

Disques SSD

Thomas Lavergne
lavergne@lisn.fr

Principe

Support physique

- Sans support **magnétique** (*vs disque dur*)
- **Réinscriptible** de nombreuses fois (*vs CD*)

Principe

Support physique

- Sans support **magnétique** (*vs disque dur*)
- **Réinscriptible** de nombreuses fois (*vs CD*)

Un peu d'histoire

- Apparition des clefs USB fin années 90
→ premiers SSD
- Cartes mémoires début années 2000
- Smartphones : cartes mémoires comme disque

Évolution très rapide

- Jusqu'en 2013, **plus cher** et **plus lent** qu'un DD
 - 110 Mo/s pour un DD 500 Go à 80 euros
 - 50 Mo/s pour un SSD 120 Go à 80 euros

Évolution très rapide

- Jusqu'en 2013, **plus cher** et **plus lent** qu'un DD
 - 110 Mo/s pour un DD 500 Go à 80 euros
 - 50 Mo/s pour un SSD 120 Go à 80 euros
- Mais limites différentes des DD :
 - Pas de rotation + mouvement de bras

Évolution très rapide

- Jusqu'en 2013, **plus cher** et **plus lent** qu'un DD
 - 110 Mo/s pour un DD 500 Go à 80 euros
 - 50 Mo/s pour un SSD 120 Go à 80 euros
- Mais limites différentes des DD :
 - Pas de rotation + mouvement de bras

Évolution des SSD

- 2013: 500Go à 500 Mo/s pour 1000 euros
- 2015: 1To à 500 Mo/s pour 150 euros
- 2019: 3Go/s en NVMe

Idée

On souhaite faire des supports amovibles sans bande magnétique

Idée

On souhaite faire des supports amovibles sans bande magnétique

On veut imiter le principe d'une RAM...

Idée

On souhaite faire des supports amovibles sans bande magnétique

On veut imiter le principe d'une RAM...

... mais sans avoir besoin de l'alimenter !

Idée

On souhaite faire des supports amovibles sans bande magnétique

On veut imiter le principe d'une RAM...

... mais sans avoir besoin de l'alimenter !

Maintenir chargé un bit **sans bascule RS** ?

Idée

On souhaite faire des supports amovibles sans bande magnétique

On veut imiter le principe d'une RAM...

... mais sans avoir besoin de l'alimenter !

Maintenir chargé un bit **sans bascule RS** ?

Mécanisme

Charger une **grille électromagnétique** de manière à ce que les électrons ne s'échappent pas

Effet tunnel (Fowler-Nordheim)

Une particule peut (parfois) franchir une grille même si elle a un potentiel trop faible

- *Effet de mécanique quantique*
→ *non déterministe*

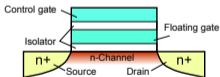
Effet tunnel (Fowler-Nordheim)

Une particule peut (parfois) franchir une grille même si elle a un potentiel trop faible

- *Effet de mécanique quantique*
→ *non déterministe*

Bit SSD : mémoire flash NAND

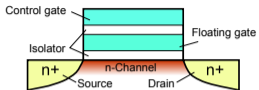
Transistor avec une grille flottante qui bloque les électrons

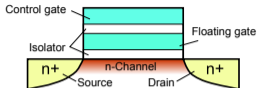


source : Wikipedia

Le n-tunnel forme un **substrat** pour des électrons.

Lecture

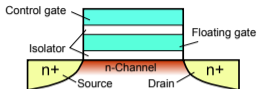




Grille saturée

Le transistor est un isolant

→ Lecture d'un bit 0



Grille saturée

Le transistor est un isolant

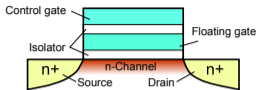
→ Lecture d'un bit 0

Grille vidée

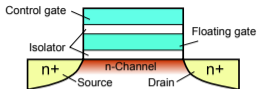
Le transistor est un conducteur (effet tunnel)

→ Lecture d'un bit 1

Écriture



Écriture



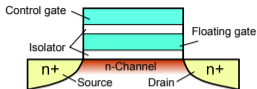
Écriture

Faible tension entre la source et le drain

Forte tension sur la grille

→ Chargement de la grille

Écriture



Écriture

Faible tension entre la source et le drain

Forte tension sur la grille

→ Chargement de la grille

Éffacement

Faible tension entre le drain et la source

Forte tension sur la grille

→ Vidage de la grille

Pages (*blocs pour les DD*)

