

Internet of Things (IoT)

architectures et technologies

Chapitre #1 - Equipements

1.équipements



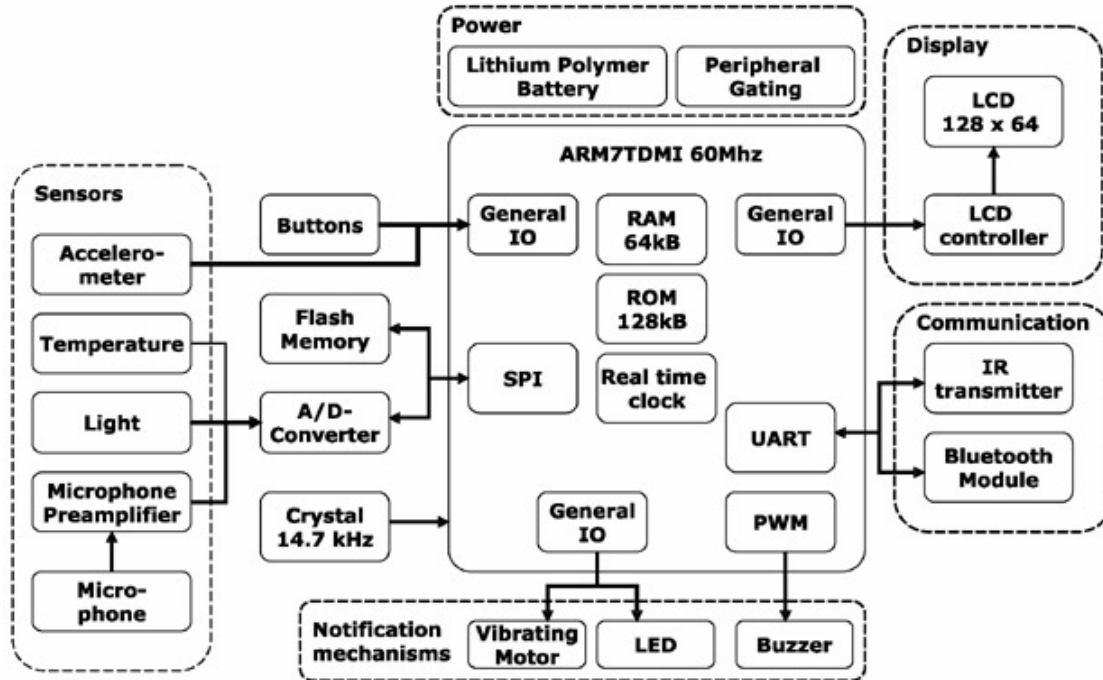
Qu'est-ce qu'un
“Objet Connecté”?

Comment choisir un
objet connecté?



