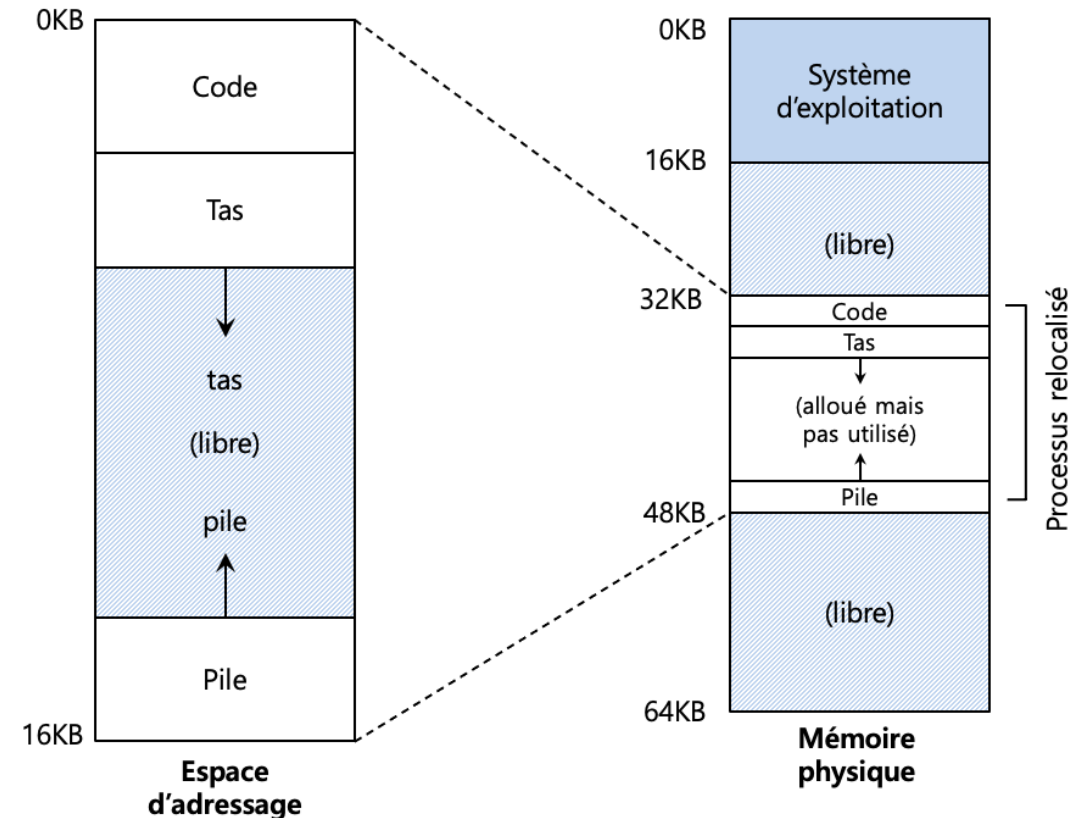
- Mécanisme de bas niveau assuré par le matériel.

**Traduction d'adresse** : le matériel transforme une adresse virtuelle en adresse physique. Les données sont en réalité stockées à une adresse physique.

- Intervention du système d'exploitation pour gérer la mémoire :
  - Quels espaces sont libres ?
  - Quels accès mémoires sont autorisés ?

# Relocalisation de l'espace d'adressage

- Pour le processus l'espace d'adressage débute à l'adresse mémoire 0.
- Le système d'exploitation veut placer le processus à un autre endroit de la mémoire physique, et non à l'adresse 0.



