Fonctionnement des ordinateurs

chapitre VI : mémoires

Prof. Xavier Gandibleux

Université de Nantes
Département Informatique – UFR Sciences et Techniques

Année académique 2018-2019

Mémoires

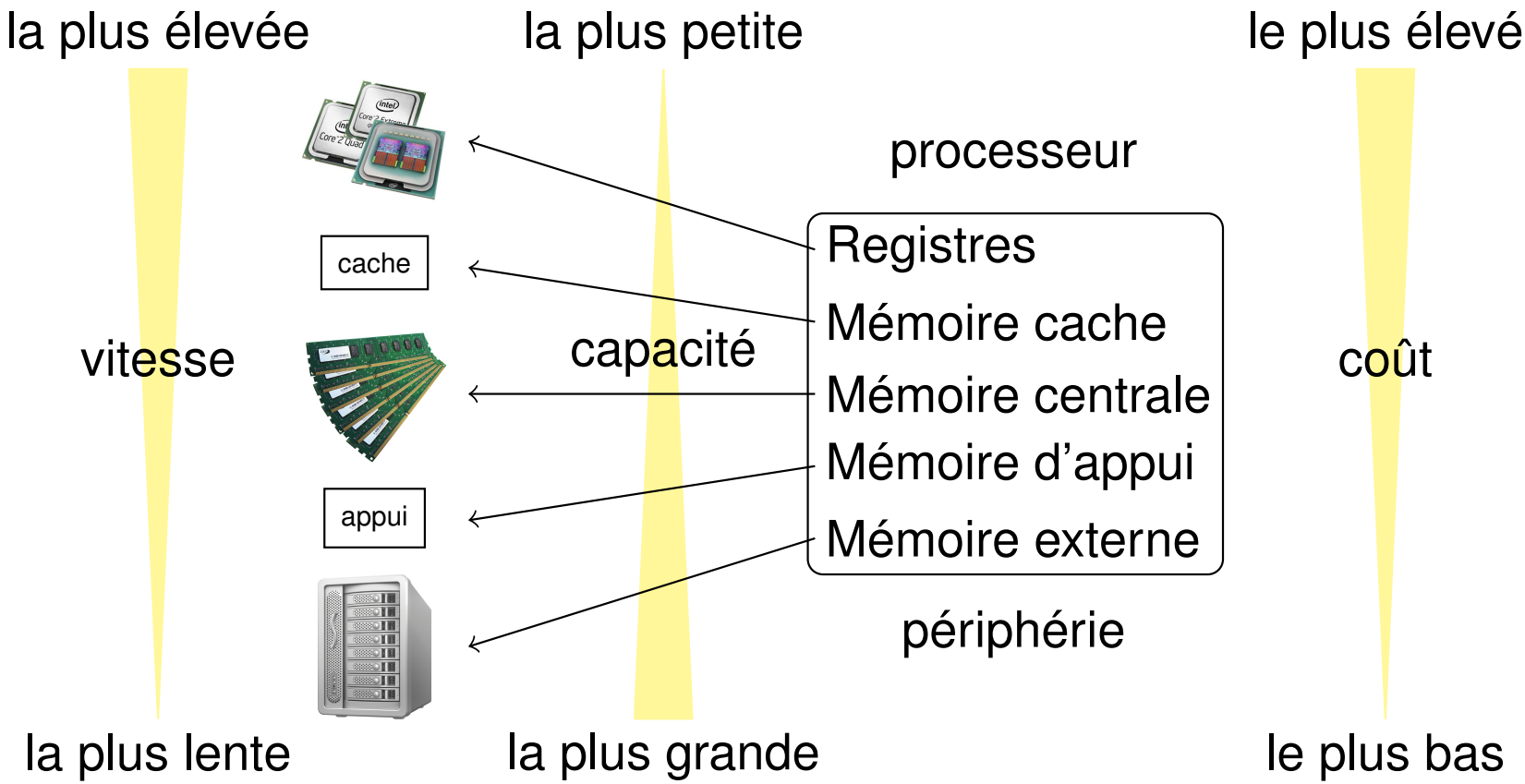
vue d'ensemble des mémoires
examen microscopique de la mémoire centrale
nature du contenu en mémoire centrale
opérations de lecture et écriture en mémoire centrale
caractéristiques d'une mémoire centrale
occupations de l'espace en mémoire centrale
regard sur les hiérarchies de mémoires

