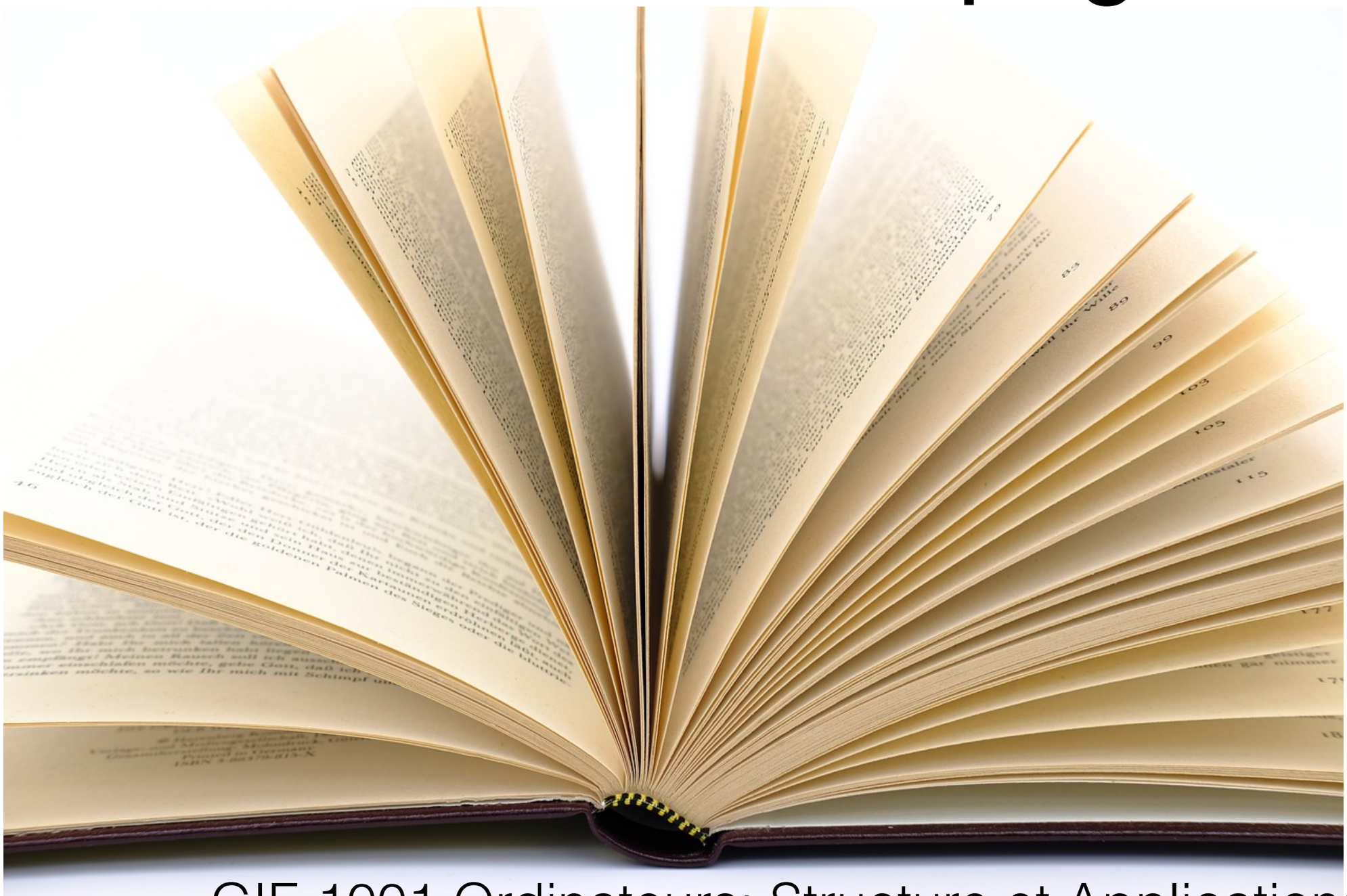
Allocation mémoire paginée



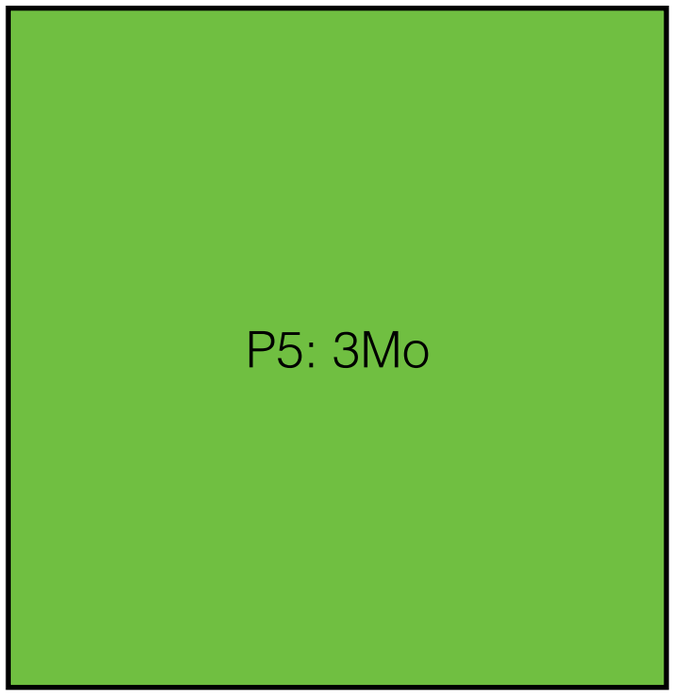
GIF-1001 Ordinateurs: Structure et Applications

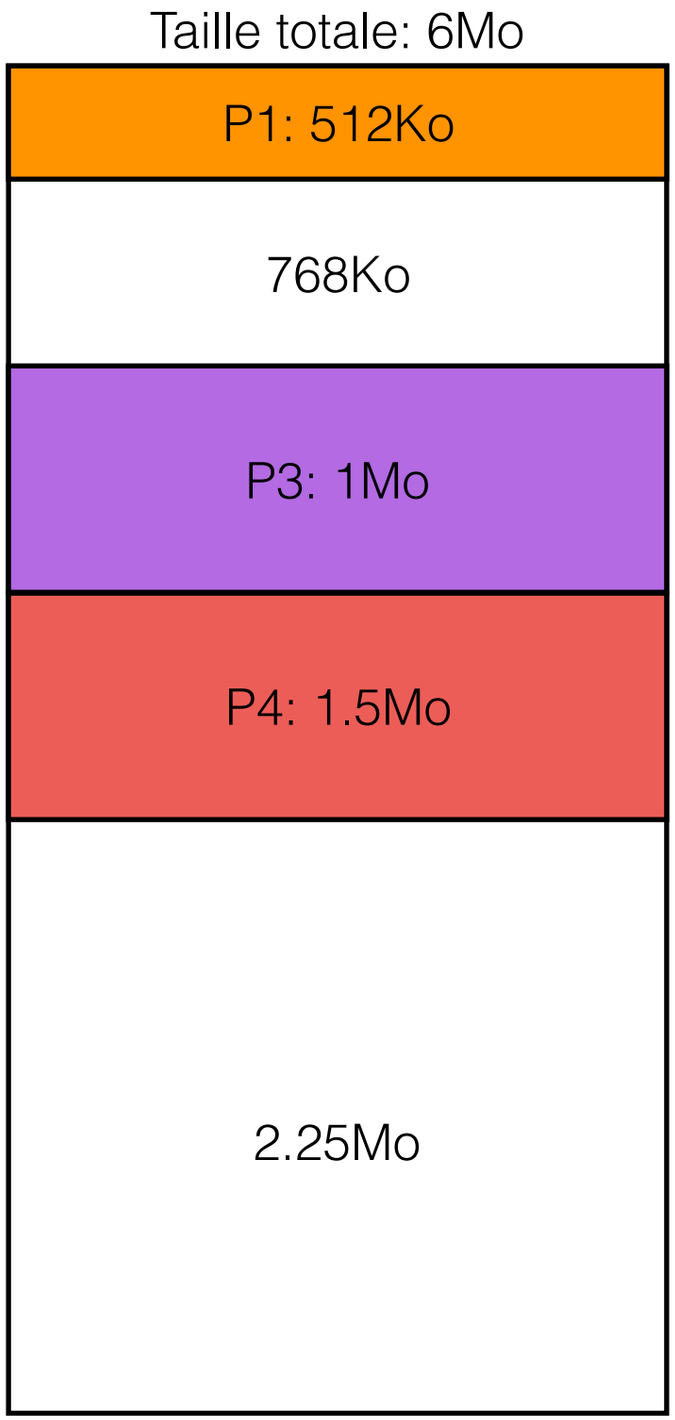
Jean-François Lalonde

Source

Question

Que faire avec P5?

