

# Les systèmes embarqués

## introduction

heig-**vd**

Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion  
du Canton de Vaud

**ReDS**

Etienne Messerli

Le 7 février 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License

## Définition Systèmes embarqués

- Un système embarqué est défini comme un système électronique et informatique autonome, souvent temps réel, spécialisé dans une tâche bien précise. Ses ressources sont généralement limitées.

source: [http://fr.wikipedia.org/wiki/Système\\_embarqué](http://fr.wikipedia.org/wiki/Système_embarqué)

- Le système comprend une partie matériel et une partie logicielle

# Spécificités d'un système embarqué ...

---

## Caractéristiques générales:

- Dédié à une application spécifique
- Coût réduit, maximisation rapport performance/prix
- Volume restreint (compact, pas modulaire)
- Capacité mémoire adaptée
- Capacité de calcul appropriée à l'application
- Exécution temps réel (souvent)
- Fiabilité et sécurité de fonctionnement
- Consommation d'énergie maîtrisée
  - voir très faible en cas d'utilisation sur batterie
- ...

# ... spécificités d'un système embarqué ...

---

## Différences avec un ordinateur de bureau :

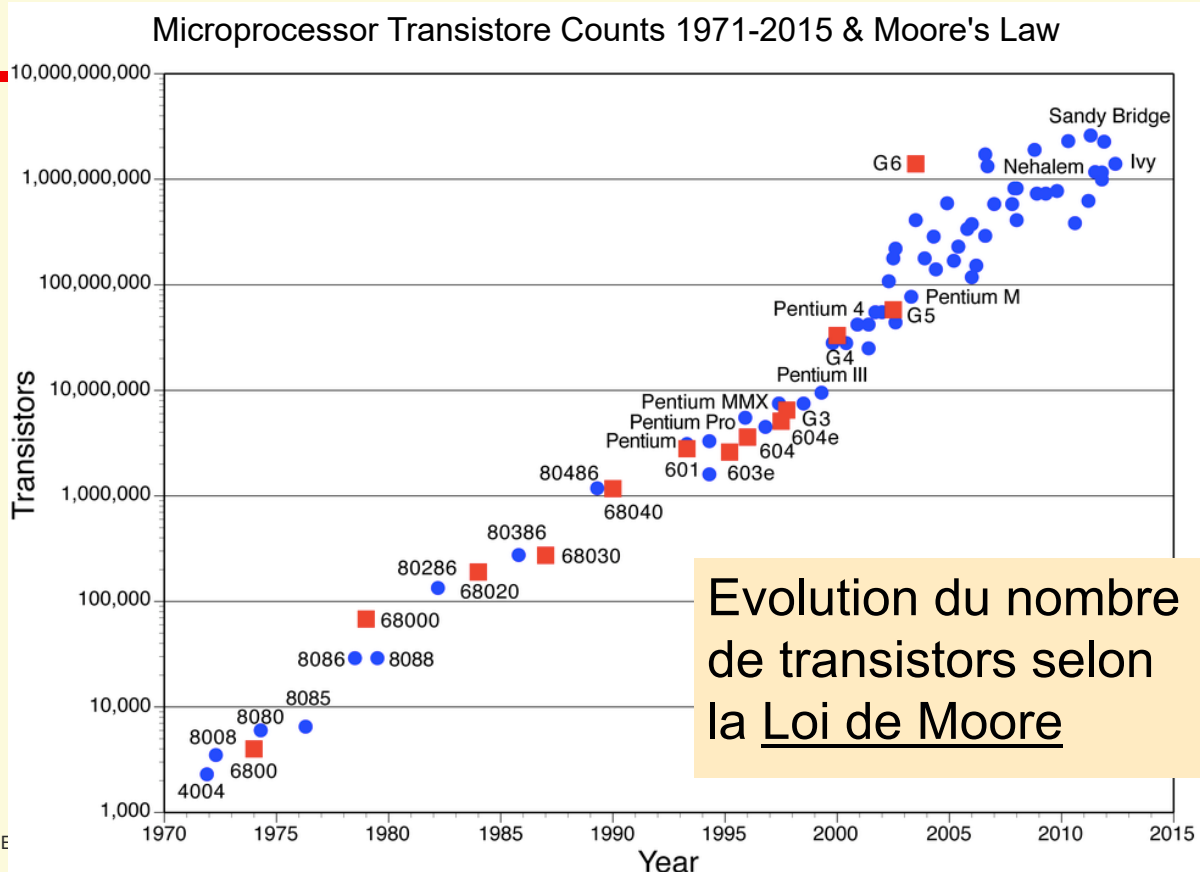
- L'interface IHM (Interface Homme machine) est adaptée selon l'application. Cela peut-être de simples leds et boutons jusqu'à un écran tactile. Il doit être robuste (étanche, choc, ..).
- Généralement: pas de clavier, écran réduit.
- Le système embarqué dispose de périphériques et capteurs spécifiques pour son application:
  - Carte SD, mémoire flash, ...
  - Wifi, Bluetooth, module GSM-GPS, ...
  - Température, pression, actuateurs (moteurs, ...), ...