Mémoires

Vue d’ensemble

Mémoires

Vue d'ensemble



Mémoires

Vitesses caractéristiques :

- bascules, registres dans le processeur (< 1 ns)

- mémoire statique ($\approx$ 10 ns)
- mémoire dynamique ($\approx$ 100 ns)
- mémoire flash ($\approx$ 10 μs/50 ns)

- disque SSD ($\approx$ 100 μs)
- disque magnétique ($\approx$ 10 ms)
- disque optique ($\approx$ 150 ms)

Mémoires

Unités de capacité mémoire :

Système international des unités (SI) :

1 bit (b)

8 bits = 2^3 bits = 1 octet (o) = 1 byte (B)

1ko = 1 000 octets = 1kB = 10^3 bytes

1Mo = 1 000 000 octets = 1MB = 10^6 bytes

1Go = 1 000 000 000 octets = 1GB = 10^9 bytes

1998, des préfixes pour les multiples en base 2 (IEC) :

ki (kibi) : 1ki = $(2^{10})^1$ bits = 1024 bits

Mi (mebi) : 1Mi = $(2^{10})^2$ bits

Gi (gibi) : 1Gi = $(2^{10})^3$ bits

Exemples :

1kibit = 2^{10} bits = 1024 bits

1kbit = 10^3 bits = 1000 bits

1MiB = 2^{20} B = 1 048 576 B = 8 388 608 bits

1MB = 10^6 B = 1 000 000 B = 8 000 000 bits

Mémoires

Usages, types, capacités :

Mémoire centrale

- mémoire située près du processeur
- RAM, mémoire flash
- de quelques Mo à quelques Go

Mémoire de masse

- stockage de longue durée
- disque durs magnétiques, SSD
- plusieurs centaines de Go à quelques To

Archivage

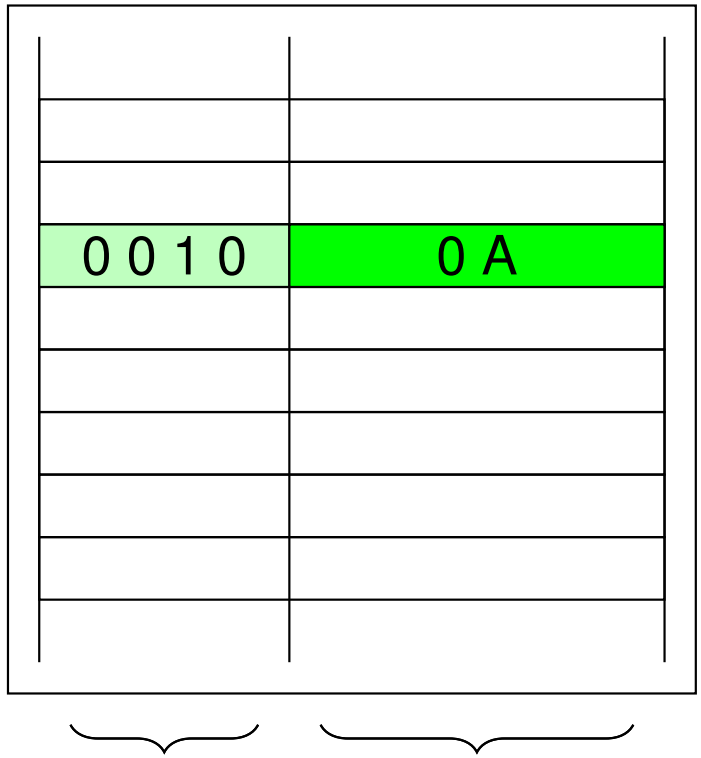
- stockage de très longue durée
- bandes magnétiques
- plusieurs centaines de Go à quelques To
- lent, accès séquentiel, faible coût

