

Chapitre 3

Diversité des Architectures

Processeur



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 !

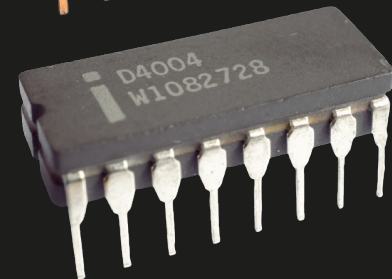
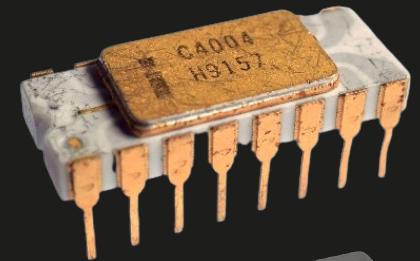
Le 4004 possède 2 300 transistors gravés en 10 μm .

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

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

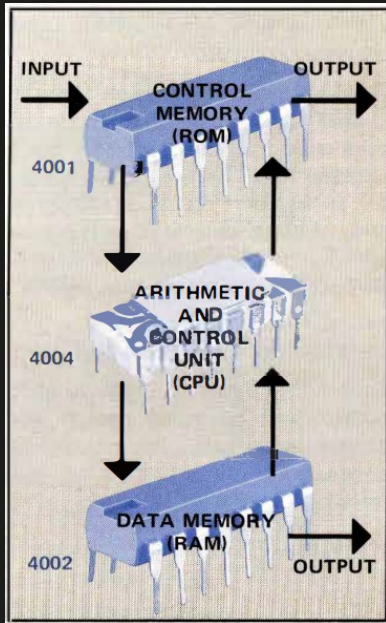
Cadencé à 740 kHz, il peut alors réaliser 90 kIPS.

Le tout pour la modique somme de 60 \$!



Intel 4004

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**.

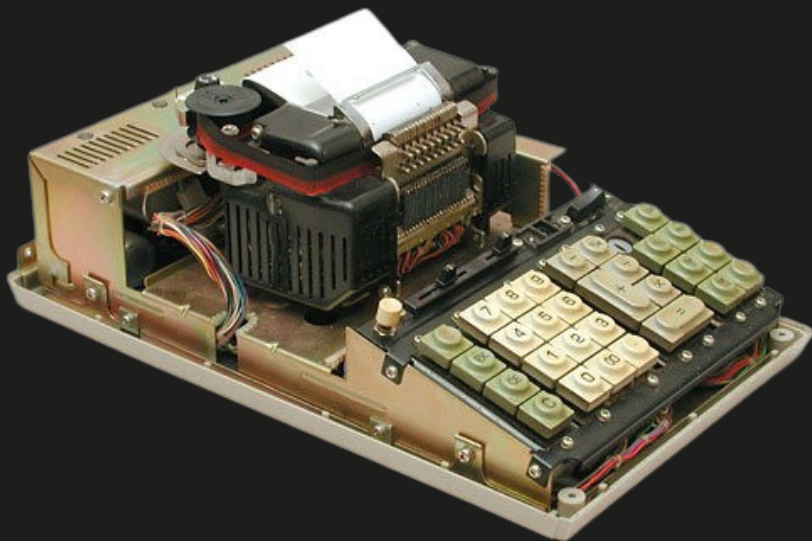


- 4001 : 256 x 8 bit ROM
- 4002 : 320 bit RAM
- 4003 : 10 bit shift register
- 4004 : 4 bit CPU



