

Chapitre 1

Diversité des Architectures Processeur



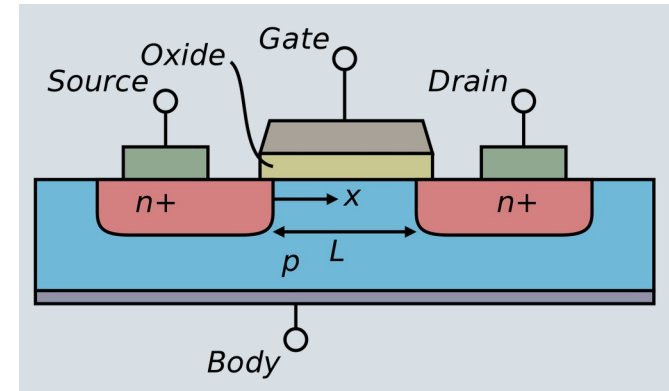
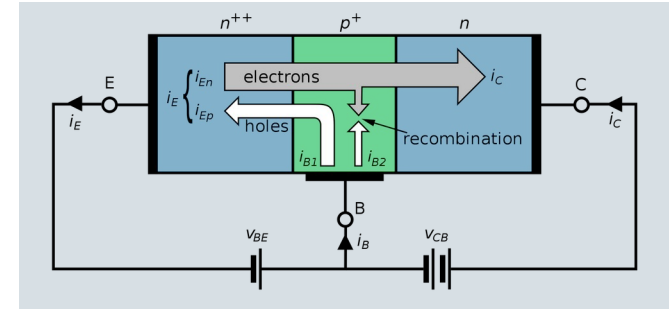
2021-2022

Bref rappel (cf cours de Systèmes embarqués)

1947: Invention du **Transistor à Jonction Bipolaire** →
par Bardeen, Schokley et Brattain (Bell labs), Lauréats du Prix Nobel

1958/1959: Création des **Circuits Intégrés**
par Texas Instruments (IC hybride), puis Fairchild (vrai IC monolithique)

1960: Invention du **Transistor à Effet de Champ MOS** →
par Mohammed Atalla et Dawon Kahng



Premier processeur

Le premier processeur commercial est le 4004, annoncé par Intel le 15 novembre 1971.

En réalité, l'armée américaine avait déjà développé un processeur en juin 1970, gardé secret pour le F-14.

À titre de comparaison, la mission Apollo 11 s'est déroulée deux ans plus tôt !

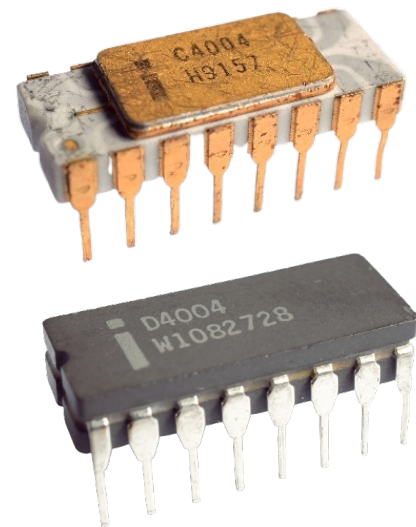
Le 4004 possède 2 300 transistors gravés en 10 μm .

C'est un processeur 4 bits, à 16 broches.

Son ISA compte 45 instructions,
dont du saut conditionnel et de l'appel de fonction.

Cadencé à 740 kHz, il peut alors réaliser 90 kIPS.

Le tout pour la modique somme de 60 \$!



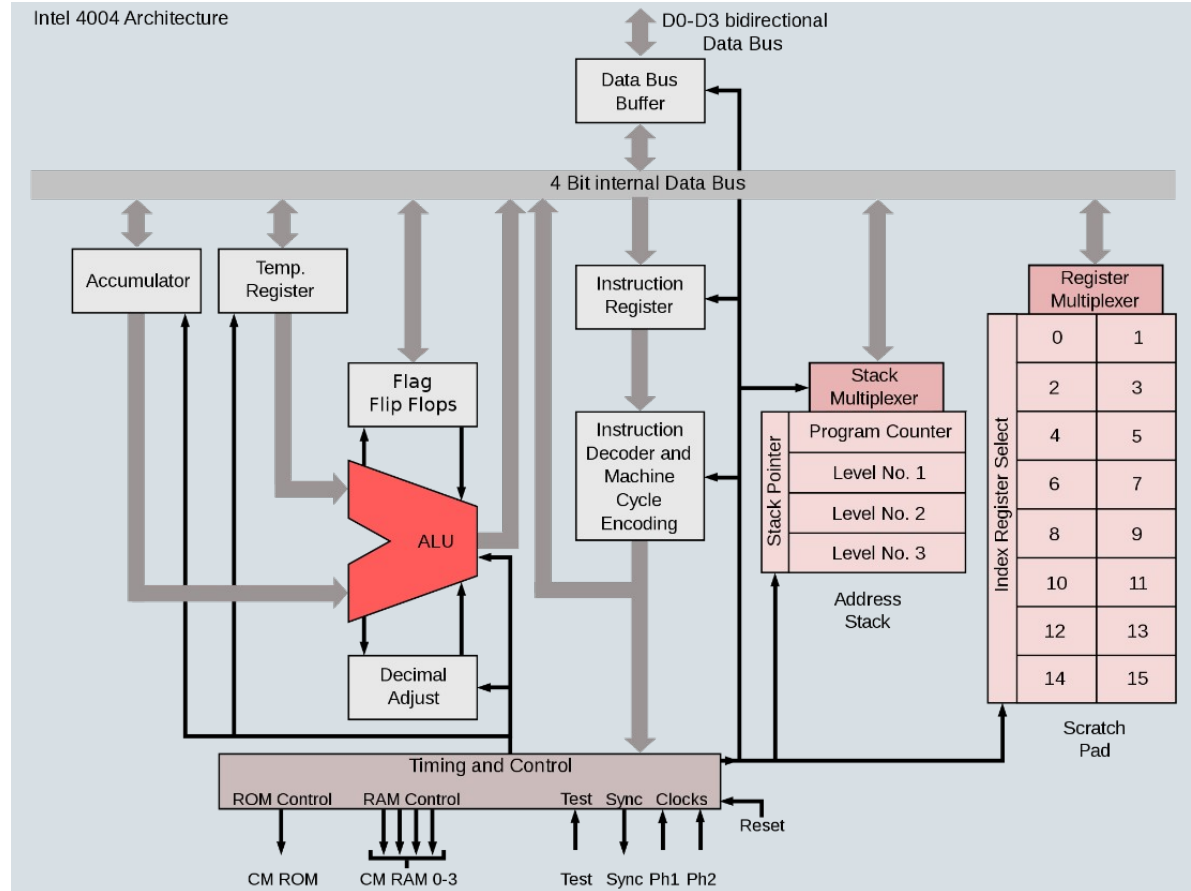
Intel 4004

L'architecture du 4004 reste la base de tous les processeurs modernes.

À comparer avec le PIC18 une fois son architecture étudiée !

Pour les fans de transistors, le schéma est visible ici :

<https://www.framboise314.fr/le-micro-processeur-a-50-ans-intel-4004/>



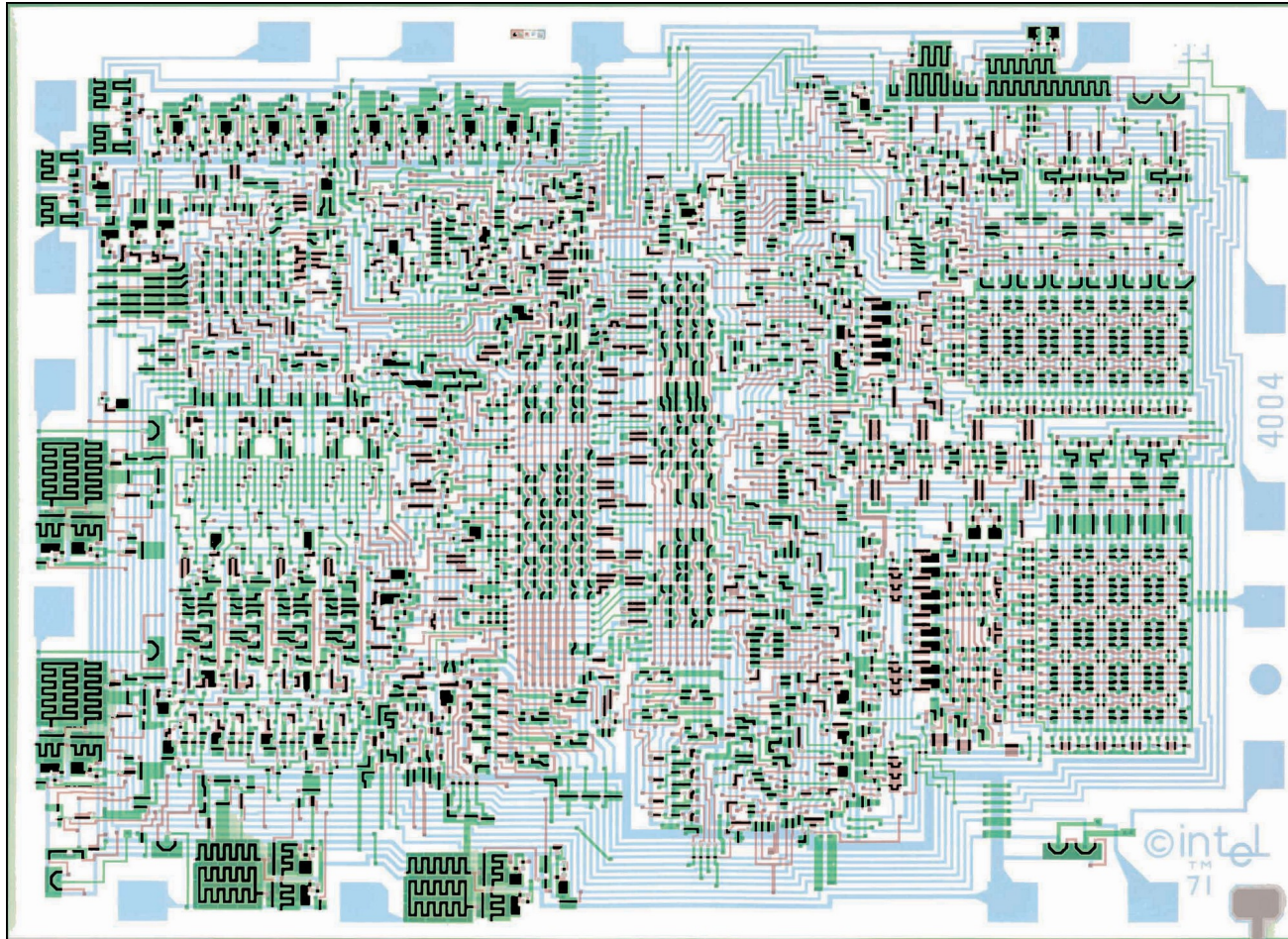


Schéma d'implantation.

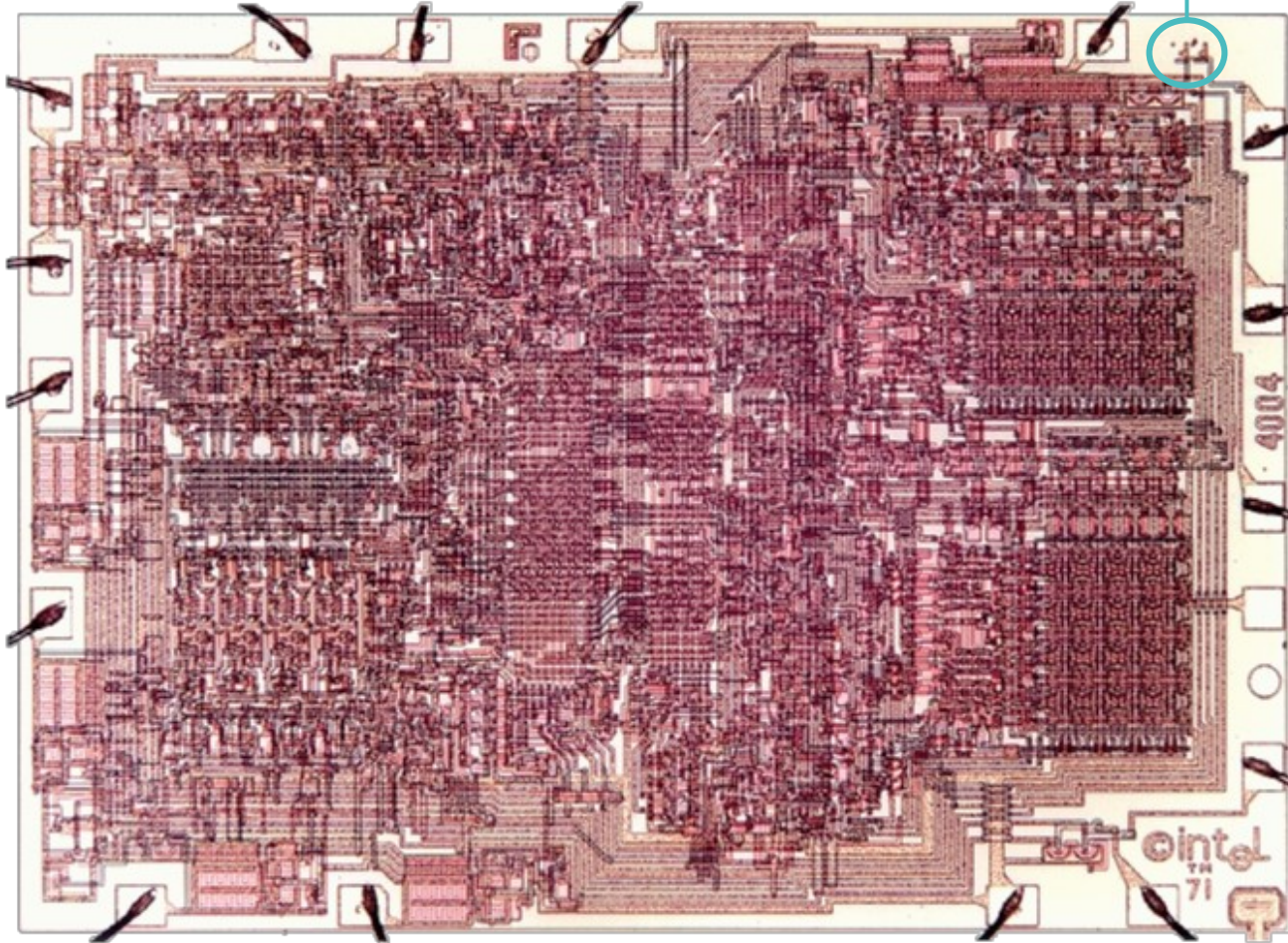
Objectif :

Polariser, assembler les 2300 transistors pour réaliser les différentes fonctions logiques.

À l'époque, pas d'outil informatique : tout ce travail est fait à la main !

DIVERSITÉ DES ARCHITECTURES PROCESSEUR

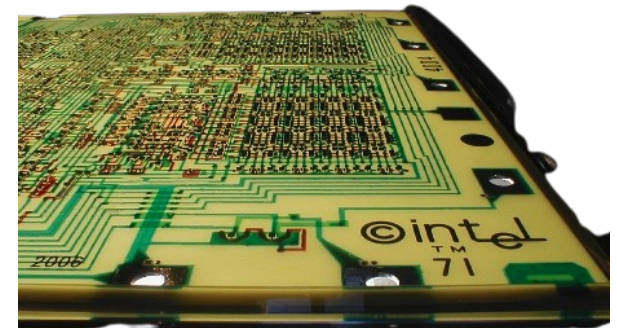
Intel 4004

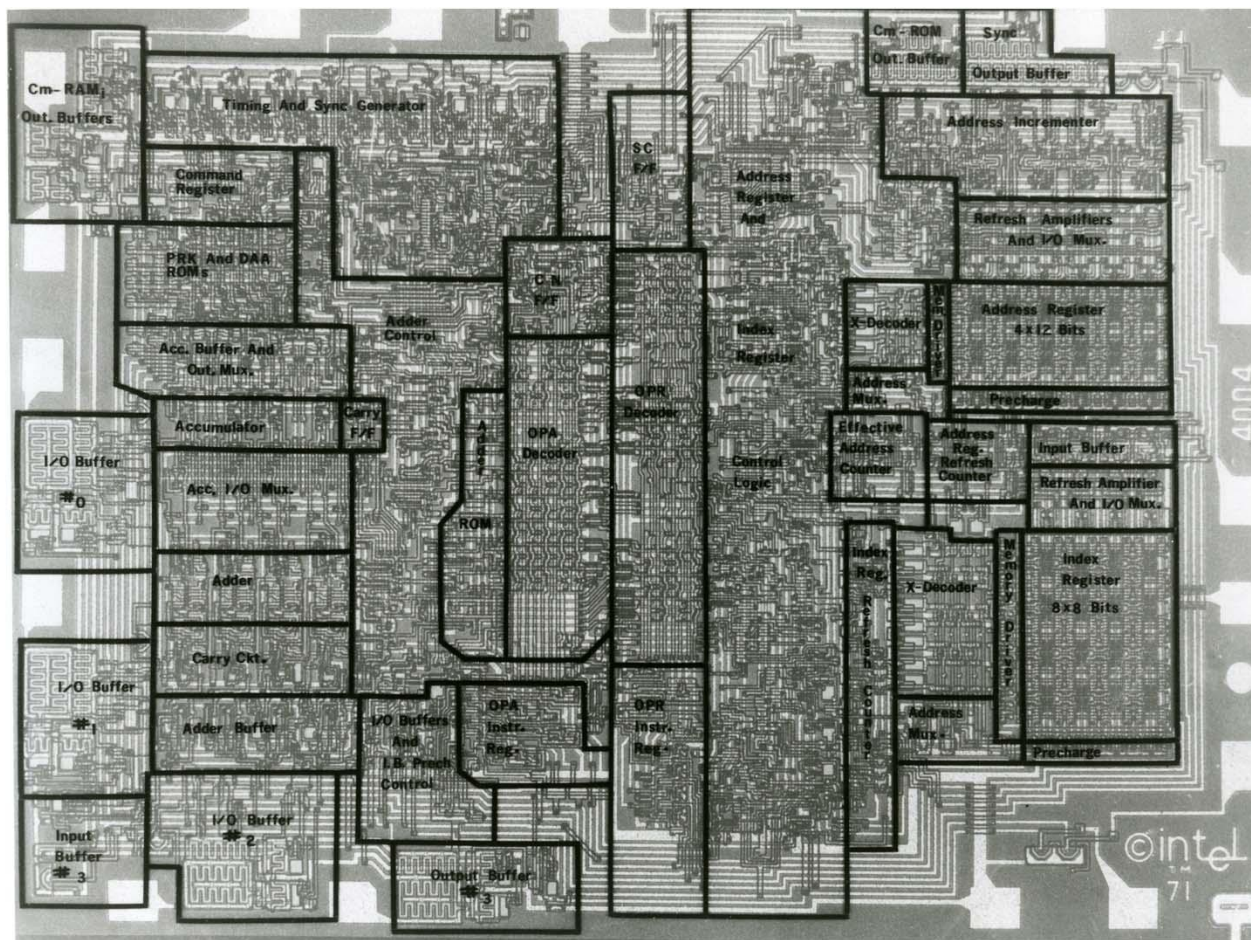


Initiales de Federico Faggin,
concepteur du 4004, 8008,
4040 et 8080 !

Photographie par MEB.

On voit encore les fils
d'or reliant les pads du
die aux broches du
boîtier.





Découpage du schéma d'implantation en blocs fonctionnels.