# ... spécificités d'un système embarqué

## Architecture d'un système embarqué :

- Réalisé autour d'un micro-contrôleur (uC)
  - uC est un système à processeur dans un seul chip (SoC)
  - comprend: processeur, mémoire, GPIO (entrées/sorties simples configurables), contrôleur de bus, contrôleur d'interruption, contrôleur d'écran, USB, Ethernet, ...
  - très bon rapport performance/prix et performance/consom.
- Ensemble compact (volume optimisé)
- Démarrage autonome du système (boot)
  - pas de disque dur, utilisation de mémoire flash, ...
- Généralement pas d'extension possible
  - construction non modulaire

## Evolution des système embarqués



# Evolution des processeurs

Date	Description	Transistors
1971	Intel 4004, CPU 4 bits, 108 KHz Adressage 640 Bytes, 0.06 Mips	2'300 10 µm
1979	Motorola 68000, CPU 32 bits, 8 MHz Adressage 16 MB, 0.7 Mips	68'000 3.5 µm
1990	Motorola 68040, CPU 32 bits, 50MHz, Adressage 4 GB, MMU, FPU, 44Mips	1.2 million 0.8 µm
1999	Pentium III, CPU 32 bits, 500MHz Adressage 4 GB, MMU, L1 cache 16KB	9.5 million 0.25 µm
2005	Pentium D, CPU 64 bits, Dual cores, 2.8GHz	290 million 0.09 µm
2015	Core i7 (Skylake 6700K), CPU 64 bits, 4 cores, 4GHz	1'750 million 0.014 µm



E. Messerli (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2018

Systèmes embarqués intro, p 7 **reDS**

# Evolution des processeurs ARM

Processor	Architecture	features
ARM7TDMI	ARMv4T	
ARM920	ARMv4T	MMU
ARM926EJ-S	ARMv5E	MMU, DSP, Jazelle
ARM11 MPCore	ARMv6	MPCore, MMU, DSP, Jazelle
Cortex-M1	ARMv6-M	Intégration dans FPGA
Cortex-M3	ARMv7-M	MPU (MMU), NVIC
Cortex-A8	ARMv7-A	MMU, DSP, Jazelle, NEON + floating
ARM Cortex-A9	ARMv7-A	MPCore, MMU, DSP, Jazelle, NEON + floating

MMU: Memory management unit  
MPCore: multiprocessor core  
Jazelle: hardware Java Virtual Machine  
NVIC: Nested Vectored Interrupt Controller

E. Messerli (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2018

Systèmes embarqués intro, p 8 **reDS**

# Evolution des processeurs

Liste de sites:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Microprocessor>