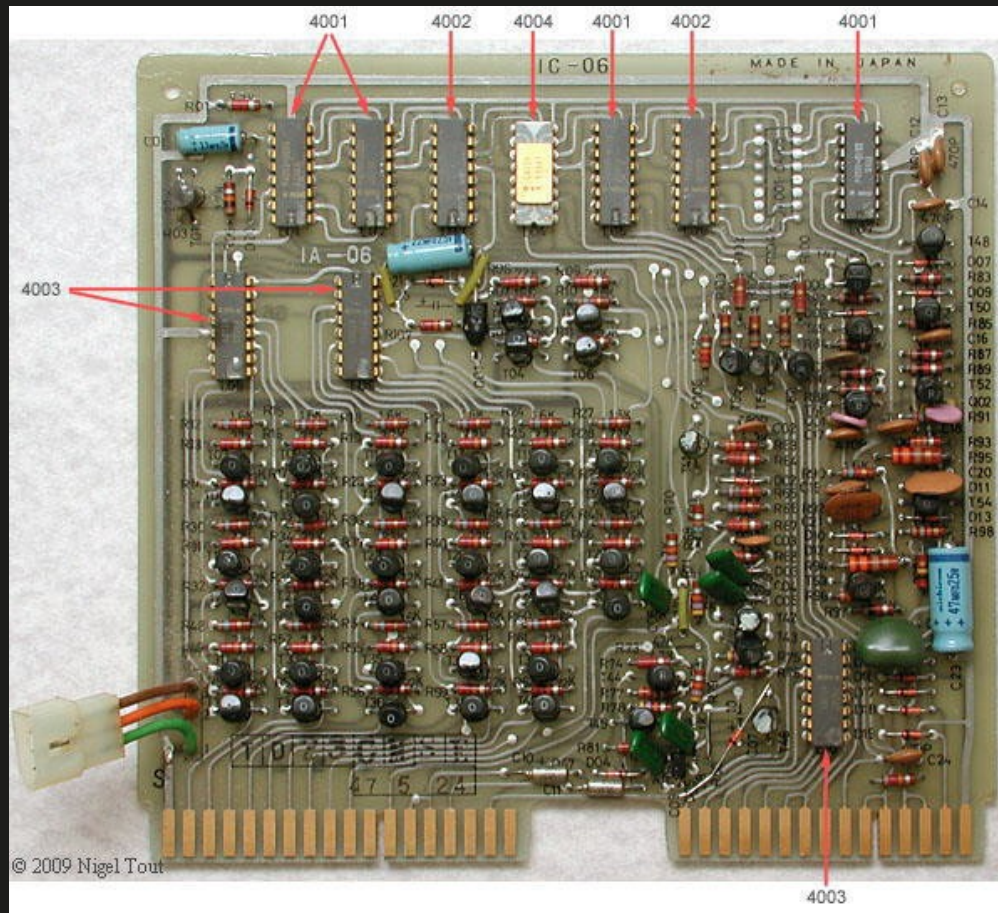
DIVERSITÉ DES ARCHITECTURES PROCESSEUR

Intel 4004



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

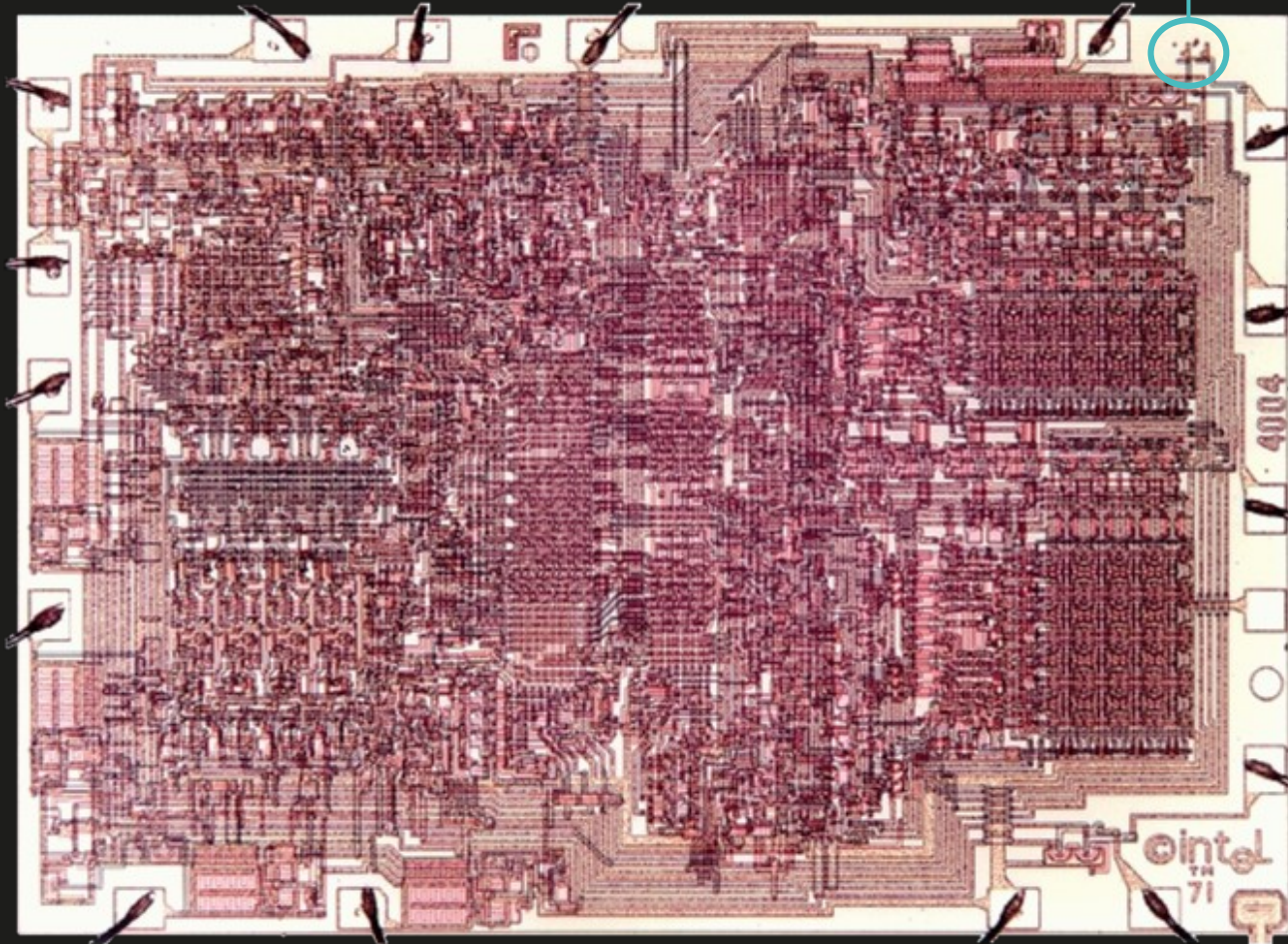
Bloc d'alimentation au fond,
PCB unique en dessous.



© 2009 Nigel Tout

DIVERSITÉ DES ARCHITECTURES PROCESSEUR

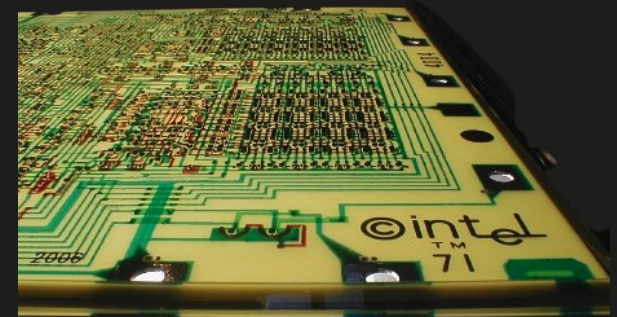
Intel 4004



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.



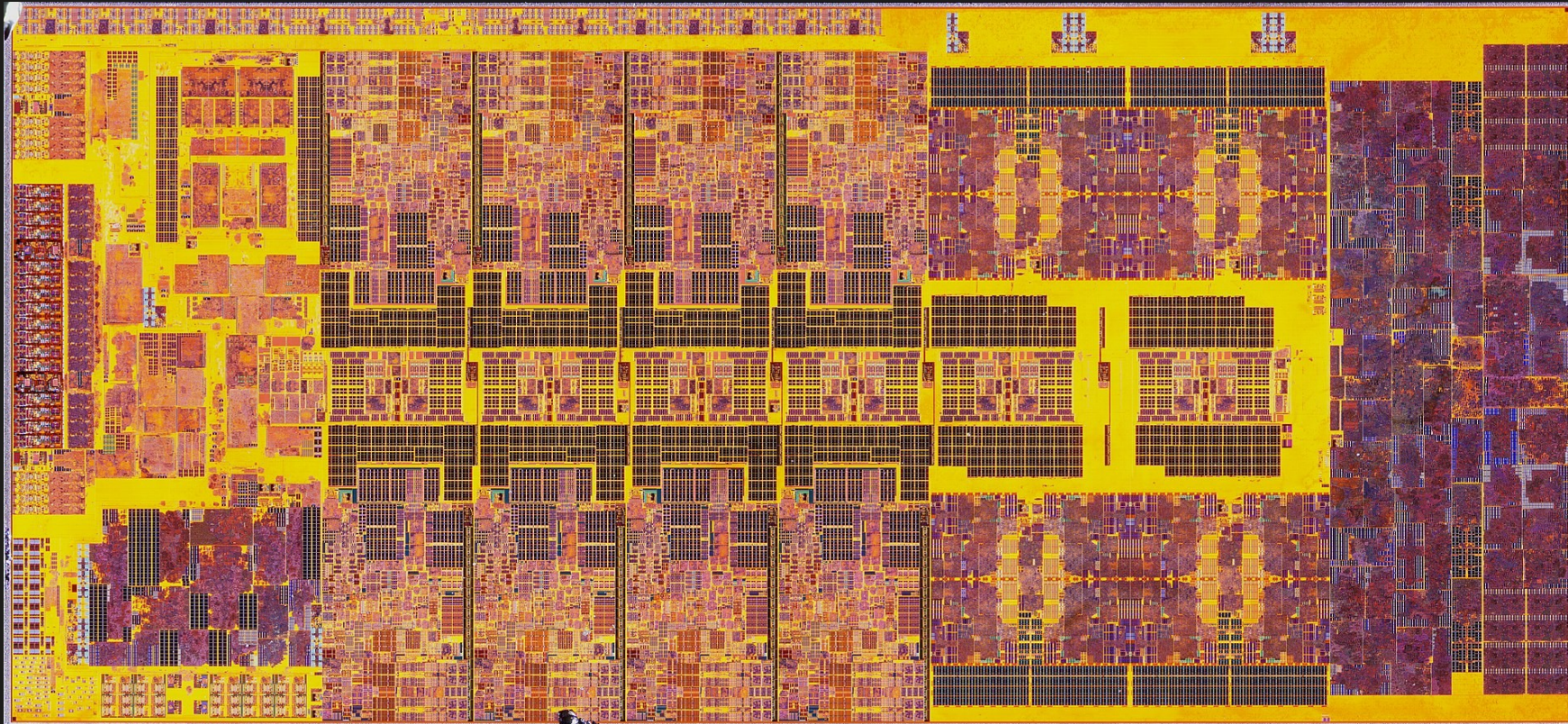
DIVERSITÉ DES ARCHITECTURES PROCESSEUR

Intel Core 13^e génération

<https://www.intel.com/content/www/us/en/products/sku/230496/intel-core-i913900k-processor-36m-cache-up-to-5-80-ghz/specifications.html>

Intel® Core™ i9-13900K Processor

Q3'2022, 13th generation 'Raptor Lake', ~\$ 589
257 mm² die, Intel 7 nm lithography
24 cores, 32 threads, 3.0/5.8 GHz, ? Gflops, 125 W