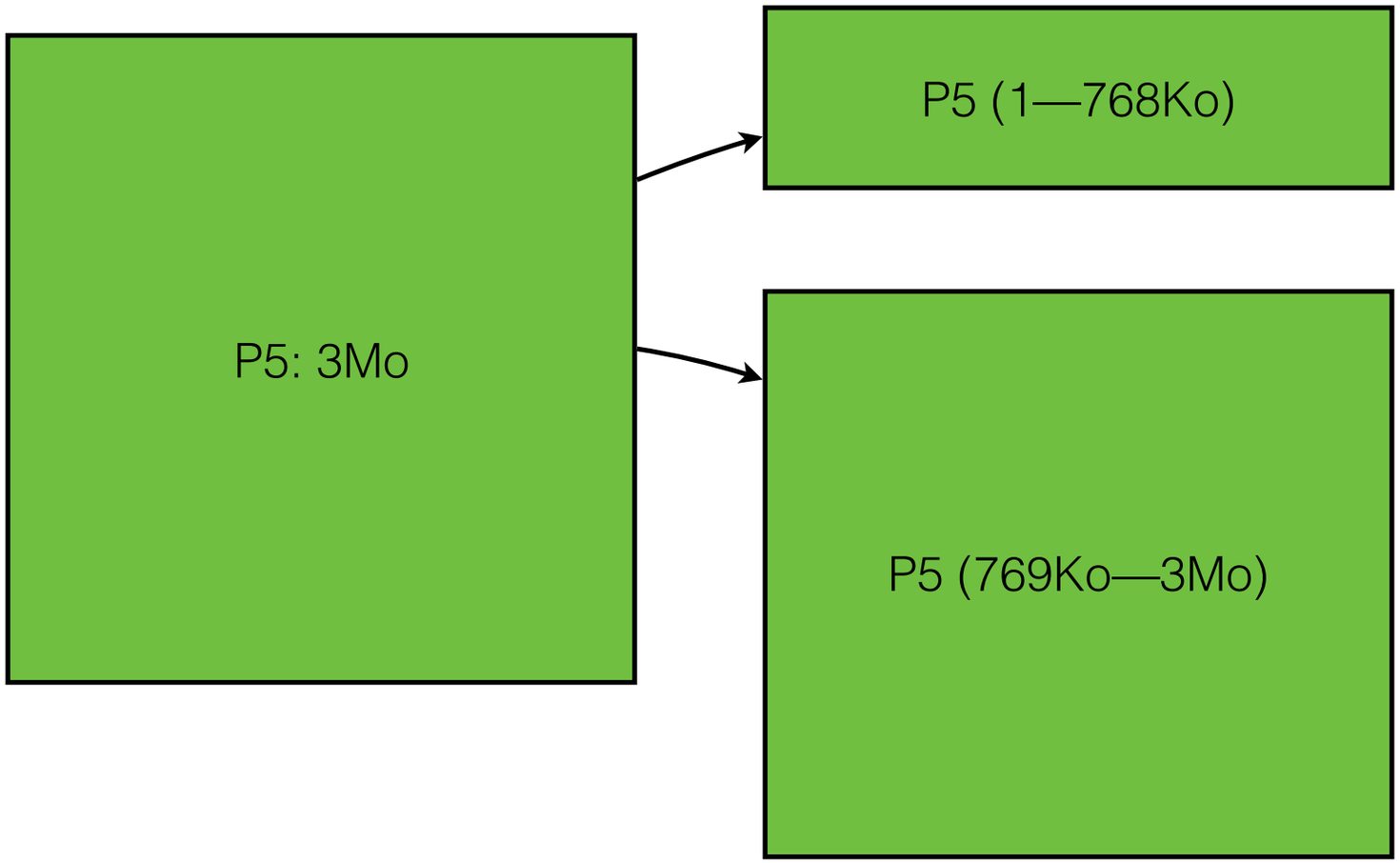


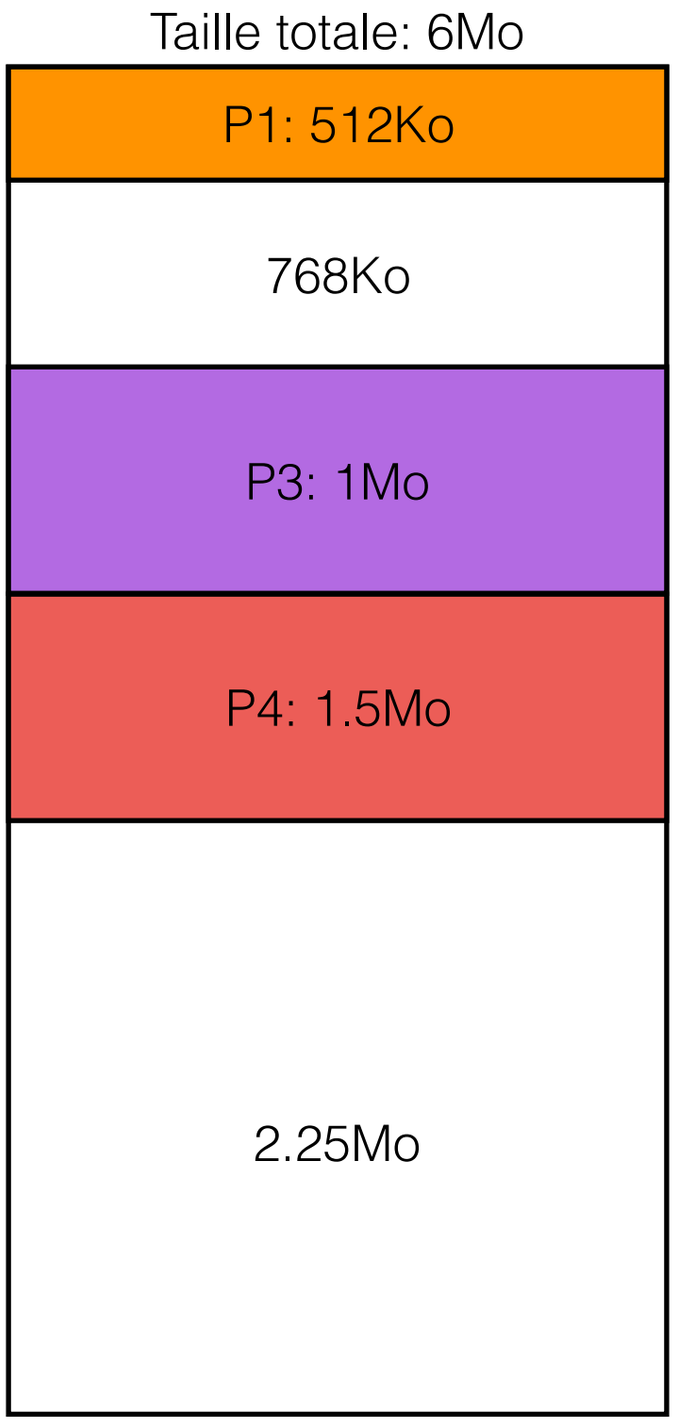


Question

Que faire avec P5?

Le séparer en deux blocs?





Question

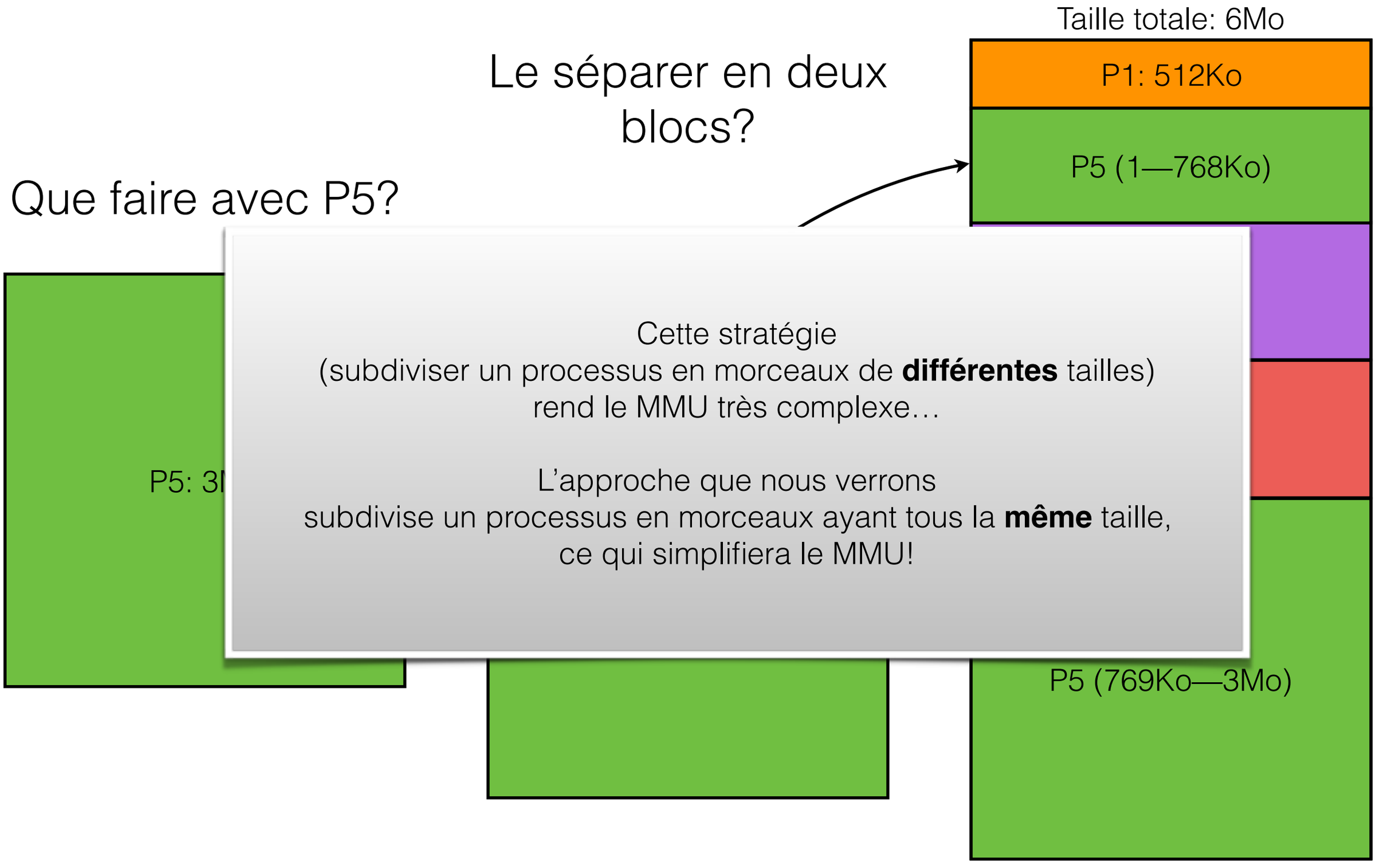
Placer chacun des blocs dans les espaces libres?

Le séparer en deux blocs?

Que faire avec P5?

Cette stratégie
(subdiviser un processus en morceaux de **différentes** tailles)
rend le MMU très complexe…

L'approche que nous verrons
subdivise un processus en morceaux ayant tous la **même** taille,
ce qui simplifiera le MMU!

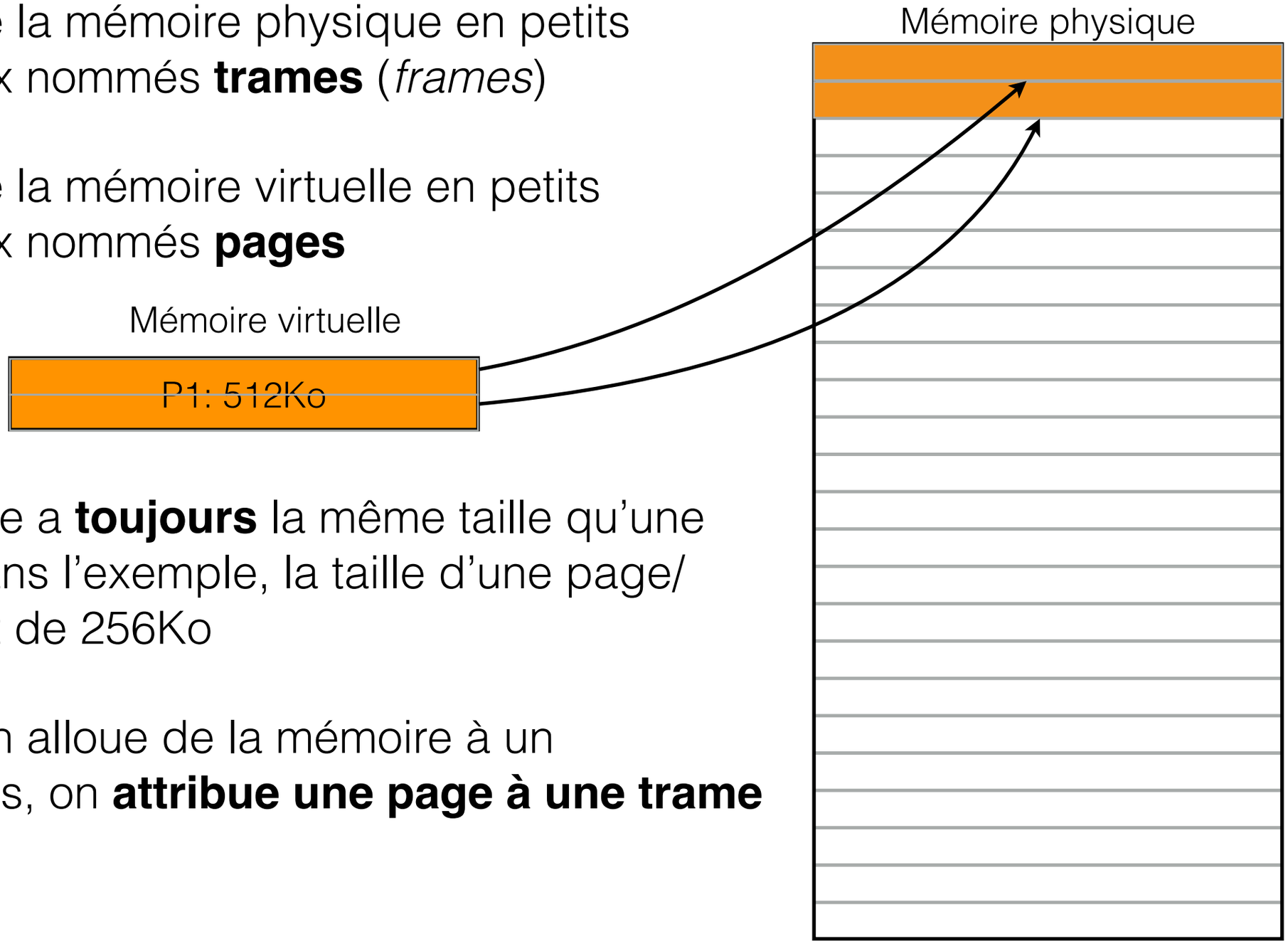


Allocation mémoire paginée

Allocation mémoire paginée

- On divise la mémoire physique en petits morceaux nommés **trames** (*frames*)