Mémoires

Mémoire centrale : examen microscopique

Mémoires

Mémoire centrale



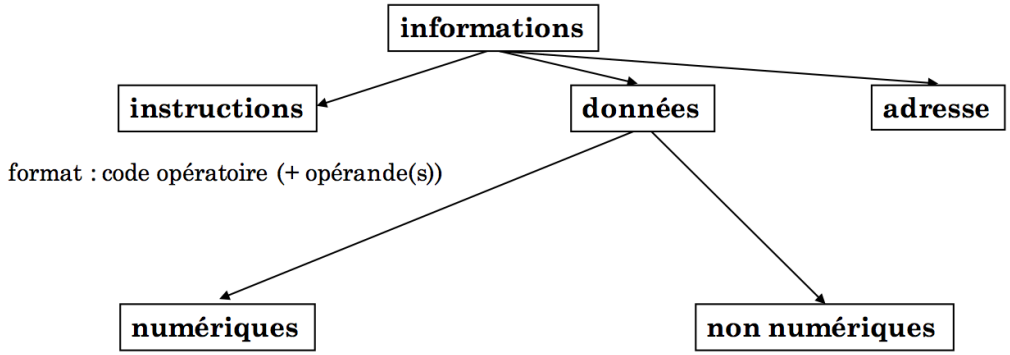
accès direct ⟵ clef ⟼ espace ⟶ lire et écrire

Mémoires

Mémoire centrale : nature du contenu en mémoire

Mémoires

Nature du contenu en mémoire



nombres représentés

- en direct
  entiers non-signés
- en complément à 2
  entiers signés
- en virgule fixe
  en virgule flottante
  fractionnaires

données codées par tables

- standard ASCII
  American Standard Code for Information Interchange
- standard EBCDIC
  Extended Binary Coded Decimal Interchange Code
- standard UNICODE
  constitué d'un répertoire de 128 172 caractères couvrant une centaine d'écritures.
  Sous sa forme UTF-8 (UTF, Universal Transformation Format), l'Unicode offre une certaine interopérabilité avec le code ASCII

Table ASCII

Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char
0	0	[NULL]	32	20	[SPACE]	64	40	@	96	60	`
1	1	[START OF HEADING]	33	21	!	65	41	A	97	61	a
2	2	[START OF TEXT]	34	22	"	66	42	B	98	62	b
3	3	[END OF TEXT]	35	23	#	67	43	C	99	63	c
4	4	[END OF TRANSMISSION]	36	24	$	68	44	D	100	64	d
5	5	[ENQUIRY]	37	25	%	69	45	E	101	65	e
6	6	[ACKNOWLEDGE]	38	26	&	70	46	F	102	66	f
7	7	[BELL]	39	27	'	71	47	G	103	67	g
8	8	[BACKSPACE]	40	28	(	72	48	H	104	68	h
9	9	[HORIZONTAL TAB]	41	29	)	73	49	I	105	69	i
10	A	[LINE FEED]	42	2A	*	74	4A	J	106	6A	j
11	B	[VERTICAL TAB]	43	2B	+	75	4B	K	107	6B	k
12	C	[FORM FEED]	44	2C	,	76	4C	L	108	6C	l
13	D	[CARRIAGE RETURN]	45	2D	-	77	4D	M	109	6D	m
14	E	[SHIFT OUT]	46	2E	.	78	4E	N	110	6E	n
15	F	[SHIFT IN]	47	2F	/	79	4F	O	111	6F	o
16	10	[DATA LINK ESCAPE]	48	30	0	80	50	P	112	70	p
17	11	[DEVICE CONTROL 1]	49	31	1	81	51	Q	113	71	q
18	12	[DEVICE CONTROL 2]	50	32	2	82	52	R	114	72	r
19	13	[DEVICE CONTROL 3]	51	33	3	83	53	S	115	73	s
20	14	[DEVICE CONTROL 4]	52	34	4	84	54	T	116	74	t
21	15	[NEGATIVE ACKNOWLEDGE]	53	35	5	85	55	U	117	75	u
22	16	[SYNCHRONOUS IDLE]	54	36	6	86	56	V	118	76	v
23	17	[ENG OF TRANS. BLOCK]	55	37	7	87	57	W	119	77	w
24	18	[CANCEL]	56	38	8	88	58	X	120	78	x
25	19	[END OF MEDIUM]	57	39	9	89	59	Y	121	79	y
26	1A	[SUBSTITUTE]	58	3A	:	90	5A	Z	122	7A	z
27	1B	[ESCAPE]	59	3B	;	91	5B	[	123	7B	{
28	1C	[FILE SEPARATOR]	60	3C	<	92	5C	\	124	7C	|
29	1D	[GROUP SEPARATOR]	61	3D	=	93	5D	]	125	7D	}
30	1E	[RECORD SEPARATOR]	62	3E	>	94	5E	^	126	7E	~
31	1F	[UNIT SEPARATOR]	63	3F	?	95	5F	_	127	7F	[DEL]