Architectures modernes

Architectures généralistes

Processeurs de contrôle

Architectures hybrides

Architectures spécialisées

Coprocesseurs ou processeurs de calcul

MCU

AP

GPP

SoC / SoB

FPGA

DSP

(GP) GPU

Micro
Controller
Unit

Application
Processor

General
Purpose
Processor

System
on
Chip / Board

Field
Programmable
Gate Array

Digital
Signal
Processor

Graphics
Processing
Unit

Computer →

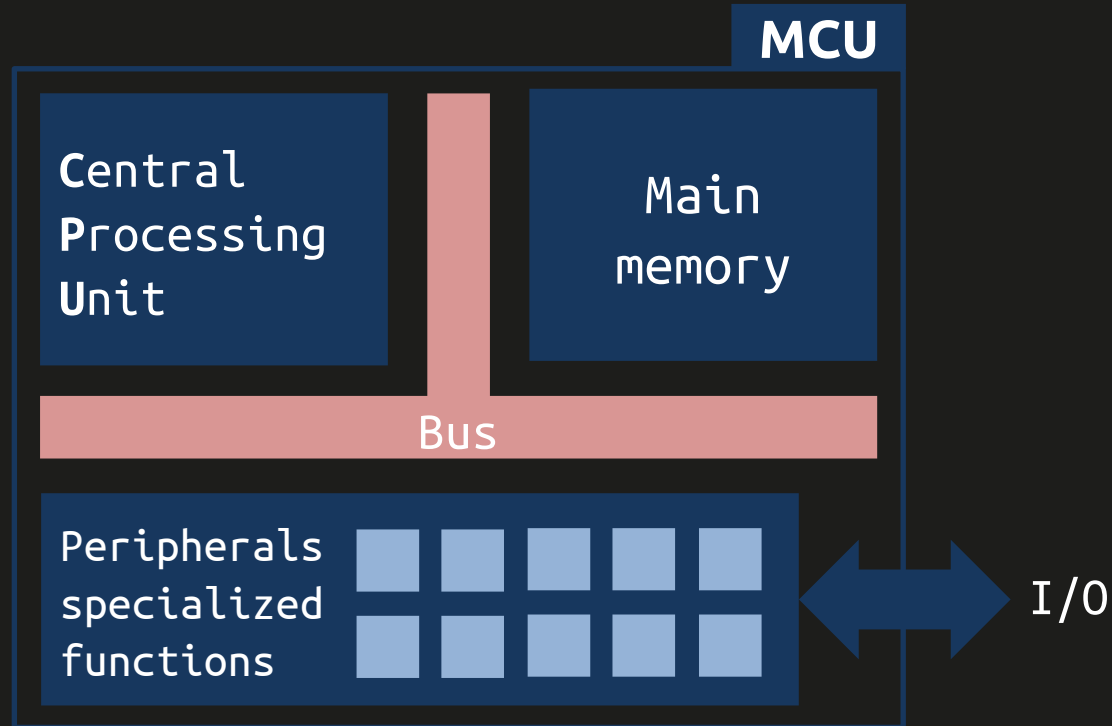
- FPGA-AP
- FPGA-MCU
- GPP-GPU
- AP
- MCU-analog

CONTROL

CALCULUS

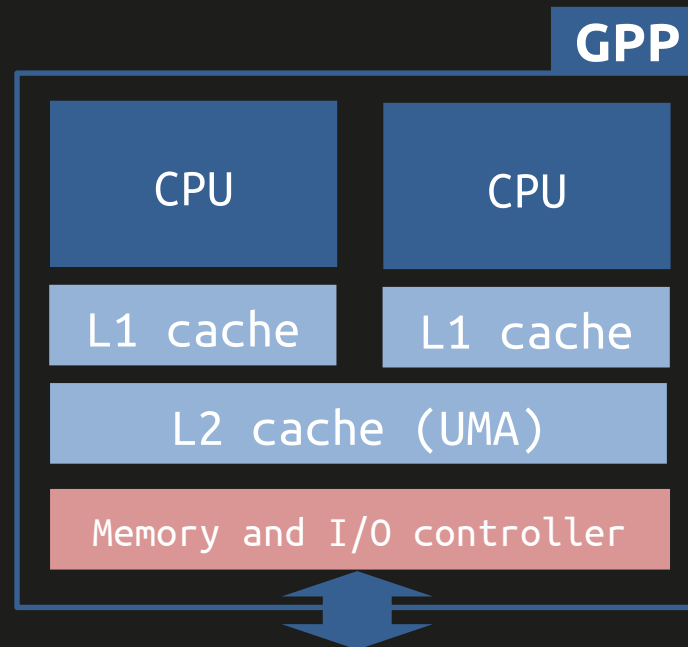
MCU – Micro-Controller Unit

Système **autonome** (pas besoin de RAM, de disque, ...) car tout est intégré dans un **circuit intégré**. Peu cher et peu gourmand en énergie, il est utilisé dans des applications à fort volume. Il est généralement doté d'un **firmware bare-metal**, voire un OS léger.

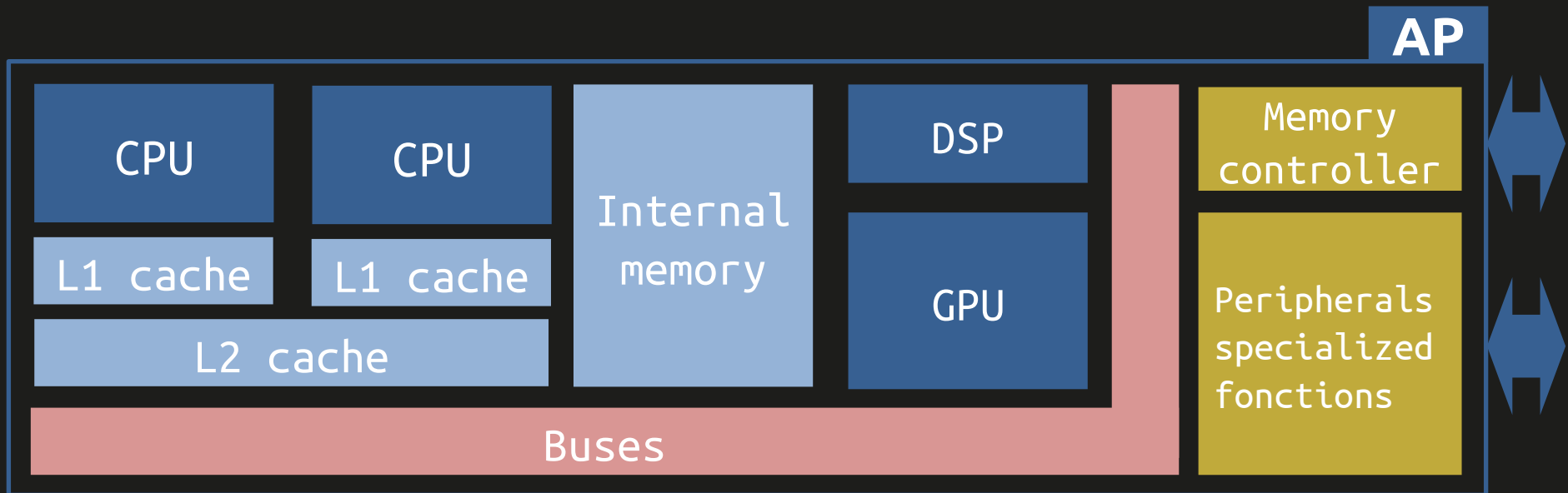


GPP – General Purpose Processor

Processeur nu, sans mémoire principale intégrée. Il est donc toujours **associé à d'autres composants** sur un **circuit imprimé** complexe. Cher et très énergivore, il est utilisé pour sa polyvalence extrême. Il fait généralement tourner un **système d'exploitation** lourd.



Système complet, mais souvent accompagné d'une mémoire principale et d'une mémoire de masse externes. Il exécute un OS léger afin de manipuler des tâches mêlant connectivité et interfaces graphiques.