Simulation à 6 cycles par seconde (90 kIPS IRL) :

<https://www.youtube.com/watch?v=0Fixr39X8S4>

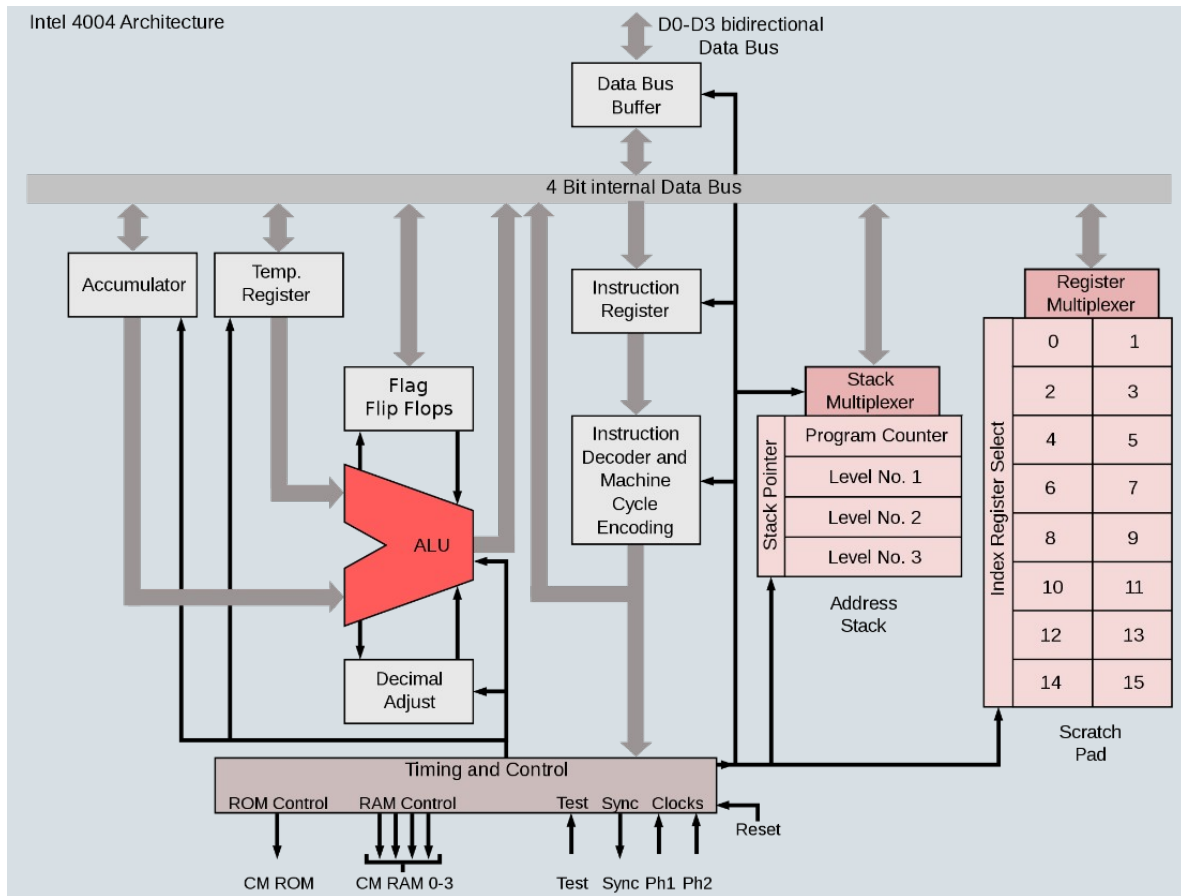
Intel 4004

L'architecture du 4004 reste
la base de tous les
processeurs modernes.

À comparer avec le PIC18 une
fois son architecture étudiée !

Pour les fans de transistors, le schéma
est visible ici :

<https://www.framboise314.fr/le-micro-processeur-a-50-ans-intel-4004/>

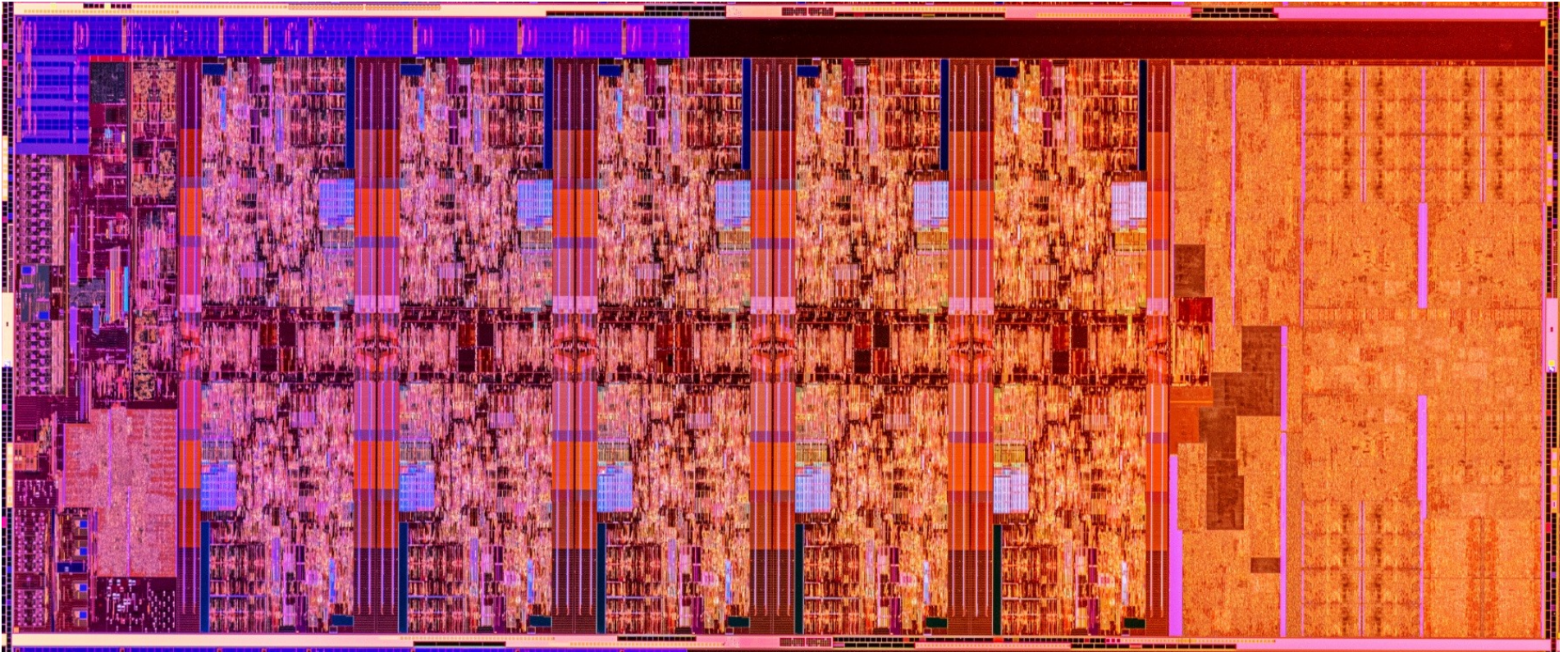


Intel® Core™ i9-10900K Processor

2e trimestre 2020

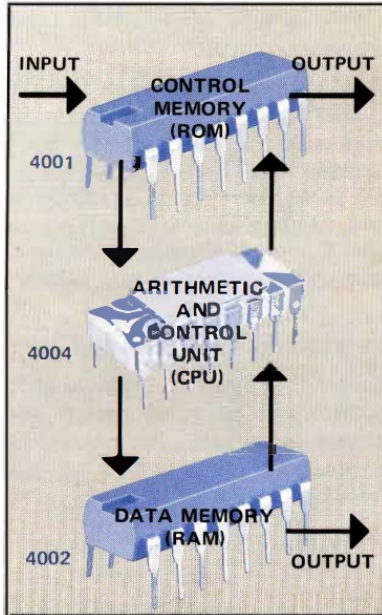
14 nm (estimé à 7 milliards de transistors)

10 coeurs, 5.30 GHz, 460.8 GFlops



Intel 4004

Le 4004 a été conçu pour une machine à calculer de *Busicom Corporation (la 141-PF)*.
Il est alors associé à d'autres composants pour former le **chipset Intel MCS-4**.

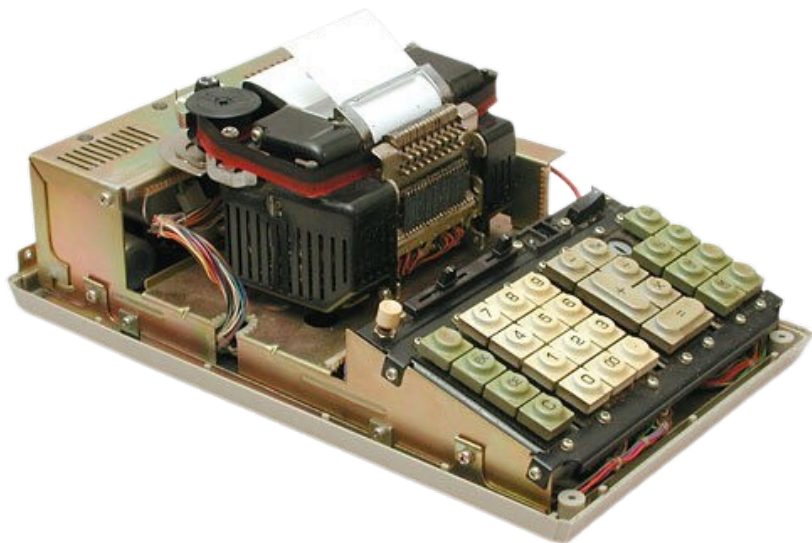


- 4001 : 256 x 8 bit ROM
- 4002 : 320 bit RAM
- 4003 : 10 bit shift register
- 4004 : 4 bit CPU



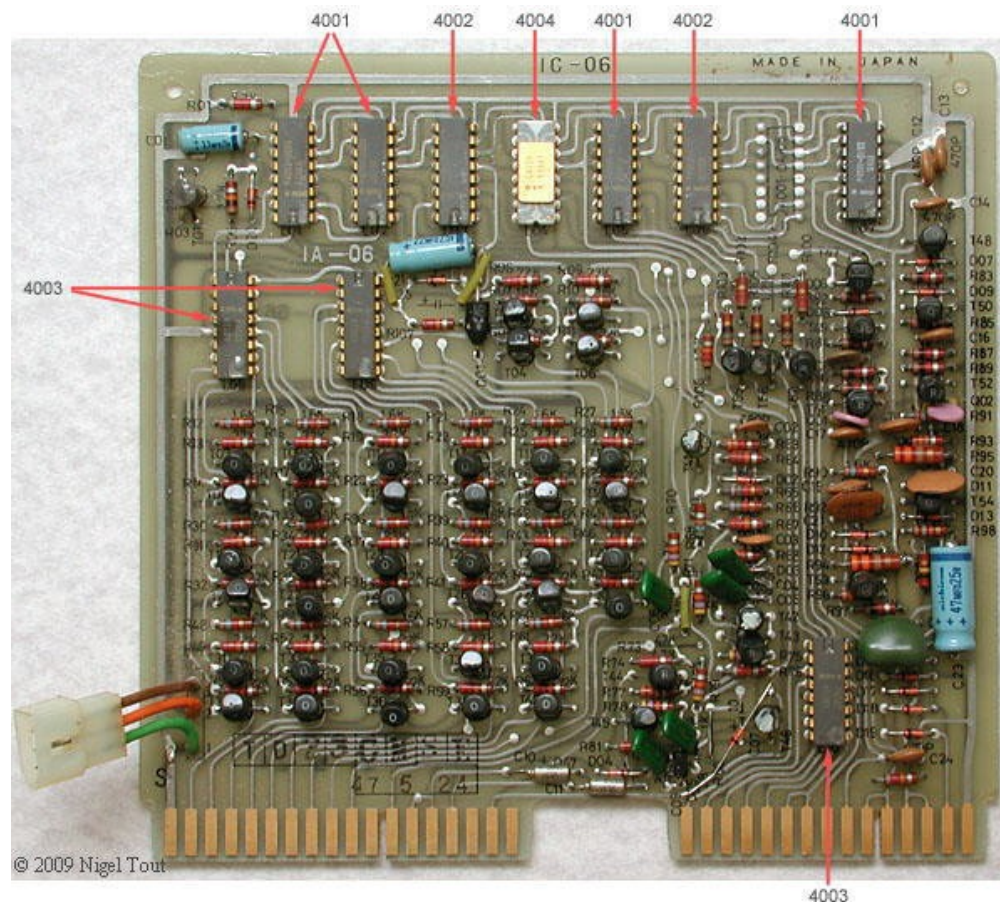
DIVERSITÉ DES ARCHITECTURES PROCESSEUR

Intel 4004



Busicom 141-PF (ou NCR-18-36)

Bloc d'alimentation au fond,
PCB unique en dessous.

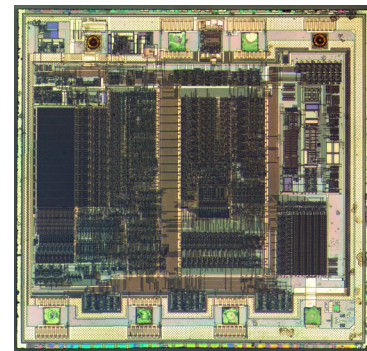
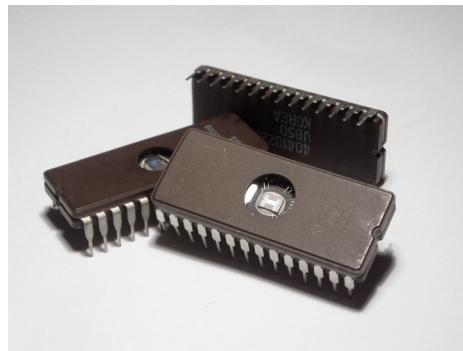
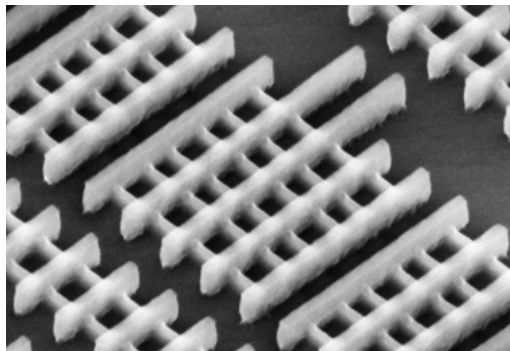
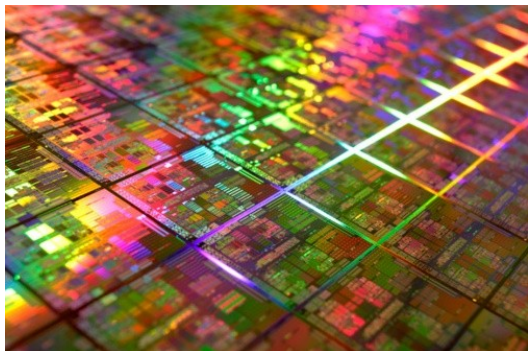
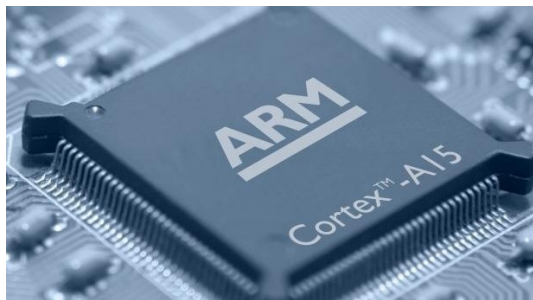
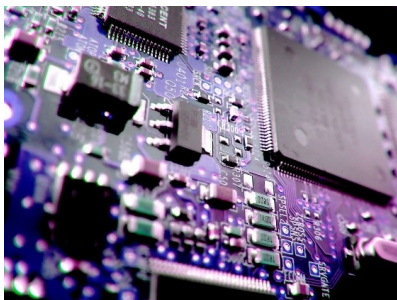


© 2009 Nigel Tout

Évolution des processeurs

Depuis les processeurs évoluent en suivant la loi de sélection naturelle.

Ceux répondant à des besoins spécifiques ont évolués (et se sont améliorés) tandis que d'autres ont disparu des marchés et laboratoires de recherche.



Comme pour le vivant, le processus d'évolution des processeurs ne s'arrêtera pas.
De nouvelles architectures sont susceptibles d'apparaître dans les prochaines années !



Jetons un œil aux architectures actuelles.

Architectures généralistes

Processeurs de contrôle

Architectures hybrides

Architectures spécialisées

Coprocesseurs ou processeurs de calcul

MCU

Micro
Controller
Unit

AP

Application
Processor

GPP

General
Purpose
Processor

SoC / SoB

System
on
Chip / Board

- FPGA-AP
- FPGA-MCU
- GPP-GPU
- AP
- MCU-analog

Computer

CONTROL

FPGA

Field
Programmable
Gate Array

DSP

Digital
Signal
Processor

(GP) GPU

Graphics
Processing
Unit

General
Purpose
GPU

CALCULUS

Architectures modernes

Architectures généralistes

Processeurs de contrôle

Architectures hybrides

Architectures spécialisées

Coprocesseurs ou processeurs de calcul

MCU

Micro
Controller
Unit

AP

Application
Processor

GPP

General
Purpose
Processor

SoC / SoB

System
on
Chip / Board

- FPGA-AP
- FPGA-MCU
- GPP-GPU
- AP
- MCU-analog

FPGA

Field
Programmable
Gate Array

DSP

Digital
Signal
Processor

(GP) GPU

Graphics
Processing
Unit

General
Purpose
GPU

CPU

LOGIC

CPU

MCU

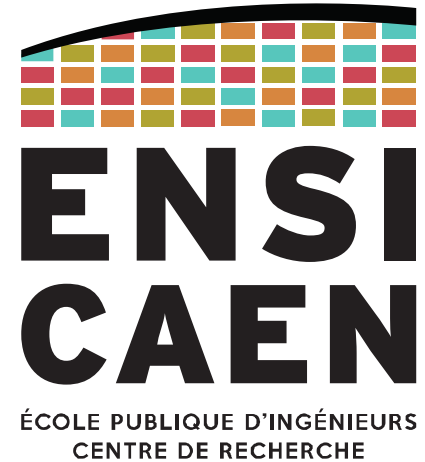
MICROCONTROLLER UNIT

Applications

Architectures

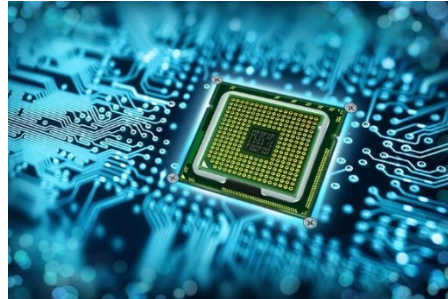
Fabricants et produits

Parts de marché



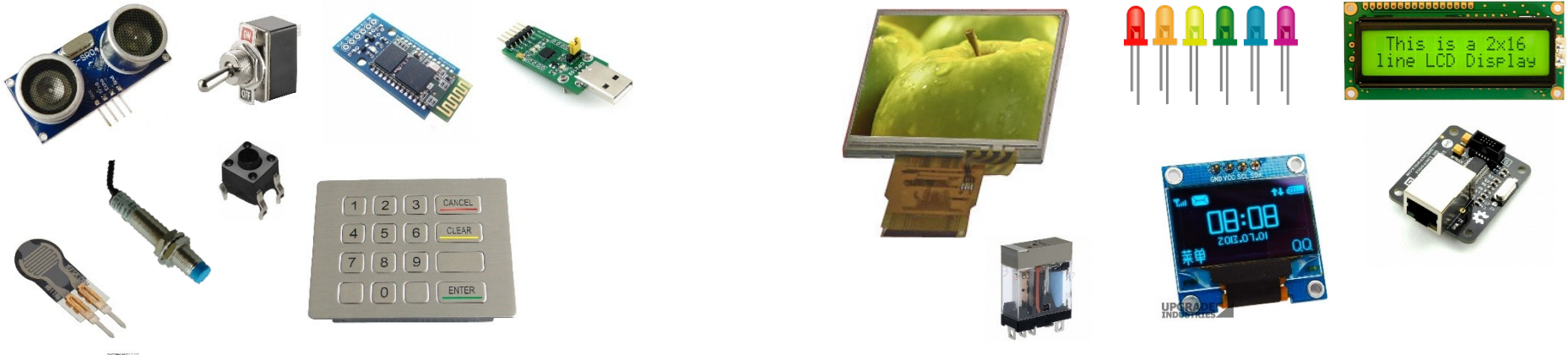
Les micro-contrôleurs (MCU, *Microcontroller Units*) sont les processeurs les plus répandus dans notre environnement.

De près ou de loin, nous utilisons environ 200 processeurs par jour !



