

Architecture de Ordinateurs

Module 6

Processeurs modernes

(processeurs d'usage général)

Dr. Yannick HERVE

V 1.2

Processeur I7 : naissance

Famille Intel

- 1978 : 1er processeur de la famille x86
- 1993 : 1er Pentium
 - Streaming SIMD Extensions (SSE) : jeu de 70 instructions supplémentaires x86 , 1999 sur le PIII
 - 8 registres 128 bits : 4 flottants même opérations
- 2000 : Pentium IV (XEON, 7ème génération)
- 2006 : 1er Core 2
- 2008 : 1er Core i7 (maintenant arrivée i9)

Intel® Pentium® 4 Processor

42,000K- 124,000K Transistors
122mm²

3 instructions per clock cycle

Pipeline Stages 31

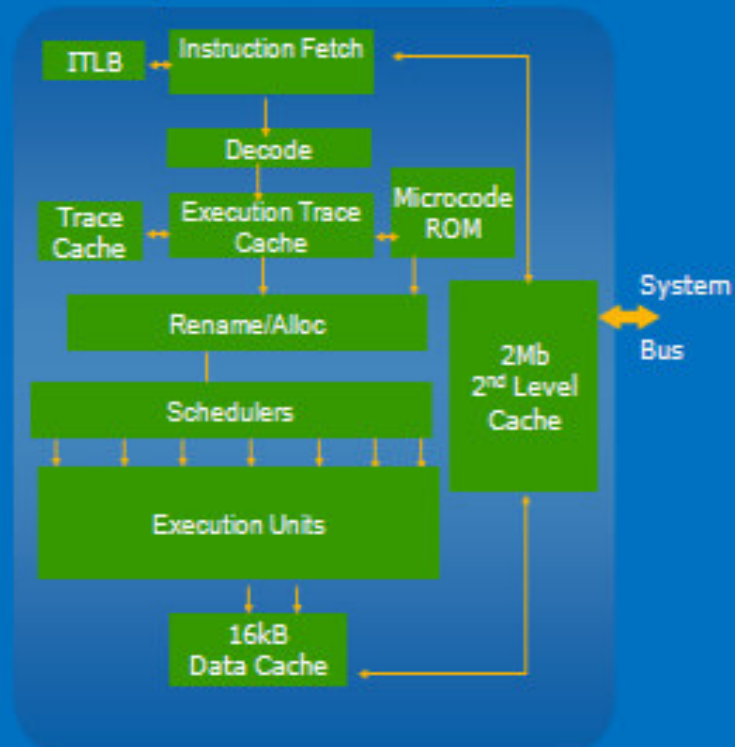
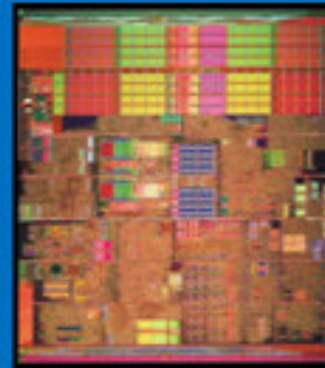
Intel® SSE2

SIMD Units 2 x 64-bits

Additions

64 bit capable, Intel® SSE3

SMT up to 2 threads per core



Intel® Core™ Micro-architecture

582,000K Transistors (Dual Core), 107mm²
820,000K Transistors (Quad Core) 214mm²

4 Instructions per clock cycle; 14 Stage Pipe,
Micro and Macro Fusion

Each core pair can access shared L2 cache

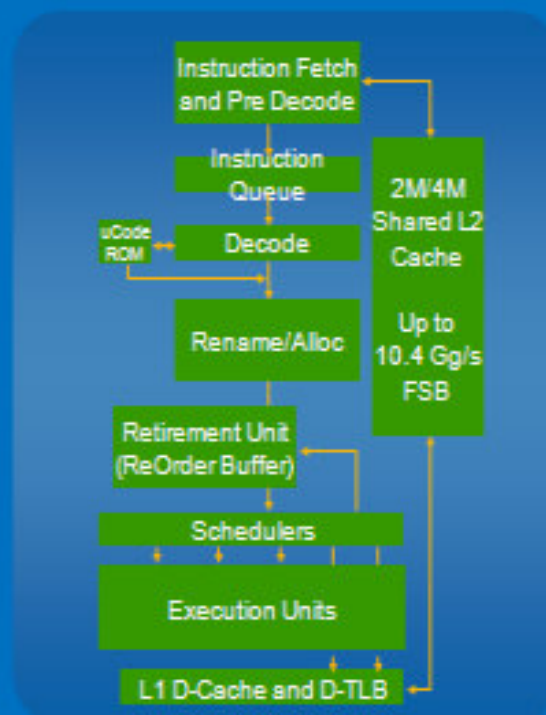
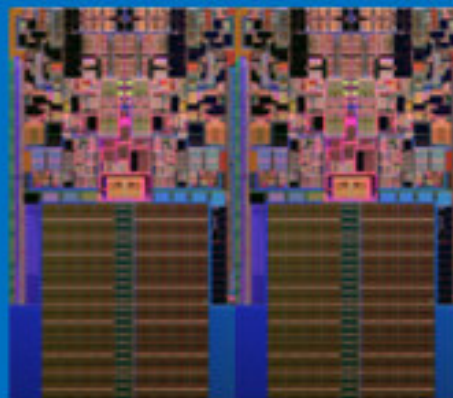
Thread per core 1
Up to 4 Cores

SIMD Units 3* 128 bit Single cycle SSE

45NM

New instructions SSE4

SIMD performance enhancements



'Each Core'

Intel® Core™ i7 architecture

731,000K Transistors (4 Core, 8 Thread)
263mm²

Simultaneous Multi-Threading/Threads per core 2
Up to 4 Cores in Desktop

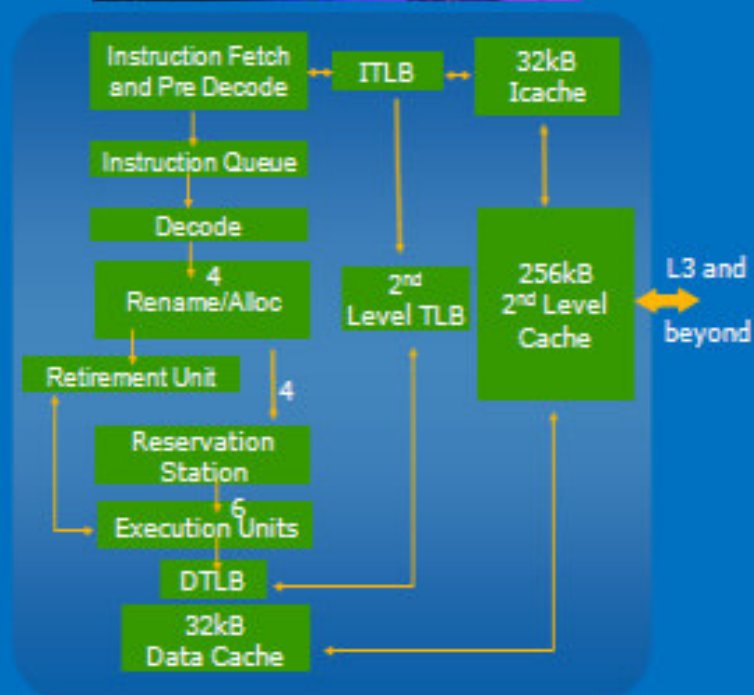
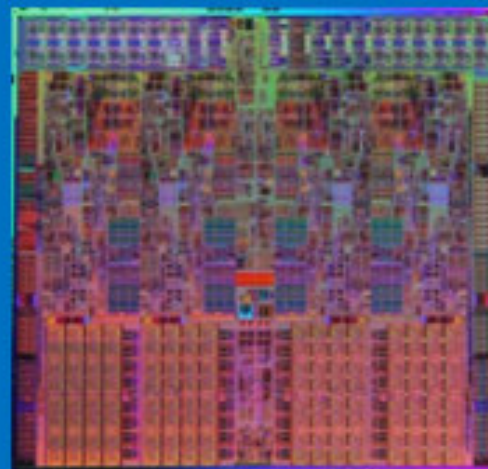
Additional Caching Hierarchy