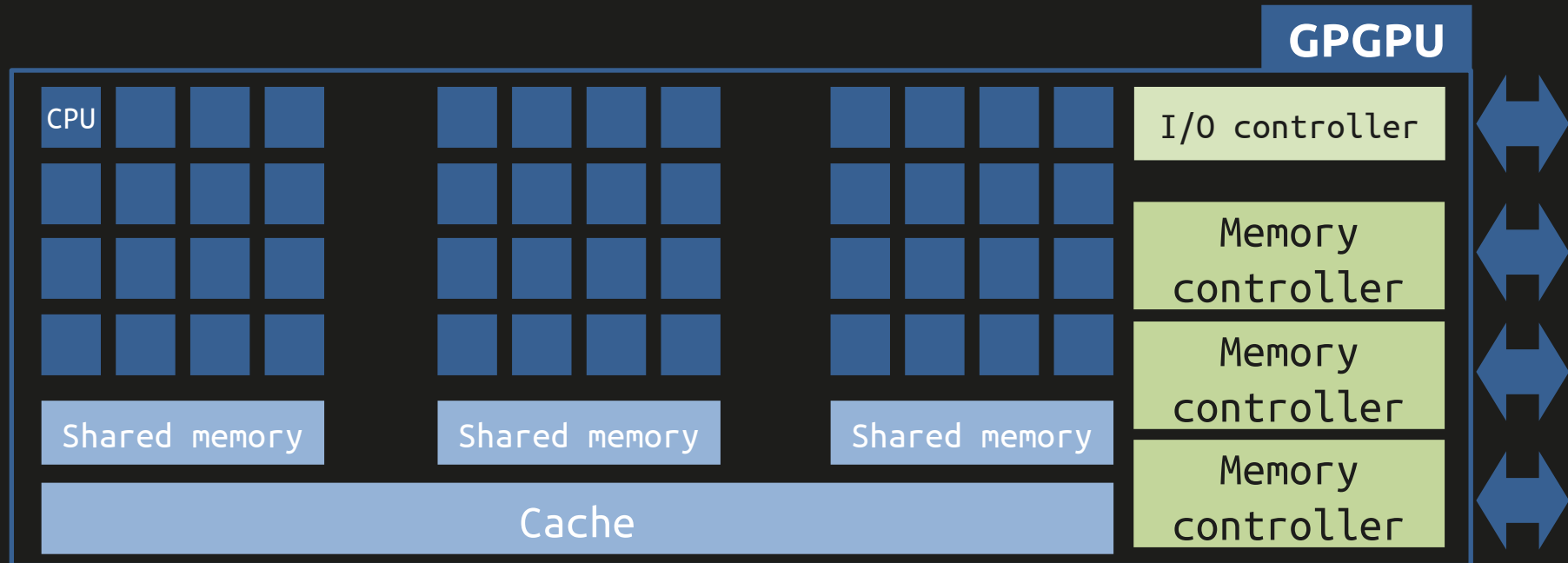


DIVERSITÉ DES ARCHITECTURES PROCESSEUR

Processeurs généralistes : MCU vs GPP vs AP

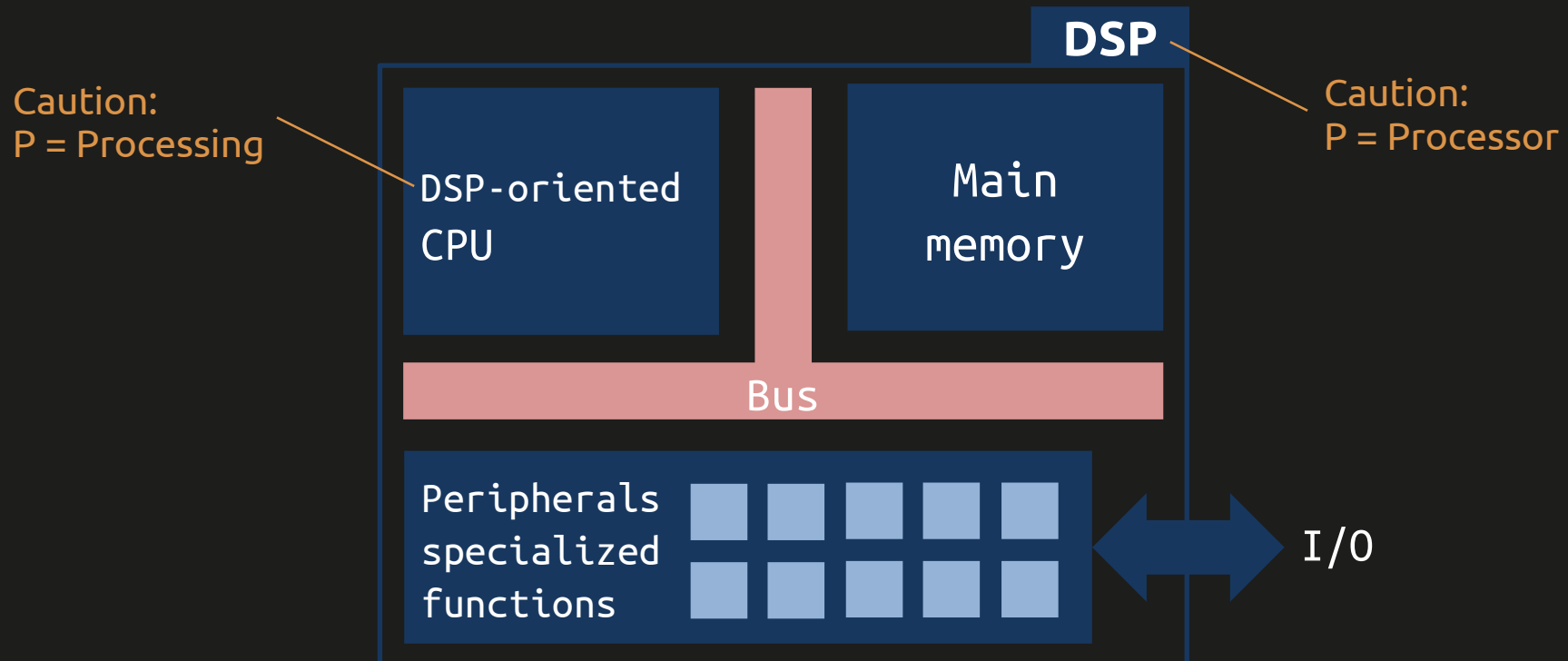


Comme un GPP orienté calcul, utilisant massivement le parallélisme d'exécution.



DSP – Digital Signal Processor

C'est un MCU orienté calcul. Son CPU contient des unités fonctionnelles spécialisées dans le traitement du signal.



GPP

GENERAL PURPOSE PROCESSORS

Applications

Architecture

Carte mère

Processeur superscalaire



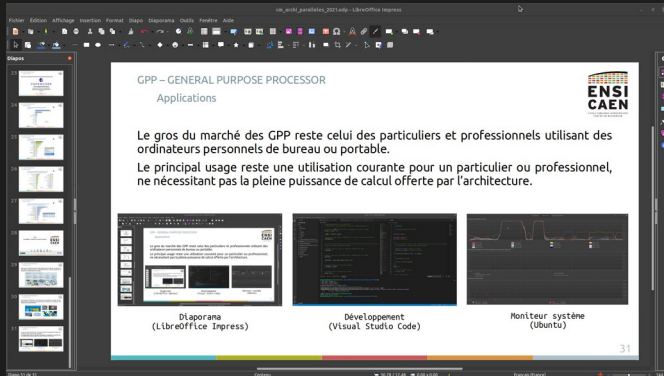
Applications

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.