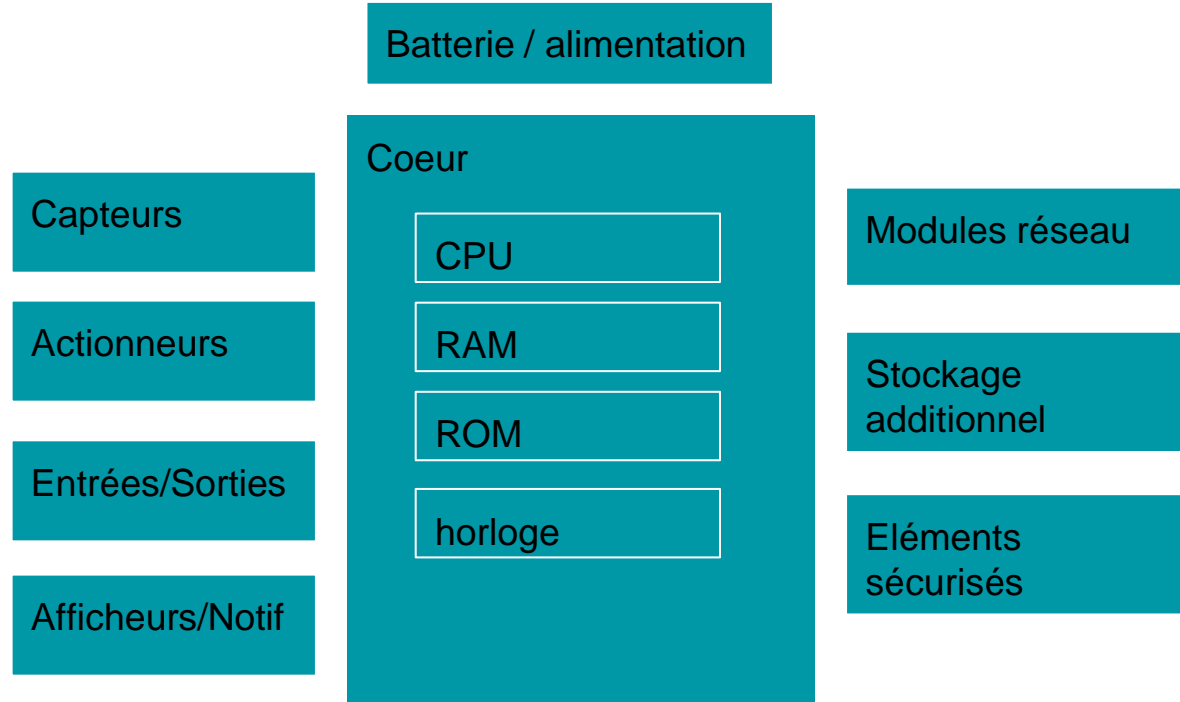


Exemple d'anatomie d'équipement connecté



source: <https://users.ece.cmu.edu/~agr/old/old-projects/ewatch/hardware.html>

Anatomie type



Un Objet Connecté pour...

SENTIR (= mesurer, enregistrer...)

AGIR (= actionner, piloter)

INTERAGIR (= exposer une interface utilisateur)

DÉCIDER (= orchestrer mesures, actions et communications)

.... et COMMUNIQUER!

Sentir: capteurs

Capteurs - exemples

accéléromètre:

accélération par axe (X,Y,Z) (unité: m/s^2)

gyroscope:

rotation sur différents axe (X,Y,Z) (unité: rad/sec)

magnétomètre:

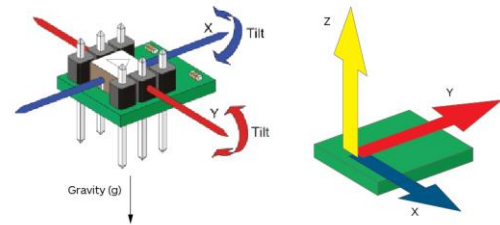
“boussole”, indique champ magnétique par axe (X,Y,Z) (unité: μT)

thermomètre:

température ambiante (unité: $^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}/^{\circ}\text{K}$)

luxmètre:

illumination (unité: lux)



Diagrams illustrating the axes of 2-axis (left) and 3-axis accelerometers. This particular 2-axis sensor is also capable of tilt measurement.
Image credit: Parallax / Kerry Wong

Capteurs - exemples

capteur de distance:

distance à l'obstacle le plus proche (unité: m)
(ex: infra-rouge, ultra-sons)



manomètre:

mesure la pression (unité: hPa)



humidité:

(unité: %)



Capteurs - exemples

détecteurs de gaz:

capteurs électrochimiques (méthane, butane, alcool, ethanol, monoxide, hydrogen, ozone...)

(unit: ppm)



source: <http://playground.arduino.cc/Main/MQGasSensors>

Capteurs - exemples

capteur optique:

détection de coupure de faisceau

capteur de position:

via codeur rotatif, interrupteur à lame souple

capteur de contact:

microrupteur / bouton poussoir

microphone:

(onde acoustique)

caméra:

image / flux vidéo



plus d'info: http://philippe.berger2.free.fr/automatique/cours/cpt/les_capteurs.htm

Capteurs - critères

plage de mesure

précision / sensibilité

réactivité / fréquence de rafraîchissement

conditions de fonctionnement

encombrement

consommation électrique

Exemple:

- Accuracy for temperature:
 - < $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ from 0° to $+65^{\circ}\text{C}$
 - < $\pm 1^{\circ}\text{C}$ from -30°C to 0°C and from $+65^{\circ}\text{C}$ to $+90^{\circ}\text{C}$
 - < $\pm 2^{\circ}\text{C}$ below -30°C and above $+90^{\circ}\text{C}$
- Accuracy for relative humidity:
 - < $\pm 3\%$ from 20% to 80%
 - < $\pm 5\%$ below 20% and above 80%
- Measurement range: -40 to 120°C and 0 to 100% for relative humidity
- Resolutions: $1/100^{\circ}\text{C}$ for temperature and $4/100\%$ for relative humidity.
- Luminosity indicator: in % of the luminosity level.