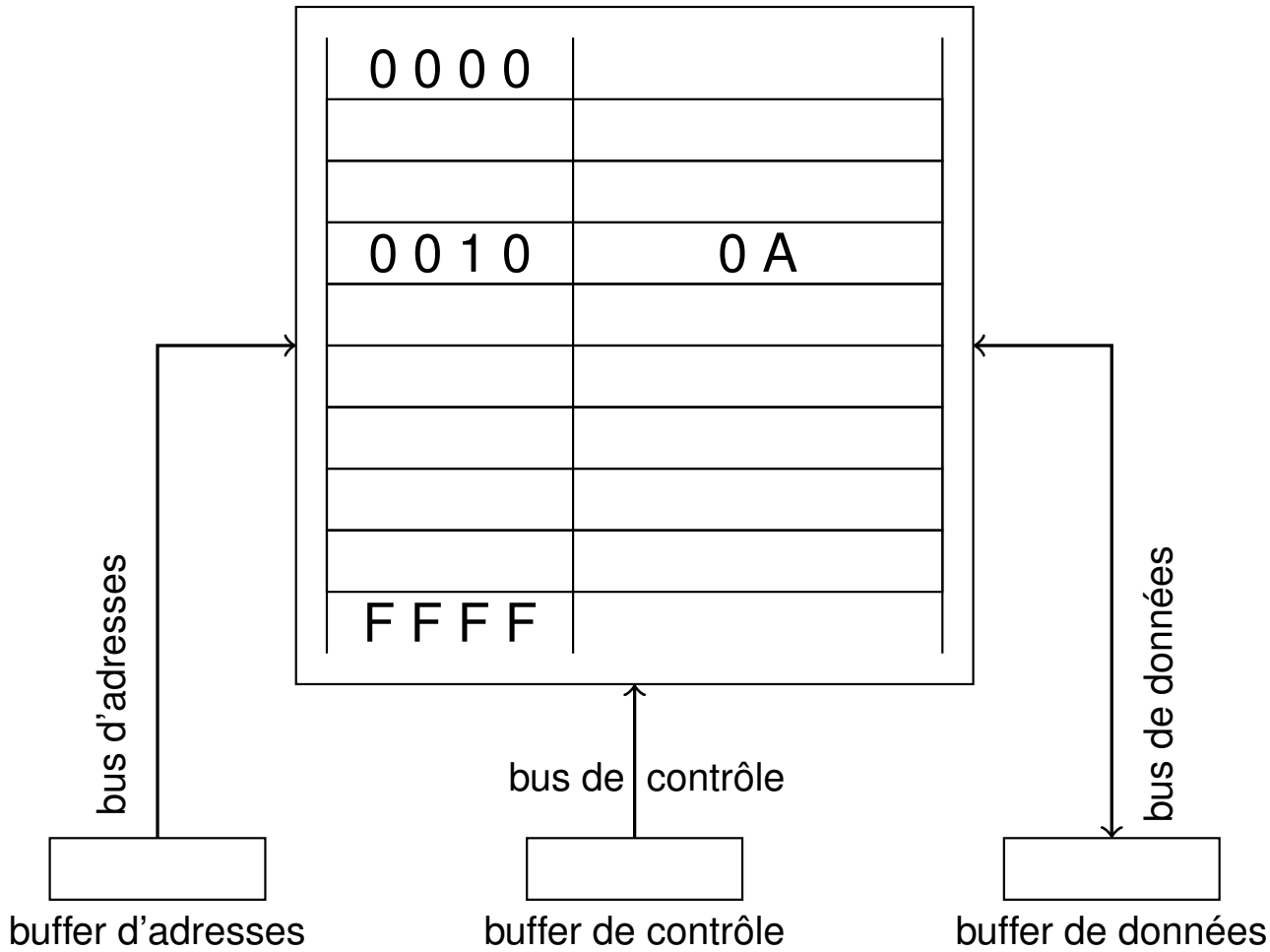
Mémoires

Mémoire centrale : Opérations de lecture et écriture

Mémoires

Mémoire centrale

Opérations de lecture et écriture :



Mémoires

Types de bus

- bus d'adresses : transporte les adresses mémoire auxquelles le processeur souhaite accéder (unidirectionnel).
- bus de données : véhicule les instructions en provenance ou à destination du processeur (bidirectionnel).
- bus de contrôle : transporte les ordres et les signaux de synchronisation de l'unité de commande (bidirectionnel).

- bus d'extension (bus d'entrée/sortie) : permet aux divers composants de la carte-mère (USB, cartes PCI, disques durs, lecteurs, ...) de communiquer entre eux.

Mémoires

Remarque 1 :

si (format des données en mémoire = 8 bits)
et (donnée à mémoriser > 8 bits) (Ex : adresse sur 16 bits : 2AF9)
alors