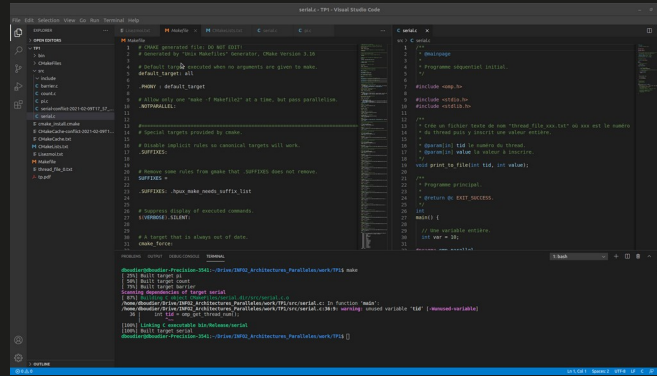
```
444     prev = NULL;
445     for (mpnt = oldmm->mmap; mpnt; mpnt = mpnt->vm_next) {
446         struct file *file;
447
448         if (mpnt->vm_flags & VM_DONTCOPY) {
449             vm_stat_account(mm, mpnt->vm_flags, -vma_pages(mpnt));
450             continue;
451         }
452         charge = 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)

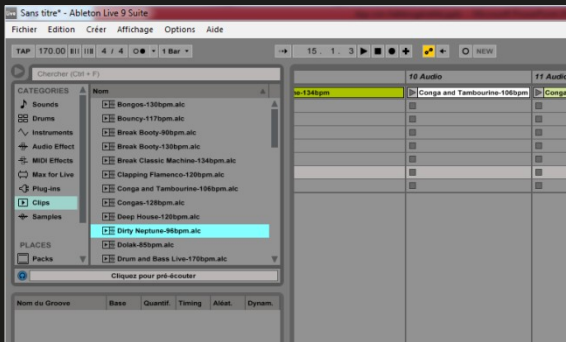


Moniteur système
(Ubuntu)

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.

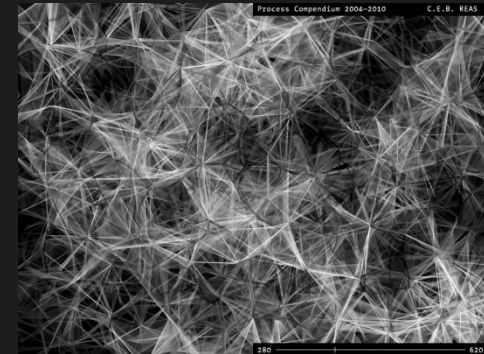
Celles-ci sont plus contraignantes au regard des ressources et exploitent souvent le plein potentiel du matériel.



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).

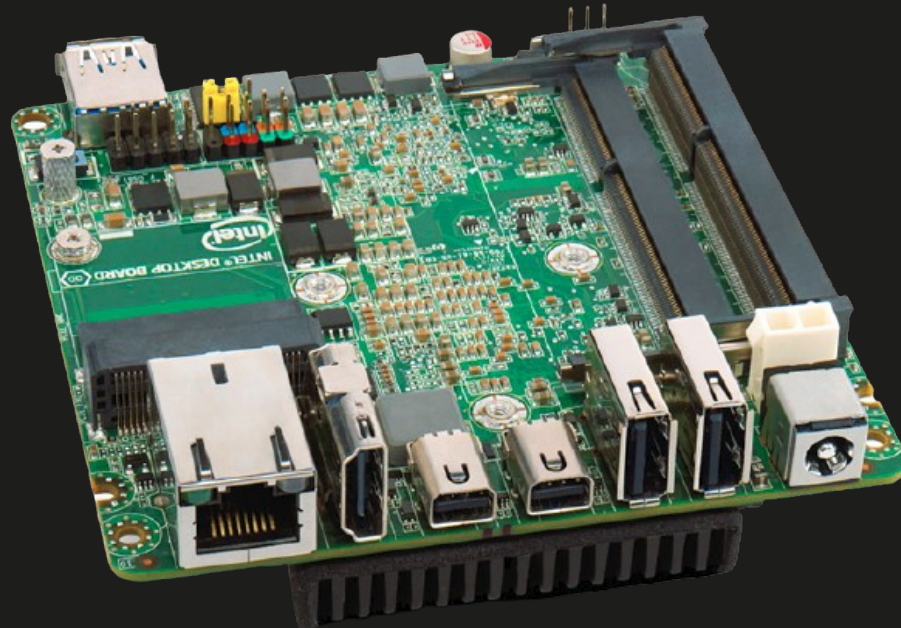


Rafale
(Dassault)



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.

40 ANS DE COURSE À L'INNOVATION

1971

PROCESSEUR 4004 D'INTEL