Sentir: géolocalisation

Géolocalisation

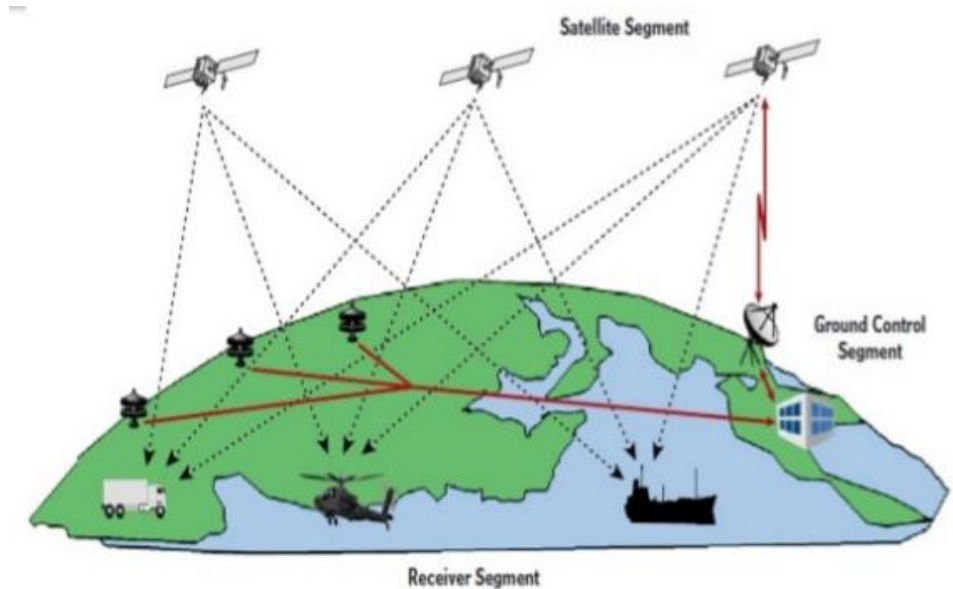
GPS (ex-“Navstar”) (Global Positioning System)

USA (DoD), 24 satellites
disponible depuis 1994

1575 MHz

précision: ~20m

Améliorable via SBAS (Satellite based augmentation system),
en Europe: EGNOS



plus d'info: http://fr.slideshare.net/richard_craig/global-positioning-system-gps

Géolocalisation

GLONASS

Russie,
à nouveau disponible depuis 2010
même propriétés que GPS



Galileo:

Europe,
gratuit: même précision que GPS,
commercial: ~10cm



Beidou / COMPASS:

Chine, disponibilité 2020

plus d'info: http://fr.slideshare.net/richard_craig/global-positioning-system-gps

Agir: actionneurs

Actionneurs - exemples

relais:

contrôler un courant important



moteur / moteur pas-à-pas / servo-moteur



source: <http://playground.arduino.cc/Main/MQGasSensors>

Interagir: User-Interfaces

Signaler à l'utilisateur

voyants / LEDs

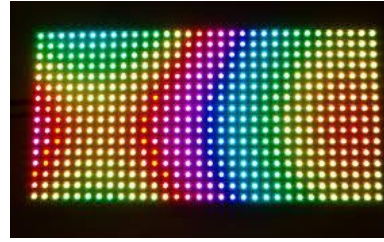
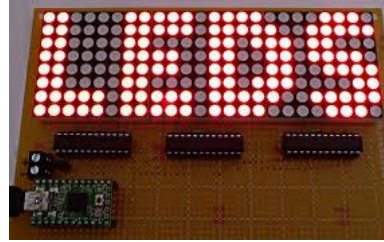


buzzer / audio



Signaler à l'utilisateur

afficheurs (LCD, LED,



vibreur



Contrôles

boutons poussoir / interrupteurs



Potentiomètres:



Contrôles

écran tactile



Source: AdaFruit, Rework: MCHobby.be

autre...



