

📍 Avenue V. Maistriau 8a
B-7000 Mons
📞 +32 (0)65 33 81 54
✉️ scitech-mons@heh.be

WWW.HEH.BE

UE : Fonctionnement des systèmes

- AA : Architecture des systèmes - théorie
Antoine Malaise

Bachelier en Informatique & systèmes

Orientation réseaux & télécommunications

PARTIE 1 : Représentation des valeurs et calcul numérique

1. Introduction

Pour comprendre comment fonctionnent les langages de programmation, les réseaux ainsi que les ordinateurs, vous devez connaître le mode de stockage des données et des programmes au niveau le plus bas de la machine.

Souvenez-vous qu'à son plus bas niveau l'ordinateur n'est fait que de milliers d'interrupteurs dont la position détermine s'ils bloquent ou autorisent le passage du courant électrique. Chaque caractère présent dans la mémoire de l'ordinateur est défini par une combinaison d'interrupteurs. Pour les informaticiens un interrupteur ouvert (qui bloque le courant) correspond à un 0, un interrupteur fermé correspond à un 1. Chaque interrupteur ne peut prendre que deux valeurs binaires, en anglais binary digits, terme qui a donné le mot bits.

2. Représentation binaire des valeurs numériques

Tous les systèmes de représentation consistent à exprimer les valeurs numériques en une série de puissances entières d'une base.

2.1. Cas du système décimal commun:

Soit à représenter la valeur 4096 dans le système de base 10:

$$\begin{array}{cccc} 10^3 & 10^2 & 10^1 & 10^0 \\ 4 & 0 & 9 & 6 \end{array}$$

4096 : correspondant bien à $4*10^3 + 0*10^2 + 9*10^1 + 6*10^0$.

Les machines décimales exigent une technologie où pour chacune des puissances de la base, il faut 10 possibilités différentes. Cela est possible sur des machines à roues dentées (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) comme cela fut exploité sur les calculatrices mécaniques.

- Gottfried Wilhelm LEIBNIZ (1646-1716). Philosophe et mathématicien allemand a développé pour ses besoins une machine arithmétique réalisant automatiquement les quatre opérations sur le principe de la Pascaline mais il lui a ajouté un chariot mobile et une manivelle. Cette machine a été utilisée dans les entreprises jusqu'en 1960, 1965.

2.2. Cas du système binaire:

Le système le plus fréquemment employé sur les ordinateurs pour traiter des valeurs numériques est le système en base 2 développé par Leibnitz.

Soit à représenter la valeur 27 dans le système de base 2:

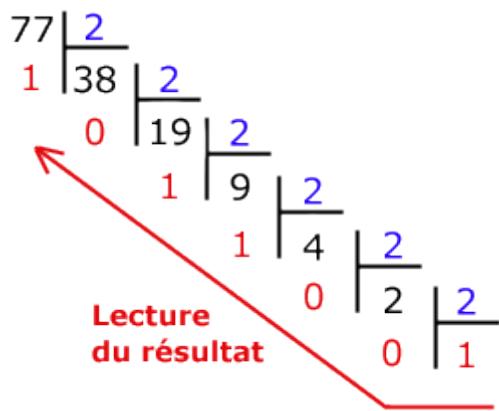
2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
1	1	0	1	1

27 correspondant bien à $1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$.

Lorsqu'on passe aux systèmes électroniques, la machine à 2 positions (0,1), la bascule, est le moyen le plus avantageux techniquement, ce qui explique la généralisation du système binaire dans le domaine du calcul par ordinateur.

Méthode pour convertir du décimal au binaire :

Prenons 77 et convertissons-le. Il s'agit de faire une suite de divisions euclidiennes par 2. Le résultat sera la juxtaposition des restes. Le schéma ci-dessous explique la méthode:



On divise le nombre décimal par deux, s'il est divisible il reste 0, sinon on prend le nombre inférieur le plus proche divisible par deux, mais il y aura un reste de 1. Ainsi de suite en prenant le résultat de la division et en le divisant par deux, quand on arrive à 1 comme résultat de division, nous avons fini. Ce qui nous donne 1001101, il faut bien faire attention à l'**ordre de lecture du résultat !!!!!!**

Vérifions notre résultat en faisant la conversion inverse :

2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
1	0	0	1	1	0	1

Le nombre en base 10 est $2^6 + 2^3 + 2^2 + 2^0 = 64 + 8 + 4 + 1 = 77$.
Nous avons bien retrouvé notre nombre.

3. Arithmétique Binaire de Leibnitz

Leibnitz a développé une arithmétique pour calculer dans le système binaire formée d'une table d'addition et d'une table de multiplication.

TABLE D'ADDITION:

0	+	0	=	0
0	+	1	=	1
1	+	0	=	1
1	+	1	=	0

avec report de 1 à la puissance supérieure de la base:
Addition de 4 et 7

$$\begin{array}{r}
 100_b \\
 111_b \\
 \hline
 1011_b
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 4_d \\
 +7_d \\
 \hline
 11_d
 \end{array}$$

Elle utilise aussi une TABLE DE MULTIPLICATION

0	*	0	=	0
0	*	1	=	0
1	*	0	=	0
1	*	1	=	1

avec une retenue:

Pour la multiplication de valeurs on utilise :

la table de multiplication pour une puissance donnée de la base, et
la table d'addition.

Les additions s'effectuent avec décalage comme en "calcul écrit" pour le système décimal.

Effectuons à titre d'exemple les opérations suivantes :

101_b	5_d	
101_b	$*5_d$	
<hr/>		
101_b		multiplication de 100 par 1 chiffre par chiffre,
$000_b.$		multiplication de 100 par 0 chiffre par chiffre,
$101_b..$		multiplication de 100 par 1 chiffre par chiffre,
<hr/>		
11001_b	25_d	addition des 3 nombres avec report.

3.1. Notion de mot-machine

En mathématiques, l'espace des nombres est infini. Lorsqu'on utilise une machine il faut se limiter, le nombre de bascules (bits) est loin d'être infini.

La mémoire d'un ordinateur est adressée en mots, à l'image d'une rue d'immeubles comportant tous le même nombre d'appartements. Supposons qu'il y en 4 par immeuble, l'adresse pour accéder à l'un d'eux est toujours celle du rez-de-chaussée. Les mots de la mémoire sont formés de plusieurs bits, en général leur nombre est pair, c'est-à-dire une puissance de 2, (2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, ...)

Les circuits de l'unité arithmétique et logique traitent simultanément un ou plusieurs mots de la mémoire, le nombre de bits traités fixe la longueur du mot machine.

Généralement, il s'agit aussi d'une puissance de 2, mais l'UNIVAC, ordinateur utilisé principalement pour des calculs scientifiques au cours des années 80 fonctionnait avec des mots de 36 bits.

3.2. Arithmétique avec des mots de longueur finie

Soit un mot machine de 4 bits :

Effectuons l'opération : $7_d + 7_d$

0	1	1	1
+			
=	1	1	1

Le report a pu être effectué.

Effectuons l'opération $7_d + 15_d$

0	1	1	1
+			
=	0	1	1

Le report est perdu, le résultat 6_d est faux, la capacité a été dépassée

Certains compilateurs avertissent l'utilisateur en cas de dépassement ou « overflow » mais ce n'est pas toujours le cas, en général il s'agit d'une option qu'il faut activer.

Note : le Borland C++ utilisé au laboratoire ne prévient pas l'étudiant des dépassements.

3.3. Notion de complémentation

La représentation interne des nombres négatifs fait appel à la notion de complémentation. Le complément d'un nombre est formé par les chiffres qu'il faut ajouter aux chiffres qui forment le nombre pour atteindre la base du système pour chaque puissance de celle-ci.

En système décimal, le complément de 8 est 2, en système hexadécimal, le complément de 14 est 2.

Ce complément d'un nombre est appelé "**complément à 1 d'un nombre**". En système binaire, le complément de 1 est 0 et celui de 0 est 1. C'est-à-dire que pour obtenir le complément restreint d'un nombre en représentation binaire, il suffit d'inverser tous les chiffres du nombre.

On appelle "**complément à 2 d'un nombre si le système est binaire**", le nombre obtenu en ajoutant la valeur 1 au nombre formé par le complément à 1

Soit la valeur 4 dans une machine 4 bits 0100_b , elle a

- pour complément à 1 : 1011_b , et
- pour complément à 2 : 1100_b .

3.4. Représentation interne des valeurs négatives en système binaire

L'idée de base est d'utiliser le « bit de plus fort poids », c'est-à-dire la plus haute puissance de la base en fonction de la longueur du mot machine pour coder le signe, 0 pour les nombres positifs et 1 pour les négatifs.

Ainsi dans une machine à 4 bits,

- $+2_d$ serait représenté par 0010_b
- -2_d serait représenté par 1010_b

On constatera que l'addition de 2 et de -2 ne donne pas 0 mais 4 ! (Si on oublie le bit de plus fort poids affecté au signe)

	0	0	1	0
+	1	0	1	0
=	1	1	0	0

Remarque : Il est évident que les valeurs représentables pour une longueur de mot machine donnée sont diminuées d'un facteur 2.

Autre idée, au lieu d'utiliser 1 bit pour le signe pour représenter un nombre négatif, prendre le complément à 1 du nombre positif dans lequel le bit de plus fort poids est toujours à 1. On ne peut représenter que la moitié des nombres par rapport à une représentation non signée.

$+2_d$ serait représenté par 0010_b

-2_d serait représenté par 1101_b

L'addition de 2 et de -2 ne donne pas encore 0, mais 7

0	0	1	0
+			
=	1	1	1

Par contre si on utilise le complément à 2 pour représenter les valeurs négatives :

$+2_d$ serait représenté par 0010_b

-2_d est représenté par 1011_b

L'addition de 2 et de -2 donne bien 0. (En se rappelant que le nombre de bits est fixé et que donc le dernier report n'est pas effectué.)

0	0	1	0
+			
=	0	0	0

C'est comme cela que les ordinateurs fonctionnent lorsqu'ils traitent des nombres entiers négatifs.

3.5. Valeurs représentables en mode binaire suivant les longueurs des mots mémoires

Soit un mot de 3 bits Binaire	Valeurs représentables en arithmétique non signée	Valeurs représentables en arithmétique signée
000	0	$+0_d$
001	1	$+1_d$
010	2	$+2_d$
011	3	$+3_d$
100	4	-4_d

101	5	-3d
110	6	-2d
111	7	-1d

On constate que les valeurs entières représentables vont de -2^2 à $+(2^2-1)$,

Généralisation:

Si n est le nombre de bits du mot machine on peut représenter les valeurs entières comprises entre:

$$-2^{n-1} \text{ et } 2^{n-1}-1$$

Ce qui pour les machines courantes offre les possibilités suivantes:

Mot-machine	Valeurs
8 bits	-128 à 127
16 bits	-32768 à 32767
32 bits	-2147483648 à 2147483647

3.6. Soustraction binaire

La soustraction s'effectue en ajoutant au premier opérande le "complément à 2" du second et en évitant le dernier report. Exemple, 7-4

Effectuons l'opération $7_d - 4_d$

$$\begin{array}{r}
 111_b \quad 7_d \\
 +1100_b \quad -4_d \\
 \hline
 (1)0011_b
 \end{array}$$

On oublie le dernier report ou encore

$11_b \quad 3_d$ si on n'écrivit pas les zéros non significatifs

4. Représentations octales et hexadécimales des nombres binaires

Il n'est pas commode pour l'homme de manipuler des nombres binaires qui sont trop longs.

Une valeur binaire devient rapidement très longue à écrire.

En système décimal, lorsqu'un nombre est trop long, on regroupe les chiffres trois par trois et on les sépare par des points.

4.1. Système hexadécimal

En système binaire, on regroupe plutôt les chiffres par blocs de 4, appelés quadruplet (nybble en anglais). Un nombre binaire de quatre chiffres pouvant prendre les valeurs de 0 à 15, on l'appelle chiffre hexadécimal (en base 16). Comme nous ne disposons que de 10 symboles numériques, les valeurs dix à quinze sont symbolisées par les lettres A à F.

Les nombres hexadécimaux présentent un double avantage :

- ils sont courts à écrire ;
- ils permettent un passage immédiat à la représentation binaire, et réciproquement.

$$(9516)_{10} = (252C)_{16} = (\begin{array}{cccc} 0010 & 0101 & 0010 & 1100 \\ 2 & 5 & 2 & C \end{array})_2$$

Les instructions exécutables par le processeur sont aussi mémorisées sous forme d'une suite de bits. En général, on les représente sur papier sous forme hexadécimale. La plupart d'entre elles s'écrivent à l'aide de deux chiffres hexadécimaux, c'est-à-dire de 8 bits. Un bloc de 8 bits s'appelle un octet (un byte en anglais)

4.2. Système octal

La numération octale peut être construite à partir de la numération binaire en groupant les chiffres consécutifs en triplets (à partir de la droite). Par exemple, la représentation binaire du nombre décimal 74 est 1001010, que l'on groupe en 1 001 010 ; ainsi, la représentation octale est 1 pour 1, 1 pour le groupe 001, et 2 pour le groupe 010, ce qui nous donne 112.

Autrefois, le système octal fut souvent utilisé en calcul à la place de l'hexadécimal. Ceci s'explique par le fait qu'il ne requiert pas de symbole supplémentaire pour ses chiffres. À part ce dernier inconvénient, l'hexadécimal possède le grand avantage de représenter par chaque chiffre exactement la moitié d'un octet. C'est pour cette raison qu'en informatique moderne, l'octal n'est plus guère utilisé.

Représentation binaire	Représentation octale	Représentation hexadécimale
0	0	0
1	1	1
10	2	2
11	3	3
100	4	4
101	5	5
110	6	6
111	7	7
1000	10	8
1001	11	9
1010	12	A
1011	13	B
1100	14	C
1101	15	D
1110	16	E
1111	17	F

5. Codification des caractères

Nous avons vu la représentation des valeurs en machine par le système binaire pour effectuer des opérations arithmétiques. Cependant la transmission d'informations, par exemple d'un clavier vers une unité centrale, utilise d'autres représentations. Il s'agit de coder des chiffres, des lettres et d'autres signes. On verra ensuite que cette codification peut aussi être utilisée pour effectuer des opérations arithmétiques. Ces systèmes de représentation ont évolué avec les possibilités matérielles des mémoires vives et des mémoires de masse.

5.1. DCB 4 Bits (DCB = Décimal codé binaire)

Pour coder les 10 chiffres décimaux en système binaire, il faut au moins 4 bits.

On peut coder un nombre comme une suite de blocs de 4 bits correspondant à chaque chiffre du nombre. Par exemple le nombre 29 formé de 2 chiffres décimaux sera représenté par 2 suites de 4 bits : 0010 1001

5.1.1. DCB pondéré 8,4,2,1

Cette représentation binaire des chiffres porte aussi le nom de représentation pondérée 8, 4, 2,1 parce que ces 4 chiffres ont un poids qui correspond à leur position.

Exemple : 50

DCB 8, 4, 2,1 0101 0000

5.2. DCB 6 bits

Pour représenter en plus les caractères alphabétiques, on a développé le DCB 6 bits qui permet de coder 64 signes. Les 2 bits complémentaires placés à gauche sont appelés bits de zone, les autres étant qualifiés de bits numériques. Pour les chiffres, les bits de zone sont nuls, pour les lettres et autres signes, ils ne le sont pas. On remarquera que le DCB 6 bits est bien représenté par 2 chiffres octaux.

5.3. DCB 8 bits

Les éléments physiques constitutants les mémoires se sont standardisés sur 8 bits, d'où l'évolution vers le DCB 8 bits avec 4 bits de zone au lieu de 2, il permet de coder davantage de signes, y compris certains symboles permettant d'effectuer des dessins par juxtaposition de caractères spéciaux.

Deux standards d'encodage de signes ont été développés sur base du DCB 8, l'EBCDIC (*Extended Binary Coded Decimal Interchange Code*) principalement répandu sur les gros ordinateurs, (main frames) et l'ASCII généralisé sur les micro-ordinateurs (Personal computers), mais aussi utilisé sur les main frames. Il est toujours possible de convertir des données écrites dans un standard vers un autre. Pour les chiffres, la partie numérique des 2 standards est heureusement la même

5.4. ASCII (American Standard Code for Information Interchange)

				b7	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	
				b6	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	
				b5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	
B	I	T	S	b4	b3	b2	b1	Colonne	Ligne	0	1	2	3	4	
0	0	0	0	0	0	0	0	NUL	DLE	SP	0	@	P	'	p
0	0	0	1	1	1	1	1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0	0	1	0	2	2	2	2	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0	0	1	1	3	3	3	3	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0	1	0	0	4	4	4	4	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0	1	0	1	5	5	5	5	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0	1	1	0	6	6	6	6	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0	1	1	1	7	7	7	7	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1	0	0	0	8	BS	CAN	(8	H	X	h	x	
1	0	0	1	9	HT	EM)			9	I	Y	i	y	
1	0	1	0	10	LF	SUB	*			:	J	Z	j	z	
1	0	1	1	11	VT	ESC	+			:	K	[k	l	
1	1	0	0	12	FF	FS	.		<	L	\	l	l	l	
1	1	0	1	13	CR	GS	-		=	M	J	m	}	}	
1	1	1	0	14	SO	RS	.		>	N	A	n	~		
1	1	1	1	15	SI	US	/		?	O	—	o	—	DEL	

C'est en fait un code à 7 bits, le 8^{ème} pouvant être utilisé pour le contrôle de parité (Voir plus loin).

- Le code se représente au mieux sous forme d'une table à 2 dimensions. En ordonnée, on envisage les possibilités des 4 bits numériques, en abscisse, celles des 3 bits de zone avec les particularités suivantes :
 - La zone des chiffres décimaux est 011.
 - 011 0011 représente 3_d
 - Toutes les lettres majuscules ont le bit de zone 3 à 1
 - Toutes les lettres minuscules ont les bits de zone 2 et 3 à 1, et on constatera encore la simplicité pour changer de case.
 - Si les bits de zone 2 et 3 sont nuls, il s'agit toujours d'un caractère de contrôle
 - 000 1010 (0Ah) = LF
 - 001 1011 (3Bh) = ESC (escape) échappement parfois utilisé pour quitter une application en cours d'exécution.

Signification des caractères de contrôle

Nul	Nul		
SOH	Début d'en-tête	DC1	Contrôle dispositif 1
STX	Début de texte	DC2	Contrôle dispositif 2
ETX	Fin de texte	DC3	Contrôle dispositif 3
EOT	Fin de transmission	DC4	Contrôle dispositif 4
ENQ	Interrogation	NAF	Acquittement négatif
ACK	Acquittement	SYN	Synchronisation au repos
BEL	Sonnerie ou Alarme	ETB	Bloc de fin de transmission
BS	Espacement arrière	CAN	Annuler
HT	Tabulation horizontale	EM	Fin de support
LF	Changement de ligne	SUB	Remplacer
VT	Tabulation verticale	ESC	Echappement
FF	Alimentation papier	FS	Séparateur de fichiers
CR	Retour de chariot	GS	Séparateur de groupes
SO	Changement de type de caractères	RS	Séparateur d'enregistrements
SI	Changement de type de caractères	US	Séparateur d'unités
DLE	Echappement de liaison de données	SP	Espace
		DEL	Effacement

Exercice : écrire en ASCII (sur 8 bits, le bit de plus fort poids étant à 0)

- l'équation : $Y = 2 \times X + 3$
- la phrase : J'étudie à l'Isims, et la transformer ensuite en majuscules.

5.4.1. Introduction du contrôle de parité en ASCII

La transmission de données s'effectue par des signaux électriques et, en général le franchissement d'un seuil de potentiel (-0,5 volt par exemple réalise la transition 0 à 1 ou inversement). On conçoit que des erreurs de transmission peuvent se produire suite par exemple à une différence de potentiel induite le long d'un conducteur. Les démarriages de cages d'ascenseurs ou de pompes créent souvent des perturbations informatiques dans les centres de recherche, et les scientifiques s'affranchissent du problème en coupant les mesures expérimentales pendant le démarrage des ascenseurs afin de ne pas enregistrer de données fausses.

L'ASCII peut utiliser le 8^{ème} bit laissé disponible par cette codification comme autocontrôle de l'exactitude des données transmises.

Il existe un contrôle de parité pair et un contrôle de parité impair.

- Contrôle de parité pair : la somme des bits à 1 dans le codage d'un signe doit être un nombre pair, donc si la somme des 7 bits de droite est impaire, il faut mettre le bit de gauche à 1.
- Contrôle de parité impair : la somme des bits à 1 dans le codage d'un signe est un nombre impair donc si la somme des 7 bits de droite est paire, il faut mettre le bit de gauche à 1.

5.4.2. Exemples de contrôle de parité :

Signe	ASCII sans contrôle de parité	Contrôle de parité pair	Contrôle de parité impair
A	100 0001 (41 _h)	0100 0001 (41 _h)	1100 0001 (C1 _h)
B	100 0010 (42 _h)	0100 0010 (42 _h)	1100 0010 (C2 _h)
C	100 0011 (43 _h)	1100 0011 (C3 _h)	0100 0011 (43 _h)
\	010 0111 (27 _h)	0010 0111 (27 _h)	1010 0111 (A7 _h)

6. Les fonctions logiques

Les fonctions combinatoires les plus simples sont appelées fonctions logiques. Ces fonctions logiques sont effectuées à l'aide de portes logiques. Elles sont la base de la logique mathématique qui effectue les opérations à l'intérieur du processeur.

Enfin l'association de portes logiques permet de traiter une instruction du microprocesseur (opérations simples par exemple). De nouvelles combinaisons sont à l'origine du traitement de nouvelles instructions, comme celles du *Core 2 Duo*. C'est donc la base de tous les calculs internes du processeur. Nous allons décrire le fonctionnement des portes logiques les plus simples.

6.1. Fonction NOT (NON)



La porte *non* a une entrée a et une sortie s.

L'état de s est opposé à celui de a

Table de vérité

A	S
0	1
1	0

6.2. Fonction AND (ET)



La porte *et* a deux entrées a et b et une sortie s.

La sortie est positive si a et b sont tous deux positifs.

Table de vérité

B	A	S
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

6.3. Fonction OR (OU)



La porte *ou* a deux entrées a et b.

La sortie est positive si a **ou** b sont passants, ou a **et** b sont passants.

Table de vérité

B	A	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

6.4. Fonction NOR (NON OU)



La porte *non ou* est l'opposé de la porte *ou*

Table de vérité

B	A	S
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

6.5. Fonction NAND (NON ET)



La porte *non et* est l'opposé de la porte *et*.

Table de vérité

B	A	S
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

6.6. Fonction XOR (OU Exclusif)



La porte *ou exclusif* a deux entrées a et b et une sortie s. La sortie est positive si a ou b est passant mais pas les deux en même temps.

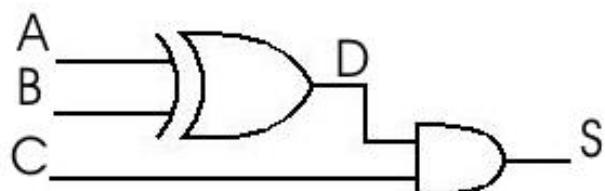
Table de vérité

B	A	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

6.7. Association des fonctions logiques

Dans la pratique il est fréquent d'avoir à analyser le comportement d'un groupement de fonctions logiques associées les unes aux autres.

Exemple : $((A \neq B) \&\& C)$



Nous avons ici un circuit composé de deux fonctions. La sortie de la fonction XOR est reliée à une des deux entrées de la fonction AND. Pour analyser le comportement de ce circuit il suffit de définir sa table de vérité.

Pour retranscrire ce circuit sous forme de table de vérité il faut commencer par écrire toutes les combinaisons possibles que les entrées peuvent avoir. Nous avons ici 3 entrée (A, B et C), ce qui nous fais 2^3 possibilités.

A	B	C
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	0
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	1

Le but de cette table est de connaître l'état de la sortie (S) en fonction des états des entrées. Pour pouvoir déduire l'état de la sortie il faut d'abord connaître les états des étapes intermédiaires. Dans notre cas, cette étape intermédiaire se dénomme D.

A	B	C	D
0	0	0	0
1	0	0	1
0	1	0	1
1	1	0	0
0	0	1	0
1	0	1	1
0	1	1	1
1	1	1	0

Vous remarquerez qu'en toute logique, pour notre circuit, C n'influence en rien l'état de D.

Maintenant nous avons tous les éléments à notre disposition pour inscrire la colonne S qui n'est autre qu'un ET logique entre la colonne C et D.

A	B	C	D	S
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
0	1	0	1	0
1	1	0	0	0
0	0	1	0	0
1	0	1	1	1
0	1	1	1	1
1	1	1	0	0

Architecture des systèmes Théorie

Bachelier en Informatique et Systèmes
orientation Réseaux et Télécommunications

Bloc 1

Cours écrit par Mr Cremer

Chapitre 1

INTRODUCTION

Rappel : unités

- Informatique : système binaire
- Unité : bit (0 ou 1)
- 1 octet : 8 bits
- 1 Byte : 1 octet, 8 bits



Multiples de l'octet : préfixes SI		
	Symbol	Valeur
kilooctet	ko	10^3
mégaoctet	Mo	10^6
gigaoctet	Go	10^9
téraoctet	To	10^{12}
pétaoctet	Po	10^{15}
exaoctet	Eo	10^{18}
zettaoctet	Zo	10^{21}
yottaoctet	Yo	10^{24}



Multiples de l'octet : préfixes binaires		
	Symbol	Valeur
kibioctet	Kio	2^{10}
mébiolet	Mio	2^{20}
gibiolet	Gio	2^{30}
tébiolet	Tio	2^{40}
pébiolet	Pio	2^{50}
exbiolet	Eio	2^{60}
zébiolet	Zio	2^{70}
yobiolet	Yio	2^{80}

Rappel : débit

Bande Passante ou Bandwidth

débit binaire maximal

Unités :

bps, b/s ou bit/s

bit par seconde

Bps, B/s, Byte/s ou octet/s

Byte ou Octet par seconde

Pour augmenter le débit :

augmentation des fréquences

augmentation du nombre de canaux

Rappel : latence

Un délai dans les communications informatiques

Le temps nécessaire à un paquet de données pour passer de la source à la destination à travers une connexion

Durée en ms, µs ou ns

parfois l'anglicisme **lag** ou **ping**

Bridé par :

la vitesse de propagation des électrons (273.000 km/s)

la vitesse de propagation des photons dans une fibre optique

Débit vs Latence

Distance A – B : 1km

Vitesse des voitures : 60 km/h



Débit : 4 voitures/minute

Latence : 1 minute (à 60 km/h la voiture rouge mettra toujours 1 minute pour aller de A à B)

Débit vs Latence Augmentation de la fréquence

Distance A – B : 1km
Vitesse des voitures : 60 km/h



augmentation de la fréquence

Débit : 8 voitures/minute

Latence : 1 minute

Poussons là fréquence à donf !!!