4 instructions per clock cycle;
16 Stage Pipe, Enhanced Micro and Macro Fusion

Deeper Buffers

SIMD Units 3* 128 bit Single cycle SSE

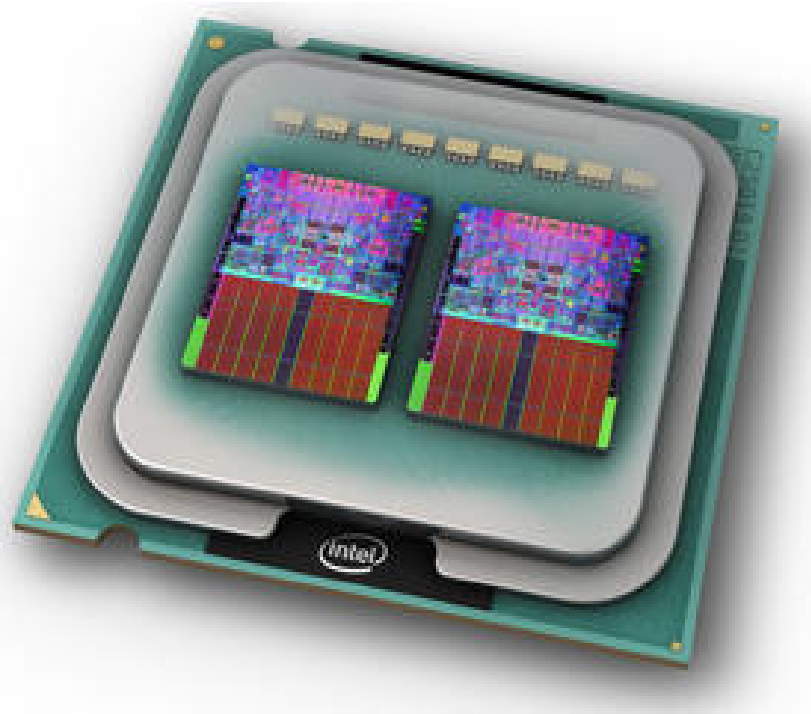
Macrofusion* in both 32-bit and 64-bit modes



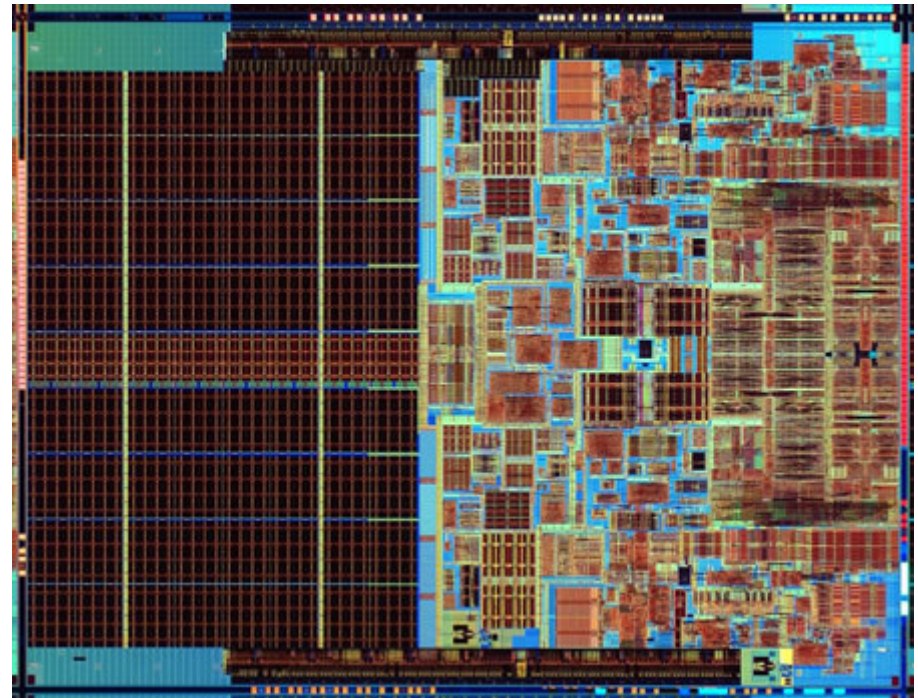
Processeur I7 : évolutions

- Fin du deux dies double-cœur (2 dies/2 cores)
- Retour du SMT/ HyperThreading
- Modification des caches
- Disparition goulot niveau mémoire IMC + QPI
- Turbo Boost

