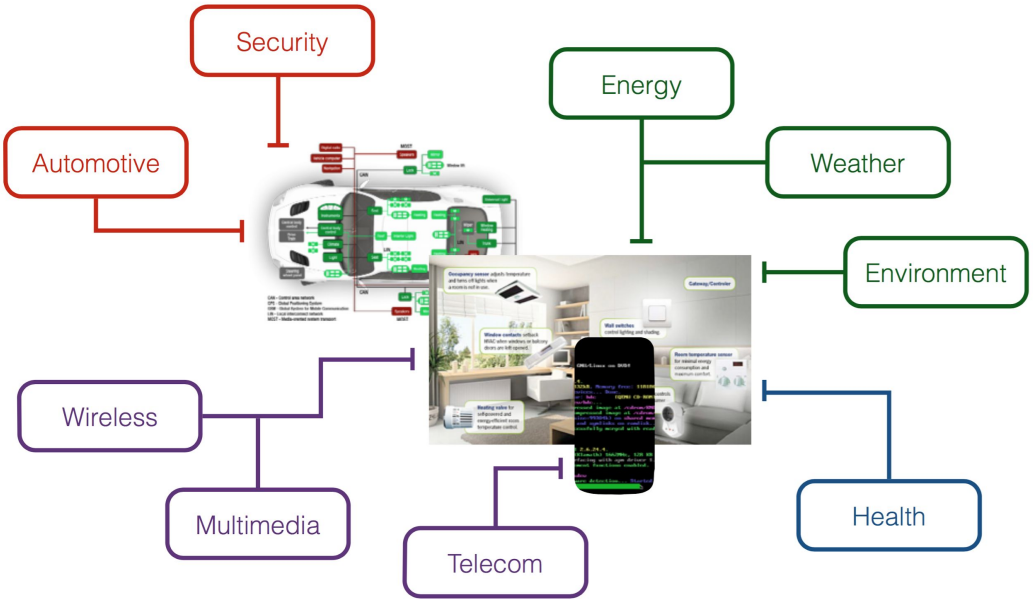
Module Peri 41109

2017fev

Franck Wajsbürt - Lionel Lacassagne
sur les bases de
Julien Peeters [1] et François Pécheux [2]

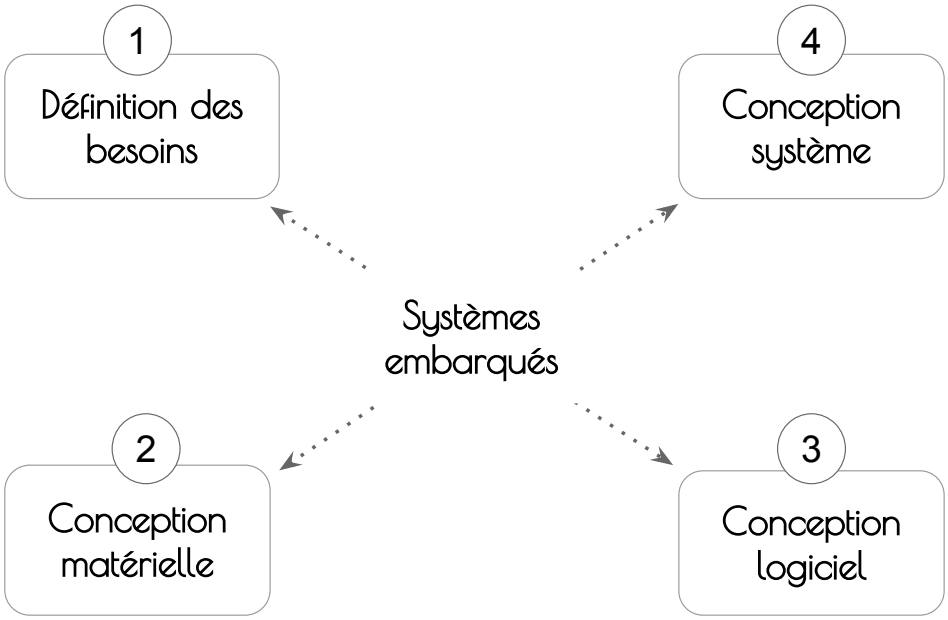
1. Conception des premiers cours et des maquettes
2. Idée et principe du cours

