

Informatique Embarquée M2 / 2017

Tous les Bororos
sont des Araras.

Qui est-ce ?



Hardware stack,
what about
software stacks?



Objectifs

- Comprendre :
 - Ce que sont les systèmes embarqués,
 - ▶ Définition, « construction », contraintes,...
 - La notion de temps-réel, ordonnancement,
 - Architecture mémoire,
 - Systèmes de fichiers, interfaces graphiques...
 - Les notions : OS, micro-noyaux, OS temps-réel...
 - [Virtualisation pour systèmes embarqués, suivant le temps]

Objectifs

- Progresser
 - Maîtrise du temps
 - Méthode
 - ▶ Makefile, gestion de versions,...
 - ▶ Écrire du « bon code »
 - ▶ Tester (automatiquement)
 - ▶ Documenter
 - ▶ Recommencer
 - Travailler ensemble
 - S'exprimer...



Objectifs

- « Maîtriser » :
 - Le C,
 - Chaîne de production, génération croisée,
 - Programmation système (Posix / Linux),
 - ▶ Création de threads,
 - ▶ Synchronisation
 - ▶ Mesures de temps,
 - « Production de systèmes »
 - Occupation mémoire, gestion mémoire
 - Ordonnancement,
 - ...

Informations Relatives au Cours

- Sur le site:

<https://moodlesupd.script.univ-paris-diderot.fr/course/view.php?id=9826>

Vous trouverez:

- Les supports de cours mis à disposition avant les cours
- Les sujets de TP
- Les informations de dernière minute
- ...

Modalités de Contrôle

- Contrôle continu : TP
 - Compte-rendu de TP et / ou exercices à domicile
 - ▶ 6 exercices (minimum) proposés durant la session.
 - Individuel et/ou binômes
 - Les 5 meilleures notes sont prises en compte
 - ▶ 3 des notes doivent être obtenues sur un travail individuel
 - Les points au dessus de 10 du ou des TP rendu(s) en plus du minima (5) améliorent votre note de TP (max : 20)
 - Ex : moyenne sur 5 : 12, TP en plus 15
 - ▶ $((5 \times 12) + (15 - 10)) / 5 \Rightarrow 13$

Modalités de Contrôle

- Contrôle continu : TP suite

- Attention possibilité certitude de (petits) QCM pendant les cours

- ▶ 1 point / question

Absence => 0

- ▶ => 1 note / 20 individuelle (par règle de trois)

- ▶ Prise en compte des N meilleurs QCM

- Note de TP / QCM :

- TP individuels : $TPI = TP_{I1} + TP_{I2} + TP_{I3}$

- TP collectifs ou individuels : $TPCI = TP_{CI1} + TP_{CI2}$

- TP suppl. : $TPS = \max(TP_{CI3} - 10, 0)$

- TP total = $TPI + TPCI + TPS + QCM$ (max 120)



Modalités de Contrôle

- Contrôle continu : fin
 - La présence en cours et aux TP peut rapporter des points supplémentaires
 - ▶ Note de présence : 20 max
 - ▶ Bonus sur le total de CC : Pres-10
 - $CC = (TP \text{ total} + (Pres - 10))/6$
- Contrôle final: examen 3H.
- Note = $0,5 \times \text{Contrôle Continu} + 0,5 \text{ Contrôle final}$



Contrôle continu : Présence

- Après l'introduction : 10 cours (et 10 TP)
- Feuilles de présence à signer en cours
 - Une absence = 1 signature manquante
- 20 présences => 20/20
- 1 absence : => 19
- 2 absences : => 17
- 3 absences : => 15
- 4 absences : => 12
- Au delà de 4 absences => moins de 10 et donc pas de bonus



Une présence complète peut donc rapporter :

$(10 / 6) \times 0,5$ soit 0,83 point de moyenne

Tous ensemble

- Pour les TP : (proposition expérimentale)
 - Définition de groupes de 8 étudiant(e)s ou plus
 - Si tous les étudiant(e)s ont 10 ou plus
 - ▶ Toutes les notes du groupe sont augmentées de 0,5
 - Si tous les étudiant(e)s ont 12 ou plus
 - ▶ Toutes les notes du groupe sont augmentées de 1
- Ceci étant expérimental, cela peut-être prolongé ou arrêté selon ma seule décision.

Plan Général (indicatif)

- Introduction
- Distributions Linux pour systèmes embarqués
- Noyaux, Micro-Noyaux, OS Embarqués
 - Linux, Chorus, eCos...
- Gestion Mémoire
- Temps, Timers, Ordonnancement
- Virtualisation pour systèmes embarqués
 - (si on a le temps)

Références / Ressources

- Linux embarqué; Pierre Fichoux, Ed. Eyrolles
<http://www.eyrolles.com/Informatique/Livre/linux-embarque-9782212134827>
- Real-Time Concepts for Embedded Systems; Qing Li and Carolyn Yao
- Bienvenue dans l'univers des systèmes embarqués
<http://kadionik.vvv.enseirb-matmeca.fr/>
- Embedded System Design: A Unified Hardware/Software Introduction
 - Frank Vahid and Tony Givargis; Ed John Wiley & Sons
<http://esd.cs.ucr.edu/>
- Et pleins d'autres que vous ne manquerez pas de découvrir.

Quelques stages

- Ijenko (2015)
 - « Box » Gestion intelligente énergie
 - ▶ Portage noyau Linux récent
- Hxperience (2015)
 - Internet of Things, smart buildings
- CGI (2015)
 - Démonstration réseau de capteurs / senseurs
- Smile (2017)
 - Librairie graphique pour UEFI
- Soletanche (2017)
 - Monitoring de foreuse

Introduction: Plan

- Généralités
- Caractéristiques
- Domaines d'application
- Choix de conception
- Environnement logiciels embarqués

Tentative de définition

- Système embarqué: *(embedded systems)*
 - Un système de traitement de l'information inclus dans un produit plus "large", dont la fonction essentielle n'est pas le traitement de l'information
- La raison qui motive l'achat d'un *[produit contenant un]* système embarqué n'est pas le traitement de l'information
- Il arrive que l'on parle de systèmes enfouis

MIDDLEWARE INVASION

Le middleware est partout. Vous voyez ?

5

2

4

3

1

IBM

DB2	Légendes
	1. Visite virtuelle de la destination touristique.
	2. Réservation du vol sur une compagnie partenaire.
	3. Offre simultanée de services annexes.
	4. Analyse dynamique des horaires.
	5. Décollage immédiat du chiffre d'affaires.