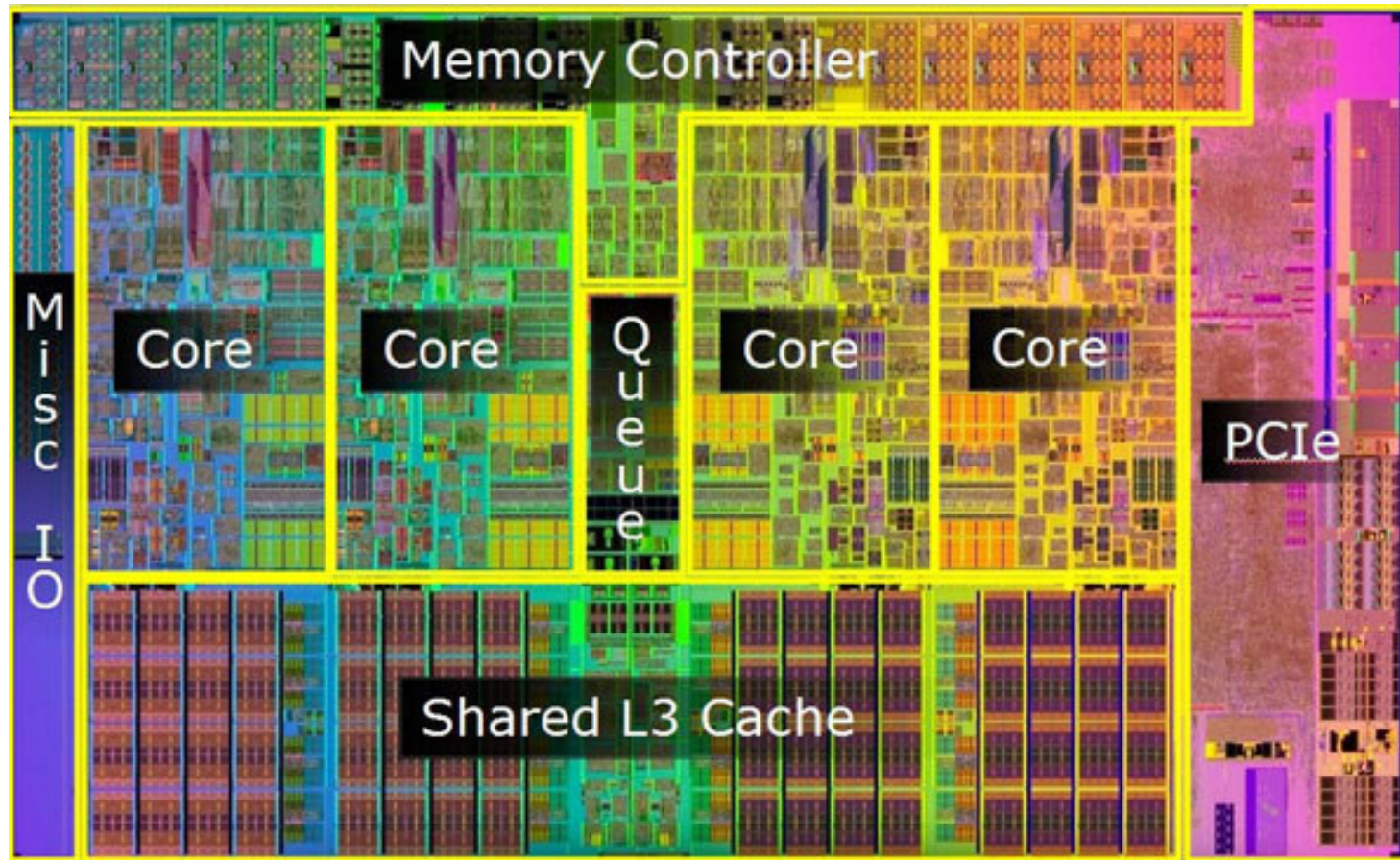
Double die – 4 cores



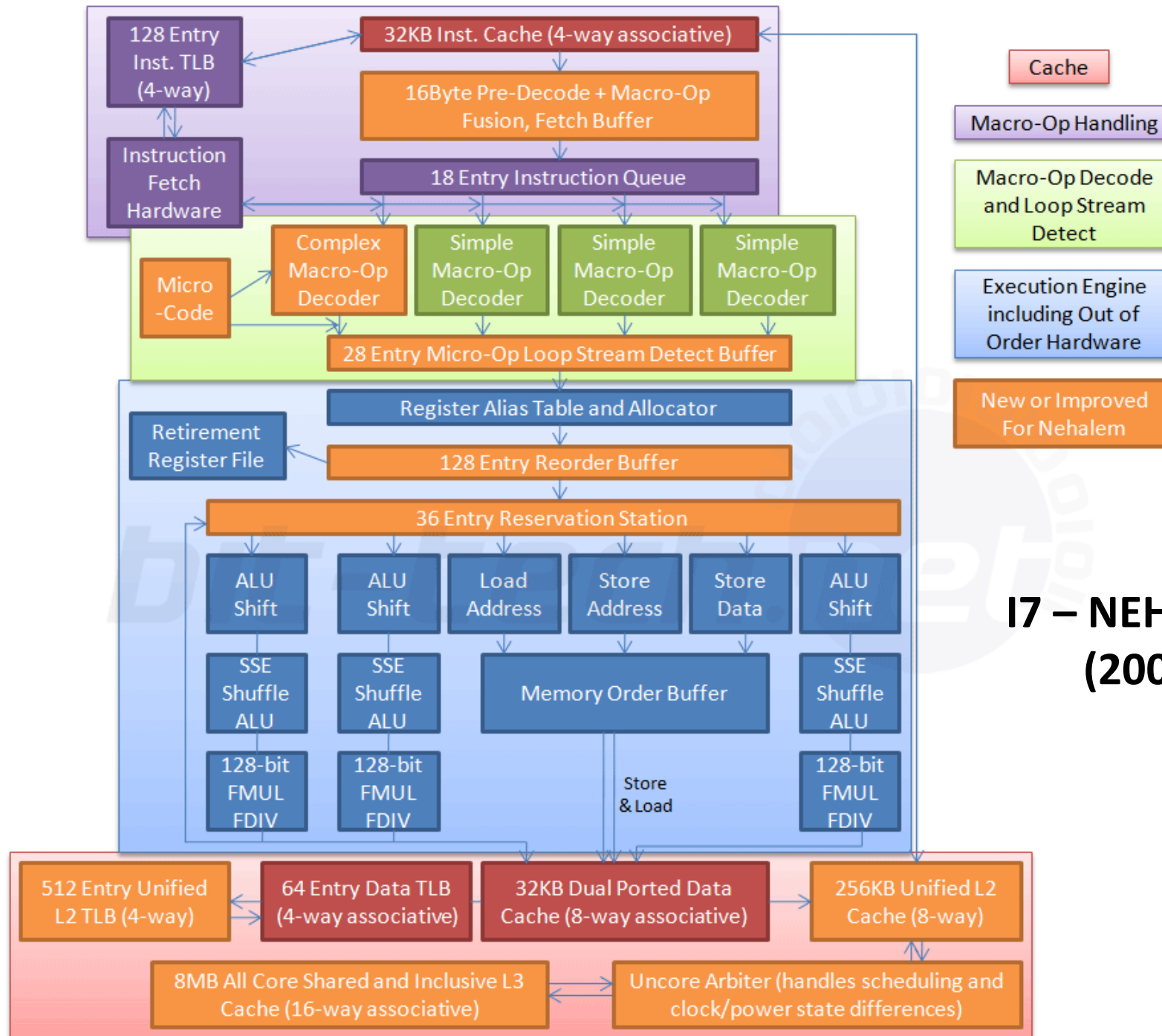
Intel Core 2 QX6800



One die – multi-core

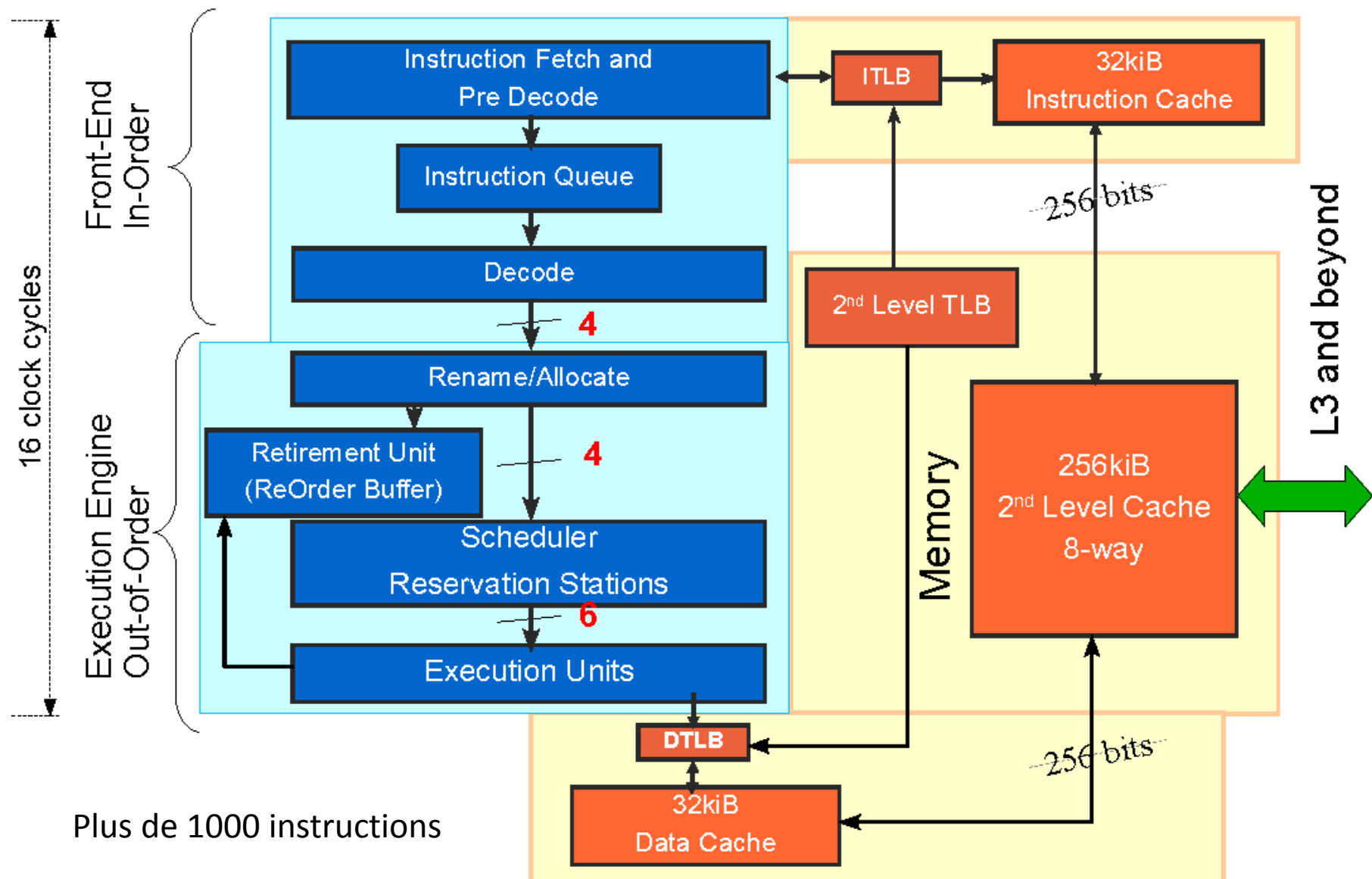


Intel I7



I7 – NEHALEM (2008)

Nehalem Core Pipeline



Hyperthreading



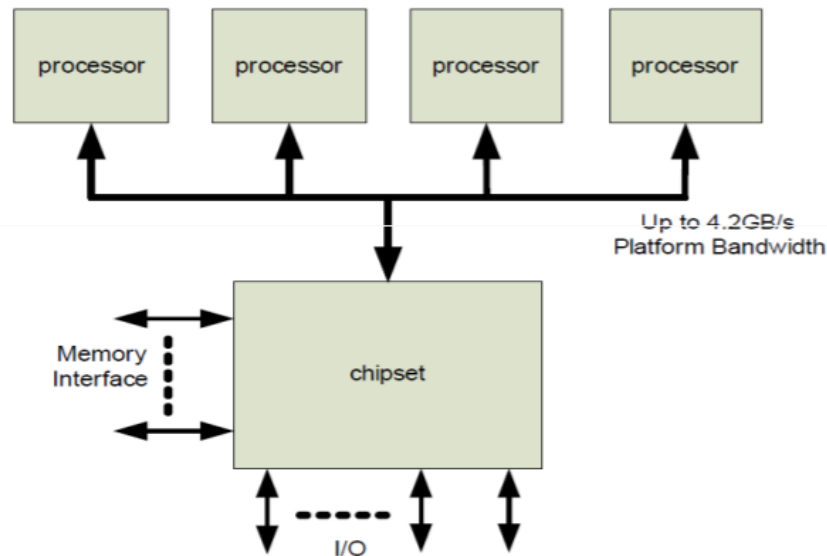
- SMT à deux voies
 - 2 threads partagent pipeline, registres, cache, bus
- Processeur 4 cœurs physiques
 - ➔ 8 cœurs logiques
(de 4 à 8 threads)

Attention : pas 8 cœurs physiques

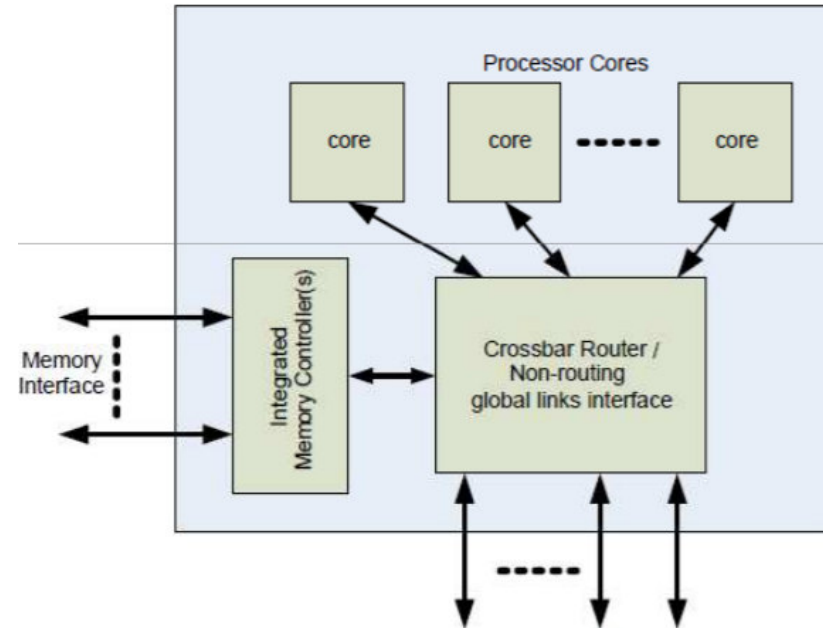
Caches