Domaine du cours



Les systèmes embarqués sont partout

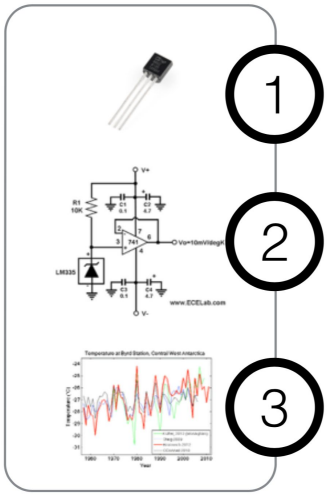
Compétences nécessaires



Capteur de température

Besoin initial

Mesures de la température



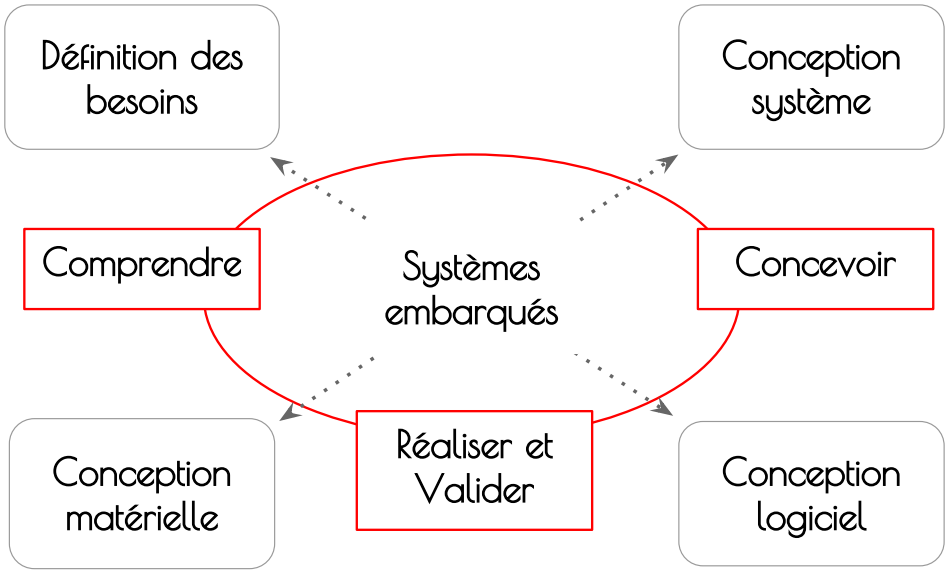
Conception d'un système

composant

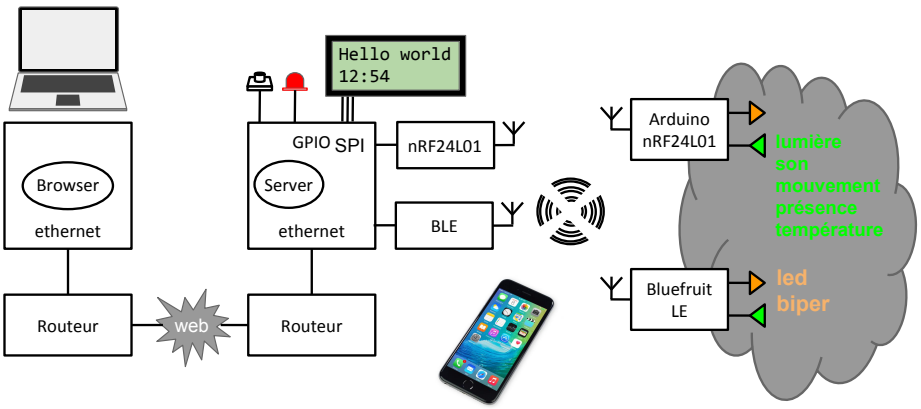
conception système

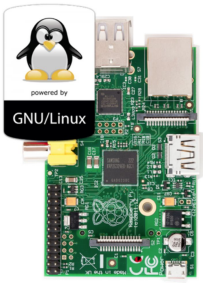
Implémentation et tests

Ce que vous devez savoir faire



Plateforme cible





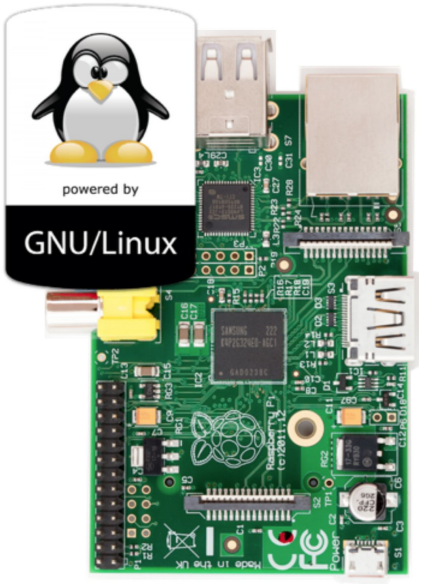
Cours abordés

- driver linux
- communication process
- communication sans fils
- plateforme arduino arduino
- programmation basse conso
- server web
- capteurs et filtrage