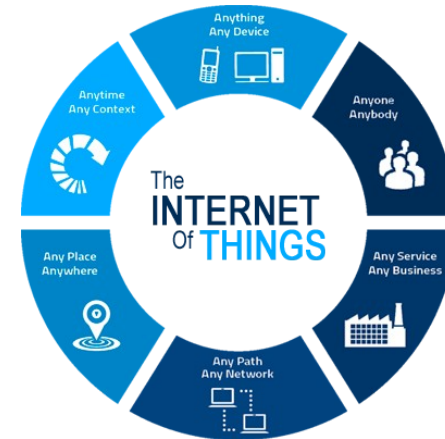
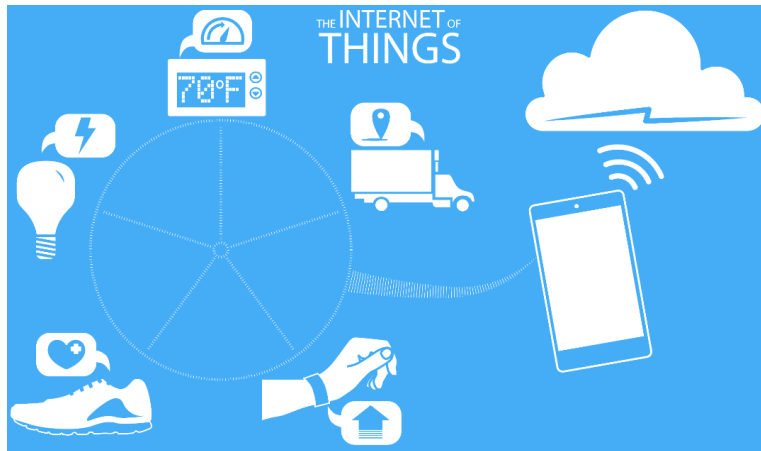
Les micro-contrôleurs sont des processeurs dédiés à la supervision des systèmes électroniques. Ils contrôlent leur environnement via leurs interfaces et leur firmware embarqué développé pour une application spécifique.

Ils ciblent des marchés où les applications sont faible coût, faible consommation, faible encombrement et gros volumes de production.

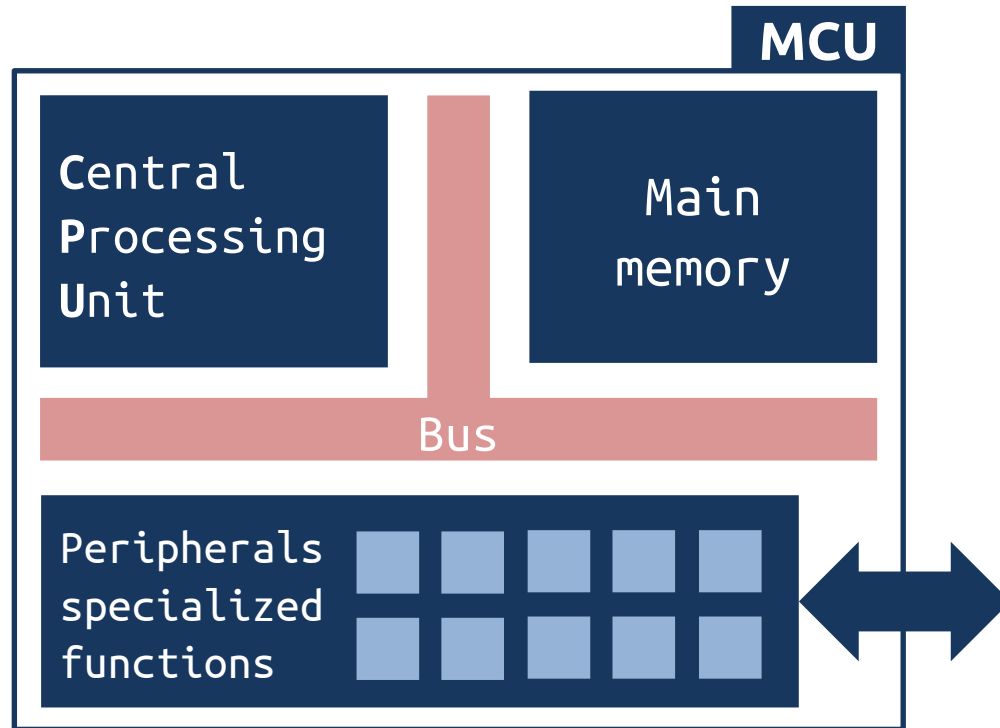


L'un des marchés phares actuels des MCU est celui des objets connectés (**IoT** ou *Internet of Things*). L'IoT représente l'extension d'Internet à des objets et lieux du monde physique. Il est considéré comme la troisième évolution d'Internet et, à ce titre, a été baptisé « Web 3.0 ».

Avec 3,6 milliards de connexions actives en 2015, 11,7 milliards en 2020 et 30 milliards prévues en 2025, l'IoT représentait 18 % des MCU en 2019 et 29 % en 2025.

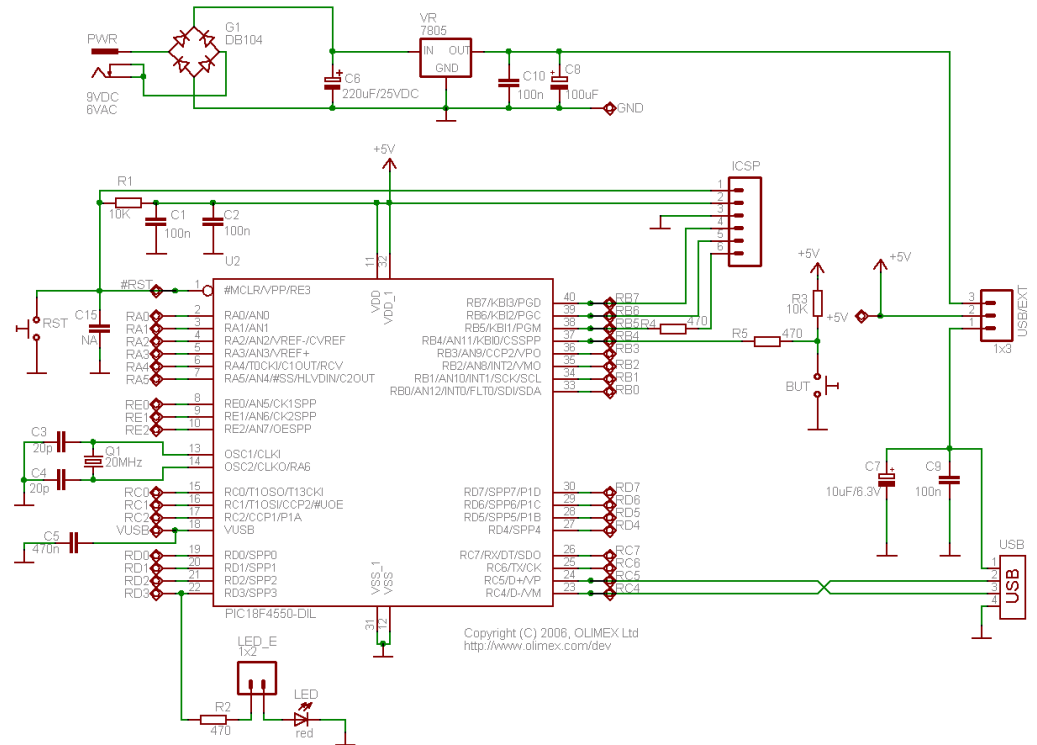
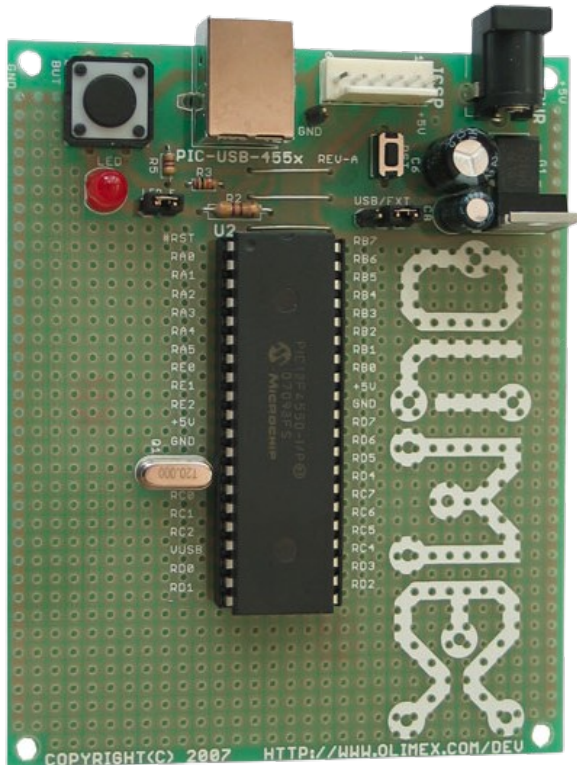


Ces processeurs sont des systèmes numériques intégrés sur puce.
Ils sont pensés pour être autonomes (pas besoin de RAM, de HDD, ...).

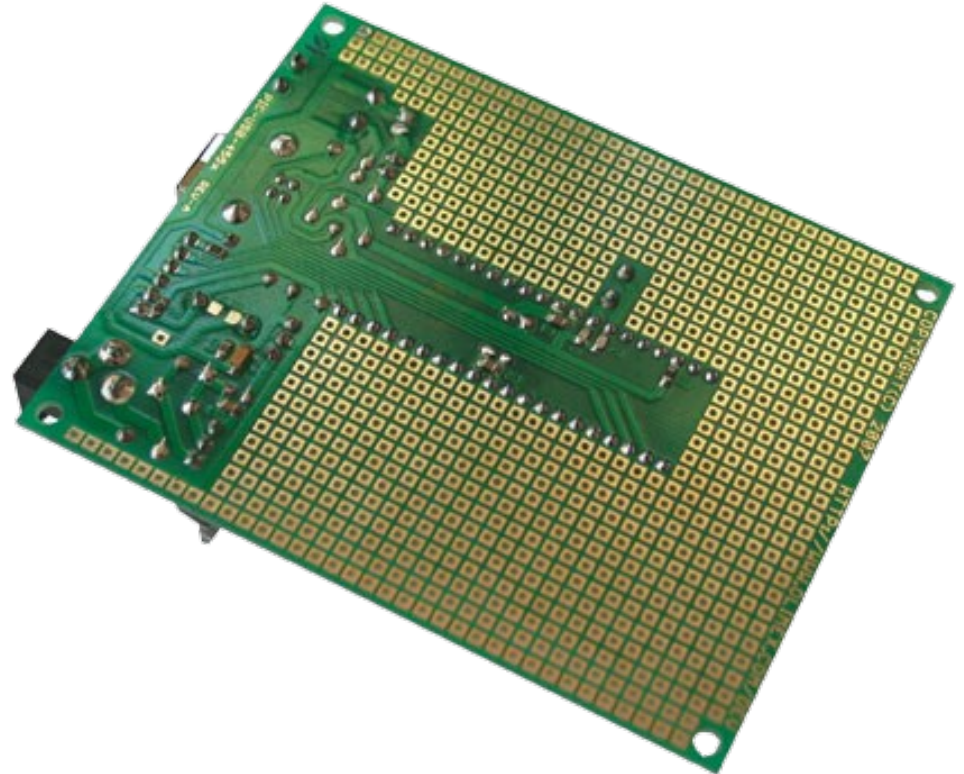
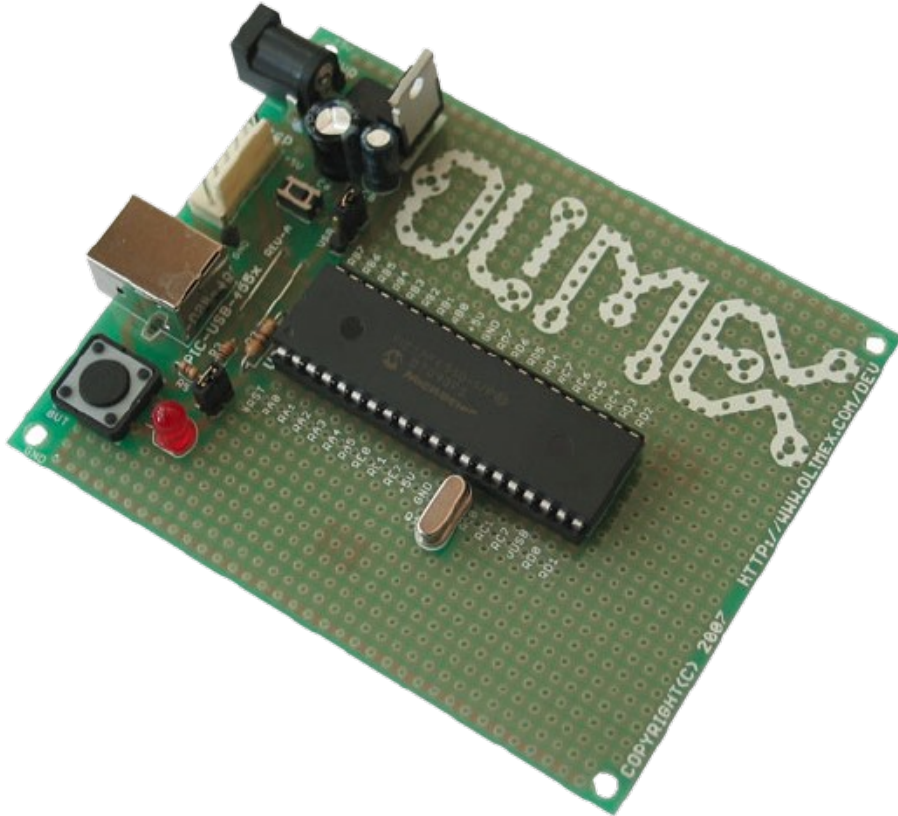


Exemple de schéma utilisant un PIC18 de Microchip.

Olimex PIC-USB-4550 board.



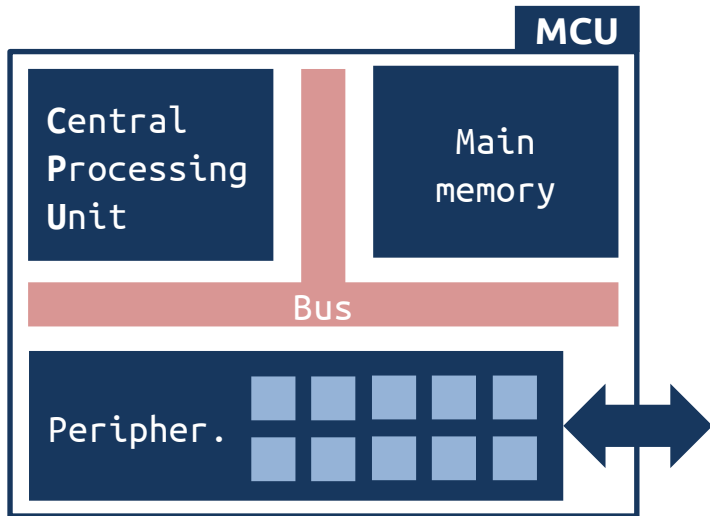
Exercice : repérez les composants du schéma précédent sur les photos ci-dessous.



Familles de MCU

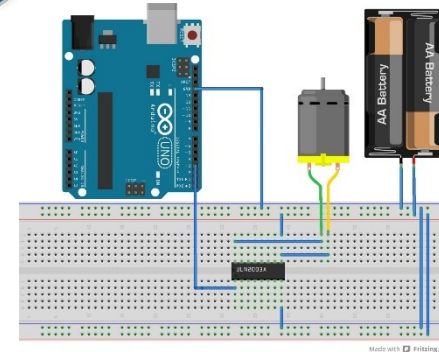
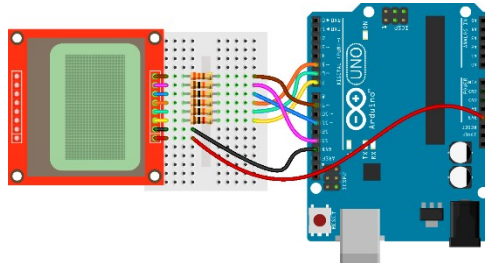
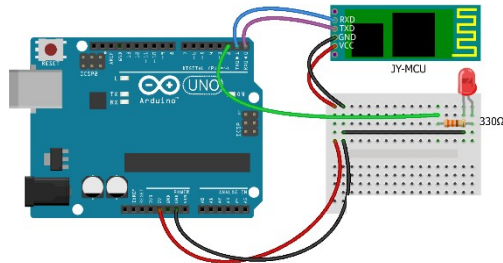
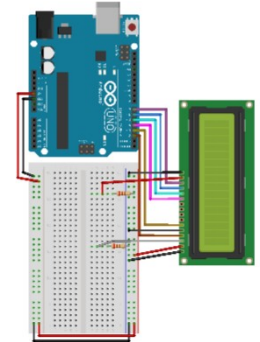
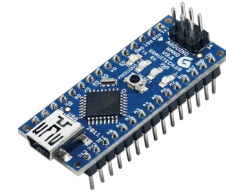
Il existe un très grand nombre de solutions MCU chez différents fournisseurs, permettant de résoudre un cahier des charges.

Les MCU d'une même famille sont caractérisés par le même CPU et bus associés. Le **jeu d'instructions (ISA, Instruction Set Architecture)** et donc les outils de compilation sont similaires. Ce qui différencie les MCU d'une même famille sera le jeu de périphériques associés et les ressources mémoire disponibles.



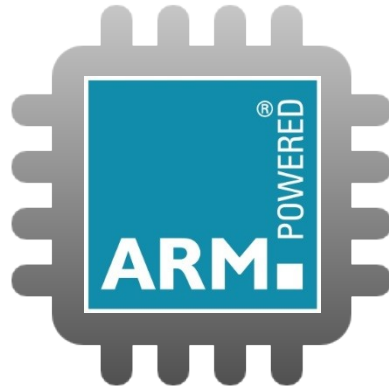
Projet Arduino

Sûrement le plus populaire des projets électroniques basés sur un MCU, il reste déprécié en enseignements ingénieurs pour son côté trop *friendly/maker* et sa non-application aux marchés en sortie d'école.



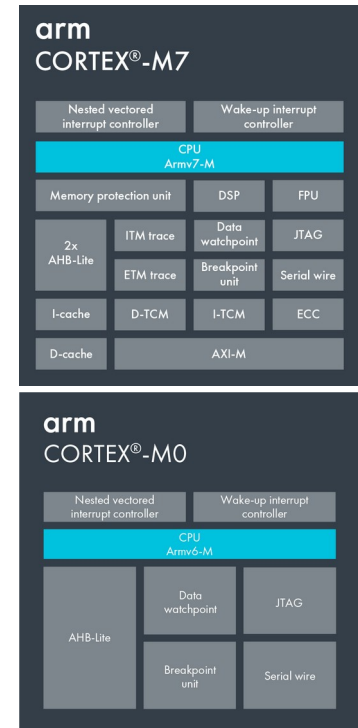
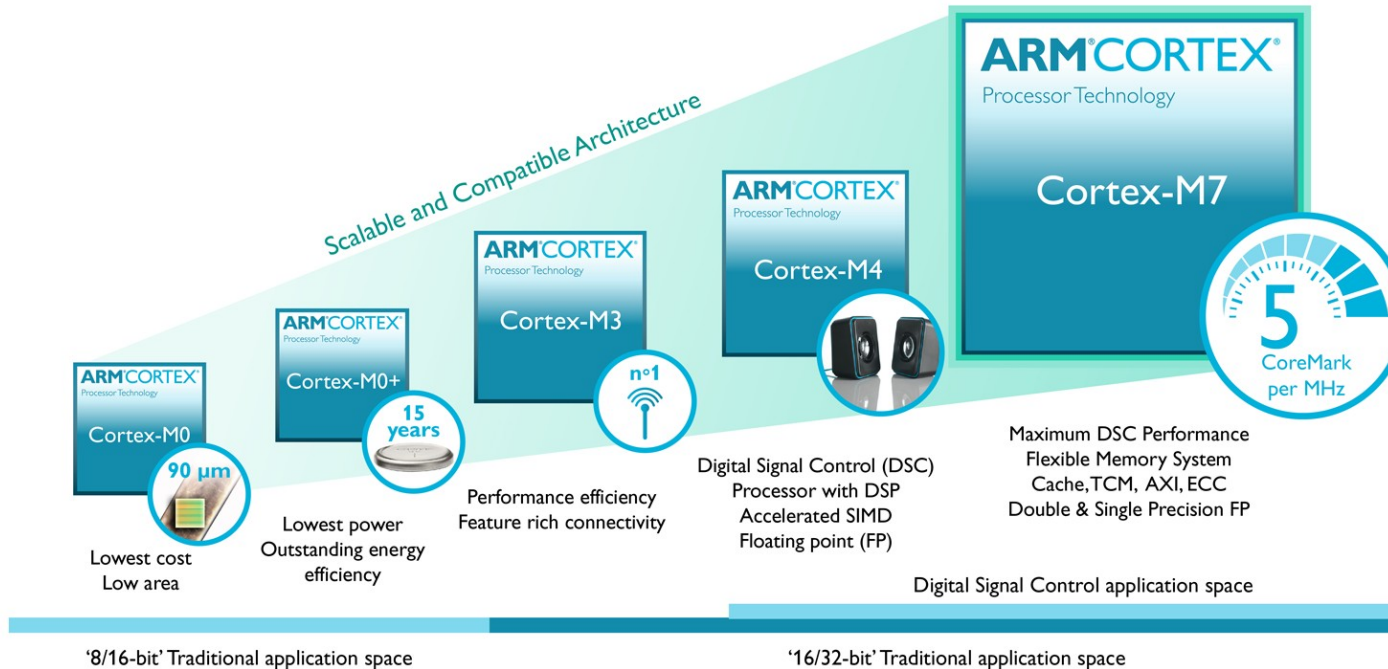
Même si le marché des MCU reste concurrentiel, la grande majorité des fondeurs de MCU (STMicro, Renesas, Texas Instruments, NXP, ...) utilisent des architectures CPU similaires, toutes proposées par la société ARM : la famille des **Cortex-M**.