Unité de base du SSD, environ 4Ko

- Peut être lue
- Peut être programmée (si la page est vide)

Pages (*blocs pour les DD*)

Unité de base du SSD, environ 4Ko

- Peut être lue
- Peut être programmée (si la page est vide)

Blocs

Groupe de pages, environ 128 pages par bloc

- Peut être effacé
- Contiens un code d'erreur

Pages (*blocs pour les DD*)

Unité de base du SSD, environ 4Ko

- Peut être lue
- Peut être programmée (si la page est vide)

Blocs

Groupe de pages, environ 128 pages par bloc

- Peut être effacé
- Contiens un code d'erreur

Tampon

Le controleur dispose d'une RAM interne

- Lecture d'un bloc complet vers la RAM interne
- Transfert entre la RAM interne et le système

Problème d'usure

Grille flottante

Données = (dé)saturation de la grille flottante

Grille flottante

Données = (dé)saturation de la grille flottante

- Il reste toujours des électrons...

Au fur et à mesure, la grille se désature de moins en moins

Usure

Entre 10 000 et 100 000 cycles d'écriture maximum

Grille flottante

Données = (dé)saturation de la grille flottante

- Il reste toujours des électrons...

Au fur et à mesure, la grille se désature de moins en moins

Usure

Entre 10 000 et 100 000 cycles d'écriture maximum

Politique de gestion de l'usure

Stratégie de base

Bloc logique \rightarrow adresse physique (secteur)

Stratégie de base

Bloc logique → adresse physique (secteur)

Inconvénients

X Effacer le secteur + recopier nouvelle valeur
→ lent!

Stratégie de base

Bloc logique → adresse physique (secteur)

Inconvénients

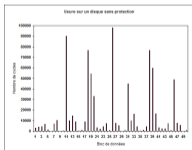
- ✗ Effacer le secteur + recopier nouvelle valeur
→ lent!
- ✗ Fichiers souvent modifiés (ex: données d'état)
→ secteurs plus vite inutilisables

Stratégie de base

Bloc logique → adresse physique (secteur)

Inconvénients

- ✗ Effacer le secteur + recopier nouvelle valeur
→ lent!
- ✗ Fichiers souvent modifiés (ex: données d'état)
→ secteurs plus vite inutilisables



source : <http://tomshareware.fr>

ou *wear levelling*

ou *wear levelling*

Disque

Le disque est inutilisable dès que X blocs ont atteint leur limite, **quelque soit l'état des autres blocs!**

ou *wear levelling*

Disque

Le disque est inutilisable dès que X blocs ont atteint leur limite, **quelque soit l'état des autres blocs!**

Remarques

Pour les SSD pas de problème de temps d'accès :

tous les secteurs sont accessibles à la même vitesse

Plus de correspondance directe nécessaire :

adresse logique \neq adresse physique

Wear Leveling Dynamique

Principe

Changement de secteur lors de l'écriture

Principe

Changement de secteur lors de l'écriture

Avantages

- ✓ Répartir l'écriture sur les secteurs libres
→ Moins d'usure

Principe

Changement de secteur lors de l'écriture

Avantages

- ✓ Répartir l'écriture sur les secteurs libres
→ Moins d'usure
- ✓ Libérer les secteurs quand le périphérique est inutilisé
→ Gain de performances

Table d'adresse des blocs logiques

- Adresse physique (secteur)
- Adresse Logique (n° bloc ou « libre »)
- Usure (nombre d'écriture)

secteur :	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc :	1	4	2	6	0	L	9	3	L	L	5	7	8	L	L	L
date :	53	41	106	99	72	87	55	31	80	58	64	67	91	61	0	0
usure :	2	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	0	0
invalid :	F	F	F	F	F	F	F	F	T	F	F	F	F	T	F	F