Décider: CPU / mémoires

L'électronique en (très) bref

- 1800 - pile électrique (Volta)
- 1827 - loi d'Ohm (Ohm), début électromagnétisme (Ampère)
- 1846 - induction électromagnétique (Faraday)
- 1873 - équations de Maxwell
- 1876 - téléphone (Bell)
- 1879 - ampoule (Joseph Swan)
- 1890 - cohéreur de Branly (détection onde)
- 1895 - transmission à distance sans fil (Marconi et Popov)
- 1904 - premier tube électronique (Fleming)**
- 1907 - tube triode (Lee De Forest)
- 1918 - premier additionneur binaire (Bloch e Abraham)
- 1947 - transistor à pointes**
- 1954 - premiers ordinateurs à transistors
- 1959 - procédé de fabrication planar (Noyce)
- 1959 - circuits intégrés (Kilby)
- 1969 - mémoire 64 bits (Intel)
- 1971 - premier microprocesseur (intel: 4004)
- 1975 - RISC (IBM)



John Bardeen, William Shockley et [Walter Brattain](#) (Laboratoires Bell)

mémoires

RAM = Random Access Memory / “mémoire vive”:

mémoire volatile, très performante
(DRAM, SRAM, MRAM)



ROM = Read Only Memory / “mémoire morte”:

mémoire non volatile, lecture seul, sauf opération de
“programmation”
(EEPROM)



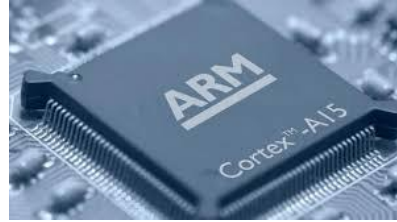
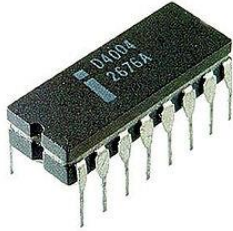
Flash:

mémoire réinscriptible, sorte d'EEPROM
éditable/réinitialisable par zone
(NOR, NAND)



microprocesseur VS microcontrôleur

microprocesseur = unité de calcul générique dans un seul boîtier



micro-contrôleur =

une seule puce comprenant microprocesseur + mémoire + I/O + timer...