Nombre de transistors : **2.300**
Puissance : **108 kilohertz**
10 microns



1981

PROCESSEUR 8088

Introduit dans les PC d'IBM
Nombre de transistors : **29.000**
Puissance : **5 megahertz**
3 microns



1993

PENTIUM

Nombre de transistors : **3.1 millions**
Puissance : **66 megahertz**
0,8 micron



2006

INTEL CORE 2 DUO

Nombre de transistors : **291 millions**
Puissance : **2.93 gigahertz**
65 nanomètres



2012

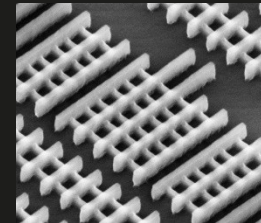
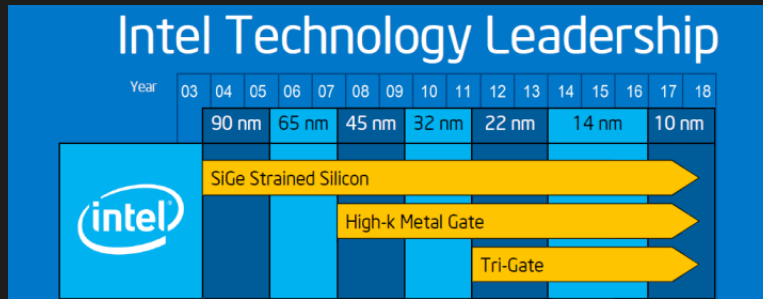
PROCESSEURS IVY BRIDGE

Nombre de transistors : **1.400 millions (3D)**
Puissance non communiquée
22 nanomètres

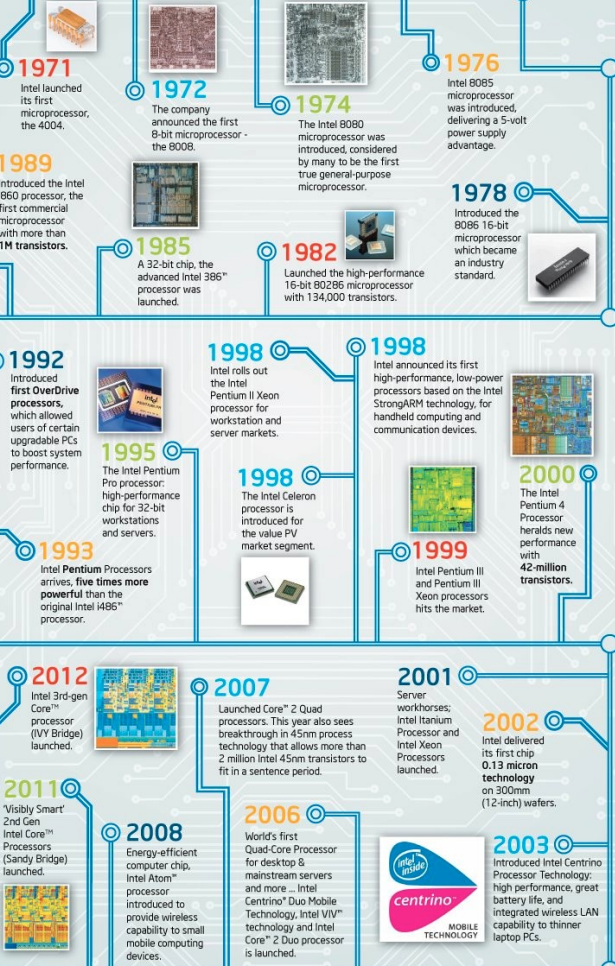


Architectures Intel

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



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

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

Intel Processors Generations