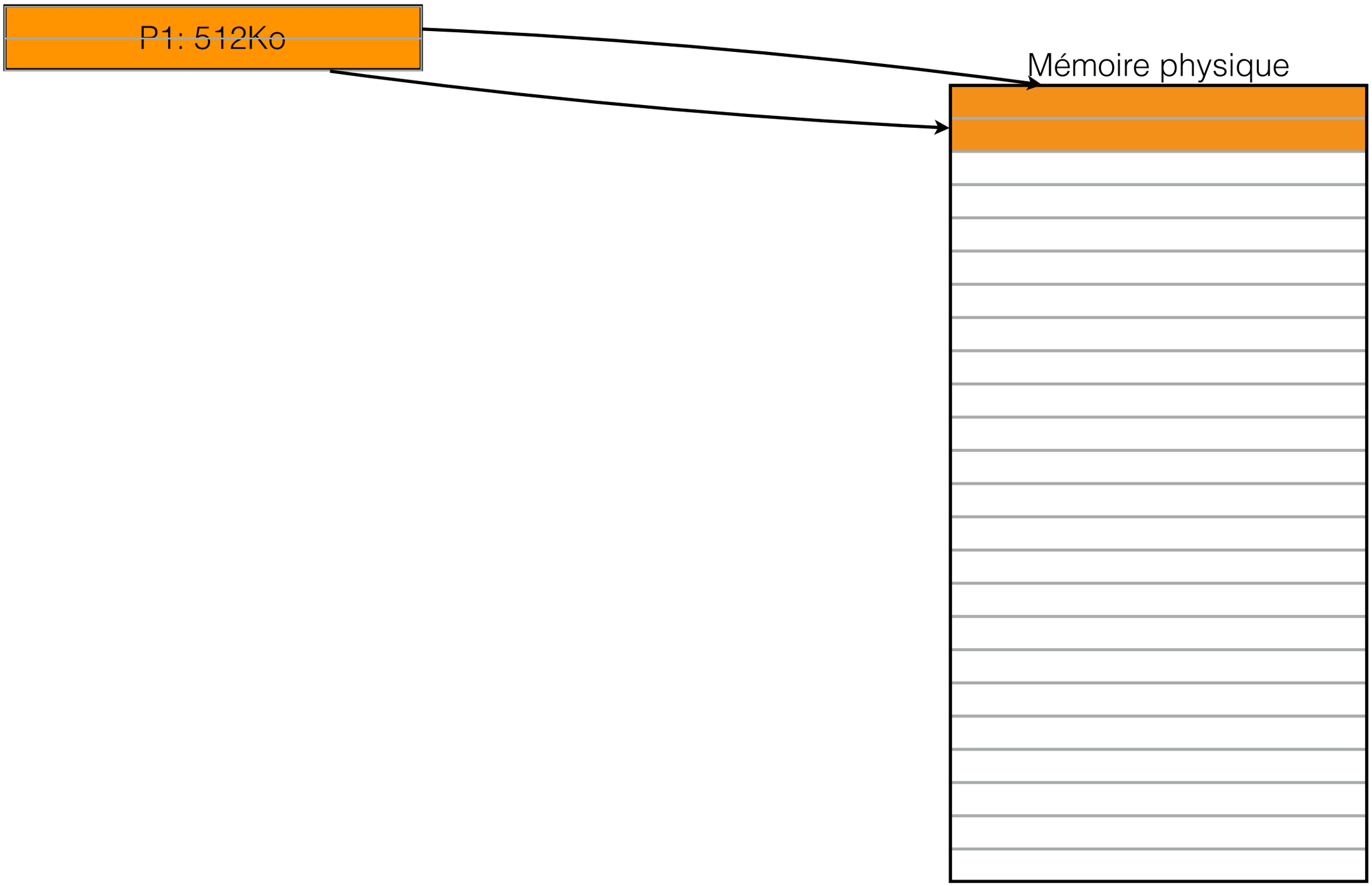
- On divise la mémoire virtuelle en petits morceaux nommés **pages**



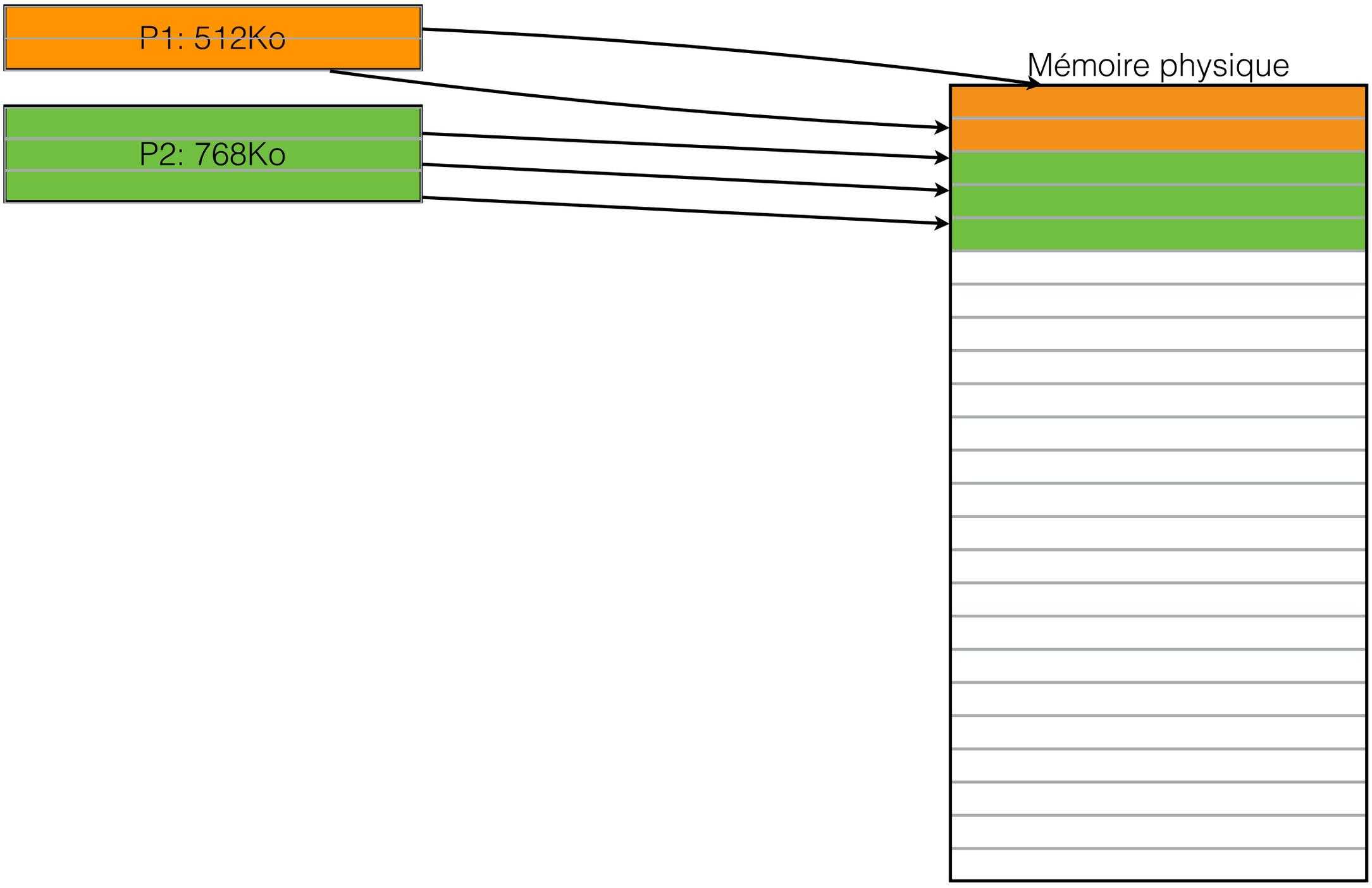
- Une trame a **toujours** la même taille qu'une page. Dans l'exemple, la taille d'une page/ trame est de 256Ko

- Lorsqu'on alloue de la mémoire à un processus, on **attribue une page à une trame**