- 3 Niveaux : L1, L2, L3
- Avant L1 (64K) exclusif , L2 et L3 partagés
- Maintenant
 - L2 exclusif réduit (6Mo → 256ko)
 - Cache L3 : 8Mo partagé
- But : garder dans L3 tous les L2 des cœurs

IMC (MMU intégrée)



Avant



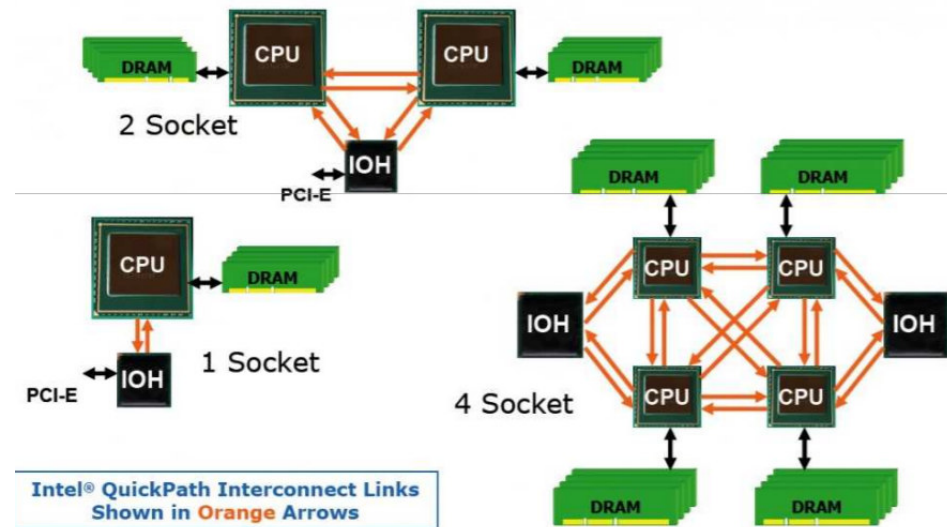
i7

- Accès direct à la mémoire (DMA)
- Réduction de latence
- 3 canaux (pour DDR3) 32Go/s


QPI : Quick Path Interconnect

- 2 voies : écriture + lecture (avant 1 seule voie)
 - 20 bits = 16 utiles + 4 du CRC
 - 6.4 G transferts /s = 12.8Gb/s pour une voie
- ➔ 25.6 GB/s en tout