Débit vs Latence

Distance A – B : 1km
Vitesse des voitures : 60 km/h



Impossible d'augmenter continument la fréquence

Débit vs Latence Multiplier les canaux

Distance A – B : 1km
Vitesse des voitures : 60 km/h



augmentation du nombre de canaux

Débit : 16 voitures/minute

Latence : 1 minute

Problème :  et problème de synchronisation

Synchronisation des canaux

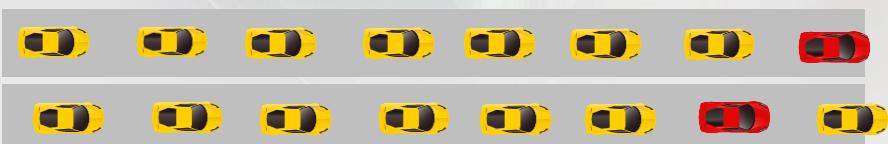


Si les voitures rouge doivent arriver en même temps

Si la vitesse des deux bandes diffère légèrement

Sur un long trajet

Désynchronisation des données



Et la latence alors ?

Distance A – B : 1km
Vitesse des voitures : 60 km/h



La route est limitée à 60 km/h -> la latence sera toujours de 1 minute
indépendamment du débit



Le seul moyen d'améliorer la latence,
c'est de rapprocher A et B

En informatique, la latence est donc bridée par la
vitesse de propagation des électrons/photon

Améliorer la latence

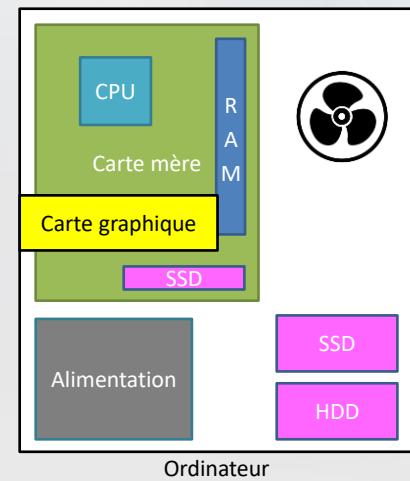
Pourtant, chez moi
j'ai changé mon
modèle de Box et j'ai
du coup un meilleur
ping !

Les box, switches, routeurs, VPN...
doivent effectuer un traitement
pour qu'une donnée passe. Ce
traitement vient donc augmenter
sensiblement la latence.

C'est pour ça que le passage d'un
routeur poussif à un routeur plus
rapide peut améliorer le ping

Cependant, même si ces traitements étaient
instantanés, il reste les problématiques de la
vitesse de propagation et des distances

Suite du cours



Écrans

Ces notions seront abordées de manière technique et seront valables que ce soit pour du PC, un portable, une TV, un serveur ou encore un smartphone



Chapitre 2

LE PROCESSEUR CENTRAL (CPU)

CPquoi ?

CPU = Central Processing Unit



Ne sert qu'à :

- faire des calculs
- orchestrer des déplacements de données

Composition

Circuit intégré composé de :

Transistors

Pour faire les calculs

Mémoires

Pour fournir les données aux transistors et stocker le résultat

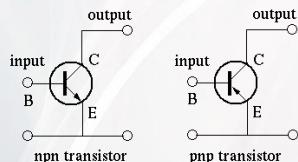
Bus de données

Pour entrer et sortir les données du CPU

Transistor

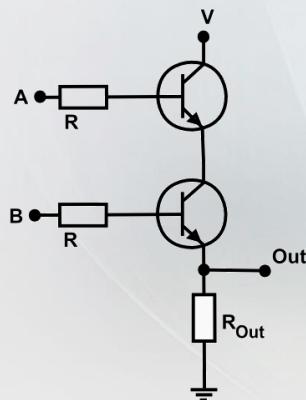
Semiconducteur souvent utilisé comme :

- amplificateur (ex. radio)
- **interrupteur à commande électrique**



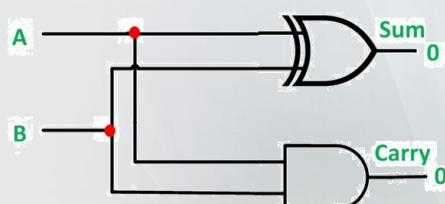
Une porte logique <- des transistors

Transistor AND Gate



Input A	Input B	Output
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Un circuit <- des portes logiques



A	B	Carry	Sum
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

Unité de contrôle

Séquenceur

synchronise les différents éléments du CPU

prennent énormément de place

L'amélioration de ces unités est
une voie d'optimisation importante.

Unité de
Contrôle

Cœur CPU

ALU (Arithmetic Logical Unit)

fonctions basiques de calcul arithmétique et
opérations logiques (ET, OU, OU exclusif, ...)

sur les nombres entiers

Unité de
Contrôle

ALU

Cœur CPU

Registres

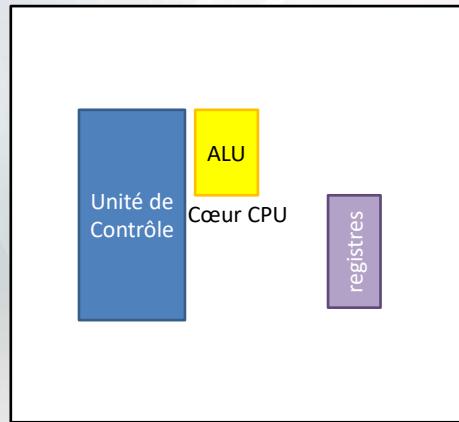
Emplacement mémoire interne
quand le CPU exécute des instructions

Les données y sont temporaires

Mémoire la plus rapide

Cout de fabrication élevé

Faible capacité (moins d'1ko)

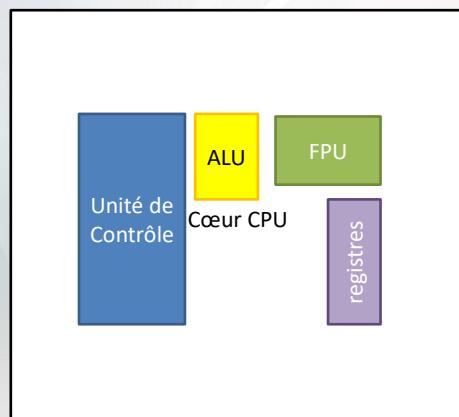


FPU (Floating Point Unit)

Unité de calcul flottant effectue
les calculs avec des nombres réels

En charge des opérations complexes
(trigono, racines, etc.)

Unité fort sollicitée pour le multimédia



Unité vectorielle

Pour les jeux d'instructions complémentaires
MMX, 3DNow!, SSE, AVX, etc.

Permettent souvent de traiter plusieurs données en même temps mais en exécutant la même opération



Mémoire cache L1

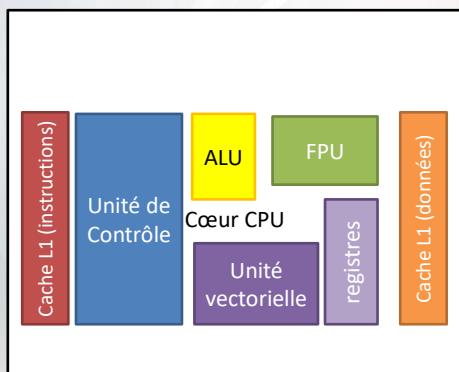
Stocke les prochaines instructions à exécuter

Mémoire très rapide mais plus lente que registres

L1 : est généralement scindé en 2 :

- les prochaines instructions
- les données à utiliser

Exemple de taille : 2x32 Ko



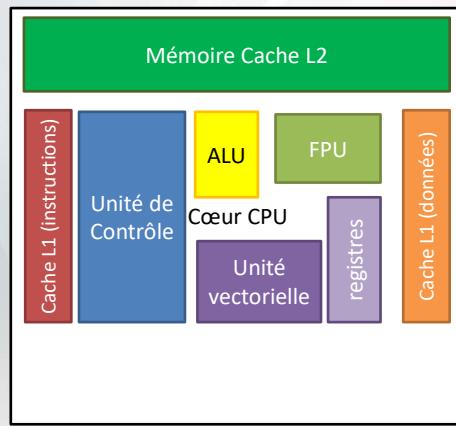
Mémoire cache L2

Même principe que la mémoire L1

Les instructions ne sont pas séparées des données

Plus grande quantité
256ko à 1024ko par cœur

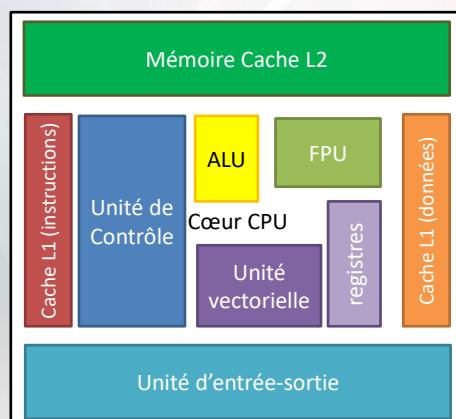
Plus lente que la L1



Entrées-sorties

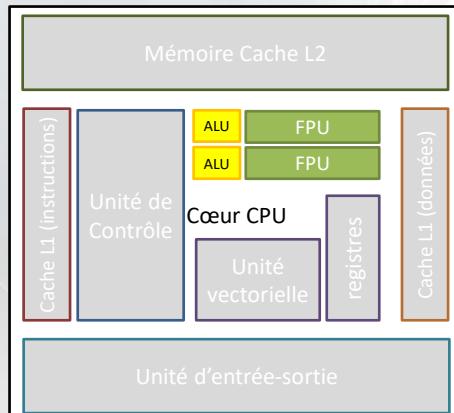
Gère les communications avec l'extérieur du CPU (RAM, carte graphique, etc.)

Unité est de plus en plus grande car les CPU ont de plus en plus d'entrées et de sorties



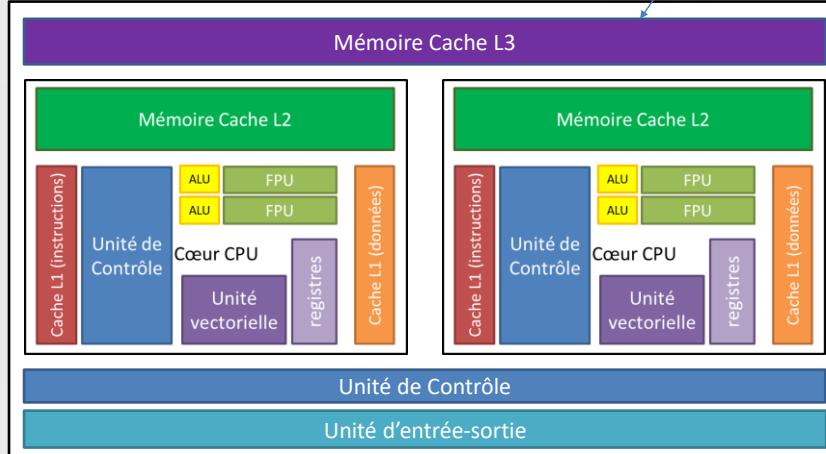
Processeurs modernes

Plusieurs unités dédiées aux calculs

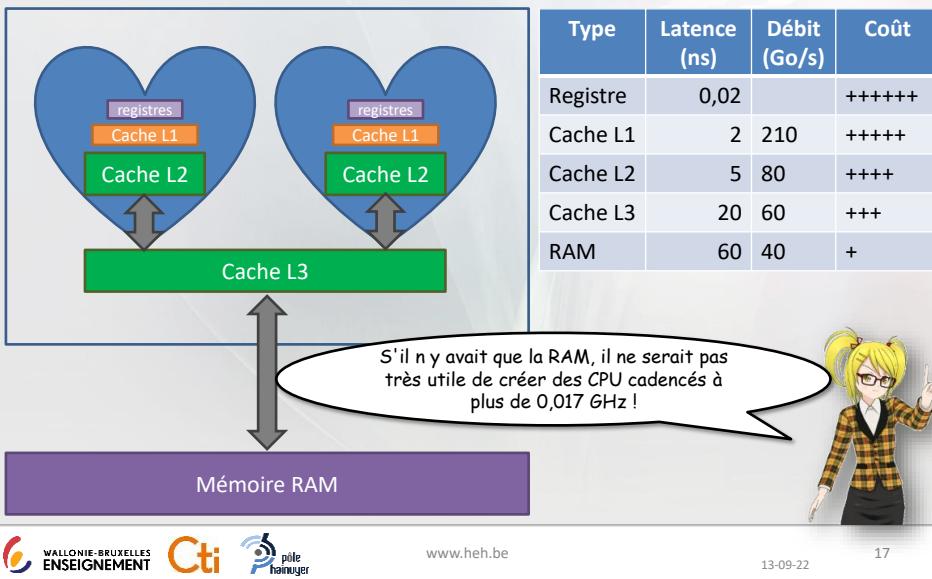


Exemple de processeur avec 2 cœurs

Plusieurs Mo de cache L3

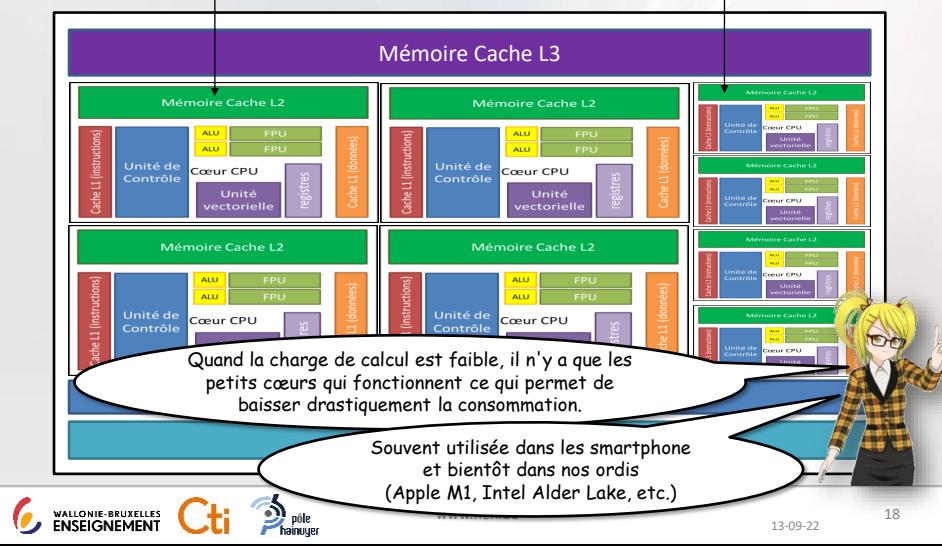


Hiérarchie mémoire



Architecture Big.LITTLE

Mélanger des gros coeurs (performants) avec des petits coeurs (à basse consommation)



Fabrication d'un processeur



Sable (composé à 25 % de silicium)
-> Purification du silicium

-> EGS (Electronic Grade Silicon) : max 10^{-7} % d'impureté

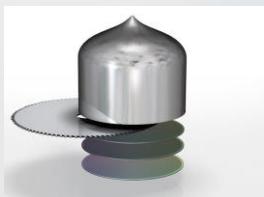
-> Liquéfaction (1700 °C)

-> Crédit d'un cristal (lingot)

100 kg



Fabrication d'un processeur



Découpe en rondelles
(wafers de +/- 30cm de diamètre)

Exposition au rayonnement UV

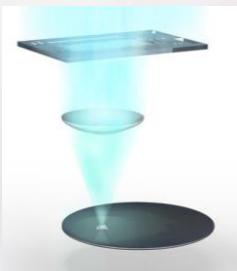
Les zones exposées deviennent solubles



Polissage du wafer (effet miroir)

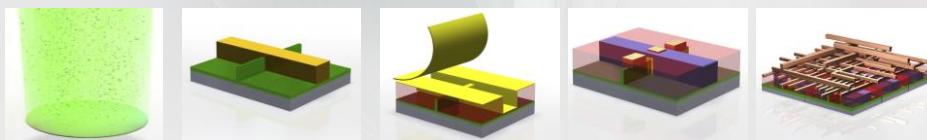
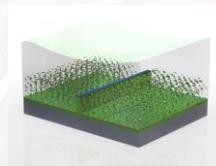


Traitement photorésistant
Utilisé pour la photolithographie

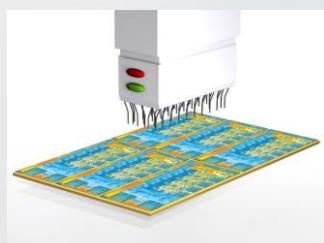


Fabrication d'un processeur

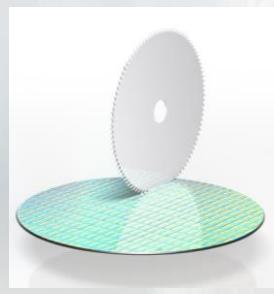
- Tremper l'ensemble dans un bain révélateur qui enlève tout ce qui n'a pas été exposé à la lumière.
- Opérer des dépôts (métaux, semi-conducteurs), des phases d'oxydation et des gravures pour "construire" les composants électroniques. Plusieurs phases de photolithographie sont nécessaires



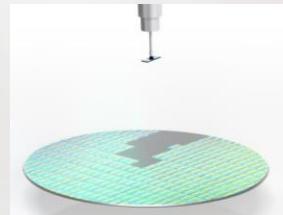
Fabrication d'un processeur



Test des "dies" (ou dice ?)

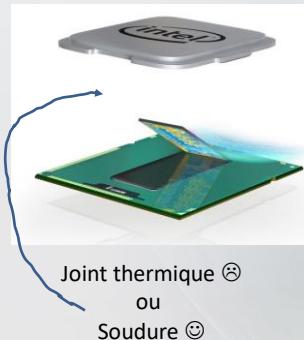


Découpage du wafer



Fabrication d'un processeur

Encapsulation



Phase de test



Répartition des CPU

Core i5 10400F Core i5 10600K

Finesse de gravure

précision avec laquelle les transistors sont gravés dans le silicium

Plus la finesse est élevée (**valeur petite**) plus les transistors sont petits.

Plus ils sont petits :

- > **moins ils consomment**
- > moins ils chauffent
- > permet d'augmenter la fréquence
- > **moins ils prennent de place**
- > réduction des coûts (on en place sur une même surface)
- > augmente le nombre de fonctionnalités
- > plus ils chauffent
- > nécessaire de diminuer la fréquence

Le format du processeur (le socket)

Chaque constructeur a ses propres formats

constructeur	laptop	desktop	server
	Socket 1090 Socket 1356 Socket 1440	Socket 1151 Socket 1200 Socket 2066	Socket 2066 Socket 3647
	Socket FP5 Socket FP6	Socket TRx4 Socket AM4	Socket SP3

Un processeur au format Socket XYZ requiert
une carte mère équipée d'un Socket XYZ

Attention, ce seul critère n'est pas suffisant que pour
garantir une compatibilité entre CPU et carte mère

Généralement, Intel change le format de ses processeurs
tous les 2 générations, AMD environ toute les 4 générations



Historique

	année	cœurs	bits	finesse (nm)	transistors	fréquence
Intel 4004	1971	1	4	10.000	$2 \cdot 10^3$	740 kHz
Intel 8086	1978	1	16	3.000	$29 \cdot 10^3$	≤ 10 MHz
Intel 80386	1985	1	32	1.000	$275 \cdot 10^3$	≤ 40 MHz
Intel Pentium (1)	1993	1	32	≥ 250	$\sim 4 \cdot 10^6$	≤ 200 MHz
Intel Pentium D	2005	2	64*	≥ 65	$\sim 300 \cdot 10^6$	≤ 3.7 GHz
Intel Core 2 Quad	2007	4	64*	≥ 45	$\sim 450 \cdot 10^6$	≤ 3.2 GHz

De nos jours (2020) :

Intel Core i9 10900K	10	64*	≥ 14	$\sim 4 \cdot 10^9$	≤ 5.3 GHz
AMD Epyc 7742	64	64*	≥ 7	$\sim 40 \cdot 10^9$	≤ 3.4 GHz
Apple A13 Bionic	2 + 4 + ...	64*	≥ 7	$\sim 8 \cdot 10^9$	≤ 2.6 GHz

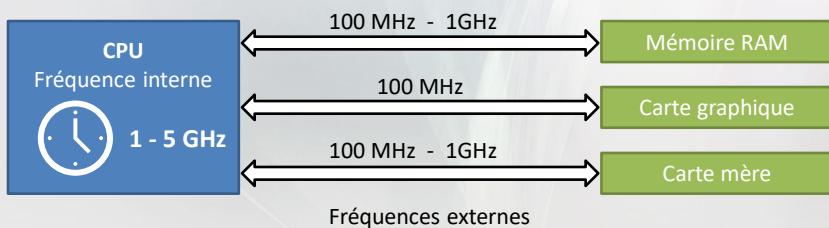
*les unités vectorielles peuvent travailler sur des données >64 bits

Les fréquences

Circuit électronique cadencé au rythme d'une horloge interne

Fréquence d'horloge (Hz)

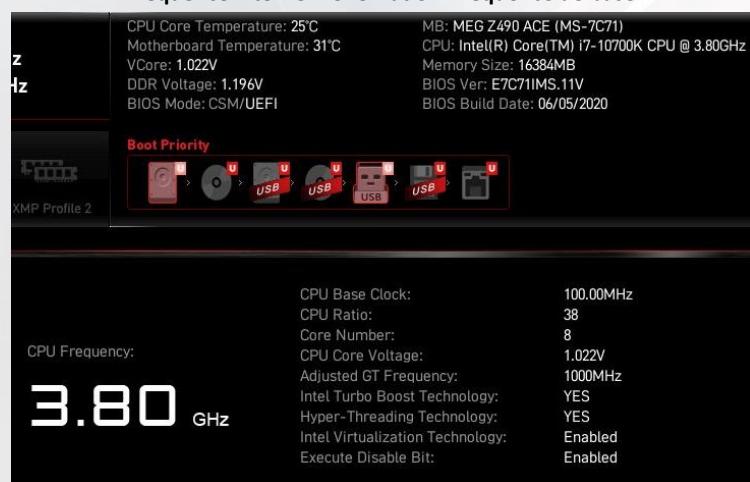
A chaque top d'horloge différents circuits du processeur exécutent une action



CPU pour PC -> Fréquence de base = 100 MHz

Réglage de la fréquence interne

Fréquence interne = CPU Ratio x Fréquence de base



Overclocking

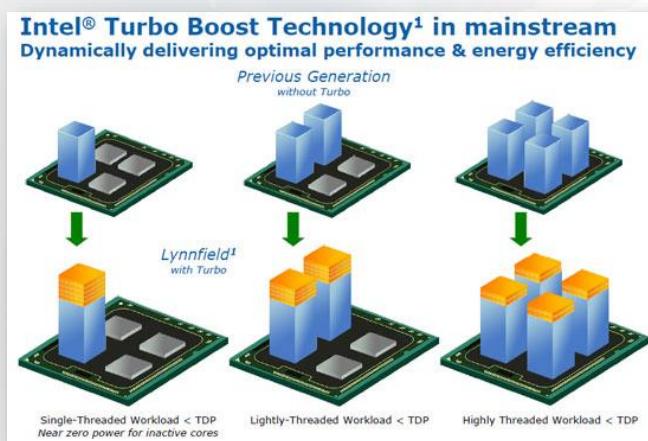
Modifier le coefficient multiplicateur et/ou la fréquence d'horloge de base pour augmenter la fréquence de fonctionnement (et donc les performances)

CPU Frequency:	3.80 GHz	CPU Base Clock:	100.00MHz 102 MHz
		CPU Ratio:	38 — 50
		Core Number:	8
		CPU Core Voltage:	1.022V — 1.4V
		Adjusted GT Frequency:	1000MHz
		Intel Turbo Boost Technology:	YES
		Hyper-Threading Technology:	YES
		Intel Virtualization Technology:	Enabled
		Execute Disable Bit:	Enabled

Problèmes :

- Chauffe plus
- Marge de manœuvre de quelques % pour la fréquence de base
- Coefficients verrouillés sur de nombreux modèles de CPU
- Peut être nécessaire d'augmenter la tension -> chauffe encore plus

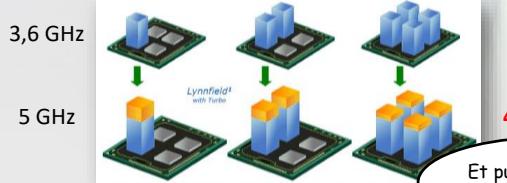
« CPU ratio » variable



Overclocking automatique

« CPU ratio » variable (exemple)

Désignation	Intel Core i9-9900K (3.6 GHz / 5.0 GHz)
Marque	Intel
Modèle	BX80684I99900K
Modèle de processeur	Intel Core i9
Support du processeur	Intel L151
Fréquence CPU	3.6 GHz
Fréquence en mode Turbo	5 GHz
Fréquence du bus	DMI 8.0 GT/s
Nombre de cœur	8



Du coup, on peut se demander à quoi sert de mentionner la fréquence de 3,6 étant donné que le mode Turbo est le mode de fonctionnement par défaut...

Et puis... vous serez rarement à 5 GHz...



Dans la pratique

2019 MacBook Pro 15
Intel i9 8-core 2.3-4.8GHz

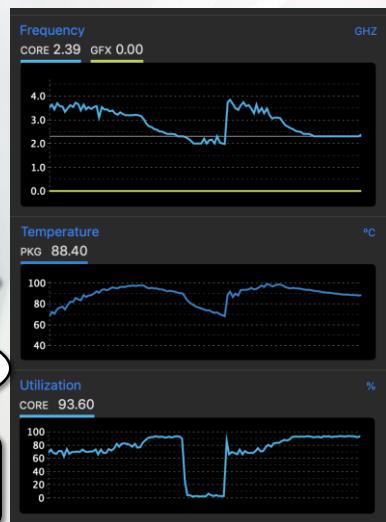


<https://barefeats.com/rmbp-2019-8c-throttling.html>

On est loin des 4.8 annoncés !

C'est normal... c'est un portable et il est difficile de refroidir correctement le CPU

Avec un PC fixe et un système de refroidissement « adapté » vous savez maintenir les fréquences max... même en pleine canicule.



Dans la pratique (pire cas)

2018 MacBook Pro 13
Intel i9 6-core 2.9-4.8GHz

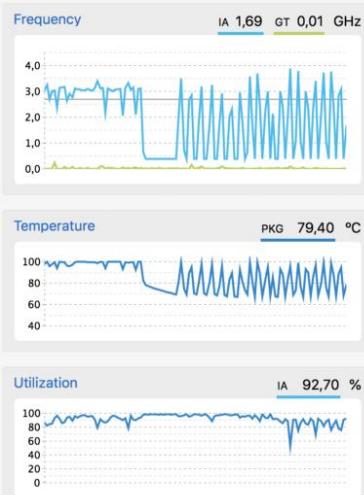


<https://medium.com/@10fingers/new-macbook-pro-13-inch-2018-model-also-affected-by-thermal-throttling-issue-4bf8bfbdade>



Alors content d'avoir un ordinateur à 3000 € plus lent qu'un PC 10 ans plus vieux ?