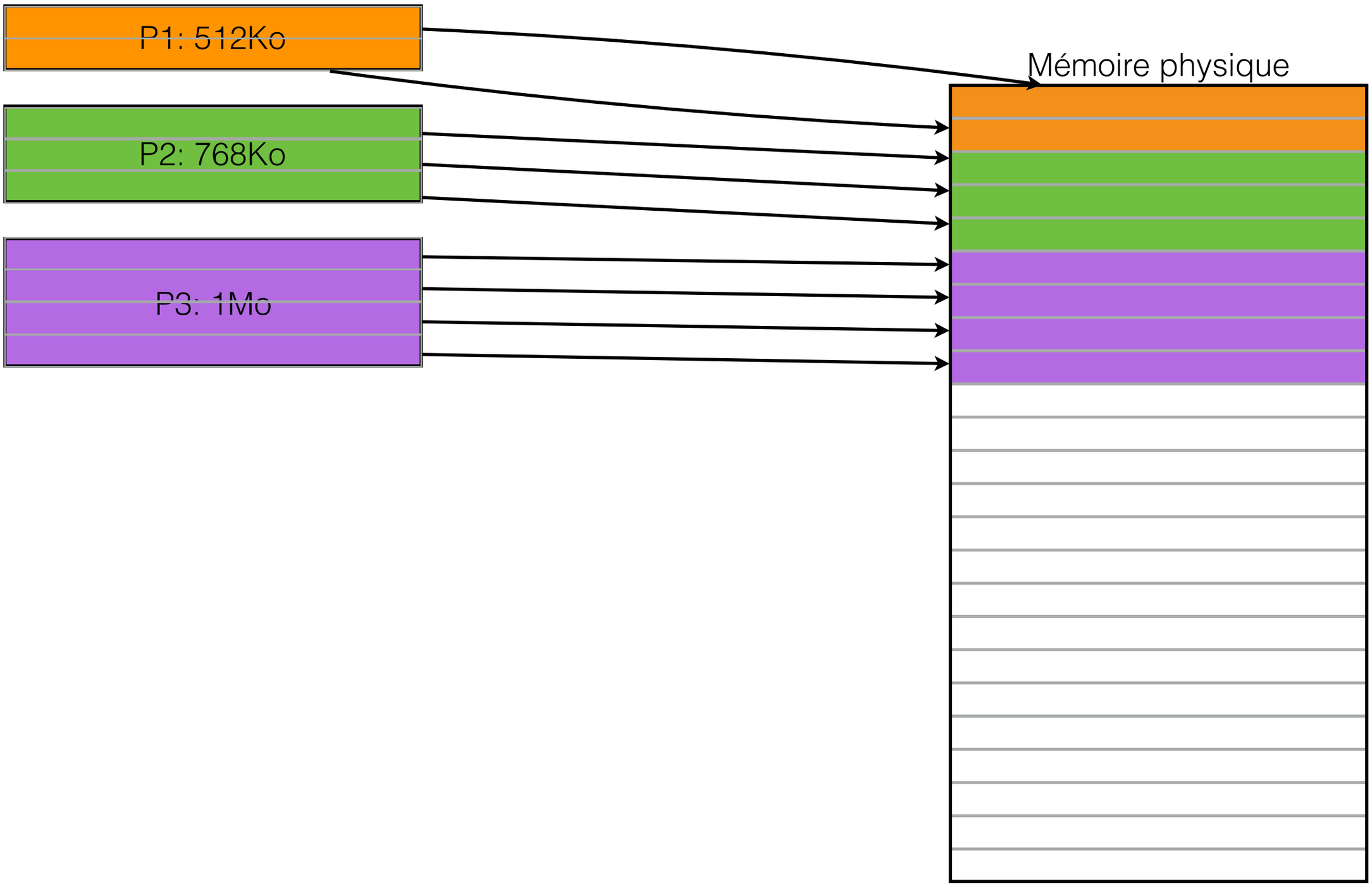
Allocation mémoire paginée



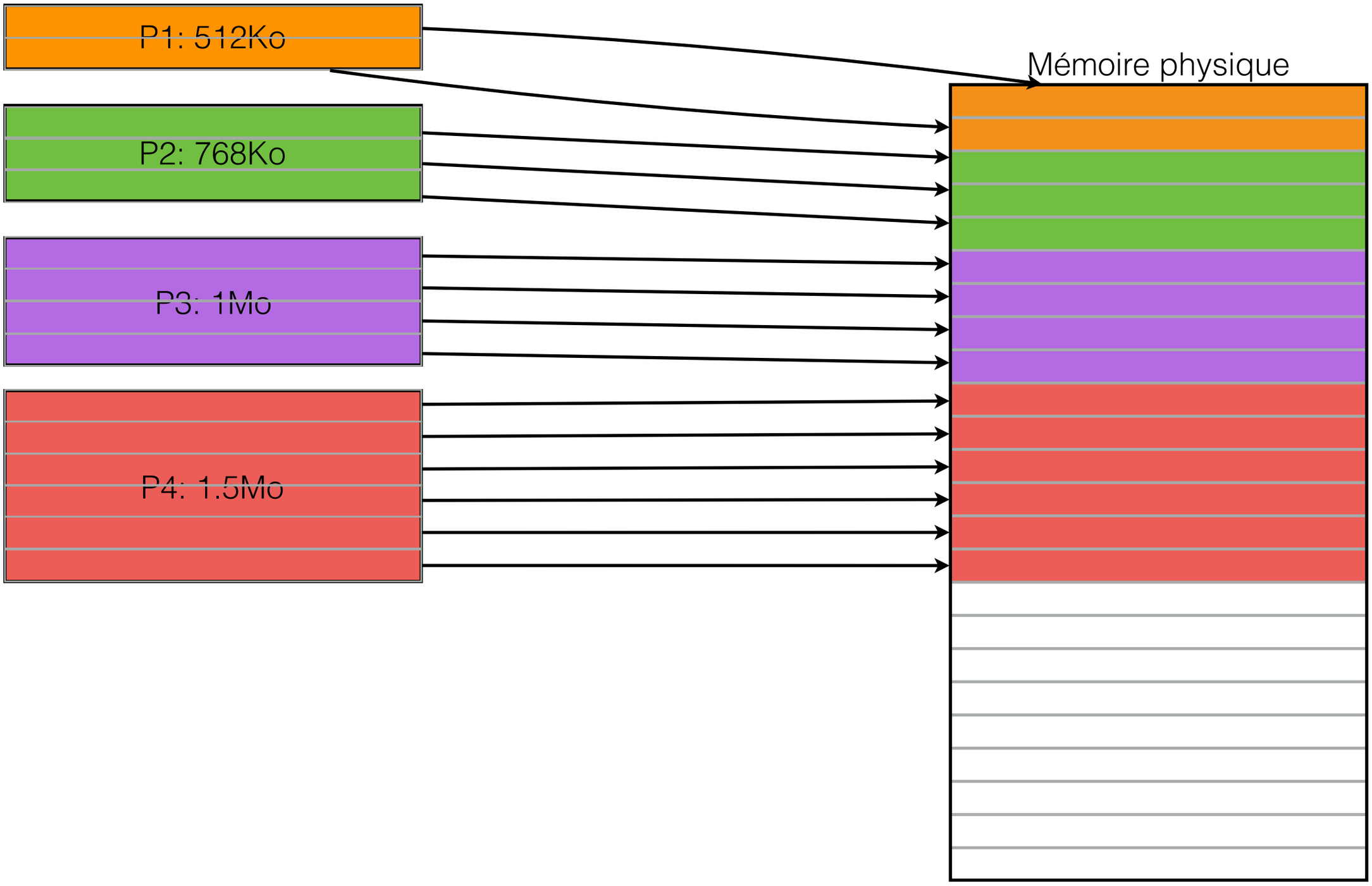
Allocation mémoire paginée



Allocation mémoire paginée



Allocation mémoire paginée



Allocation mémoire paginée

P1: 512Ko

P3: 1Mo

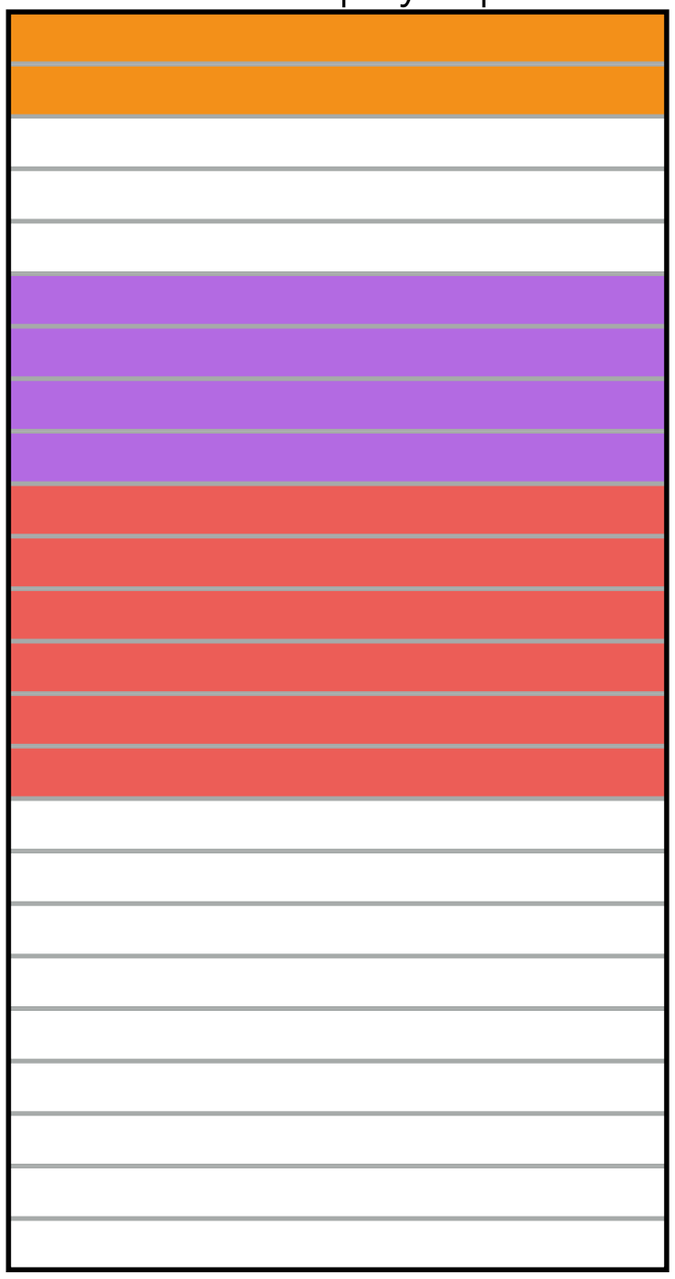
P4: 1.5Mo

P5: 3Mo

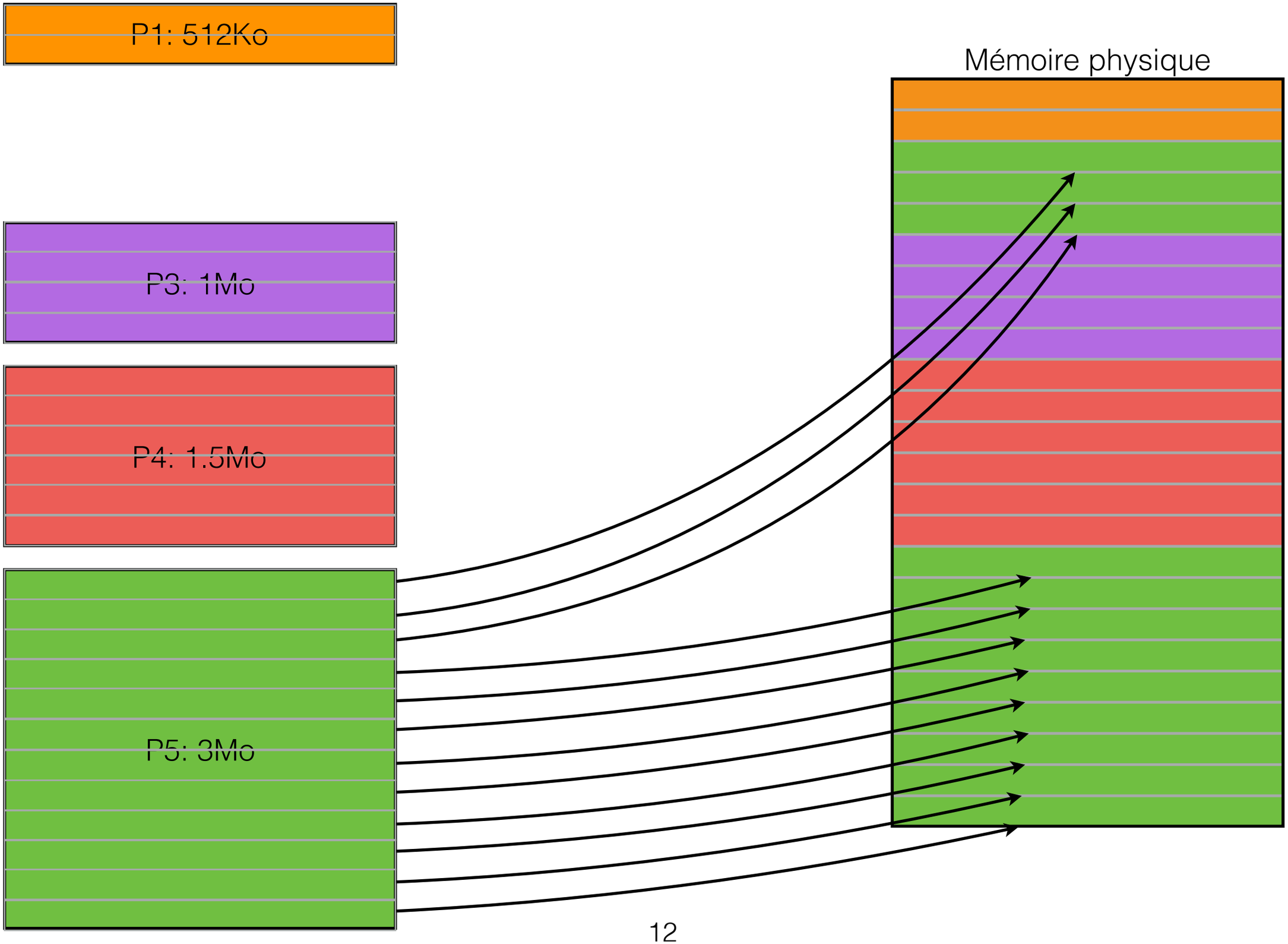
P2 se termine

P5 est admis

Mémoire physique



Allocation mémoire paginée

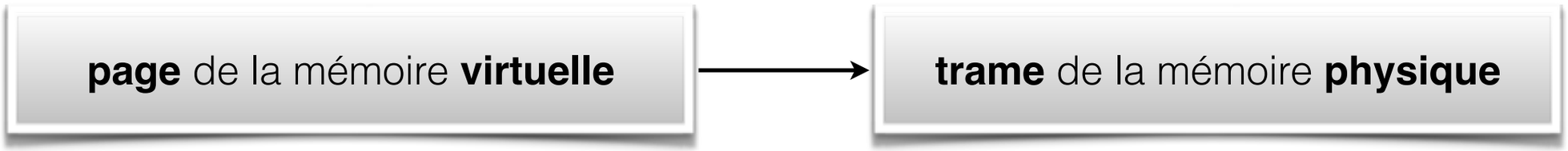


Questions

- Comment fait-on pour savoir
  - l’endroit où une page est stockée?
  - la correspondance entre une page et une trame?

La table des pages

- La **table des pages** est une structure de données dans le MMU qui conserve la correspondance entre chaque:



En pratique, on ne stocke pas le numéro de page en mémoire.

Le numéro de ligne dans la table correspond au numéro de page.

# page	# trame
0x0	0xAB3
0x1	0x3A2
0x2	0x123
0x3	0x2F3
0x4	0x124
0x5	0x2F0
0x6	0x125
⋮	⋮

Table des pages inversée

- Une table des pages indique:
  - le numéro de **trame** correspondant à chaque **page**.
- Il peut aussi être utile de savoir l'inverse:
  - le numéro de **page** correspondant à chaque **trame**.
- C'est la **table des pages inversée**.
- La taille d'une table des pages inversée est proportionnelle à la taille de la mémoire **physique**.

La table des pages inversées

- La **table des pages inversées** est une structure de données dans le MMU qui conserve la correspondance entre chaque:

trame de la mémoire **physique** → **page** de la mémoire **virtuelle**

C’est un peu comme une carte indiquant le contenu de chaque trame en mémoire physique (RAM).

# trame	# page
⋮	⋮
0x122	0x3A2
0x123	0x2
0x124	0x4
0x125	0x6
0x126	0x2F0
0x127	0x10F
⋮	⋮

Taille de la table des pages

- Le nombre de lignes: il y a **une ligne par page**
- L'information stockée dans chaque ligne: le **numéro de trame correspondant à chaque page**
  - combien de bits sont nécessaires pour représenter le numéro de trame?
    - $\log_2$(nb trames)
- Calcul de la taille
  - taille = (nb pages) × (nb bits nécessaires pour représenter une trame)
- *Rappel*: il n'est pas nécessaire de stocker le numéro de page, nous pouvons utilise le numéro de ligne correspondant à la page.
  - par exemple, la page 0x2D (45) est à la ligne 45 dans la table
  - la première ligne correspond à la page 0

Table des pages: équations

Taille de la table des pages:

$$\text{taille} = (\text{nb pages}) \times (\text{nb bits nécessaires pour représenter une trame})$$

$$= (\text{nb pages}) \times \log_2(\text{nb trames})$$

Nombre de pages et de trames:

$$\text{nb pages} = \frac{\text{taille mémoire virtuelle}}{\text{taille d'une page}} \quad \text{nb trames} = \frac{\text{taille mémoire physique}}{\text{taille d'une trame}}$$

Taille de la table des pages

- Un système possède les caractéristiques suivantes:
  - une mémoire *physique* de 32Mo
  - une mémoire *virtuelle* de 64Mo
  - la taille d'une page est de 4Ko
- Quelle est la taille de la table des pages?

Taille de la table des pages

- Un système possède les caractéristiques suivantes:
  - une mémoire *physique* de 32Mo
  - une mémoire *virtuelle* de 64Mo
  - la taille d'une page est de 4Ko
- Quelle est la taille de la table des pages?

Rappel