Support du multiprocesseur



Turbo Boost

- Power Control Unit (PCU) 
 - Contrôle : Fréquence, Tension et Température
- Processeur gère ses cœurs
 - Paramétrable dans le bios
- Turbo Boost : ajuster la fréquence des cores/GPU
 - Si la température est bonne, autorise $F \nearrow$ (auto-overclock)
 - Si la température \nearrow : un seul thread, puis $F \searrow$
- Compatible hyper threading

Déclinaisons commerciales

(en 2012)

- Portable

i7-2617M 32 nm 2 cœurs 1.5GHz (289\$)

i7-2860QM 32 nm 4 cœurs 2.5GHz (568\$)

- Bureau

- i7 2600 32nm 4 cœurs 3.4 GHz (305\$)

- i7 3960X 32nm 6 cœurs 3.3GHz (1059\$)

- overclockables à 5 GHz

Par curiosité, jetez un coup d'œil à la page Wikipedia : « Liste des micro-processeurs Intel »

Le Intel i7 en 2019

Processor Name and Collection		Frequency/Turbo/Cache/Cores/Threads/TDP					Processor Graphics		Security & Reliability	Advanced Technologies				Memory Specifications	
Processors Number	Product Collection	Processor Base Frequency (GHz)	Max Turbo Frequency	Cache (MB)	Cores/Threads	Thermal Design Power (Watts)	Intel® Graphics	Graphics Speed (MHz)	Intel® AES New Instructions (AES)	Intel® Advanced Vector Extensions (AVX)	Intel® Virtualization Technology (VT-x)	Intel® Optane™ Memory Supported	Max # of Memory Channels	* Maximum DDR4/DDR3L/DDR3 Supported Memory (MB)	
I7-6700	6th Gen	3.00	4.70	12	8/8	65	UHD 630	350/1200	Yes	Yes	Yes	Yes	2	24GB/NA/NA	
I7-6700P	6th Gen	3.00	4.70	12	8/8	65	No	N/A	Yes	Yes	Yes	Yes	2	24GB/NA/NA	
I7-6700K	6th Gen	2.00	4.30	12	8/8	35	UHD 630	350/1200	Yes	Yes	Yes	Yes	2	24GB/NA/NA	
I7-6700KF	6th Gen	3.60	4.90	12	8/8	95	No	N/A	Yes	Yes	Yes	Yes	2	24GB/NA/NA	
I7-6800K	X-series	3.80	4.40	16.5	8/26	165	No	N/A	Yes	Yes	Yes	Yes	4	24GB/NA/NA	
I7-6700E	6th Gen	3.60	4.90	12	8/8	95	UHD 630	350/1200	Yes	Yes	Yes	Yes	2	24GB/NA/NA	
I7-6700T	6th Gen	2.40	4.00	12	6/12	35	UHD 630	350/1200	Yes	Yes	Yes	Yes	2	24GB/NA/NA	
I7-6800E	6th Gen	4.00	5.00	12	6/12	95	UHD 630	350/1200	Yes	Yes	Yes	Yes	2	24GB/NA/NA	
I7-6700G	6th Gen	3.70	4.70	12	6/12	95	UHD 630	350/1200	Yes	Yes	Yes	Yes	2	24GB/NA/NA	
I7-6700	6th Gen	3.20	4.60	12	6/12	65	UHD 630	350/1200	Yes	Yes	Yes	Yes	2	24GB/NA/NA	
I7-7700T	7th Gen	2.90	3.80	8	4/8	35	HD 630	350/1150	Yes	Yes	Yes	Yes	2	12GB/24GB/14GB/NA	
I7-7700K	7th Gen	4.20	4.50	8	4/8	91	HD 630	350/1150	Yes	Yes	Yes	Yes	2	12GB/24GB/14GB/NA	
I7-7700	7th Gen	3.60	4.20	8	4/8	65	HD 630	350/1150	Yes	Yes	Yes	Yes	2	12GB/24GB/14GB/NA	
I7-6900K	6th Gen	3.20	3.70	20	8/26	140	No	N/A	Yes	Yes	Yes	No	4	24GB/22GB/NA	
I7-6850K	6th Gen	3.60	3.80	15	6/12	140	No	N/A	Yes	Yes	Yes	No	4	24GB/22GB/NA	
I7-6800K	6th Gen	3.40	3.60	15	6/12	140	No	N/A	Yes	Yes	Yes	No	4	24GB/NA/NA	
I7-6750K	6th Gen	3.30	3.90	8	4/8	65	HD 580	350/1150	Yes	Yes	Yes	No	2	18GB/22GB/12GB/NA	
I7-6700T	6th Gen	2.80	3.60	8	4/8	35	HD 530	350/1100	Yes	Yes	Yes	No	2	18GB/22GB/12GB/NA	
I7-6700E	6th Gen	4.00	4.20	8	4/8	91	HD 530	350/1150	Yes	Yes	Yes	No	2	18GB/22GB/12GB/NA	
I7-6700	6th Gen	3.40	4.00	8	4/8	65	HD 530	350/1150	Yes	Yes	Yes	No	2	18GB/22GB/12GB/NA	
I7-5720E	5th Gen	3.30	3.80	6	4/8	65	6200	300/1150	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/12GB/16GB/NA	
I7-5720K	5th Gen	3.30	3.70	6	4/8	65	6200	300/1150	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/12GB/16GB/NA	
I7-5840E	5th Gen	3.30	3.60	15	6/12	140	No	N/A	Yes	Yes	Yes	No	4	18GB/18GB/22GB/NA	
I7-5810E	5th Gen	3.50	3.70	15	6/12	140	No	N/A	Yes	Yes	Yes	No	4	18GB/18GB/22GB/NA	
I7-4790T	4th Gen	2.70	3.90	8	4/8	45	HD 4600	350/1200	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/12GB/16GB/14GB	
I7-4790K	4th Gen	3.20	4.00	8	4/8	65	HD 4600	350/1200	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/12GB/16GB/14GB/14GB	
I7-4790E	4th Gen	4.00	4.40	8	4/8	88	HD 4600	350/1250	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/12GB/16GB/14GB/14GB	
I7-4790	4th Gen	3.60	4.00	8	4/8	84	HD 4600	200/1200	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/12GB/16GB/14GB/14GB	
I7-4791T	4th Gen	2.20	3.20	8	4/8	35	HD 4600	350/1200	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/12GB/16GB/14GB/14GB	
I7-4810E	4th Gen	3.40	3.90	12	6/12	130	No	N/A	Yes	Yes	Yes	No	4	NA/NA/12GB/16GB/16GB	
I7-4820K	4th Gen	3.70	3.90	10	4/8	130	No	N/A	Yes	Yes	Yes	No	4	NA/NA/12GB/16GB/16GB	
I7-4771	4th Gen	3.50	3.90	8	4/8	84	HD 4600	350/1200	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/12GB/16GB/14GB/14GB	
I7-4770T	4th Gen	2.50	3.70	8	4/8	45	HD 4600	350/1200	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/12GB/16GB/14GB/14GB	
I7-4770E	4th Gen	3.10	3.90	8	4/8	65	HD 4600	350/1200	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/12GB/16GB/14GB/14GB	
I7-4770K	4th Gen	3.20	3.90	8	4/8	65	5200	300/1300	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/12GB/16GB/14GB/14GB	
I7-4770	4th Gen	3.50	3.90	8	4/8	84	HD 4600	350/1250	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/12GB/16GB/14GB/14GB	
I7-4772	4th Gen	3.40	3.90	8	4/8	84	HD 4600	350/1200	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/12GB/16GB/14GB/14GB	
I7-4844	4th Gen	2.00	3.00	8	4/8	35	HD 4600	350/1200	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/12GB/16GB/14GB/14GB	
I7-3610E	3rd Gen	3.20	3.80	12	6/12	130	N/A	N/A	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/NA/16GB/12GB/16GB	
I7-3720M	3rd Gen	2.50	3.70	8	4/8	45	HD 4000	650/1150	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/NA/12GB/16GB	
I7-3720M	3rd Gen	3.10	3.90	8	4/8	65	HD 4000	650/1150	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/NA/12GB/16GB	
I7-3770E	3rd Gen	3.50	3.90	8	4/8	77	HD 4000	650/1150	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/NA/12GB/16GB	
I7-3770	3rd Gen	3.40	3.90	8	4/8	77	HD 4000	650/1150	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/NA/12GB/16GB	
I7-2600E	2nd Gen	3.50	3.90	8	4/8	95	HD 3000	850/1150	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/NA/12GB/16GB	
I7-2620	N/A	3.30	3.60	12	6/12	130	N/A	N/A	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/NA/16GB	
I7-2600K	2nd Gen	2.80	3.80	8	4/8	65	HD 3000	850/1150	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/NA/12GB/16GB	
I7-2600E	2nd Gen	3.40	3.80	8	4/8	95	HD 3000	850/1150	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/NA/12GB/16GB	
I7-2600	2nd Gen	3.40	3.80	8	4/8	95	HD 3000	850/1150	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/NA/12GB/16GB	
I7-2620	N/A	3.20	3.48	12	6/12	130	N/A	N/A	Yes	Yes	Yes	No	2	NA/NA/16GB/8GB	
I7-2602	N/A	3.06	3.73	8	4/8	95	N/A	N/A	No	Yes	Yes	No	2	NA/NA/12GB/16GB	
I7-2742	N/A	2.93	3.60	8	4/8	95	N/A	N/A	No	Yes	Yes	No	2	NA/NA/12GB/16GB	
I7-2742	N/A	2.66	3.60	8	4/8	82	N/A	N/A	No	Yes	Yes	No	2	NA/NA/12GB/16GB	
I7-2605	N/A	2.53	3.46	8	4/8	82	N/A	N/A	No	Yes	Yes	No	2	NA/NA/12GB/16GB	
I7-2605	N/A	2.80	3.06	8	4/8	130	N/A	N/A	No	Yes	Yes	No	2	NA/NA/16GB/8GB	
I7-2605	N/A	3.20	3.46	8	4/8	130	N/A	N/A	No	Yes	Yes	No	2	NA/NA/16GB/8GB	
I7-2605	N/A	2.93	3.60	8	4/8	95	N/A	N/A	No	Yes	Yes	No	2	NA/NA/12GB/16GB	
I7-2605	N/A	2.80	3.46	8	4/8	95	N/A	N/A	No	Yes	Yes	No	2	NA/NA/12GB/16GB	
I7-2605	N/A	3.06	3.33	8	4/8	130	N/A	N/A	No	Yes	Yes	No	2	NA/NA/16GB/8GB	
I7-2605	N/A	2.93	3.20	8	4/8	130	N/A	N/A	No	Yes	Yes	No	2	NA/NA/16GB/8GB	
I7-2605	N/A	2.66	2.93	8	4/8	130	N/A	N/A	No	Yes	Yes	No	2	NA/NA/16GB/8GB	