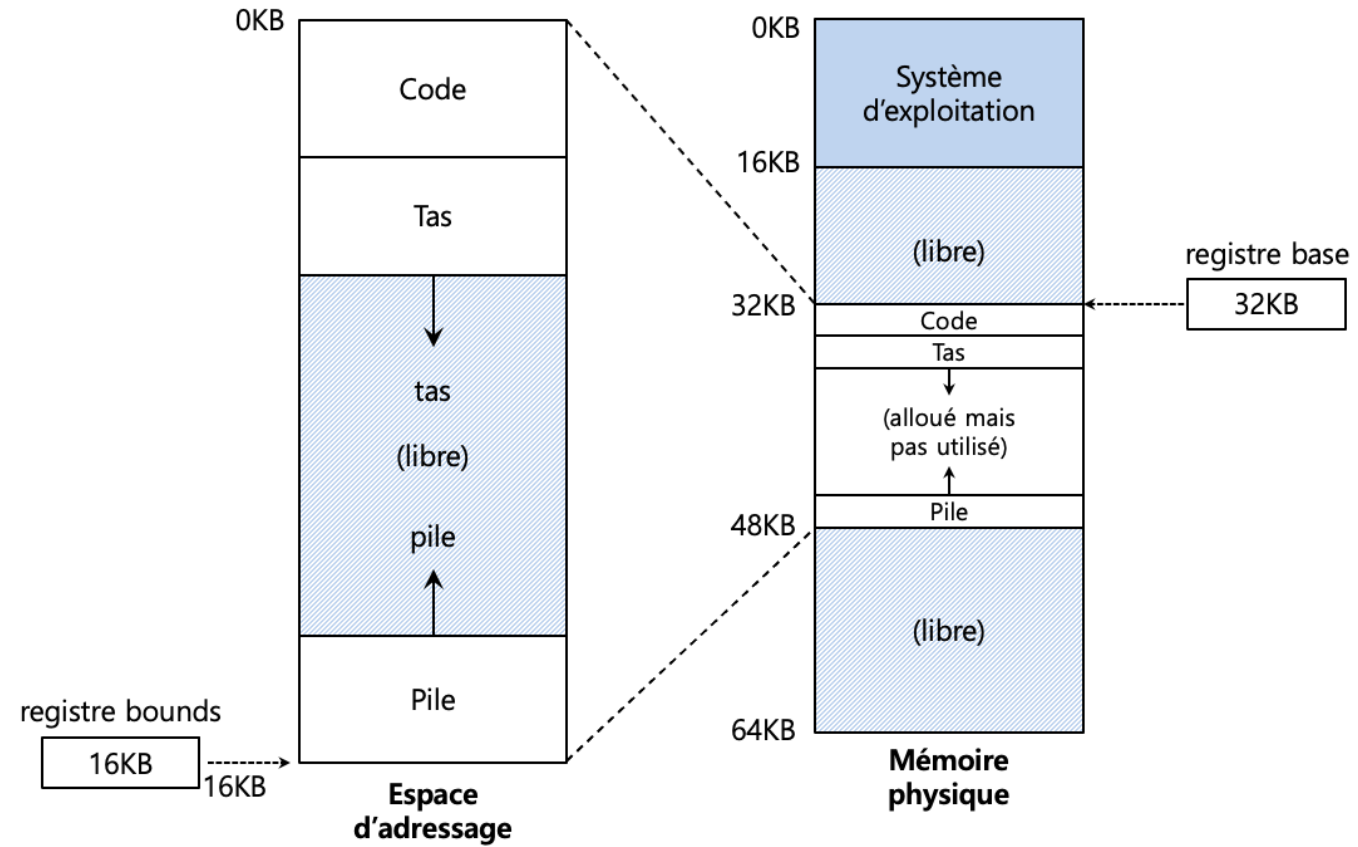
# Relocalisation dynamique, registres *base* et *bounds*

Lorsqu'un programme commence à s'exécuter, le système d'exploitation décide de l'endroit de la mémoire physique où le processus doit être chargé.

- Les registres *base* et *bounds* se voient attribué une valeur.
- $\text{adresse physique} = \text{adresse virtuelle} + \text{base}$
- Les adresses virtuelles ne doivent pas dépasser la valeur  $\text{base} + \text{bounds}$ , sinon le processeur lève une exception.

Les registres *base* et *bounds* se trouvent dans une partie du processeur appelée la **memory management unit (MMU)**.

# Registres *base* et *bounds*



# Exemple de traduction d'adresses

- `base = 16KB`
- `bounds = taille de l'espace d'adressage = 4KB`

Adresse virtuelle		Adresse physique
0	→	16KB
1KB	→	17KB
3000B	→	19384B
4400B	→	Erreur (hors limites)

## Limites de l'approche *base* et *bounds*

- Un gros morceau d'espace "libre" occupe la mémoire physique.
- Difficile de fonctionner lorsqu'un espace d'adressage ne tient pas dans la mémoire physique.