Table d'adresse des blocs logiques

- Adresse physique (secteur)
- Adresse Logique (n° bloc ou « libre »)
- Date dernière modification
- Usure (nombre d'écriture)

secteur :	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc :	1	4	2	6	0	L	9	3	L	L	5	7	8	L	L	L
date :	53	41	106	99	72	87	55	31	80	58	64	67	91	61	0	0
usure :	2	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	0	0
invalid :	F	F	F	F	F	F	F	F	T	F	F	F	F	T	F	F

Table d'adresse des blocs logiques

- Adresse physique (secteur)
- Adresse Logique (n° bloc ou « libre »)
- Date dernière modification
- Usure (nombre d'écriture)
- Bit d'invalidité du secteur

secteur :	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc :	1	4	2	6	0	L	9	3	L	L	5	7	8	L	L	L
date :	53	41	106	99	72	87	55	31	80	58	64	67	91	61	0	0
usure :	2	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	0	0
invalid :	F	F	F	F	F	F	F	F	T	F	F	F	F	T	F	F

Table d'adresse des blocs logiques

- Adresse physique (secteur)
- Adresse Logique (n° bloc ou « libre »)
- Date dernière modification
- Usure (nombre d'écriture)
- Bit d'invalidité du secteur

Fonctionnement

- **Écriture**: choix nouvelle adresse physique
+ marquer secteur invalide et libre

Table d'adresse des blocs logiques

- Adresse physique (secteur)
- Adresse Logique (n° bloc ou « libre »)
- Date dernière modification
- Usure (nombre d'écriture)
- Bit d'invalidité du secteur

Fonctionnement

- **Écriture** : choix nouvelle adresse physique
+ marquer secteur invalide et libre
- **Temps libre** : nettoyer secteurs invalides

Choix d'une nouvelle adresse physique

Liste **triée** des secteurs libres (*et valides*) par **usure**

- Choisir le secteur libre le moins utilisé

Choix d'une nouvelle adresse physique

Liste **triée** des secteurs libres (*et valides*) par **usure**

- Choisir le secteur libre le moins usé

Exemple :

secteur :	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
logique :	1	4	2	6	0	L	9	3	L	L	5	7	8	L	L	L
usure :	2	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	0	0

Demandes d'écriture : **A**

Choix d'une nouvelle adresse physique

Liste **triée** des secteurs libres (*et valides*) par **usure**

- Choisir le secteur libre le moins usé

Exemple :

secteur :	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
logique :	1	4	2	6	0	L	9	3	L	L	5	7	8	L	L	L
usure :	2	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	0	0

Demandes d'écriture : **A**

En cas d'égalité, je prend le premier secteur libre

Choix d'une nouvelle adresse physique

Liste **triée** des secteurs libres (*et valides*) par **usure**

- Choisir le secteur libre le moins usé

Exemple :

secteur :	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
logique :	1	4	2	6	0	L	9	3	L	L	5	7	8	L	A	L
usure :	2	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	1	0

Demandes d'écriture : A **1**

Choix d'une nouvelle adresse physique

Liste **triée** des secteurs libres (*et valides*) par **usure**

- Choisir le secteur libre le moins usé

Exemple :

secteur :	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
logique :	1	4	2	6	0	L	9	3	L	L	5	7	8	L	A	L
usure :	2	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	1	0

Demandes d'écriture : A **1**

Libérer le secteur contenant le bloc 1

Choix d'une nouvelle adresse physique

Liste **triée** des secteurs libres (*et valides*) par **usure**

- Choisir le secteur libre le moins usé

Exemple :

secteur :	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
logique :	L	4	2	6	0	L	9	3	L	L	5	7	8	L	A	1
usure :	2	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	1	1

Demandes d'écriture : A 1 **7**

Choix d'une nouvelle adresse physique

Liste **triée** des secteurs libres (*et valides*) par **usure**

- Choisir le secteur libre le moins usé

Exemple :

secteur :	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
logique :	L	4	2	6	0	L	9	3	L	L	5	7	8	L	A	1
usure :	2	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	1	1

Demandes d'écriture : A 1 7

Choix d'une nouvelle adresse physique

Liste **triée** des secteurs libres (*et valides*) par **usure**

- Choisir le secteur libre le moins usé

Exemple :

secteur :	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
logique :	7	4	2	6	0	L	9	3	L	L	5	L	8	L	A	1
usure :	3	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	1	1

