



COURS SYSTÈME EMBARQUÉ ET SYSTÈME D'EXPLOITATION MOBILE

Ikbel Daly Briki

2016/2017

SYSTÈME EMBARQUÉ

- Un système embarqué: c'est une combinaison de matériels et logiciels permettant de remplir une ou plusieurs fonctions spécifiques avec des contraintes plus ou moins sévères tel que la consommation, la température, la taille, les performances...[Patrice Kadionik, 2004]
- Un système embarqué est susceptible d'être utilisé dans un environnement matériel de faibles performances (si l'on compare au PC de bureau d'aujourd'hui). Si l'ajout de quelques Mo de mémoire sur un PC de bureau n'a pas une grosse influence sur le budget d'un utilisateur, le gain de quelques Mo sur un produit de grande consommation (téléphone, équipement auto mobile, organiseur personnel) a une énorme influence sur le coût final. [Pierre Ficheux, 2003]

SYSTÈME EMBARQUÉ

- Ébauche d'une définition: c'est un système électronique et informatique autonome qui est dédié à une tâche particulière et contenue dans un système englobant. Il n'est « généralement » pas programmable.
 - Pas d'E/S standards
 - Matériel et application intimement liés
 - Logiciel enfoui ... noyé dans le matériel ... pas facilement discernable comme dans un PC.
- Il sont partout ;
- Radio/réveil
- Machine à café
- Télévision / télécommande
- Moyen de transport
- Téléphone portable

CARACTÉRISTIQUES D'UN SYSTÈME EMBARQUÉ

- Un système embarqué:
 - des ressources limitées
 - Système principalement numérique
 - Le moins cher possible
 - Une puissance de calcul limitée
 - Pas de consommation d'énergie inutile
 - Exécution de logiciel dédié aux fonctionnalités spéciales
 - Une capacité de communication limitée
 - Ne possède pas toujours de système de fichiers

CARACTÉRISTIQUES D'UN SYSTÈME EMBARQUÉ

- Faible coût:
 - Solution optimale entre le prix et la performance
 - À la portée de toute personne
 - Par conséquent, les ressources utilisées sont minimales
 - Un système embarqué n'a que peu de mémoire

CARACTÉRISTIQUES D'UN SYSTÈME EMBARQUÉ

- Faible consommation:
 - Utilisation d'une batterie d'emmagasins d'énergie
 - Gérer la consommation pour rester autonome le plus possible
 - Pas de consommation excessive, moins de prix et des batteries de faible capacités

CARACTÉRISTIQUES D'UN SYSTÈME EMBARQUÉ

- Faible encombrement et faible poids:
 - Minimiser la taille et le poids pour un système embarqué.
 - Les composants électroniques (analogique et/ou numérique) doivent cohabiter sur une faible surface.
- Fonctionnement en temps réel:
 - Les applications embarquées doivent répondre rapidement aux événements internes ou externes.
 - Nécessaire dans les applications de système de contrôles
 - Le résultat peut être néfaste si le système ne réagit pas à l'immédiat à un événement du système

CARACTÉRISTIQUES D'UN SYSTÈME EMBARQUÉ

○ Environnement:

- Un système embarqué est soumis à des nombreux contraintes d'environnement
- Il doit s'adapter et fonctionner avec eux.
- Exemple:
 - La température
 - L'humidité
 - Les vibrations
 - Les chocs
 - Les variations d'alimentation, les interférences RF, les radiations... etc

L'EMBARQUÉ EN QUELQUES CHIFFRES

- **En 1999, il a été vendu (dans le domaine de l'embarqué):**
 - 1,3 milliards de processeurs 4 bits
 - 1,4 milliards de processeurs 8 bits
 - 375 millions de processeurs 16 bits
 - 127 millions de processeurs 32 bits
 - 3,2 millions de processeurs 64 bits.
- Il a été vendu **108 millions de processeurs pour le marché du PC**
- **En 2004:**
 - 14 milliards de processeurs pour l'embarqué (microprocesseur, microcontrôleur, DSP, etc.)
 - 260 millions de processeurs PC.
- Moins de 2% (5%) des processeurs vendus sont pour les PC, 98% (95%) pour l'embarqué
- Prix moyen d'un processeur 6\$ (2004) alors qu'un processeur PC coûte 300\$.

ARCHITECTURE D'UN SYSTÈME EMBARQUÉ

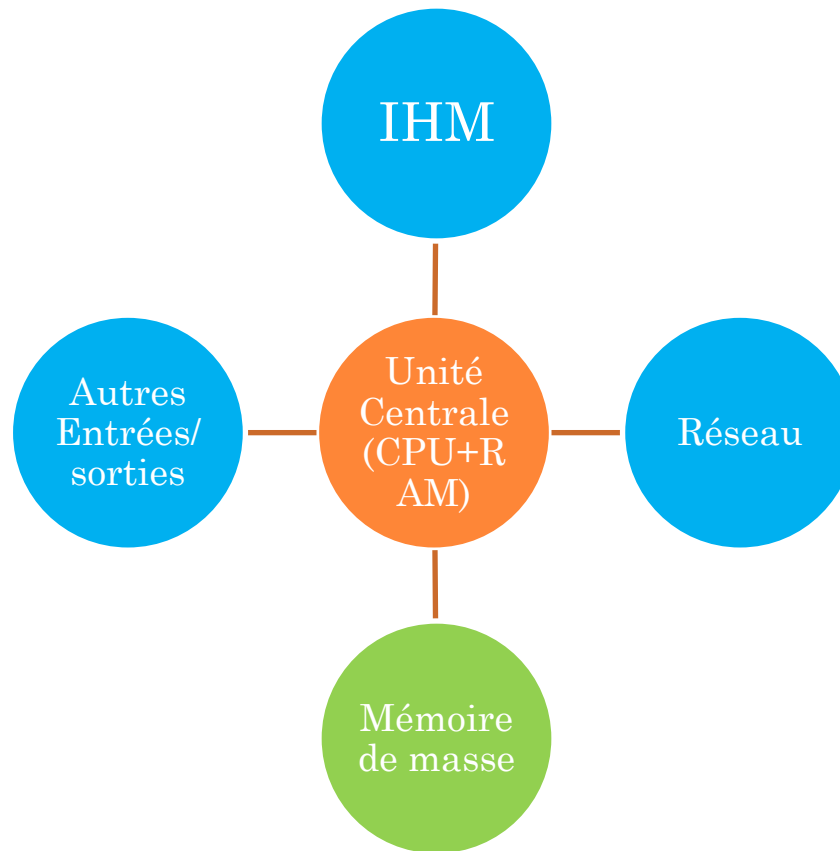
- Trois couches:



- Chaque couche a la même fonctionnalité qu'un système normal avec quelques différences de sous composants de chaque couche
- Deux premières couches → partie soft
- Troisième couche → partie hard
 - Ensemble des éléments physiques cohabitant sur une faible surface
 - Traitement de données
 - Composants matériels limités
 - Composants dédiés à des traitements spécifiques (supplémentaire)

ARCHITECTURE D'UN SYSTÈME EMBARQUÉ

- La topologie générale d'un système embarqué:



ARCHITECTURE D'UN SYSTÈME EMBARQUÉ

- Équipements permanents:
 - CPU: microprocesseur (s) ou des microcontrôleurs
 - RAM: mémoire centrale