La gamme Intel
(serveur, bureau et portable)

- M3
- I3
- I5
- I7 (dont Extreme)
- I9 (dont Extreme)
- Série X
- VPro

Dernière génération I7 : Ice Lake

10^{ème} génération : 2020 ?

Introducing Ice Lake: 10nm CPU

New Sunnycove Cores

Up to 4 Cores / 8 Threads
Up to 4.1GHz

New Converged Chassis Fabric

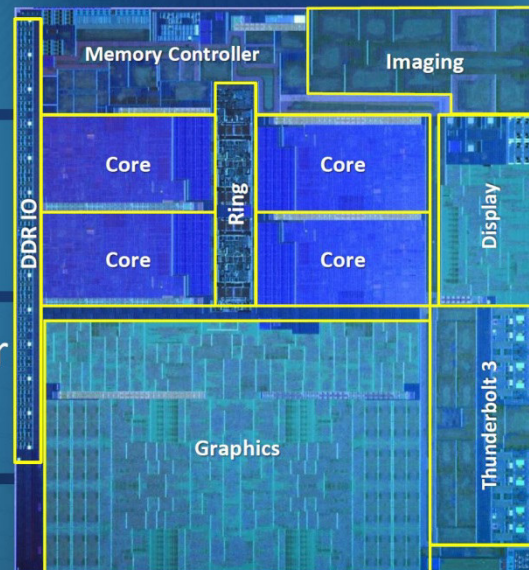
High Bandwidth / Low Latency
IP and Core Scalable