<http://www.buzzle.com/articles/computer-history/>

<http://www.buzzle.com/articles/history-of-microprocessor.html>

<http://www.buzzle.com/articles/history-of-computer-processors.html>

<http://www.chips.5u.com/idxhst.html>

<http://histoire.info.online.fr/>

## Historique d'un système embarqué ...

Date	Description
1975	PTT crée un réseau de téléphonie mobile pour les véhicules Natel = <b>N</b> ationales <b>A</b> utotele <b>f</b> onnetz (ou réseau téléphonique automobile national)
1978	Mise en service du premier réseau partiel Natel A, analogique, 160 MHz




## ... historique d'un système embarqué ...

Date	Description	
1980	Mise en service du réseau mobile Natel B, avec des téléphones portables de 12 kilos. (analogique, 160 MHz)	
1987	Natel C, analogique, 900 MHz	 

<http://www.rts.ch/archives/tv/information/abe/3451359-le-natel-c.html>

## ... historique d'un système embarqué ...

Date	Description	
1983	Motorola fait certifier son téléphone portable Dynatac 8000x par la commission américaine des communications. \$ 4'000.-, env 1 kg	
1987	Standard Européen GSM 900 (bande 880 à 960 MHz) <i>Global System for Mobile communications</i> transmission numérique cryptée (USA, ... norme GSM 850 et 1900)	
1991	Première communication expérimentale GSM 900 en Europe Ajout de la bande 1800 (1'710 à 1'880 MHz) Possibilité d'envoyer dès lors des SMS (160 char)	
1993	Mise en service du Natel D qui adopte un système de transmission numérique (GSM 900) et une carte SIM (identification de l'utilisateur)	
1996	Mise en service du Natel E qui adopte la bande GSM 1800	
...	Le GSM étant compatible Europe, disparition des spécificités Suisse	
1998	Nouveau protocole GPRS (General Packet Radio Service)	

# ... historique d'un système embarqué ...

## Evolutions des téléphones GSM



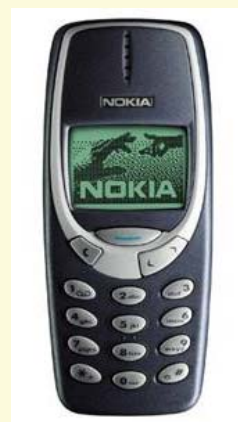
Alcatel HA  
1991



Bi-Bop,  
1994



Motorola  
StarTac 1997



Nokia 3310  
2000

# ... historique d'un système embarqué ...

- Nokia 3210, 1999
  - Nouvelles fonctions alors exclusives
    - antenne intégrée
    - dictionnaire d'écriture intuitive
  - 160 millions d'exemplaires vendu
  - 1<sup>er</sup> téléphones mobiles à conquérir les jeunes par son prix attractif et ses jeux!



# ... historique d'un système embarqué ...

Photos de téléphones GSM



Sony Ericsson T610  
2003



Samsung Galaxy  
S4 GT-I9295, 2013



Samsung Galaxy I9205, 2013

# ... historique d'un système embarqué ...

Exemples de "Smart phone" récents (2016).

Est-ce que la fonction principale est de téléphoner?