Demandes d'écriture : A 1 7 1

Choix d'une nouvelle adresse physique

Liste **triée** des secteurs libres (*et valides*) par **usure**

- Choisir le secteur libre le moins usé

Exemple :

secteur :	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
logique :	7	4	2	6	0	L	9	3	L	L	5	L	8	L	A	1
usure :	3	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	1	1

Demandes d'écriture : A 1 7 1

Même si mon secteur est moins usé, je déplace

Choix d'une nouvelle adresse physique

Liste **triée** des secteurs libres (*et valides*) par **usure**

- Choisir le secteur libre le moins usé

Exemple :

secteur :	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
logique :	7	4	2	6	0	L	9	3	L	L	5	L	8	1	A	L
usure :	3	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	4	1	1

Demandes d'écriture : A 1 7 1 **2**

Choix d'une nouvelle adresse physique

Liste **triée** des secteurs libres (*et valides*) par **usure**

- Choisir le secteur libre le moins usé

Exemple :

secteur :	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
logique :	7	4	2	6	0	L	9	3	L	L	5	L	8	1	A	L
usure :	3	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	4	1	1

Demandes d'écriture : A 1 7 1 2

Choix d'une nouvelle adresse physique

Liste **triée** des secteurs libres (*et valides*) par **usure**

- Choisir le secteur libre le moins usé

Exemple :

secteur :	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
logique :	7	4	L	6	0	L	9	3	L	L	5	L	8	1	A	2
usure :	3	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	4	1	2

Demandes d'écriture : A 1 7 1 2

Usure des *blocs*

Seule l'usure des blocs **remplacés** est égalisée :

X les blocs lus n'usent pas !

Usure des *blocs*

Seule l'usure des blocs **remplacés** est égalisée :

X les blocs lus n'usent pas !

Problème

Beaucoup de données ne sont jamais réécrites

- Fichiers de l'OS
- Archives
- Photos, vidéos, musiques...

Usure des *blocs*

Seule l'usure des blocs **remplacés** est égalisée :

X les blocs lus n'usent pas !

Problème

Beaucoup de données ne sont jamais réécrites

- Fichiers de l'OS
- Archives
- Photos, vidéos, musiques...

Elles sont **statique**

Wear Leveling statique

Principe

Déplacer les blocs qui ne sont pas écrits

→ choisir systématiquement le **secteur le moins utilisé**

Principe

Déplacer les blocs qui ne sont pas écrits

→ choisir systématiquement le **secteur le moins utilisé**

Implémentation

Table des blocs logiques :

- secteur, bloc, bit d'invalidité, usure,
- **date** (en nombre d'écritures sur le SSD)

Principe

Déplacer les blocs qui ne sont pas écrits

→ choisir systématiquement le **secteur le moins utilisé**

Implémentation

Table des blocs logiques :

- secteur, bloc, bit d'invalidité, usure,
- **date** (en nombre d'écritures sur le SSD)

Bloc statique/dynamique

Un bloc modifié depuis moins de t_l pas de temps est considéré **dynamique**.

→ Il ne peut pas être déplacé.

Algorithme

Chercher le secteur le moins utilisé

- Il est libre \rightarrow l'utiliser

Algorithme

Chercher le secteur le moins utilisé

- Il est libre \rightarrow l'utiliser
- Il contient un bloc dynamique \rightarrow choisir un autre secteur

Algorithme

Chercher le secteur le moins utilisé

- Il est libre \rightarrow l'utiliser
- Il contient un bloc dynamique \rightarrow choisir un autre secteur
- Il contient un bloc statique \rightarrow déplacer le bloc (suivant le même algorithme)

Algorithme

Chercher le secteur le moins utilisé

- Il est libre → l'utiliser
- Il contient un bloc dynamique → choisir un autre secteur
- Il contient un bloc statique → déplacer le bloc (suivant le même algorithme)

Implémentation

Liste des secteurs libres ou contenant des blocs statiques... *triée par usure croissante*

Principe

Choisir le secteur le moins utilisé et déplacer si bloc statique

Exemple : $t_l = 10$ et $date = 107^e$ écriture

sect.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc	4	1	2	6	0	L	9	3	L	L	5	7	8	L	L	L
date	53	41	106	92	72	87	55	31	80	58	64	67	91	61	0	0
usure	2	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	0	0