LE MIDDLEWARE, L'OFFRE LOGICIELLE D'IBM.
Les solutions de gestion de l'information DB2, associées aux systèmes de gestion de bases de données DB2 et Informix, sont parmi les plus complètes du marché. Fondées sur des standards ouverts, elles permettent l'accès à des contenus hétérogènes. On Demand. Ces solutions intègrent l'information, dopent la productivité et restent faciles à gérer. Vous avez ainsi toutes les cartes en main pour prendre vos décisions.

Le middleware pour le monde du business On Demand™. Visitez ibm.com/db2/infomgmt/fr **ON DEMAND BUSINESS**

*Logiciels d'infrastructure. **À la demande. IBM, le logo IBM, le logo ON DEMAND BUSINESS, DB2 et Informix sont des marques d'International Business Machines Corporation aux États-Unis, dans d'autres pays ou les deux. Les autres noms de sociétés, de produits et de services peuvent appartenir à des tiers. © 2005 IBM Corporation. Tous droits réservés.

Et celle des systèmes embarqués?



2 Millions de
systèmes
embarqués
ici?



Exercice 1

- Nommer au moins 10 systèmes embarqués

Ils sont partout!

- En 2004
 - marché des systèmes embarqués est devenu supérieur au marché des clients/ serveurs et PC
- En 1996
 - Selon le New-York Times, l'américain moyen était en "contact" avec 60 processeurs / jour
- En 2004
 - On estimait ce nombre à 100!

Ils sont polymorphes



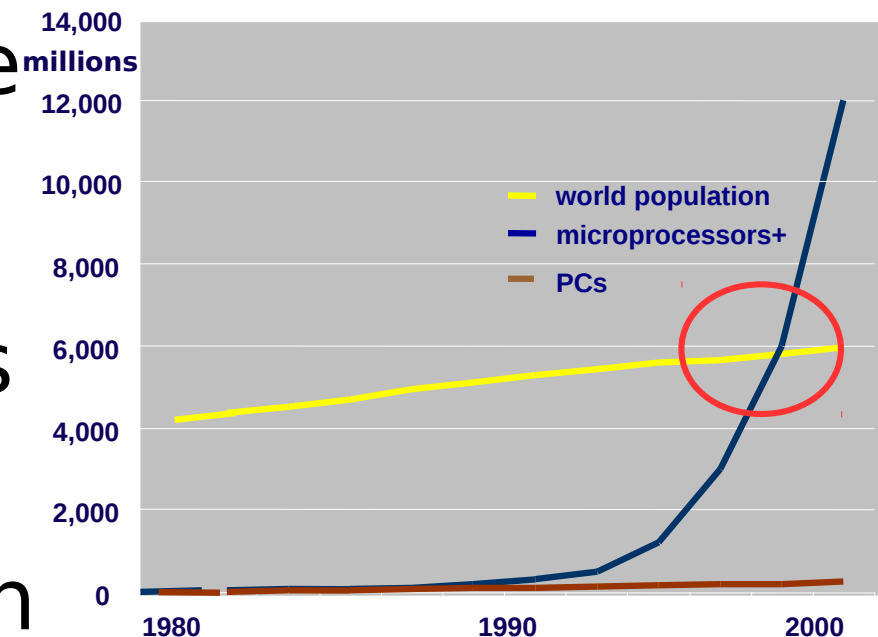
Tentative de définition

Rappel

- Système embarqué: *(embedded systems)*
 - Un système de traitement de l'information inclus dans un produit plus "large", dont la fonction essentielle n'est pas le traitement de l'information
- La raison qui motive l'achat d'un *[produit contenant un]* système embarqué n'est pas le traitement de l'information
- Il arrive que l'on parle de systèmes enfouis

Ils vont croître et prospérer

- Le nombre de "systèmes embarqués" devrait atteindre 16 milliards en 2010
- L'électronique interviendra pour 40 % de la valeur d'une automobile en 2010
- Un téléphone haut de gamme (smart phone) peut contenir des millions de lignes de code
- Croissance > 10% /an



S'immiscer partout

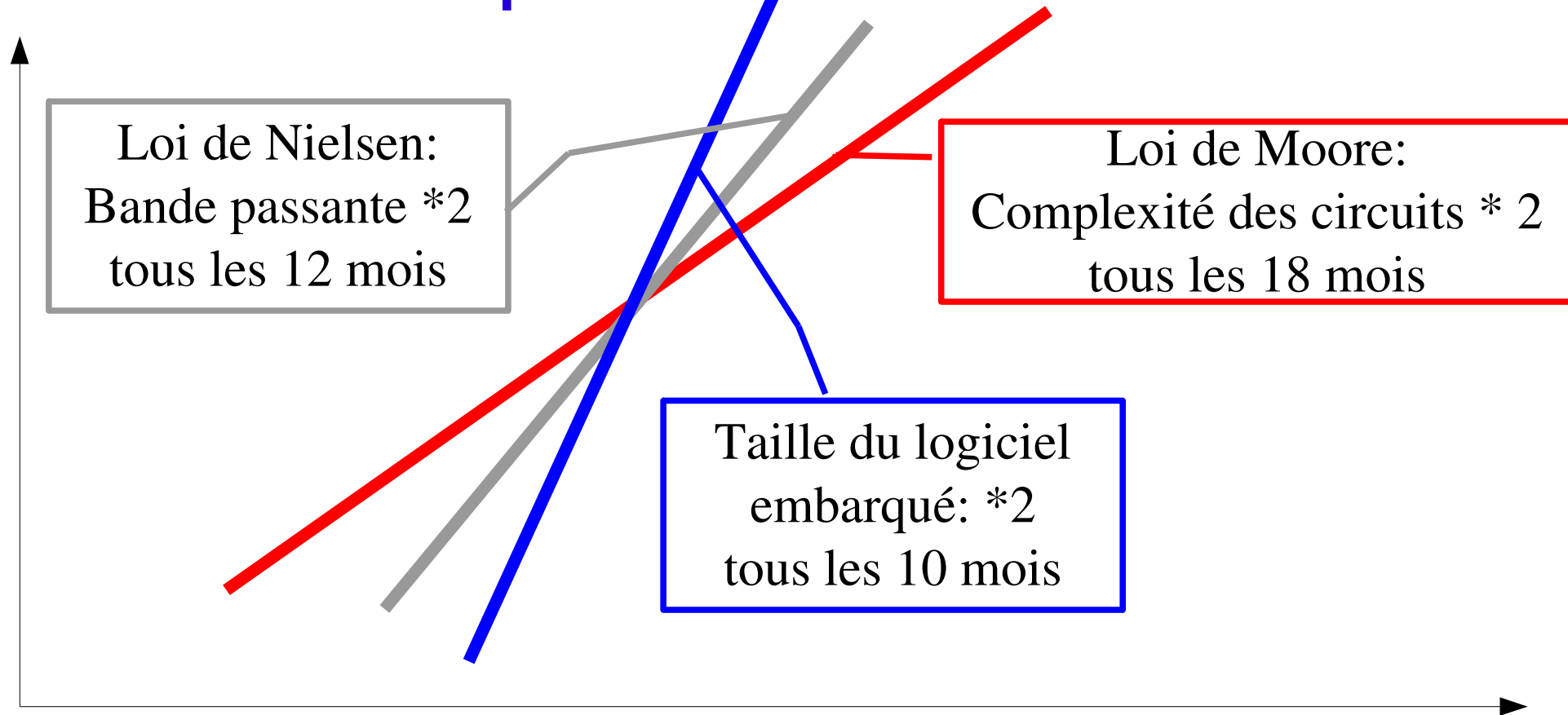
- « Intelligence Ambiante »
 - Des capteurs (forcément intelligents)
 - ▶ consommation μW , performance KB/s
 - **Connectés** via des Concentrateurs sans fil
 - ▶ consommation mW, performance MB/s
 - A des serveurs réseau fixes
 - ▶ consommation W, performance GB/s