Ce phénomène s'appelle le thermal throttling



TDP

L'enveloppe thermique, ou TDP (Thermal Design Power)

Transfert thermique vers l'extérieur dont doit pouvoir bénéficier ce composant pour fonctionner correctement.

$$TDP = k V^2 f$$

k = constante (fonction du processeur)

V = tension électrique

f = fréquence

TDP watts (W)

Il est donc nécessaire d'aposer un dispositif de refroidissement adapté au TDP du CPU

50 à 200 W pour un processeur desktop (>300W pour des modèles extrêmes)

20 à 60 W pour un processeur laptop (>100 W pour des modèles extrêmes)

Quelques W pour un smartphone

Conductivité thermique

Matériaux	Conductivité (W/mK)
Aluminium	247
Cuivre	398
Magnésium	170
Or	315
Argent	428
Diamant	2500
Silicone	141
Air	0.026
Eau	0.61
Pâte thermique	0.7 à 18
Pad thermique	0.7 à 4

Pour des raisons évidentes de coûts, c'est l'aluminium qui est le plus utilisé

Pour les systèmes de refroidissement à haut TDP, le cuivre est préféré à l'aluminium

Refroidissement passif

Simple dissipateur thermique (radiateur) pour CPU à faible TDP

Absorbe la chaleur du CPU par conduction et augmente la surface d'échange avec l'air



Ensuite, il n'y a plus qu'à prier
pour qu'il y ait suffisamment
de circulation d'air...

Refroidissement actif

Utilisé dans 99% des cas

Dissipateur thermique + ventilateur



ventirad

Le ventilateur peut être bruyant

Généralement, pour un débit d'air identique

-> plus un ventilateur est grand

-> moins il doit tourner vite

-> moins il est bruyant

il n'y a pas toujours suffisamment de place à proximité du CPU
(également un problème avec le refroidissement passif)

Refroidissement actif stock vs « luxe »



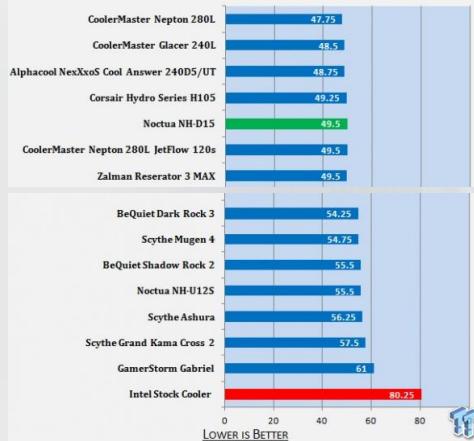
Intel stock cooler



Noctua NH-D15

Refroidissement actif stock vs « luxe »

Intel i7 4-core 3.5-3.9 GHz



Vous imaginez
le throttling si vous avez
un ventirad basique
pour un processeur
à 8 cœurs >4GHz ?



<https://www.tweaktown.com/reviews/6313/noctua-nh-d15-cpu-cooler-review/index.html>

39

Les caloducs

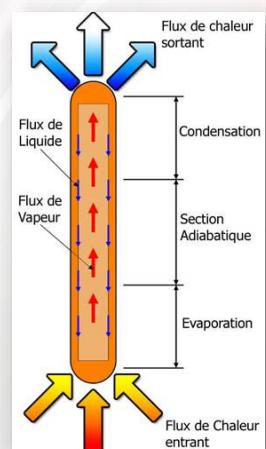
Heat Pipe

pas excessivement chers
ils se sont peu à peu intégrés aux ventirads.

Utilisé pour déplacer rapidement la chaleur du CPU vers son dissipateur

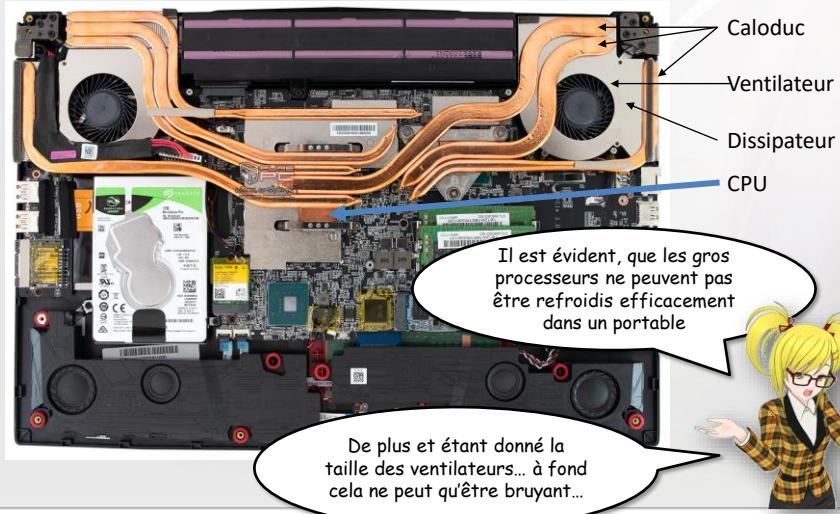
permet de concevoir des dissipateurs thermiques de taille plus conséquente et mieux situé dans le boîtier.

Très utilisé pour les laptops



40

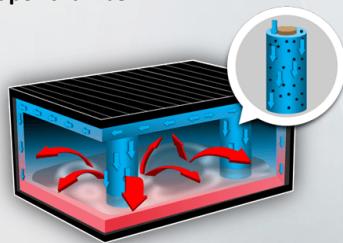
Les caloducs dans un laptop



41

Chambre à vapeur

Vapor chamber



Principe assez similaire au caloduc
mais avec une surface d'échange plus grande

Plus souvent utilisé pour les cartes graphiques
et certains laptops, voir même des smartphones

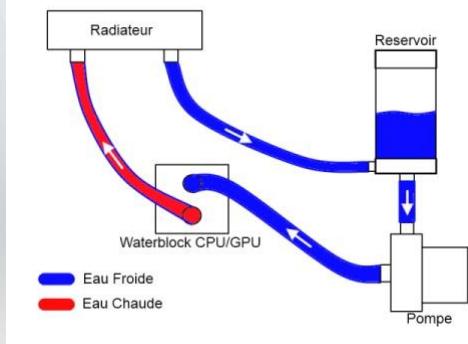
42

Watercooling

Les caloducs ne sont qu'une réponse partielle au problème d'encombrement du système de refroidissement car ils sont rigides et scellés.

Solution -> **Watercooling**

En complément, on place souvent 1 ou plusieurs ventilateurs sur le radiateur (échangeur)

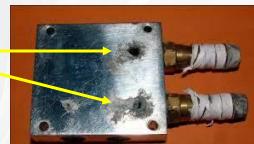


L'eau permet de déplacer facilement la chaleur à évacuer ce qui permet d'avoir un échangeur externe bien plus grand qu'avec un ventirad

Watercooling

Problème :

Apparition de phénomènes d'oxydoréduction
(réaction qui mélange les différents métaux)



Fuites ?

Refroidissement autour du CPU

Apparition d'algues :

entretien régulier

utiliser des solutions à diluer avec l'eau déminéralisée
ou du liquide de refroidissement destiné aux véhicules.

Watercooling : "homemade"



45

Watercooling : kit AiO (All in One)

Kits tout assemblés, sans entretien et moins chers
(100 à 200 € contre 300 à 1000 € pour du custom)



46

Un watercooling
est toujours
préférable à un
ventirad !

Non car les meilleurs ventirads
ont des performances
supérieures aux watercooling
premier prix.

Cependant, il est vrai que pour des
configurations très musclées, il est
obligatoire de passer au watercooling
de bonne manufacture

47

Pâte et PAD

- Les surfaces du CPU et du dissipateur ne sont pas parfaitement plates
- L'air est un isolant -> mauvais transfert de chaleur
- Solution -> utilisation de pâte thermique ou d'un pad thermique pour combler les vides



Matiériaux	Conductivité (W/mK)
Air	0.026
Pâte thermique	0.7 à 18
Pad thermique	0.7 à 4

48

Pâte et PAD



Pâte



Pad

La pâte à une durée de vie (de 1 à 5 ans). Une fois périmée, ses propriétés thermiques "peuvent" se dégrader. Il est alors conseillé de la renouveler.

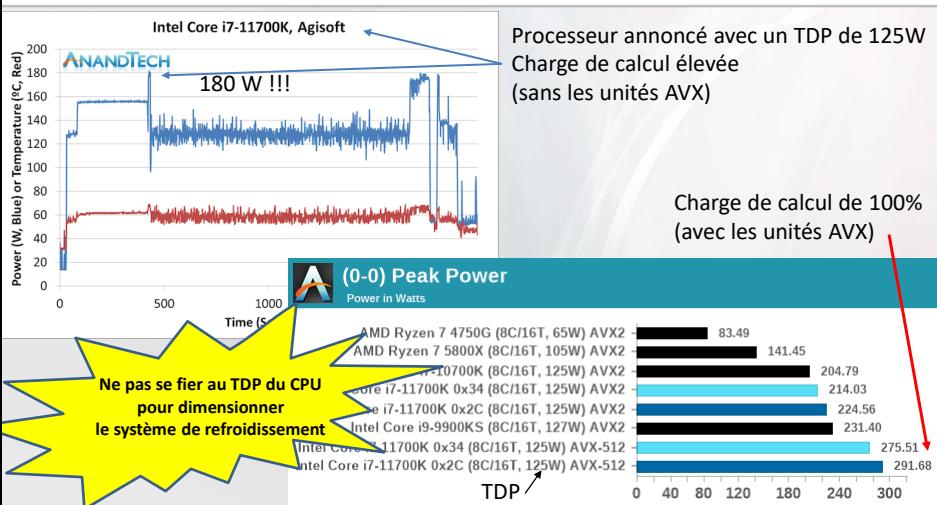
Si votre portable chauffe plus qu'avant et qu'il est tout propre, c'est p'tet la pâte qui est en cause

Il existe des pâte "extrêmes" pour les férus d'overclocking mais elles sont plus délicates à appliquer



type "métal liquide"

Attention au TDP annoncé !



Undervolting

La tension appliquée au CPU varie en permanence :

- à charge et fréquence élevées, la tension est maximale (ex : 1,4 V)
- au repos, la tension est minimale (ex : 0,87 V)
- + de nombreux paliers intermédiaires

Si la tension est trop basse, la machine plante.

Les fabricants de cartes mères prennent un marge de sécurité et appliquent souvent une tension un peu plus élevée que nécessaire.

$$TDP = k V^2 f$$

La consommation ET l'échauffement s'élèvent au carré de la tension, il peut donc être intéressant de la baisser

Un léger gain de performances est-même possible avec les systèmes mal refroidis

Amélioration des CPU

Ce qui peut être amélioré à chaque nouvelle génération de CPU
(en dehors de la finesse de gravure et de la mémoire cache)

La fréquence

(+ 25% en 15 ans...)

On est quasi au max

IPC pour instructions par cycle

en gros c'est l'efficacité d'un cœur

(+ 100% en 15 ans...)

idem

La parallélisme

(+ 3200% en 15 ans...)

Là il y a encore de la marge !

Mais dans la pratique ...



Historique (2)

	année	cœurs	bits	finesse (nm)	fréquence	
Intel 4004	1971	1	4	10.000	740 kHz	
Intel 8086	1978	1	16	3.000	≤ 10 MHz	
Intel 80386	1985	1	32	1.000	≤ 40 MHz	
Intel Pentium (1)	1993	1	32	≥ 250	≤ 200 MHz	
Intel Pentium D	2005	2	64*	≥ 65	≤ 3.7 GHz	
Intel Core 2 Quad	2007	4	64*	≥ 45	≤ 3.2 GHz	
De nos jours (2021) :						
Intel Core i9 10900K	10	64*		≥ 14	≤ 5.3 GHz	
AMD Epyc 7742	64	64*		≥ 7	≤ 3.4 GHz	
Apple A13 Bionic	2 + 4 + ...	64*		≥ 7	≤ 2.6 GHz	

*les unités vectorielles peuvent travailler sur des données >64 bits

Buts du parallélisme

- Augmenter le nombre d'instructions par cycle
 - Dé doubler certaines unités de calcul
 - Pipelines
 - Unités vectorielles

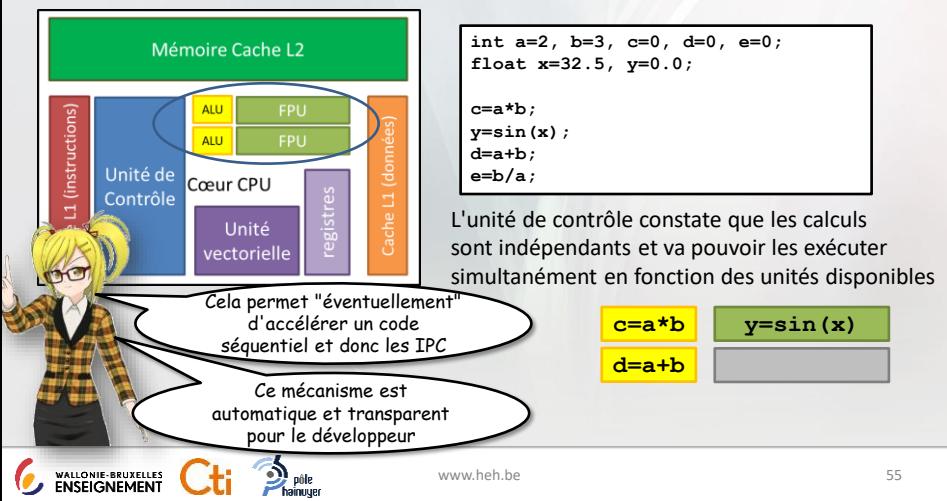
*C'est ce que nous allons appeler le **parallélisme séquentiel**
car l'objectif de ces techniques est
d'augmenter le nombre d'IPC d'un traitement séquentiel*
- Permettre de traiter plus de tâches en même temps
 - Multicœur
 - Multiprocesseur
 - Multithreading simultané

*Quand nous parlons de **parallélisme des CPU**,
ce sont ces 3 techniques que nous désignons*



CPU supercalaire

Dé doubler certaines unités de calcul pour pouvoir traiter plusieurs instructions en même temps



Pipeline (1)

Le traitement d'une instruction nécessite plusieurs cycles d'horloge



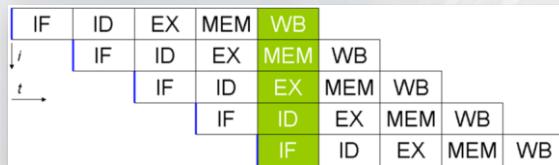
Les CPU ancestraux purement séquentiels exécutent l'instruction suivante lorsqu'ils ont terminé la première.

IF (Instruction Fetch)
ID (Instruction Decode)
EX (Execute)
MEM (Memory)
WB (Write Back)

charge l'instruction à exécuter dans le pipeline.
 décode l'instruction et adresse les registres.
 exécute l'instruction
 accès mémoire
 stocke le résultat

Pipeline (2)

Un pipeline permet une certaine forme de parallélisme d'instruction



Dans le cas du parallélisme d'instruction, le processeur exécute en parallèle des instructions qui se suivent à différents stades d'achèvement.



Ce mécanisme est également automatique et transparent pour le développeur

Cela permet "éventuellement" d'accélérer un code séquentiel

... ou de le ralentir

Pipeline (3)

Exemple :

```
int a=0;
cin>>a;

if(a%2==0)
{
    du code "pair"
    du code "pair"
    du code "pair"
}
else
{
    du code "impair"
    du code "impair"
    du code "impair"
}
```

Quand l'unité de contrôle aura envoyé l'instruction `if(a%2==0)` dans le pipeline, elle devra ensuite chargé l'instruction suivante avant même de savoir si la variable `a` est paire ou impaire...

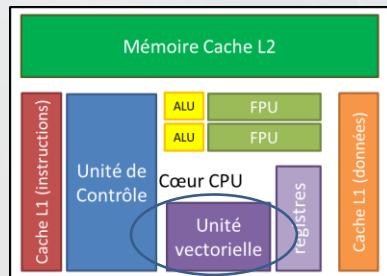
Un mécanisme appelé "prédiction de branchement" décidera d'envoyer le code "pair" ou "impair"

Le processeur parie sur le futur...

S'il ne s'est pas trompé, on a gagné du temps, sinon on en a perdu car il faut achever certains traitements inutiles puis recharger les bonnes instructions



Unités vectorielles



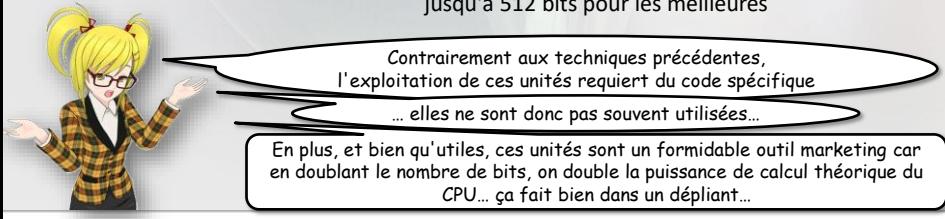
Unité SIMD

Single Instruction Multiple Data

Permet d'appliquer un même traitement à plusieurs données.

Exemple : diviser par 2 toutes les valeurs d'un vecteur

Unités SSE ou AVX qui peuvent manipuler jusqu'à 512 bits pour les meilleures



Processeur multicœur (1)



Un CPU à 4 cœurs est-il deux fois plus rapide que le même processeur avec seulement 2 cœurs actifs ?

Non, pas vraiment

Quoi il est plus lent ?

Non, sûrement pas

...

Il permet d'exécuter 2x plus de programmes en même temps



Processeur multicœur (2)

Avec la miniaturisation des transistor, il a été possible de multiplier les coeurs dans les CPU, ce qui leur permet de traiter plusieurs tâches en simultané.

Un programme séquentiel, n'est pas exécuté plus vite que vous ayez 2, 3 ou 200 coeurs

Par contre, il est possible d'écrire un programme, dit parallèle, qui pourra (ou non) être accéléré s'il est exécuté sur un CPU multicœur

Si vous avez un programme séquentiel qui est lent sur votre core i3 et que vous changez pour un core i9 aux fréquences similaires mais équipé de 4x plus de coeurs... cela n'accélérera rien du tout !

Par contre, si c'est un programme parallèle vous obtiendrez un gain se situant sûrement entre 0 et 300%

... et si ça se trouve, le programme parallèle ne sait pas exploiter correctement plus de 2 coeurs !

Les gains procurés par le parallélisme sont donc à estimer au cas par cas !



Systèmes multiprocesseurs

Depuis très très longtemps, des systèmes parallèles utilisant plusieurs CPU distincts existent

On peut distinguer les systèmes mono-ordinateur des grilles de calculs (ou clusters)



Les systèmes multiprocesseurs modernes emploient des CPU multicœurs, ce qui confèrent des niveaux de parallélisme distincts

Comme pour les CPU multicœur, les programmes doivent être écrits spécifiquement pour pouvoir tirer profit de ce genre d'architecture.

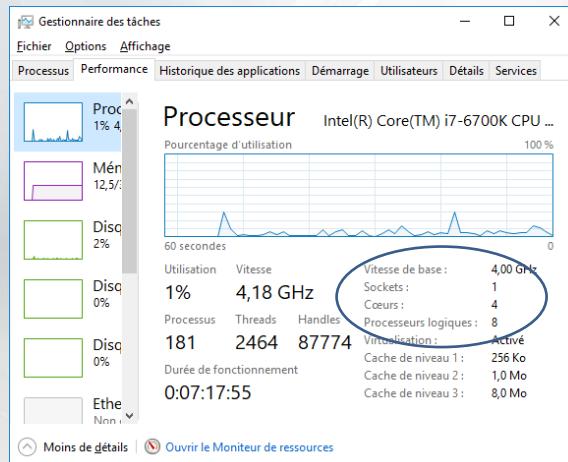
Simultaneous Multithreading (SMT)

C'est la marque **Hyper Threading** chez Intel (HT)

Multiplier virtuellement le nombre de coeurs d'un CPU sans ajouter aucune unité de calcul.

Ex. Un CPU avec 4 coeurs et le SMT (de degré 2), va faire croire au système d'exploitation que c'est un CPU à 8 coeurs.

On parle alors de CPU avec 4 coeurs / 8 threads



Exemple sans SMT

Tâche 1	Tâche 2
1 1	1 1
2 2	2 2 2
3 3 3	3 3 3
4 4	4 4

On ne peut pas passer à une instruction x d'une tâche si toutes les instructions x-1 (de cette tâche) ne sont pas terminées

Unités de calcul du cœur qui doit traiter les tâches 1 et 2



8 cycles

Exemple avec SMT

Tâche 1	Tâche 2
1 1	1 1
2 2	2 2
3 3 3	3 3 3
4 4	4 4

On ne peut pas passer à une instruction x d'une tâche si toutes les instructions x-1 (de cette tâche) ne sont pas terminées

Unités de calcul du cœur qui doit traiter les tâches 1 et 2

	ALU1	ALU2	FPU1	FPU2
t	1 1	1	1	
	2 2	2	2	
	1 3	3	3	3
	2 4	4	2	2
	4 3	3	3	3
		4	4	4

6 cycles

Exemple avec SMT (2)

Tâche 1	Tâche 2
1 1	1 1
2 2	2 2
3 3	3 3
4 4	4 4

On ne peut pas passer à une instruction x d'une tâche si toutes les instructions x-1 (de cette tâche) ne sont pas terminées

Unités de calcul du cœur qui doit traiter les tâches 1 et 2

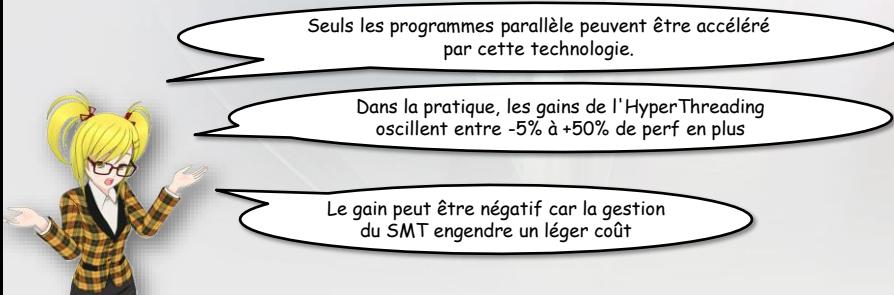
	ALU1	ALU2	FPU1	FPU2
t	1 1	1	1	
	2 2	2	1	
	1 2	2	2	
	3 3	3	3	
	4 4	4	4	
	3 3	3	3	
	4 4	4	4	

8 cycles

SMT dans la pratique

Dans la pratique, le SMT (ou l'**Hyper Threading**) c'est une modification au niveau de l'unité de contrôle qui permet de charger les instructions de 2 programmes (ou tâches) différents en même temps.

Il existe des architectures avec des niveaux de SMT **de degré** supérieur à 2 (*par exemple 8 tâche par cœur pour le CPU IBM Power8*)



Estimation théorique de la vitesse d'un CPU

Une valeur est souvent utilisée pour comparer théoriquement les processeurs

$$FLOPS = \text{nombre coeurs} * \text{fréquence} * \frac{\text{FLOP}}{\text{cycle}}$$

Cette mesure peut être effectuée sur des nombres flottants de :

- 8 bits (principalement utile en IA)
- 16 bits (principalement utile en IA)
- 32 bits (taille par défaut)**
- 64 bits (TOP 500)

Quand vous voyez une mesure exprimée en FLOPS,
il faut également connaître la taille des valeurs
utilisées pour donner du sens à cette mesure.

... vous imaginez bien que le marketing
s'en donne à cœur joie !

De plus... c'est une estimation purement théorique...

Estimation théorique de la vitesse d'un CPU

année	CPU	fréquence	cœurs	FLOP/cycle	GFLOPS
1996	Pentium	200MHz	1	1	0,2
1999	Pentium III	1GHz	1	2	2
2004	Pentium IV	3,4 GHz	1	4	13,6
2006	Core 2 Duo	2,6 GHz	2	4	20,8
2011	Core i3 2105	3,1 GHz	2	16	99,2
2013	Core i7 4960X	3,6 GHz	6	16	345,6
2017	Core i9-7980XE	2,6 GHz	18	64	2995,2

C'est une estimation purement théorique...

Cette valeur est rarement atteinte



A ne pas oublier !

Pour une même génération de CPU

2 cœurs @ 2 GHz

2 cœurs + HT @ 2 GHz

4 cœurs @ 2 GHz

2 cœurs @ 4 GHz

Vitesse de traitement

Sur le papier, et pour une même génération, la puissance de calcul d'un CPU 4 cœurs @ 2GHz est identique à 2 cœurs @ 4 GHz

Dans la pratique, et même dans les programme hautement parallèles, il persiste des traitements purement séquentiels.

Ces traitements seront potentiellement traités 2x plus vite à 4GHz qu'à 2GHz !

jeu d'instructions (1)

ensemble des instructions machines qu'un processeur peut exécuter
(~sa langue)

assure une compatibilité entre les applications et le matériel

2 jeux majeurs :

jeu d'instructions x86 (x86, x64, x86-64)

 Windows 10 CPU pour les (vrais) PC et une grande partie des serveurs



jeu d'instructions ARM



Smartphones, tablettes, et de nombreux dispositifs
embarqués (Smart TV, GPS, etc.)



Autres jeux d'instructions plus spécifiques
(ex. jeu d'instruction SPARC pour certains serveurs)

jeu d'instructions (2) le cas Apple

Jeu d'instructions x86
x86-64, x64, AMD64



Apple avec CPU Intel Core i truc

Jeu d'instructions ARM



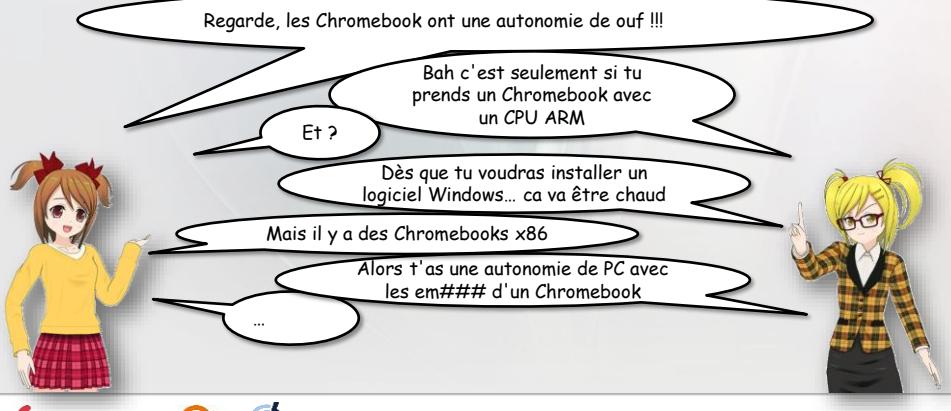
Émulateur*
x86



Apple avec CPU Apple M1

*N'offre aucune garantie sur le bon fonctionnement
des applications émulées

jeu d'instructions (3) le cas Google



Marché 2020

PC
Grand public



PC HEDT
(High-End Desktop)



Serveurs



Attention au marketing !