Cela garanti un accès à des outils de développement, bibliothèques et services logiciels fiables, pouvant être libres et open-source (IP / *Graphical* / USB / Bluetooth, *stack*, RTOS, ...).



ARM propose la série des processeurs Cortex-M, où M signifie MCU.

Cette série comporte toute une famille de cœurs pour MCU adaptée à un large choix d'application.



Observons à titre d'illustration les gammes des STM32, qui sont des MCU 32-bits basés sur un coeur ARM Cortex-M.

Ils sont proposés par la société STMicroelectronics, société franco-italienne et principal fondeur européen.



Common core peripherals
and architecture:

Communication peripherals: USART, SPI, I ² C
Multiple general-purpose timers
Integrated reset and brown-out warning
Multiple DMA
2x watchdogs Real-time clock
Integrated regulator PLL and clock circuit
External memory interface (FSMC)
Up to 3x 12-bit DAC
Up to 4x 12-bit ADC (Up to 5 MSPS)
Main oscillator and 32 kHz oscillator
Low-speed and high-speed internal RC oscillators
-40 to +85 °C and up to 105 °C operating temperature range
Low voltage 2.0 to 3.6 V or 1.65/1.7 to 3.6 V (depending on series)
Temperature sensor

+

STM32 F4 series - High performance with DSP (STM32F405/415/407/417)

168 MHz Cortex-M4 with DSP and FPU	Up to 192-Kbyte SRAM	Up to 1-Mbyte Flash	2x USB 2.0 OTG FS/HS	3-phase MC timer	2x CAN 2.0B	SDIO 2x I ² S audio Camera IF	Ethernet IEEE 1588	Crypto/ hash processor and RNG
---	----------------------------	---------------------------	----------------------------	---------------------	----------------	---	-----------------------	---



STM32 F3 series - Mixed-signal with DSP (STM32F302/303/313/372/373/383)

72 MHz Cortex-M4 with DSP and FPU	Up to 48-Kbyte SRAM & CCM-SRAM	Up to 256-Kbyte Flash	USB 2.0 FS	2x 3-phase MC timer (144 MHz)	CAN 2.0B	Up to 7x comparator	3x 16-bit ΣΔ ADC	4x PGA
--	---	-----------------------------	---------------	--	-------------	---------------------------	---------------------	--------



STM32 F2 series - High performance (STM32F205/215/207/217)

120 MHz Cortex-M3 CPU	Up to 128-Kbyte SRAM	Up to 1-Mbyte Flash	2x USB 2.0 OTG FS/HS	3-phase MC timer	2x CAN 2.0B	SDIO 2x I ² S audio Camera IF	Ethernet IEEE 1588	Crypto/ hash processor and RNG
-----------------------------	----------------------------	---------------------------	----------------------------	---------------------	----------------	---	-----------------------	---



STM32 F1 series - Mainstream - 5 product lines (STM32F100/101/102/103 and 105/107)

Up to 72 MHz Cortex-M3 CPU	Up to 96-Kbyte SRAM	Up to 1-Mbyte Flash	USB 2.0 OTG FS	3-phase MC timer	Up to 2x CAN 2.0B	SDIO 2x I ² S audio	Ethernet IEEE 1588
-------------------------------------	---------------------------	---------------------------	-------------------	---------------------	-------------------------	--------------------------------------	-----------------------



STM32 F0 series – Entry level (STM32F050/051)

48 MHz Cortex-M0 CPU	Up to 12-Kbyte SRAM	Up to 128-Kbyte Flash	3-phase MC timer	Comparator	CEC
----------------------------	---------------------------	-----------------------------	---------------------	------------	-----



STM32 L1 series - Ultra-low-power (STM32L151/152/162)

32 MHz Cortex-M3 CPU	Up to 48-Kbyte SRAM	Up to 384-Kbyte Flash	USB FS device	Up to 12-Kbyte EEPROM	LCD 8x40 4x44	Comparator	BOR MSI VScal	AES 128-bit
----------------------------	---------------------------	-----------------------------	------------------	-----------------------------	---------------------	------------	---------------------	----------------

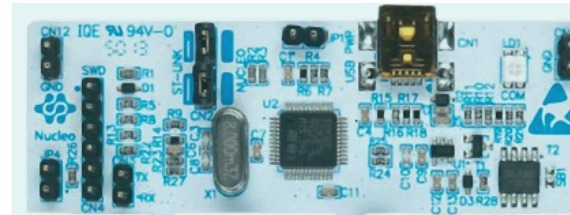
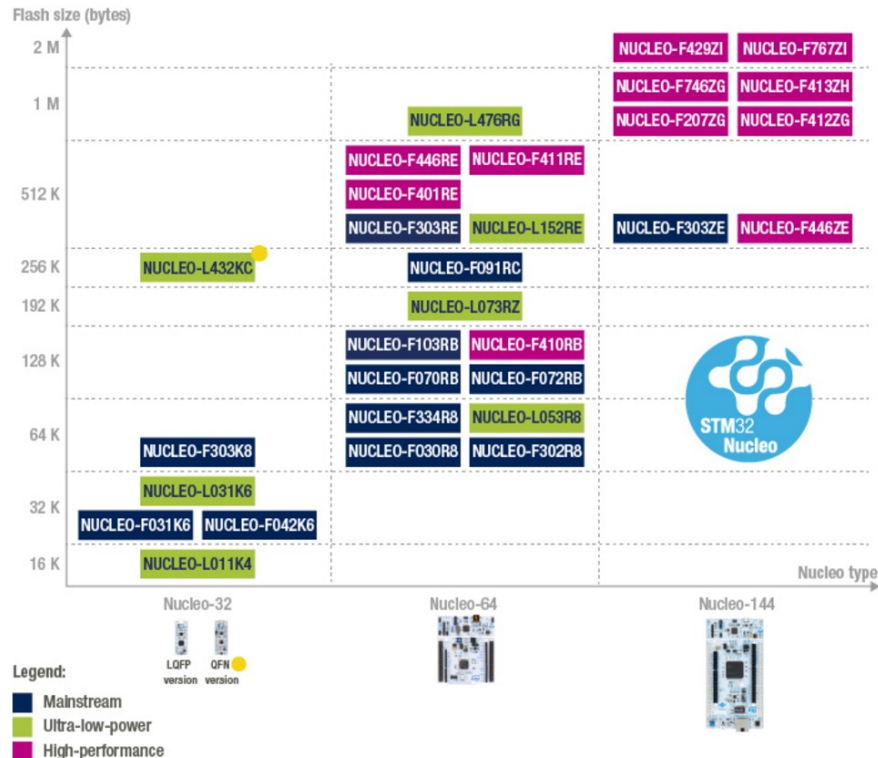


STM32 W series - Wireless (STM32W108)

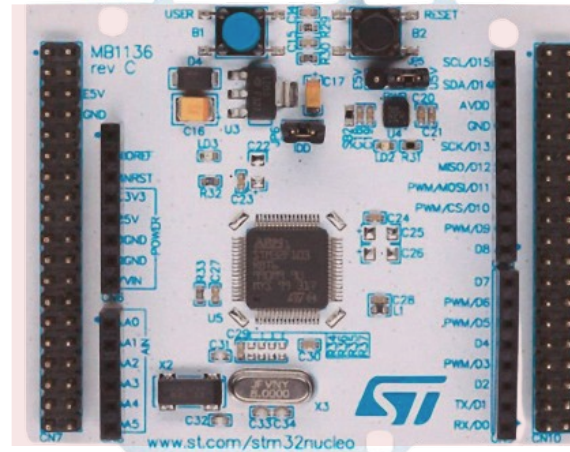
24 MHz Cortex-M3 CPU	Up to 16-Kbyte SRAM	Up to 256-Kbyte Flash	2.4 GHz IEEE 802.15.4 Transceiver	Lower MAC Digital baseband	AES 128-bit
----------------------------	---------------------------	-----------------------------	--	----------------------------------	----------------



Le projet Nucleo propose des maquettes d'évaluation à bas coût utilisant des solutions MCU et outils de développement de l'industrie (≈ 10 €).



- Power supply
- Programmer (JTAG emulator)



- Target MCU
- Switch and LED
- External ports
- Shields connectors
- Arduino shield connectors

Observons les résultats d'une étude de marché réalisée chaque année.

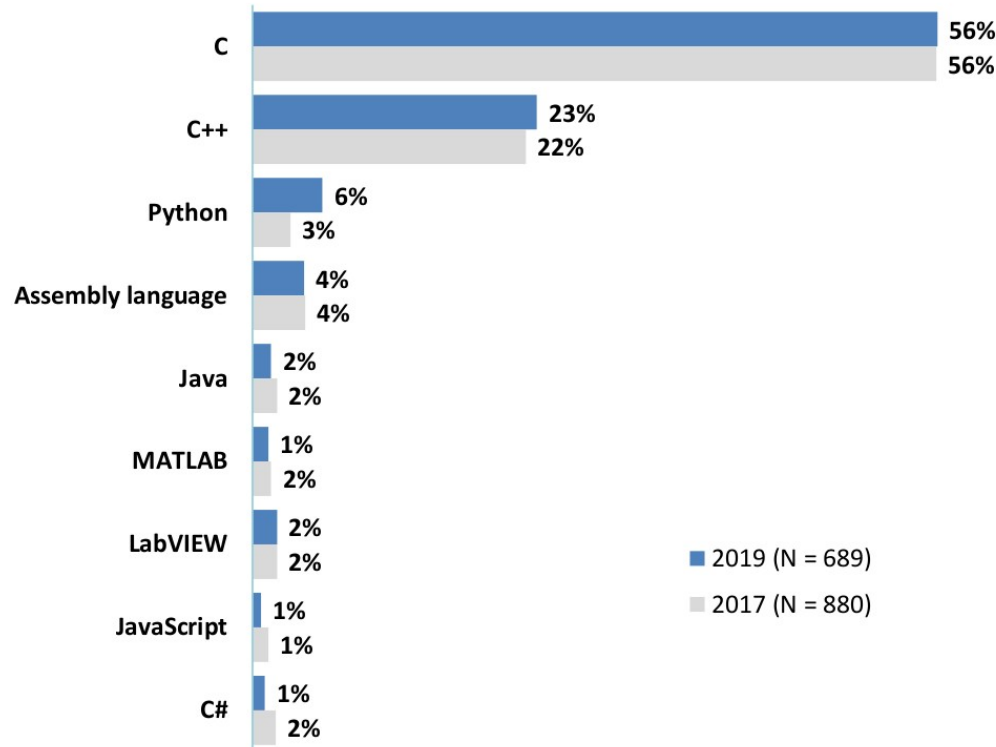


2019 Embedded Markets Study
Integrating IoT and Advanced Technology Designs,
Application Development & Processing Environments
March 2019

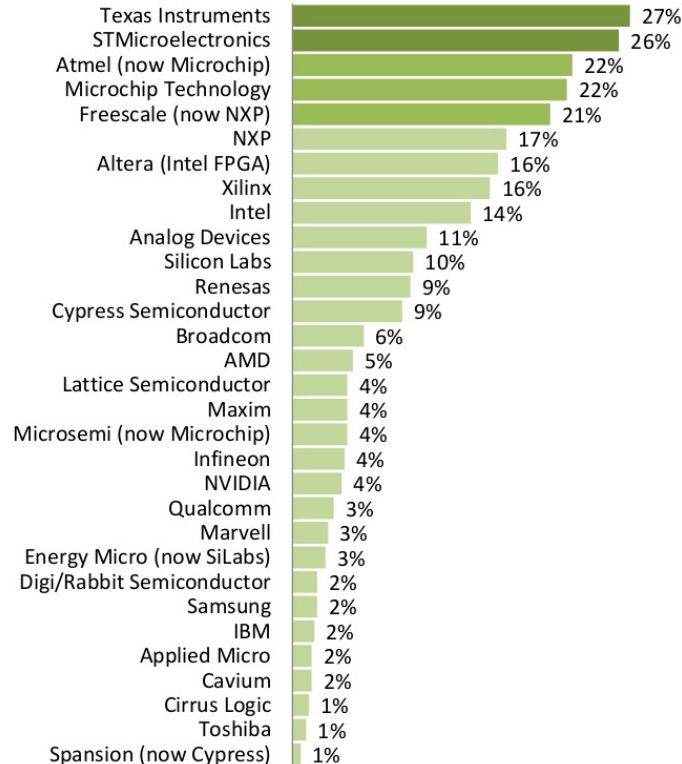
Presented By: **EE**Times embedded



My *current* embedded project is programmed mostly in:



Please select the processor vendors you are currently using.



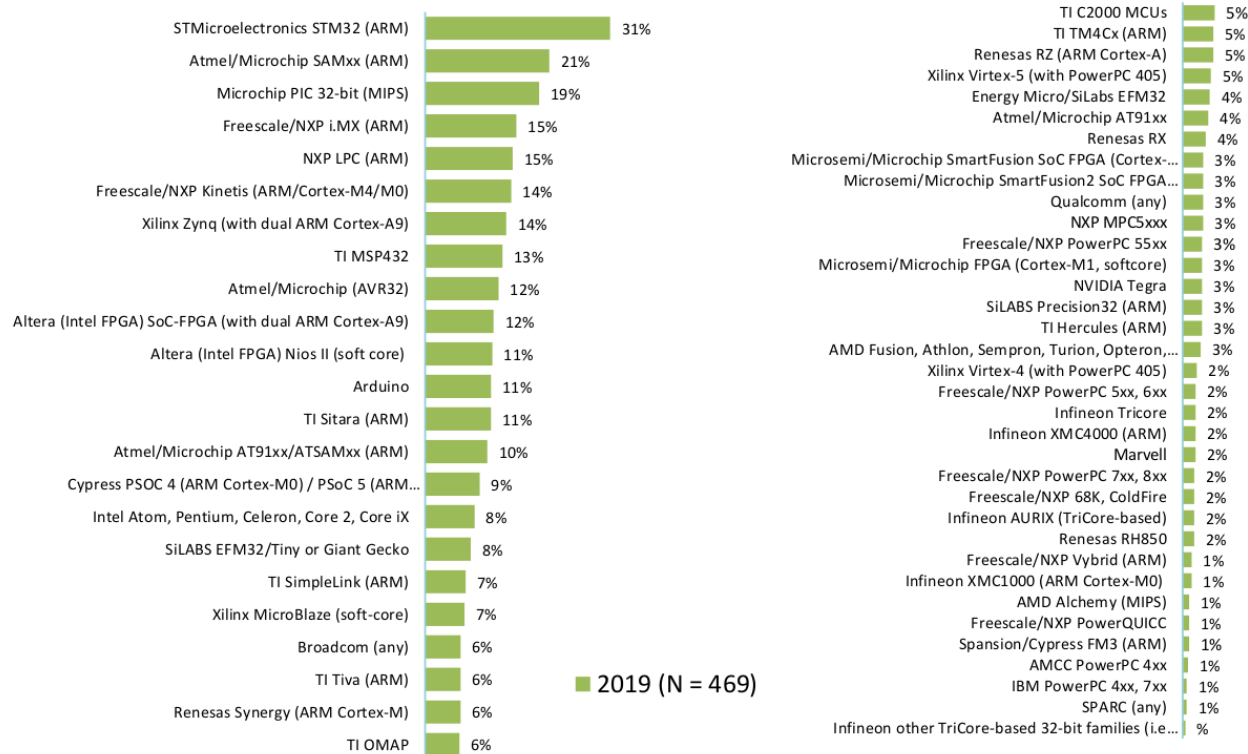
Merged Brands Combined	%
Microchip/Atmel/Microsemi (Net)	40
NXP/Freescale (Net)	28
Intel/Altera (Net)	26
Silicon Labs/Energy (Net)	10
Cypress/Spansion (Net)	9

Top Four Brands by Region:
Americas: TI, Microchip, STMicro, Atmel
EMEA: STMicro, NXP, TI, Atmel
APAC: TI, Atmel, Freescale, STMicro

2019 (N = 458)

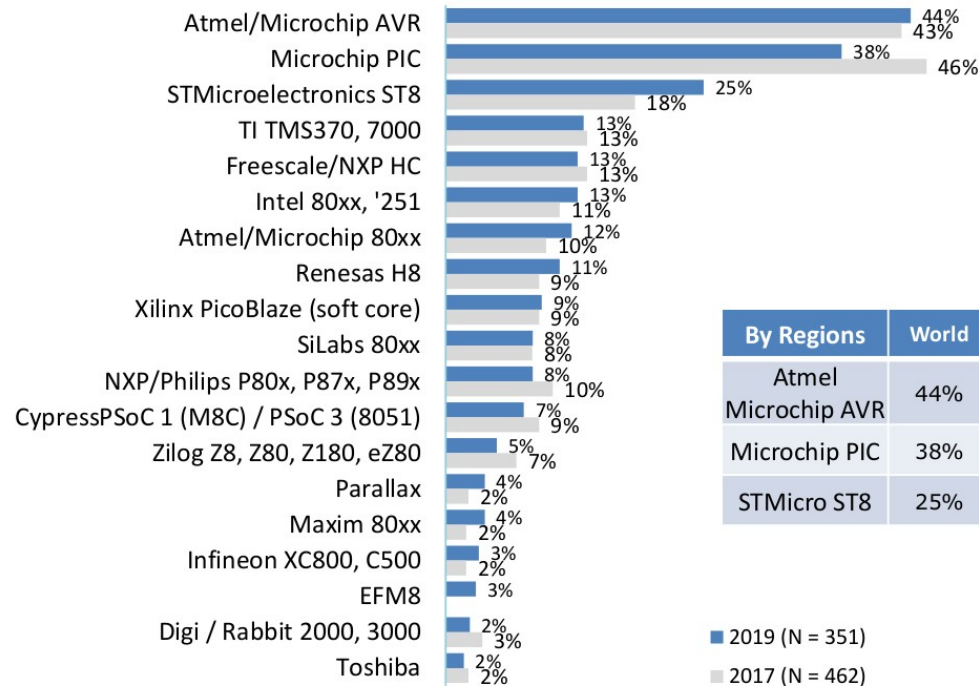


Which of the following 32-bit chip families would you consider for your next embedded project?





Which of the following 8-bit chip families would you consider for your next embedded project?