- Équipements supplémentaires:
 - Mémoire de masse:
 - Disque dur (exp; microdrive 2,5-3,5 inches)
 - Mémoire flash (exp; FlashDisk, DiskOnChip, SDCard,...)
 - Utilisation de ROM (exp; Disque virtuel CD, DVD)
 - Disque à distance (exp; NFS, TFTP)

ARCHITECTURE D'UN SYSTÈME EMBARQUÉ

- Équipements supplémentaires:
 - Entrées:
 - Les capteurs/convertisseurs (pression, audio, température,..)
 - Le clavier, boutons poussoirs ou télécommandes (infrarouge, Bluetooth, radio,..)
 - Les lecteurs de codes barres
 - Sorties:
 - Les écrans et afficheurs LCD
 - Système d'alarme ou synthèse vocale
 - Imprimante en tous genres comme papier, étiquette, photos, ..)
 - IHM:
 - Communication entre l'humain et la machine
 - Exp; écran avec les dispositifs « touchScreen »

LES APPLICATIONS D'UN SYSTÈME EMBARQUÉ

- Les systèmes embarqués peuvent être remarqués par toute utilisation d'une machine à base de microprocesseurs ou microcontrôleurs
- Les domaines d'application:
 - Transport; automobile, aéronautique
 - Militaire; missile
 - Astronautique; fusée, satellite artificiel
 - Électroménager; télévision, four ou micro-ondes
 - Télécommunication; téléphonie, routeur, pare-feu
 - Impression; imprimante multifonctions, photocopieur
 - Informatique; disque dur, lecteur de CD
 - Équipement médical
 - Multimédia; console de jeux vidéo
 - Guichet automatique bancaire (GAB)
 - métrologie

DISPOSITIFS MOBILES

- Un appareil informatique portable possédant souvent un écran et une interface d'entrée/sortie avec des dispositifs d'interaction nécessaire ou accessoires
- Classification des dispositifs mobiles suivant leurs caractéristiques:
 - Laptop
 - Tablet PC
 - PDA (Personal Digital Assistant)
 - Téléphone portable
 - Smartphone
 - Autres dispositifs; baladeur multimédia personnels (MP3, MP4, ...), consoles de jeux portables

SYSTÈME EMBARQUÉS

○ **Système sur puce (SoC - System on Chip)**

- Circuit complexe qui intègre tous les éléments fonctionnels d'un produit sur une même puce;
 - des modules logiciels (DSP),
 - des mémoires,
 - des périphériques,
 - des coprocesseurs matériels (FPGA ou ASIC)
 - des modules analogiques ou optoélectroniques
- Objectif: diminuer au minimum le nombre de composants sur une carte pour mettre tout sur une seule puce.