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



GPP – GENERAL PURPOSE PROCESSOR

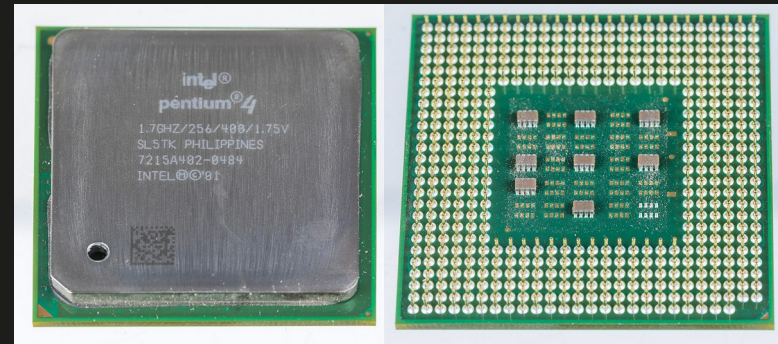
Architectures Intel

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

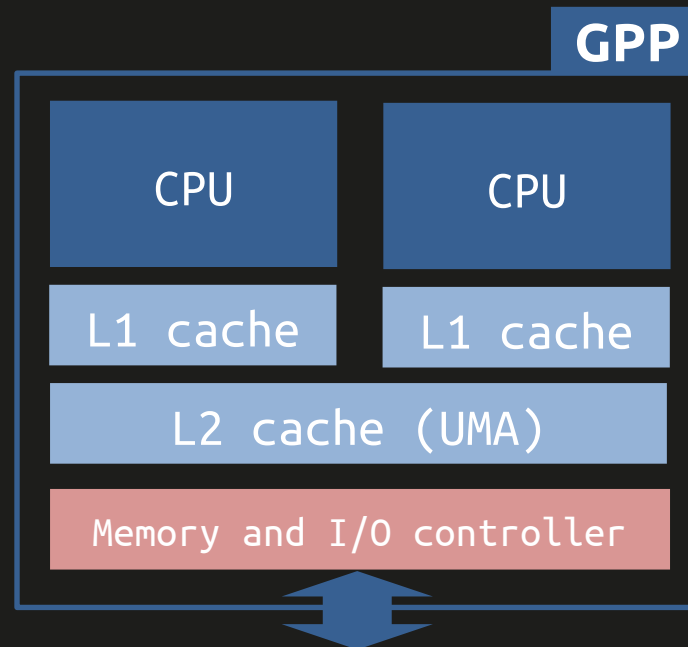
→ 2 cœurs logiques (2 threads)



Architecture

Processeur de traitement nu, dépourvu de mémoire principale.

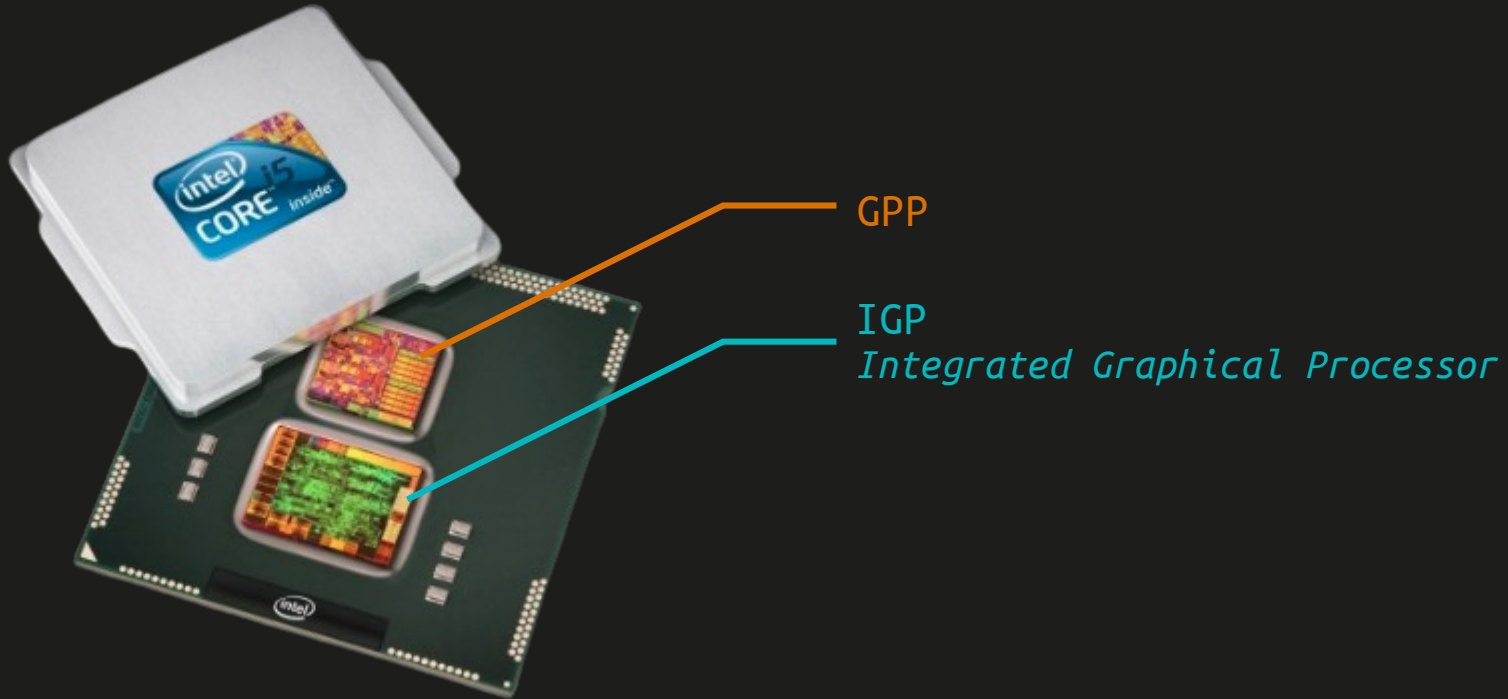
Il embarque un ou plusieurs CPU (architecture homogène) mariés avec leurs caches, possède un modèle mémoire uniforme (UMA) et embarque un contrôleur d'interfaces.



GPP – GENERAL PURPOSE PROCESSOR

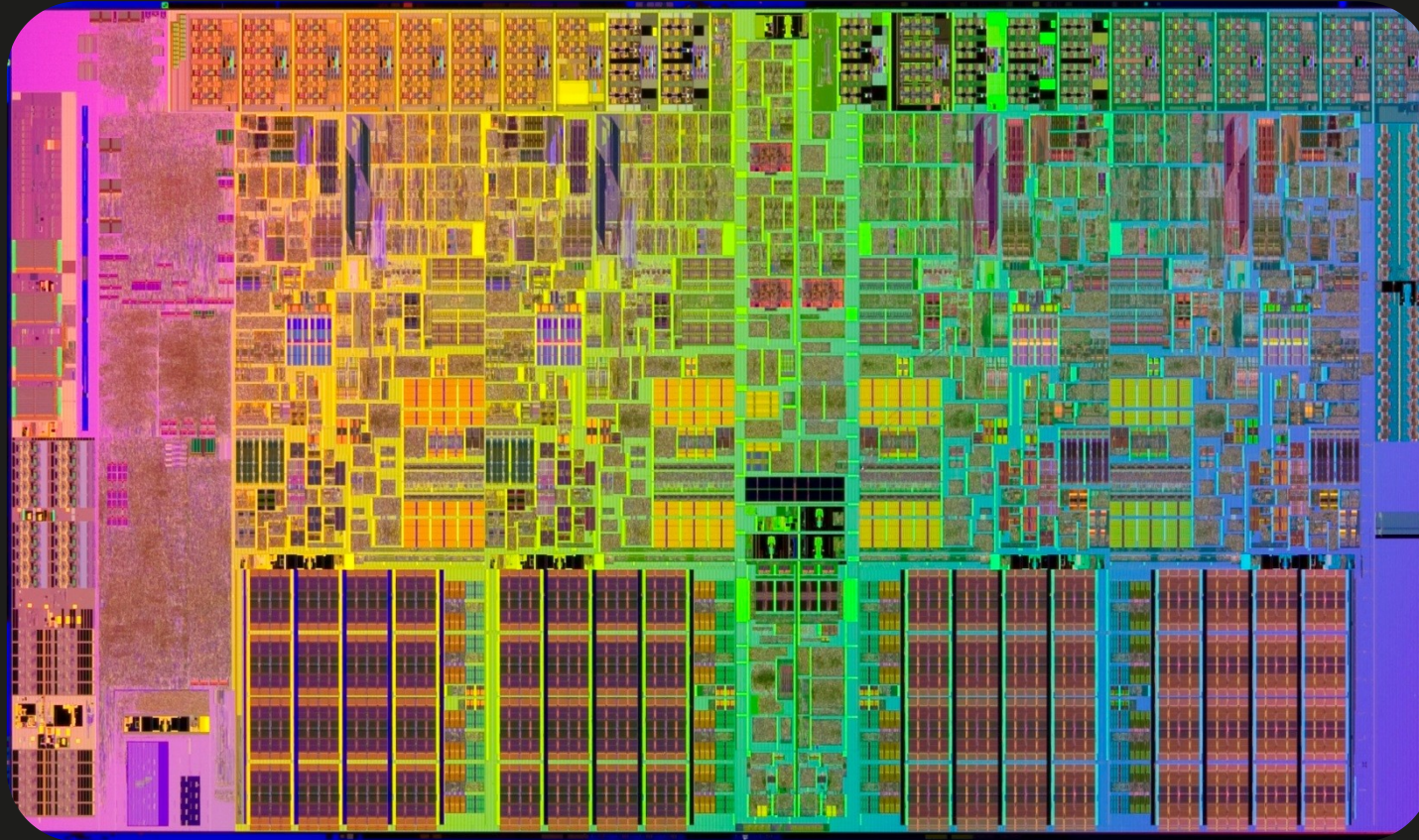
Exemple : Intel Core i5

Exemple de la famille Core i5 de Intel.



GPP – GENERAL PURPOSE PROCESSOR

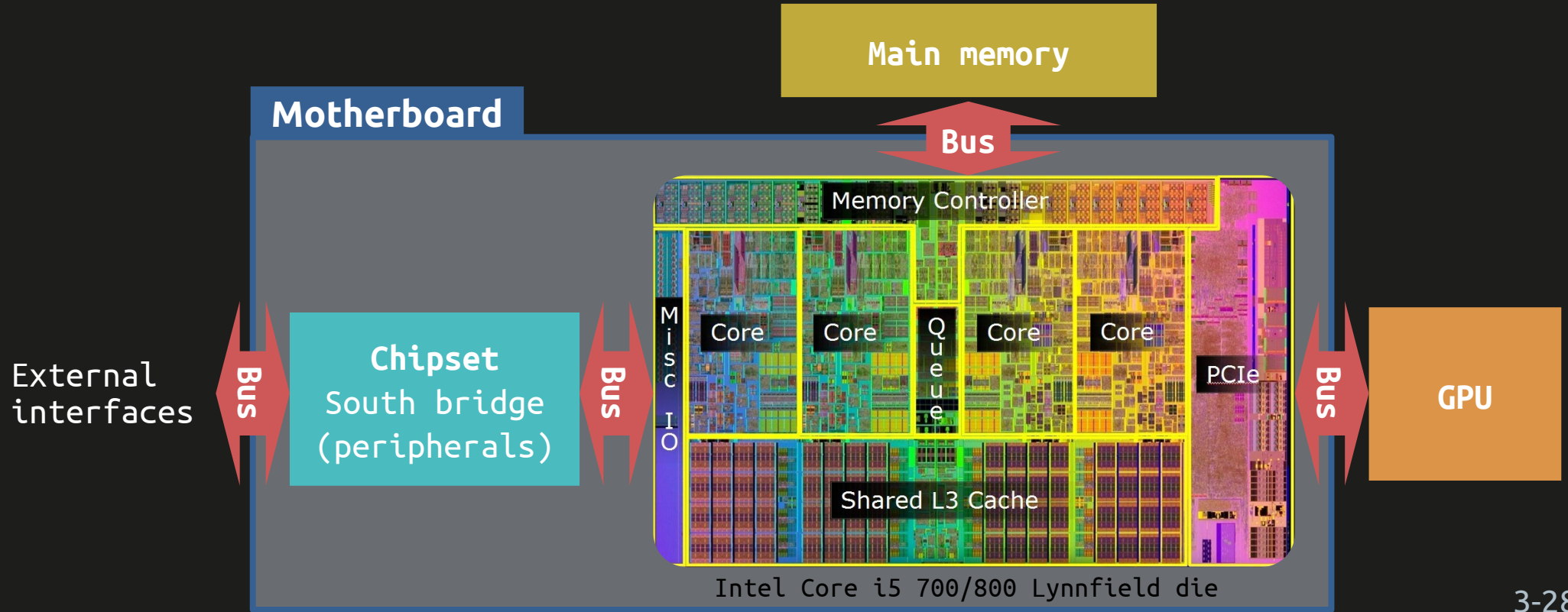
Exemple : Intel Core i5



Intel Core i5 700/800 Lynnfield die

Exemple : Intel Core i5

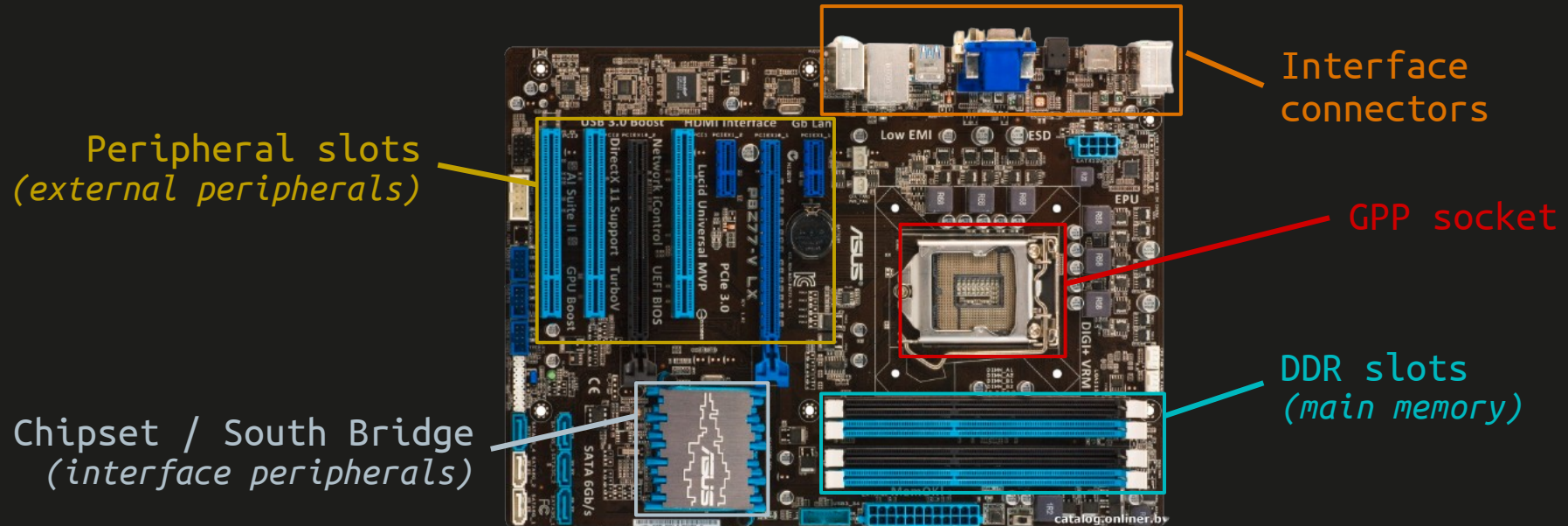
Intégration dans le système (carte mère)