By Regions	World	Americas	EMEA	APAC
Atmel Microchip AVR	44%	44%	52%	39%
Microchip PIC	38%	41%	43%	23%
STMicro ST8	25%	22%	31%	28%

■ 2019 (N = 351)

■ 2017 (N = 462)

GPP

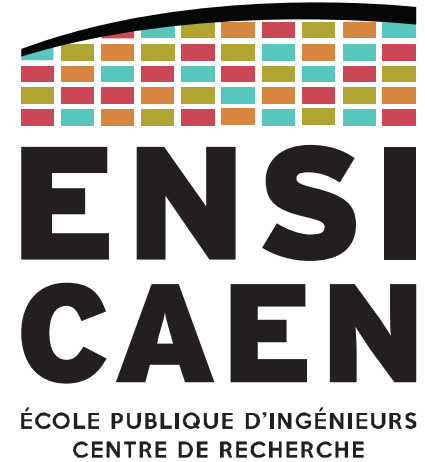
GENERAL PURPOSE PROCESSORS

Applications

Architecture

Carte mère

Processeur superscalaire

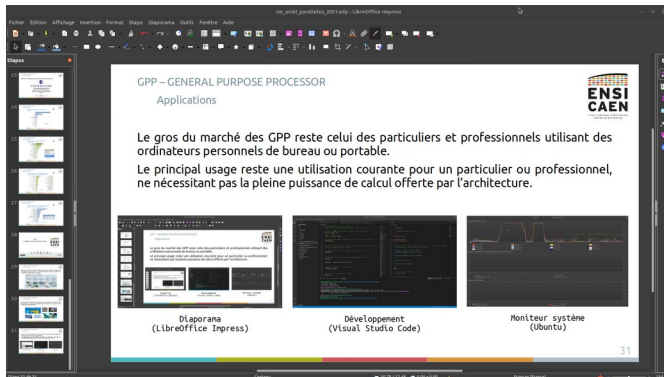


Les **General Purpose Processors (GPP)** possèdent une architecture CPU complexe leur offrant une **grande polyvalence**, notamment à l'exécution de code faiblement optimisé. Il s'agit par exemple de programmes de contrôle offrant un code séquentiel avec un grand nombre de tests et d'appels de fonctions. Codes difficiles à accélérer.

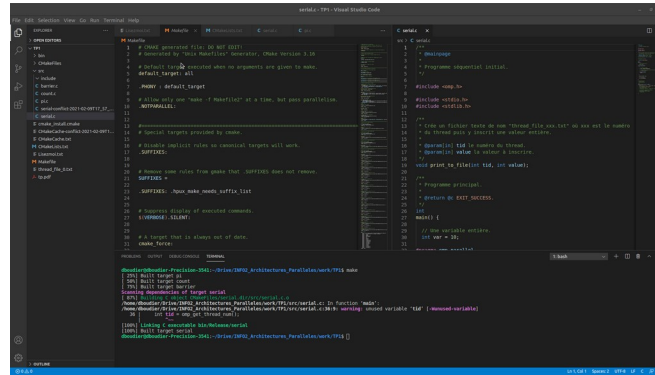
```
444     prev = NULL;
445     for (mpnt = oldmm->mmap; mpnt; mpnt = mpnt->vm_next) {
446         struct file *file;
447
448         if (mpnt->vm_flags & VM_DONTCOPY) {
449             vm_stat_account(mm, mpnt->vm_flags, -vma_pages(mpnt));
450             continue;
451         }
452         charge = 0;
453         if (mpnt->vm_flags & VM_ACCOUNT) {
454             unsigned long len = vma_pages(mpnt);
455
456             if (security_vm_enough_memory_mm(oldmm, len)) /* sic */
457                 goto fail_nomem;
458             charge = len;
459         }
460         tmp = kmem_cache_alloc(vm_area_cachep, GFP_KERNEL);
461         if (!tmp)
462             goto fail_nomem;
463         *tmp = *mpnt;
464         INIT_LIST_HEAD(&tmp->anon_vma_chain);
465         retval = vma_dup_policy(mpnt, tmp);
466         if (retval)
467             goto fail_nomem_policy;
```

Le gros du marché des GPP reste celui des particuliers et professionnels utilisant des ordinateurs personnels de bureau ou portable.

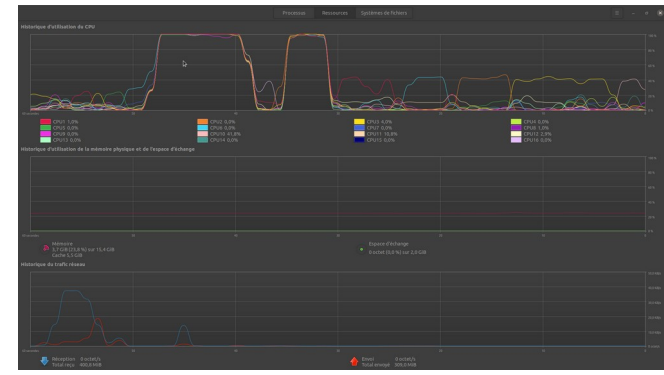
Le principal usage reste une utilisation courante pour un particulier ou professionnel, ne nécessitant pas la pleine puissance de calcul offerte par l'architecture.



Diaporama
(LibreOffice Impress)



Développement
(Visual Studio Code)

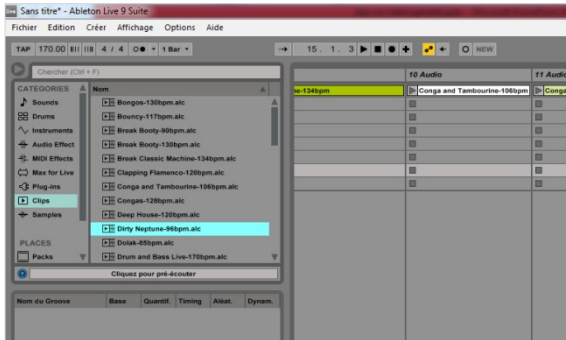


Moniteur système
(Ubuntu)

Applications

On peut également citer les applications de traitement du son, de traitement d'image, de traitement du signal, de développement logiciel ou de montages de médias.

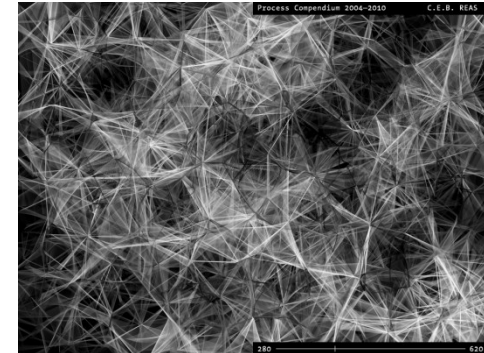
Celles-ci sont plus contraignantes au regard des ressources et exploitent souvent le plein potentiel du matériel.



Montage audio (Ableton)



Traitement du son



Traitement d'image

Les applications industrielles sont également un terrain historique des GPP.

Ils sont typiquement rencontrés sur des tâches de contrôle ou des fonctions de calculs spécialisés. Ce marché tend à utiliser des solutions intégrées (AP, SoC, DSP, FPGA).

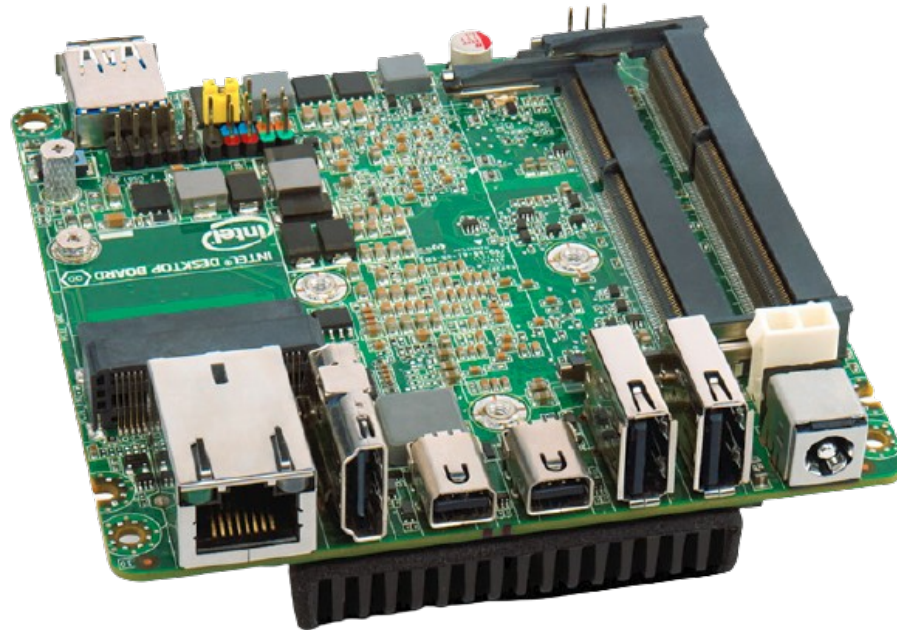


Rafale
(Dassault)

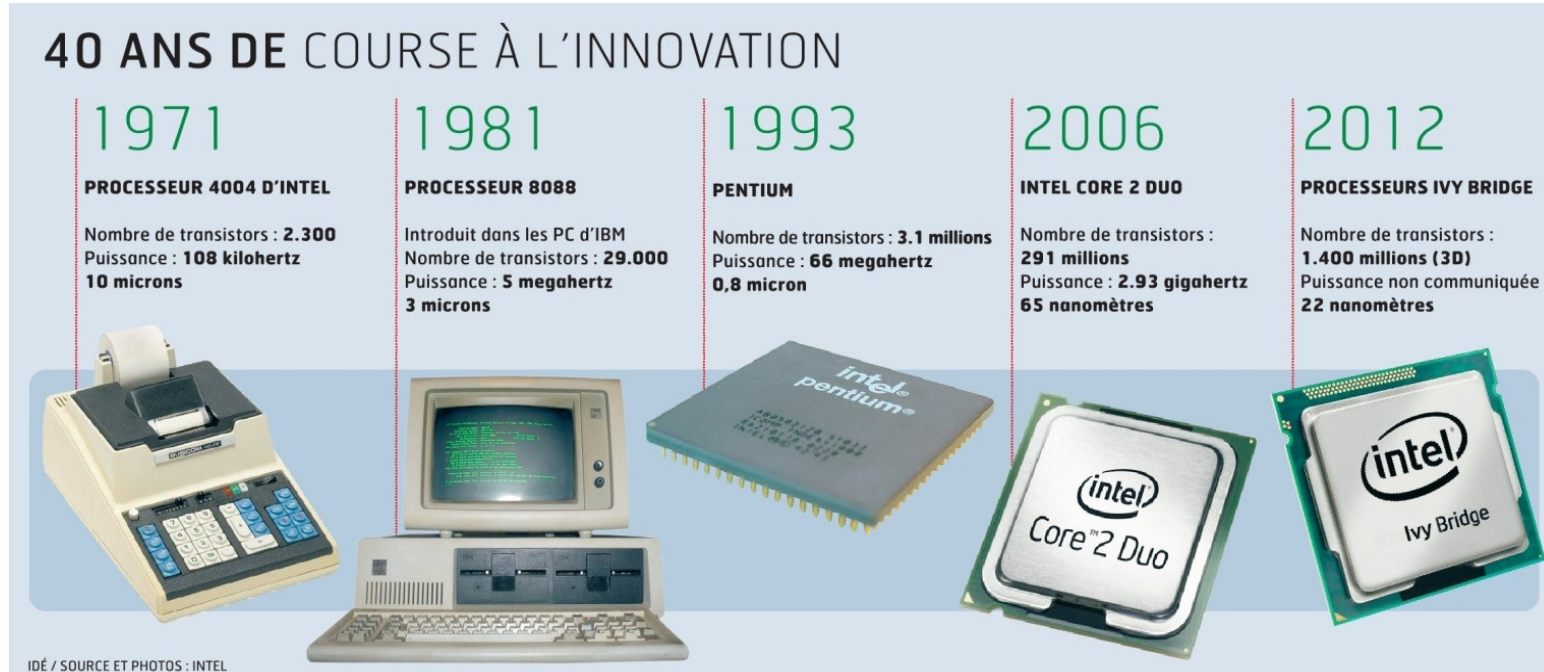


Notons que les GPP peuvent également être exploités par des applications rattachées au domaine des systèmes embarqués.

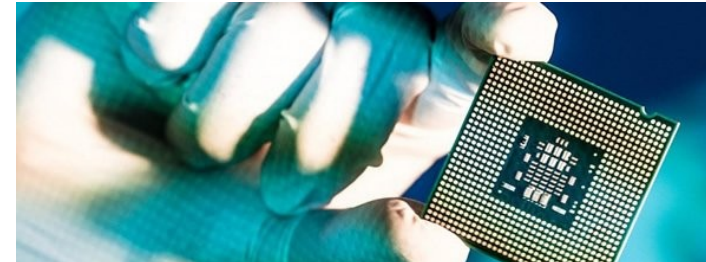
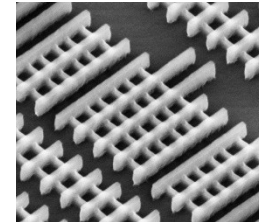
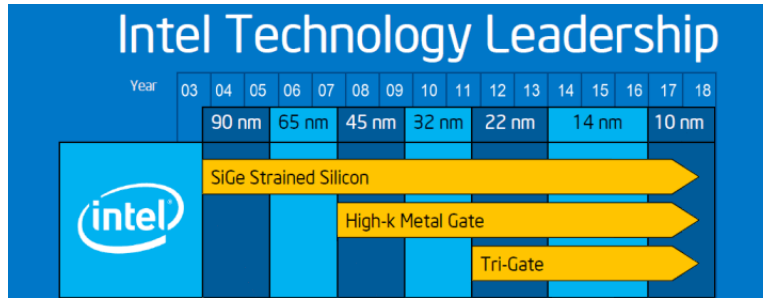
Voici par exemple la carte mère NUC Core i5 de Intel.



Observons les architectures phares d'Intel, leader actuel et historique du marché des GPP (*General Purpose Processor*) ou MPU (*MicroProcessor Unit*) mais également du marché des semi-conducteurs au sens large.



Les architectures GPP phares à notre époque sont les familles Core i3/i5/i7 de Intel. Mais prudence, il existe un grand nombre d'autres architectures et fondeurs de GPP ciblant divers marchés différents.



EVOLUTION OF THE PROCESSOR



1971
Intel launched its first microprocessor, the 4004.



1972
The company announced the first 8-bit microprocessor - the 8008.



1974
The Intel 8080 microprocessor was introduced, considered by many to be the first true general-purpose microprocessor.



1976
Intel 8085 microprocessor was introduced, delivering a 5-volt power supply advantage.



1989
Introduced the Intel 860 processor, the first commercial microprocessor with more than 1M transistors.



1985
A 32-bit chip, the advanced Intel 386™ processor was launched.



1982
Launched the high-performance 16-bit 80286 microprocessor with 134,000 transistors.



1978
Introduced the 80386 16-bit microprocessor which became an industry standard.



1992
Introduced first OverDrive processors, which allowed users of certain upgradable PCs to boost system performance.



1995
The Intel Pentium Pro processor: high-performance chip for 32-bit workstations and servers.



1993
Intel Pentium Processors arrives, five times more powerful than the original Intel i486™ processor.



1998
Intel rolls out the Intel Pentium II Xeon processor for workstation and server markets.



1998
The Intel Celeron processor is introduced for the value PV market segment.



1998
Intel announced its first high-performance, low-power processors based on the Intel StrongARM technology, for handheld computing and communication devices.



2000
The Intel Pentium 4 Processor heralds new performance with 42-million transistors.



2012
Intel 3rd-gen Core™ processor (IVY Bridge) launched.



2011
"Visibly Smart" 2nd Gen Intel Core™ Processors (Sandy Bridge) launched.



2008
Energy-efficient computer chip, Intel Atom™ processor introduced to provide wireless capability to small mobile computing devices.



2006
World's first Quad-Core Processor for desktop & mainstream servers and more ... Intel Centrino™ Duo Mobile Technology, Intel V™ technology and Intel Core™ 2 Duo processor is launched.



2007
Launched Core™ 2 Quad processors. This year also sees breakthrough in 45nm process technology that allows more than 2 million Intel 45nm transistors to fit in a sentence period.



2001
Server workhorses: Intel Itanium Processor and Intel Xeon Processors launched.



2002
Intel delivered its first chip 0.13 micron technology on 300mm (12-inch) wafers.



2003
Introduced Intel Centrino Processor Technology: high performance, great battery life, and integrated wireless LAN capability to thinner laptop PCs.



<https://javadoc4dummies.blogspot.com/2013/03/intel-processor-evolution.html>

Intel Processors Generations

2020
Process: 14nm
RAM Support
LPDDR4X-4267
LPDDR5-5400
Tiger Lake

2017
Process: 14nm
Socket: 1151 LGA
RAM Support
DDR4 2666
Coffee Lake

2016
Process: 14nm
Socket: 1151 LGA
RAM Support
DDR3L 1600 DDR4 2400
Kaby Lake

2015
Process: 14nm
Socket: 1150 LGA
RAM Support
DDR3L 1333/1600 MHz
Broadwell

2012
Process: 22nm
Socket: 1155 LGA
RAM Support
DDR3 (1333-1600) MHz
Ivy Bridge

2010
Process: 45nm
Socket: 1156 LGA
RAM Support
DDR3
Nehalem

Performance improvement 30.0%

11th

Performance improvement 26.0%

10th

9th

8th

7th

6th

5th

Performance improvement 3-8%

4th

Performance improvement 25-68%

3rd

Performance improvement 11.3%

2nd

1st

2017
Process: 10nm
Socket: 1526 BGA
RAM Support
DDR4 3200 LPDDR4X 3733
Ice Lake

2017
Process: 14nm
Socket: 1356 BGA
RAM Support
DDR4 2666
Kaby Lake R

2015
Process: 14nm
Socket: 1151 LGA
RAM Support
DDR4 2133
Skylake

2013
Process: 22nm
Socket: 1150 LGA
RAM Support
DDR4
Haswell

2011
Process: 32nm
Socket: 1155 LGA
RAM Support
Up to DDR3-1066 MHz
Sandy Bridge

<https://www.itechtics.com/processor-generations>

ITECHTICS

GPP – GENERAL PURPOSE PROCESSOR

Architectures Intel

4004	(1971)	Processeur 4 bit
8008	(1972)	Processeur 8 bit
8086	(1978)	Processeur 16 bit

80386	(1985)	Processeur 32 bit
-------	--------	-------------------

Pentium	(1993)	Processeur 32 bit
---------	--------	-------------------

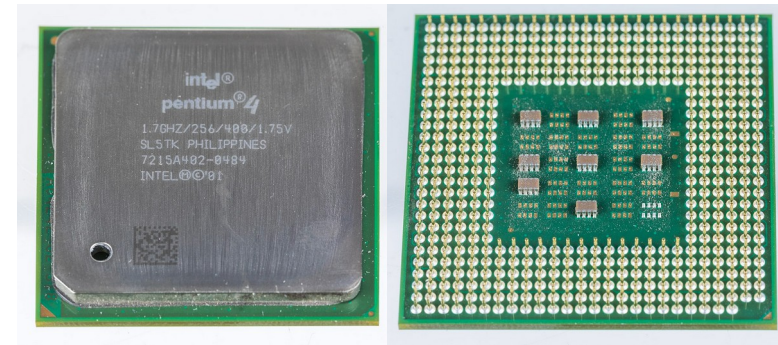
Pentium 4	(2000)	Processeur 32 bit
-----------	--------	-------------------

Core 2 Duo	(2006)	Proc. 32/64 bit
------------	--------	-----------------

→ Apparition du multi-core chez Intel

→ Naissance de l'ISA x86-64 (calé sur celui d'AMD), rétro-compatible x86-32 et x86-16 !

Core	(2008)	12 générations se succèdent jusqu'à aujourd'hui (2022)
------	--------	--



→ Premier CPU x86 (ISA x86-16)

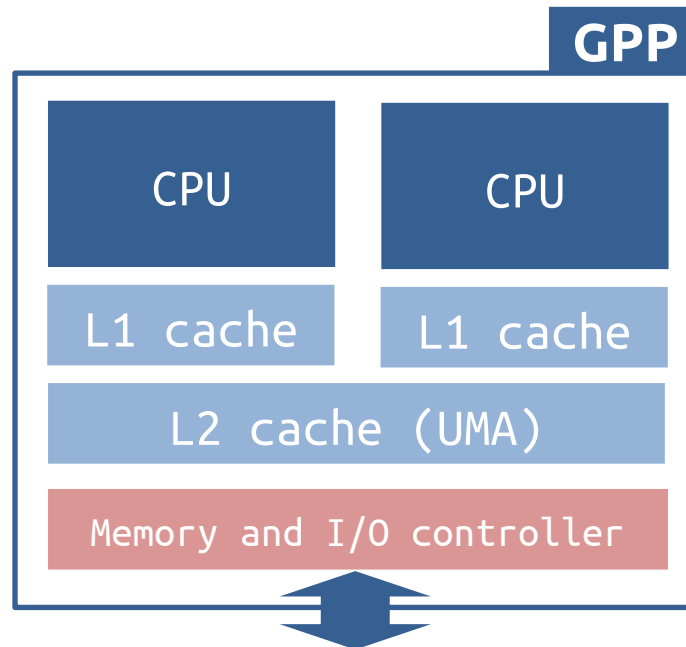
→ ISA x86-32, rétro-compatible x86-16

→ Premier superscalaire commercialisé

→ 2 cœurs logiques (2 threads)

Processeur de traitement nu, dépourvu de mémoire principale.