Donc si j'achète un core i7, mon PC sera plus rapide que ton core i5

Ca dépend de ton utilisation mais aussi du modèle

Ah ?

Le core i7-10510U de ton portable est un 4 cœurs / 8 threads @ 1,8 - 4,9 GHz

Ouai ça pète !

Un i5 10600K est un 6 cœurs / 12 threads @ 4,1 - 4,8 GHz et il est mieux refroidi dans une tour qu'avec ton truc super plat

...

75

Attention au marketing (2)

La jungle des numéros
(c'est similaire chez AMD)



Desktop	
K	Débloqué
T	Rendement énergétique optimisé
Mobile	
H	GPU plus gros
HK	GPU plus gros et débloqué
HQ	GPU plus gros et 4 cœurs
U	Ultra basse consommation super veau



Desktop	
K	Débloqué
T	Rendement énergétique optimisé
S	Performances optimisées
R	Version mobile pour desktop...
Mobile	
M(X)	Mobile (Extrême)
HQ	GPU plus gros et débloqué
MQ	4 cœurs
U	Ultra basse consommation super veau
Y	Pire que U

76

Benchmark

Benchmark synthétique

- Logiciel développé dans le seul but d'évaluer les performances
- C'est du Marketing

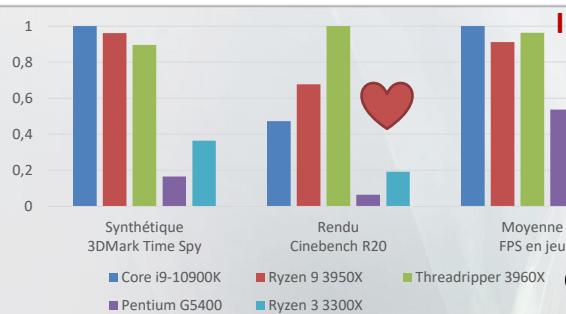
Benchmark applicatif

- Mesure de performances dans un logiciel ou jeu vidéo
 - Les résultats peuvent varier fortement d'un logiciel à l'autre
- > important de connaître le contexte d'utilisation

Durée des calculs

Images par seconde

Benchmark (exemples)



IPC
Les benchmarks synthétiques n'ont que peu d'intérêt

Il est important de connaître l'utilisation pour choisir correctement

Modèle	Cœurs	Threads	f _{base}	f _{turbo}	Prix
Core i9 10900K	10	20	3,7	5,3	700 €
Ryzen 9 3950X	16	32	3,5	4,7	900 €
Threadripper 3960X	24	48	3,8	4,5	1.600 €
Pentium G5400	2	4	3,7		70 €
Ryzen 3 3300X	4	8	3,8	4,3	150 €



Conclusions

La hiérarchie des processeurs peut fortement changer en fonction du type d'application.

C'est pour cette raison qu'il faut toujours connaître le type d'utilisation future d'une machine afin de bien choisir ses composants.

Consulter la presse spécialisées qui testent les différents composants

Ne pas se laisser berner par le marketing

- sur des générations différentes, 2 cœurs à 3 GHz ce n'est pas forcément plus rapide que 2 cœurs à 2 GHz
- le core i truc 6000 n'est pas forcément meilleur que le core i truc 5000
- la fréquence Turbo annoncée peut ne jamais être atteinte avec les portables
- etc.

Et surtout... ne pas croire le pote qui est « pro de l'informatique » sur parole...

Chapitre 3

LA MÉMOIRE VIVE (RAM)

Utilité



*Données pour les calculs
Résultats des calculs
Programmes en cours d'exécution*

Définitions

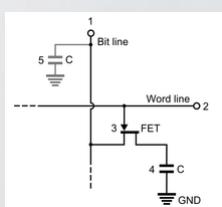
- Mémoire vive :** est sollicitée pendant les calculs du CPU
- Mémoire volatile :** les données sont perdues une fois l'alimentation électrique coupée
- Mémoire RAM :** Random Access Memory
L'information peut être accédée directement (adresse aléatoire)

Barrette de RAM :



DRAM vs SRAM

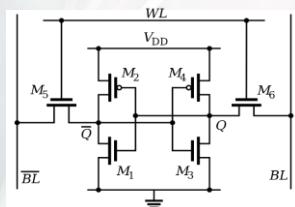
DRAM



Mémoire vive PC

Moins cher (plus simple)
Meilleure densité
Requiert une fréquence de rafraîchissement

SRAM



Mémoire cache (ex. CPU)

Plus cher (plus complexe)
Moins dense
Plus rapide

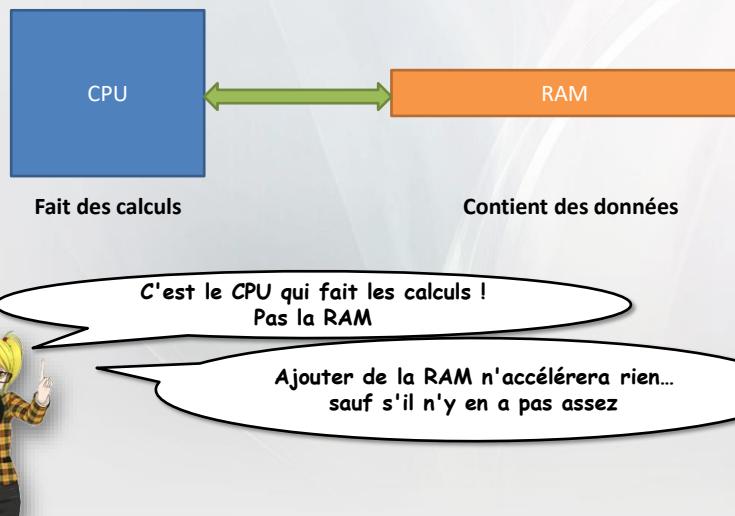
Caractéristiques

- Capacité (Go)
- Type de mémoire (DDRx)
- Format (DIMM, SO-DIMM)
- Fréquence (MHz)
- Timing (latence)
- Canaux
- Fonctionnalités
- Refroidissement, dimensions et soirée disco

Je vais accélérer
mon ordinateur en
ajoutant de la
RAM



+ de RAM pour accélérer un PC ?

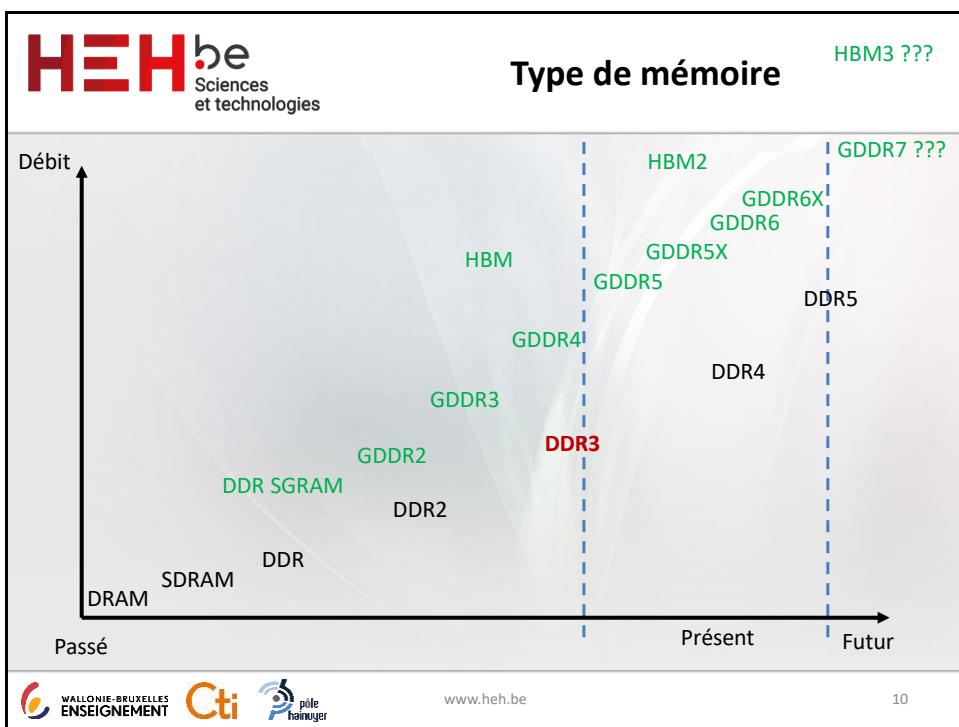
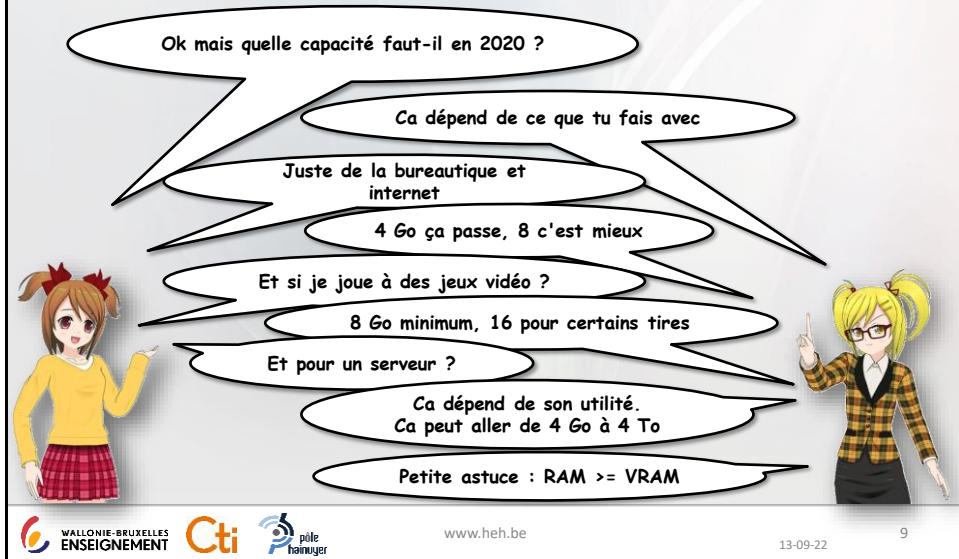


Si pas assez de RAM -> Swapping



	RAM	SSD	HDD
Débit	20 Go/s	2 Go/s	0,2 Go/s
Latence	0,00001 ms	0,1 ms	10 ms

Capacité mémoire

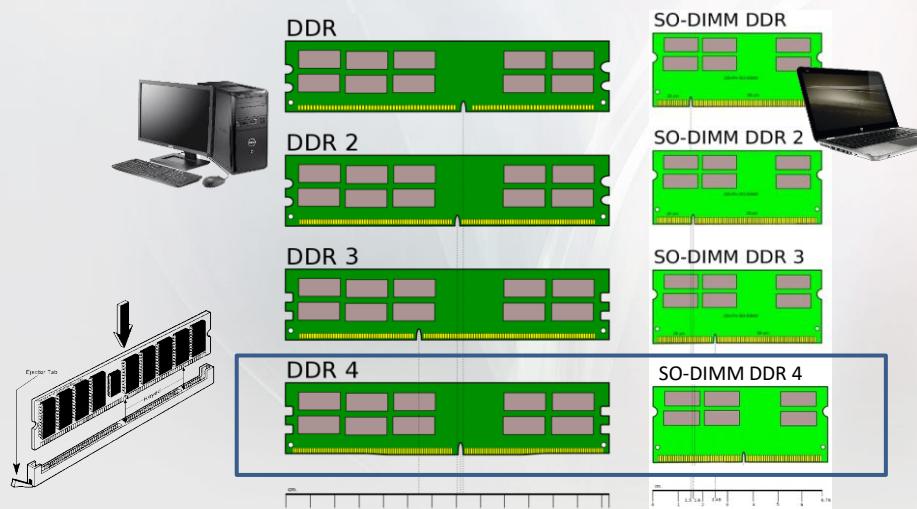


Type de mémoire

- DDR : Double Data Rate
optimisé pour les latences (CPU)
- GDDR : Graphics
optimisé pour les débits (GPU)
- HBM : Hight Bandwidth Memory
optimisé pour les débits (GPU)
mémoire empilée et soudée



Format DIMM et SO-DIMM

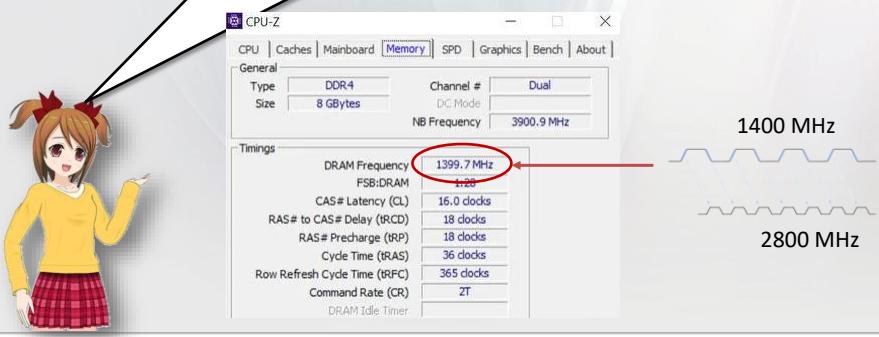


Fréquence de fonctionnement

Fréquence * bus = débit

$$2800 \text{ MHz} * 64 \text{ bits} = 179\,200 \text{ Mb/s} = 22\,400 \text{ Mo/s}$$

Oui mais j'ai de la RAM 2800, j'ai tout bien configuré comme il faut et je suis à 1400 ⚡



Fréquence de fonctionnement

Oui mais j'ai de la RAM 4400 et je n'arrive pas à dépasser les 2933 ⚡

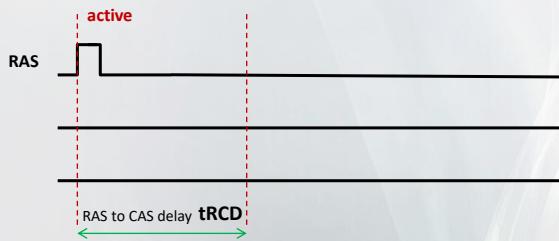
C'est le CPU qui communique avec la RAM et il doit se synchroniser sur cette fréquence.

Les CPU ont une fréquence RAM officielle qui est souvent limitée (2933 pour un i9 10900K)

Il est possible de passer au dessus mais c'est alors considéré comme de l'overclocking. Le résultat n'est donc pas garanti

De plus, la carte mère doit aussi pouvoir le permettre et être compatible avec les barrettes

Timings (tRCD)

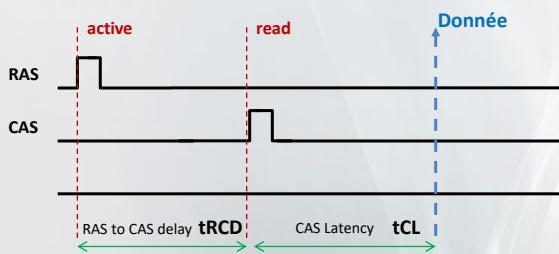


La requête en lecture commence par l'envoi de la commande ACTIVE.

La commande est porteuse du numéro de ligne : « Row Acces Strobe », ou **RAS**.

Ce temps est appelé « RAS to CAS Delay », ou **tRCD**.

Timing (tCL)

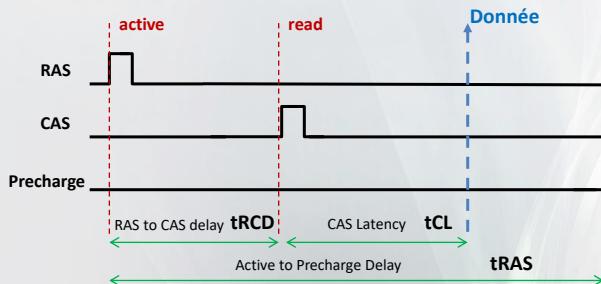


Cette étape est déclenchée par une commande READ (ou WRITE), porteuse cette fois du numéro de colonne

Numéro de colonne : « Column Address Strobe », ou encore **CAS**.

Le temps nécessaire est appelé « **CAS Latency** », ou **tCL**.

Timing (tRAS)

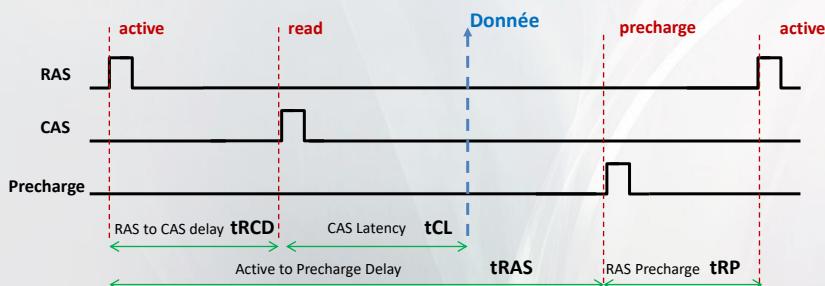


La commande « **précharge** », consiste à fermer la page mémoire sélectionnée

La RAM impose un temps minimum entre le lancement de la commande ACTIVE et le lancement de la commande PRECHARGE.

« **Active to Precharge Delay** », ou **tRAS**

Timing (tRP)



La commande PRECHARGE envoie à la mémoire le signal indiquant la fermeture de la page.

La fermeture de la page nécessite un délai supplémentaire, le « **RAS Precharge Time** », ou **tRP**.

Une fois la page fermée, une nouvelle page peut être sélectionnée et un nouveau cycle de lecture/écriture peut commencer.

Timings (en cycles)



Les timings d'une barrette de RAM sont exprimés en cycles (et non ns)

On utilise le **tCLK** pour exprimer les latences en cycles

tCLK est le temps pour un cycle = 1 / Fréquence (10ns à 100 MHz)

- **CAS Latency :** $tCL / tCLK$
- **RAS to CAS Delay :** $tRCD / tCLK$
- **RAS Precharge Time :** $tRP / tCLK$
- **RAS Active Time (Active to Precharge Delay) :** $tRAS / tCLK$

Timings (libellé)



Le RAS to CAS, le RAS Precharg et le CAS Latency : sont des valeurs souvent proches

Le active to Precharge est souvent $> 2 \times$ CAS Latency et $\leq 3 \times$ CAS Latency

C'est donc souvent le CAS Latency qui est mis en avant dans le libellé des barrettes :

Exemple : **Ballistix Elite 8 Go DDR4 4000 MHz CL18**

TIMINGS

CAS Latency	<input type="checkbox"/> 18
RAS to CAS Delay	<input type="checkbox"/> 19
RAS Precharge Time	<input type="checkbox"/> 19
RAS Active Time	<input type="checkbox"/> 39
Ces timings sont supportés avec une tension minimale de :	<input type="checkbox"/> 1.35 Volt(s)

Timings (comparaison)

Comme le CAS Latency est exprimé en cycle, les comparaisons ne sont pas toujours immédiates !

DDR4 4000 MHz CL18

$$\text{Temps de cycle} = 1 / (4 \cdot 10^9 / 2) = 0,5 \text{ ns}$$

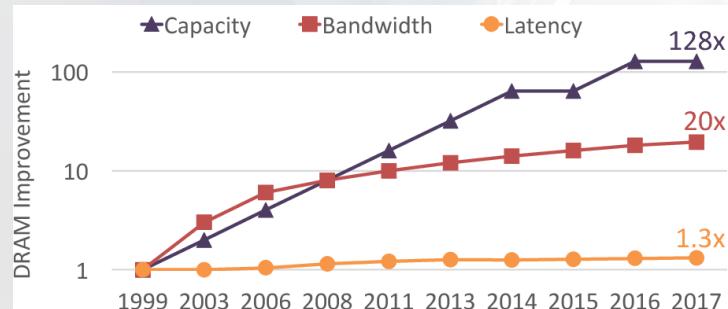
$$t_{\text{CAS}} = 0,5 * 18 = 9 \text{ ns}$$

DDR4 2400MHz CL16

$$\text{Temps de cycle} = 1 / (2,4 \cdot 10^9 / 2) = 0,833 \text{ ns}$$

$$t_{\text{CAS}} = 0,833 * 16 = 13,333 \text{ ns}$$

Débit vs Latence



Les débits augmentent mais les latences ne s'améliorent pas

Les canaux

Les canaux mémoire -> multi-channel

Certains couples de CPU/Carte mère permettent d'exploiter simultanément plusieurs barrettes. Cela permet de **cumuler les débits** des barrettes de RAM

La majorité des machines grand public permettent de le faire par paire -> Dual Channel

Le matériel plus onéreux permet d'aller jusqu'à du dodeca-Channel (12)

Pour une utilisation classique, le Dual Channel est suffisant.

Contrainte : les barrettes doivent être identiques

Benchmarks

Relative Performance

TECHPOWERUP
Higher is Better



Résultats dans les tests applicatifs sur un CPU AMD Ryzen 5 2600

Indice de performances



<https://www.lesnumeriques.com/ordinateur/dual-channel-detail-technique-a-ne-pas-negliger-a4483.html>

<https://www.techpowerup.com/review/intel-core-i7-8700k-coffee-lake-memory-performance-benchmark-analysis/10.html>

UDIMM vs RDIMM

UDIMM (Ram unbuffered)



C'est le contrôleur mémoire du CPU qui adresse la RAM.

Le CPU ne sait adresser que X Go de RAM

La RAM grand public est de la RAM UDIMM

RDIMM (RAM registered)



Comporte une puce additionnelle (registre) qui s'occupe de l'adressage directe de la mémoire (latence supplémentaire).

Permet d'installer des barrettes de plus forte capacité (si carte mère et CPU sont compatibles)

La RAM serveur est "souvent" de la RAM RDIMM

Mémoire ECC

Sources d'erreurs en informatique :

- l'utilisateur
- Les développeurs :
 - erreurs logiques
 - dépassemens de capacité
 - précision des floats
- Panne et/ou usure matérielle
- **Les bit-flips (interférences, rayons cosmiques, etc.)**

Même avec de la mémoire ECC, il y a une probabilité non nulle des erreurs ne soient pas détectées



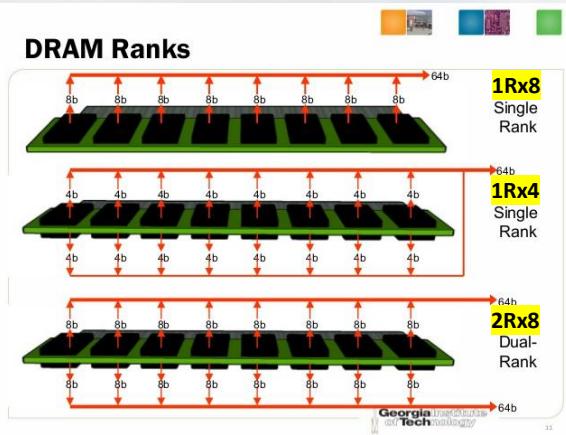
Mémoire ECC (Error Correction Code)

Ajoute des bits dédiés à la détection et (éventuellement) correction d'erreur

Type de mémoire de prédilection des serveurs (ou grosses workstations)
(carte mère et CPU doivent être compatibles)

Rank

DRAM Ranks



Avec Dual-Rank :

"Ranks" accédés séquentiellement

Très légère pénalité sur les latences

peut procurer de légers gains de performances quand un "Rank" est en attente

Matériel grand public :

Single ou Dual Rank

Serveurs :

De Single à Octo Rank

Caractéristique technique rarement présente dans les documentations commerciales

Refroidissement

Mémoire à fréquence basique (chauffe peu) :



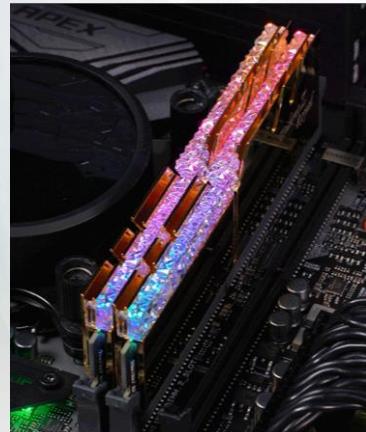
Mémoire à fréquence supérieure (chauffe plus) :



Il peut y arriver que le dissipateur thermique des barrettes de RAM empêche d'installer votre ventirad.

En fonction de votre ventirad, la hauteur des barrettes peut donc être une caractéristique cruciale



Soirée disco**Important**

- Choisir le bon format (RDIMM, UDIMM, ECC, SO-DIMM, etc.)
- Favoriser le Dual Channel (c'est gratuit)
- Avoir un bon équilibre entre fréquence et latence
- Les mémoires à très hautes fréquences/basses latences sont des investissements rarement rentables
- Attention à la hauteur des barrettes
- Eviter de mélanger des RAM avec des spécifications différentes

Pour une utilisation 3D : minimum 8Go de RAM et essayer de respecter :
quantité RAM \geq quantité VRAM (=mémoire graphique du GPU)

Pour une utilisation type calcul scientifique, il faut beaucoup de RAM :
quantité RAM \geq 2x quantité VRAM (=mémoire graphique du GPU)

Chapitre 4

DISQUE DUR ET SSD

Pérophérique de stockage

Le contenu de la mémoire RAM s'efface à chaque redémarrage

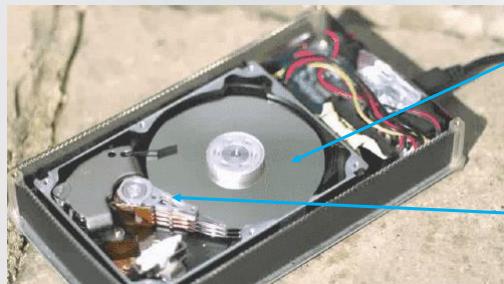
Besoin d'un périphérique pour conserver les données de façon permanente

Mémoire de masse

Choix:

- **HDD (disque dur mécanique/magnétique)**
- **SSD (disque électronique, disque statique à semiconducteurs)**
- **SSHD (HDD incluant un petit SSD)**
- **eMMC**
- **Clé USB et autres cartes SD**

Disque dur mécanique et/ou magnétique



Plateaux
(tournent à vitesse constante)

Têtes de lecture/écriture
(solidaires sur un bras)

Les plateaux

Chaque plateau contiendra des données.