# Gestion de la mémoire par le système d'exploitation

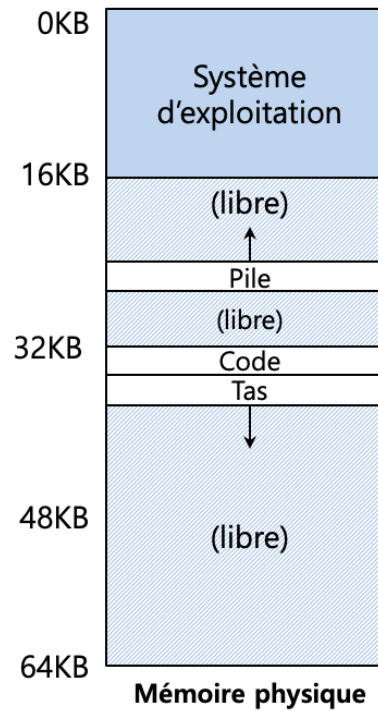
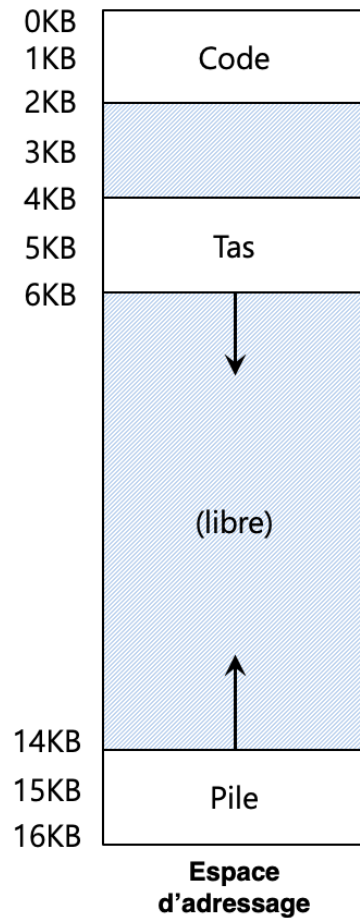
1. Lorsqu'un processus est créé le système d'exploitation doit **trouver un emplacement en mémoire pour son espace d'adressage**. Le système d'exploitation maintient une structure de données qui référence les emplacements disponibles (*free list*).
2. Lorsqu'un processus se termine, le système met à jour les emplacements disponibles.
3. Lorsqu'une **commutation de contexte** se produit, le système d'exploitation sauvegarde et restaure l'état des registres *base and bounds*.

# Segmentation

La segmentation permet de dépasser les limites de l'approche *base and bounds*.

- Un segment est une portion **contiguë** de l'espace d'adressage d'une longueur donnée.
- Pour un processus donné, on a 3 segments différents : code, pile, tas.
- Chaque segment peut être placé dans une partie différente de la mémoire physique.
- Les registres *base* et *bounds* existent pour chaque segment. La MMU contient les registres des segments.