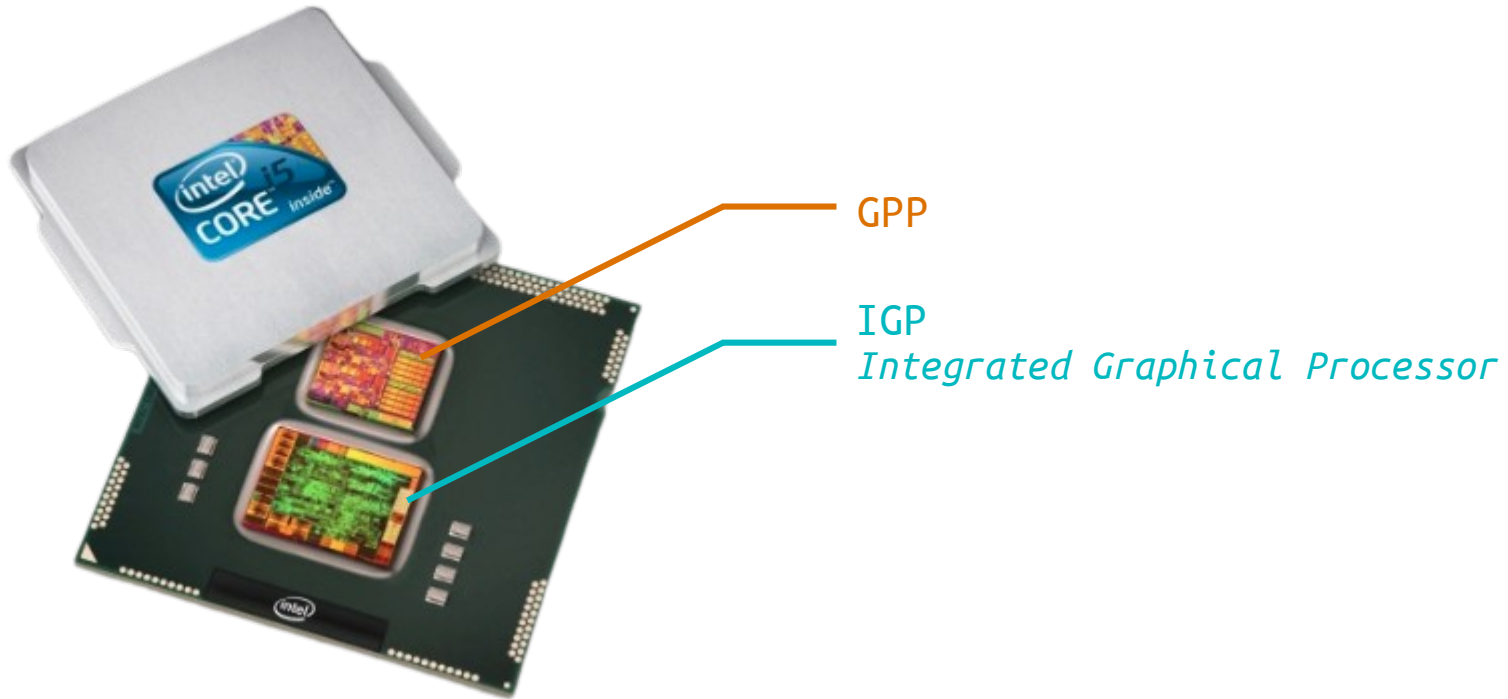
Il embarque un ou plusieurs CPU (architecture homogène) mariés avec leurs caches, possède un modèle mémoire uniforme (UMA) et embarque un contrôleur d'interfaces.



GPP – GENERAL PURPOSE PROCESSOR

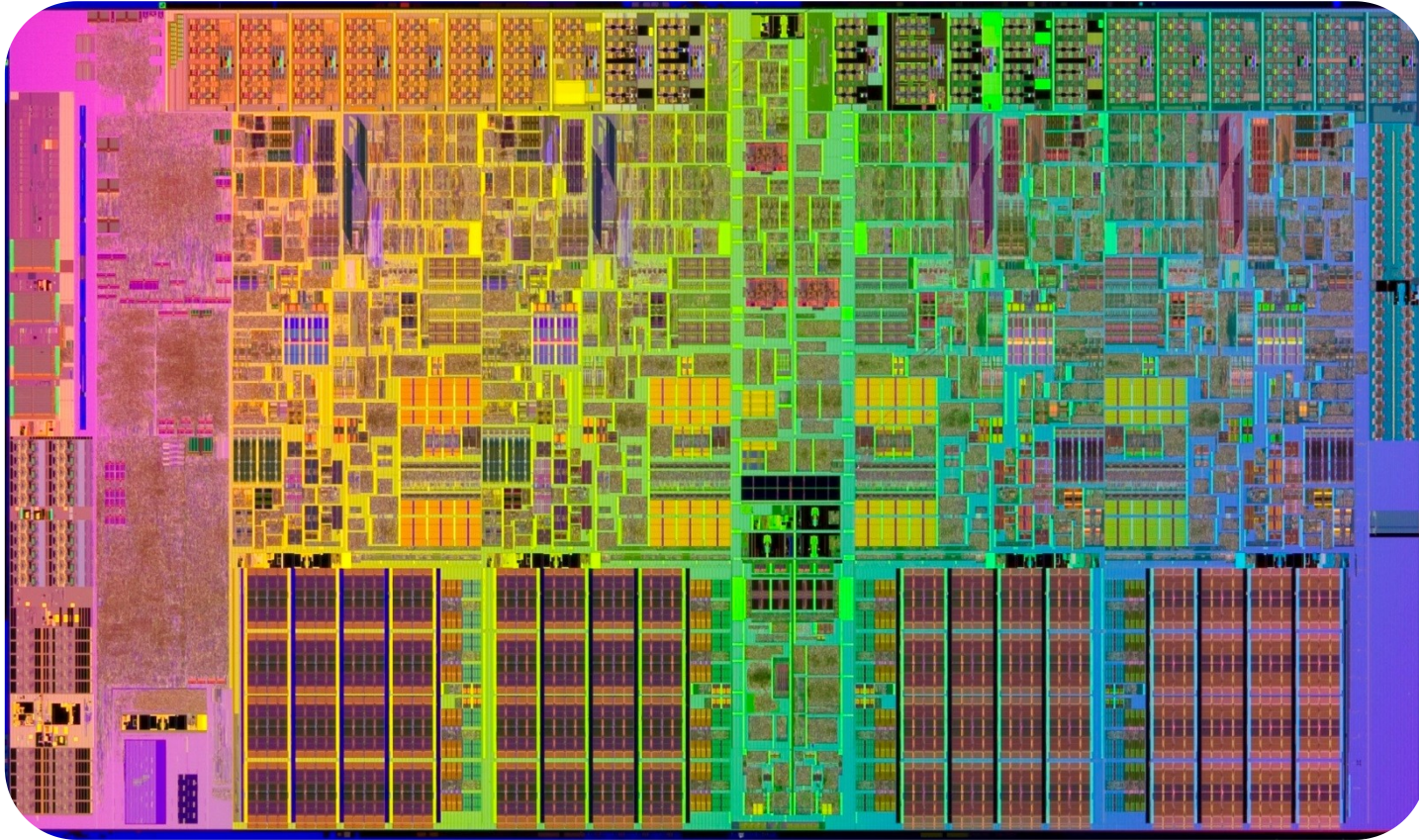
Exemple : Intel Core i5

Exemple de la famille Core i5 de Intel.



GPP – GENERAL PURPOSE PROCESSOR

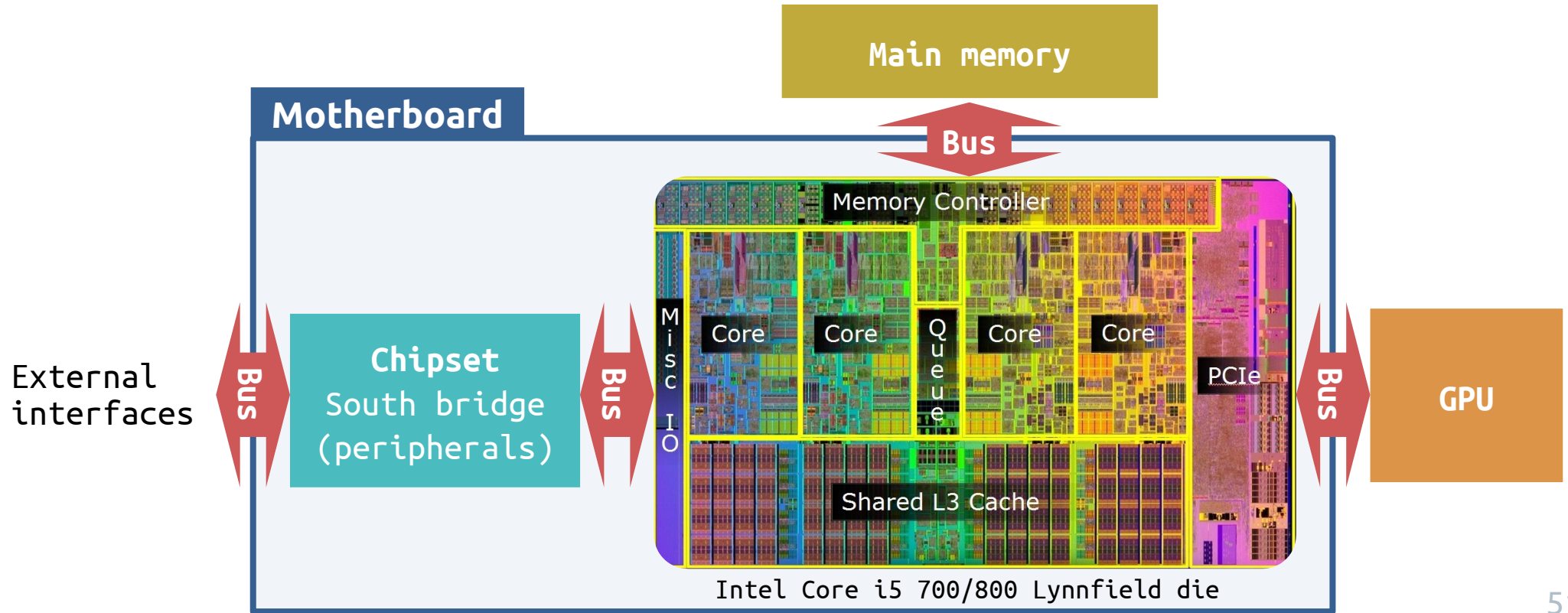
Exemple : Intel Core i5



Intel Core i5 700/800 Lynnfield die

Exemple : Intel Core i5

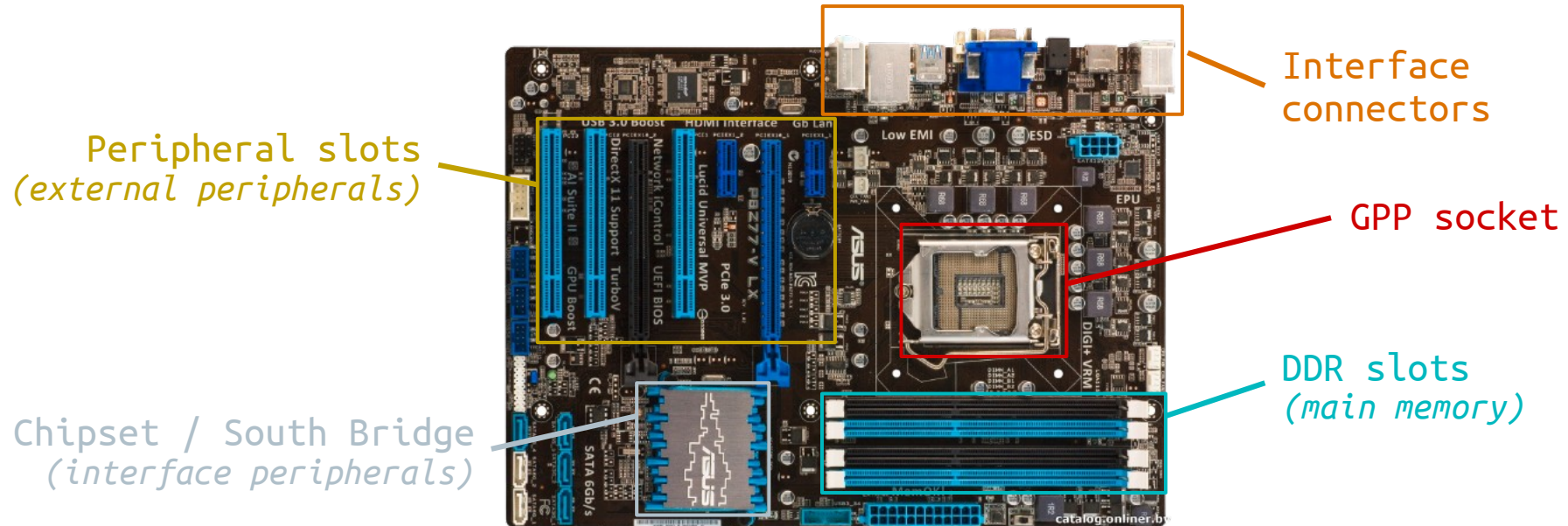
Intégration dans le système (carte mère)



Carte mère

Un GPP doit forcément être porté sur une carte mère avec mémoire principale et périphériques d'interfaces externes déportés.

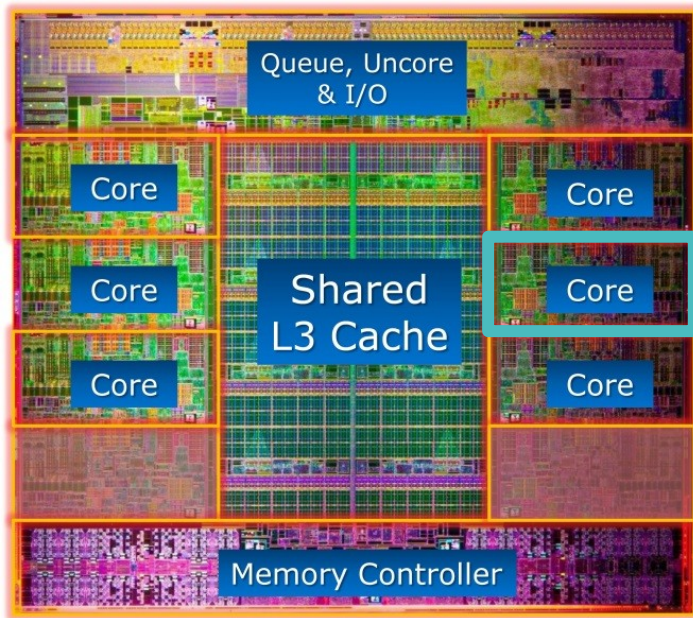
Exemple de carte mère ASUS, n°2 du marché mondial en 2016.



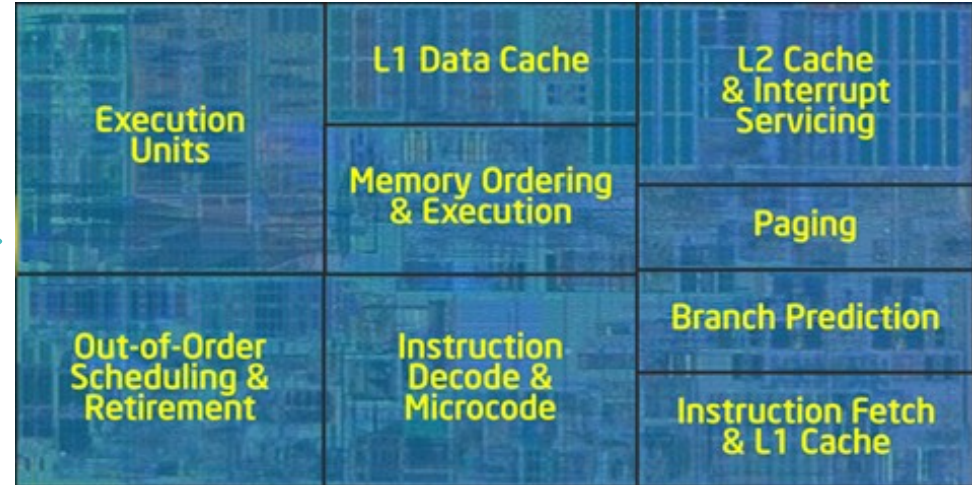
Les GPP possèdent un CPU dit **superscalaire**. Les processeurs possédant ce type de pipeline CPU se caractérisent le plus souvent par le déploiement des mécanismes d'accélération matériels suivants :

- **Étage d'exécution *Out Of Order*** : Exécution des instructions dans le désordre. Ordonnanceur matériel gérant les dépendances fonctionnelles et sur les données, étages de renommage des registres (résultats intermédiaires) et de ré-ordonnancement
- **Étage de prédiction au branchement**
- **Étage d'exécution *RISC-like***, même si l'ISA est CISC

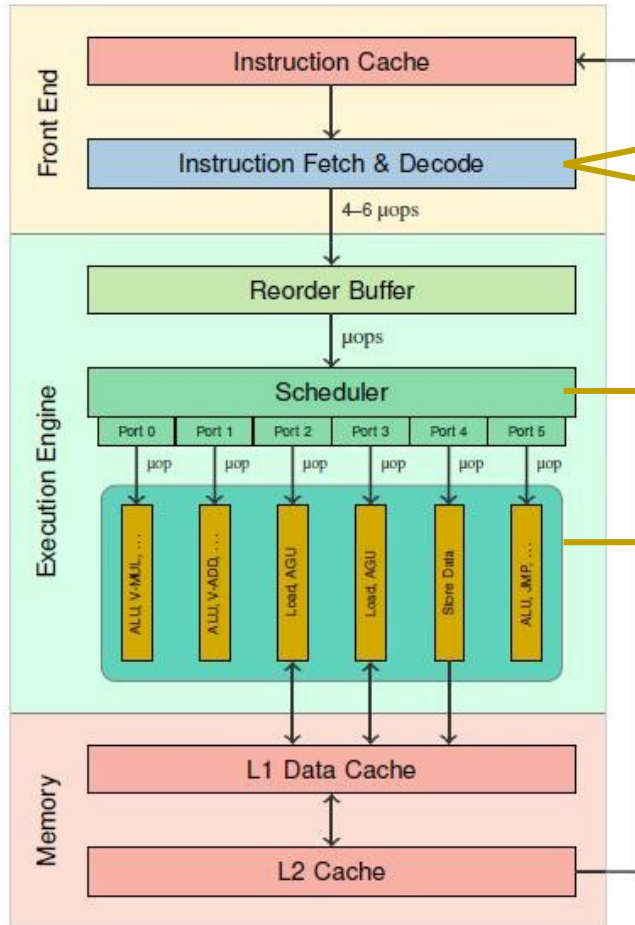
Die d'un CPU de la génération Sandy Bridge de Intel, illustré pour un Core i7.



Intel Core i7



Sandy Bridge CPU/Core



Étage de prédiction au branchement

- *Pré-décodeur CISC (fusion)*
- *Transcodeur CISC (instruction) vers RISC (uOps)*

Out Of Order scheduling

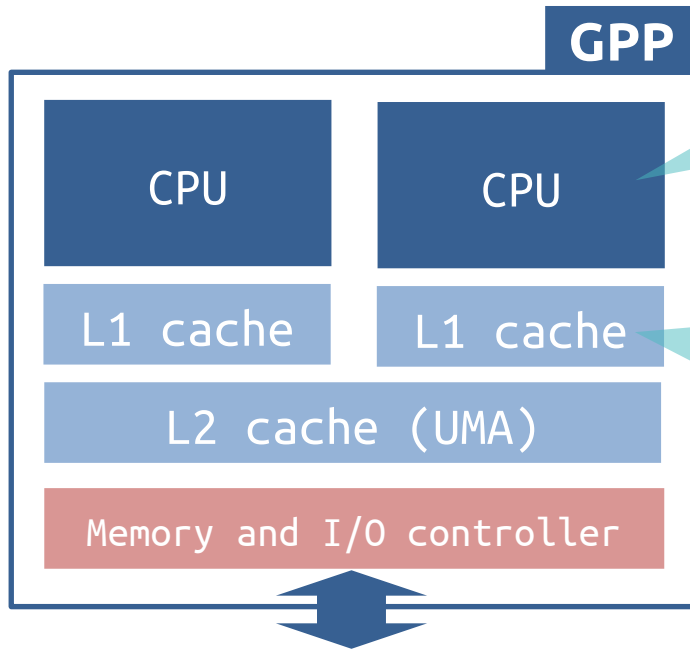
- *Unités d'exécution vectorielles SIMD spécialisées (exécution parallèle MISD)*
- *Nombreux registres temporaires cachés (des développeurs)*
- *Spéculation à l'exécution*
- *Étage de retirement*

Attention, cette grande polyvalence et complexité matérielle se paye par un manque de déterminisme voire de performance à l'exécution sur des traitements algorithmiques spécifiques.