Tous les plateaux tournent ensemble autour d'un axe,
à une vitesse de rotation constante

A technologie identique, plus la vitesse de rotation est élevée :

- meilleurs seront les débits (Mo/s)
- meilleures seront les latences (ms)
- moins bonne sera la consommation électrique (W)

Vitesse de rot. (rpm)	MIN	AVG	MAX
Laptop	4200	5400	7200
Desktop	5400	7200	10 000
Serveur	5400	10 000	15 000

Les têtes de lecture-écriture

électro-aimants qui se baissent et se soulèvent pour pouvoir lire l'information ou l'écrire.

ne sont qu'à quelques nanomètres de la surface
(3nm sur les disques actuels)



commencent toujours par écrire du bord du plateau au centre du plateau



... et comme les plateaux tournent à vitesse constante... les débits varient donc fortement

Débits variables



Disque de 3,5" (Desktop)

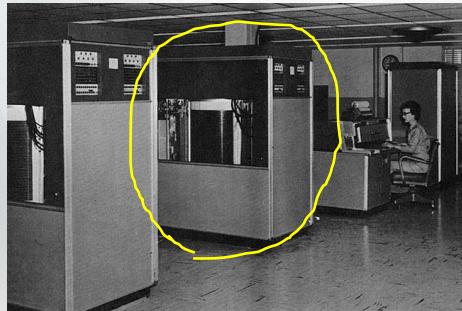


Disque de 2,5" (Laptop)

Le 1^{er} disque dur

IBM 305 RAMAC

- 1956
- 50 plateaux de 24"
- 5 Mo de capacité
- 1200 rpm
- 8,8 ko/s
- 1 Tonne
- 50 000 \$ US (de l'époque)



Les caractéristiques techniques

- Capacité (en Go ou To)
 - Taille (2,5" ou 3,5")
 - Vitesse de rotation (rpm)
 - Nombre de plateaux
 - Densité :
 - Radiale en tpi (track per inch)
 - Linéaire en bpi (bit per inch)
 - Surfacique en Bi²
 - Technologie d'enregistrement (SMR ou PMR)
 - Interface (SATA ou SAS)
 - Temps d'accès (ms)
 - IOPS
 - Mémoire cache (Mo)

Influence directe sur les débits



9

HEH.be Sciences et technologies

Technologie d'enregistrement

- PMR (Perpendicular Magnetic Recording)**

the width of write head
the width of read head

- SMR (Shingled Magnetic Recording)**

the width of write head
the width of read head

Permet de stocker plus sur un plateau mais ...
... en cas de modification d'une donnée :

- écriture dans une zone vide de la nouvelle version de la donnée
- lecture des pistes voisines de l'ancienne donnée
- écrasement de l'ancienne donnée par la nouvelle
- invalidation de la donnée écrite au point 1.

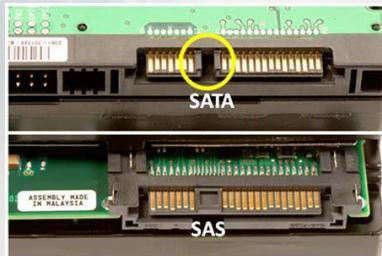
www.heh.be

10

Interface (HDD)

- La connectique (et le protocole de communication)
- Interface grand public pour disque dur interne : SATA

Norme	Débit théorique	Débit théorique	Débit pratique
SATA I ou SATA 150	1,5 Gbit/s	187,5 Mo/s	150 Mo/s
SATA II ou SATA 300	3 Gbit/s	375 Mo/s	300 Mo/s
SATA III ou SATA 600	6 Gbit/s	750 Mo/s	600 Mo/s



Half duplex

Full duplex

Les temps d'accès

Temps moyen que mettent les têtes pour se déplacer (trouver la bonne piste)
(Seek time)

Les constructeurs n'indiquent pas toujours un temps d'accès moyen correct

Ils ne tiennent pas compte le plus souvent du temps de latence.

Temps de latence = délai entre le moment où le disque trouve la piste et se synchronise sur les données = temps pour un demi tour = $(60/\text{rpm})/2$

Temps d'accès réel = temps d'accès moyen + temps de latence
(Access time)

Temps d'accès moyen total

Exemple:

Pour un disque de 7200 rpm, *seek time* de 8,7 ms.

$$\text{Latence} = (60/7200)/2 = 4,16 \text{ ms}$$

$$\text{Temps d'accès réel} = 8,7 + 4,16 = \mathbf{12,96 \text{ ms.}}$$

Plus le temps d'accès est petit, meilleures seront les performances



Exemple de calcul

Disque 1

- Débit = 200 Mo/s
- Temps d'accès réel = 14 ms

Lecture de 100 Mo de données éparpillées en 1000 endroits

$$\text{Temps de lecture} = 100 \text{ Mo} / 200 \text{ Mo/s} = 0,5"$$

$$\text{Temps du aux accès} = 1000 * 0,014" = 14"$$

$$\text{Temps total} = 14,5"$$

Disque 2

- Débit = 100 Mo/s
- Temps d'accès réel = 12 ms

$$\text{Temps de lecture} = 100 \text{ Mo} / 100 \text{ Mo/s} = 1"$$

$$\text{Temps du aux accès} = 1000 * 0,012" = 12"$$

$$\text{Temps total} = 13"$$

Le problème de la fragmentation



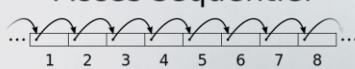
Attention à ne surtout pas défragmenter un SSD

IOPS
(input/output operations per second)

Exprimé sans unité (ou des fois en Mo/s)

Valeurs différentes pour les lectures et les écritures

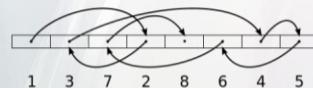
Accès séquentiel



IOPS séquentiels

est à l'image du débit

Accès direct



IOPS aléatoires (direct)

est à l'image des temps d'accès

La taille des données doit être spécifiée
(4 Ko, 64 Ko, etc.)

Un HDD n'efface jamais !

Une tête de lecture/écriture ne sait pas démagnétiser une piste

Le disque contient une forme d'index qui permet de savoir si une données est toujours valide ou non.

Effacer revient à invalider la donnée,
et le disque pourra ainsi réécrire par-dessus si besoin

Le seul moyen d'effacer un disque c'est de
réécrire des données aléatoires sur
l'intégralité de sa surface plusieurs fois (7x)



Le plus rapide est encore de détruire les plateaux

SSD : Solid-State Drive

- Alternative au disque dur magnétique

- Disque purement électronique :

- pas de pièces mécaniques
- résiste mieux aux chocs et vibrations
- moins de pannes
- pas de nuisance sonore
- faible consommation



- Utilisation massive de mémoire flash

- L'interface SATA est identique

- Prix plus élevé



Type de NAND Flash

Type de mémoire	Taille d'une cellule	Tarif	Perfs	Durée de vie écritures max
SLC	Single Level Cell	1 bit	\$\$\$\$\$\$	+++++
MLC	Multi Level Cell	2 bit*	\$\$\$\$	++++
TLC	Triple Level Cell	3 bit	\$\$\$	+++
QLC	Quadruple Level Cell	4 bit	\$\$	+

* Il faut vérifier !

Multi Level Cell ne signifie pas littéralement cellule à 2 niveaux ... certains fabricants utilisent cette appellation pour des cellules de plus de 2 bits

Il faut donc bien vérifier la doc... et si rien n'est spécifié... c'est que ce n'est probablement pas du vrai MLC



SSD : Solid-State Drive



- 1 Connecteur SATA (données)
- 2 Connecteur SATA (alim)
- 3 Contrôleur
- 4 Puce de mémoire vive
- 5 Puces de Flash NAND

La majorité des SSD d'entrée de gamme sont dépourvus de mémoire vive (ce qui est une mauvaise idée)



SSD et modification des données

Contrairement à un HDD, un SSD sait effacer

Par contre, cette opération n'est pas rapide et en plus il ne sait effacer que des blocs de données (et pas une donnée individuelle).

Du coup, si vous effacez un fichier, le SSD va d'abords procéder comme un HDD puis quand il aura un moment, il réagencera les données et effacera pour de bon les fichiers qui ne sont plus valides.

Contrairement à un HDD, un SSD ne sait pas modifier les données

...

Un SSD ne sait pas modifier les données

Mémoire cache du SSD

Bloc X			
A	B	C	D
E	F	G	H
I	J		

Bloc X'			
A	B'	C'	D
E	F	G	H
I	J		

Lecture du bloc
et modification
en cache

Modification de B et C

Effacement du bloc

Bloc X			

Écriture du bloc

Bloc X			
A	B'	C'	D
E	F	G	H
I	J		

Bloc Y			
Z	X	L	K
Y			

Bloc Y			
Z	X	L	K
Y			

Modification et Garbage collection

Processus qui permet d'accélérer les modifications
mais il faut suffisamment d'espace libre

Bloc X			
A	B	C	D
E	F	G	H
I	J		

Bloc X'			
A	B	C	D
E	F	G	H
I	J	B'	C'

Garbage collection

Bloc X			

Bloc Y			

Bloc Y			

Bloc Y			
A			D
E	F	G	H
I	J	B'	C'

Remplissage des SSD

1. Un des rôles du contrôleur et de la commande TRIM (gérée par l'OS) est de s'assurer du ***wear leveling***.
(essayer d'user toutes les cellules au même rythme)
2. Avec un SSD sans mémoire vive (sans mémoire cache dédiée), l'espace disque libre sert de mémoire cache (en mode SLC).
(c'est plus lent que de la RAM et cela use légèrement les cellules)

Pour le bon fonctionnement de ces différents mécanismes, il est déconseillé de remplir complètement de données un SSD

La durée de vie d'un SSD est souvent exprimée en TBW (TeraByte Written)



Alternatives aux SSD 2,5"

- sous forme de **carte d'extension PCI-Express**



- **mSATA (SATA 3.1) :**
ressemble fort à une carte mini PCI-Express souvent pour portable



- **Carte M.2 (Next Generation Form Factor) :**
(Wi-Fi, WWAN, USB, PCIe, **SSD SATA** ou des **SSD NVMe**).



- **U.2** : (anciennement SFF-8639)
utilise 4 lignes PCI-Express (comme les SSD M.2. NVMe) pour des débits jusqu'à 4 Go/s (principalement pour des SSD Pro)



SSD vs HDD

Caractéristique	SSD	Disque mécanique
Temps d'accès aléatoire	Environ 0,1 ms	8-16 ms
Vitesse de lecture/écriture	+ de 500 Mo/s (format disque) + de 7 Go/s (NVMe)	Jusqu'à 300Mo/s
Fragmentation	Aucun effet	Ralentissement de l'utilisation des fichiers
Bruit	Aucun	Variable
Vulnérabilités	Usure de la capacité de stockage	Chocs et vibration, sensibles aux champs magnétiques
Masse	Quelques dizaines de grammes	Jusqu'à près de 700 g
Durée de vie	Bonne pour les MLC 3D, à condition d'utiliser TRIM AFR 1%	MTBF 500.000 heures - 1 500 000 heures (idem SSD) AFR 1%
Temps de rétention	1 à 10 ans	minimum 5 ans
Rapport coût-capacité	<0,1 €/Go (QLC) - 0,2 €/Go (MLC)	~ 0,03 €/Go
Capacité de stockage	Jusqu'à 8 To pour le peuple (~1000 €)	Jusqu'à 18 To (~800 €)
Consommation	0,1 - 0,9 W (veille) jusqu'à 0,9 W (activité)	0,5 à 1,3 W (veille) 2 à 4 W (activité)

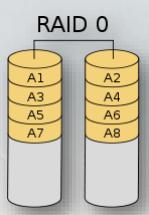
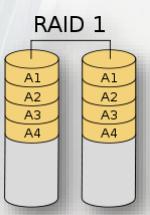


27

RAID

Assemblage de plusieurs disques physiques pour constituer un seul disque logique

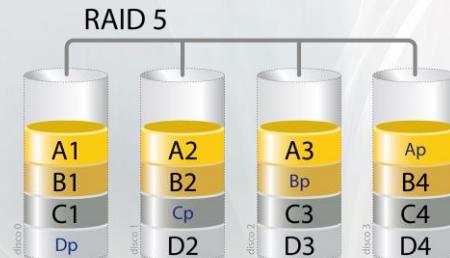
Différent systèmes (niveaux) RAID pour augmenter les performances et/ou la sécurité des données

RAID 0  <p>Disk 0 Disk 1</p> <p>Performances doublées</p>	RAID 1  <p>Disk 0 Disk 1</p> <p>Sécurité augmentée ainsi que la vitesse en lecture</p>
---	--

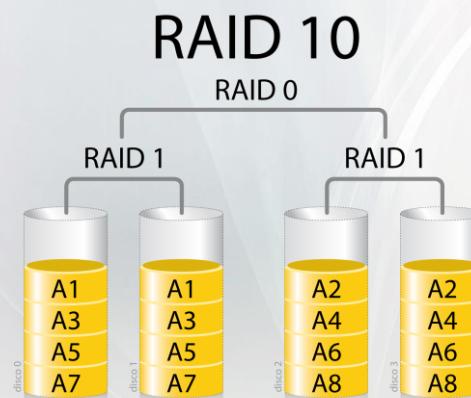
www.heh.be 28

28

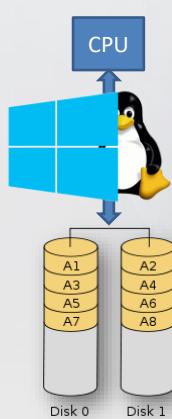
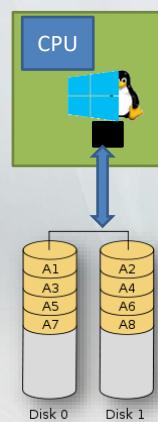
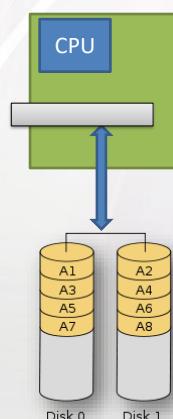
RAID 5



RAID 10



Types de RAID

RAID logiciel**RAID pseudo-matériel****RAID Matériel**

Chapitre 5

CARTE MÈRE

La carte mère

- **Motherboard** ou **Mainboard** (voir **mobo** dans le jargon)
- Elément crucial d'un ordinateur :
 - Permet de connecter et de faire communiquer tous les composants
 - Détermine complètement les possibilités et l'évolutivité
- Ne se remplace pas aussi aisément qu'une barrette de RAM

Une carte mère mal adaptée à vos
composants, peut être source
d'instabilité



Programme stocké dans une **ROM** sur la carte mère (mémoire morte : mémoire en lecture seule) et sert à :

- initialiser tous les composants de la carte mère
- identifier tous les composants qui lui sont connectés
- initialiser l'**ordre de priorité** des périphériques de stockage
- démarrer le système d'exploitation



BIOS



UEFI

A été remplacé par l'**UEFI** (Unified Extensible Firmware Interface) mais dans le jargon on utilise toujours (à tort) le terme de BIOS

Est accessible au démarrage de l'ordinateur par pression sur une touche (souvent DEL)

On peut y changer la date et heure, l'ordre de démarrage, la vitesse de rotation des ventilateurs, les fréquences de fonctionnement (CPU/RAM), désactiver des connecteurs, etc.

Les paramètres sont conservés dans une petite mémoire (CMOS) qui doit rester alimentée en permanence

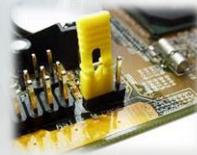
C'est pour cette raison qu'une pile est présente sur la carte mère

Clear CMOS et MAJ BIOS

Suite à une mauvaise manipulation dans le Bios, il arrive parfois que le fonctionnement du PC soit sérieusement déréglé.

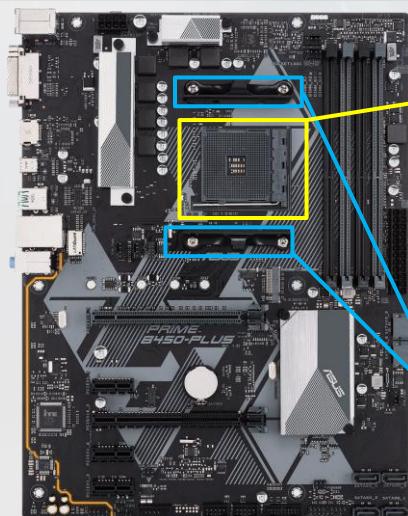
Le PC peut ne même plus démarrer.

Il est possible de remettre à zéro les paramètres de configuration par défaut via le **jumper** (cavalier) : **Clear CMOS**



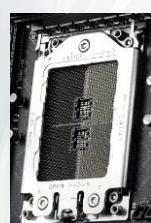
L'opération de mise à jour du Bios = **flasheur le Bios**

Le socket



Le socket (CPU)

AMD AM4



AMD TR4

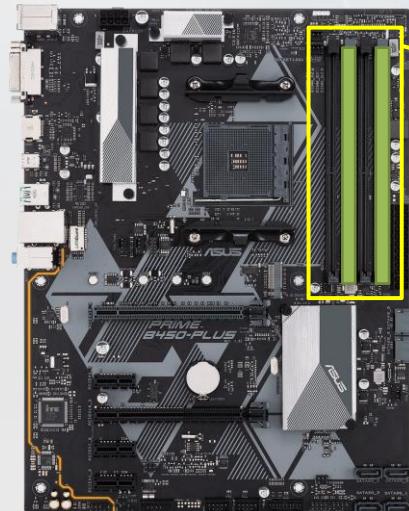


Intel 2066

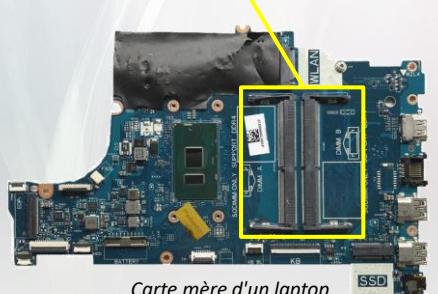


Dispositif de fixation pour le système
de refroidissement du CPU

SLOTS pour barrettes de RAM

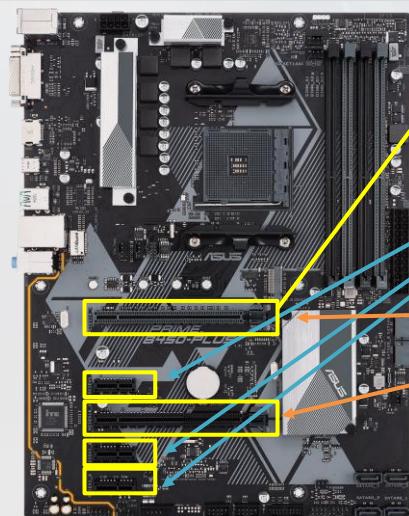


Emplacements DIMM

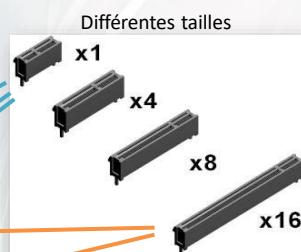


Carte mère d'un laptop

Les connecteurs pour cartes d'extension



Le slots PCI-Express



Différentes tailles

Chaque "X" désigne également le nombre de canaux de communications (lignes)

Plus il y a de "X", plus le débit sera élevé
(... en théorie...)

Le PCI-Express

	RAW BIT RATE	LINK BW	BW/ LANE/WAY	TOTAL BW X16
PCIe 1.x	2.5GT/s	2Gb/s	250MB/s	8GB/s
PCIe 2.x	5.0GT/s	4Gb/s	500MB/s	16GB/s
PCIe 3.x	8.0GT/s	8Gb/s	~1GB/s	~32GB/s
PCIe 4.0	16GT/s	16Gb/s	~2GB/s	~64GB/s
PCIe 5.0	32GT/s	32Gb/s	~4GB/s	~128GB/s

Attention qu'un connecteur de type 16x n'est pas forcément câblé en 16x !

Il peut être câblé en 8x voir même 1x

Utiliser un connecteur plus grand que nécessaire permet d'assurer la compatibilité physique avec les cartes

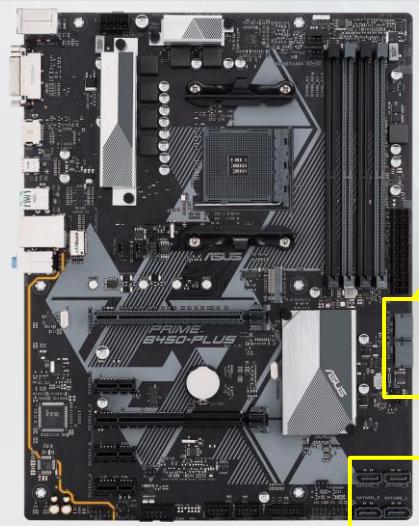
Exemple avec un port PCI-Express câblé en 8x et en version 3.0 à une bande passante de :

$8 * 1\text{Go/s} = 8 \text{ Go/s}$ et est en Full duplex

Toutes les cartes (1x à 16x) peuvent s'enficher dans un 16x mais pas dans un 1x ☺



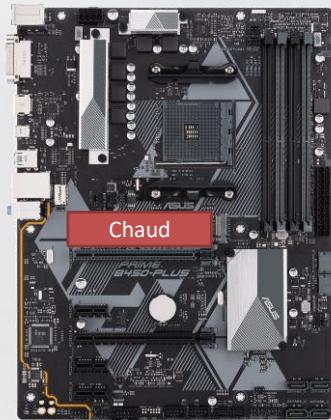
Les connecteurs SATA



Connecteurs SATA pour brancher SSD et HDD



Les emplacements M2

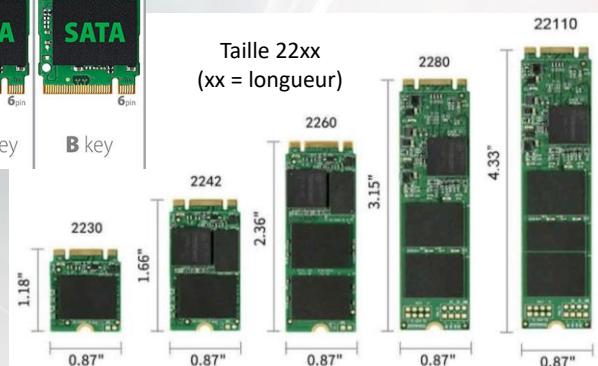


Attention aux emplacements M2

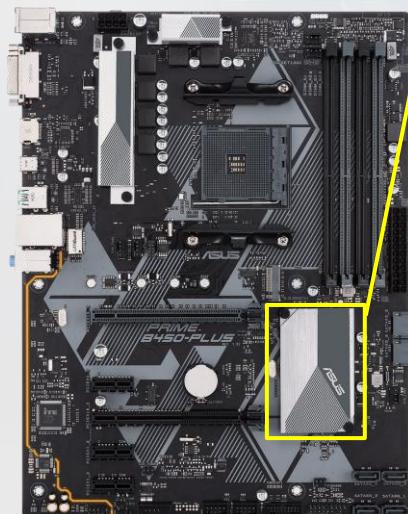
Connecteur et protocole



Taille 22xx
(xx = longueur)



Le chipset



Le chipset

Le chef d'orchestre de la carte mère

Soudé et souvent affublé d'un dissipateur

Une grande partie des fonctionnalités d'une carte mère dépend du chipset

Permet ou non :

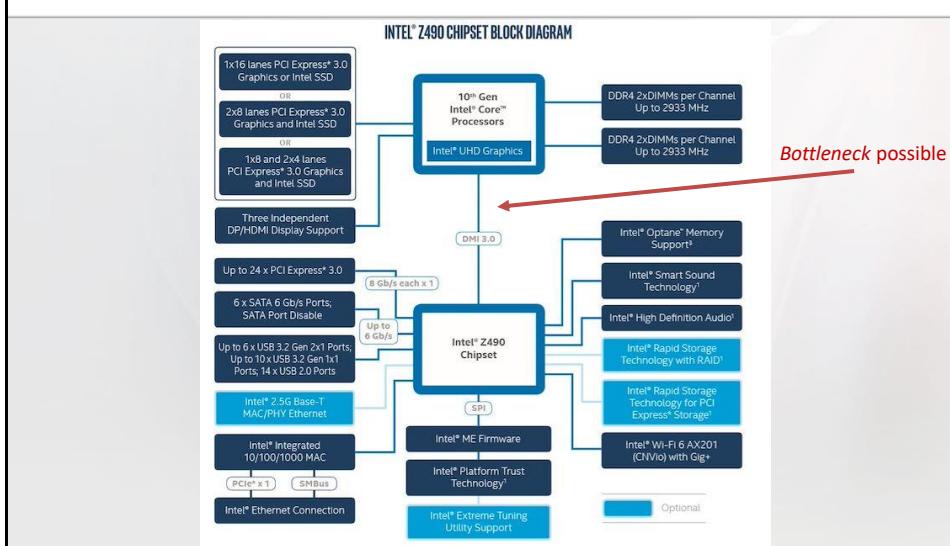
- l'installation de certains CPU/périphériques
- l'overclocking
- le RAID pseudo-matériel
- etc.

Il est souvent préférable de choisir le chipset le plus récent

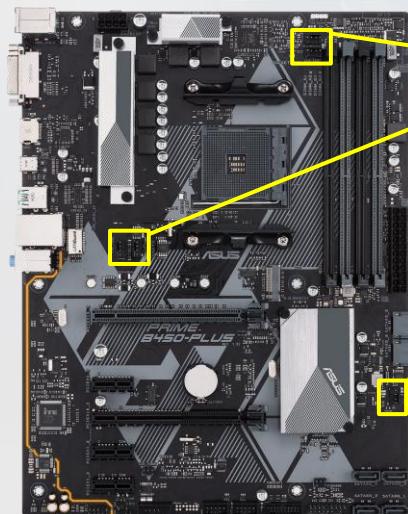


Chipset et fonctionnalités

INTEL® Z490 CHIPSET BLOCK DIAGRAM



La ventilation



Connecteurs pour ventilateur

- Au minimum 1 : CPU FAN
- + éventuellement plusieurs : CHA FAN
- + éventuellement 1 : Water_Pump pour connecter le moteur de la pompe d'un éventuel *watercooling*.