données sont décomposées en paquets (ici de 8 bits) comme suit :
- information de poids plus fort (pour l'exemple : 2A)
⋮
- information de poids plus faible (pour l'exemple : F9)
selon

convention "big endian"
(information de poids plus fort d'abord)

000F	
0010	2A
0011	F9
0012	

convention "small endian"
(information de poids plus faible d'abord)

000F	
0010	F9
0011	2A
0012	

fsi

Mémoires

Remarque 2 :

si (adresse mémoire = 16 bits) (Ex : 2AF9)
et (bus d'adresse = 8 bits)
alors
1) adresse mémoire décomposée en
- adresse haute(@H) ; exemple : 2A
- adresse basse(@B) ; exemple : F9

2) @H et @B circulent sur le bus d'adresse
selon la convention big ou small endian

nb : l'opération nécessite 2 fois plus de temps (2 cycles)
fsi

Mémoires

Mémoire centrale : caractéristiques d'une mémoire

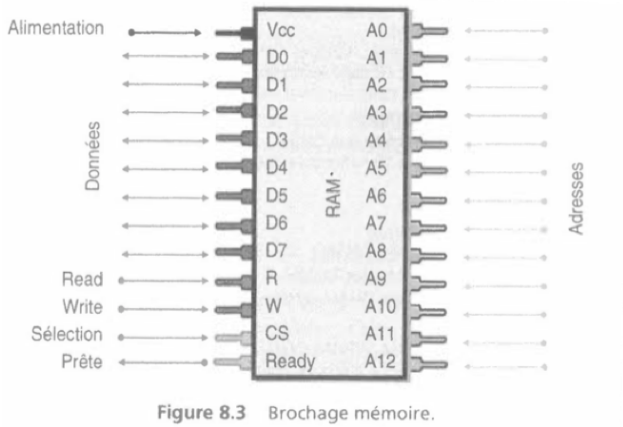


Figure 8.3 Brochage mémoire.