New Memory Controller

LP4/x-3733 4x32b up to 32GB
DDR4-3200 2x64b up to 64GB

First Integrated Thunderbolt™ 3

Full 4x DP/USB/PCIe mux on-die
Up to 40Gbps bi-directional per port



New Gen11 Graphics

Up to 64EU and 1.1GHz
>1TFLOP

New 2x MEDIA Encoders

Up to 4K60 10b 4:4:4
Up to 8K30 10b 4:2:0

New 3x Display Pipes

Up to 5K60 or 4K120
DP1.4, BT.2020

New Image Processing Unit 4

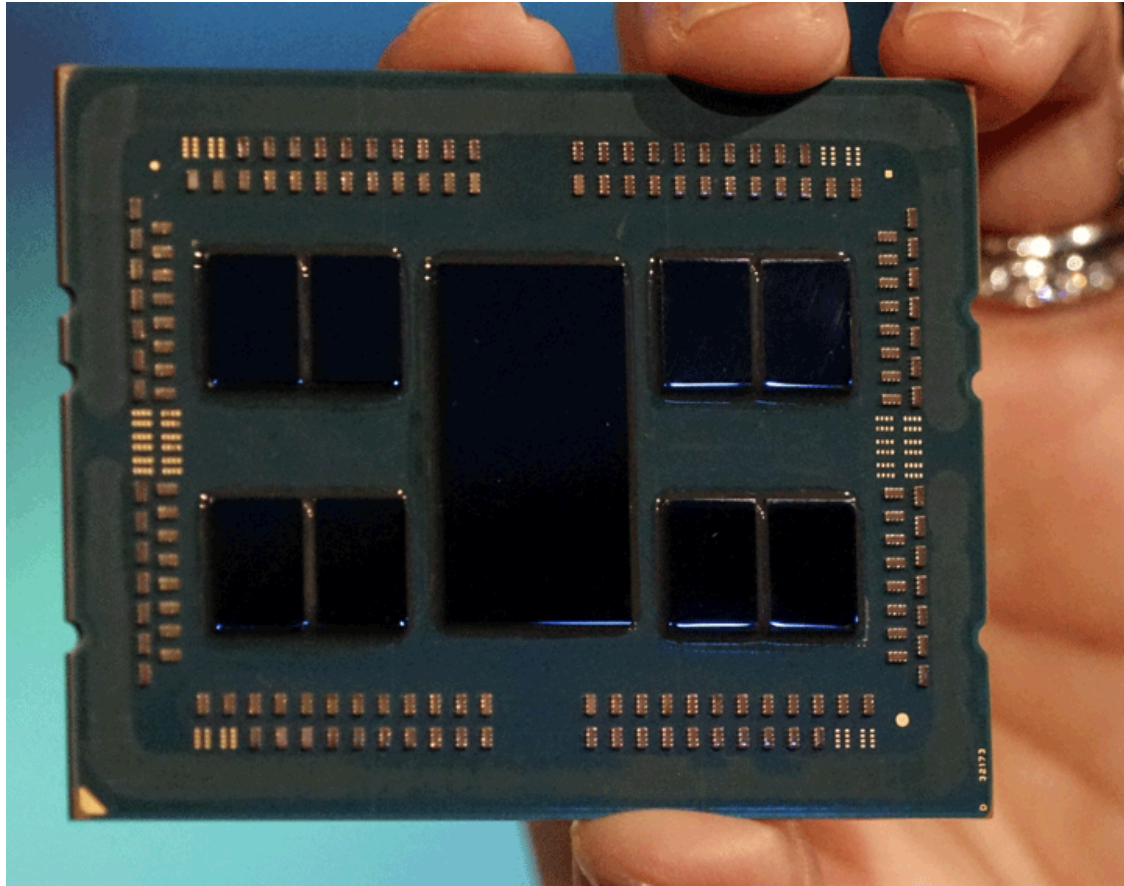
Up to 16MP
Up to 1080p120, 4K30

AMD Ryzen (2017)

Nom de code	Summit Ridge	Whitehaven
Date de sortie	mars 2017	août 2017
Architecture	64 bits	64 bits
Bus de donnée	64 bits	64 bits
Mémoire maximale	64 Go	1 To
Cache L1	96 Ko / coeur	96 Ko / coeur
Cache L2	512 Ko / coeur	512 Ko / coeur
Cache L3 (partagé)	8 – 16 Mo	16 – 32 Mo
Fréquence	3 – 3,6 GHz (XFR 4,1 GHz)	3,2 – 3,8 GHz (XFR 4,2 GHz)

Contrôleur mémoire	DDR4-2666, 2 canaux	DDR4-2666, 4 canaux
Nombre de cores/threads	4/4 – 8/16	8/16 – 16/32
SIMD	MMX, SSE, SSE2, SSE3, SSSE3, SSE4a, SSE4.1/4.2, AVX2	MMX, SSE, SSE2, SSE3, SSSE3, SSE4a, SSE4.1/4.2, AVX2
Instructions	AES, BMI2, F16C, FMA3, (FMA4), ABM, SHA, CLMUL, ADX	AES, BMI2, F16C, FMA3, (FMA4), ABM, SHA, CLMUL, ADX
Finesse de gravure	14 nm	14 nm
Nombre de transistors	4,8 milliards	9,6 milliards
Consommation	65 – 95 W	140 – 180 W
Surface	192 mm ²	213 mm ²
Connecteur	AM4	TR4
IGP	Aucun	Aucun

AMD : projet ZEN2 7nm



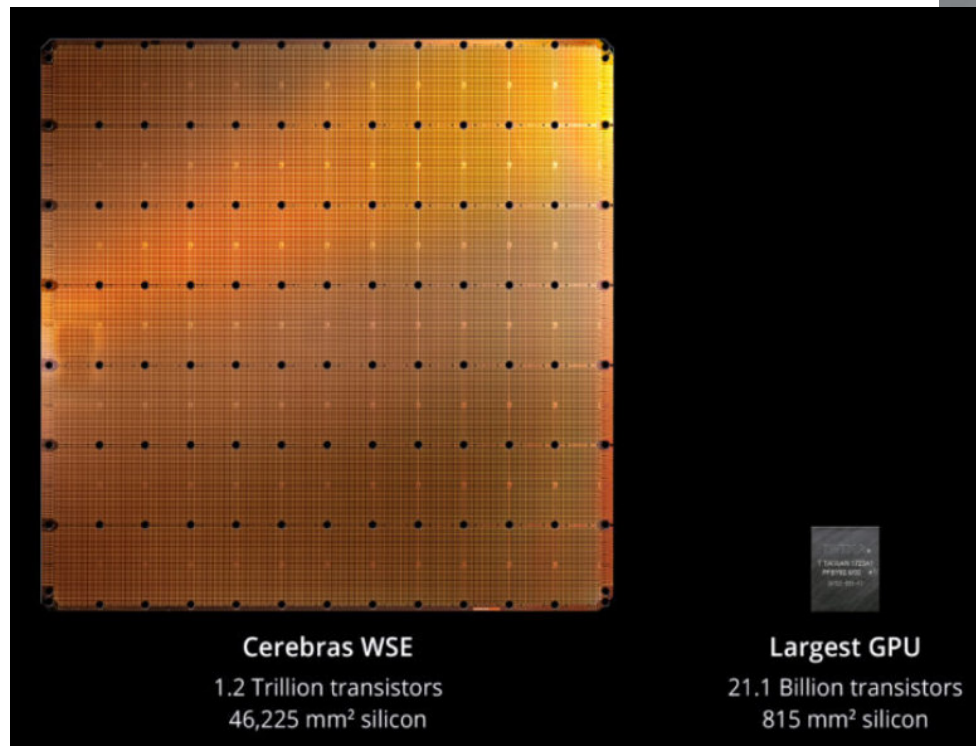
Vaporware : caractéristiques inconnues

Annonce août 2019

Intel a annoncé une série de 47 nouveaux **Xeon** concurrents des **Epyc** de AMD (pour les serveurs). Notamment le **Xeon Platinum 9282** (famille Cascade Lake, MCM en 14 nm aura 56 Cores, 112 Threads, 77 Mo de cache L3, des fréquences de 2.6 à 3.8 GHz, 12 canaux DDR4 et un TDP de, 400 watts. Il sera également disponible dans des versions en 32C/64T et 48C/96T.

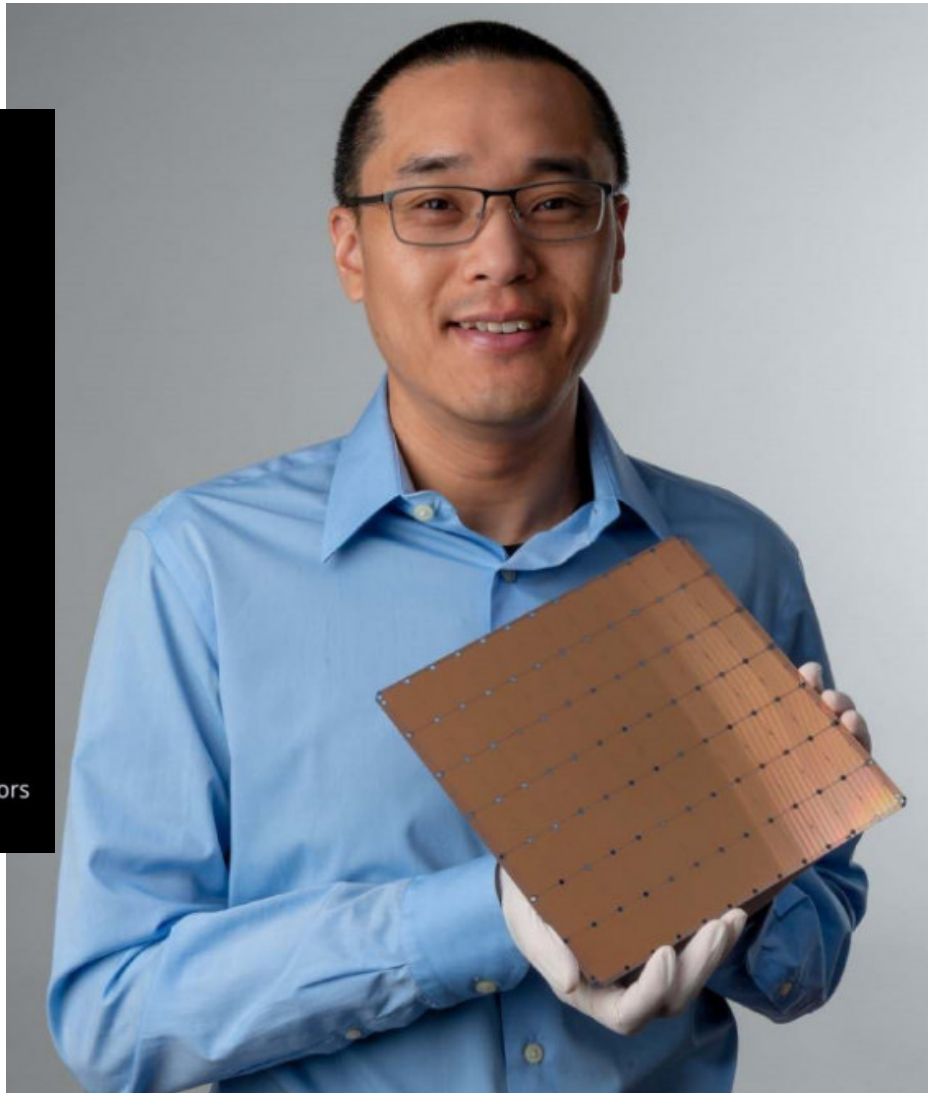
(remarquez que la fréquence n'évolue plus)