Planning

	S	Cours		TME	
J	3	C1	Présentation cours et des composants		
	4	C2	Drivers User	T1	test C + GPIO commande LED + BP
F	5	C3	Module Kernel	T2	Module Linux commande LED + BP
	6	C4	Drivers Kernel	T3	Drivers Linux dynamique LED + LCD
	6	C4	Drivers Kernel	T3	Drivers Linux dynamique LED + LCD
	7	C5	Serveur Web	T4	Serveur minimal commande LED
	8	C6	Communication sans-fil + SPI	T5	Échanges entre RPi par NRF24
M	9	C7	Arduino base + présentation Sentinelle	T6	Tutoriel Arduino + commande LED + BP
	10		**Révision**		
	11		**examen réparti 2**		
	12	C8	Ports capteurs (I2C, SPI, etc.)	T7	Échanges entre Arduino par NRF24
	13	C9	Traitement des capteurs numériques	T8	Connexion RPi - NRF14 - Arduino
A	14		**Vacances printemps**		
	15		**Vacances printemps**		
	16	C10	Accéléromètre et application	T9	Filtrage des valeurs de capteurs
	17			T10	Mise en oeuvre sur un accéléromètre
M	18				
	19		**Révision**		
	20		**examen réparti 2**		Soutenance

Travaux Pratiques

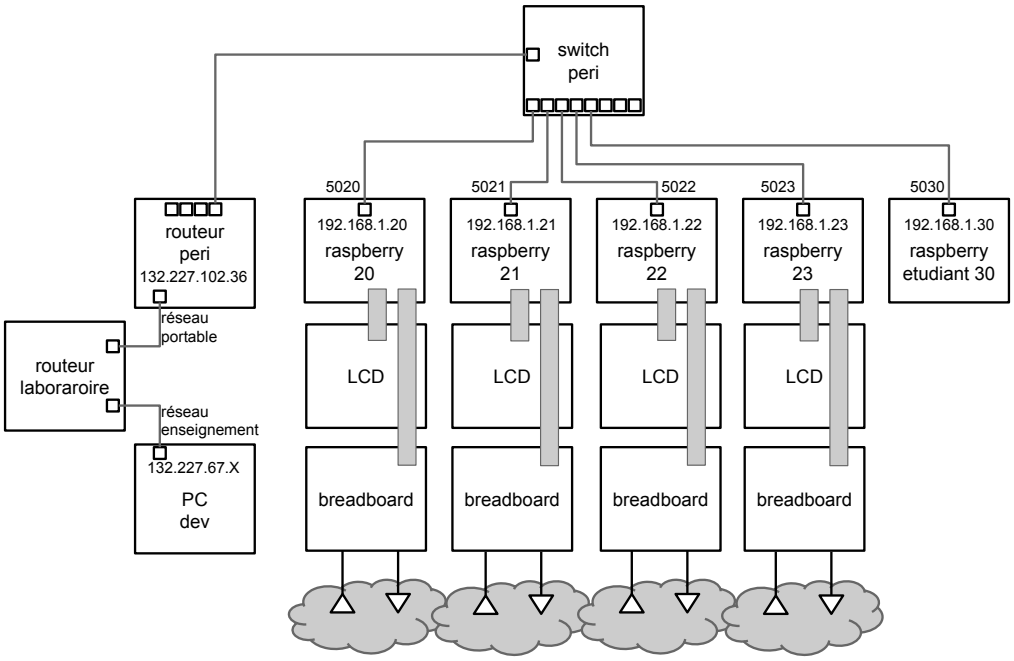


Couloir 24-25 Salles 305-307

Jeudi 13h45 - 18h00
Vendredi 8h30 - 12h45

56 étudiants → 2 x 14 binômes

Plateforme Peri



Matériels pédagogiques

Site web :