$$\text{taille} = (\text{nb pages}) \times \log_2(\text{nb trames})$$

$$\text{nb pages} = \frac{\text{taille mémoire virtuelle}}{\text{taille d'une page}}$$

$$\text{nb trames} = \frac{\text{taille mémoire physique}}{\text{taille d'une trame}}$$

Taille de la table des pages

- Un système possède les caractéristiques suivantes:
  - une mémoire *physique* de 32Mo
  - une mémoire *virtuelle* de 64Mo
  - la taille d'une page est de 4Ko
- Quelle est la taille de la table des pages?

Rappel

$$\text{taille} = (\text{nb pages}) \times \log_2(\text{nb trames})$$

$$\text{nb pages} = \frac{\text{taille mémoire virtuelle}}{\text{taille d'une page}}$$

$$\text{nb trames} = \frac{\text{taille mémoire physique}}{\text{taille d'une trame}}$$

- Déterminer le nombre de *pages*

$$64\text{Mo} / 4\text{Ko} = 64 \times 2^{20} / 4 \times 2^{10} = 2^{26} / 2^{12} = 2^{14} \text{ pages}$$

- Déterminer le nombre de *trames*

$$32\text{Mo} / 4\text{Ko} = 32 \times 2^{20} / 4 \times 2^{10} = 2^{25} / 2^{12} = 2^{13} \text{ trames}$$

- Déterminer le nombre de bits nécessaires pour stocker le # de trame

$$\log_2(2^{13}) = 13 \text{ bits}$$

- Calculer la taille totale (#pages x #bits)

$$2^{14} \times 13 = 2^4 \times 13 \times 2^{10} = 208 \times 2^{10} = 208\text{Kbits} = 26\text{Ko}$$

Allocation paginée: traduction d'adresses

- Dans le cas de l'allocation mémoire paginée, le MMU est plus complexe que pour l'allocation contigüe
    - On ne peut plus simplement additionner la première adresse!
- Pour traduire l'adresse, il faut effectuer trois étapes:

1. Déterminer la **page** de l'adresse **virtuelle**;
2. Trouver la **trame** (dans la mémoire **physique**) correspondant à cette page;
3. Remplacer le numéro de page par le numéro de trame.

1. Déterminer la **page** de l'adresse **virtuelle**

- Une adresse virtuelle est divisée en deux:
  - le numéro de page (MSB)
  - la position dans la page (LSB)
- Le nombre de bits utilisé pour ces deux parties dépend de la **taille d'une page**
- Exemple en décimal:
  - Une page contient 100 mots
  - Combien de symboles (chiffres) ai-je besoin pour identifier le mot dans la page?

$$\text{nb symboles} = \log_{10}(100) = 2, \text{ soit de 00 à 99}$$

  - Dans quelle page est situé le mot 425?

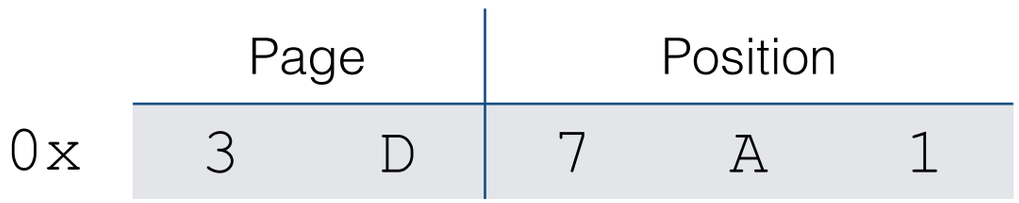
Page	Position	
4	2	5

1. Déterminer la **page** de l'adresse **virtuelle**

- Une adresse virtuelle est divisée en deux:
  - le numéro de page (MSB)
  - la position dans la page (LSB)
- Le nombre de bits utilisé pour ces deux parties dépend de la **taille d'une page**
- Exemple en binaire:
  - Une page contient 4Ko. Chaque octet possède une adresse, donc, 4K adresses.
  - Combien de symboles (bits) ai-je besoin pour identifier l'adresse dans la page?

$$\text{nb bits} = \log_2(4 \times 2^{10}) = \log_2(2^{12}) = 12 \text{ bits}$$

  - Dans quelle page est situé l'adresse 0x3D7A1?



2. Trouver la **trame** correspondant à cette **page**

- Comment fait-on pour savoir
  - l'endroit où une page est stockée?
  - la correspondance entre une page et une trame?
- On utilise la **table des pages**, une structure de données dans le MMU qui conserve la correspondance entre chaque:
  - **page** de la mémoire **virtuelle**
  - **trame** de la mémoire **physique**

On y reviendra dans une prochaine capsule!