Systeme sur carte

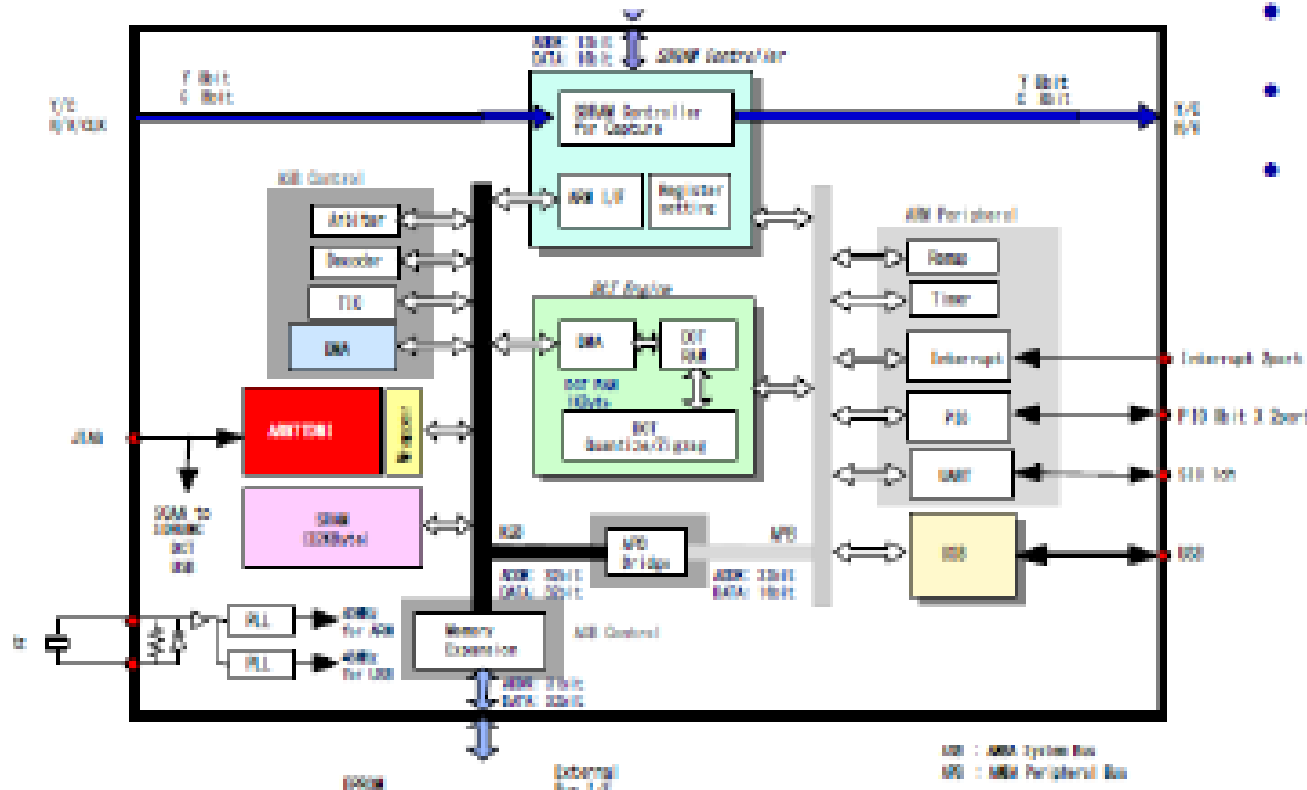


Systeme sur puce

PROCESSEURS EMBARQUÉS

Exemple SoC

- Processeur ARM7
- Logique dédiée DCT
- Contrôleur USB

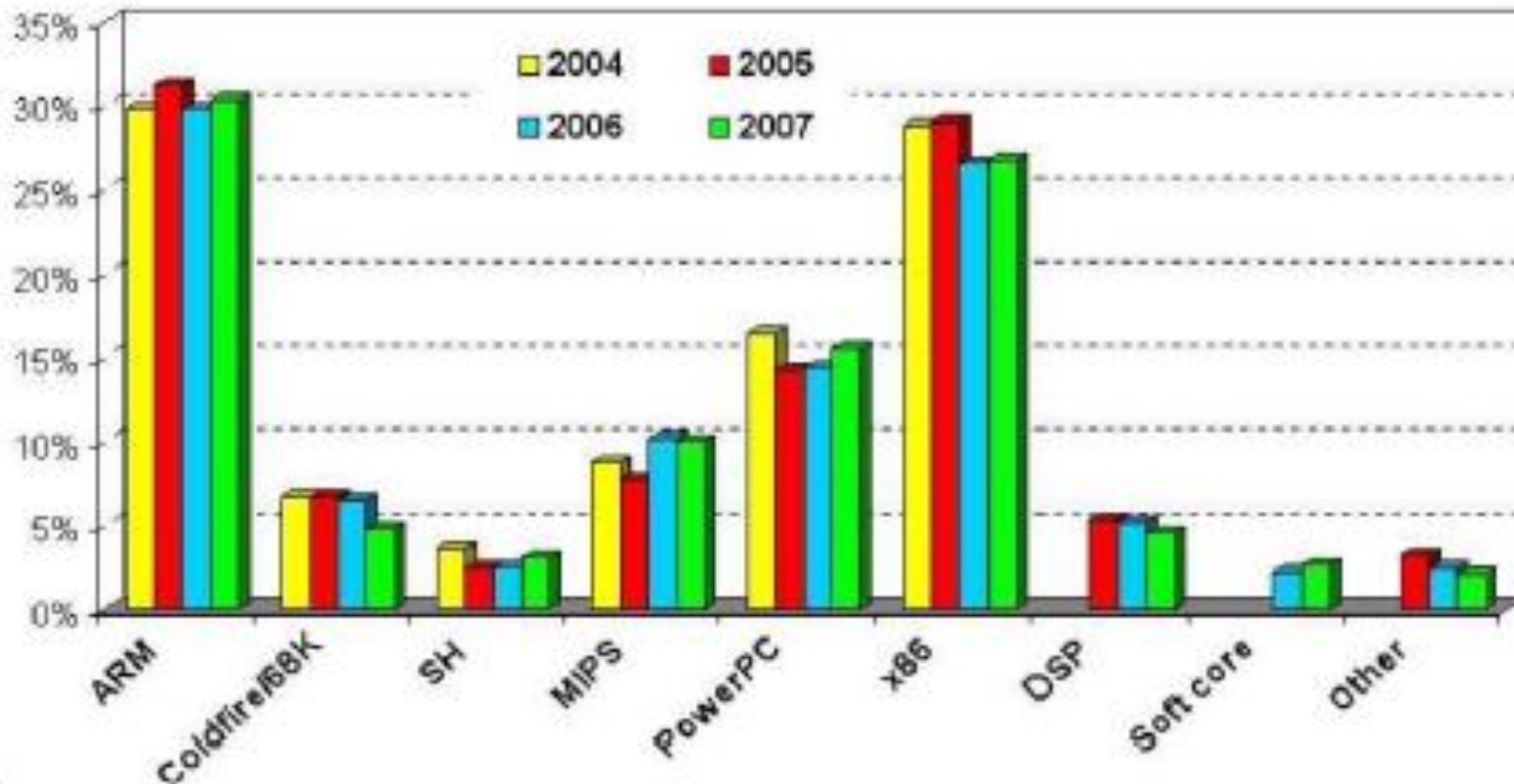


Sony Digital Camera SOC

PROCESSEURS EMBARQUÉS

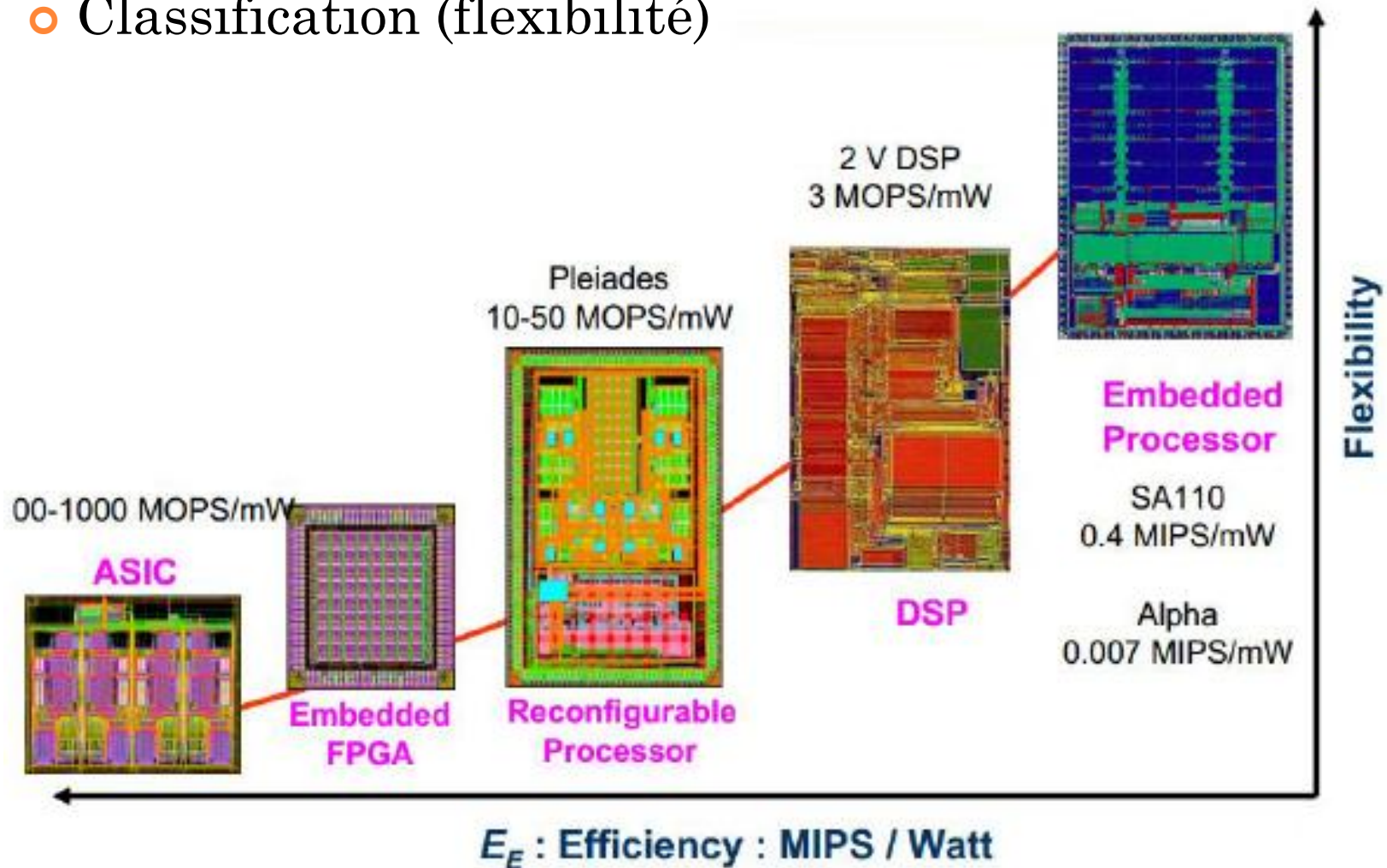
- Introduction
- MIPS, 68K, SPARC, ARM, PowerPC