Brochage

EPROM

Mémoires

Caractéristiques d'une mémoire

- Le format des données :
  nombre de bits que l'on peut mémoriser par case mémoire. On parle de la largeur du mot mémorisable
- La capacité :
  nombre total de bits que contient la mémoire (s'exprime souvent en byte/octet)
- La volatilité :
  elle caractérise la permanence des informations dans la mémoire

- Le temps d'accès :
  temps qui s'écoule entre l'instant où a été lancée une opération de lecture/écriture en mémoire et l'instant où la premiére information est disponible (sur le bus de données)
- Le temps de cycle :
  il représente l'intervalle minimum qui doit séparer deux demandes successives de lecture ou d'écriture
- Le débit :
  nombre maximum d'informations lues ou écrites par seconde

Mémoires

Non volatile

Le contenu est préservé en l'absence d'alimentation :

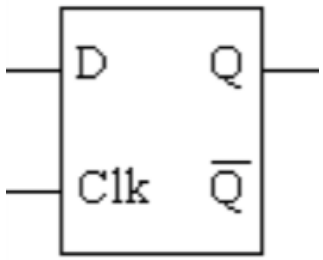
- ROM (Read Only Memory), mémoire morte
  Contenu figé à la conception (Ex : micro-traitements au cold-start)
- PROM (Programmable ROM)
  Contenu programmable une seule fois (fusibles)
- EPROM (Erasable Programmable ROM)
  Contenu programmable et effaçable (UV)
- EEPROM (Electrically Erasable PROM)
  Contenu programmable et effaçable électriquement
- mémoire flash
  Mémoire de type EEPROM effaçable électriquement par bloc, cycle de vie limité (ex : 10^5 écritures)

Mémoires

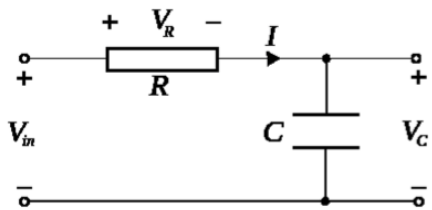
Volatile

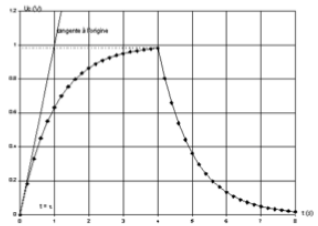
Le contenu est perdu en l'absence d'alimentation (RAM) :

- SRAM (Static Random Access Memory)
  Contenu stable (bascules à transistors), rapide