Une curiosité : Cerebras WSE



Cerebras WSE vs Tesla V100 de NVIDIA

V100 : GPU 5120 cores, 160 Go/s, 250W
21 GT, 12 nm, 815 mm², 14 Mo cache



Cerebras WSE (Août 2019 proto)

- Wafer Scale Integration
 - Reconfigurable, tolérant aux fautes d'intégration
- Caractéristiques (comparées au + gros processeur connu)
 - 1200 milliards transistors (57*)
 - 46225 mm² (56*)
 - 400000 coeurs (78*) – algèbre linéaire (NN)
 - 18 G octets de cache (3000*)
 - 100 Peta bit/s (33000*)
 - 15 kW (50*)

Innovation (?) & Questions

- Wafer 300 mm, 16 nm TSMC
 - Comme un seul die (*Projet européen ELSA en 1988*)
 - 1 à 1,5% des cœurs défectueux à la fabrication
 - *Dixit le PDG [prête à caution]*
 - *Chemins de reconfiguration pour « éviter » fautes*
- 84 blocks interconnectés (7*12)
- Boîtier ? Refroidissement ? Communication ?
Programmation ? Prix ? (100-500000\$?)

Exercice : lecture d'article « geek »

31 mai 2019 : overclockingmadeinfrance.com

En début de semaine, AMD tenait une conférence durant laquelle la marque annonçait sa nouvelle génération de CPU : les Ryzen 3000.

Ryzen 3000, les specs :

AMD a modifié les cœurs en profondeur : ils multiplient par 2 sa puissance théorique sur les nombre décimaux, doublent leur cache L3 et réduisent la latence. Ce qui donne (en théorie) autour de 13 % d'IPC en plus.

Lecture : Paragraphe 2

Premier point, AMD ne décale pas les gammes sur cette génération : les Ryzen 5 restent à 6 cœurs + SMT (donc 12 threads) et les Ryzen 7 à 8 cœurs + SMT.

Par contre, on assiste à l'apparition d'une nouvelle gamme : les Ryzen 9, dont le premier représentant est en 12 cœurs + SMT. On suspecte qu'un Ryzen 9 en 16 coeurs voit le jours plus tard.

Lecture : Paragraphe 3

Du côté des fréquences, le 3600 est à 3.6/4.2 GHz, contre 3.4/3.9 GHz pour le 2600, soit un gain de 300 MHz environ. Le 3600X est à 3.8/4.4 GHz contre 3.6/4.2 GHz pour le 2600X, soit un gain de 200 MHz. Le Ryzen 7 3700X est à 3.6/4.4 GHz, contre 3.2/4.1 GHz pour le 2700, soit un gain entre 300 et 400 MHz. Enfin le 3700X est à 3.8/4.6 contre 3.7/4.3 GHz, soit un gain entre 100 et 300 MHz.

Lecture : Paragraphe 4



Les derniers MHz coûtent chers. On peut penser que ce sera plus compliqué pour le 3700X d'atteindre en full-coeur une fréquence élevée tout en respectant son TDP.

Pour le TDP, celui-ci ne change pas par rapport à la gen2 : 65 et 95 W pour les Ryzen 5, 65 et 105 W pour les Ryzen 7.

Lecture : Paragraphe 5

Au dessus de ce petit monde, le Ryzen 9 3900X tourne avec 12 Coeurs, une fréquence boost supérieure au 3800X et pour un TDP qu'il n'augmente pas, ce qui est une prouesse. A titre de comparaison, le Threadripper 2920X (12 coeurs lui aussi) tourne à 3.5/4.3 GHz pour un TDP de 180 W !

Lecture : Paragraphe 6



Dernier point les Wraiths.

Il est probable que l'on voit ça :

- Wraith Stealth pour le Ryzen 5 3600
- Wraith Spire pour le Ryzen 5 3600X et Ryzen 7 3700X
- Wraith Prism pour les Ryzen 7 3800X et Ryzen 9 3900X

Et pour un GPU ?

Plusieurs cartes sont ainsi proposées pour ce Mac Pro : la Radeon Pro 580X, la Radeon Pro Vega II et la Radeon Pro Vega II Duo. Pour les Vega : leur GPU Vega 20 gravé en 7 nm atteint une puissance de calcul de 14,2 TFLOPS FP32, là où la Radeon Pro 580X culmine à 5,6 TFLOPS.

Dans le détail, ce GPU embarque 64 Compute Units, soit 4096 Stream Processors, pour une fréquence pouvant atteindre 1,7 GHz. Les 32 Go de mémoire HBM2 (au maximum) bénéficient d'un bus 4096-bit, pour une bande passante de 1 To/s. Plus intéressant encore, ces GPU peuvent travailler de concert via un lien Infinity Fabric à 84 Go/s. C'est justement cette configuration que l'on retrouve avec la Radeon Pro Vega II Duo. La puissance de calcul atteint alors 28,4 TFLOPS (FP32) par carte.

Et pour un GPU ?

Plusieurs cartes sont ainsi proposées pour ce Mac Pro : la Radeon Pro 580X, la Radeon Pro Vega II et la Radeon Pro Vega II Duo. Pour les Vega II Duo, le GPU Vega 20 gravé en 7 nm atteint une puissance de calcul de 28,4 TFLOPS FP32, là où la Radeon Pro 580X culmine à 5,6 TFLOPS.

Dans le détail, ce GPU embarque 4096 Compute Units, soit 4096 Stream Processors, pour une fréquence pouvant atteindre 1,7 GHz. Les 32 Go de mémoire HBM2 (au total) bénéficient d'un bus 4096-bit, pour une bande passante de 84 Go/s. Plus intéressant encore, ces GPU peuvent travailler de concert via un lien Infinity Fabric à 84 Go/s. C'est justement cette configuration que l'on retrouve avec la Radeon Pro Vega II Duo. La puissance de calcul atteint alors 28,4 TFLOPS (FP32) par carte.