Types de connecteurs pour ventilateur



Pour qu'un ventilateur puisse tourner il faut deux fils (+ et -)

Il y a souvent un troisième fil pour mesurer la vitesse de rotation

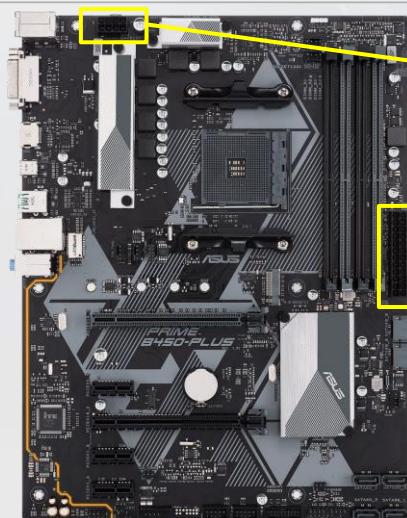
Un quatrième fil peut être présent dans le cas d'une régulation électronique (PWM)

En cas d'absence de ce 4^e fil, la régulation pourra se faire de façon analogique

La compatibilité physique est totale :



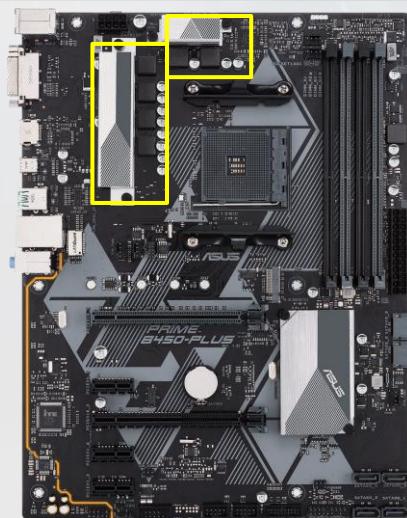
L'alimentation



Les connecteurs d'alimentation

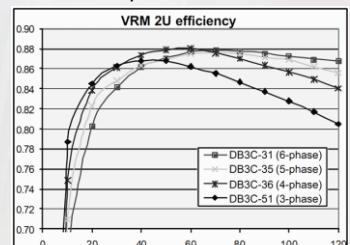


Circuits d'alimentation (VRM)

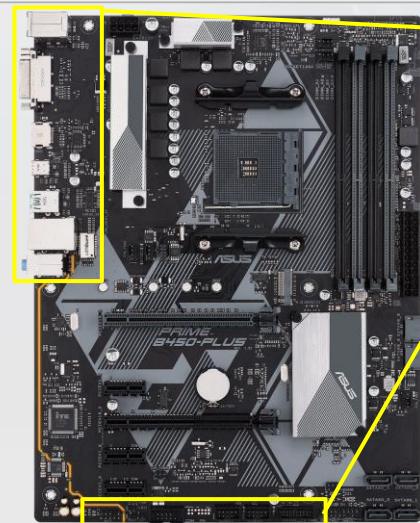


A qualité de composant égale, plus le nombre de phases est élevé :

- plus les tensions sont stables
- moins les VRM s'échauffent pour une même puissance totale
- meilleure est l'efficacité pour des hautes puissances



Les connecteurs d'entrées-sorties



Les connecteurs externes



Les sorties écran ne fonctionnent que si le CPU est équipé d'un GPU intégré !
(ou qu'il y ait un GPU soudé sur la carte mère)

Les connecteurs internes



Facteur de forme (ou d'encombrement)



EATX



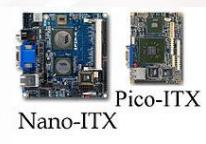
ATX



micro-ATX



mini-ITX



BTX



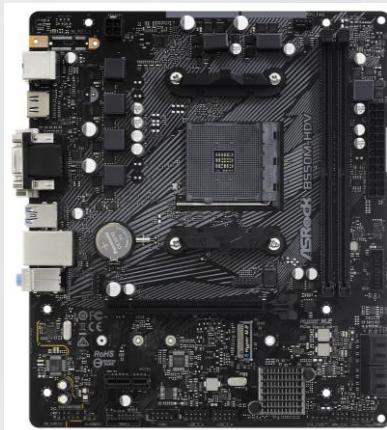
SSI EEB

Pour les serveurs
et les portables
il n'y a pas
de réels standards

Choix d'une carte mère

1. Le socket
2. Le facteur d'encombrement
3. Le chipset
4. Les connecteurs internes (PCI-Express, M2, SATA, DIMM)
5. Les connecteurs d'entrées-sorties
6. VRM et refroidissement
7. Fonctionnalités additionnelles (chipset audio, RGB, etc.)

Tarifs



105 €



160 €

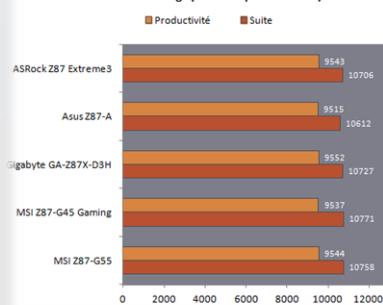
Si je change ma carte mère *low cost* pour une de top qualité, j'aurais plus de perfs !

A réglages identiques, NON

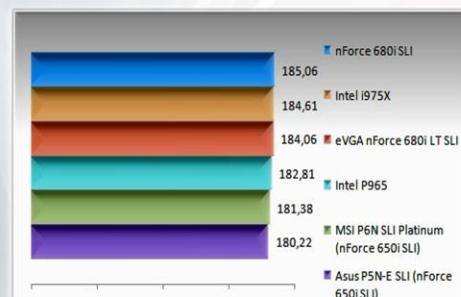
23

Impact de la carte mère sur les performances

PC Mark Vantage (Indice de performances)



Chipsets identiques



Chipsets différents

24

Chapitre 6

LE BLOC D'ALIMENTATION

Le bloc d'alimentation

PSU = Power Supply Unit

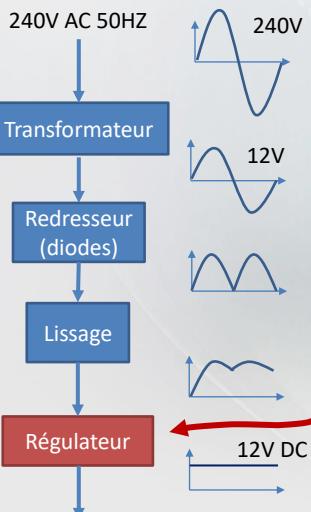
Composant indispensable et très un important car il doit :

- délivrer des **tensions stables**
- pouvoir fournir une **puissance suffisante**
- avoir un **rendement élevé**
- opérer en **silence**
- ne pas réchauffer la machine
- fournir suffisamment de connecteurs d'alimentation



Si ce composant est négligé (souvent le cas) : plantages, bruits, échauffement, consommation excessive et même des risques d'incendie

Alimentation linéaire



Alimentation de type chargeur



Rendement catastrophique (25 – 50%)

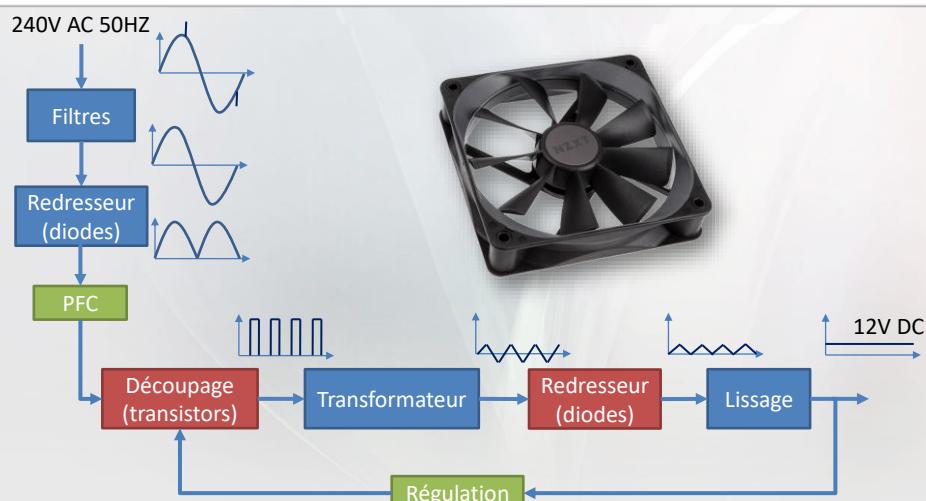
Grosse chaleur à évacuer



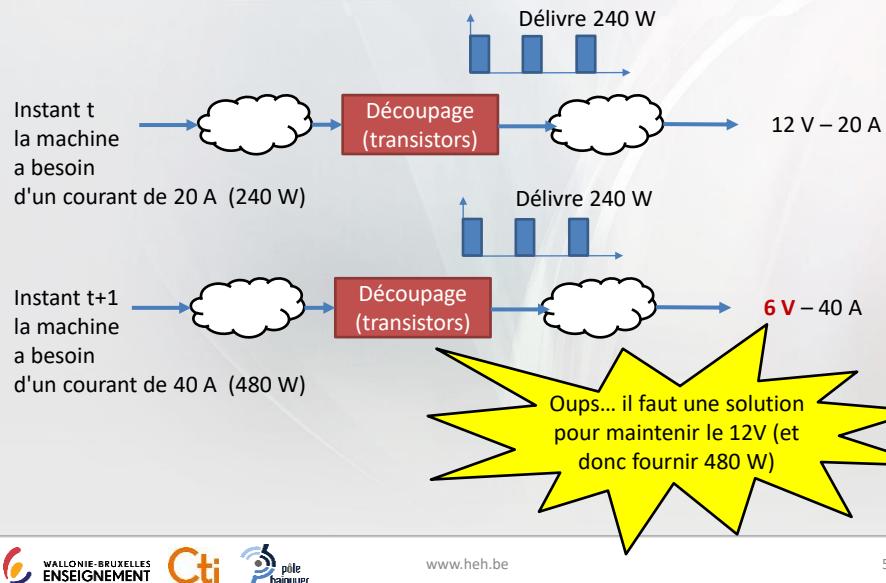
Pour un PC de 300W, il
faudrait une alim qui consomme
900W et qui pèse 10kg...

Fonctionnement

Alimentation à découpage

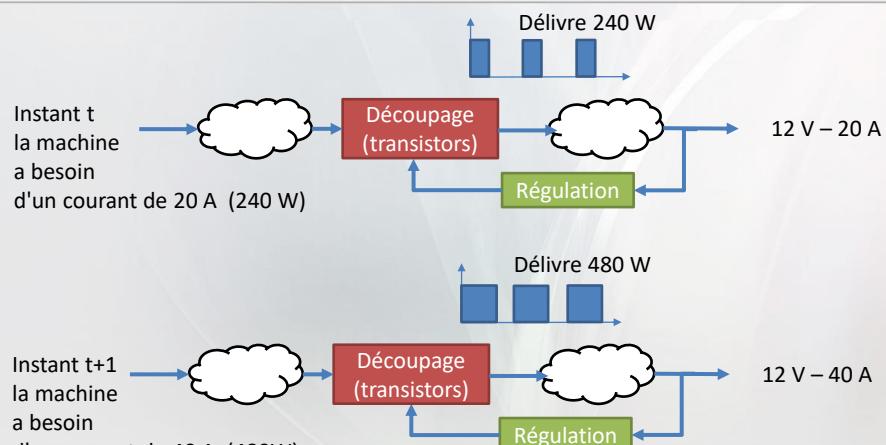


Sans régulation



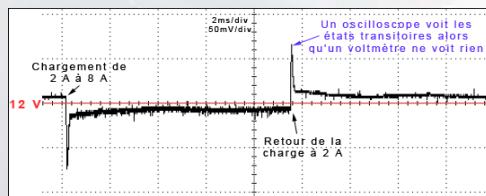
5

Avec régulation



6

Qualité des tensions

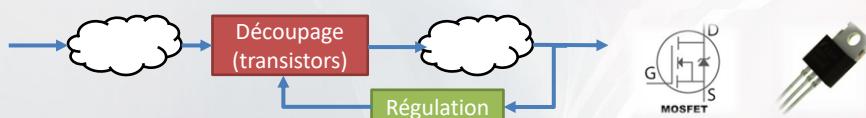


Suivant la qualité de l'alimentation,
les tensions varieront plus ou moins fortement.

Pour des tensions stables :

- Hacher à fréquence élevée (entre 32 et 100 kHz)
- Caractéristiques de la boucle de régulation
- Condensateurs (pour compenser la latence de la régulation)

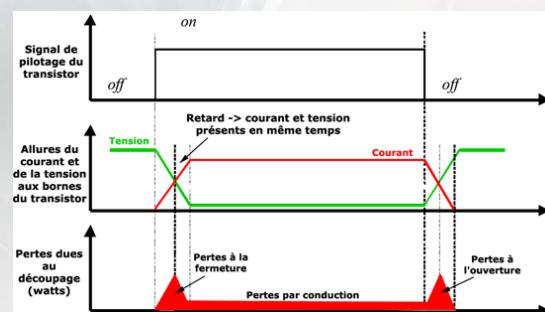
Transistors



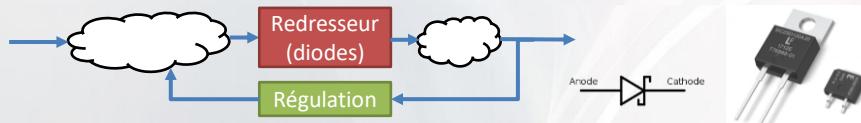
Pour découper la tension : **transistor bipolaire MOSFET** (interrupteur électronique)

Les transistors
ne sont pas parfait :

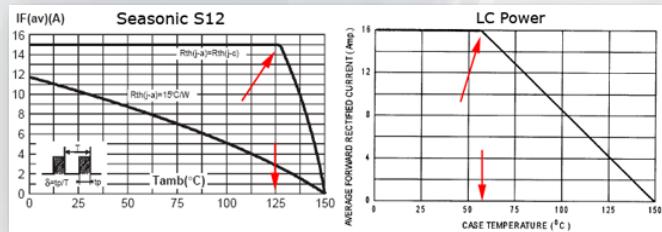
- Pertes par commutation
- Pertes par conduction



Diodes (schottky) du redresseur



Attention à la qualité des composants (exemple avec 2 alims de même puissance) :

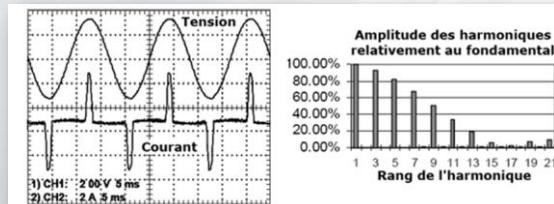


La Seasonic S12, peut tenir 30 A (2 diodes) et ce jusqu'à 125 °C

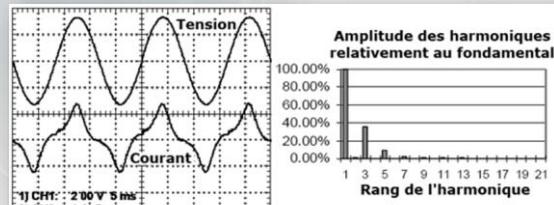
La LC Power ne tient que 16 A jusqu'à +/- 60 °C

PFC passif

Sans PFC :



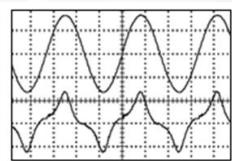
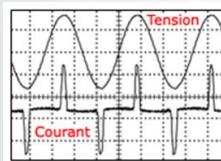
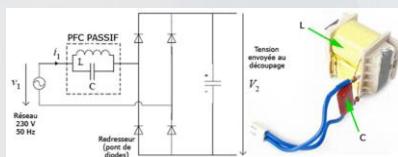
PFC passif :



PFC passif vs actif

PFC passif

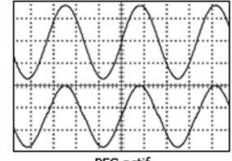
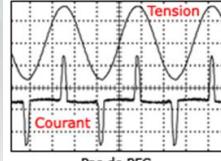
Facteur de puissance entre 0,6 et 0,8



PFC actif

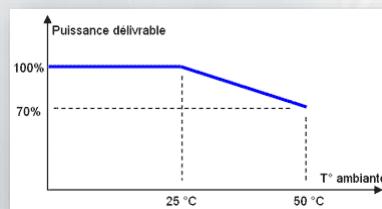
Facteur de puissance entre 0,8 et 0,99

petit module électronique
qui analyse et corrige en temps réel
l'allure du courant par rapport à la tension.



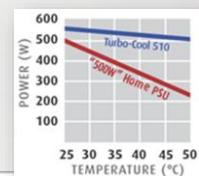
La puissance annoncée...

Les alimentations sont généralement définies pour une puissance maximale donnée entre 0 et 25 °C (température des composants)...

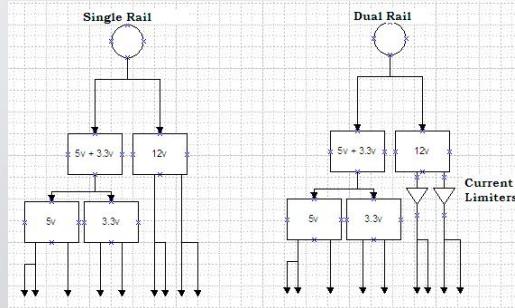


... ce qui n'a pas trop de sens puisque c'est trop peu par rapport à la réalité.

Comparaison entre
une alimentation produit blanc
&
une alimentation de qualité respectable



... et les rails multiples ...



直直 流流 輸出 出出	DC Output	+5V	+3.3V	+12V	-12V	+5VSB
Max.(最大)	20A	20A	32A	0.8A	2.5A	

+ 3.3V, + 5V max. load: (最大輸出/最大输出) 115W
+ 12V₁, + 12V₂ max. load: (最大輸出/最大输出) 336W



直直 流流 輸出 出出	DC Output	+5V	+3.3V	+12V ₁	+12V ₂	-12V	+5VSB
Max.(最大)	20A	20A	17A	15A	0.8A	2.5A	

+ 3.3V, + 5V max. load: (最大輸出/最大输出) 115W
+ 12V₁, + 12V₂ max. load: (最大輸出/最大输出) 336W



Besoins en puissance

Mais quelle puissance d'alimentation me faut-il ?

Cela dépend de ta machine

OK mais il n'y a pas une valeur passe partout abordable ?

Non



Petite config

Composants	Petit PC	Repos	En charge
CPU	Core i3 9300	10 W	65 W
Carte graphique	intégrée	1 W	10 W
Carte mère	B365	30 W	40 W
Disque Dur	SSD SATA	1 W	3 W
RAM	1x 8Go DDR4	2 W	3 W
Ventilateur	1x 120mm	1 W	5 W
		45 W	126 W

Comme le rendement de l'alimentation n'est pas de 100% et qu'il peut y avoir des pics de consommation, il faut prendre une marge de 25 à 50%

Une alim de moins de 200W devraient suffire amplement pour une telle configuration



Grosse config

Composants	Gros PC	Repos	En charge
CPU	Core i9 10900K	20 W	200 W
Carte graphique	RTX 3090	16 W	400 W
Carte mère	Z490	40 W	60 W
Disque Dur	2 SSD + 1 HDD	2 + 6 W	6 + 10 W
RAM	4x 8Go DDR4	8 W	12 W
Ventilateur	4x 120mm	4 W	20 W
		96 W	708 W

Une alimentation de moins de 850W serait un peu juste pour une telle configuration

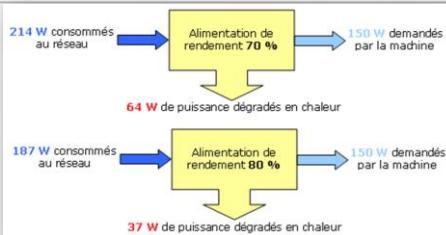
Formule empirique (copyright CRE) pour dimensionner une alim :

$$1,5 * (TDP CPU + TGP GPU + 100W)$$

Pour cette configuration, cela donne :
 $1,5 * (125 + 350 + 100) = 862 W$



Rendement électrique



Attention qu'avant 2014,
la norme 80 Plus (sans couleur)
ne définissait aucun rendement
pour une utilisation sur du
230V/50Hz.

Dans le doute,
je conseil au minimum
80 Plus Bronze
mais préférez si possible **Gold**

La liste des certifications 80 Plus :

Taux d'utilisation de l'alimentation	10 %	20 %	50 %	100 %
80 PLUS (>2014)	---	82 %	85 %	82 %
80 PLUS Bronze	---	85 %	88 %	85 %
80 PLUS Silver	---	87 %	90 %	87 %
80 PLUS Gold	---	90 %	92 %	89 %
80 PLUS Platinum	---	92 %	94 %	90 %
80 PLUS Titanium	90 %	94 %	96 %	94 %



Formats Fonction du boîtier

Le classique = format ATX :

représentent plus de 80% du marché.

Dimension (W x L x H): 15 cm x (14 cm) x 8.6 cm

La puissance peut dépasser 1000W !!



Dans ce cas elles sont souvent plus longues que 14 cm
(attention au choix du boîtier)

Pour les petits boîtiers :



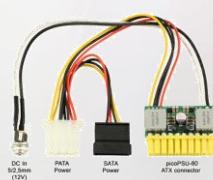
SFX
12,5 x 10 x 6,3
(~750W max)



SFX-L
12,5 x 13 x 6,3
(~850W max)



TFX
8,5 x 18,5 x 7
(~300W Max)



Pico PSU
Alim externe
(<100W)

Connecteurs (1)

Les cartes graphiques gourmandes nécessitent des **connecteurs PCI-Express** à 6 ou 8 broches suivant leur puissance :



Un nouveau connecteur 12 broches vient de sortir...

Les connecteurs SATA 15 broches pour alimenter les périphériques SATA (HDD, SSD, graveur)



Connecteurs (2)

ATX 24 broches



ATX CPU 4/8 broches



Code couleur de la norme ATX

Couleur	Signal
Orange	+3.3V
Noir	Masse
Jaune	+12V
Rouge	+5V
Bleu	-12V

Les connecteurs MOLEX
(ventilateurs, hubs, leds, lecteurs de carte, etc.)



On parle d'un prochain changement de norme où l'alimentation ne devrait plus délivrer que du 12V

Ce serait alors la carte mère qui serait chargée de convertir le 12V en 5V...

Wait and see...

Alimentation modulaire

Non modulaire



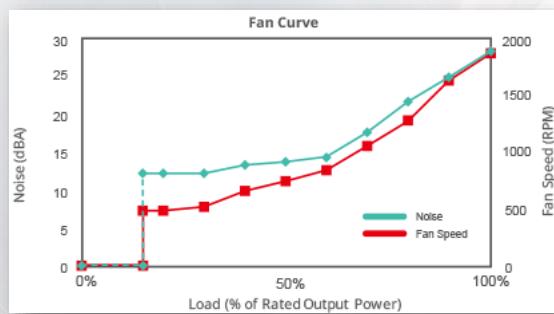
Modulaire



Semi-modulaire



Alimentation 0db



Le ventilateur ne tourne pas en dessous d'une certaine charge/température

Il existe également des alimentations sans ventilateur -> fanless ou passive

Comment choisir son alim ?

1. Calculer la puissance nécessaire :

1,5 * (CPU TDP + GPU TGP + 100W) ou utiliser un outil :

<https://outervision.com/power-supply-calculator>

2. Format (ATX, SFX, etc.) et dimensions de l'alimentation

(Attention aux tailles exotiques)

Attention aussi à la norme électrique

3. Nombre de connecteurs en suffisance (attention aux configurations musclées)

Modulaire ?

4. Ventilation et nuisance sonore

ventilateurs thermo-régulés, taille de ventilateur, Odb, passif ?

5. Rendements (80plus bronze minimum, Gold préféré)

6. Marque et Prix



Exemple d'économie stupide

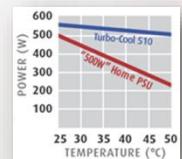


Alimentation 500W à 25€

Pas de connecteur CPU ATX 8 broches (que 4)
Pas de connecteur PCI-Express...
... si vous en avez besoin, il faut alors un adaptateur
... adaptateur qui requiert 2 Molex
... mais il faut souvent 2 connecteurs PCI-Express
... donc 2 adaptateurs, mais l'alim n'a que 3 Molex
... donc il faut des dédoubleurs de MOLEX
... ça risque de faire beaucoup d'ampères sur les fils

Pas de norme 80 Plus donc...

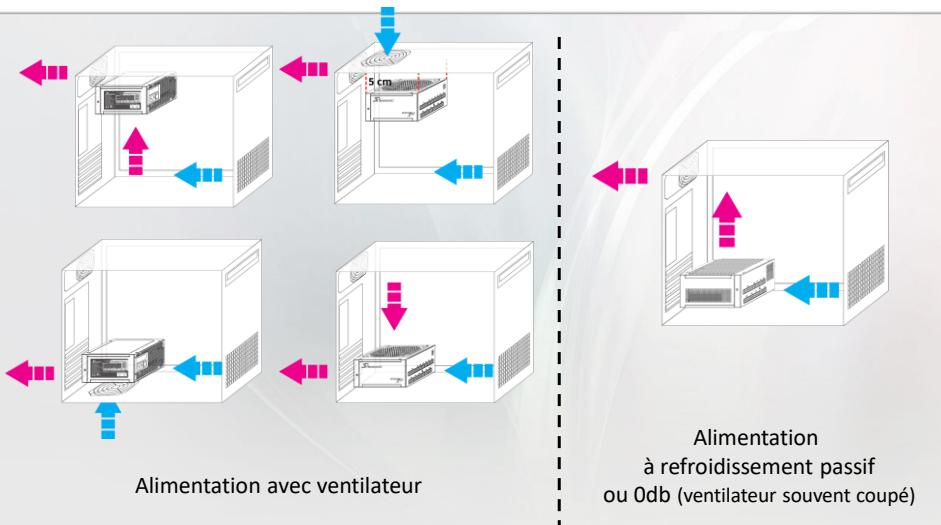
Puissance sûrement mesurée à 25°C
c'est donc une alim 200W...



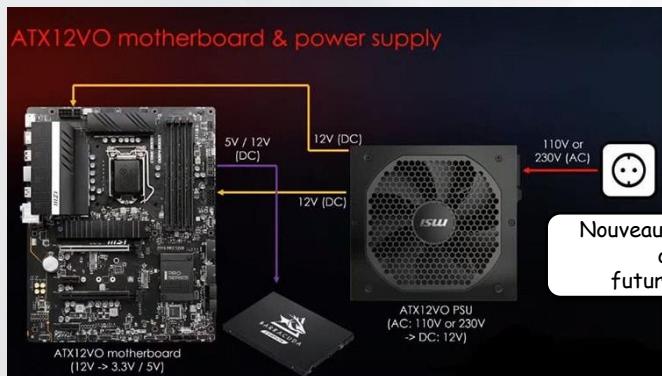
Un bon ventilateur, ça coute entre 15 et 25 €...