3. Remplacer le # de **page** par le # de **trame**

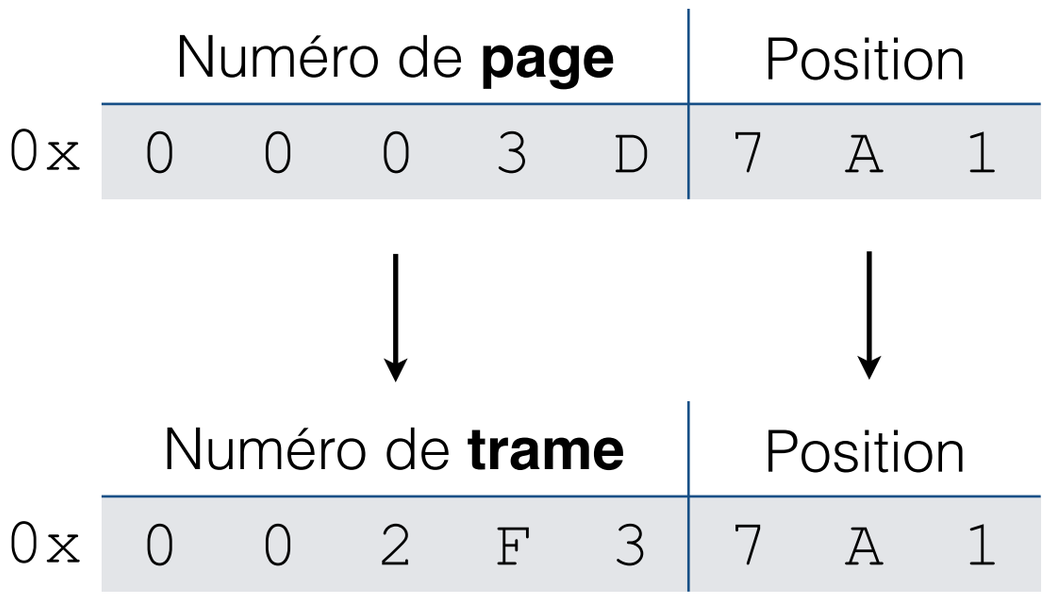
- Supposons que la table des pages révèle que la page 0x3D correspond à la trame 0x2F3
- Il suffit de remplacer le numéro de page par le numéro de trame pour obtenir l'adresse **physique**

Adresse virtuelle

0x 0 0 0 3 D 7 A 1

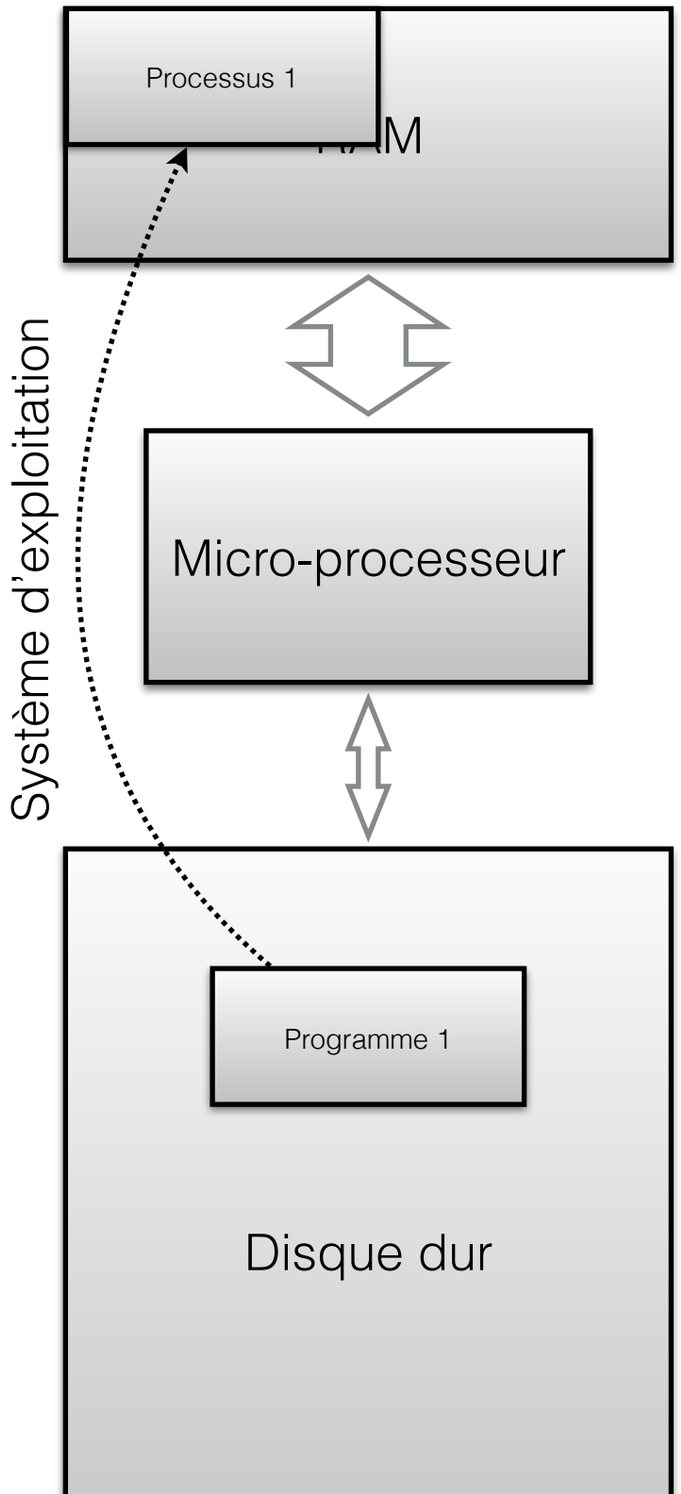
Adresse physique

0x 0 0 2 F 3 7 A 1



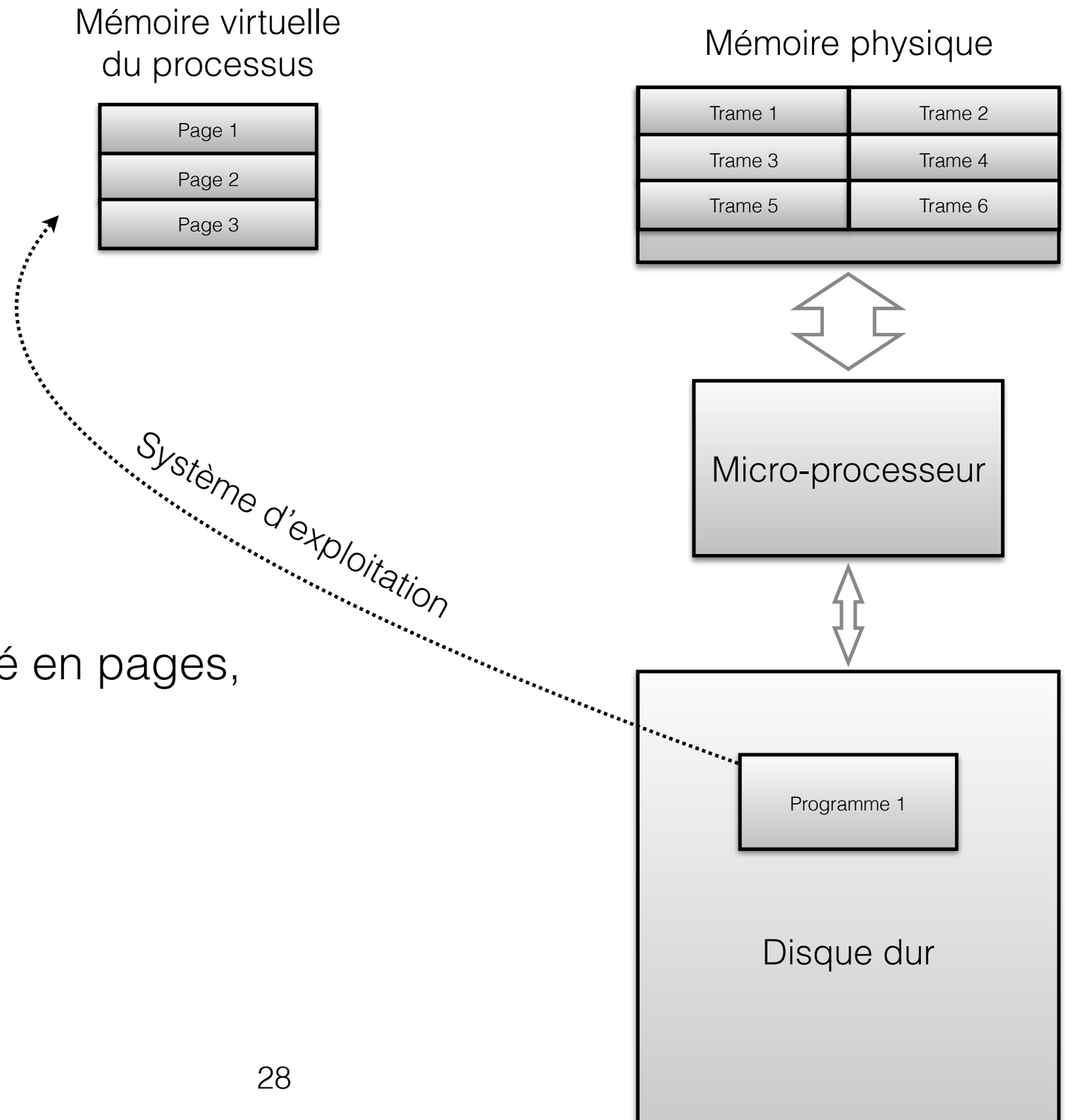
Création d'un processus

- Un ordinateur possède plusieurs programmes, situés sur le disque dur
- Lors du démarrage du programme
- Les ressources nécessaires (mémoire, etc.) sont créées par le système d'exploitation lorsque le programme est démarré