# Placer un segment dans la mémoire physique



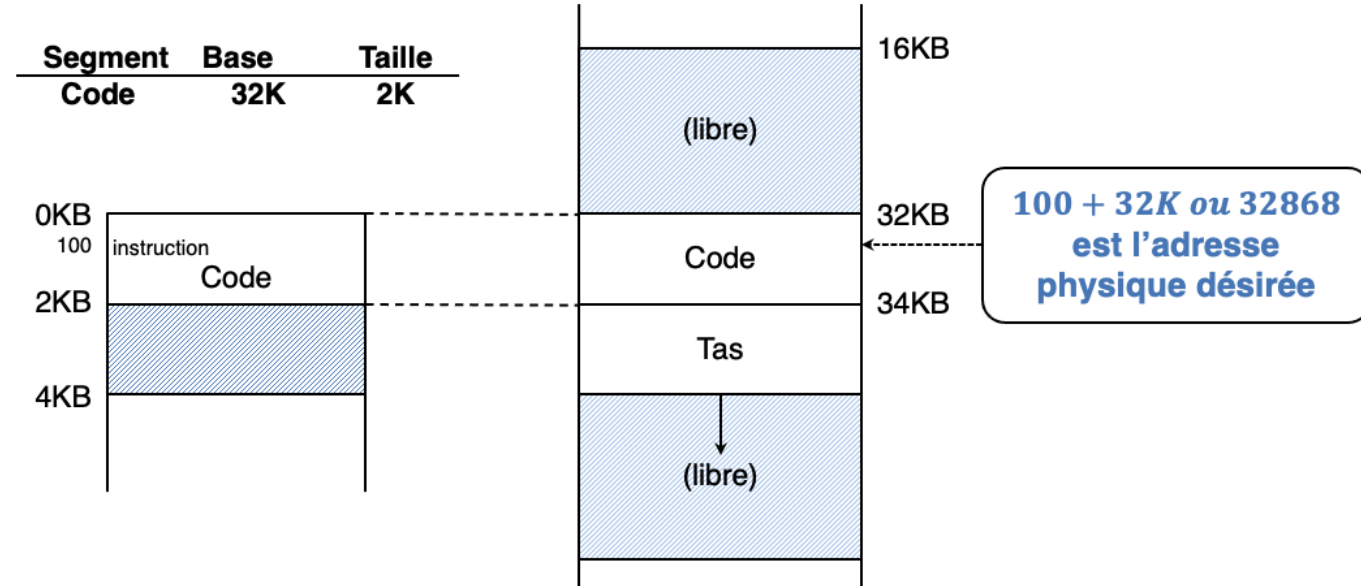
Segment	Base	Taille
Code	32K	2K
Tas	34K	2K
Pile	28K	2K

# Traduction d'adresse pour le segment code

$$\text{adresse physique} = \text{base} + \text{offset}$$

L'*offset* est la position de l'adresse par rapport au début du segment.

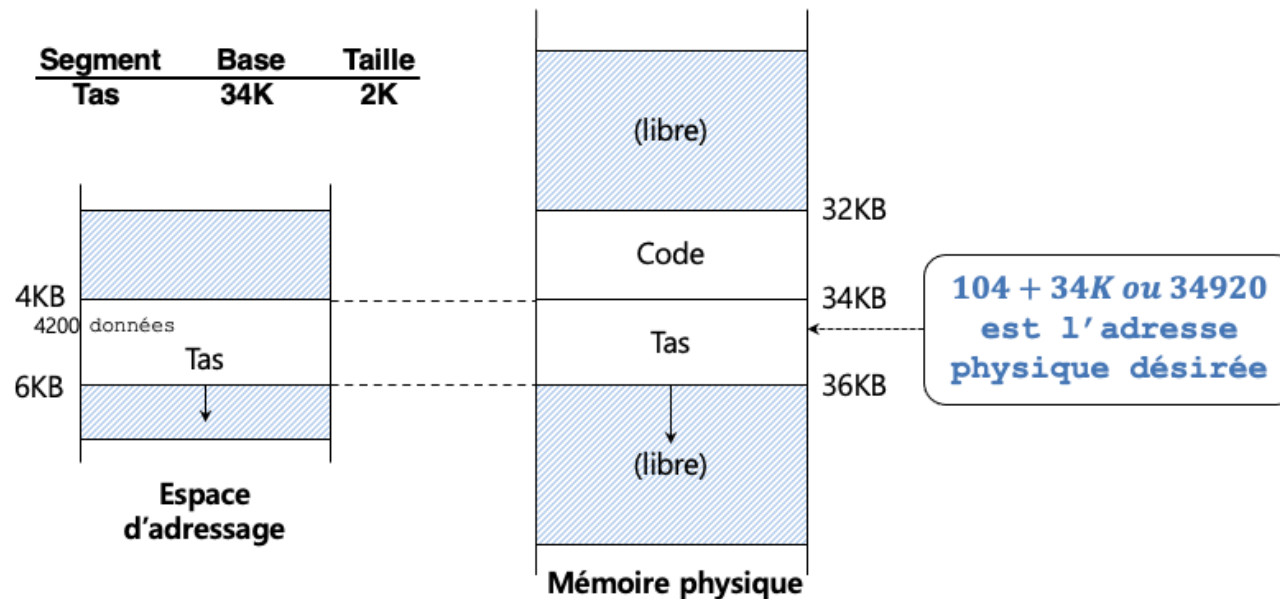
Pour le segment code, l'*offset* de l'adresse virtuelle 100 est 100 car le segment code débute à l'adresse virtuelle 0 dans l'espace d'adressage.