Les GPP offrent un ratio performance de calcul ramené au coût et au Watt moins intéressant que d'autres architectures spécialisée (MPPA, DSP, FPGA).

Ils sont pensés pour porter un OS (*Operating System*) évolué et exécuter du code applicatif. Prenons les exemples des applications de traitement du son, traitement d'image, traitement vidéo, traitement d'antenne ... pour lesquels ils ne sont pas spécialisés.





CPU superscalaire

- exécution Out Of Order
- prédiction de branchement
- non déterministe
- mauvais ratio (puissance calcul) / (Watt x Coût)

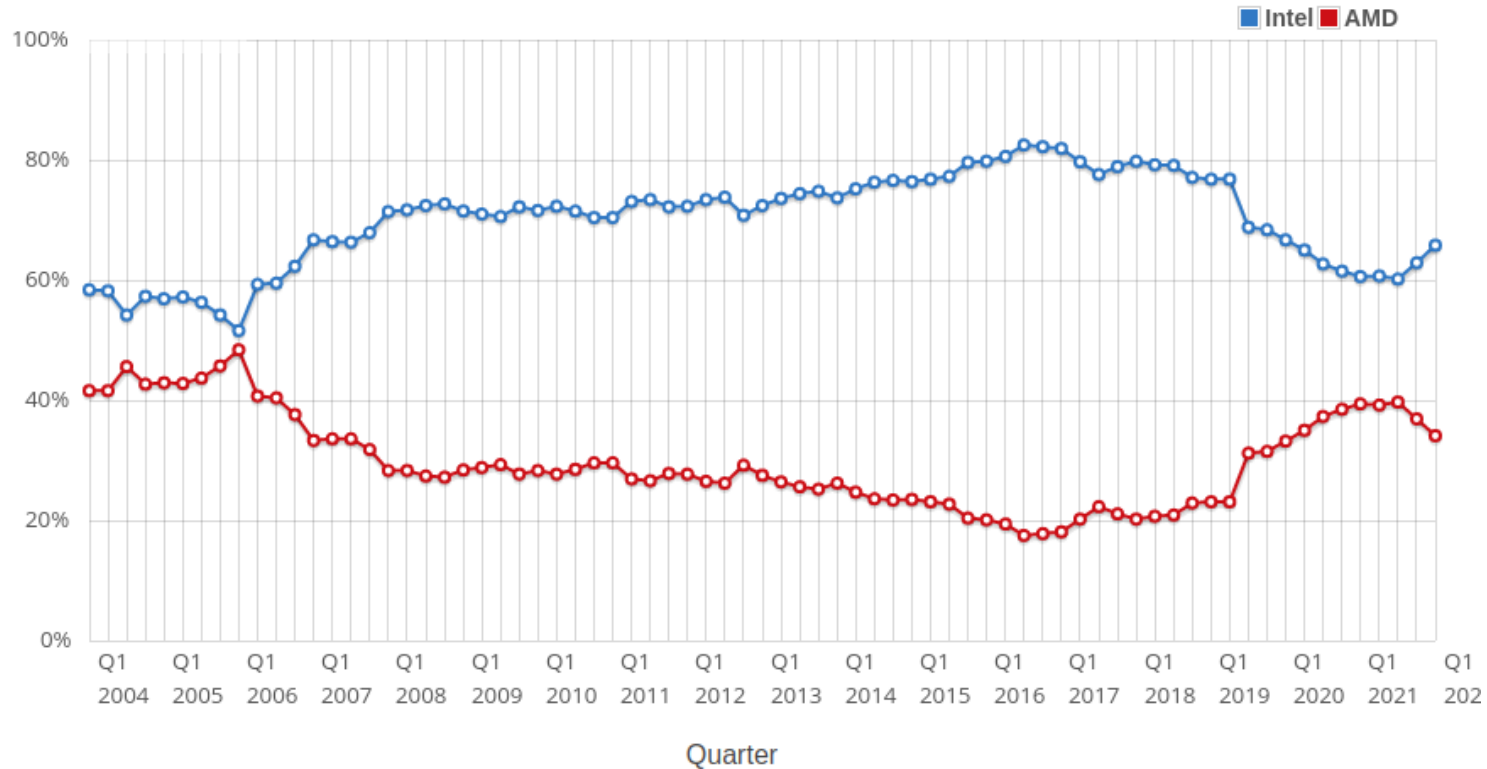
Mémoire

- Modèle mémoire uniforme (UMA)
- Cache processeur
 - Technologies de transfert rapides
 - Copies d'informations depuis la mémoire principale (DATA ou INST.)
 - Intelligence déportée dans les contrôleurs de caches (LRU)
 - Non déterministe

Parts de marché : Intel vs. AMD

AMD vs Intel Market Share (All CPUs)

Last updated on the 25th of March 2022



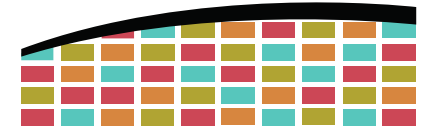
AP APPLICATION PROCESSOR

Applications

Architecture

Solution Qualcomm

Solution ARM



**ENSI
CAEN**

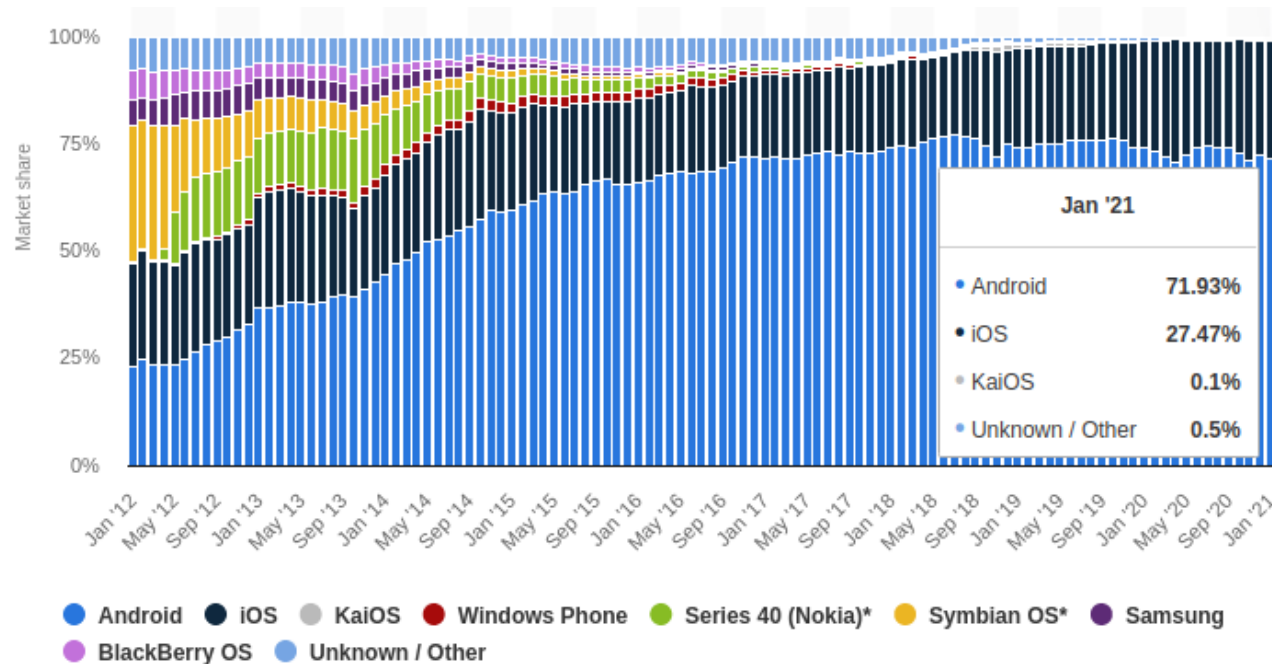
ÉCOLE PUBLIQUE D'INGÉNIEURS
CENTRE DE RECHERCHE



Le marché des AP (*Application Processor*), processeurs riches en fonctionnalités et services matériels de type SoC (*System on Chip*), reste un marché récent qui a vu son envolée avec celui des terminaux mobiles (smartphone, phablette et tablette).



Le principal marché des AP en terme de parts reste donc celui des terminaux mobiles.
Ce marché voit une utilisation écrasante du système d'exploitation Android en 2016, système basé sur un noyau Linux.



Source:
Statista 2021

Néanmoins les processeurs applications sont très rencontrés dans les systèmes embarqués au sens large, tous domaines confondus : *consumer*, défense, transport ...

Ces systèmes embarquent généralement un OS et une interface graphique.



Freebox Revolution



Télévision 4K X94C Sony



Tablette Cook
(fait à Caen par EOLANE)

Dans la majorité des cas, ces processeurs sont exploités par des systèmes évolués.
Sur ce marché les systèmes GNU/Linux (très souvent customisés) règnent en maîtres.



Exemple de plateforme industrielle durcie EOLANE (Français n°2 Européen) travaillant autour de SoC/AP iMX6 proposé par Freescale sur système GNU/Linux.

SOM SOLO



UN MODULE EMBARQUÉ
OPTIMISÉ POUR VOS PRODUITS

SOM QUAD



UN MODULE MULTIMÉDIA
PERFORMANT POUR VOS PRODUITS

SBC



UNE SOLUTION PC
INDUSTRIEL INTÉGRÉ

STARTER KIT



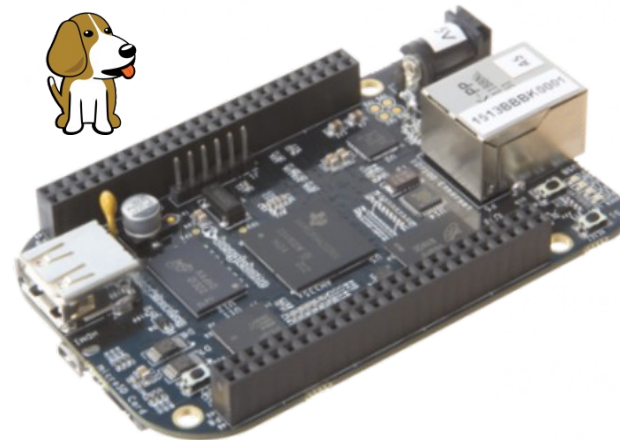
UNE PLATEFORME D'ÉVALUATION
POUR VOS MAQUETTES

Voici les deux plateformes non-durcies à bas coût qui dominent le marché :

les projets [Raspberry Pi](#) et [Beaglebone](#) (SoC AM335x TI).

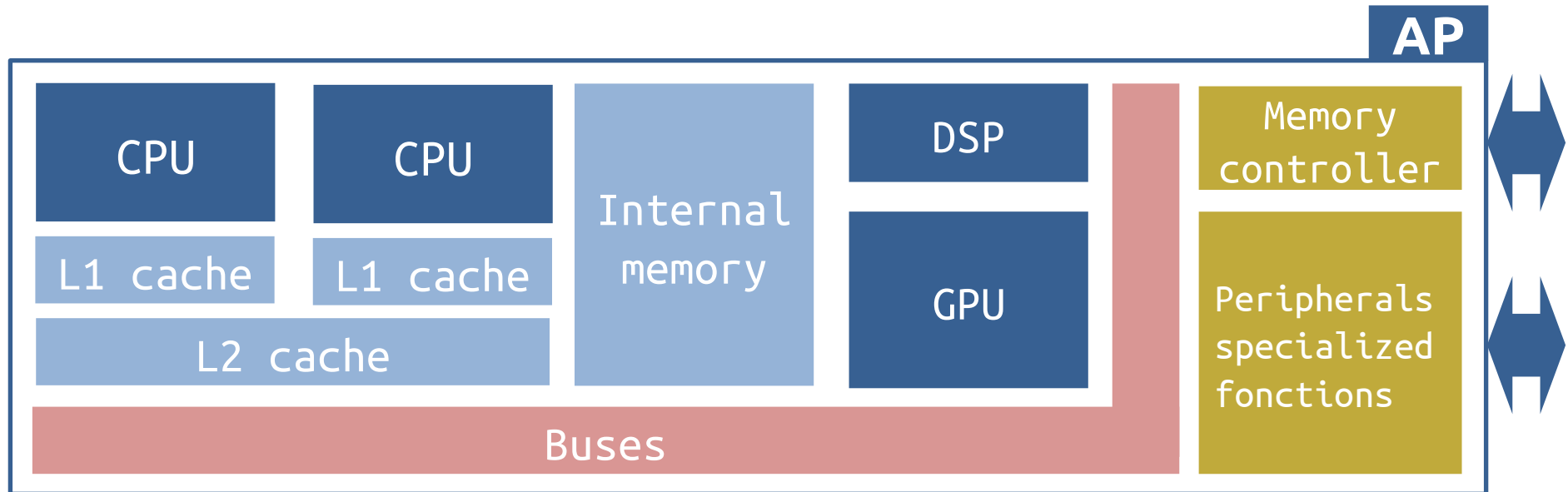
Ces solutions sont également basées sur des systèmes GNU/Linux.

Elles sont très rencontrées durant les phases de prototypage ou en milieu universitaire, mais ne peuvent être industrialisées. Néanmoins des versions durcies existent.



Les AP sont des systèmes numériques complets intégrés dans une puce (architecture hétérogène).

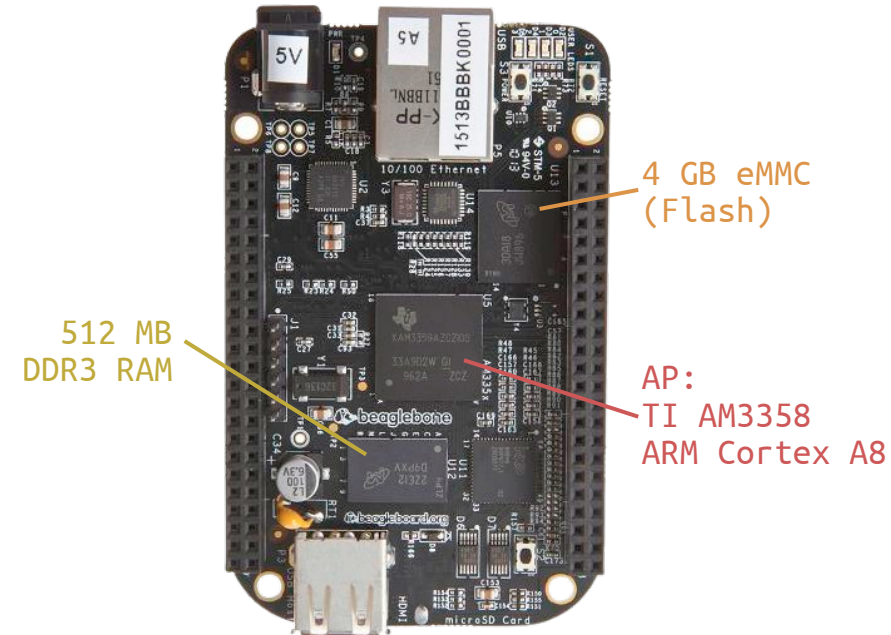
Néanmoins, la mémoire principale doit être ajoutée en externe.



Un **processeur application** embarque toujours un voire plusieurs CPU généralistes superscalaires. Ils sont dédiés à l'exécution du ou des systèmes d'exploitation évolués (virtualisés ou réels) ainsi que des applicatifs.

Un **AP** contient également une voire plusieurs fonctions spécialisées de calcul (GPU, DSP, crypto ...), un jeu de périphériques évolués complet et une mémoire interne ne permettant pas d'accueillir le système (*bootloader*).

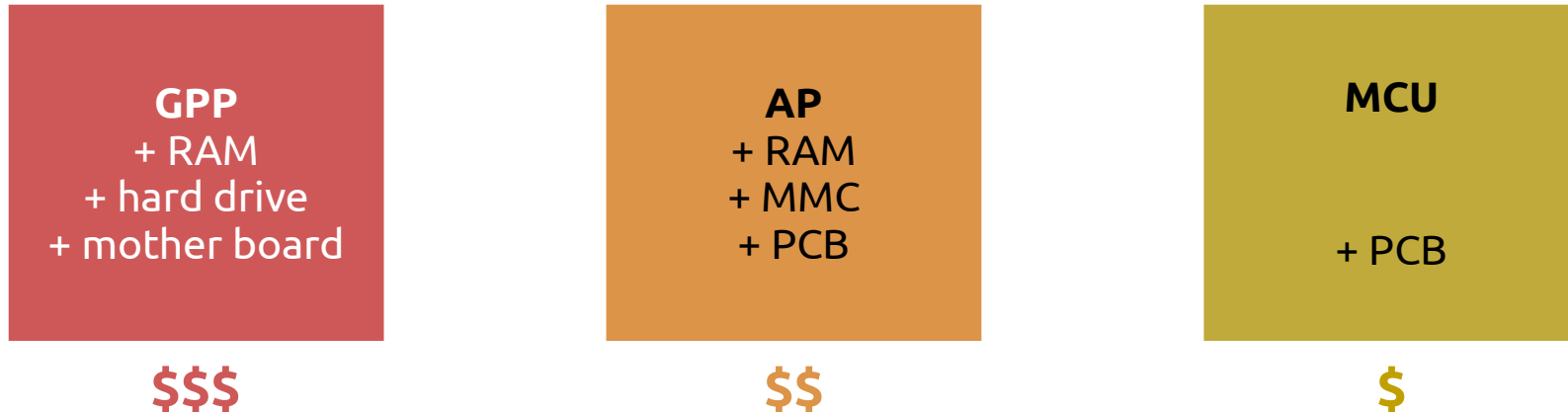
Par conséquent, une **mémoire principale** (DDR volatile) et une mémoire non-volatile de **stockage de masse** (MMC, eMMC, SDCard ...) externes doivent lui être ajoutées.



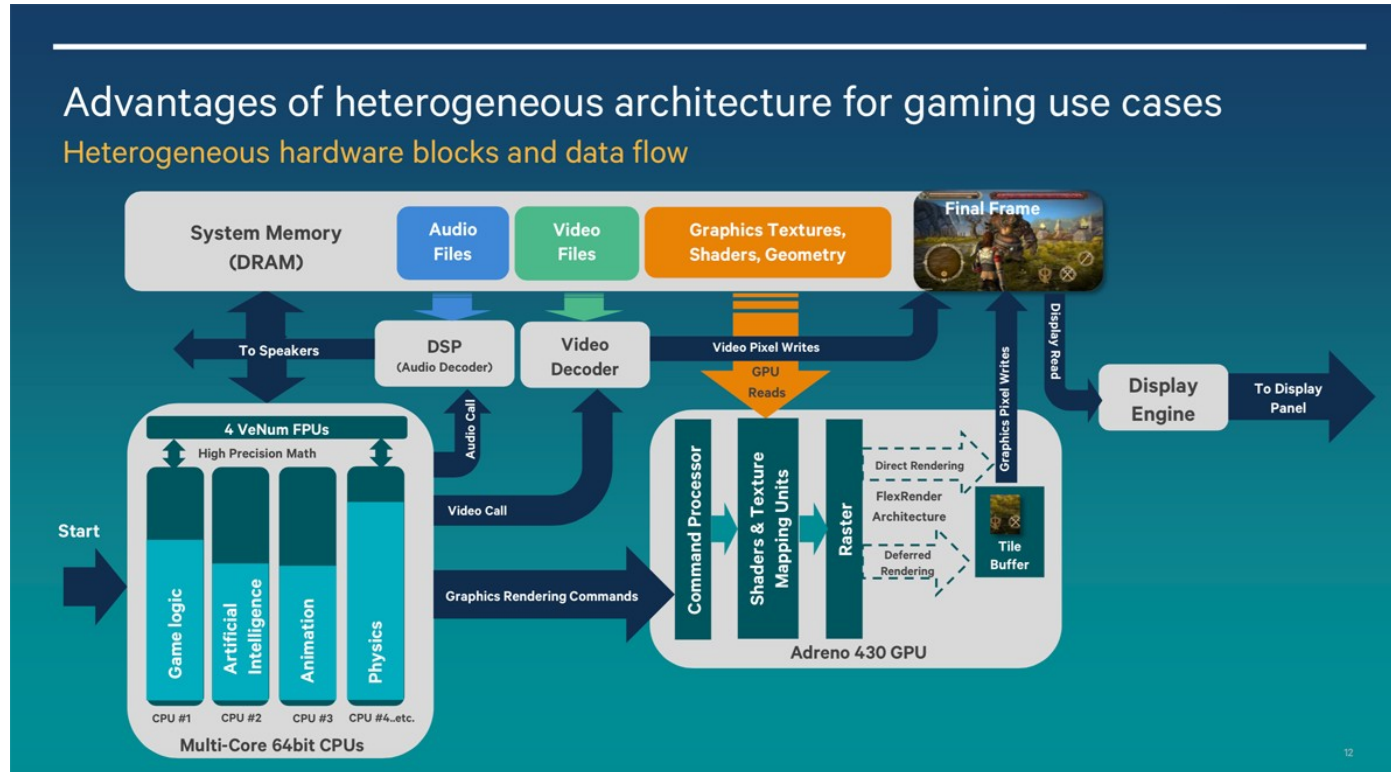
Comparaison des processeurs généralistes

Contrairement aux MCU embarquant tous les services matériels sur la puce afin de contrôler un système (*on chip*), les AP exigent un coût unitaire non négligeable et restent dépréciés pour les applications à faible coût et fort volume.