Embedded processor preference trends



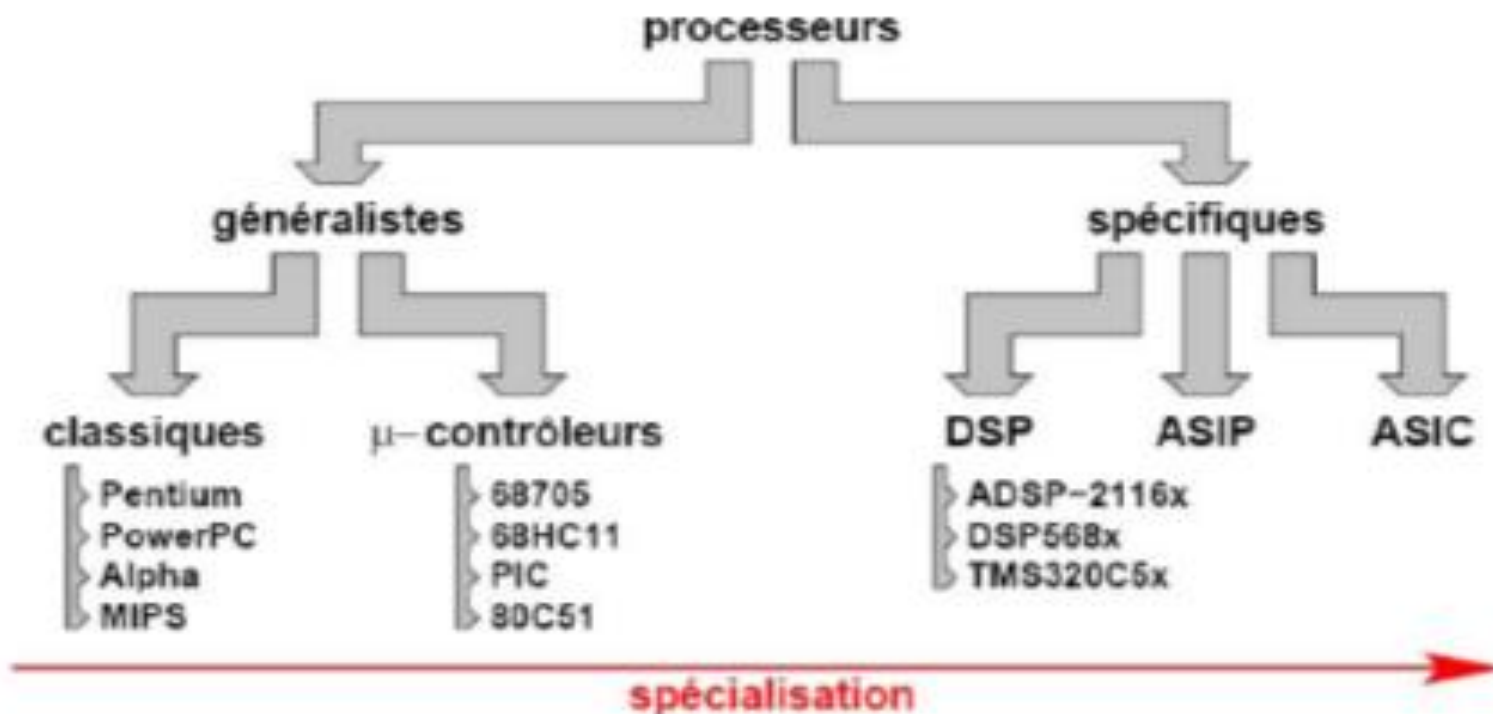
PROCESSEURS EMBARQUÉS

- Classification (flexibilité)



PROCESSEURS EMBARQUÉS

○ Classification



- DSP : Digital Signal Processor
- ASIP : Application Specific Instruction Set Processor
- ASIC : Application Specific Integrated Circuit

PROCESSEURS EMBARQUÉS

- Processeurs CISC et RISC:

- Le jeu d'instruction (Instruction Set Architecture: ISA) :
 - détermine les instructions élémentaires exécutées par le CPU.
 - est un équilibre entre la complexité matérielle du CPU et la facilité d'exprimer les actions requises
 - est représenté de manière symbolique
- Deux classes de jeux d'instructions:
 - CISC: Complex Instruction Set Computer
 - RISC: Reduce Instruction Set Computer

PROCESSEURS EMBARQUÉS

○ Processeur CISC (Complex Instruction Set Computer) :

- Jeu étendu d'instructions complexes (une instruction = plusieurs opérations élémentaires), **Ex: un load, une opération arithmétique et un store**
- Compilation et programmation en assembleur relativement facilitées, code compact, limitation des accès mémoire
- **temps de décodage et d'exécution des instructions trop long**

Exemples: *Vax, Motorola 68000, Intel x86/Pentium*

PROCESSEURS EMBARQUÉS

○ **Processeur RISC (Reduced Instruction Set Computer) :**

- Jeu d'instructions réduit, codage uniforme
- Modes d'adressage simples, utilisation intensive des registres du processeur
- Compilation moins facile, code moins compact, plus d'accès mémoire (pénalisation réduite grâce aux caches)
- **décodage et exécution rapides des instructions(un cycle sur architecture pipelinée)**

Tous les microprocesseurs modernes utilisent ce paradigme

Exemples :

SPARC(SUN), MIPS, ARM, PowerPC(Apple, IBM, Freescale), etc.

PROCESSEURS EMBARQUÉS

Micro-contrôleurs

- Utilisé pour le contrôle embarqué
 - Censeur, contrôleurs simples
 - Manipule des événements, quelques données mais en faible quantité

Exemple: caméscope, disque dur, appareil photo numérique, machine à laver, four à micro-onde

- Quelques caractéristiques fréquentes
 - Périphériques présents sur le circuit (timer, convertisseur analogique numérique, interface de communication), accessible directement grâce aux registres
 - Programme et données intégrées au circuit
 - Accès direct du programmeur à de nombreuses broches du circuit
 - Instructions spécialisées pour les manipulation de bits.

PROCESSEURS EMBARQUÉS

DSP: Digital Signal Processing

- Utilisés pour les applications de traitement du signal
 - Grande quantités de données numérisées, souvent organisées en flux
 - Filtre numérique sur téléphone, TV numérique, synthétiseur de sons
 - Constructeurs: Texas Instrument, puis AnalogDevices, Motorola



schéma de principe d'un DSP

PROCESSEURS EMBARQUÉS

Processeurs ARM

- Processeurs développés depuis les années 1980,
- maintenant par ARM Limited
(<http://www.arm.com/>)
- architecture relativement plus simple que d'autres familles de processeurs
- faible consommation,
- les processeurs ARM sont devenus dominants dans le domaine de l'informatique embarquée, en particulier la téléphonie mobile et les tablettes.