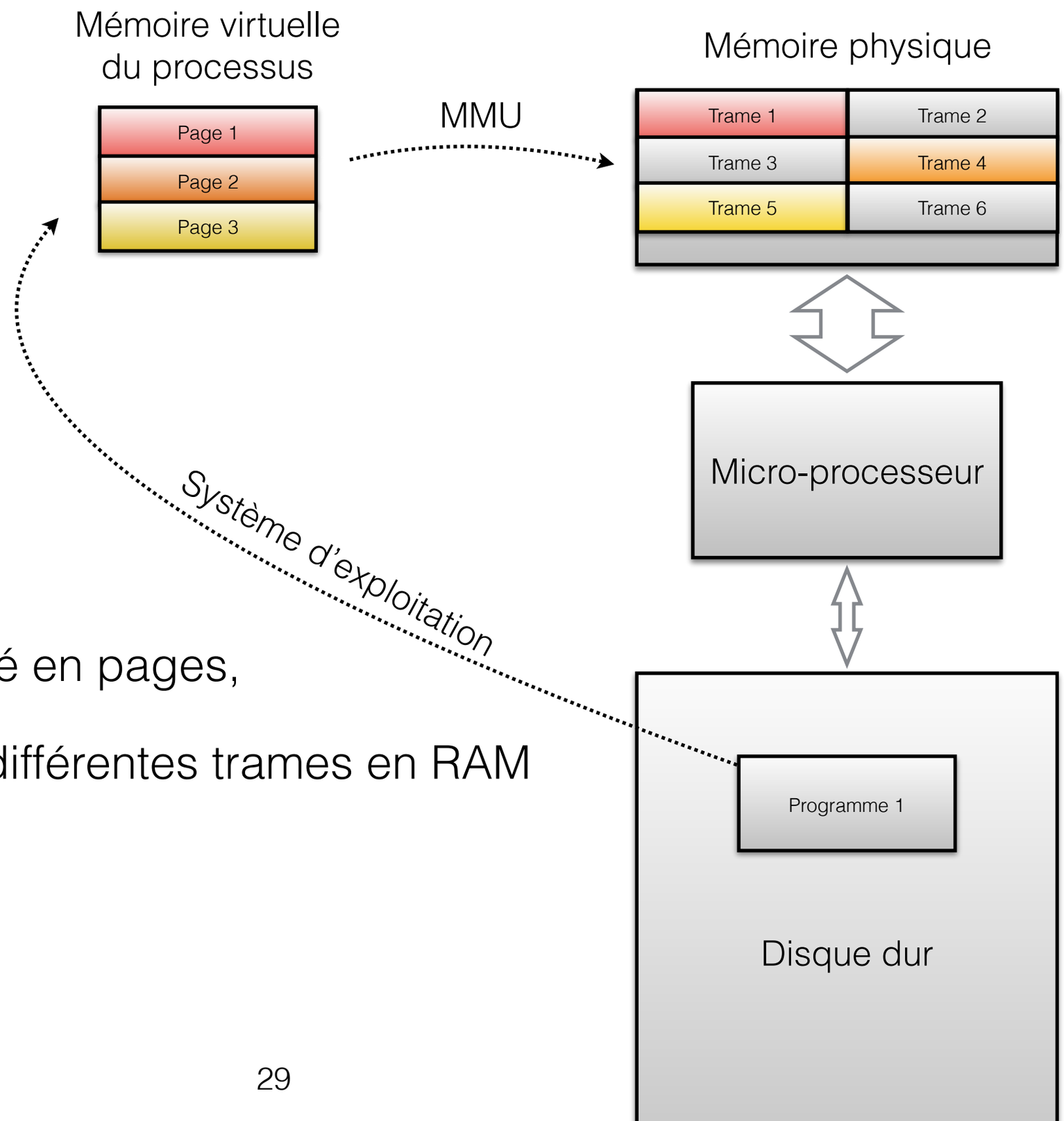


Création d'un processus—allocation pagineé

- En allocation paginée
  - le processus est divisé en pages,



Création d'un processus—allocation pagineé



- En allocation paginée
  - le processus est divisé en pages,
  - qui sont attribuées à différentes trames en RAM

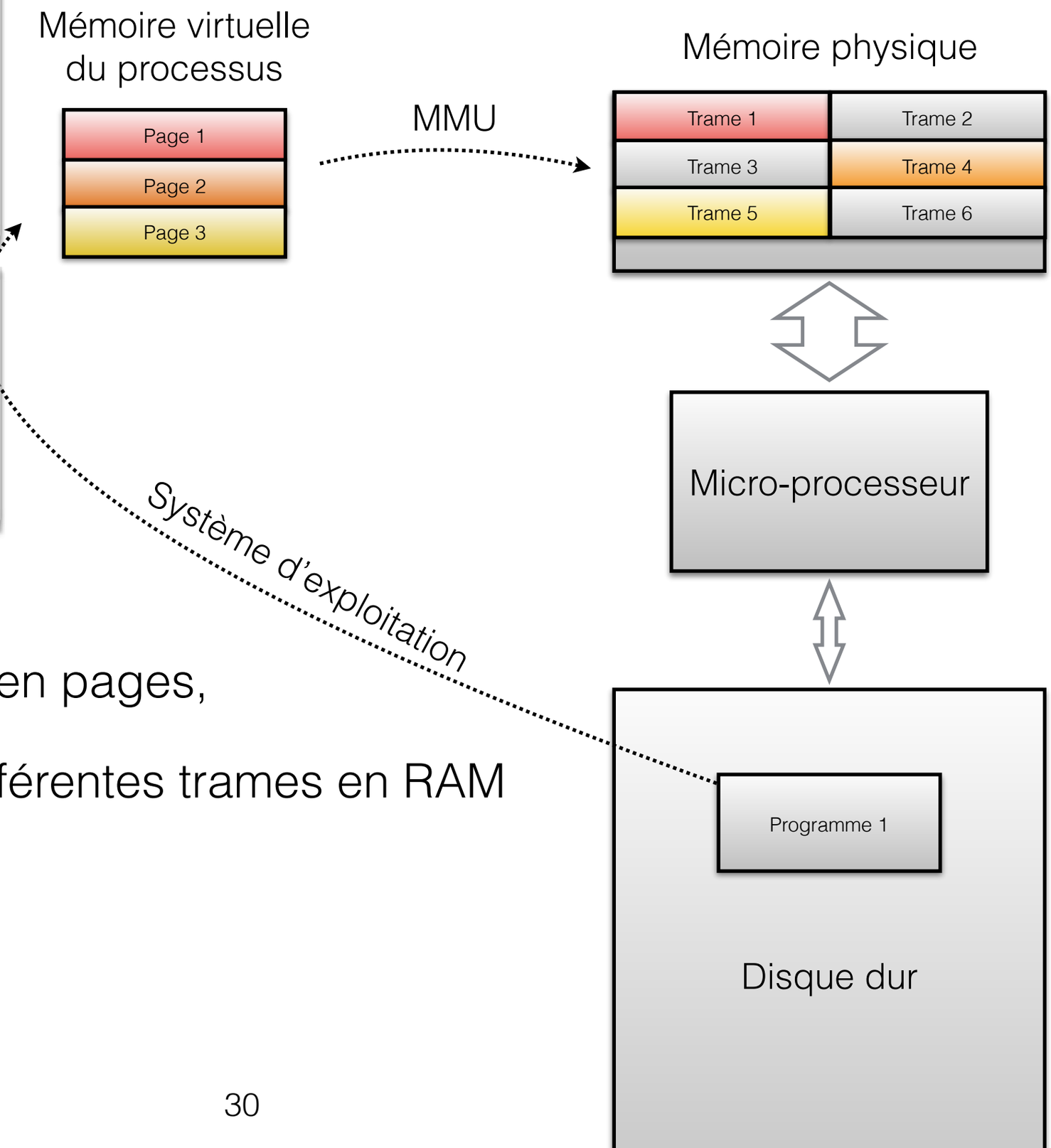
Création d'un processus—allocation pagineé

Question

Est-ce qu'un processus doit être entièrement en mémoire?

Non!

Seules les pages nécessaires à l'exécution doivent être en mémoire.



- En allocation paginée
  - le processus est divisé en pages,
  - qui sont attribuées à différentes trames en RAM

FAQ

Laquelle est plus grosse:
la mémoire **virtuelle** (pour tous les processus)
ou la mémoire **physique**?

Ou est-ce que les deux doivent avoir la même taille?

La mémoire **virtuelle** peut être beaucoup plus grosse
que la mémoire **physique**!

Conditions

- 2 conditions pour qu'un programme puisse s'exécuter:
  - l'instruction (ou la donnée) nécessaire doit être en mémoire RAM
  - la table de pages pour ce programme doit contenir une entrée qui traduit l'adresse (virtuelle) du programme vers l'adresse (physique) en RAM

Allocation dynamique de pages

- Pour un système possédant les caractéristiques suivantes:
  - Pages de 4Ko
  - Mémoire physique (RAM) de 16Ko
  - Mémoire virtuelle de 32Ko
- Les pages suivantes sont en mémoire:
  - page 0 en trame 1
  - page 1 en trame 2
  - page 3 en trame 0

1. Illustrez la table des pages et la table des pages inversées

2. Effectuez la séquence d'opérations suivantes en mettant à jour les tables. Indiquez les adresses physiques correspondantes.
   1. Charger valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x0A38
   2. Écrire une valeur (e.g. STR) à l'adresse 0x3B97
   3. Charger la valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x2928
   4. Brancher (e.g. B) à l'adresse 0x7BF0

Allocation dynamique de pages

- Pour un système possédant les caractéristiques suivantes:
  - Pages de 4Ko
  - Mémoire physique (RAM) de 16Ko
  - Mémoire virtuelle de 32Ko
- Les pages suivantes sont en mémoire:
  - page 0 en trame 1
  - page 1 en trame 2
  - page 3 en trame 0

1. **Illustrez la table des pages et la table des pages inversées**

2. Effectuez la séquence d'opérations suivantes en mettant à jour les tables. Indiquez les adresses physiques correspondantes.
   1. Charger valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x0A38
   2. Écrire une valeur (e.g. STR) à l'adresse 0x3B97
   3. Charger la valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x2928
   4. Brancher (e.g. B) à l'adresse 0x7BF0

Allocation dynamique de pages

- Pour un système possédant les caractéristiques suivantes:
  - Pages de 4Ko
  - Mémoire physique (RAM) de 16Ko
  - Mémoire virtuelle de 32Ko
- Les pages suivantes sont en mémoire:
  - page 0 en trame 1
  - page 1 en trame 2
  - page 3 en trame 0

1. **Illustrez la table des pages et la table des pages inversées**
2. Effectuez la séquence d'opérations suivantes en mettant à jour les tables. Indiquez les adresses physiques correspondantes.
   1. Charger valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x0A38
   2. Écrire une valeur (e.g. STR) à l'adresse 0x3B97
   3. Charger la valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x2928
   4. Brancher (e.g. B) à l'adresse 0x7BF0

Table des pages

# page	# trame
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	

Table des pages inversée

# trame	# page
0	
1	
2	
3	

Allocation dynamique de pages

- Pour un système possédant les caractéristiques suivantes:
  - Pages de 4Ko
  - Mémoire physique (RAM) de 16Ko
  - Mémoire virtuelle de 32Ko
- Les pages suivantes sont en mémoire:
  - page 0 en trame 1
  - page 1 en trame 2
  - page 3 en trame 0

1. **Illustrez la table des pages et la table des pages inversées**
2. Effectuez la séquence d'opérations suivantes en mettant à jour les tables. Indiquez les adresses physiques correspondantes.
   1. Charger valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x0A38
   2. Écrire une valeur (e.g. STR) à l'adresse 0x3B97
   3. Charger la valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x2928
   4. Brancher (e.g. B) à l'adresse 0x7BF0

Table des pages

# page	# trame
0	1
1	2
2	
3	0
4	
5	
6	
7	

Table des pages:

$$\frac{\text{taille mémoire virtuelle}}{\text{taille d'une page}} = \frac{32\text{Ko}}{4\text{Ko}} = 8$$

Table des pages inversée

# trame	# page
0	3
1	0
2	1
3	

Table des pages inversées:

$$\frac{\text{taille mémoire physique}}{\text{taille d'une trame}} = \frac{16\text{Ko}}{4\text{Ko}} = 4$$

Allocation dynamique de pages

2. Effectuez la séquence d'opérations suivantes en mettant à jour les tables. Indiquez les adresses physiques correspondantes.
    1. **Charger valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x0A38**
    2. Écrire une valeur (e.g. STR) à l'adresse 0x3B97
    3. Charger la valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x2928
    4. Brancher (e.g. B) à l'adresse 0x7BF0

Table des pages

# page	# trame
0	1
1	2
2	
3	0
4	
5	
6	
7	

Table des pages inversée

# trame	# page
0	3
1	0
2	1
3	

Allocation dynamique de pages

2. Effectuez la séquence d'opérations suivantes en mettant à jour les tables. Indiquez les adresses physiques correspondantes.