Problèmes

As long as there were no machines,
programming was no problem at all;
when we had a few weak computers,
programming became a mild problem,
and now that we have gigantic
computers,
programming has become a gigantic
problem.

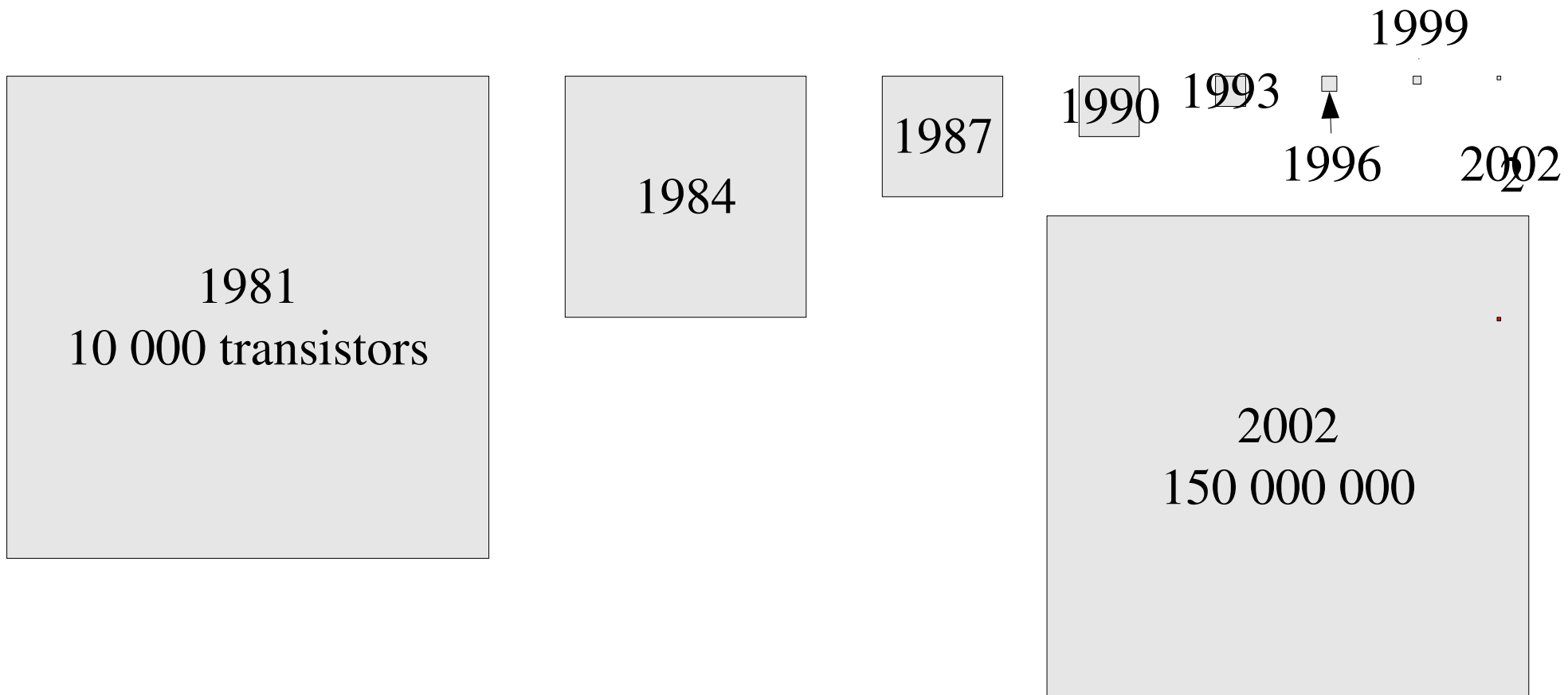
—Edsger W. Dijkstra,
ACM Transactions on Programming Languages and Systems, 1972 (1)

Systemes embarqués: problèmes



- Selon les sources, les taux changent (sauf loi de Moore), mais le principe reste le même

Loi de Moore



- Doublement tous les 18 mois

Évolution

- Vitesse du processeur: doublement tous les ans depuis 85,
 - x 100 sur derniers dix ans
 - Mais c'est fini! => nombre de coeurs!
- Capacité mémoire: doublement tous les 2 ans depuis 96,
 - x 64 sur derniers dix ans
- Capacité disque: doublement tous les ans depuis 97
 - x 250 sur derniers dix ans

Loi de Moore: rupture

- A [récemment] changé de forme
- Au lieu de conduire à une augmentation de la fréquence des horloges, elle conduit maintenant à une augmentation des « cœurs » sur une puce.
- Processeurs multi-cœurs
 - Problèmes de parallélisme.. systèmes SMP...
- Fréquence limitée, consommation réduite

Introduction: Plan

- Généralités
- **Caractéristiques**
- Domaines d'application
- Choix de conception
- Environnement Logiciels embarqués

Caractéristiques systèmes embarqués

- Pouvoir "en dépendre"
 - **Fiabilité**: probabilité que le système fonctionne correctement à t , s'il fonctionnait à $t=0$
 - **Maintenance**: probabilité que le système fonctionne correctement Δt après une erreur
 - **Sûreté**: Pas de conséquence dramatique
 - **Sécurité**: communication authentifiée et confidentielle

Caractéristiques systèmes embarqués

- "Dépendabilité"
 - Définition(s)
 - ▶ Voir le document « laprie_taxonomy.pdf » sur le site du cours.
 - Basée sur des hypothèses de charge
 - Doit être considérée dès le début, pas après coup

Caractéristiques systèmes embarqués

- Doit être efficace:
 - Consommation énergétique
 - Taille de code
 - Réactif
 - Léger
 - Pas cher
- Dédié (exclusivement à un domaine applicatif)
- Interface de communication spécifique

Caractéristiques systèmes embarqués

- Contraintes temporelles (temps-réel)
 - Un système temps-réel doit réagir aux stimuli de son environnement dans un délai temporel imposé par l'environnement, l'application
 - ▶ Ex: système de freinage, Contrôle automatique, procédés industriels...
 - Pour un système temps-réel, il ne suffit pas de fournir des résultats corrects, il faut aussi les fournir en temps et en heure.
 - ▶ Résultats corrects au sens temporel
 - ▶ Des résultats corrects mais tardifs sont faux.