PROCESSEURS EMBARQUÉS

Processeurs ARM

- Architectures récentes :
 - Famille ARM9E : solutions "DSP-enhanced" (Digital Signal Processing)
 - CoresARM9E et ARM9EJ-S ("Jazelle technology-enhanced")
 - Macrocells ARM926EJ-S, ARM946E-S, ARM966E-S, ARM968E-S et ARM996HS
 - Famille ARM10
 - Famille ARM11

PROCESSEURS EMBARQUÉS

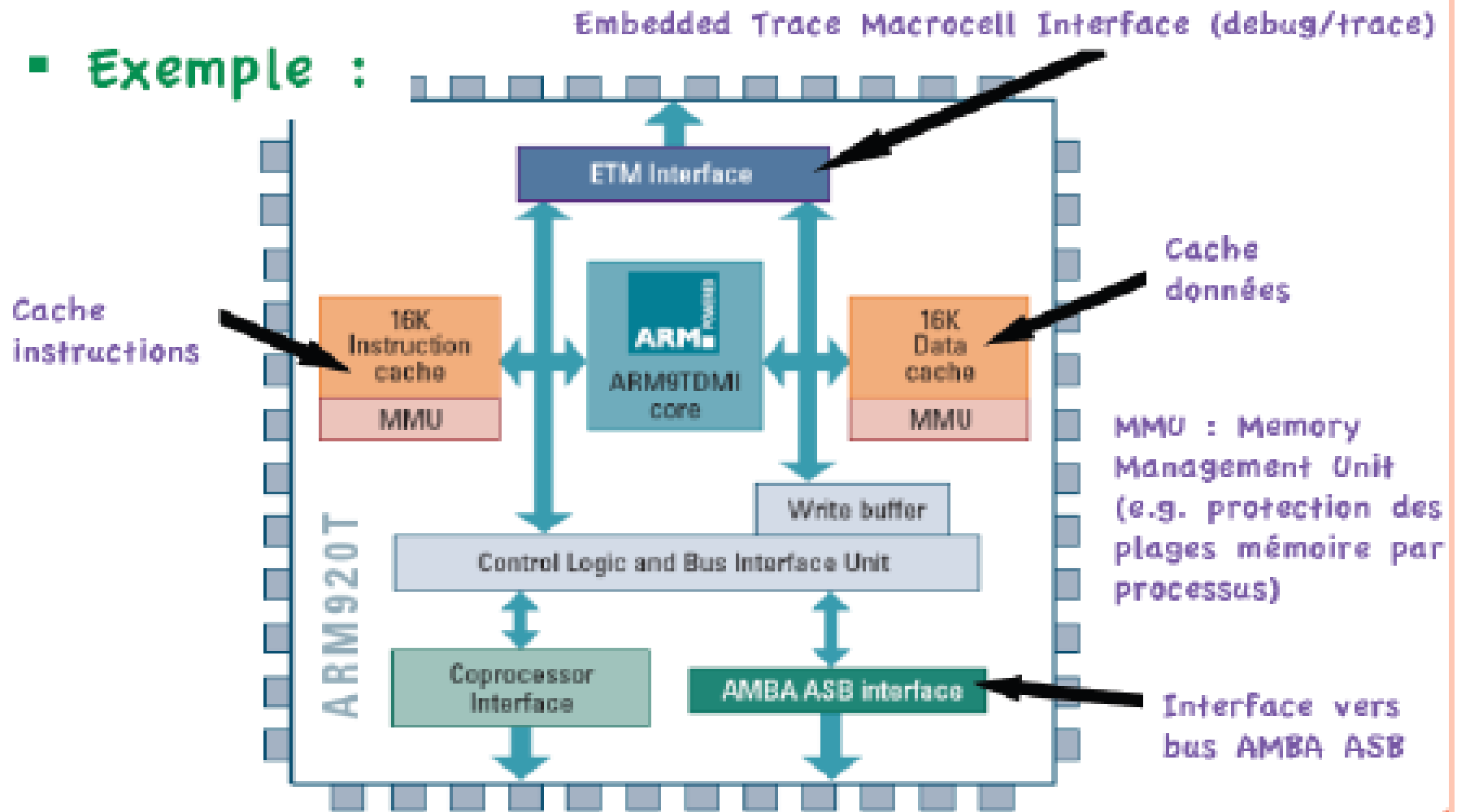
Processeurs ARM

- Caractéristiques :
 - Architecture RISC 32 bits
 - Architecture load/store : les accès en mémoire ne se font que via des instructions load et store
 - Structure pipelinée
 - ARM7 : pipeline 3 étages et ARM9 : pipeline 5 étages
 - Thumbmode : instructions 16 bits (fonctionnalités réduites, mais gain en performance)
 - Jazelle: optimisation pour Java (JVM câblée)

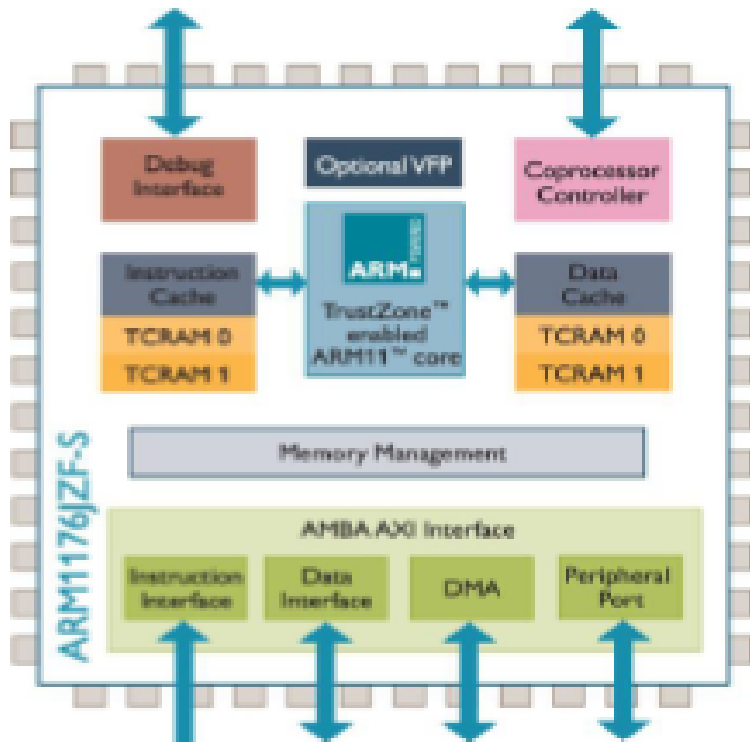
PROCESSEURS EMBARQUÉS

Processeurs ARM:

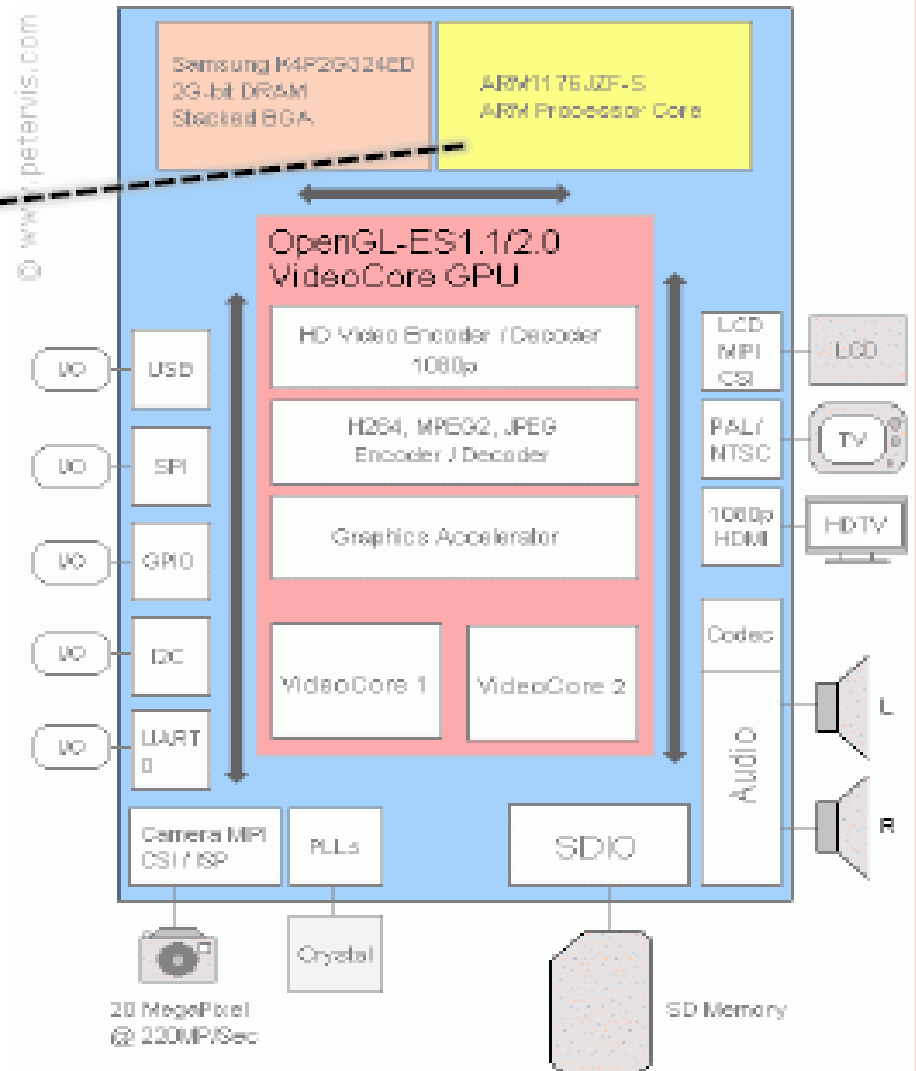
■ Exemple :



COMMUNICATIONS : BUS



ARM1176JZ



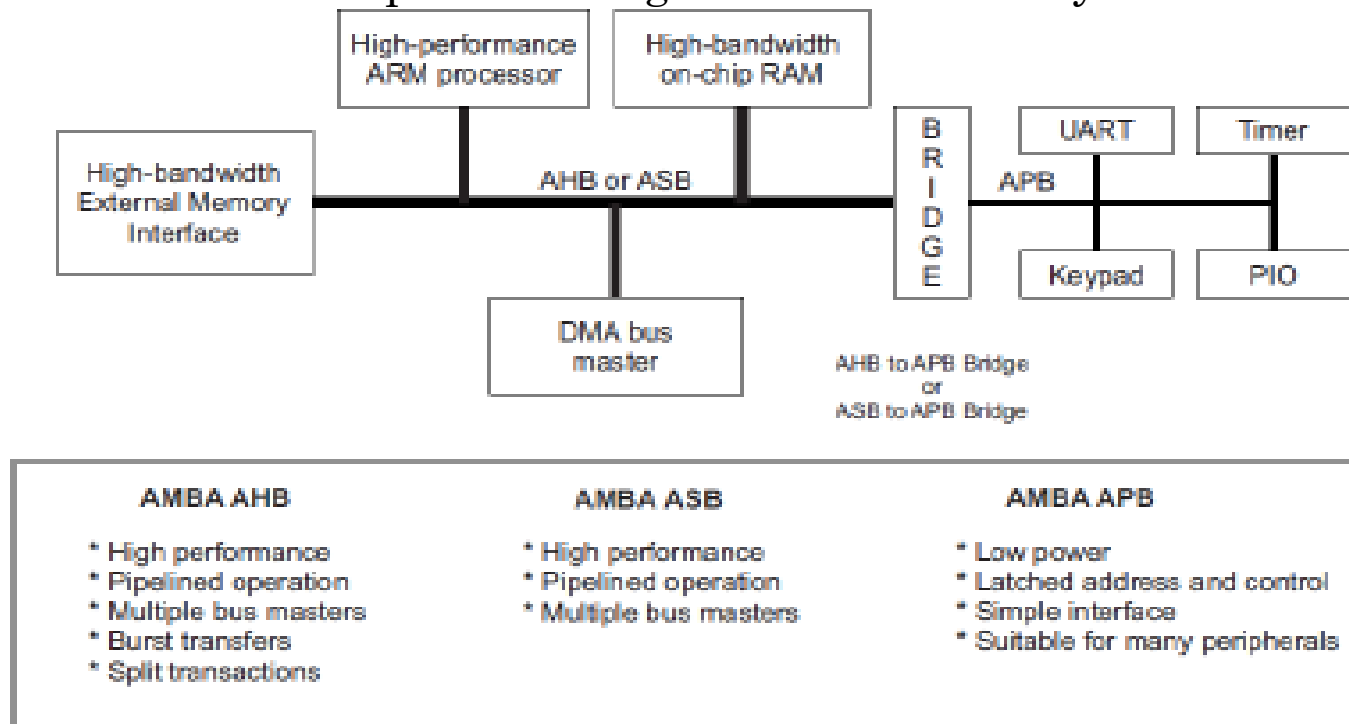
SOC: BCM2835 Block Diagram

COMMUNICATIONS : BUS

○ Bus pour systèmes embarqués:

• Bus AMBA: Advanced Microcontroller Bus Architecture

- Conçu par ARM
- Permet de simplifier l'intégration au niveau système.

