



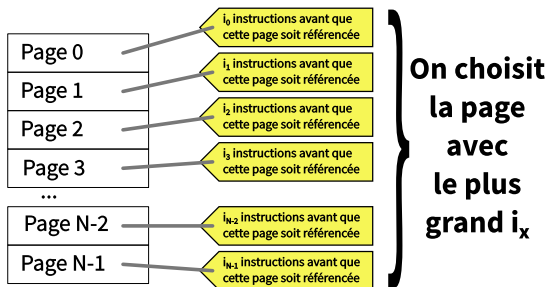
Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

Systèmes d'exploitation

La Gestion de la Mémoire



- Lors d'un «Page Fault», le système choisit une page à enlever de la mémoire pour faire place à celle qui doit être chargée.
- Notez que si la page a été modifiée (dirty), elle doit être sauvegardée sur le disque.
- Ces algorithmes ne s'appliquent pas uniquement à la RAM, mais aussi pour les **mémoires cache** (CPU, Application, Site Web, ...)

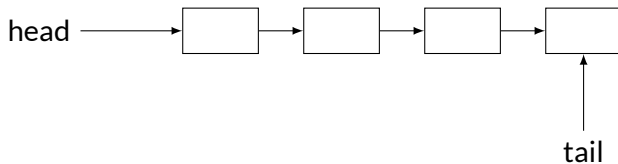


- Irréalisable dans la pratique, car il faut connaître l'avenir.
- Possible cependant pour un processus qui se répète.
- Utile comme référence pour comparer les autres algorithmes.



- Utilisation des bits «R» et «M» dans la table des pages.
- Le bit «R» est mis à 1 (par le hardware) quand la page est lue («Referenced»).
- Le bit «M» est mis à 1 (par le hardware) quand la page est écrite («Modified»).
- Le bit «R» est périodiquement remis à 0 (clock interrupt).
- Algorithme facile à implémenter et donne de bonnes performances.

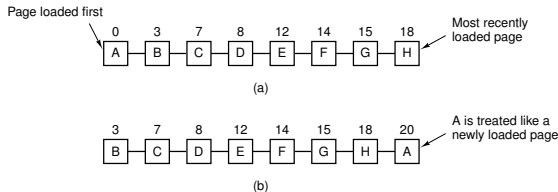
R	M	Classe	Remarque
0	0	0	Premier choix
0	1	1	Paradoxale, mais possible
1	0	2	
1	1	2	Dernier choix



- La page qui est entrée en premier n'est pas forcément celle qui ne sera pas utilisée prochainement (analogie avec le supermarché et le sucre)
- Algorithme pas vraiment idéal



- Modification du «FIFO» pour éviter la suppression d'une page fréquemment utilisée.
- Utilisation du bit «R» : Si la page la plus ancienne à son bit «R» à 0, c'est qu'elle n'a pas été utilisée récemment et elle est remplacée.
- Sinon ($R = 1$), alors «R» est remis à zéro et la page est déplacée en fin de liste (deuxième chance).
- Que se passe-t-il si tous les «R» sont à 1?
- Vérifier que l'algorithme termine !
- Le problème reste que le déplacement des pages dans une liste coûte cher en ressources.



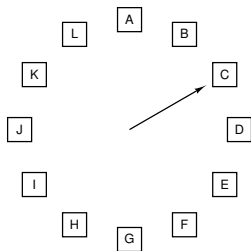
Opération de la seconde chance :

- (a) Pages triés dans un ordre FIFO.
- (b) Liste de pages lorsqu'un défaut de page se produit à l'instant 20 et que le bit R est à 1. Les nombres au-dessus des pages correspondent à l'instant de leur chargement.

Les algorithmes de remplacements de pages



L'algorithme de remplacement de page de l'horloge

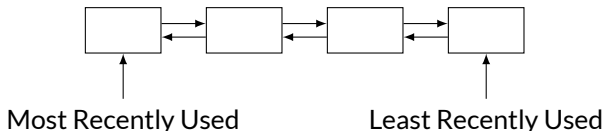


When a page fault occurs,
the page the hand is
pointing to is inspected.
The action taken depends
on the R bit:

R = 0: Evict the page

R = 1: Clear R and advance hand

- Plus besoin de déplacer les pages dans la liste.



- La liste doit être mise à jour lors de chaque référence mémoire.
- Algorithme beaucoup trop «lourd».



- Une autre solution consiste à utiliser un compteur «c» (64 bit) qui s'incrémente à chaque instruction.
- On laisse de la place dans chaque entrée de la table des pages pour stocker le compteur «c».
- Lors d'un défaut de page, on recherche la page avec le plus petit «c».
- Le problème est que cette dernière opération (la recherche de la page) est lente.

Les algorithmes de remplacements de pages



L'algorithme de remplacement de la page la moins récemment utilisée (LRU)

	Page					Page					Page					Page					Page			
	0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3
0	0	1	1	1		0	0	1	1		0	0	0	1		0	0	0	0		0	0	0	0
1	0	0	0	0		1	0	1	1		1	0	0	1		1	0	0	0		1	0	0	0
2	0	0	0	0		0	0	0	0		1	1	0	1		1	1	0	0		1	1	0	1
3	0	0	0	0		0	0	0	0		0	0	0	0		1	1	1	0		1	1	0	0
(a)					(b)					(c)					(d)					(e)				
	0	0	0	0		0	1	1	1		0	1	1	0		0	1	0	0		0	1	0	0
	1	0	1	1		0	0	1	1		0	0	1	0		0	0	0	0		0	0	0	0
	1	0	0	1		0	0	0	1		0	0	0	0		1	1	0	1		1	1	0	0
	1	0	0	0		0	0	0	0		1	1	1	0		1	1	0	0		1	1	1	0
(f)					(g)					(h)					(i)					(j)				

L'algorithme LRU utilisant une matrice dont les pages sont référencées dans l'ordre 0, 1, 2, 3, 2, 1, 0, 3, 2, 3.