Caractéristiques: Contraintes temps-réel

- Dures (Hard real-time)
 - Une contrainte est dite "dure", si son non respect résulterait en une catastrophe (Kopetz 1997)
- Lâches (Soft real-time)
 - Toutes les autres contraintes temporelles

Exercice 2

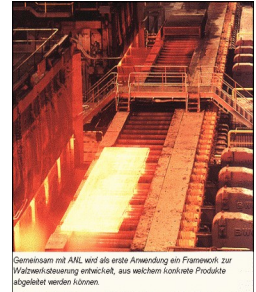
- Un décodeur de télévision est-il temps-réel?
- Un robot sur une chaîne de montage automobile est-il temps-réel?
- La déclaration des revenus sur Internet est-elle temps-réel?
- Un jeu vidéo est-il temps-réel?
- Une application de réservation de billets d'avion est-elle temps-réel?
- Un téléphone mobile est-il temps-réel?

Caractéristiques: Contraintes temps-réel

- Dures (Hard real-time)
 - Une contrainte est dite "dure", si son non respect résulterait en une catastrophe (Kopetz 1997)
 - Ex: Freinage train, Contrôle centrale nucléaire...
 - Temps de réponse garanti, pas de mesure statistiques!
- Lâches (Soft real-time)
 - Toutes les autres contraintes temporelles
 - Ex: systèmes téléphoniques, multimédia...

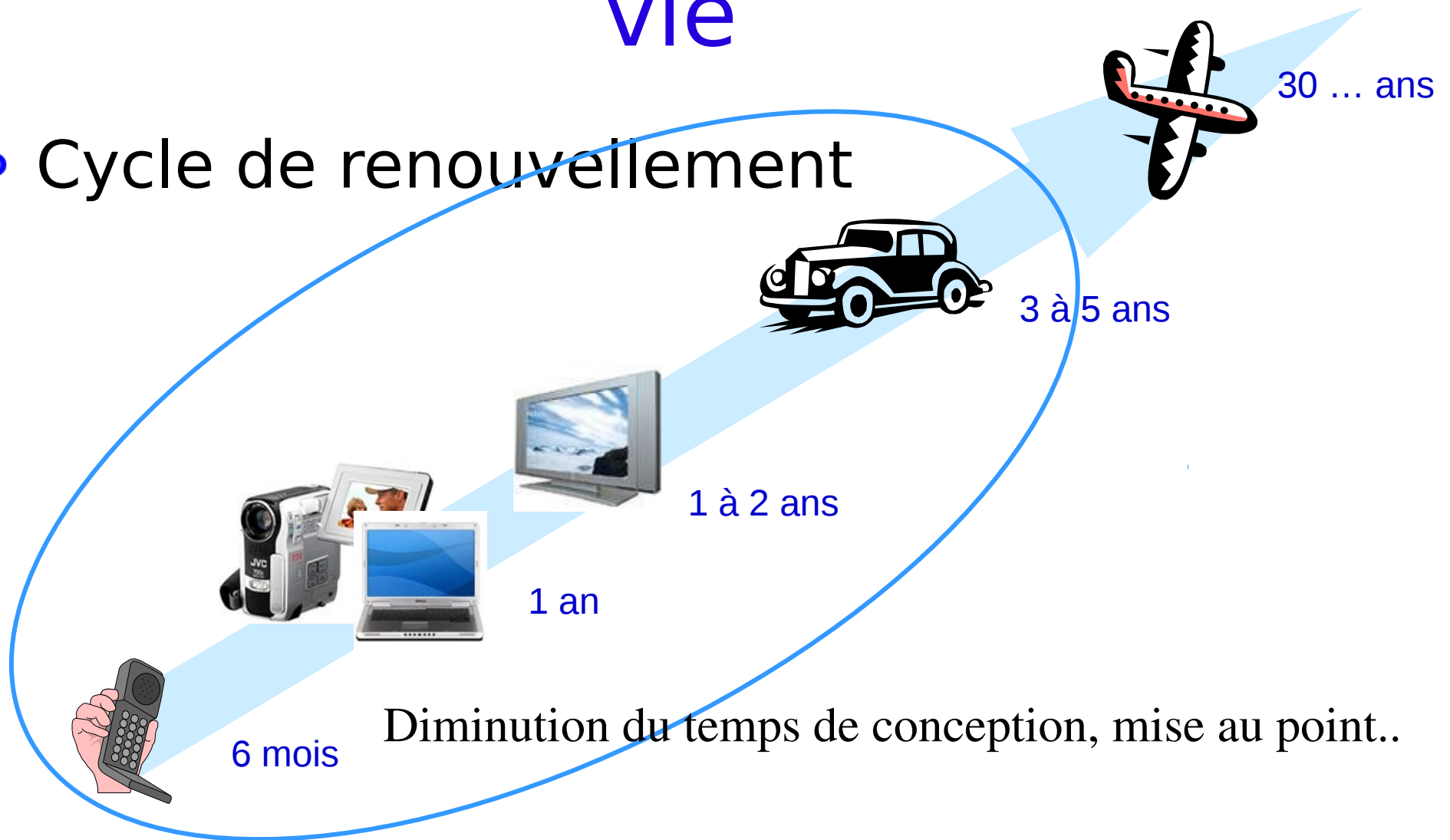
Caractéristiques: Environnement

- Possiblement "immergés" dans des environnements physiques "hostiles"
- Fréquemment couplés à l'environnement physique via des capteurs et des "actionneurs"
- Systèmes hybrides: numériques et analogiques
- Systèmes réactifs:
 - ▶ interaction continue à un rythme déterminé par l'environnement
 - ▶ Comportement basé sur état et stimuli
 - ▶ Modèle "automate" approprié