# Traduction d'adresse pour le tas

⚠ adresse virtuelle + base ne correspond pas à l'adresse physique correcte.

En effet, le segment tas commence à l'adresse virtuelle 4096 (4KB) dans l'espace d'adressage. Ainsi, l'*offset* de l'adresse virtuelle 4200 est  $4200 - 4096 = 104$ .



## Erreur de segmentation (*segmentation fault*)

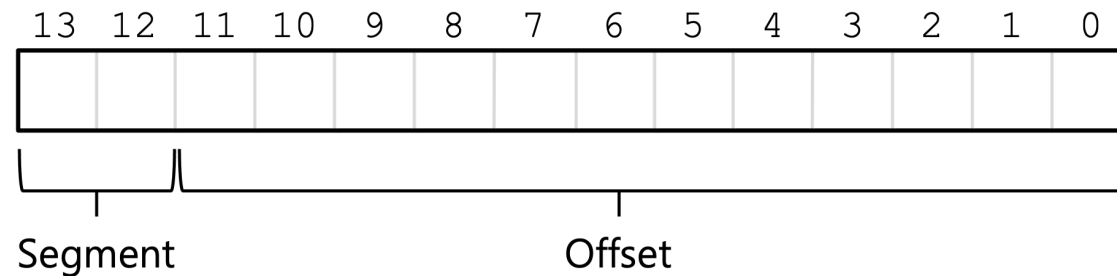
Si une adresse illégale, telle que 7 KB, qui se trouve au-delà de la fin du tas, est référencée, le système d'exploitation lève **une erreur de segmentation** (*segmentation fault*).

Le matériel détecte que l'adresse est hors limites.

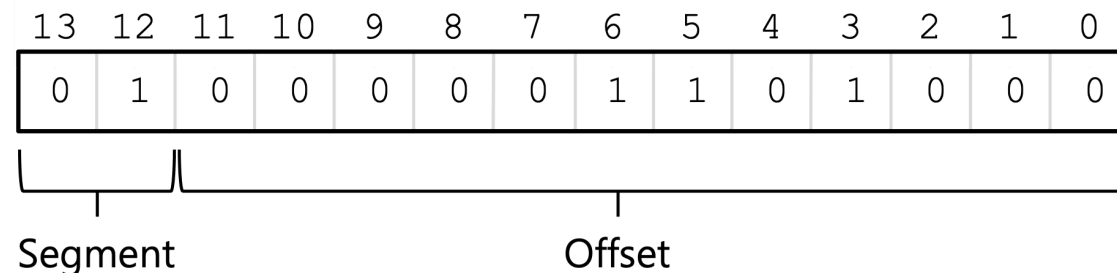
# Comment faire référence à un segment ?