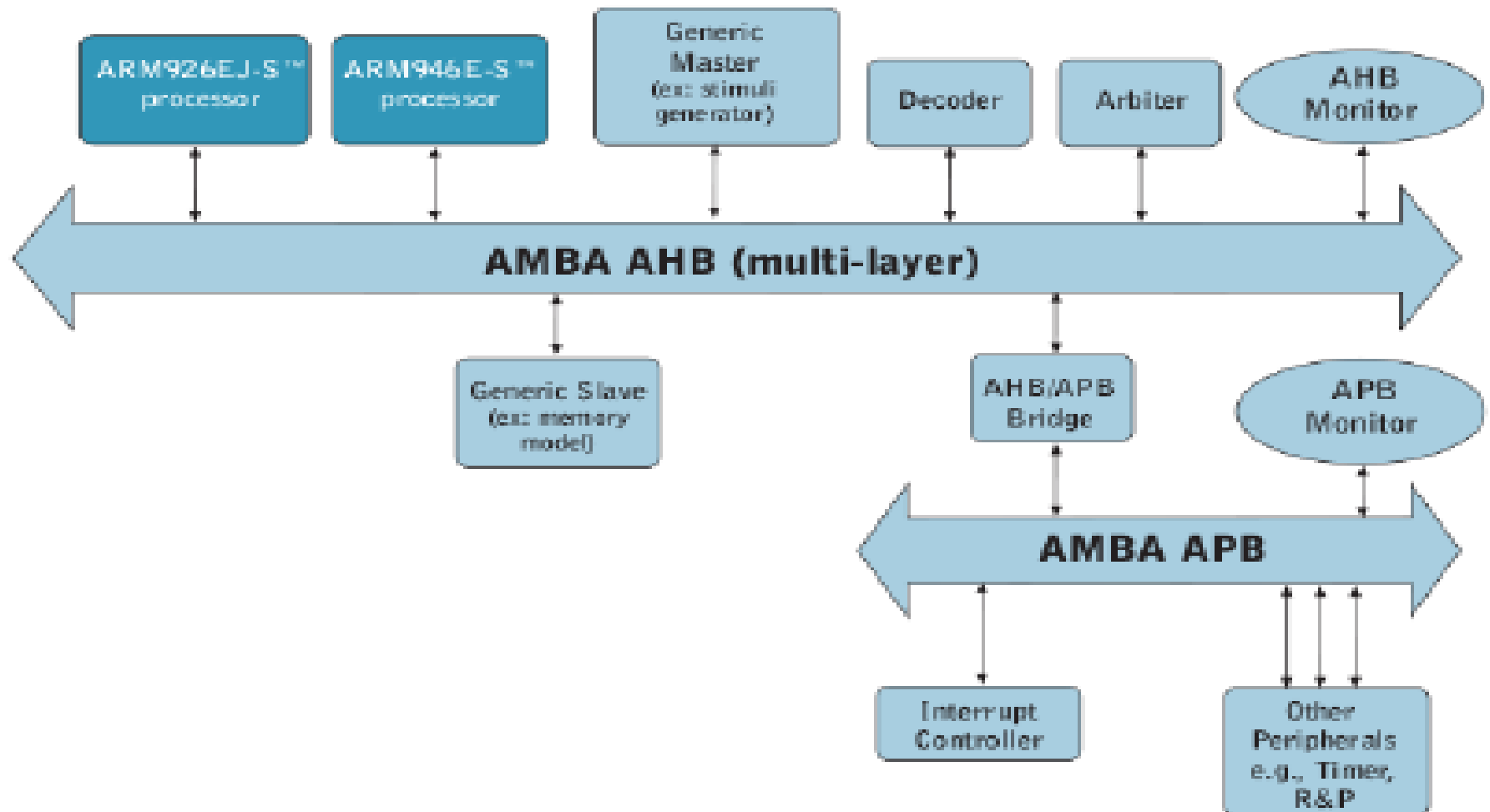


COMMUNICATIONS : BUS

- **Advanced High-performance Bus (AHB) :**
bus système rapide, synchrone, multimaître.
- **Advanced System Bus (ASB) :**
une alternative au système AHB , utilisé dans les cas où les hautes performances du bus AHB ne sont pas nécessaires.
- **Advanced Peripheral Bus (APB):**
bus périphérique, plus lent et de plus faible consommation (pour périphériques lents), synchrone, maître unique.

COMMUNICATIONS : BUS

○ Exemple



NÉCESSITÉ D'UN SYSTÈME D'EXPLOITATION

- Les solutions embarquées utilisent des composants Soft conjointement avec le Hard
- Par analogie aux ordinateurs, ces composants logiciels devront tournés sur un système d'exploitation.
- un système d'exploitation embarqué n'a pas toutes les fonctionnalités et les caractéristiques qu'un un système d'exploitation pour ordinateur.

DÉFINITION D'UN SYSTÈME D'EXPLOITATION MOBILE

- Un ensemble de programmes responsable de la gestion des opérations de:
 - contrôle,
 - coordination,
 - utilisation du matériel
 - partage des ressources d'un dispositif entre divers programmes tournant sur ce dispositif
- Une plateforme logicielle sur laquelle les autres programmes (programmes d'applications) peuvent s'exécuter sur des appareils mobiles ; PDA, téléphones cellulaires, smartphones,...
- ➔ Les SEM se diffèrent en fonction des fonctionnalités qu'ils soutiennent.

CARACTÉRISTIQUES D'UN SYSTÈME D'EXPLOITATION MOBILE

- Un SEM regroupe un ensemble des fonctionnalités;
 - La gestion de la mémoire
 - La gestion des microprocesseurs et l'ordonnancement
 - La gestion de système de fichiers
 - La gestion des I/O
 - La gestion de sécurité
 - La gestion de fonctionnalité multimédia
 - etc

EXEMPLES DES SYSTÈMES D'EXPLOITATION MOBILE

- Les principaux systèmes d'exploitation mobiles;
 - Android
 - Bada
 - BlackBerry OS
 - iOS
 - OpenMoko
 - PalmOS
 - HP webOS
 - Symbian OS
 - Windows CE
 - Windows Mobile
 - Windows Phone 7

EXEMPLES DES SYSTÈMES D'EXPLOITATION MOBILE

- Symbian OS:
 - Le plus utilisé pour les smartphones et PDA
 - Fournit les fonctionnalités essentielles du SE; cœur du système, les API communes et une interface utilisateur de référence
 - Adopté par différents fabricants de téléphone portables 2G et 3G

EXEMPLES DES SYSTÈMES D'EXPLOITATION MOBILE

○ Palm OS

- Connu sous le nom Garnet OS
- Développé pour des PDA en 1996
- L'interface graphique utilisateur est prévue pour être utilisée avec un écran tactile
- Fourni avec une suite d'applications de base pour gestionnaire d'informations personnelles
- Amélioré pour fonctionner sur des smartphones
- En 2007, ACCESS a sorti le successeur de Garnet OS appelé Access Linux Platform

EXEMPLES DES SYSTÈMES D'EXPLOITATION MOBILE

○ Android

- Un système d'exploitation open source utilisant le noyau Linux pour smartphones, PDA et terminaux mobiles
- Existe sur autres types d'appareils ; téléviseurs, tablettes
- Comporte une interface spécifique développée en Java
- Les programmes sont exécutés via un interpréteur JIT
- Conçu pour intégrer au mieux des applications existantes de google comme Gmail, Google Maps, Google Talk,...

EXEMPLES DES SYSTÈMES D'EXPLOITATION MOBILE

- Windows mobile, Windows CE et Windows Phone7
 - Développés par Microsoft pour les smartphones et Pocket PC
 - Propose des applications basiques comme email, internet, chat et multimédia, etc.
 - Windows Phone 7 est une plateforme a été lancé le 15 février 2010, il n'existe aucune compatibilité avec les applications Windows Mobile

UN OS RÉSOUD-IL TOUS LES PROBLÈMES ?

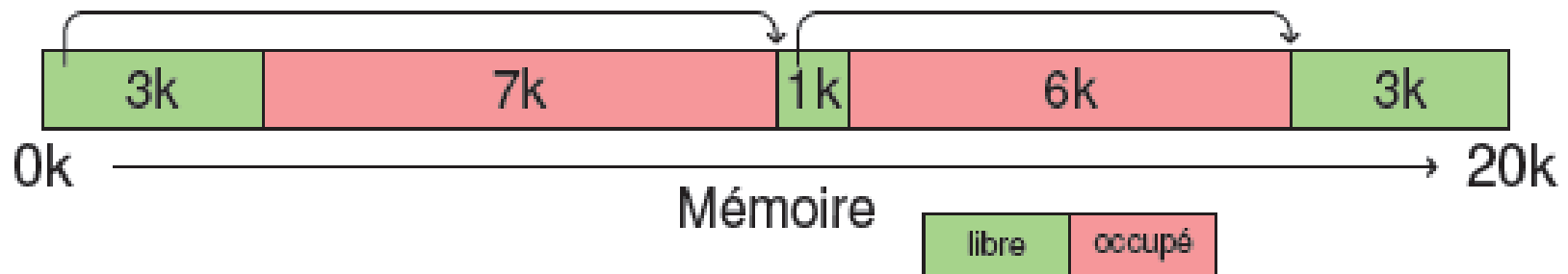
- Non !
- La gestion de la mémoire reste à la charge du développeur (les allocations statiques).
- Les tâches ne s'ordonnent pas toutes seules.
- Un OS n'empêche pas les bugs dans le code.