Caractéristiques: temps de vie

- Cycle de renouvellement



Source: Françoise Simonot-Lion

Introduction: Plan

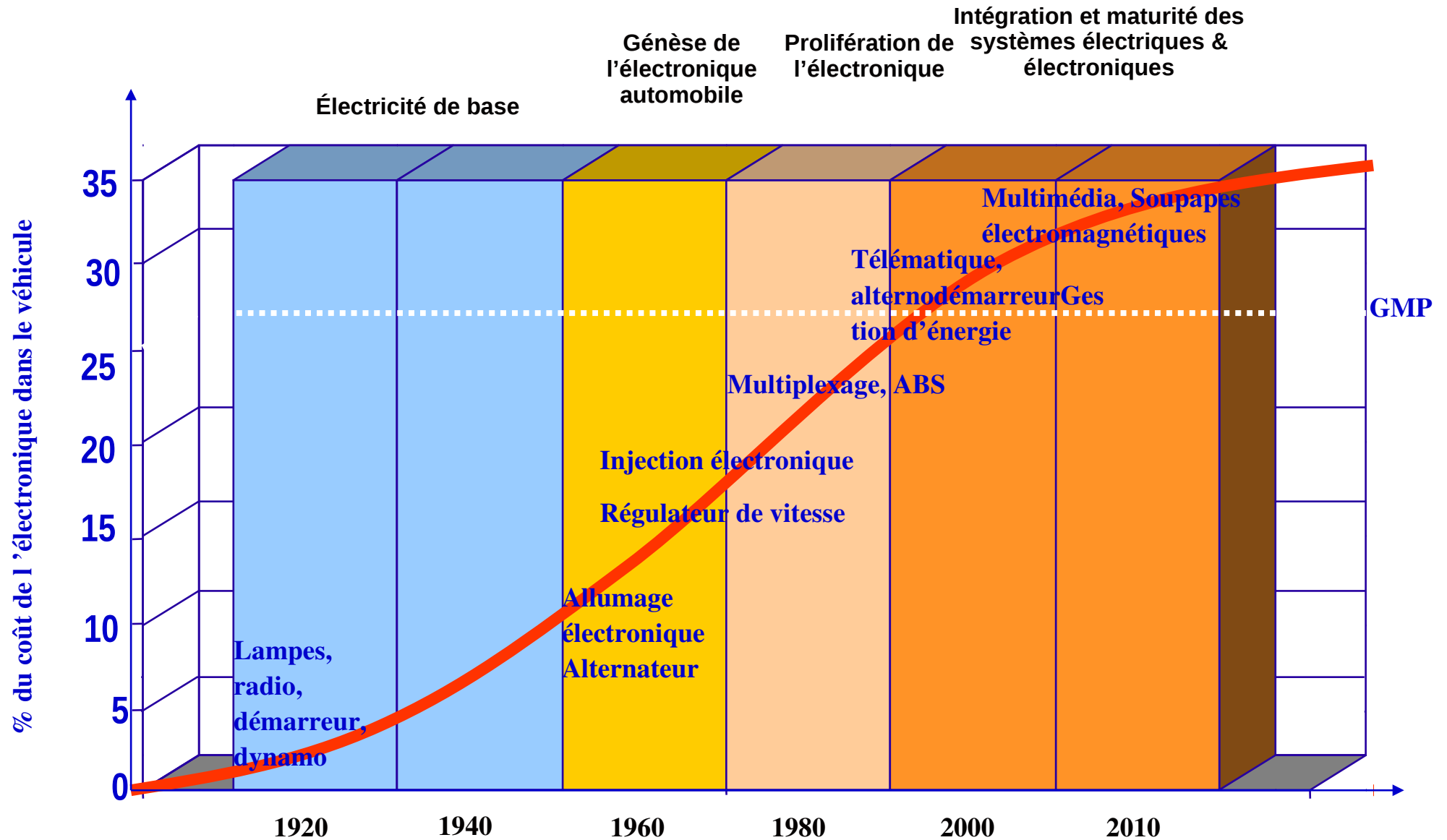
- Généralités
- Caractéristiques
- Domaines d'application
- Choix de conception
- Environnement Logiciels embarqués

Domaines d'applications

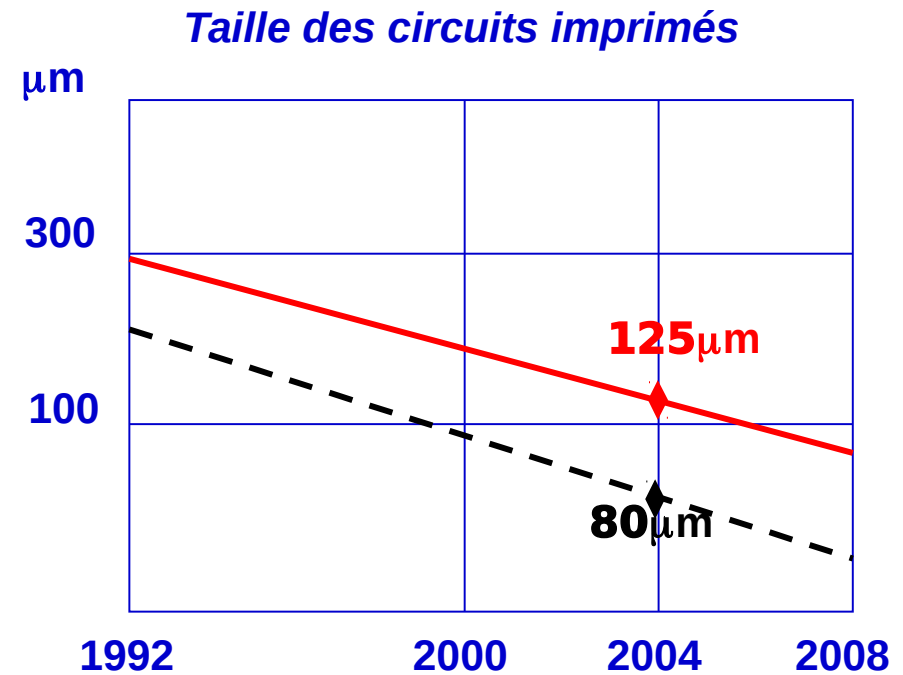
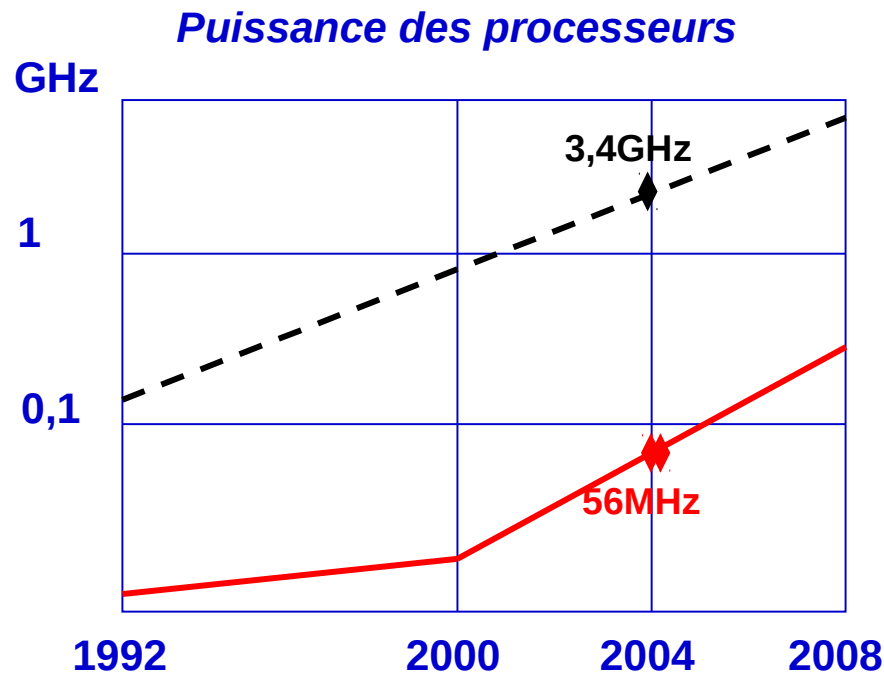
- Automobile
 - de 20 à 80 processeurs, (BMW > 100!!)
 - 2 Mo de code dans la 607
 - 90% de la R&D chez DC
 - Châssis, Moteur,
 - Corps de voiture (lumière, essuie-glace...),
 - "Télématique"
 - Réalité augmentée ? Voiture autonome ?...
 - Les acteurs de l'électronique captent la valeur (article)