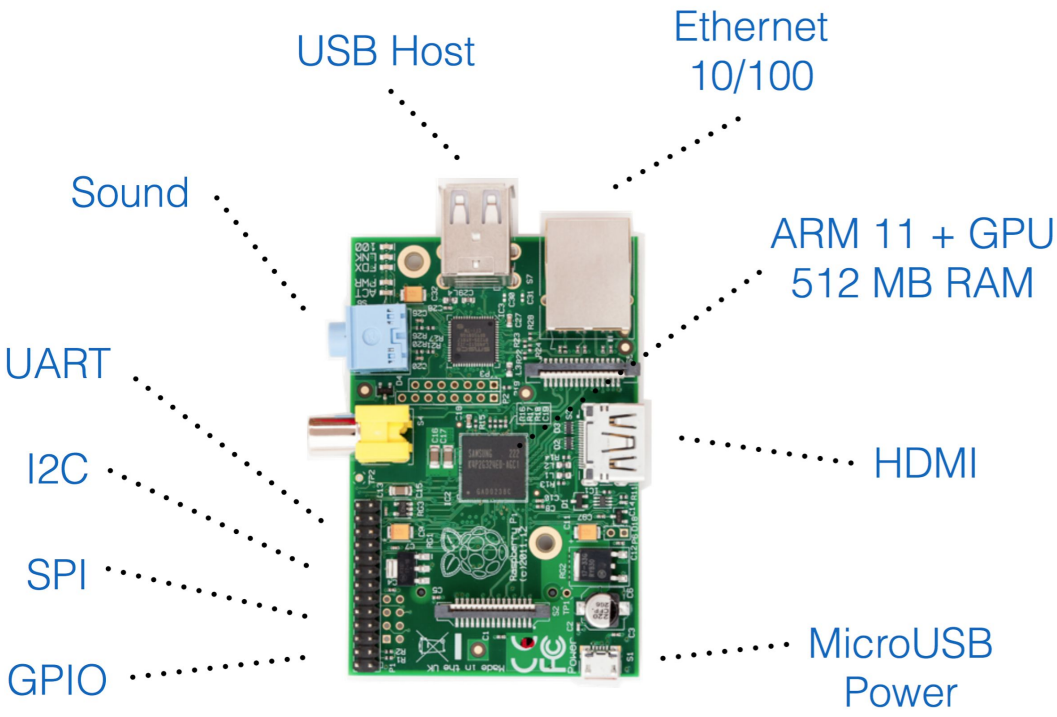
- SESI-PERI (docs, TD, TP...)
  https://www-soc.lip6.fr/trac/sesi-peri

Book:

- Linux Device Drivers (Free)
  http://free-electrons.com/doc/books/ldd3.pdf
- Processeur de la RaspberryPi
  https://www.raspberrypi.org/[...]/BCM2835-ARM-Peripherals.pdf