Carte mère

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

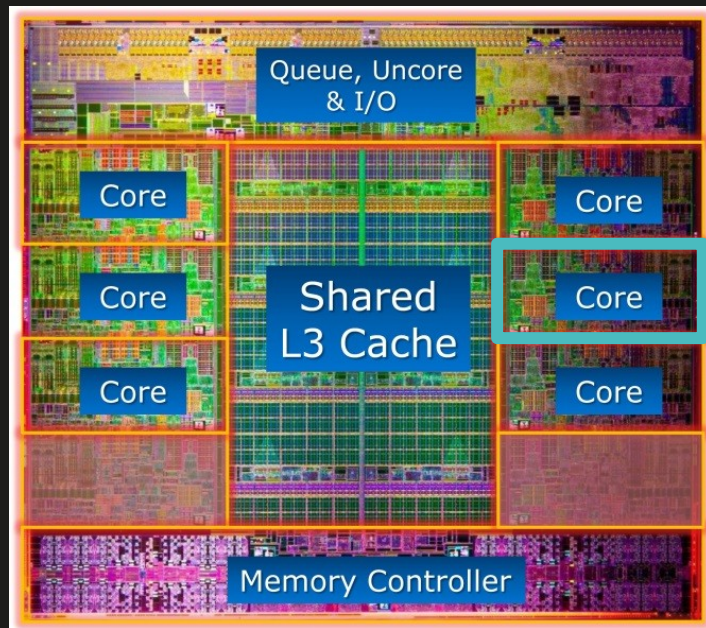
Exemple de carte mère ASUS, n°2 du marché mondial en 2016.



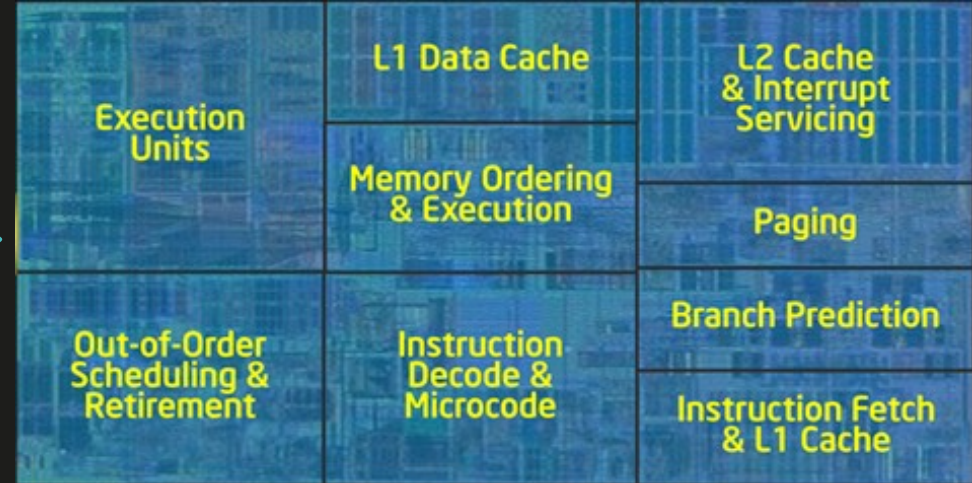
Les GPP possèdent un CPU dit **superscalaire**. Les processeurs possédant ce type de pipeline CPU se caractérisent le plus souvent par le déploiement des mécanismes d'accélération matériels suivants :

- **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



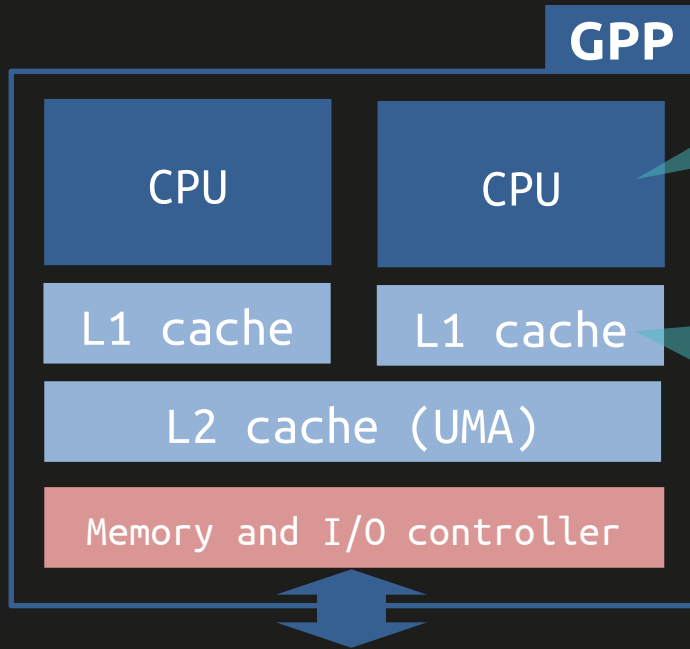
Sandy Bridge CPU/Core

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 peu intéressant.

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.





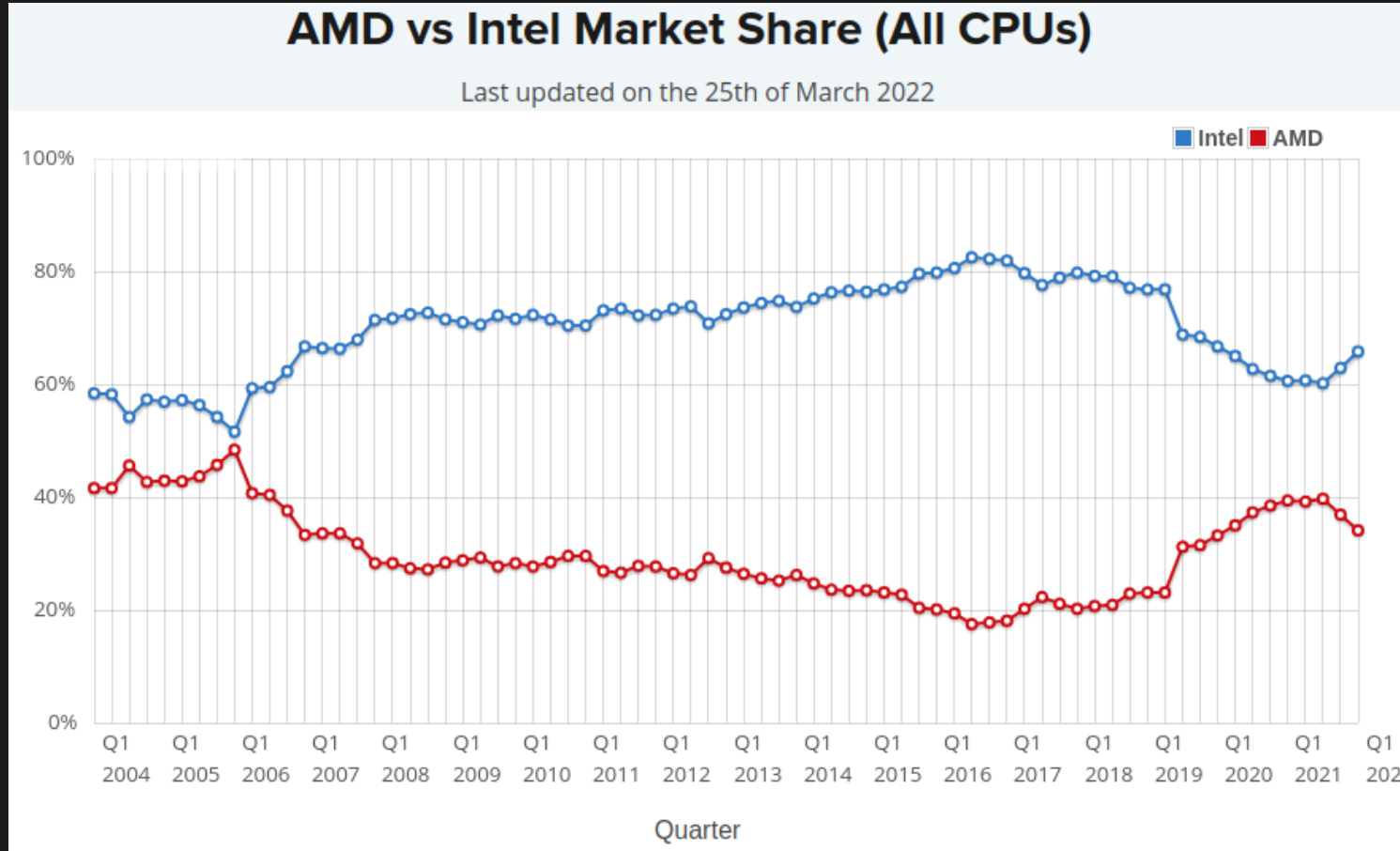
CPU superscalaire

- 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





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
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>