Automobile: Evolution

Extrait de la présentation de Joseph Beretta / PSA - 16 et 17 Juin 2003 – <http://www.systemes-critiques.org/SECCI/>



Automobile: composants



--- Composants électroniques

— Composants électroniques
dans l'automobile

Source: <http://www.loria.fr/~simonot/ENSEM/ENSEM-Intro-SystEmbarques-0506.ppt>

Françoise Simonot-Lion

FA-P7-Info Emb.

Domaines d'applications

- Aviation, Transport ferroviaire
- Télécommunication
- Systèmes médicaux
- Militaires
- Authentification
- Électronique domestique
- Procédés industriels
- Immeubles intelligents

Domaines d'applications

- Électronique domestique
- Procédés industriels
- Immeubles intelligents
- Robotique

Introduction: Plan

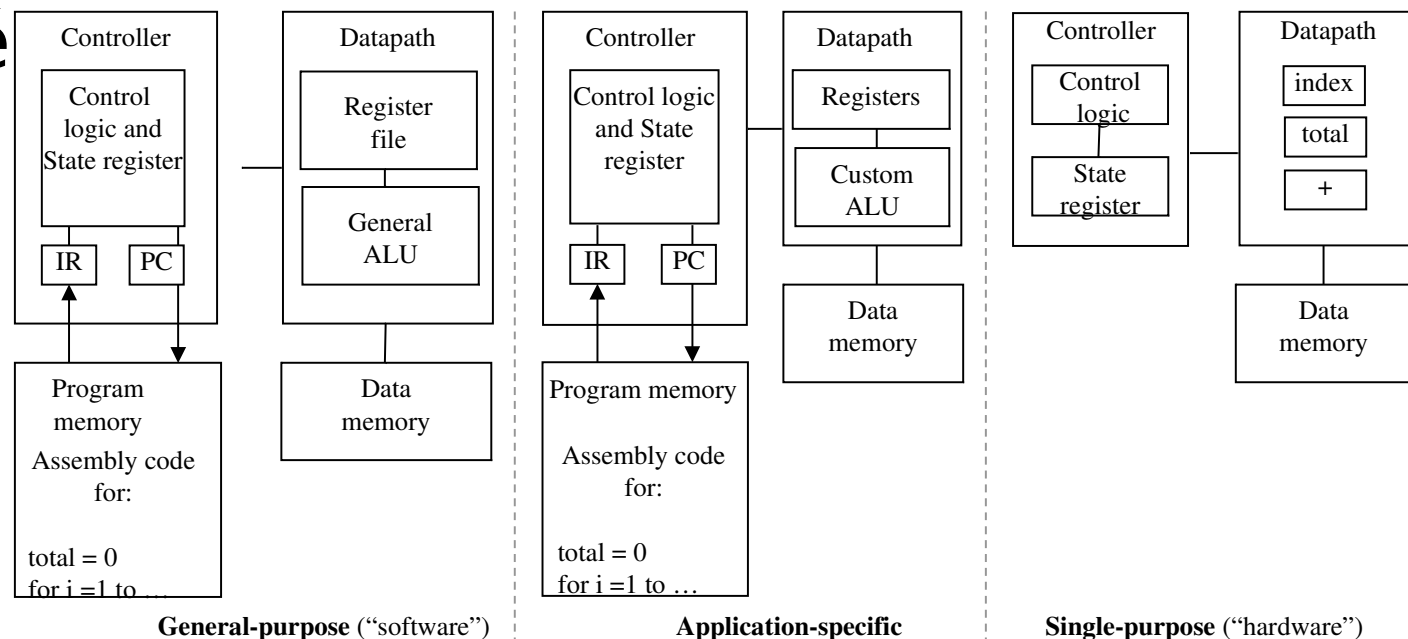
- Généralités
- Caractéristiques
- Domaines d'application
- **Choix de conception**
- Environnement Logiciels embarqués

Choix de conceptions

- Processeurs généralistes, spécialisés ou dédiés
- Si Processeurs spécialisés ou dédiés,
 - Choix de réalisation du circuit

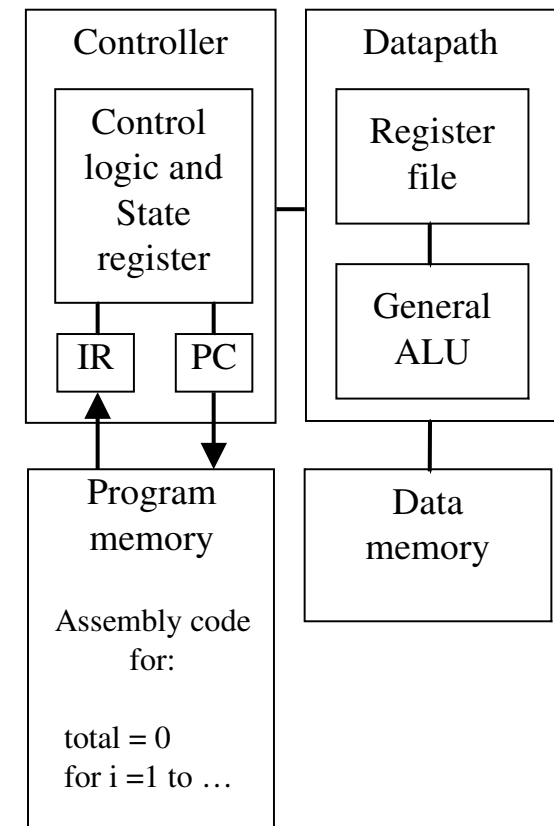
Choix de processeur

- Plusieurs possibilités pour fournir un service
 - processeur généraliste
 - Spécifique pour application
 - Dédié