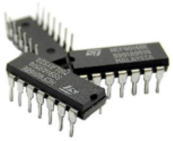
Présentation RaspberryPi

RaspberryPi



Périphériques Internes

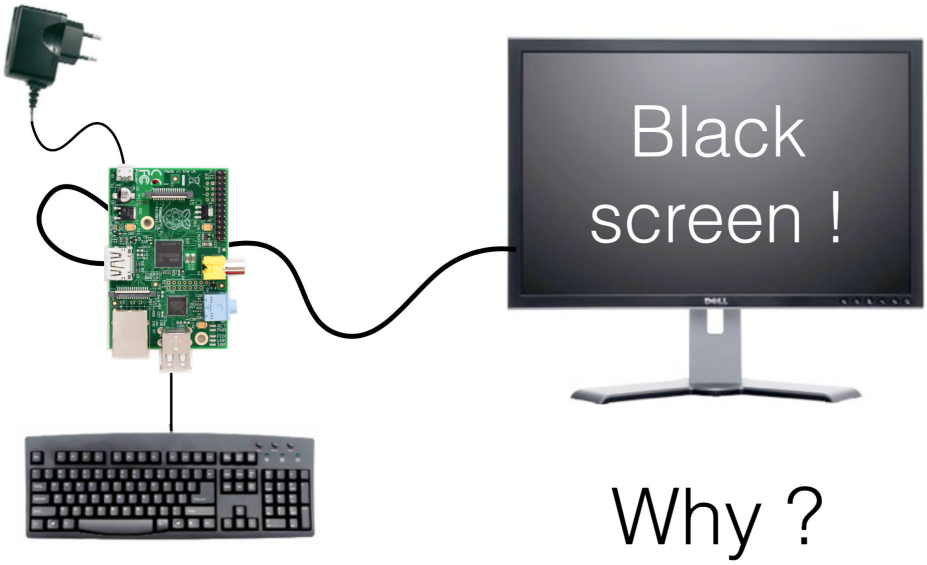
UART Ethernet



I2C, SPI HDMI

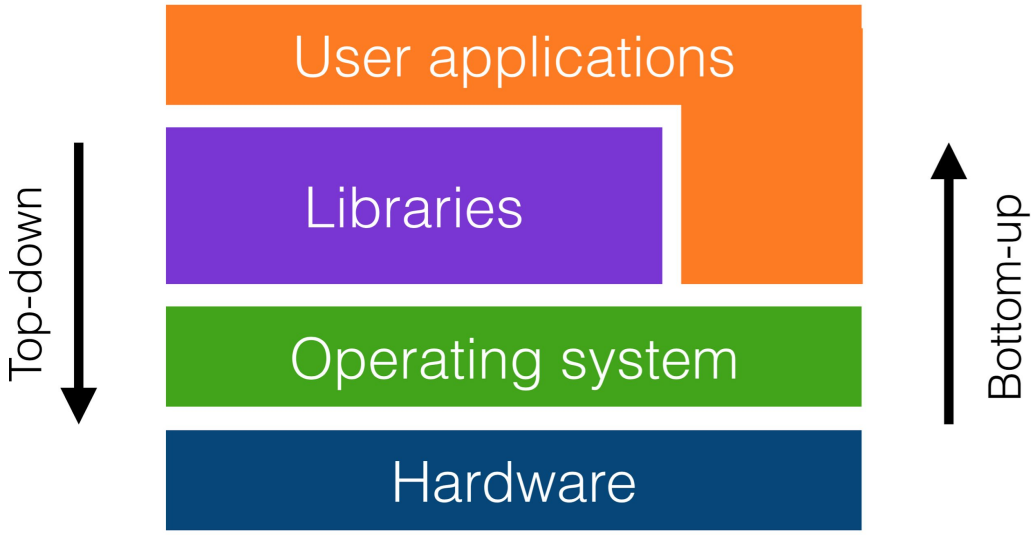
GPIO Sound

Power On



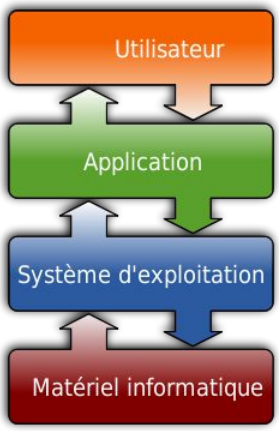
Why ?

Pile Logicielle



Système d'exploitation

Le système d'exploitation est un ensemble de programmes interfaçant le matériel et les logiciels applicatifs.



source Wikipedia

- Fournit une abstraction du matériel
  - Bibliothèque système (ex: libc)
  - Le noyaux
  - Les pilotes de périphériques
- Permet un usage sûr du matériel
  - Vérifie la légalité des requêtes des app.
- Permet le partage entre
  - Plusieurs applications grâce à la mémoire vituelle
  - Plusieurs utilisateurs

RaspberryPi utilise une distribution de GNU/linux nommé Raspian

Pilotes de périphériques

Gère les requêtes des applications
- Gestion d'une file d'attente
- mise en attente des applications

Gère les évènements des périphériques
- Traitement des requêtes
- Réveil des applications