Principe

Choisir le secteur le moins utilisé et déplacer si bloc statique

Exemple : $t_1 = 10$ et $date = 107^e$ écriture

sect.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc	4	1	2	6	0	L	9	3	L	L	5	7	8	L	L	L
date	53	41	106	92	72	87	55	31	80	58	64	67	91	61	0	0
usure	2	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	0	0

Demandes d'écriture : **A**

Principe

Choisir le secteur le moins utilisé et déplacer si bloc statique

Exemple : $t_1 = 10$ et date = 107^e écriture

sect.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc	4	1	2	6	0	L	9	3	L	L	5	7	8	L	L	L
date	53	41	106	92	72	87	55	31	80	58	64	67	91	61	0	0
usure	2	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	0	0

Demandes d'écriture : **A**

En cas d'égalité, je prend le premier secteur

Principe

Choisir le secteur le moins utilisé et déplacer si bloc statique

Exemple : $t_1 = 10$ et date = 107^e écriture

sect.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc	4	1	2	6	0	L	9	3	L	L	5	7	8	L	A	L
date	53	41	106	92	72	87	55	31	80	58	64	67	91	61	107	0
usure	2	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	1	0

Demandes d'écriture : A 1

Principe

Choisir le secteur le moins utilisé et déplacer si bloc statique

Exemple : $t_l = 10$ et $date = 107^e$ écriture

sect.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc	4	1	2	6	0	L	9	3	L	L	5	7	8	L	A	L
date	53	41	106	92	72	87	55	31	80	58	64	67	91	61	107	0
usure	2	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	1	0

Demandes d'écriture : A 1

Principe

Choisir le secteur le moins utilisé et déplacer si bloc statique

Exemple : $t_1 = 10$ et $date = 107^e$ écriture

sect.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc	4	L	2	6	0	L	9	3	L	L	5	7	8	L	A	1
date	53	41	106	92	72	87	55	31	80	58	64	67	91	61	107	108
usure	2	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	1	1

Demandes d'écriture : A 1 7

Principe

Choisir le secteur le moins utilisé et déplacer si bloc statique

Exemple : $t_l = 10$ et $date = 107^e$ écriture

sect.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc	4	L	2	6	0	L	9	3	L	L	5	7	8	L	A	1
date	53	41	106	92	72	87	55	31	80	58	64	67	91	61	107	108
usure	2	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	1	1

Demandes d'écriture : A 1 7

Principe

Choisir le secteur le moins utilisé et déplacer si bloc statique

Exemple : $t_1 = 10$ et date = 107^e écriture

sect.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc	4	L	2	6	0	L	9	3	L	L	5	L	8	L	A	1
date	53	41	106	92	72	87	55	31	80	58	64	67	91	61	107	108
usure	2	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	1	1

Demandes d'écriture : A 1 7

Le bloc 7 est retiré

Les blocs dynamiques sont protégés

Principe

Choisir le secteur le moins utilisé et déplacer si bloc statique

Exemple : $t_1 = 10$ et $date = 107^e$ écriture

sect.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc	4	L	2	6	0	L	9	3	L	L	5	L	8	L	A	1
date	53	41	106	92	72	87	55	31	80	58	64	67	91	61	107	108
usure	2	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	1	1

Demandes d'écriture : A 1 7

Le bloc 4 est statique

Principe

Choisir le secteur le moins utilisé et déplacer si bloc statique

Exemple: $t_1 = 10$ et date = 107^e écriture

sect.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc	7	L	2	6	0	L	9	3	L	L	5	L	8	L	A	1
date	109	41	106	92	72	87	55	31	80	58	64	67	91	61	107	108
usure	3	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	1	1

Demandes d'écriture: A 1 7 4

Il faut maintenant replacer le bloc 4!

Principe

Choisir le secteur le moins utilisé et déplacer si bloc statique

Exemple : $t_1 = 10$ et date = 107^e écriture

sect.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc	7	L	2	6	0	L	9	3	L	L	5	L	8	L	A	1
date	109	41	106	92	72	87	55	31	80	58	64	67	91	61	107	108
usure	3	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	3	1	1

Demandes d'écriture : A 1 7 4

En cas d'égalité, on préfère un secteur libre

plutôt qu'un bloc statique qui serait déplacé. . . dans ce même bloc!