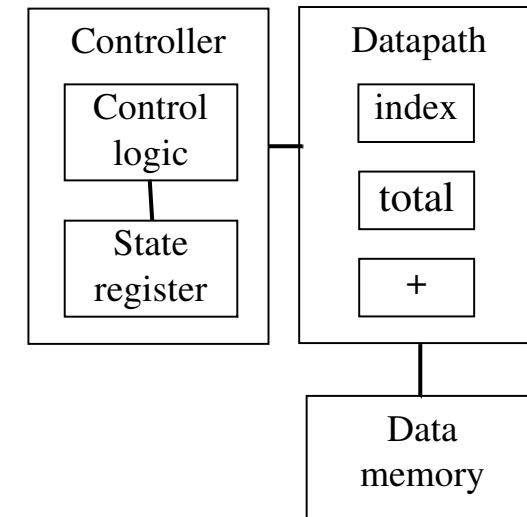
Processeurs généralistes

- Microprocesseurs programmables
- Fonctions:
 - Mémoire programmable
 - Chemin de données avec banc de registres et ALU généraliste
- Bénéfices
 - Mise sur le marché rapide, faibles coûts de développements
 - Très flexible
- Pentium, ARM, MiPS, PPC, SH...



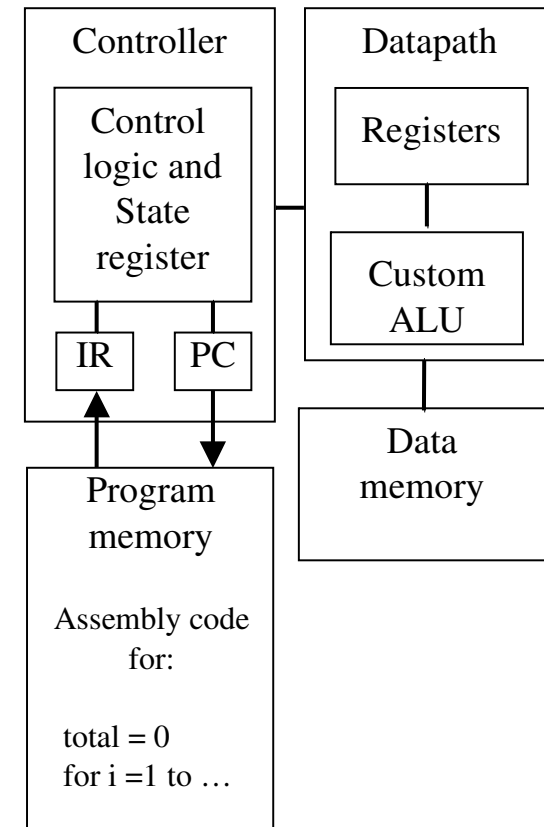
Processeurs dédiés

- Circuit conçu pour exécuter UN programme unique:
 - coprocesseur, accélérateur, périphérique...
- Fonctions:
 - Pas de mémoire programmable
 - Contient les seuls composants nécessaires pour exécuter ce programme
- Bénéfices
 - Rapide
 - Faible encombrement, petite taille
 - Faible consommation



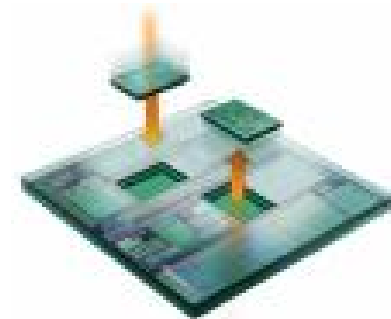
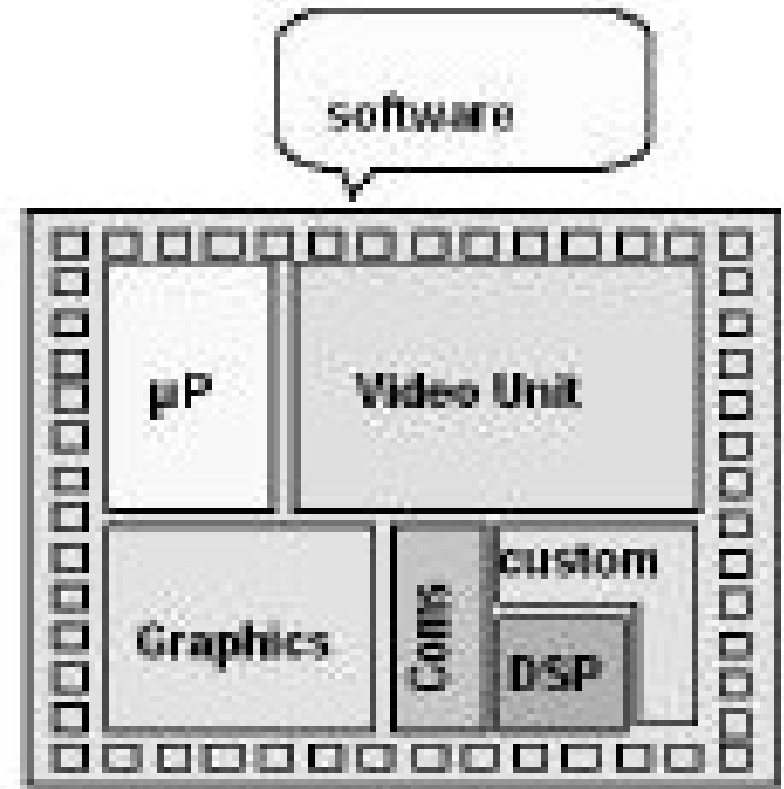
Processeurs Spécifiques Application

- Processeurs programmables optimisés pour une classe d'applications ayant des caractéristiques communes
 - Compromis entre les 2 "extrêmes" précédents
- Fonctions:
 - Mémoire programmable
 - Chemin de données optimisés
 - Unités fonctionnelles (ALU) spécialisées
- Bénéfices
 - Relativement flexible
 - Bonnes performances, tailles, mise sur le marché



SoC

- Conception des SoC
 - par réutilisation de "blocs"
 - ▶ "blocs d'IP"
 - ▶ type boîte noire
 - permet de raccourcir la conception du système
 - Vérification système et non plus portes logiques
- Importance croissante du logiciel



Introduction: Plan

- Généralités
- Caractéristiques
- Domaines d'application
- Choix de conception
- Environnement Logiciels embarqués

Logiciel Embarqué

- 70% du coût de développement de systèmes complexes électroniques est du au développement du logiciel
 - [A. Sangiovanni-Vincentelli, 1999]
- Dans de nombreux produits électroniques grand-public, le volume de logiciel double tous les 2 ans

Quelques Problèmes

- Le problème de l'homme mois...
- Comment décrire le comportement attendu de systèmes complexes?
- Comment valider des spécifications?
- Comment passer efficacement des spécifications à la réalisation?
- Les programmeurs se soucient-ils jamais de la consommation électrique?