HCT One A9

Ecran haute résolution  
5-inch 1080 x 1920

Mémoire importante  
RAM 3 GB  
64-128 GB

Caméra haute qualité  
16 Mpixel



Samsung Galaxy S6



# ... historique d'un système embarqué ...

---

- **Références internet historique du Natel:**

- <http://fr.wikipedia.org/wiki/Natel>
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/Global\\_System\\_for\\_Mobile\\_Communications](http://fr.wikipedia.org/wiki/Global_System_for_Mobile_Communications)
- <http://www.swisscom.ch/fr/ghq/portrait/histoire.html>
- [http://www.swissinfo.ch/fre/culture/sortir/Le\\_mobile,\\_cet\\_incontournable\\_compagnon.html?cid=28987344](http://www.swissinfo.ch/fre/culture/sortir/Le_mobile,_cet_incontournable_compagnon.html?cid=28987344)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Motorola\\_DynaTAC](https://en.wikipedia.org/wiki/Motorola_DynaTAC)
- [http://www.letemps.ch/Page/Uuid/ca4dd64a-8436-11e2-ab5c-93fad3b5d0a7#.Ufjc\\_W1SbK0](http://www.letemps.ch/Page/Uuid/ca4dd64a-8436-11e2-ab5c-93fad3b5d0a7#.Ufjc_W1SbK0)
- <http://www.rts.ch/info/sciences-tech/4678312-le-monde-au-bout-des-doigts-les-30-ans-du-telephone-mobile.html>

- **Emission de la TSR:**

- <http://www.rts.ch/archives/tv/information/abe/3451359-le-natel-c.html>
- <http://www.rts.ch/archives/tv/information/tj-midi/3451358-le-nouveau-natel-d.html>

dia laissé vide volontairement

---

# Défi des système embarqués

## The twilight of Moore's Law: IO Bandwidth



**Memory wall:** larger datasets and limited bandwidth at high power cost for accessing external memory



Source: Luca Benini  
Università di Bologna & STMicroelectronics

## Domaines d'application des systèmes embarqués

- **Domaine grand public**
  - smart phone, console de jeux, appareil photos, lecteur audio, ...
- **Moyens de transport**
  - gestion moteur/entraînement, ordinateur de bord, ABS, GPS, système navigation, système d'aide (EPS, ...), ..
  - => automobiles, avions, trains, bateau, véhicule électrique, ...
- **Équipement médicaux** (diagnostic, thérapeutique, vital)
  - imagerie (rayon X, ultra-sons, IRM), endoscopie, caméra, monitoring, perfusion, lasers, chirurgie, stimulateur cardiaque, ...
- **Équipements de télécommunication**
  - station mobile, routeur, gateway, satellite, ...
- **Équipement industriels**
  - commande, contrôle réparti, capteurs intelligents, ...
- ...

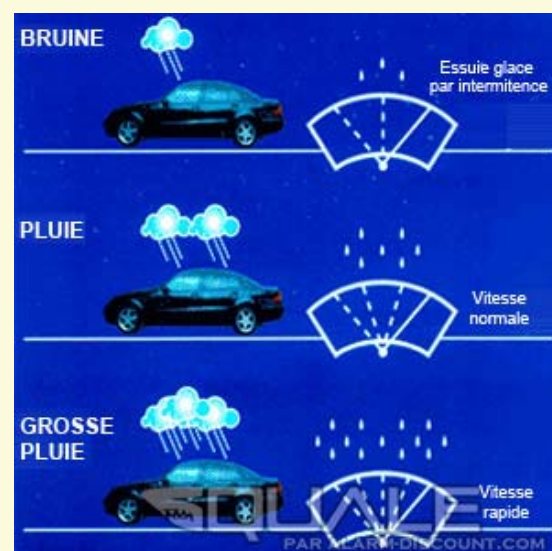
# Systeme de detection de pluie ...

- Contrôle de la commande des essuies glaces selon condition météorologique.



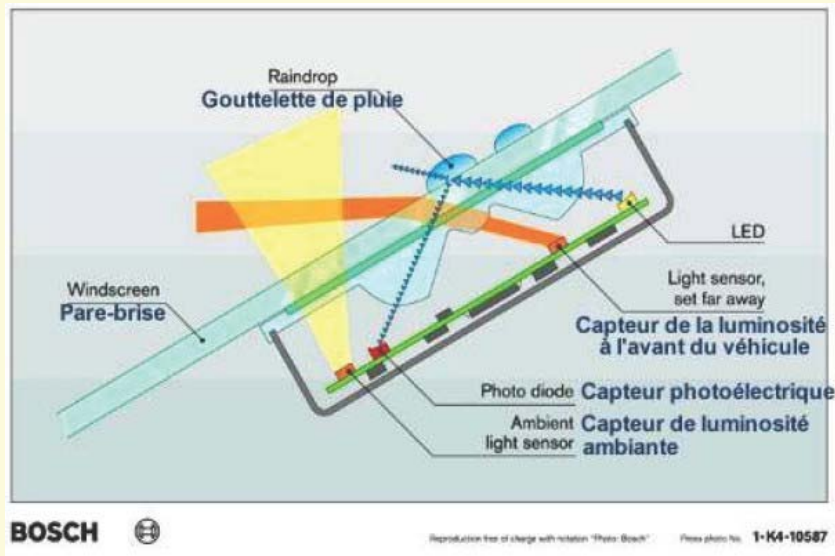
# ... système de détection de pluie ...