Exemple

Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V

8-bit Atmel Microcontroller with 16/32/64KB In-System Programmable Flash

DATASHEET

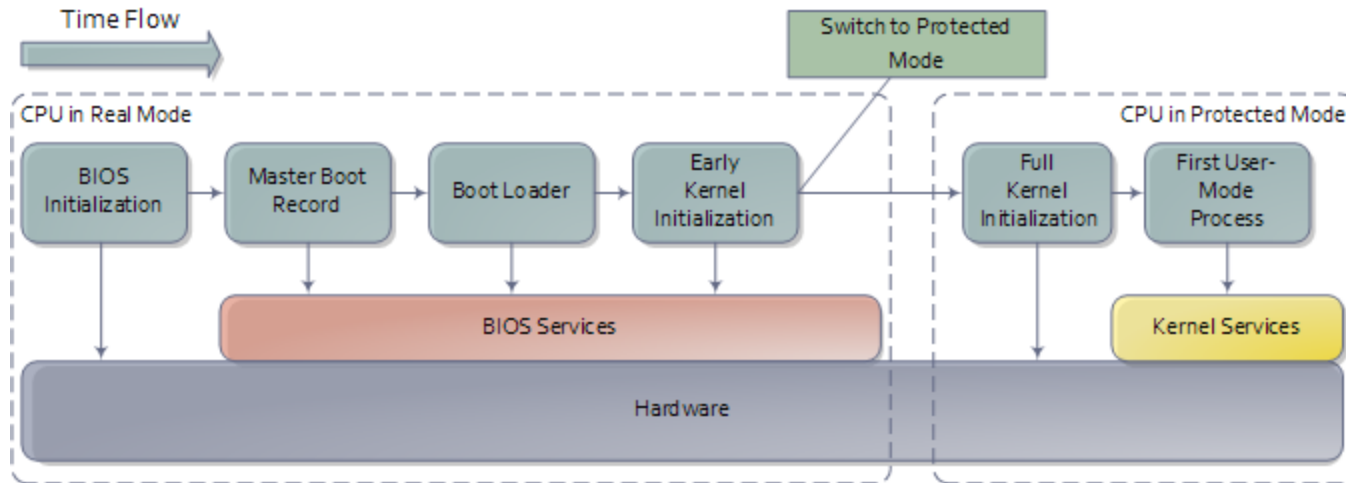
Features

- High Performance, Low Power Atmel® AVR® 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 135 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16MHz
 - On-Chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 64K/128K/256KBytes of In-System Self-Programmable Flash
 - 4Kbytes EEPROM
 - 8Kbytes Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/ 100 years at 25°C
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
 - Endurance: Up to 64Kbytes Optional External Memory Space
- Atmel® QTouch® library support
 - Capacitive touch buttons, sliders and wheels
 - QTouch and QMatrix acquisition
 - Up to 64 sense channels
- JTAG (IEEE® std. 1149.1 compliant) Interface
 - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
 - Extensive On-chip Debug Support
 - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface

Exemple

- **Peripheral Features**
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - Four 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare- and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Four 8-bit PWM Channels
 - Six/Twelve PWM Channels with Programmable Resolution from 2 to 16 Bits (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - Output Compare Modulator
 - 8/16-channel, 10-bit ADC (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - Two/Four Programmable Serial USART (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte Oriented 2-wire Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- **Special Microcontroller Features**
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- **I/O and Packages**
 - 54/86 Programmable I/O Lines (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)
 - 64-pad QFN/MLF, 64-lead TQFP (ATmega1281/2561)
 - 100-lead TQFP, 100-ball CBGA (ATmega640/1280/2560)
 - RoHS/Fully Green
- **Temperature Range:**
 - -40°C to 85°C Industrial
- **Ultra-Low Power Consumption**
 - Active Mode: 1MHz, 1.8V: 500µA
 - Power-down Mode: 0.1µA at 1.8V
- **Speed Grade:**
 - ATmega640V/ATmega1280V/ATmega1281V:
 - 0 - 4MHz @ 1.8V - 5.5V, 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V
 - ATmega2560V/ATmega2561V:
 - 0 - 2MHz @ 1.8V - 5.5V, 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V
 - ATmega640/ATmega1280/ATmega1281:
 - 0 - 8MHz @ 2.7V - 5.5V, 0 - 16MHz @ 4.5V - 5.5V
 - ATmega2560/ATmega2561:
 - 0 - 16MHz @ 4.5V - 5.5V

Boot



source: <http://duartes.org/gustavo/blog/post/how-computers-boot-up/>

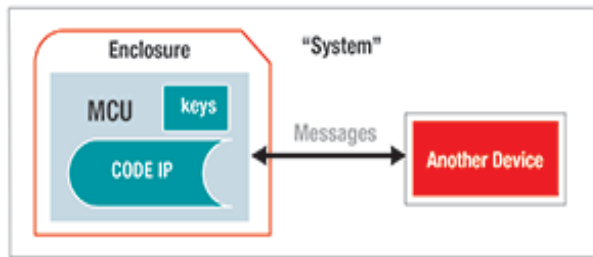
Elément Sécurisé (SE)

“Puce” = circuit intégré avec contacts exposés

“Elément sécurisé” = plate-forme matérielle inviolable, peut contenir mémoire, processeur

(typiquement processeur cryptographique + registre de secrets)

Exemple: carte SIM



Alimentation

Alimentation externe (secteur, générateur...):
pas de problématique d'autonomie

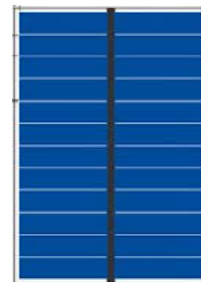
Alimentation autonome:
contrôler la consommation et le niveau d'énergie disponible devient un enjeu critique.

Batterie (“accu”):

chimique (lithium, nickel - NiMH, alkaline), capacitors
varient en densité, tenue de charge, comportement e
haute/basse température

Energie ambiante:

soleil, chaleur, mouvement, radio (ex: WiFi)...