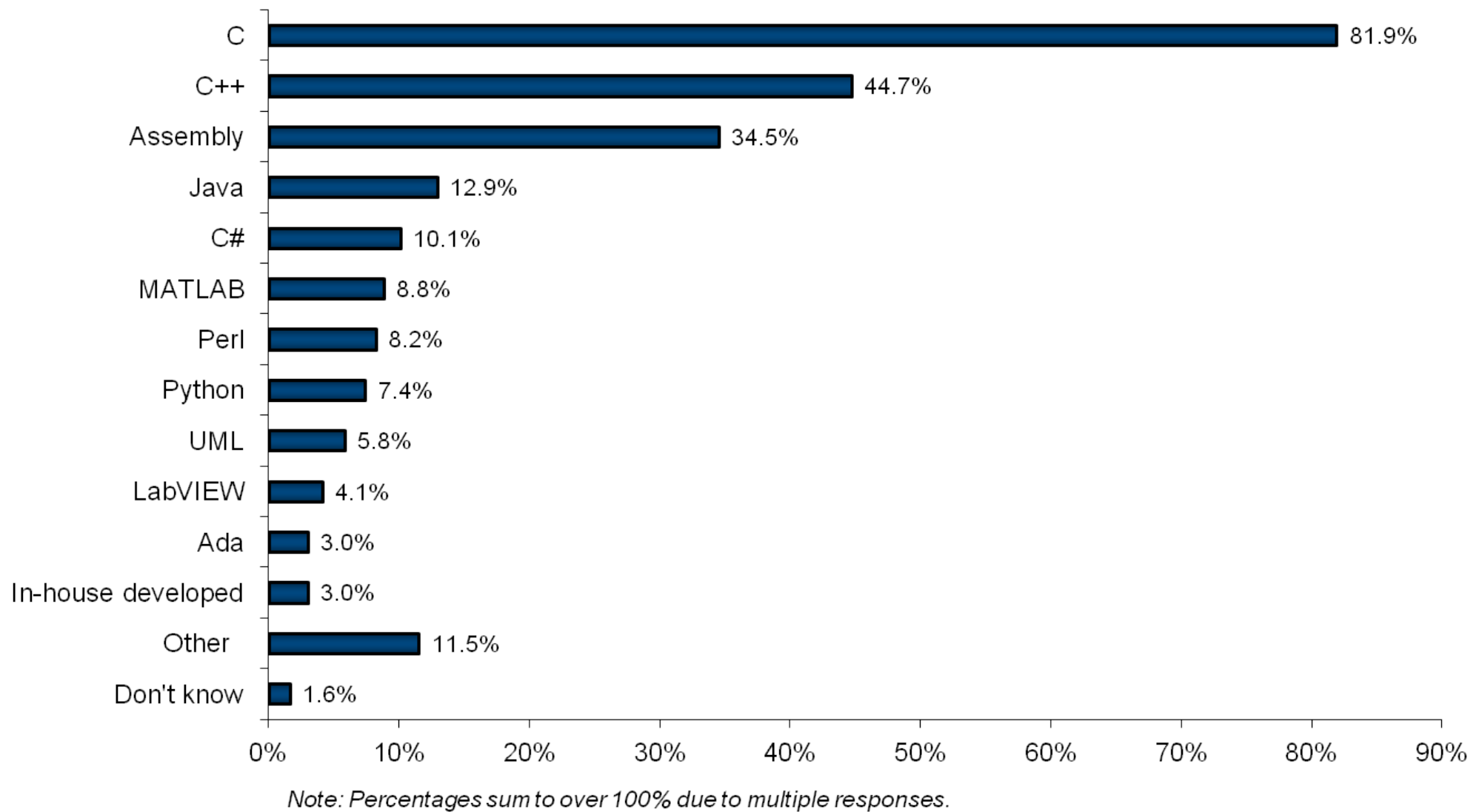
Problèmes

- Comment s'assurer que les contraintes temporelles sont respectées?
- Quels langages de programmation sont-ils appropriés?
- Comment valide-t-on des systèmes embarqués temps-réel:
 - Grands volumes de données,
 - Systèmes critiques
 - ▶ Ex: Ariane, Mars PathFinder, plus "prosaïquement" systèmes médicaux, systèmes de transport...

Logiciel Embarqué

- Par la suite, on s'intéressera essentiellement aux problèmes liés aux logiciels embarqués
 - Architecture matérielle dans l'embarqué
 - Développement de logiciel pour l'embarqué
 - Noyaux pour l'embarqué et le temps-réel
- Dans les systèmes embarqués le langage C/C++ est prédominant
- http://blog.vdcresearch.com/embedded_sw/2010/09/what-languages-do-you-use-to-develop-software.html
- <http://www.tiobe.com/index.php/content/paperinfo/tpci/index.html>

Langages utilisés



VDC survey 2010, voir le lien page précédente.

Acteurs et Environnement

- Quelques fournisseurs de processeurs
 - ARM, Intel, MiPS, Freescale
 - IBM/Sony Cell
 - Texas Instrument
 - Fabricants de cartes à puces
- Fournisseurs de cartes et périphériques...

Acteurs et Environnement

- Quelques Noyaux
 - VxWorks, Nucleus, PsoS, VRTX, OSE
 - QNX, [*Chorus/C5*,] L4
 - ThreadX, eCOS
 - Linux , μ Linux, MontaVista Linux, Lynux
 - Itron, WindowsCE, Symbian OS, PalmOS,
 - Osek
 - Beaucoup plus encore de systèmes "propriétaires"!

Autres logiciels

- Pilotes de périphériques,
- Interfaces graphiques
- Protocoles réseaux
- Java embarqué J2ME, JavaCard
- Codecs
- Systèmes de gestion de fichiers
- Bases de données...

Organisation/Consortiums

- Embedded Linux Specification (The Linux Foundation)
 - *(historique)*
- Consumer Electronics Linux Forum
 - <http://www.celinuxforum.org/>
- Open Group Real-Time
 - <http://www.opengroup.org/rtforum/>
- Plus spécifiques:
 - Communications (USB,...)
 - PICMG <http://www.picmg.org/>

Ce qu'il faut retenir

- Définition système embarqué
- Définition système temps-réel
- Diversité des applications et des contraintes
- Sur le plan personnel, il vous est demandé un travail important pour les TP et le contrôle continu