   1. **Charger valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x0A38**
   2. Écrire une valeur (e.g. STR) à l'adresse 0x3B97
   3. Charger la valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x2928
   4. Brancher (e.g. B) à l'adresse 0x7BF0

Nombre de bits pour la position dans la page:

$$\log_2(\text{taille d'une page}) = \log_2(4 \times 2^{10}) = \log_2(2^{12}) = 12 \text{ bits}$$

		Numéro de page		Position dans la page	
adresse virtuelle:	0x	0	A	3	8
adresse physique:	0x	1	A	3	8
		Numéro trame		Position dans la trame	

Table des pages

# page	# trame
0	**1**
1	2
2	
3	0
4	
5	
6	
7	

Table des pages inversée

# trame	# page
0	3
1	0
2	1
3	

Allocation dynamique de pages

2. Effectuez la séquence d'opérations suivantes en mettant à jour les tables. Indiquez les adresses physiques correspondantes.
    1. Charger valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x0A38
    2. **Écrire une valeur (e.g. STR) à l'adresse 0x3B97**
    3. Charger la valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x2928
    4. Brancher (e.g. B) à l'adresse 0x7BF0

Table des pages

# page	# trame
0	1
1	2
2	
3	0
4	
5	
6	
7	

Table des pages inversée

# trame	# page
0	3
1	0
2	1
3	

Allocation dynamique de pages

2. Effectuez la séquence d'opérations suivantes en mettant à jour les tables. Indiquez les adresses physiques correspondantes.
   1. Charger valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x0A38
   2. **Écrire une valeur (e.g. STR) à l'adresse 0x3B97**
   3. Charger la valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x2928
   4. Brancher (e.g. B) à l'adresse 0x7BF0

Nombre de bits pour la position dans la page:

$$\log_2(\text{taille d'une page}) = \log_2(4 \times 2^{10}) = \log_2(2^{12}) = 12 \text{ bits}$$

		Numéro de page		Position dans la page	
adresse virtuelle:	0x	3	B	9	7
adresse physique:	0x	0	B	9	7
		Numéro trame		Position dans la trame	

Table des pages

# page	# trame
0	1
1	2
2	
3	**0**
4	
5	
6	
7	

Table des pages inversée

# trame	# page
0	3
1	0
2	1
3	

Allocation dynamique de pages

2. Effectuez la séquence d'opérations suivantes en mettant à jour les tables. Indiquez les adresses physiques correspondantes.
    1. Charger valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x0A38
    2. Écrire une valeur (e.g. STR) à l'adresse 0x3B97
    3. **Charger la valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x2928**
    4. Brancher (e.g. B) à l'adresse 0x7BF0

Table des pages

# page	# trame
0	1
1	2
2	
3	0
4	
5	
6	
7	

Table des pages inversée

# trame	# page
0	3
1	0
2	1
3	

Allocation dynamique de pages

2. Effectuez la séquence d'opérations suivantes en mettant à jour les tables. Indiquez les adresses physiques corr

   1. Charger valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x0A38
   2. Écrire une valeur (e.g. STR) à l'adresse 0x3B97
   3. **Charger la valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x29**
   4. Brancher (e.g. B) à l'adresse 0x7BF0

La page n'est pas allouée en RAM.

Il y a **faute de page**!

Nombre de bits pour la position dans la page:

$$\log_2(\text{taille d'une page}) = \log_2(4 \times 2^{10}) = \log_2(2^{12}) = 12 \text{ bits}$$

		Numéro de page	Position dans la page		
adresse virtuelle:	0x	2	9	2	8
adresse physique:		Numéro trame		Position dans la trame	

Table des pages

# page	# trame
0	1
1	2
2	
3	0
4	
5	
6	
7	

Table des pages inversée

# trame	# page
0	3
1	0
2	1
3	

Fautes de page

- Une **faute de page** survient lorsque le processus requiert une page qui n'est pas en mémoire.

- S'il **y a de la place** dans la mémoire physique:

1. Créer la nouvelle page;

2. Placer la page en mémoire physique dans une trame vide;

3. Mettre à jour la table des pages et la table des pages inversée.

Allocation dynamique de pages

2. Effectuez la séquence d'opérations suivantes en mettant à jour les tables. Indiquez les adresses physiques correspondantes.
    1. Charger valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x0A38
    2. Écrire une valeur (e.g. STR) à l'adresse 0x3B97
    3. **Charger la valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x2928**
    4. Brancher (e.g. B) à l'adresse 0x7BF0

Table des pages

# page	# trame
0	1
1	2
2	
3	0
4	
5	
6	
7	

Table des pages inversée

# trame	# page
0	3
1	0
2	1
3	

Allocation dynamique de pages

2. Effectuez la séquence d'opérations suivantes en mettant à jour les tables. Indiquez les adresses physiques corr

   1. Charger valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x0A38
   2. Écrire une valeur (e.g. STR) à l'adresse 0x3B97
   3. **Charger la valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x29**
   4. Brancher (e.g. B) à l'adresse 0x7BF0

On met à jour la table des pages

Nombre de bits pour la position dans la page:

$$\log_2(\text{taille d'une page}) = \log_2(4 \times 2^{10}) = \log_2(2^{12}) = 12 \text{ bits}$$

		Numéro de page		Position dans la page	
adresse virtuelle:	0x	2	9	2	8
adresse physique:	0x	3	B	9	7
		Numéro trame		Position dans la trame	

Table des pages

# page	# trame
0	1
1	2
2	**3**
3	0
4	
5	
6	
7	

Table des pages inversée

# trame	# page
0	3
1	0
2	1
3	**2**

La trame 3 est libre.
On met à jour la table des pages inversée.

Allocation dynamique de pages

2. Effectuez la séquence d'opérations suivantes en mettant à jour les tables. Indiquez les adresses physiques correspondantes.
    1. Charger valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x0A38
    2. Écrire une valeur (e.g. STR) à l'adresse 0x3B97
    3. Charger la valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x2928
    4. **Brancher (e.g. B) à l'adresse 0x7BF0**

Table des pages

# page	# trame
0	1
1	2
2	3
3	0
4	
5	
6	
7	

Table des pages inversée

# trame	# page
0	3
1	0
2	1
3	2

Allocation dynamique de pages

2. Effectuez la séquence d'opérations suivantes en mettant à jour les tables. Indiquez les adresses physiques corr

   1. Charger valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x0A38
   2. Écrire une valeur (e.g. STR) à l'adresse 0x3B97
   3. Charger la valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x292
   4. **Brancher (e.g. B) à l'adresse 0x7BF0**

La page n'est pas allouée en RAM.

Il y a **faute de page**!

Nombre de bits pour la position dans la page:

$$\log_2(\text{taille d'une page}) = \log_2(4 \times 2^{10}) = \log_2(2^{12}) = 12 \text{ bits}$$

		Numéro de page	Position dans la page	
adresse virtuelle:	0x	7	B	F	0
adresse physique:		Numéro trame		Position dans la trame	

Table des pages

# page	# trame
0	1
1	2
2	**3**
3	0
4	
5	
6	
7	

La mémoire physique est pleine, il n'y a plus de place. Que faire?

Table des pages inversée

# trame	# page
0	3
1	0
2	1
3	2

Fautes de page

- Une **faute de page** survient lorsque le processus a besoin d'une page qui n'est pas en mémoire.

- S'il **n'y a plus de place** dans la mémoire physique:

1. Déterminer la page la plus anciennement utilisée (cela fait longtemps qu'on ne l'a pas utilisée);
2. Évincer la page de la mémoire physique.

    - Cependant, cette page pourrait être utilisée à nouveau par le processus parce qu'elle peut contenir des instructions ou des données importantes.

    - Il nous faut donc sauvegarder la page sur le disque dur

    - La page est sauvegardée dans un fichier spécial, nommé le *Swap File*.

Allocation dynamique de pages

2. Effectuez la séquence d'opérations suivantes en mettant à jour les tables. Indiquez les adresses physiques correspondantes.
    1. Charger valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x0A38
    2. Écrire une valeur (e.g. STR) à l'adresse 0x3B97
    3. Charger la valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x2928
    4. **Brancher (e.g. B) à l'adresse 0x7BF0**

Table des pages

# page	# trame
0	1
1	2
2	3
3	0
4	
5	
6	
7	

Table des pages inversée

# trame	# page
0	3
1	0
2	
3	2

Allocation dynamique de pages

2. Effectuez la séquence d'opérations suivantes en mettant à jour les tables. Indiquez les adresses physiques correspondantes.
   1. Charger valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x0A38
   2. Écrire une valeur (e.g. STR) à l'adresse 0x3B97
   3. Charger la valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x2928
   4. **Brancher (e.g. B) à l'adresse 0x7BF0**

Nombre de bits pour la position dans la page:

$$\log_2(\text{taille d'une page}) = \log_2(4 \times 2^{10}) = \log_2(2^{12}) = 12 \text{ bits}$$

		Numéro de page	Position dans la page	
adresse virtuelle:	0x	7	B	F	0
adresse physique:				
		Numéro trame	Position dans la trame	

Table des pages

# page	# trame
0	1
1	2
2	3
3	0
4	
5	
6	
7	

Table des pages inversée

# trame	# page
0	3
1	0
2	**1**
3	2

La trame la plus anciennement utilisée est la trame 2.

Donc, on évince la page 1.

Allocation dynamique de pages

2. Effectuez la séquence d'opérations suivantes en mettant à jour les tables. Indiquez les adresses physiques correspondantes.
   1. Charger valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x0A38
   2. Écrire une valeur (e.g. STR) à l'adresse 0x3B97
   3. Charger la valeur (e.g. LDR) à l'adresse 0x2928
   4. **Brancher (e.g. B) à l'adresse 0x7BF0**

Nombre de bits pour la position dans la page:

$$\log_2(\text{taille d'une page}) = \log_2(4 \times 2^{10}) = \log_2(2^{12}) = 12 \text{ bits}$$

		Numéro de page		Position dans la page	
adresse virtuelle:	0x	7	B	F	0
adresse physique:	0x	2	B	F	0
		Numéro trame		Position dans la trame	

Table des pages

# page	# trame
0	1
1	
2	3
3	0
4	
5	
6	
7	**2**

Table des pages inversée

# trame	# page
0	3
1	0
2	**7**
3	2

On charge ensuite la page 7 dans la trame libérée (soit la trame 2).

Fautes de page: algorithme

1. S'il **n'y a plus de place** dans la mémoire physique:
    1. Déterminer la trame la plus anciennement utilisée
    2. Évincer la page de la mémoire physique.
        1. Sauvegarder la page sur le disque dur dans un fichier spécial, nommé *Swap File*.
2. Trouver une trame libre en RAM;
3. Créer la page (ou la chercher sur le disque dur si elle a déjà été créée);
4. Placer la page en mémoire physique dans la trame sélectionnée à l'étape 2;
5. Mettre à jour la table des pages et la table des pages inversée.

Récapitulation: allocation paginée

- La mémoire:
  - **virtuelle** est divisée en **pages**;
  - **physique** est divisée en **trames**;
- Les pages et les trames ont la même taille;
- La **table des pages** stocke la correspondance entre une page et une trame;
- La traduction d'adresse implique 3 étapes:
  1. Déterminer la page de l'adresse virtuelle;
  2. Trouver la trame (dans la mémoire physique) correspondant à cette page;
  3. Remplacer le numéro de page par le numéro de trame.
- La **table des pages inversée** stocke la correspondance entre une trame et une page;
- Lorsqu'une page n'est pas chargée en mémoire, il y a **faute de page**.