GESTION DE LA MÉMOIRE

- La plupart des microcontrôleurs embarquent quelques k de mémoire :
 - 256k sur les STM32F427IG ;
 - 20k sur les STM32F103 ;
 - 1536 octets sur les PIC18F452.
- Ajouter de la RAM externe est coûteux :
 - utilisation d'entrées-sorties supplémentaires sur le
 - processeur ;
 - complication du routage ;
 - intégrité du signal.
- Il faut gérer précautionneusement cette ressource précieuse.

GESTION DYNAMIQUE DE LA MÉMOIRE

- Utilisation d'une liste chaînée des blocs libres (free-list)

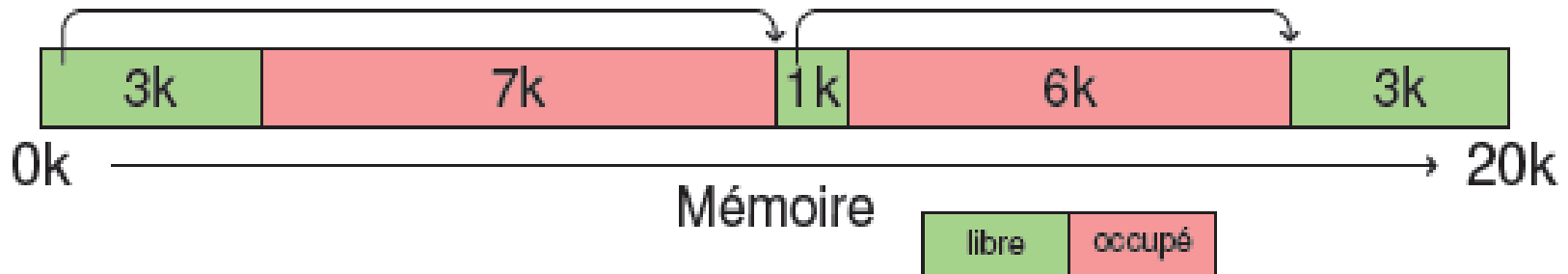


- Stockage de la taille réservée en mémoire (la taille libérée n'est pas passée à free()).



FRAGMENTATION

- Au cours de son utilisation, la mémoire disponible peut devenir fragmentée.



- Comment allouer 5k alors que seuls deux blocs non contigus de 3k et un de 1k sont disponibles ?

POLITIQUES D'ALLOCATION

- Dans la situation suivante, dans quel bloc allouer une zone de 600 octets demandée par le programme?
- Plusieurs stratégies possibles :
 - Best fit
 - Worst fit
 - First fit
 - First fit équivalent à une des deux premières solutions en triant la liste des blocs libres

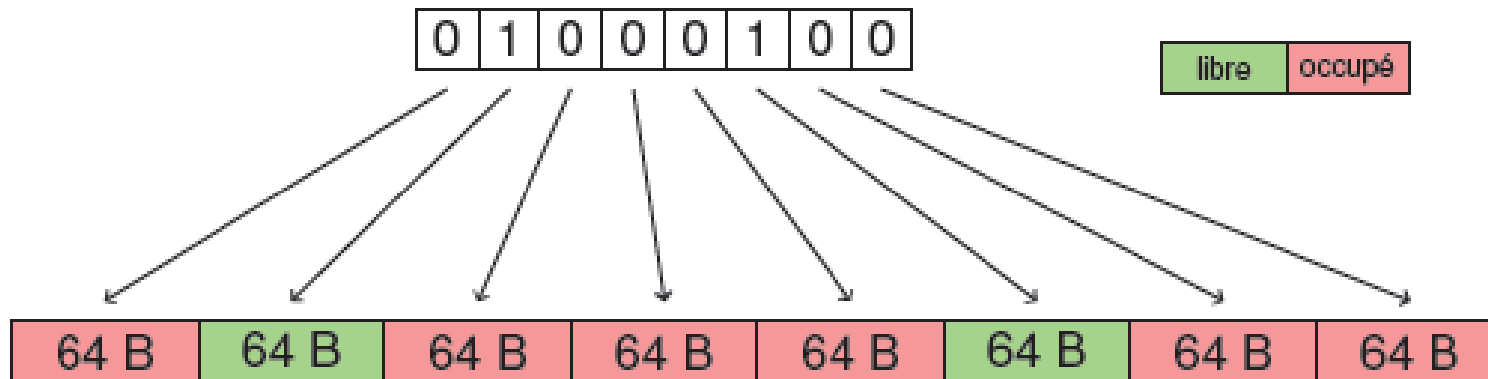
GESTION DE LA LIBÉRATION

- Plusieurs stratégies possibles :
- Agrégation des blocs libres, peut nécessiter un tri de la liste ; peu déterministe.
- Libération sans agrégation des blocs libres, peut nécessiter un tri de la liste.
- Pas de libération.
- Toutes ces stratégies sont couramment utilisées. La dernière permet l'allocation dynamique en début de programme, qui ne commencera ses véritables fonctions qu'après que l'ensemble des allocations aient été effectuées.

GESTION PAR BITMAPS

La mémoire peut-être gérée avec des bitmaps :

- blocs de taille fixe et contigus ;
- un bit par bloc indique si le bloc est libre ou non ;
- possibilité d'utiliser plusieurs zones avec des blocs de taille différente.



RECHERCHE DANS UN BITMAP

- Comment, dans un mot machine, isoler facilement le bit de poids le plus faible parmi les bits à 1 ?

0	1	0	0	0	1	0	0	word
0	0	0	0	0	1	0	0	lowest_bit(word)

```
inline unsigned int lowest_bit(unsigned int word)
{
    return ((word ^ (word - 1)) >> 1) + 1;
}
```

0	1	0	0	0	1	0	0	word
0	1	0	0	0	0	1	1	word - 1
0	0	0	0	0	1	1	1	^
0	0	0	0	0	0	1	1	>> 1
0	0	0	0	0	1	0	0	+ 1

ALLOCATION STATIQUE

- L'absence d'allocation dynamique a des (énormes) avantages :
 - détermination de la position définitive de chaque bloc lors de l'édition de liens et temps d'accès réduit ;
 - vérification de la disponibilité de la quantité nécessaire de mémoire lors de l'édition de liens ;
 - aucune possibilité de fragmentation ou de manque de mémoire lors de l'exécution.
- Cette solution doit être privilégiée lorsque c'est possible. Cela peut influencer le choix du système d'exploitation.

UTILISATION DE LA MMU

- L'utilisation d'une MMU (Memory Management Unit) permet :
 - la protection des zones mémoire ;
 - la réduction de la fragmentation par l'utilisation de pages et de la correspondance entre adresse logique et adresse physique ;
 - la possibilité de disposer de zones thread-local sans indirection supplémentaire.
- Tous les systèmes n'utilisent pas la MMU même lorsqu'elle est présente, pour des raisons de simplicité ou de performances.