Ils sont alors utilisés si il y a nécessité d'une interface et/ou de connectivités évoluées dans l'application.



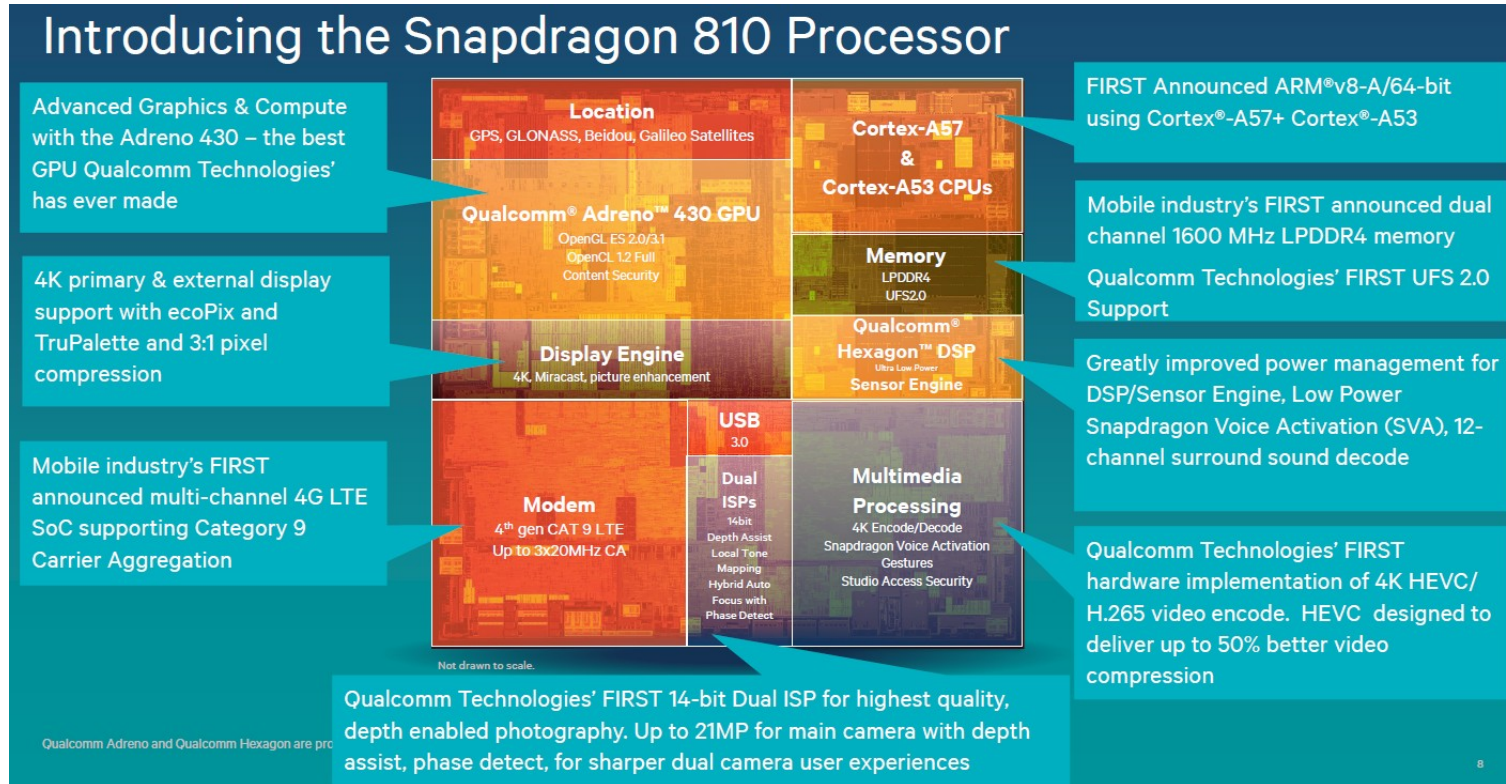
Observons l'intérêt d'une architecture hétérogène pour une application aux jeux vidéos



Le leader du marché en terme de part de marché est Qualcomm, grâce à sa famille Snapdragon dédiée au marché des terminaux mobiles.

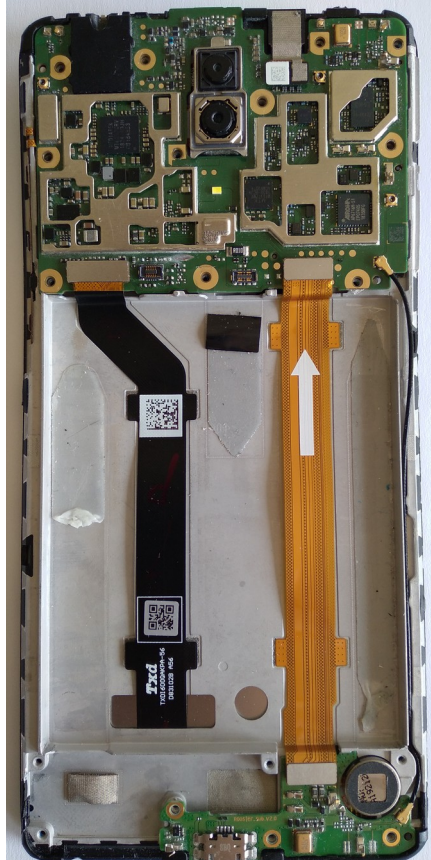


Fonctions matérielles de l'architecture interne de la famille Qualcomm Snapdragon 810



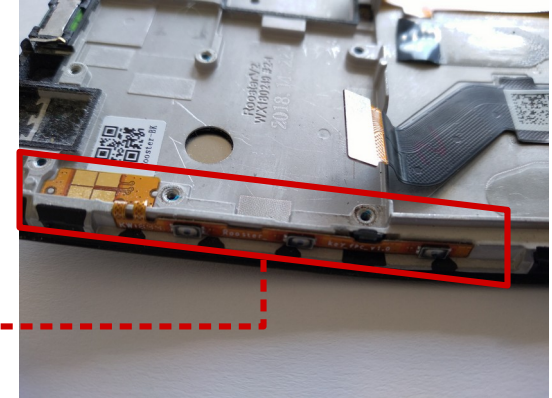
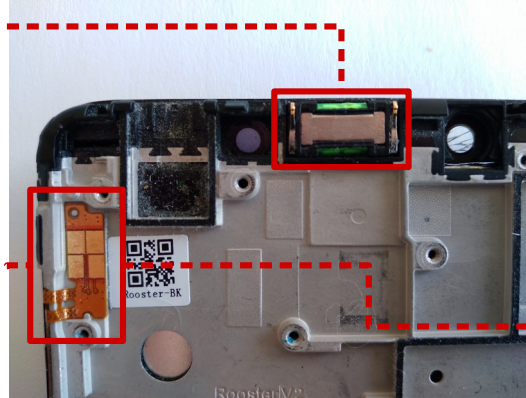
AP – APPLICATION PROCESSOR

Exemple smartphone (Nokia 3.1 Plus, 2018)



Speaker

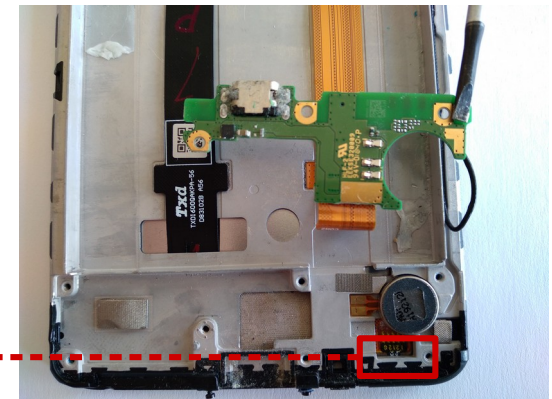
Switches
connector



Battery
3400 mAh

Loudspeaker

Microphone

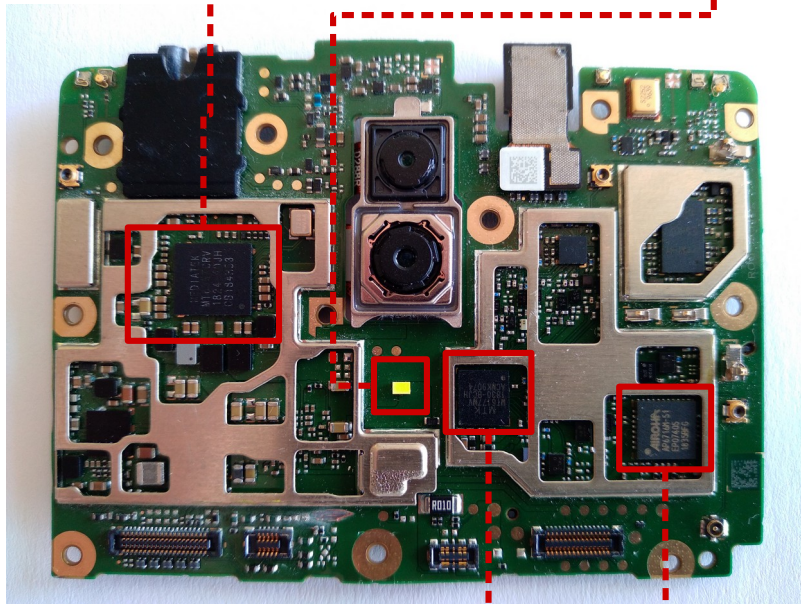


AP – APPLICATION PROCESSOR

Exemple smartphone (Nokia 3.1 Plus, 2018)

MEDIATEK MT6357CRV
Power IC
+capacitors & inductors

Flash LED



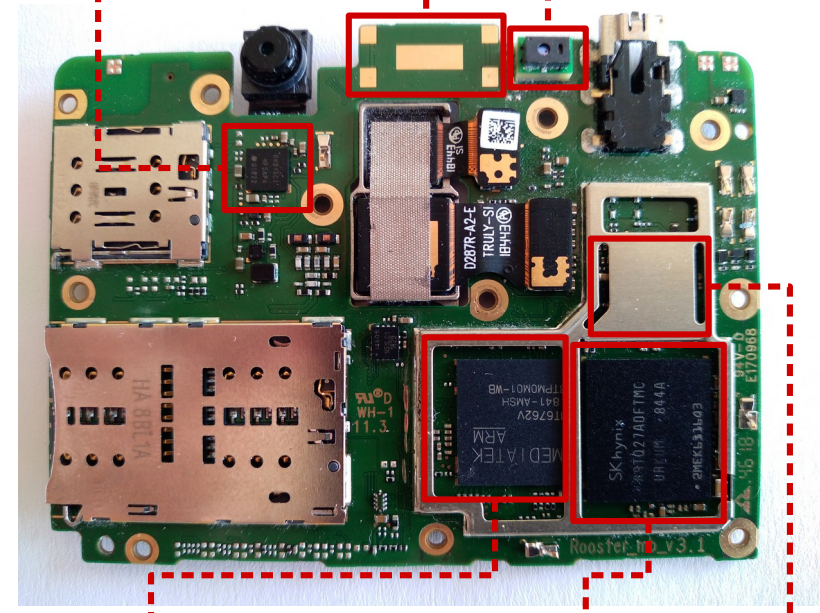
MEDIATEK MT6177MV
Intermediate Frequency IC

**AIROHA
AP6716M-51**
RF IC

RN81XC1
Audio Bluetooth ?

**Front speaker
connector**

**Ambient
light
sensor**



*Antennas in
the back case*

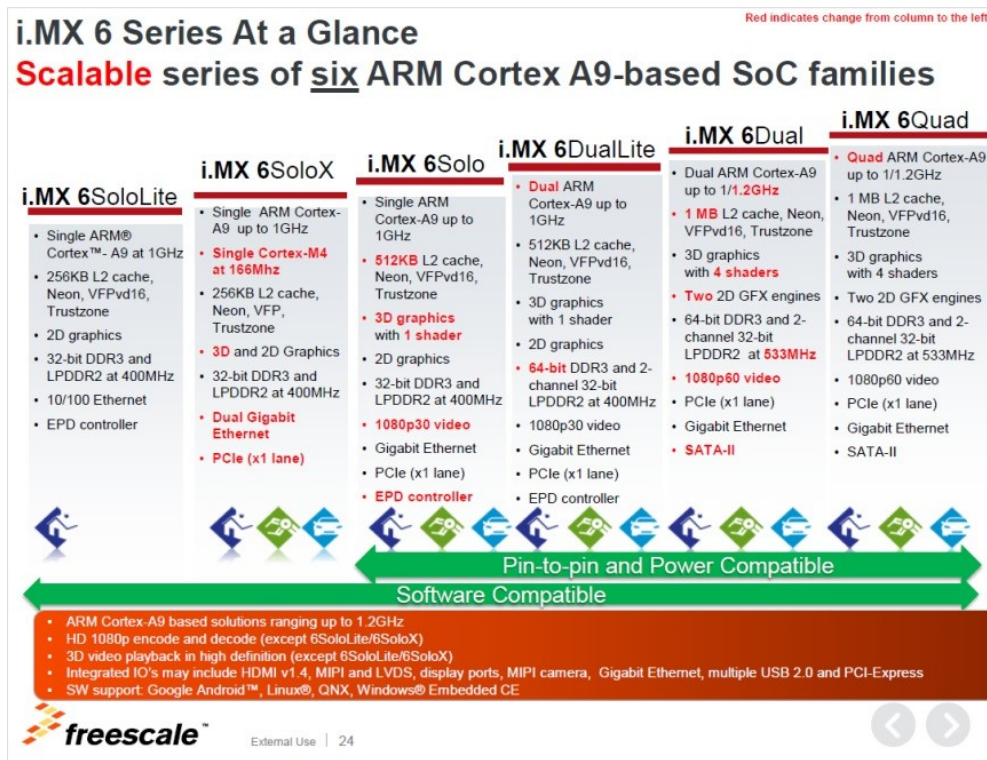
MEDIATEK MT6762V (Helio P22)
Qualcomm SDM439 Snapdragon (2018)
ARM v8-A (64-bit), Cortex-A53
8 cores, 2 GHz, 12 nm
2-core GPU, DSP

SK hynix
H9TQ27ADFTMC
32 GB Flash
Nand eMMC

RAM ?
2 GB
LPDDR3
(Low-Power)

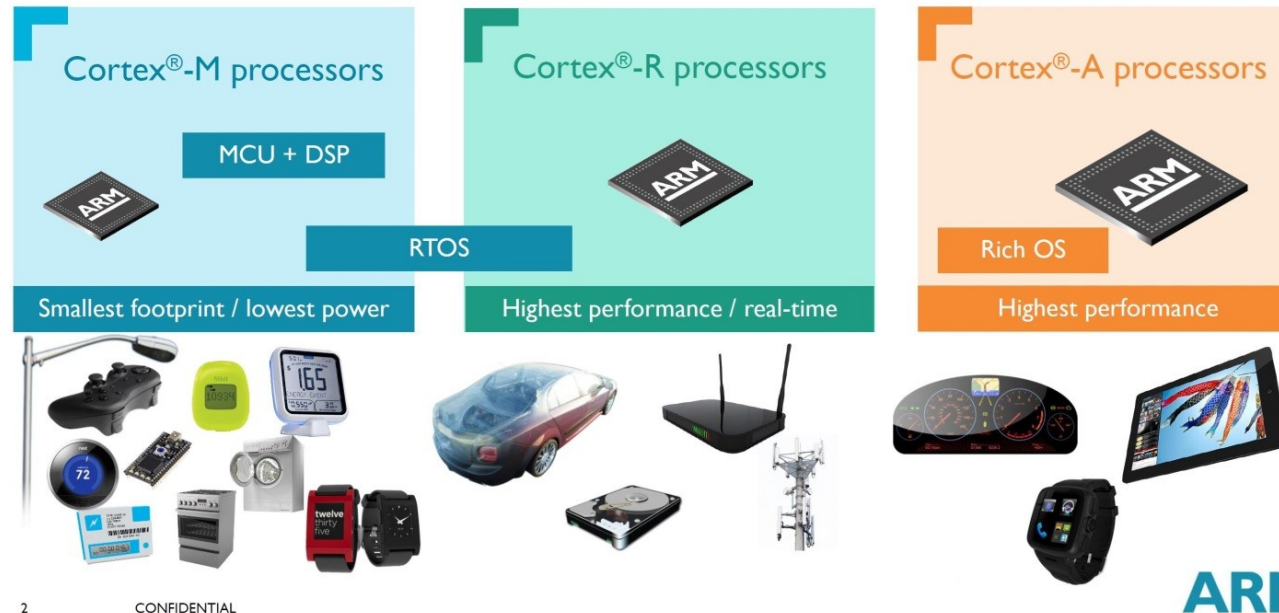
Les deux leaders du marché hors terminaux mobiles sont Texas Instruments et Freescale, deux fondeurs offrant de larges communautés d'utilisateurs.

Observons la
famille i.MX6
de Freescale :

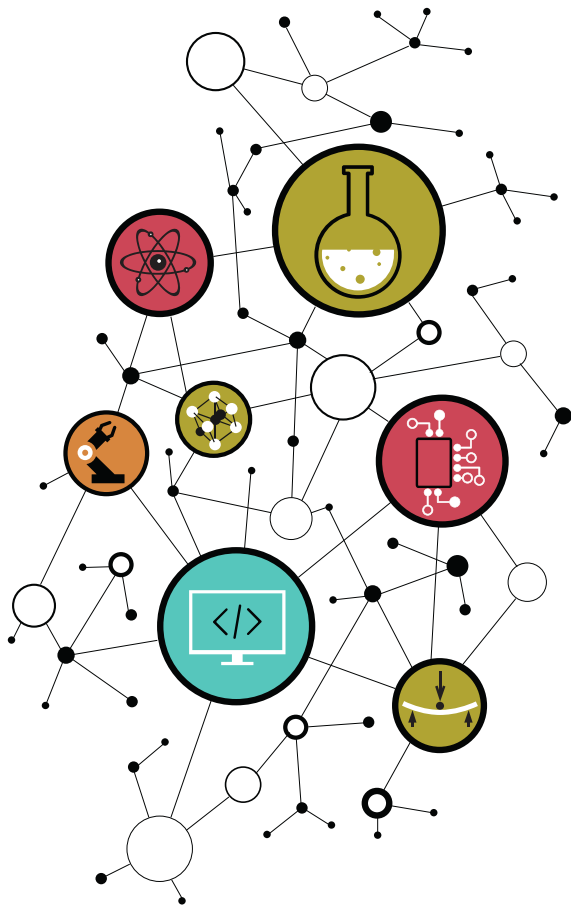


Hors marché des terminaux mobiles, sur le marché de l'embarqué les architectures Cortex-A de ARM sont également reines. Le « A » signifie *Application*.

ARM® Cortex® Processors across the Embedded Market



CONTACT



Dimitri Boudier – PRAG ENSICAEN

dimitri.boudier@ensicaen.fr

Avec l'aide précieuse de :

- Hugo Descoubes (PRAG ENSICAEN)



Except where otherwise noted, this work is licensed under
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>