Environnement

Indice de Protection (IP)

établi par “Commission électrotechnique Internationale” (CEI / IEC)

Elément	Chiffres ou lettres	Signification pour la protection du matériel	Signification pour la protection des personnes	Réf.
Code letters	IP	–	–	–
Premier chiffre caractéristique	0 1 2 3 4 5 6	Contre la pénétration de corps solides étrangers (non protégé) de diamètre ≥ 50 mm de diamètre $\geq 12,5$ mm de diamètre $\geq 2,5$ mm de diamètre $\geq 1,0$ mm protégé contre la poussière étanche à la poussière	Contre l'accès aux parties dangereuses avec: (non protégé) dos de la main doigt outil fil fil fil	Art. 5
Deuxième chiffre caractéristique	0 1 2 3 4 5 6 7 8	Contre la pénétration de l'eau avec effets nuisibles (non protégé) Gouttes d'eau verticales Gouttes d'eau (15° d'inclinaison) Pluie Projection d'eau Projection à la lance Projection puissante à la lance Immersion temporaire Immersion prolongée	–	Art. 6

source: https://fr.wikipedia.org/wiki/Indice_de_protection

ref: <http://www.parstasis.com/wp-content/uploads/2015/04/IEC-60529-IP-Code.pdf>

Conditions opérationnelles

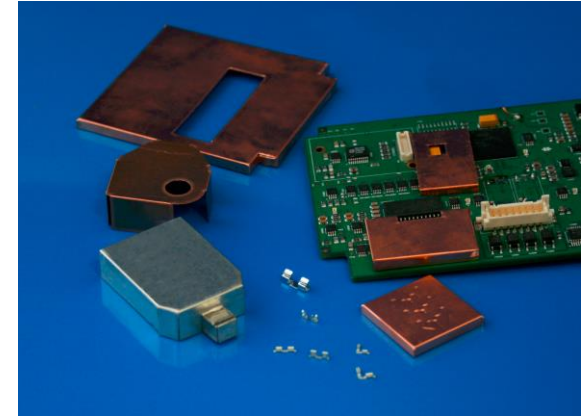
Equipements “Durcis” - capables de fonctionner dans des conditions extrêmes:

Vibrations

Ondes EM / particules (nucléaire, espace)

Basses/hautes températures

- Commercial: 0 °C to 85 °C
- Industrial: -40 °C to 100 °C
- Automotive: -40 °C to 125 °C
- Extended: -40 °C to 125 °C
- Military: -55 °C to 125 °C



source: https://en.wikipedia.org/wiki/Operating_temperature

Plateformes embarquées

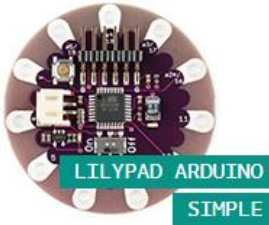
Plateformes \ Arduino (Genuino)

Architecture matérielle libre, à base de micro-contrôleur Atmel,

programmation: langage dédié (simili C, basé sur [Wiring](#)) via des outils (IDE)
open-source et cross-platform,

coût: < 50\$

plusieurs dizaines de modèles (différents form-factors et fonctions)



Plateformes \ Raspberry PI

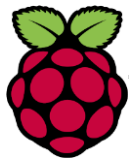
“nano-ordinateur” (taille carte de crédit) à processeur ARM, à très bas coût.

Support audio/video

lancement: 2012

cible: éducation / bricolage (DIY) / multi-media,

coût: 20\$ - 40\$



linux et n



	Raspberry Pi 3 Model B	Raspberry Pi 2 Model B v1.2
Processor Chipset	Broadcom BCM2837 64Bit Quad Core Processor powered Single Board Computer running at 1.2GHz	Broadcom BCM2837 64Bit Quad Core Processor powered Single Board Computer running at 900MHz
Processor Speed	QUAD Core @1.2 GHz	QUAD Core @900 MHz
RAM	1GB SDRAM @ 400 MHz	1GB SDRAM @ 400 MHz
Storage	MicroSD	MicroSD
USB 2.0	4x USB Ports	4x USB Ports
Max Power Draw/voltage	2.5A @ 5V	1.8A @ 5V
GPIO	40 pin	40 pin
Ethernet Port	Yes	Yes
WiFi	Built in	No
Bluetooth LE	Built in	No

ref: <https://www.raspberrypi.org/>

Plateformes \ BeagleBone (Texas Instruments)

mini-ordinateur, hardware open-source (CC)

basse consommation

lancement: 2008

cible: éducation / bricolage (DIY)