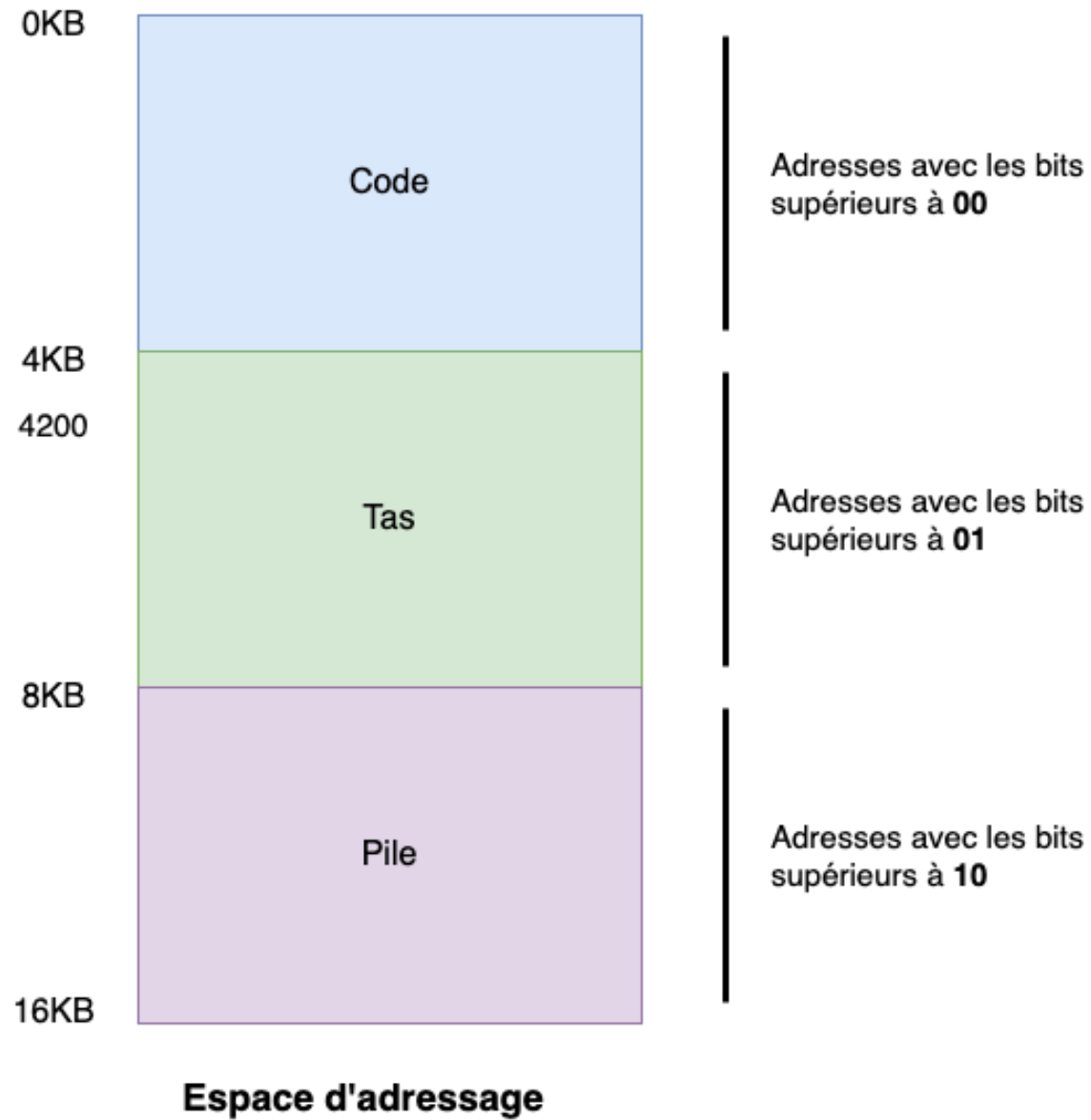
Le matériel utilise des registres de segments pendant la traduction. Comment sait-il quel est l'*offset* dans un segment et à quel segment une adresse se réfère ?

**Solution:** découper l'espace d'adressage en segments basés sur les deux bits supérieurs de l'adresse virtuelle.



Exemple : adresse virtuelle 4200 (01000001101000)







# Traduction d'adresse pour la pile

- La pile croît à l'envers.
- Un support matériel supplémentaire est nécessaire.
- Le matériel vérifie le sens de croissance du segment: 1 : sens positif, 0 : sens négatif

Segment	Base	Taille	Direction
Code	32KB	2KB	1
Tas	34KB	2KB	1
Pile	28KB	2KB	0

Registres de segments

# Partage de segments

Un segment peut être partagé entre espaces d'adressage.

→ Le partage de code est encore utilisé actuellement.

Un support matériel supplémentaire est nécessaire sous la forme de **bits de protection** : quelques bits supplémentaires par segment indiquent les autorisations de lecture, d'écriture et d'exécution.

Segment	Base	Taille	Direction	Protection
Code	32KB	2KB	1	Read-Execute
Tas	34KB	2KB	1	Read-Write
Pile	28KB	2KB	0	Read-Write

Registres de segments

# Fragmentation et compactage

**Fragmentation externe** : trous d'espace libre dans la mémoire physique qui rendent difficile l'allocation de nouveaux segments.

- Exemple : Il y a 24 KB d'espace libre, mais pas dans un segment contigu. Le système d'exploitation ne peut pas satisfaire la demande de 20 KB.

**Compactage** : réarrangement des segments existants dans la mémoire physique.

- Le compactage est coûteux. Il faut arrêter le processus en cours, copier les données quelque part, et modifier la valeur du registre de segment.