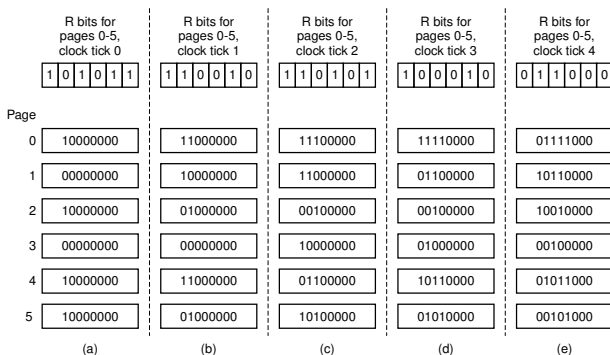


- Utilisation d'un compteur (logiciel) par page.
- Périodiquement (lors d'une interruption d'horloge), chaque page est examinée et le bit «R» est ajouté au compteur.
- Lors d'un défaut de page, on choisit la page avec le plus petit compteur.
- Le problème de cette solution est que l'algorithme n'oublie rien → algorithme de vieillissement (aging)

Les algorithmes de remplacements de pages



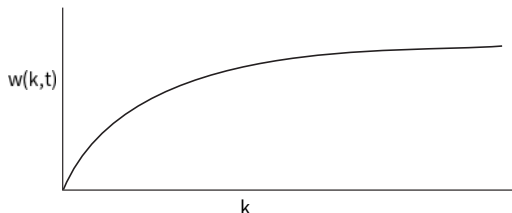
La simulation logicielle de l'algorithme LRU → NFU (not frequently used)



L'algorithme du vieillissement simule de façon logicielle l'algorithme LRU. Six pages sont montrées pour cinq tops d'horloge, de (a) à (e).

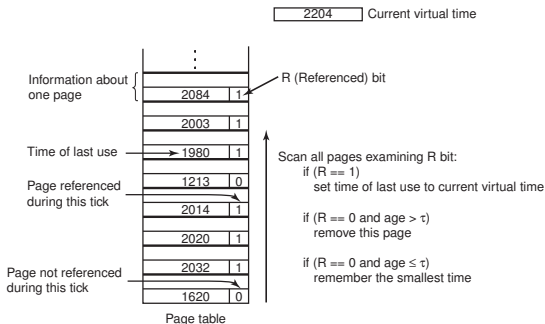


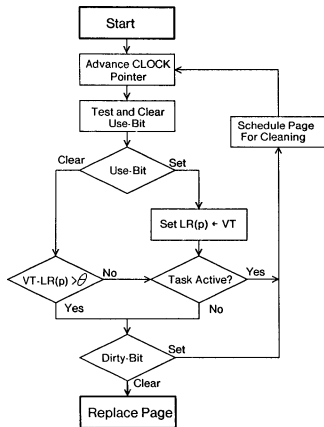
- Avec 8 bit et un «top» d'horloge toutes les 20 ms, on observe les référencements sur une période de 160 ms.
- Si une page n'a pas été utilisée pendant 160 ms, il est probable qu'elle n'est pas très utilisée.



- L'ensemble de travail est constitué des pages utilisées par les k références mémoires les plus récentes. La fonction $w(k, t)$ représente la taille de l'ensemble de travail à un instant t .
- Algorithme utilisé également pour améliorer les performances lors d'un changement de contexte (pré chargement des pages de l'ensemble de travail)
- Lors d'un défaut de page, le système évince une page qui n'est plus dans l'ensemble de travail.

- Au lieu d'utiliser les «k» dernières références, on regarde les «t» dernières millisecondes.
- Le temps virtuel courant est le temps CPU qu'un processus a utilisé depuis son démarrage.





Source : WSClock - A Simple and Effective Algorithm for Virtual Memory Management, by Richard W. Carr and John L. Hennessy



```
pointer++
if R == 1:
    R = 0
    update age
else:
    if age > T:
        if M == 0: // page is clean
            chose_page
            done
        else: // page is dirty
            if number_of_schedule < N:
                schedule_page_write
                number_of_schedule++
```



Si le pointeur revient à son point de départ, deux cas sont à distinguer

- Au moins une écriture a été ordonnancée et on continue de tourner jusqu'à ce qu'on trouve une page «clean».
- Aucune écriture n'a été ordonnancée ; dans ce cas, toutes les pages sont dans l'ensemble de travail et on choisit une page «clean» au hasard.



Algorithme	Commentaire
Optimal	Non implémentable, mais utilisé comme référence
NRU	Très grossière approximation du LRU
FIFO	Peut écarter des pages importantes
Deuxième chance	Grande amélioration de FIFO
Horloge	Réaliste
LRU	Excellent, mais difficile à implémenter
NFU	Approximation passablement grossière de LRU
Vieillessement	Algorithme efficace d'approximation de LRU
Ensemble de travail	Quelque peu coûteux à implémenter
WSClock	Algorithme de bonne efficacité