- Contrôle de la commande des essuies glaces selon les conditions météorologique.
  - Capteur ?
  - Schéma bloc du système ?
  - Composants nécessaires ?
  - Algorithme ?



# ... système détection de pluie ...

- Principe de fonctionnement du capteur



L'information obtenue est une variation de la diffraction sur la vitre. Cela n'est pas une vitesse de balayage des essuies glaces!

# ... système détection de pluie

Système composé d'une chaîne de composants et systèmes:

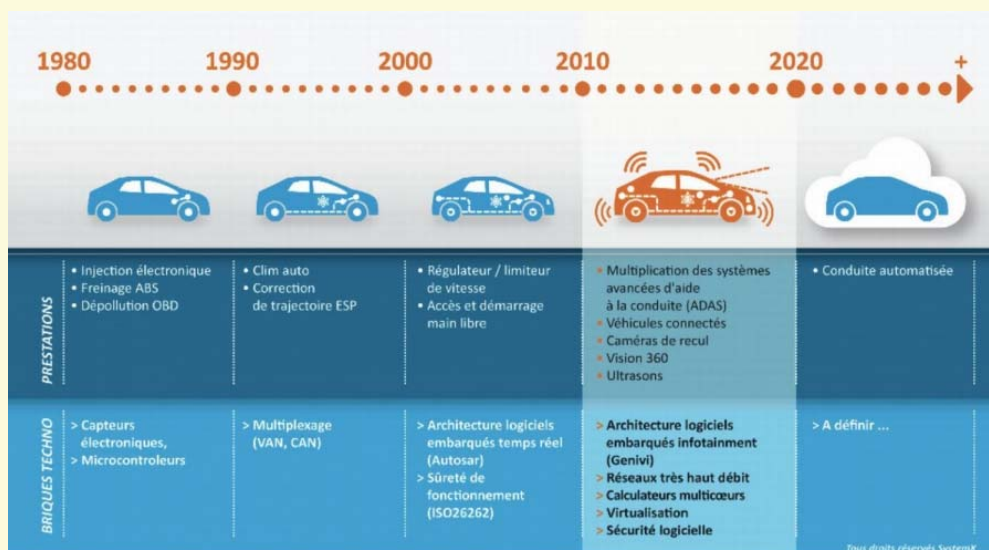
- Capteur mesurant une grandeur physique
- Convertisseur AD avec une interface
- Système à processeur pour la gestion et les traitements
- Algorithme permettant de calculer la densité de la pluie
- Algorithme pour réguler la vitesse des essuies glaces
- Convertisseur DA avec une interface, puis étage de puissance
- Moteurs de commande des essuies glaces
- Alimentations, boîtiers, câblages,...

# Exemple de système embarqué

- Electronique embarquée dans l'automobile
  - [www.electroniques.biz](http://www.electroniques.biz) l'électronique, moteur de l'innovation dans l'automobile
- Drone pour la prise de vue aérienne
  - swinglt cam <http://www.sensefly.com/drones/swinglet-cam.html>

# Electronique embarquée dans l'automobile

- Evolution de l'électronique embarquée dans l'automobile:



source:  
<http://www.electroniques.biz/index.php/economie/conjoncture/item/49139-l-electronique-moteur-de-l-innovation-dans-l-automobile>