Principe

Choisir le secteur le moins utilisé et déplacer si bloc statique

Exemple : $t_1 = 10$ et $date = 107^e$ écriture

sect.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc	7	L	2	6	0	L	9	3	L	L	5	L	8	4	A	1
date	109	41	106	92	72	87	55	31	80	58	64	67	91	109	107	108
usure	3	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	4	1	1

Demandes d'écriture : A 1 7 4

On peut considérer qu'on est toujours au cycle 109...

Principe

Choisir le secteur le moins utilisé et déplacer si bloc statique

Exemple : $t_1 = 10$ et $date = 107^e$ écriture

sect.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc	7	L	2	6	0	L	9	3	L	L	5	L	8	4	A	1
date	109	41	106	92	72	87	55	31	80	58	64	67	91	109	107	108
usure	3	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	4	1	1

Demandes d'écriture : A 1 7 4 1

Principe

Choisir le secteur le moins utilisé et déplacer si bloc statique

Exemple : $t_1 = 10$ et date = 107^e écriture

sect.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc	7	L	2	6	0	L	9	3	L	L	5	L	8	4	A	1
date	109	41	106	92	72	87	55	31	80	58	64	67	91	109	107	108
usure	3	8	7	3	6	5	8	6	7	9	6	8	8	4	1	1

Demandes d'écriture : A 1 7 4 1

Principe

Choisir le secteur le moins utilisé et déplacer si bloc statique

Exemple : $t_l = 10$ et $date = 107^e$ écriture

sect.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc	7	L	2	1	0	L	9	3	L	L	5	L	8	4	A	L
date	109	41	106	110	72	87	55	31	80	58	64	67	91	109	107	108
usure	3	8	7	4	6	5	8	6	7	9	6	8	8	4	1	1

Demandes d'écriture : A 1 7 4 1 6

Principe

Choisir le secteur le moins utilisé et déplacer si bloc statique

Exemple : $t_1 = 10$ et date = 107^e écriture

sect.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc	7	L	2	1	0	L	9	3	L	L	5	L	8	4	A	L
date	109	41	106	110	72	87	55	31	80	58	64	67	91	109	107	108
usure	3	8	7	4	6	5	8	6	7	9	6	8	8	4	1	1

Demandes d'écriture : A 1 7 4 1 6

Un secteur libre n'est jamais « dynamique » !

Principe

Choisir le secteur le moins utilisé et déplacer si bloc statique

Exemple : $t_l = 10$ et $date = 107^e$ écriture

sect.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc	7	L	2	1	0	L	9	3	L	L	5	L	8	4	A	6
date	109	41	106	110	72	87	55	31	80	58	64	67	91	109	107	110
usure	3	8	7	4	6	5	8	6	7	9	6	8	8	4	1	2

Demandes d'écriture : A 1 7 4 1 6 2

Principe

Choisir le secteur le moins utilisé et déplacer si bloc statique

Exemple : $t_l = 10$ et $date = 107^e$ écriture

sect.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc	7	L	2	1	0	L	9	3	L	L	5	L	8	4	A	6
date	109	41	106	110	72	87	55	31	80	58	64	67	91	109	107	110
usure	3	8	7	4	6	5	8	6	7	9	6	8	8	4	1	2

Demandes d'écriture : A 1 7 4 1 6 2

Principe

Choisir le secteur le moins utilisé et déplacer si bloc statique

Exemple : $t_1 = 10$ et $date = 107^e$ écriture

sect.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
bloc	7	L	L	1	0	2	9	3	L	L	5	L	8	4	A	6
date	109	41	106	110	72	111	55	31	80	58	64	67	91	109	107	110
usure	3	8	7	4	6	6	8	6	7	9	6	8	8	4	1	2

Demandes d'écriture : A 1 7 4 1 6 2

Avantage

Bien meilleure répartition de l'usure

- ✓ Écriture sur le disque
→ les blocs sont déplacés sur tout le support
- ✓ L'écart d'usure maximum est t_1
- ✓ Moyenne d'utilisation faible
→ mais pas homogène