Une vraie alimentation 500W 80 Plus Bronze de qualité ça coute +/-60€

Positionnement de l'alimentation



Nouvelle norme ATX12VO



- Nouveau "standard" (2022 ?)
- L'alimentation ne délivre plus que du 12V
- Nouveaux connecteurs (carte mère)
- Transformateur 12V-5V sur la carte mère...
- Utilité : meilleurs rendements de l'alimentation pour les faibles charges

Chapitre 7

LE PROCESSEUR GRAPHIQUE (GPU)

Le processeur graphique (GPU : Graphics Processing Unit)

Intermédiaire entre ordinateur et écran

Décharge le plus possible le CPU des calculs d'affichage

Accélère les calculs graphiques

Le composant le plus important pour les performances en 3D

Pour les PC, principalement 3 constructeurs :

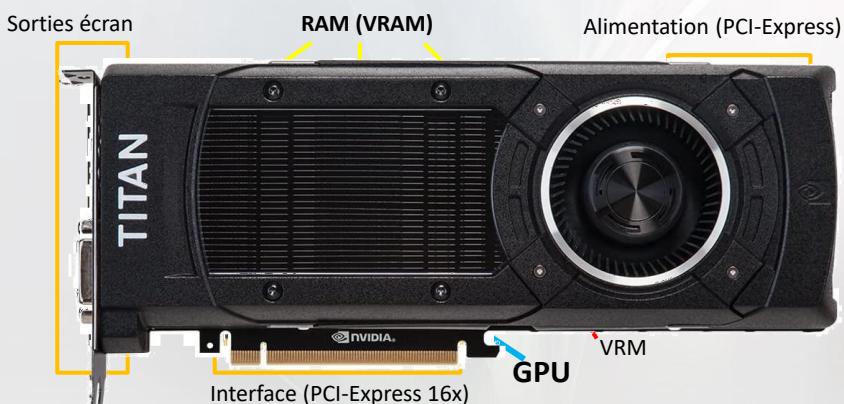


Également utilisé comme **coprocesseur de calcul** (exemple : calcul scientifique)

Formes de GPU

- **Intégré au CPU** (peu performant) :
 - On parle d'**IGP** (Integrated Graphics Processor) pour les tout petits GPU
 - ou d'**APU** (Accelerated Processing Unit) pour les petits GPU
 - ou de **SoC** (System on Chip) quand le CPU contient également tout le reste (carte son, wifi, gestion des SSD, etc.), comme c'est le cas pour les smartphones et tablettes.
- **Soudé sur la carte mère** :
 - portables et certains serveurs
- **Sur une carte graphique** :
 - Discrete/Dedicated GPU

La carte graphique



1. Le GPU

2. La bande passante mémoire (Go/s)

3. Consommation (TDP vs TGP)

4. Système de refroidissement

5. Connectique et dimensions

6. Quantité de mémoire

7. Support logiciel

8. Interface



1. Le GPU

2. La bande passante mémoire (Go/s)

3. La quantité de mémoire

4. Interface

5. Support logiciel

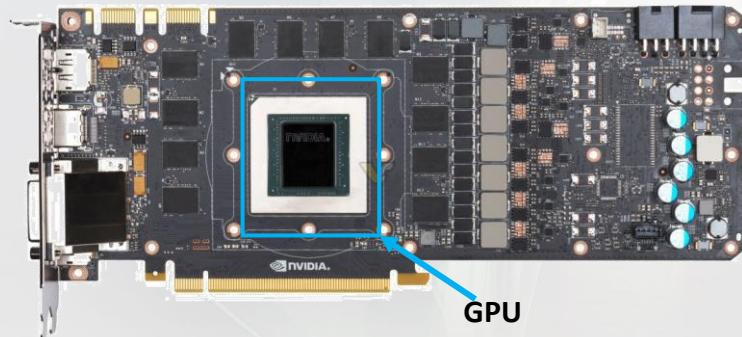
6. Consommation (TDP vs TGP)

7. Système de refroidissement

8. Connectique et dimensions



Le GPU



Caractéristiques du GPU

GPU : GeForce RTX 3070

Référence	GA104-300
Microarchitecture	Ampère
Finesse de gravure	8 nm
Processeurs de flux	5888
Unités FP64*	184
TMUs	184
ROPs	96
RT Cores**	46
Tensor Cores**	184
Fréquence de base	1500 MHz
Fréquence de boost	1725 MHz
Mémoire cache*	L1 : 46 x 128 Ko L2 : 4Mo

<- Effectuent la majorité des calculs

<- Pour le calcul scientifique (double précision)

<- Texturing Memory Units

<- Raster Operations Pipelines

<- servent à accélérer les calculs de type Ray Tracing

<- servent à accélérer les calculs d'IA

* Rarement indiqué

** Optionnel

GPU : puissance de calcul théorique

Idem CPU :

$$FLOPS = \text{nombre coeurs} * \text{fréquence} * \frac{FLOP}{cycle}$$

Cette mesure peut être effectuée sur des nombres flottants de :

8 bits	(principalement utile en IA)	<- Tensor Cores
16 bits	(principalement utile en IA)	<- Tensor Cores / Processeurs de flux
32 bits	(taille par défaut utile en 3D)	<- Processeurs de flux
64 bits	(calcul scientifique)	<- Tensor Cores / Unités FP64

GPU : puissance de calcul

$$FLOPS = \text{nombre coeurs} * \text{fréquence} * \frac{FLOP}{cycle}$$



GPU : GeForce RTX 3070

Microarchitecture	Ampère
Processeurs de flux	5888 (2 FP32/cycle)
Unités FP64	184 (1 FP64/cycle)
Fréquence de boost	1725 MHz

$$FLOPS_{FP32} = 5888 * 1.725 \text{ GHz} * 2 = 20\,314 \text{ GFLOPS}$$

$$FLOPS_{FP64} = 184 * 1.725 \text{ GHz} * 1 = 317 \text{ GFLOPS}$$

GPU : Tesla V100S

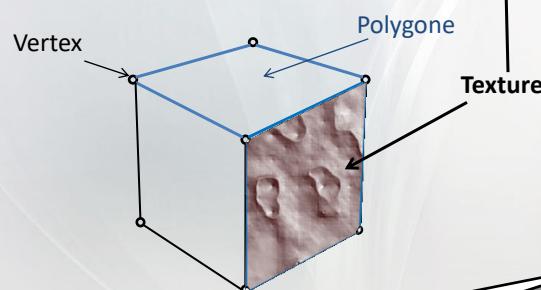
Microarchitecture	Volta
Processeurs de flux	5120 (2 FP32/cycle)
Unités FP64	2560 (2 FP64/cycle)
Fréquence de boost	1597 MHz

$$FLOPS_{FP32} = 5120 * 1.597 \text{ GHz} * 2 = 16\,353 \text{ GFLOPS}$$

$$FLOPS_{FP64} = 2560 * 1.597 \text{ GHz} * 1 = 8\,177 \text{ GFLOPS}$$



GPU : Texturing Memory Unit



N'est plus réellement un critère de choix important



GPU : Raster Operations Pipelines

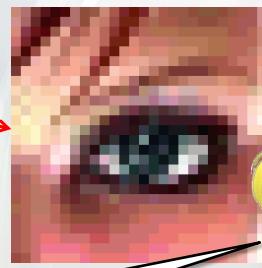
Image vectorielle

Résultat du calcul 3D



Image matricielle

Grille de pixels destinée à
être affichée sur l'écran



N'est plus réellement un critère de choix important



GPU : Ray Tracing Core

Unités servant à accélérer les calculs graphiques de type ray-tracing

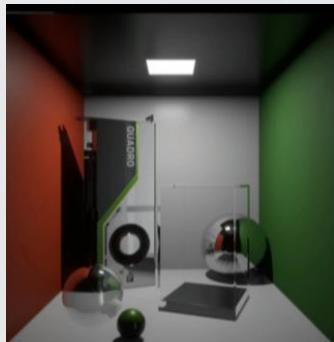


Image "Rasterisée"

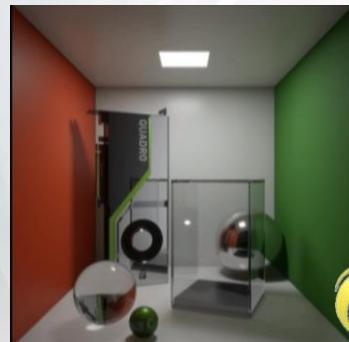


Image "Ray-Tracée"



En l'absence de RT Core, les rendus "Ray-Tracés" sont extrêmement lents à calculer

GPU : Tensor Core

Unités servant à accélérer les calculs d'IA

Utilité en 3D : diminuer le temps des rendus (ex : DLSS)

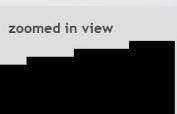


Image 1080p



Rendu calculé
en 2160p*



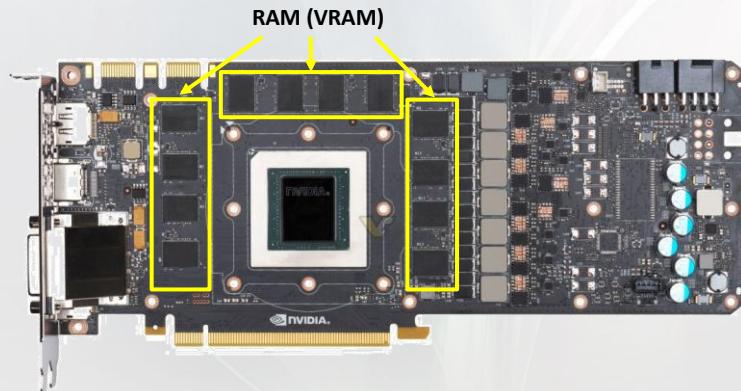
Rendu calculé
en 540p**

* Tous les algorithmes d'anti-aliasing ne font pas forcément de l'oversampling

** Il existe différents degrés d'undersampling pour le DLSS

FireidelityFX Super Resolution relativement comparable au DLSS mais ne requiert pas de Tensor Core

La mémoire graphique



La quantité de mémoire dédiée

Caractéristique la plus surestimée (piège commercial en vue)

C'est comme pour le CPU, avoir plus de RAM n'accélère rien.
C'est "ne pas en avoir assez" qui ralenti tout.

Avec les cartes actuelles, il n'est pas possible d'ajouter de la (V)RAM

Scènes 3D d'une définition élevée
Nombreuses textures différentes à charger
Textures de haute définition

GPU dédiées aux calculs (scientifique, IA, etc.)

Besoin de beaucoup de mémoire graphique

Jeux vidéo en 4K
Rendus professionnels

La quantité de mémoire dédiée

Normalement, les fabricants installent suffisamment de mémoire par rapport aux performances du GPU

En 2021, pour la 3D temps réel, voilà ci-dessous une estimation des besoins en mémoire

Définition	Quantité Min	Quantité OK	Quantité Relax
1920 x 1080 (FullHD, 1080p)	3 Go	6 Go	8 Go
2560 x 1440 (QHD, WQHD, 1440p)	6 Go	8 Go	10 Go
3840 x 2160 (UHD, 4K, 2160p)	8 Go	12 Go	16 Go



La bande passante mémoire

Caractéristique la plus sous-estimée (piège commercial en vue)

Les GPU peuvent avoir des milliers de coeurs de calculs,
il faut donc pouvoir alimenter ces coeurs en données.



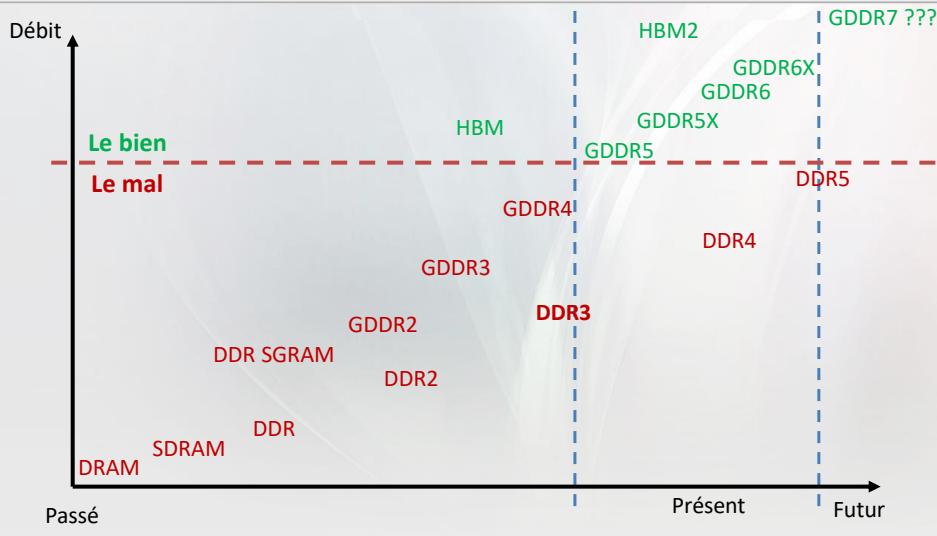
Gros besoins en bande passante mémoire !

Types de mémoire -> Fréquence de fonctionnement

Fréquence de fonctionnement x largeur de bus = **bande passante mémoire**

Type de mémoire

HBM3 ???



Exemples

$$\text{Bandé passante en octets par seconde} = \text{Fréquence logique} * \frac{\text{bus en bits}}{8}$$

Type	Fréquence*	Coefficient	Fréquence logique	Bus	Bandé passante
DDR3	1250 MHz	2	2500 MHz	64 bits	20 Go/s
GDDR5	1500 MHz	4	6000 MHz	384 bits	288 Go/s
GDDR5X	1200 MHz	8	9600 MHz	384 bits	460 Go/s
GDDR6	1750 MHz	8	14000 MHz	256 bits	448 Go/s
GDDR6	1500 MHz	8	12000 MHz	384 bits	768 Go/s
GDDR6X	1200 MHz	16	19200 MHz	256 bits	614 Go/s
HBM	500 MHz	2	1000 MHz	4096 bits	512 Go/s
HBM2	1000 MHz	2	2000 MHz	4096 bits	1024 Go/s

Ce tableau n'est pas exhaustif

*Il arrive que le constructeur annonce la fréquence logique à la place de la fréquence réelle

*Depuis peu, les constructeurs remplacent la notion de fréquence logique, par un débit par pin exprimé en Gbps : 19,2 Gbps pour la GDDR6X du tableau

Les pièges commerciaux !

2 cartes avec le même GPU :

- une carte avec 1Go de RAM pour 90€
- une carte avec 2 Go de RAM pour 85€

	HD 7750 GDDR5	HD 7750 DDR3
GPU	Cape Verde	Cape Verde
Procédé de fabrication	28 nm	28 nm
Unités de calcul	512 scalar	512 scalar
Unités de texturing	32	32
ROPs	16	16
Fréq. GPU (MHz)	800	800
Débit de triangles (Mtris/s)	800	800
Fillrate (Gpixels/s)	12.8	12.8
Débit de MADs SP (Gflops)	819	819
Débit de filtrage (Gtexels/s)	25.6	25.6
Fréq. mémoire (MHz)	1125	800
Taille mémoire (Mo)	1024	2048
Bus mémoire (bits)	128	128
BP mémoire (Gio/s)	67.1	23.8
Direct3D	11.1	11.1
Prix	90 €	85 €

Choix facile !!!

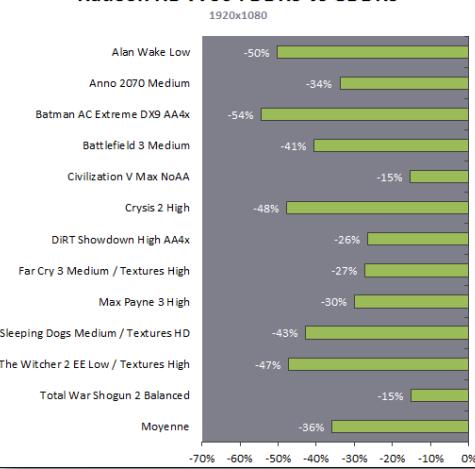


Tu crois pas
que ça cache un truc ?

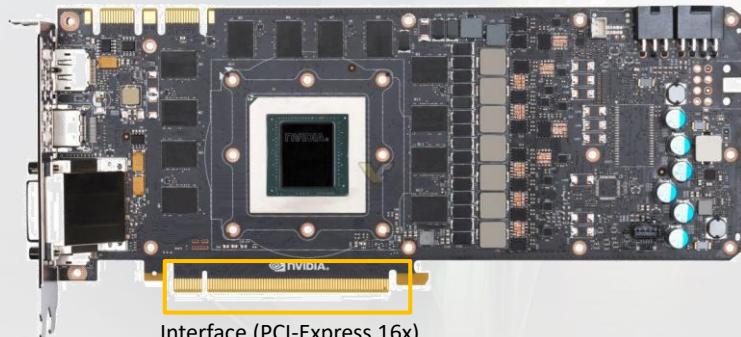
Regarde les bandes
passantes mémoire...

Et ?

Radeon HD 7750 : DDR3 vs GDDR5



L'interface



L'interface

Également appelé : **bus graphique** (ne pas confondre avec le bus mémoire)

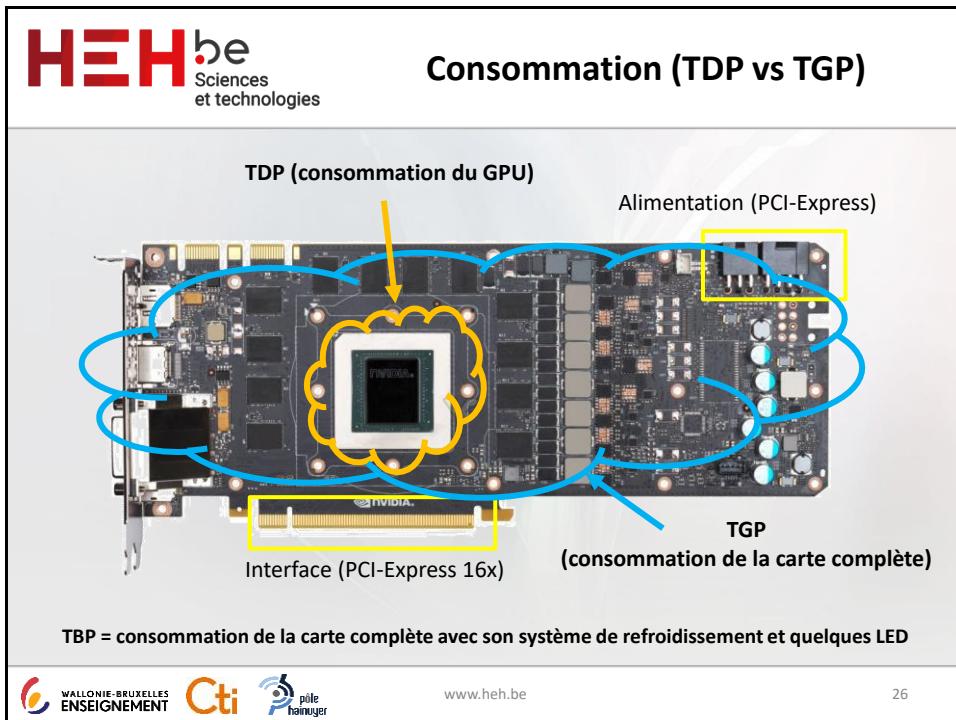
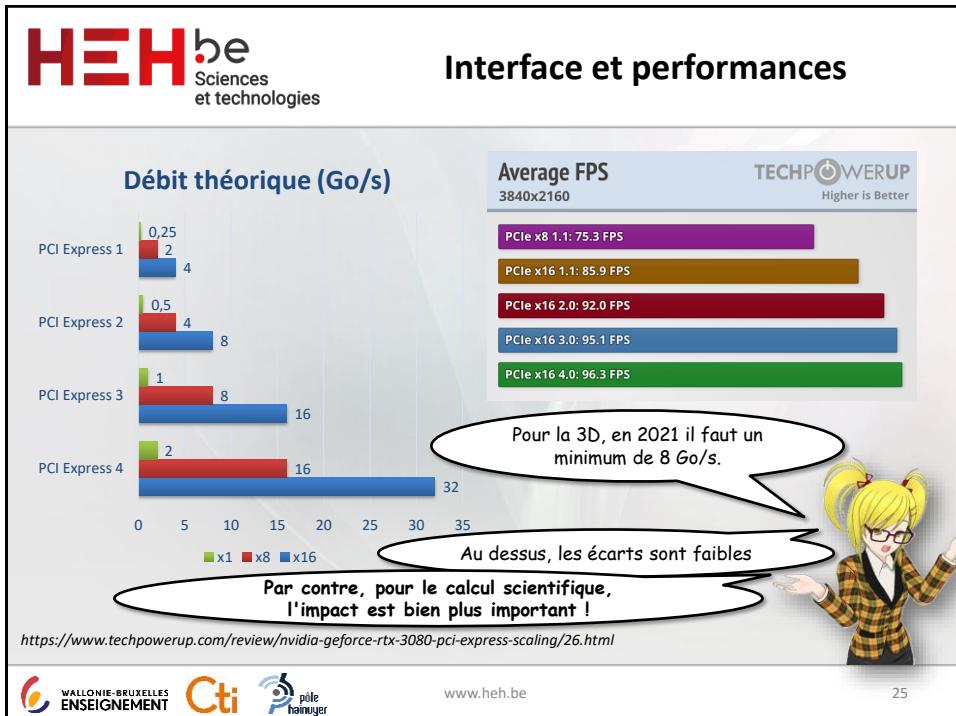
En général : PCI-Express x16, en version 1,2,3 ou 4

Ces versions sont compatibles, seul le débit change
(voir chapitre 5 sur les cartes mères)

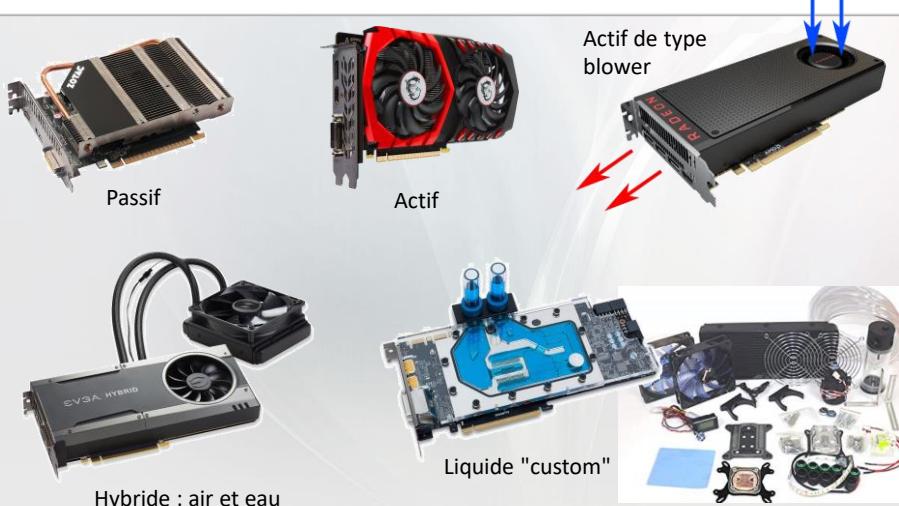
Il existe des cartes graphiques en PCI-Express x1 & x8
(souvent des petites cartes d'appoint
pour connecter plus d'écrans à une machine)



Interface et performances

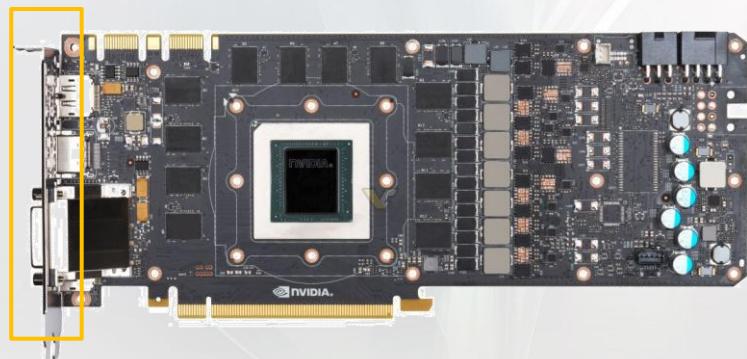


Refroidissement



Connectique

Sorties écran



Les sorties graphiques

VGA



Analogique et images floues en HD

DVI



HDMI



DisplayPort



Numérique

+ son

Différentes
versions ...

*Versions physiquement compatibles mais...
avec des limites de définition et de fréquence de rafraîchissement...
en fonction de la version du GPU, du câble et de l'écran ...*

Systèmes à plusieurs cartes

**Cumuler la puissance de calcul de plusieurs cartes graphiques
pour accélérer ses jeux...**

- La carte mère doit disposer d'autant de connecteurs qu'il y a de cartes
- La carte mère doit être compatible avec cette fonctionnalité
- Les cartes doivent être compatibles entre-elles

Chez nVidia : SLI

Chez AMD : Crossfire



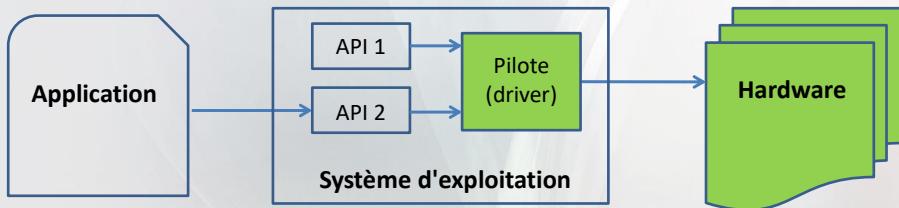
2 cartes combinées n'offrent pas 2 fois les performances d'une seule carte :

- elles s'en approchent dans certains cas
- le gain peut être négatif dans d'autres
- le prix est toujours double !



Par contre, pour le calcul sur GPU, un système à plusieurs cartes fait sens

Ensemble de fonctions, procédures ou classes mises à disposition des programmes informatiques par une bibliothèque logicielle indispensable à l'interopérabilité entre les composants logiciels



API graphiques : OpenGL v... , DirectX v... et Vulkan v...

API de calcul : OpenCL v... & CUDA v...

(1) Les GPU grand public

Les cartes et les drivers graphiques sont :

- optimisés pour le jeu vidéo
- très bridés pour les logiciels professionnels (Maya, Catia, etc.)

(2) Les GPU pour l'imagerie professionnelle

Les cartes et les drivers graphiques sont :

- non optimisés pour le jeu vidéo (mais performances OK)
- optimisés pour les logiciels professionnels (Maya, Catia, etc.)

(3) Les GPU dédiés au calcul

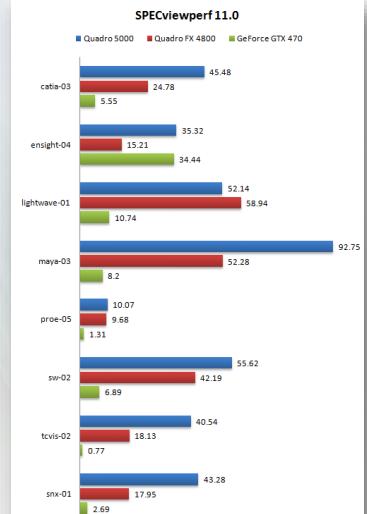
Absence de sortie écran et ne sert qu'aux calculs



Le bridage des cartes grand public

Carte	Quadro 5000	Quadro FX 4800	GTX 470
Pro ?	Oui	Oui	Non
Cœurs	352	192	448
GFLOPS	720	460	1166
RAM	2,5 Go	1,5 Go	1,3 Go
Bus	320 bits	384 bits	320 bits
BP	120 Go/s	77 Go/s	134 Go/s
Prix*	5000 €	2000 €	300 €

* À l'époque de ces modèles (2010)

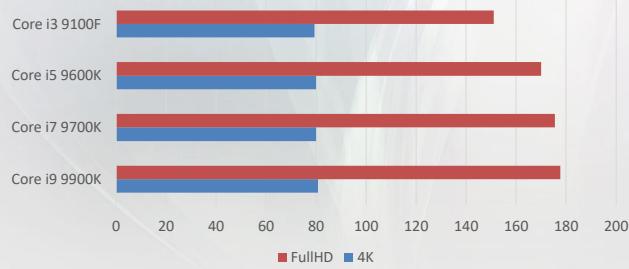


Importance du CPU

C'est le CPU qui donne les ordres au GPU

Plus la définition est élevée, plus le GPU à besoin de temps pour calculer

Moyenne de FPS en jeu (RTX 2080 Ti)



<https://www.techpowerup.com/review/amd-ryzen-9-5900x/16.html>

Chapitre 8

LES BOITIERS

Types de boitiers (1)

Mini PC (format mini-iTX) :



MicroATX Case

ATX Case

EATX Case

Mini Tower (micro-ATX) :



Mid Tower :

Full (Maxi ou Big) Tower :

Types de boitiers (2)

Barebone (Intel NUC) :



Desktop :



Rack 19" :



Hors norme :



Importance d'un "bon" boitier

Modularité

Connectivité

Ventilation

Nuisance sonore

Look



Modularité

Formats acceptables pour la carte mère (ATX, micro-ATX, etc.)