- DRAM (Dynamic RAM)
  Contenu évanescent (capacité), lecture destructrice



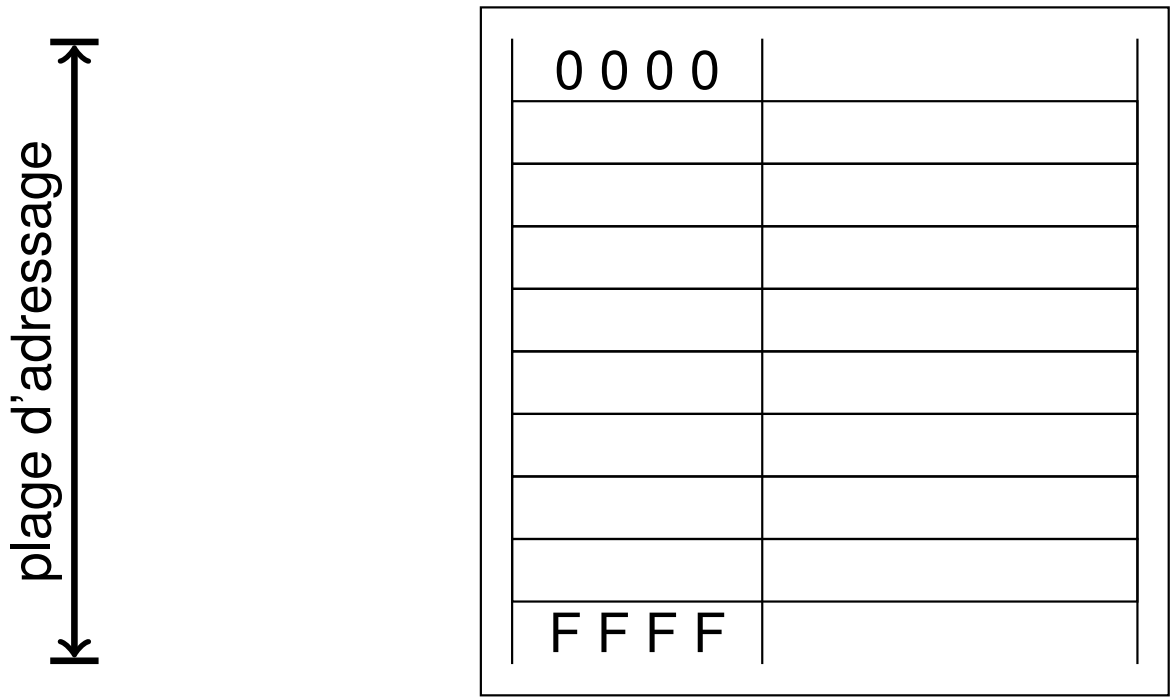


Mémoires

Mémoire centrale : Occupations de l'espace mémoire

Mémoires

Occupations de l'espace mémoire



Mémoires

Regard sur les hiérarchies de mémoires

Hiérarchies de mémoires

Le problème

- rapide = cher + faible capacité (SRAM)
- grande capacité = lent (DRAM, disque)

Solution

- combiner une petite mémoire rapide
- ... avec une grande mémoire lente
- et faire en sorte que les données voulues soient souvent dans la mémoire rapide.

Hiérarchies de mémoires

Principes

- localité temporelle

  quand on accède à une donnée,
  il y a des chances qu'on y accède de nouveau bientôt
  - boucles
  - usage répété de variables
- localité spatiale

  quand on accède à une donnée,
  il y a des chances qu'on accède ensuite à des données voisines
  - séquentialité du code, boucles
  - tableaux, codage contigu de l'information

Hiérarchies de mémoires

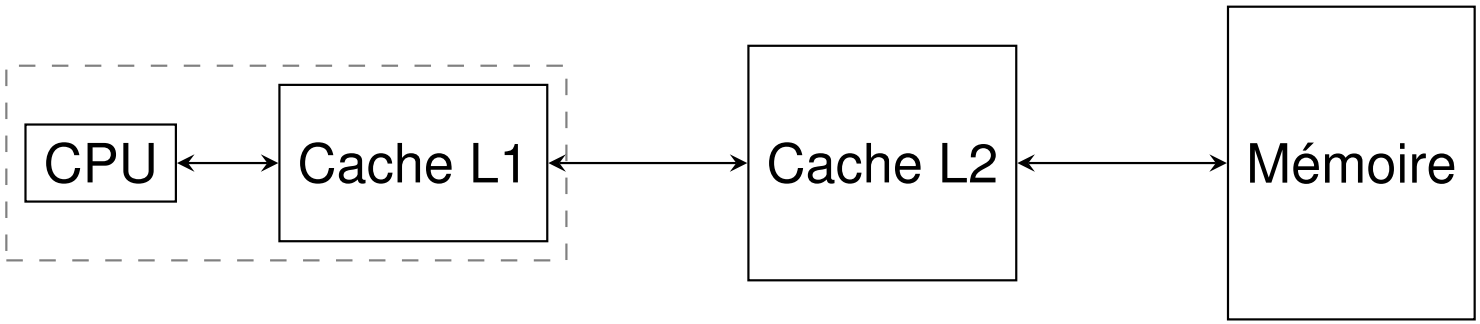
Application

- localité temporelle
  - on conserve dans une mémoire rapide les données que l'on consulte
  - quand la mémoire rapide est pleine, on élimine les données les plus anciennes
- localité spatiale
  - on charge dans la mémoire rapide les données voisines de celle que l'on consulte

Hiérarchies de mémoires

Cache

- petite mémoire statique, grande mémoire dynamique



- caches L1 séparés pour instructions et données

Appui (cache de disque)