coût: 70-160\$

OS: Linux et plus



ref: <http://beagleboard.org/bone>

Comparatif

Name	Arduino Uno	Raspberry Pi	BeagleBone
Model Tested	R3	Model B	Rev A5
Price	\$29.95	\$35	\$89
Size	2.95"x2.10"	3.37"x2.125"	3.4"x2.1"
Processor	ATMega 328	ARM11	ARM Cortex-A8
Clock Speed	16MHz	700MHz	700MHz
RAM	2KB	256MB	256MB
Flash	32KB	(SD Card)	4GB(microSD)
EEPROM	1KB		
Input Voltage	7-12v	5v	5v
Min Power	42mA (.3W)	700mA (3.5W)	170mA (.85W)
Digital GPIO	14	8	66
Analog Input	6 10-bit	N/A	7 12-bit
PWM	6		8
TWI/I2C	2	1	2
SPI	1	1	1
UART	1	1	5
Dev IDE	Arduino Tool	IDLE, Scratch, Squeak/Linux	Python, Scratch, Squeak, Cloud9/Linux
Ethernet	N/A	10/100	10/100
USB Master	N/A	2 USB 2.0	1 USB 2.0
Video Out	N/A	HDMI, Composite	N/A
Audio Output	N/A	HDMI, Analog	Analog

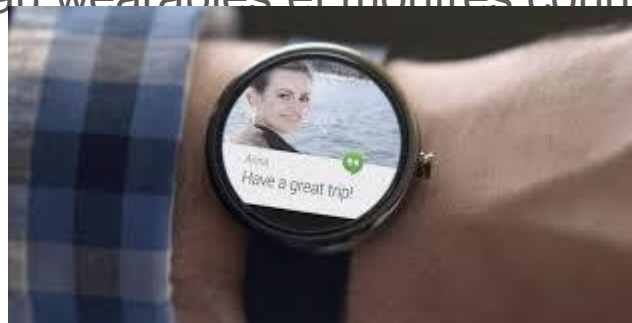
Plateformes \ Android (Google)

Système d'exploitation basé sur noyau Linux.

cible principale: smartphones, tablettes

OS le plus utilisé dans le monde (>80% des smartphones)

ve) dédiée au wearables et montres connectées



Plateformes \ mbed (ARM)

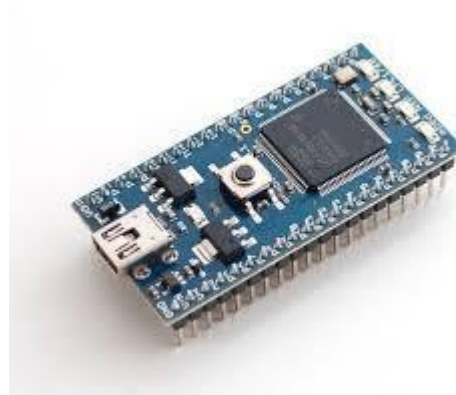
Système d'exploitation pour équipements basés sur processeur ARM Cortex-M
(32bits)

Programmation: C/C++, SDK, IDE en ligne

OS “temps réel”

plateforme cloud / services...

ARM[®]mbed[™]



Plateformes \ Contiki (open-source)

Système d'exploitation open-source, pour microcontrôleurs
Développement C, programmation événementielle (séquentiel)

Contiki

The Open Source OS for the Internet of Things

Hello world

```
/* Declare the process */
PROCESS(hello_world_process, "Hello world");

/* Make the process start when the module is loaded */
AUTOSTART_PROCESSES(&hello_world_process);

/* Define the process code */
PROCESS_THREAD(hello_world_process, ev, data) {
    PROCESS_BEGIN(); /* Must always come first */
    printf("Hello, world!\n"); /* Initialization code goes here */
    while(1) { /* Loop for ever */
        PROCESS_WAIT_EVENT(); /* Wait for something to happen */
    }
    PROCESS_END(); /* Must always come last */
}
```

Sensortag



CC2650



Conclusion: les enjeux de la conception embarquée

- Fonctionnel: choix périphérique, puissance, mode de communication,
- Autonomie: mode alimentation, consommation
- Coût (\$)
- Contraintes opérationnelles: compatibilité avec environnement/usage ciblé
- Sécurité: protéger les secrets