Nombre d'emplacements :

- 2,5" (SSD)
- 3,5" internes (HDD) et 3,5" externe (Floppy, SD-reader, etc.)
- 5,25" internes (rien) et 5,25" externe (DVD, Blu-Ray, rhéobus, etc.)

Espace suffisant pour :

- alimentation de taille exotique ?
- carte graphique de grande taille ?
- Ventirad (hauteur) ou watercooling ?

Connectivité

Les fiches en façade :

- USB 2 ou 3 ou type C
- Audio
- Firewire
- eSATA



Le boîtier ne fournit que la connectique :

- ne pas oublier de câbler ces fiches à la carte mère
- ... à condition que la carte mère le permette...

Nuisances sonores

Sources de nuisances sonores :

- ventilation :

- qualité des ventilateurs
- thermorégulation
- matériaux utilisés
- revêtement de réduction acoustique (pas courant)

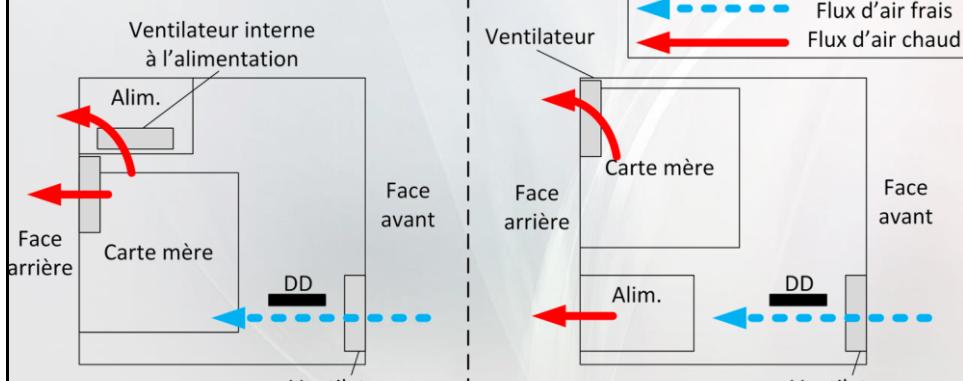
- vibrations :

- qualité d'assemblage
- fixation des disques durs et ventilateurs

- Avec un PC silencieux vous pourrez entendre le coil whine

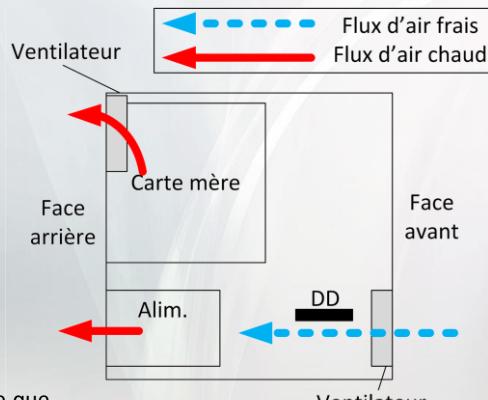


Ventilation (1)



Il est préférable de placer l'alimentation en bas

Ventilation (2)



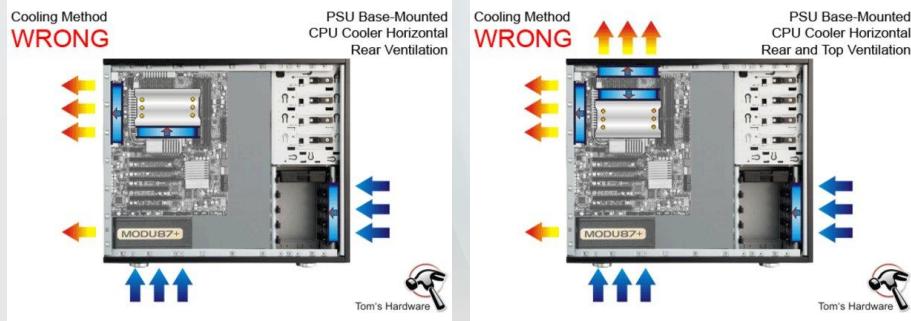
En position basse, il est préférable que l'alimentation aspire l'air en bas plutôt qu'en haut.

... à condition que le boîtier le permette

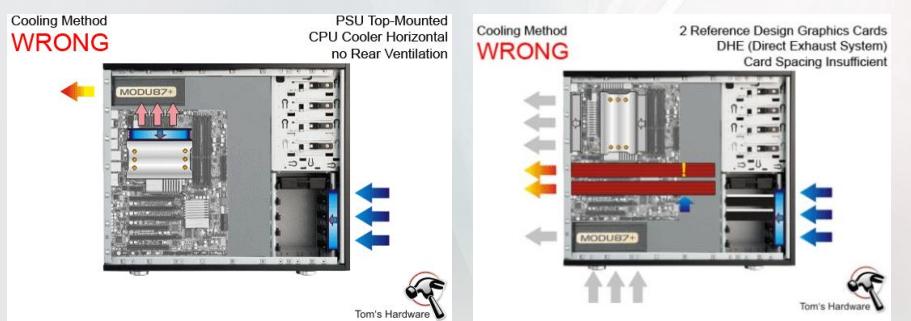
Filtres



Erreurs courantes (1)



Erreurs courantes (2)



Les ventilateurs

Dimension (mm) : **80, 92, 120, 140, 200**

Vitesse de rotation mini/maxi (rpm)

Débit d'air mini/maxi (CFM) <- à favoriser pour la ventilation d'un boîtier

Pression statique (mm H₂O) <- à favoriser pour la ventilation d'un radiateur

Niveau sonore maxi (dB)

Type de roulement (à bille, hydraulique, magnétique)

Favoriser la régulation PWM

Connectique

Leds (RGB ?)



Positionnement d'un échangeur Air/Eau

Les circuits ne sont pas remplis à 100% d'eau

Il faut éviter que les bulles d'air soient piégées dans la pompe

De nombreux PC tout assemblés ne respectent pas ce principe...



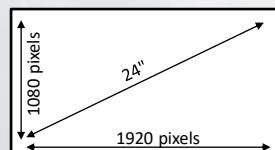
Schéma valable
quand la pompe est
dans cette partie



Chapitre 9

LES ÉCRANS

L'écran



la taille et la définition ne sont pas les seuls paramètres

L'écran est sans doute l'élément le plus important

... et souvent négligé ...

Certaines marques conçoivent et réalisent eux-mêmes leurs produits

(Samsung, LG, etc.)

alors que d'autres se contentent de leur racheter les matrices LCD/OLED

(Hisense, Philips, etc.)

Chapitre 9

LES ÉCRANS LCD (TFT, LED)

LCD : fonctionnement

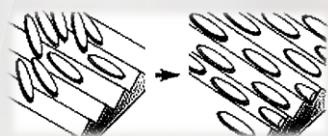
repose sur deux principes de ces matériaux très particuliers :

Les rayons lumineux qui les traversent s'alignent sur la direction dans laquelle sont orientées leurs molécules.

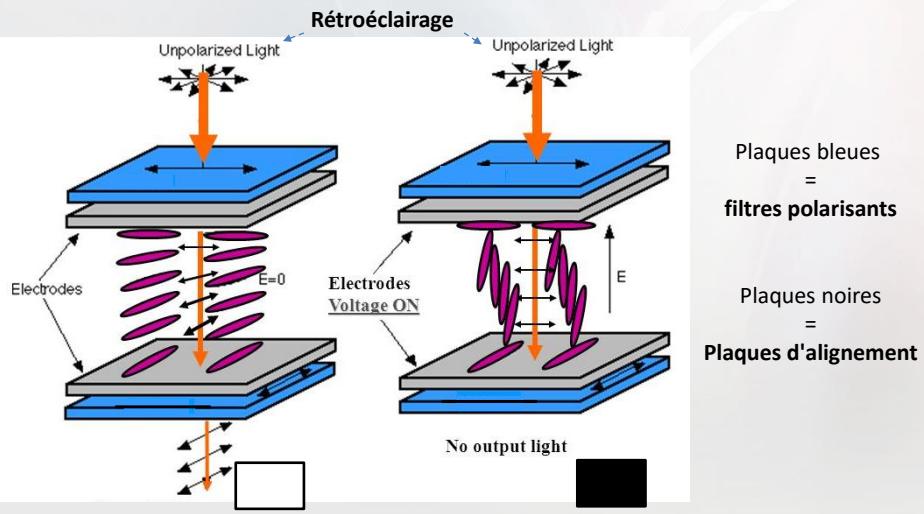
Lorsque les molécules sont parcourues par un courant électrique, les molécules s'alignent dans le sens du courant

Pour maîtriser l'orientation des cristaux liquides, il faut connaître l'orientation initiale

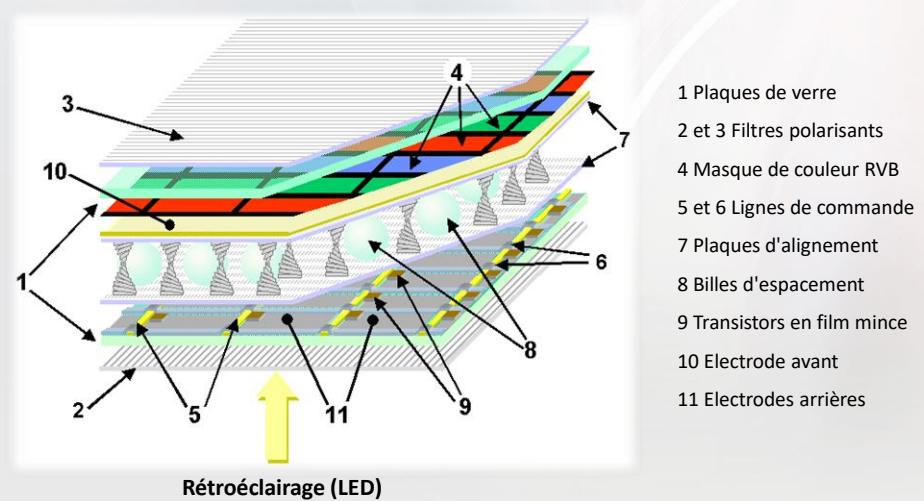
des **plaques d'alignement** avec de micros-sillons.
les molécules s'alignent sur la direction des sillons.



LCD : fonctionnement (matrice passive = la préhistoire)



LCD : fonctionnement (matrice active = TFT)



Caractéristiques de base

Taille (diagonale en ")

Définition en pixels (L x H)

HD	= 1280 x 720	= 720p	format 16/9
FullHD	= 1920 x 1080	= 1080p	format 16/9
QHD	= 2560 x 1440	= 1440p	format 16/9
UHD	= 3840 x 2160	= 2160p	format 16/9
4K	= 4096 x 2160	= 2160p ...	format 17/9
8K	= 7680 x 4320	= 4320p	format 16/9

Luminosité (cd/m²) : critère important si la luminosité ambiante est élevée

Taux de contraste (ratio) : rapport d'intensité lumineuse entre blanc et noir (attention tricheries)

Fréquence de rafraîchissement

Temps de réponse (attention tricheries)

Type de dalle

La 4K c'est pour
les nazes !
Moi j'ai du 8K

Ok et t'es assise
à quelle distance
de ta télé 65" ?

L'importance de la distance

<https://stari.co/tv-monitor-viewing-distance-calculator#note-107-1>

Viewing Distance Calculation

Screen Size	Resolution (W)	Resolution (H)
65	7680	4320

Update Data

Display details:

- Screen Diagonal: 65 inches
- Screen Resolution: 7680 x 4320
- Screen Width: 56.7" (143.9 cm)
- Screen Height: 31.8" (80.9 cm)
- Aspect Ratio: 1.78:1 (16:9)
- Dot Pitch: 0.007" (0.188 mm)
- PPI: 135.56 PPI

Minimum distance^[1] Pour voir toute l'image (FOV 70°)
1.03 m (3.4 ft)

Maximum distance^[2] Juste une recommandation (FOV 26°)
2.77 m (9.1 ft)

Visual Acuity distance^[3] À partir de cette distance,
0.61 m (2.0 ft) on ne distingue plus les pixels

1,22m pour un 4K 65"

Rétroéclairage



- 1 EDGE LED : Les LED sont placées sous le contour de l'écran et éclairent une plaque photoconductrice qui propage la lumière dans la dalle
- 2 FULL LED : Les LED sont placées sous toute la surface de l'écran. Luminosité et contraste plus uniforme.
- 3 FULL LED + LOCALDIMMING : Identique au Full LED avec en plus la capacité à traiter la luminosité des LED par zone. Le contraste en est amélioré.

Permet des taux de contrastes élevées mais non uniformes...

Mini-LED (Neo LED) = FULL LED mais avec encore plus de LED (plus de zones)

En fonction de la marque, ces technologies peuvent porter des noms différents...

Le taux de rafraîchissement

Fréquence à laquelle les images sont renouvelées

Du temps des tubes cathodiques
une fréquence de rafraîchissement > 75 Hz
était nécessaire pour avoir un certain confort



Avec les écrans actuels (LCD) 50 Hz (TV) ou 60 (PC) Hz sont bien suffisants car
il n'y a plus d'effet de clignotement (en théorie)

- De nombreux rétroéclairages LED clignotent à haute fréquence
La fonction **flicker-free** permet d'éviter ce phénomène
- Les écrans à f. de rafraîchissement élevée (> 100Hz) font volontairement
clignoter le rétroéclairage pour augmenter la fluidité (black frame insertion).

Temps de réponse (1)

*temps qu'il faut pour que les cristaux changent d'orientation, pour bloquer
le passage de la lumière, et reviennent dans leur position d'origine*

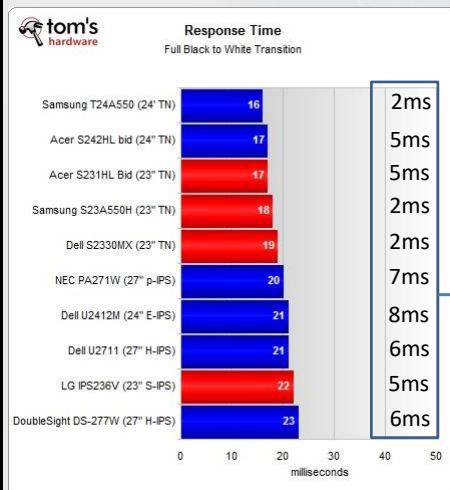
Temps de réponse des LCD : de 20 ms à 0,1 ms



Un temps de réponse court permet d'atténuer l'effet de trainée fantôme et
le flou pour les images en mouvement (jeux et films)

ATTENTION aux temps de réponse annoncés

Temps de réponse (2)



Ce n'est pas le temps noir à noir (noir-blanc-noir) qui est annoncé mais le temps de réponse gris à gris (gris-blanc-gris)

En plus, certains constructeurs utilisent des parades pour fausser les mesures (overdrive, dithering, etc.)

Temps annoncés



Types de dalles

Type de dalle	TN	VA	IPS
Rendu des couleurs	de mauvais à moyen	bon	de bons à très bons
Contrastes	de mauvais à moyens	de bons à très bons	de moyens à bons
Temps de réponse	de moyens à très bons	de mauvais à presque bons*	de mauvais à bons
Angles de vision	mauvais	de moyens à bons	très bons
Prix	le moins cher	moyen	plus cher



Si pas trop regardant sur la qualité d'image

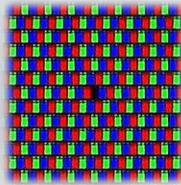


* Les temps de réponses pour les transitions sombres sont mauvais

Les pixels morts

les écrans LCD sont fragiles et il arrive que certaines matrices soient commercialisées avec des pixels défectueux.

lorsque un ou plusieurs transistors ne fonctionnent pas.



Ils (ne) laissent alors (pas) la lumière passer en permanence
Il en résulte un pixel qui est toujours allumé ou éteint.

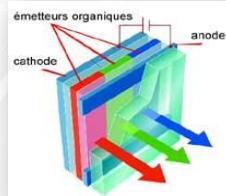
Chapitre 9

LES ÉCRANS OLED

OLED

Organic Light-Emitting Diode

reposent sur une à plusieurs fines couches de matière organique entourées par une cathode et une anode.



Sous l'action d'un champ électrique faible, un photon est émis

Pas besoin de rétro-éclairage : la couche organique produit sa propre lumière.

→ Le noir est **parfaitement** noir

OLED vs LCD

Type de dalle	TN	VA	IPS	OLED
Rendu des couleurs	de mauvais à moyen	bon	de bons à très bons	excellent
Contrastes	de mauvais à moyens	de bons à très bons	de moyens à bons	parfait
Temps de réponse	de moyens à très bons	de mauvais à presque bons	de mauvais à bons	excellent
Angles de vision	mauvais	de moyens à bons	très bons	excellent
Prix	le moins cher	moyen	plus cher	cher



Donc tout est meilleur en dehors du prix ?

Non



Les écrans OLED :

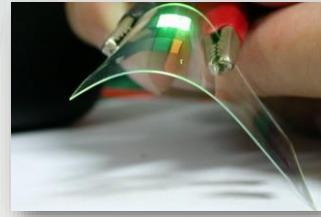
- sont moins lumineux
- ont une durée de vie plus courte
- sont sensibles au burn-in

Burn-in



19

Possibilités



20

Pfff c'est
dépassé l'OLED !
Il y a le QLED
maintenant !

Encore une victoire pour
nos chers marketeux

21

Le QLED

QLED = Quantum LED

Sauf... qu'un écran QLED ne contient aucune Quantum LED...

Un écran QLED =

Ecran LCD classique...

avec un rétroéclairage bleu
et un filtre de couleur utilisant des tube "Quantum Dots"
ce qui améliore les couleurs par rapport à un LCD de base...



Marketeux

Mmmmm... il y a donc des LEDs dans
l'écran + un Qtruc... mmm...
va pour **QLED** !

Mais vous ne pouvez pas... vous
avez déjà déposé le nom QLED
pour les LED quantiques

M'en tape ! Les gens verront pas la diff !



22

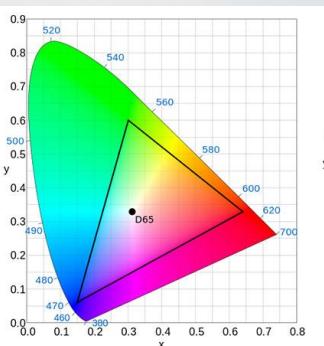
Chapitre 9

TECHNOLOGIES BONUS

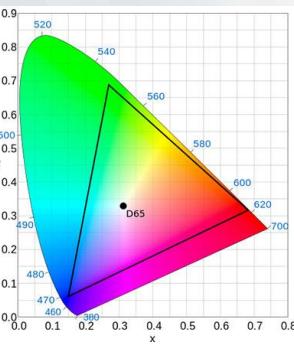
23

Dalles 8, 10 et 12 bits

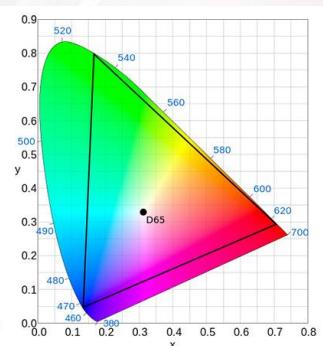
Espaces colorimétriques



Rec.709 8 bits



DCI-P3 10 bits



Rec.2020 10 bits

24

HDR : High Dynamic Range

Amélioration dynamique des contrastes

Un affichage non HDR est dit SDR (Standard Dynamic Range)

Nécessite une dalle 10 bits

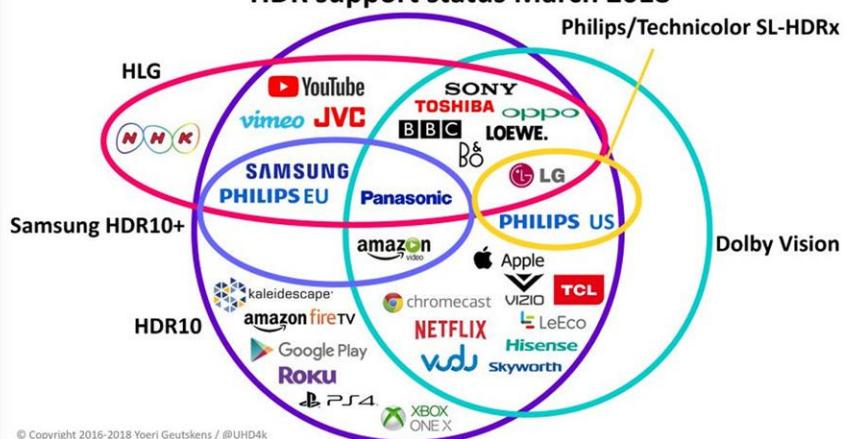
Comme pour le nombre de bits des dalles, toute la chaîne doit être compatible
(de la source jusqu'à l'écran)

Il existe plusieurs normes :

- HDR10 : réglage automatique lié à l'entièreté d'une séquence
- HDR10+ : idem mais scène par scène
- Dolby Vision : idem HDR10+ mais propriétaire
- Etc.

Normes HDR

HDR support status March 2018



© Copyright 2016-2018 Yoeri Geutskens / @UHD4k

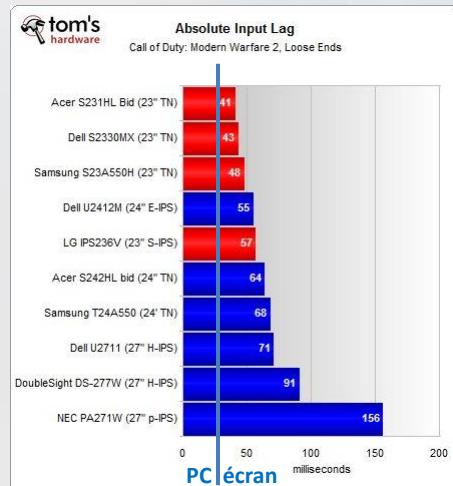
SDR vs HDR(10+)



Retard à l'affichage (input lag)



Retard à l'affichage (input lag)



$$\begin{aligned} \text{Input lag absolu} &= \\ &\text{temps de calcul du PC} \\ &+ \\ &\text{temps d'affichage} \end{aligned}$$

Donnée rarement fournie
d'environ 2 à 200 ms

Dépend de l'électronique de l'écran
+ des différents post-traitements
appliqués à l'image

Certain écrans ont un mode "**low input lag**"
qui désactive les post-traitements

Taux de rafraîchissement dynamique

Varier le taux d'affichage de l'écran pour qu'il coïncide avec le nombre d'image/seconde que le PC arrive à calculer (n'est utile que pour les jeux vidéo)

L'avantage c'est quand les FPS sont :

- < la fréquence de rafraîchissement : meilleure impression de fluidité
- > la fréquence de rafraîchissement : pas de déchirure d'image

Inconvénient :

- Plusieurs normes de FreeSync et de Gsync
- Toute la chaîne doit être compatible
- Les écrans compatibles ne descendent pas toujours suffisamment bas en fréquence



Motion interpolation

Système présent dans de nombreux téléviseurs

Post-traitement qui a pour but de fluidifier les séquences vidéo

Séquence vidéo source :



Séquence vidéo affichée :
estimation des images intermédiaires



Ce système engendre des fois quelques artéfacts visuels

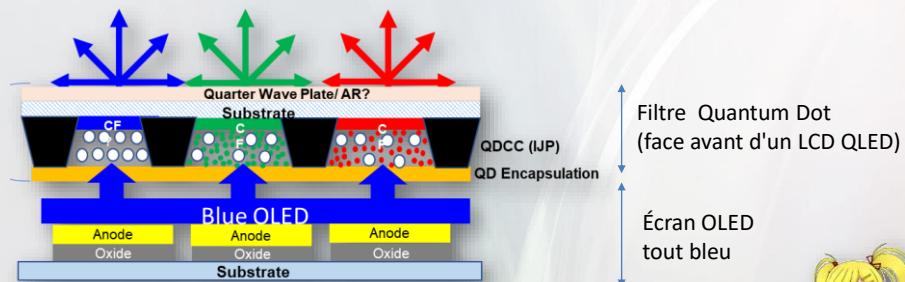
Notez qu'il y a des gens qui préfèrent les séquences à 24 FPS saccadées ...



Chapitre 9

NOS FUTURS ÉCRANS ?

Fusion de la technologie QLED (qui n'utilise pas de QLED) et OLED



Permet de fabriquer des écrans OLED pour moins chers tout en améliorant la luminosité

Ne résout pas les problèmes d'usure et de burn-in de l'OLED



Le futur, ce sera peut-être les écrans à base de QLED qui ne s'appelleront pas QLED...

Normal... les écrans actuellement appelés QLED n'utilisent pas de QLED...

Les QLED (Quantum LED) sont des LED suffisamment petites que pour être utilisées comme sous-pixel dans un écran



Ce sera juste une grosse plaque de LED en fait

Oui

Et l'avantage ?

C'est qu'il n'y a plus les défauts des technologies actuelles !



Il existe déjà une technologie assez proche :
Micro-LED (Crystal LED)

MicroLED / Crystal LED



Comme "le vrai QLED" mais avec des LED classique de très petite taille

Même avantages que les vraies QLED mais :

- Les LED sont encore "grosses" -> grands écrans

- 1000 € du pouce

→ Utilisé au cinéma



En résumé

Type de dalle	LCD			OLED	MicroLED
	TN	VA	IPS		
Pixel coupé	Blanc	Noir	Noir	Noir	Noir
Rendu des couleurs	de mauvais à moyen	bon	de bons à très bons	excellents	excellents
	Un peu meilleurs si QLED (et plus cher)				
Contrastes	de mauvais à moyens	de bons à très bons	de moyens à bons	parfaits	parfaits
	Un peu meilleurs si Miniled (et beaucoup plus cher)				
Temps de réponse	de moyens à très bons	de mauvais à presque bons	de mauvais à bons	excellents	excellents
Angles de vision	mauvais	de moyens à bons	très bons	excellents	excellents
Luminosité	très bonne	très bonne	très bonne	de mauvaise à moyenne	excellente
Burn-in	Non	Non	Non	Oui	Non
Prix	peu cher	moyen	plus cher	cher	Hors de prix