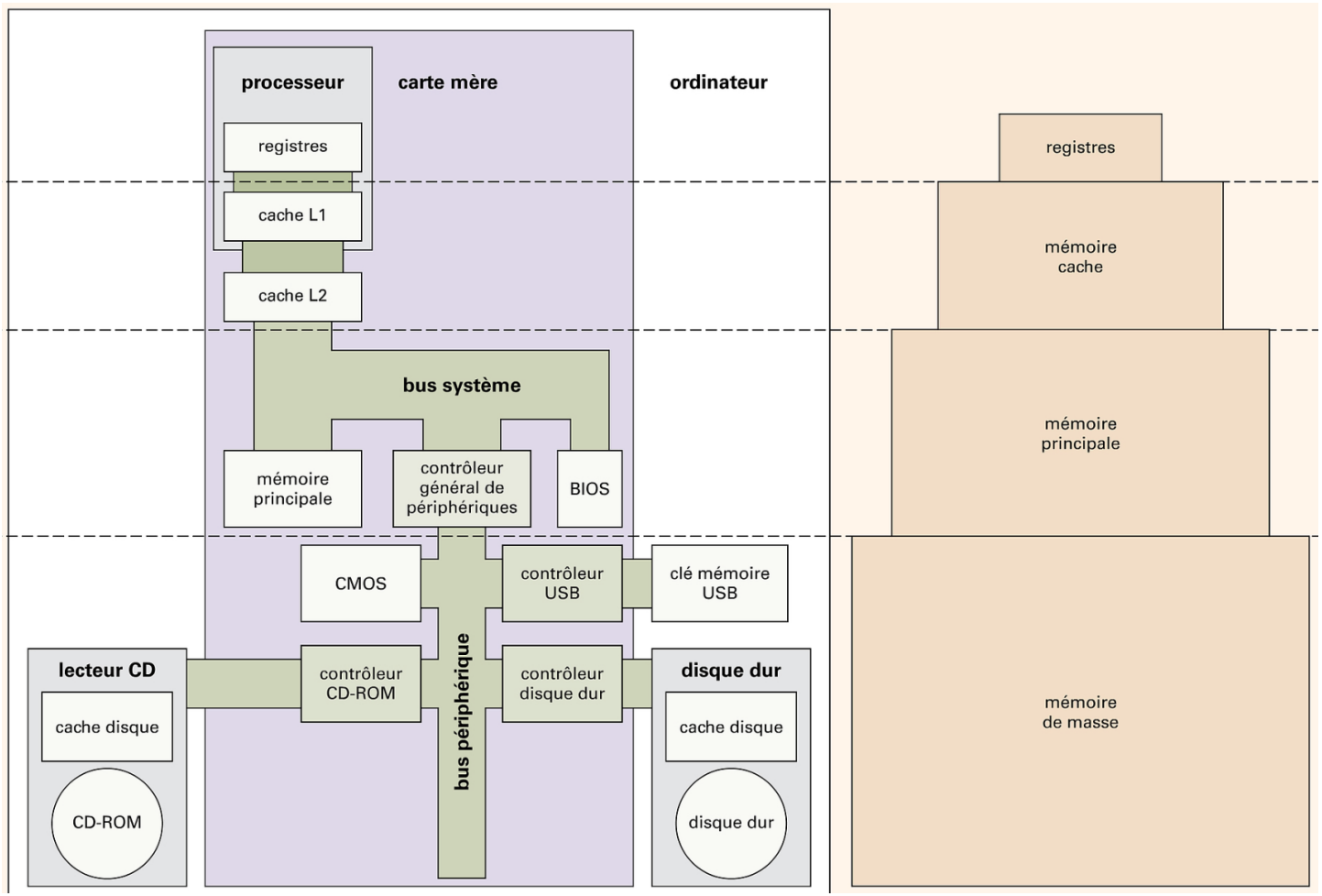
mémoire dynamique, disque dur : but = accélérer les accès au disque

Mémoire virtuelle

mémoire dynamique, disque dur : but = augmenter la capacité mémoire

Mémoires

Mémoires et bus en résumé



Suite...

processeurs