Espace Noyau
- Statique ou Dynamique
- Risques sur le noyau

Espace Utilisateur
- Simple application
- Risques sur le périphérique

Pilotes de périphériques

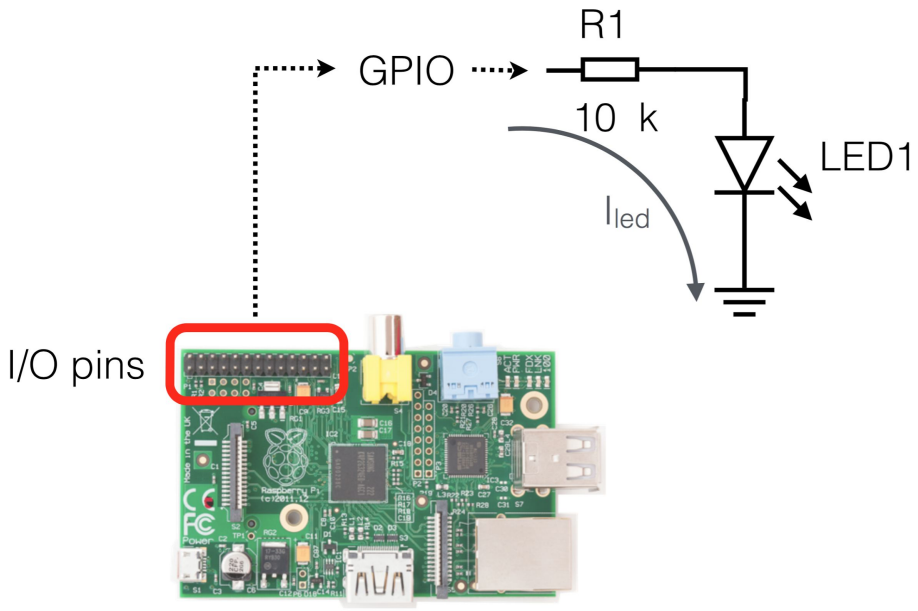
Gère les requêtes des applications
- Gestion d'une file d'attente
- mise en attente des applications

Gère les évènements des périphériques
- Traitement des requêtes
- Réveil des applications

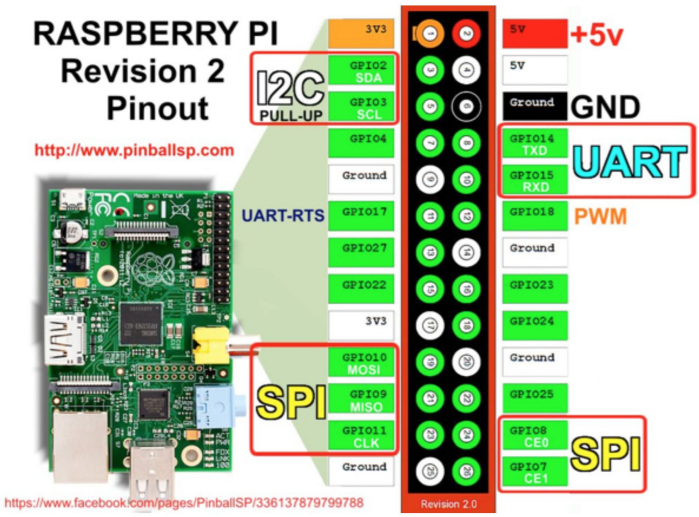
Espace Noyau
- Statique ou Dynamique
- Risques sur le noyau

Espace Utilisateur
- Simple application
- Risques sur le périphérique

Périphériques de base : GPIO

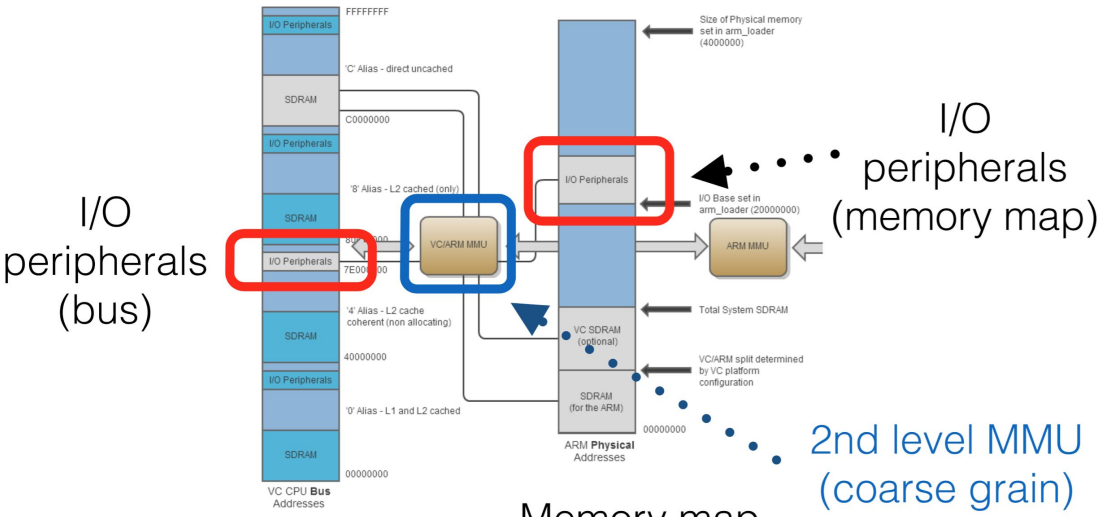


GPIO de la Raspberry Pi



Le BCM2835 à 54 GPIO mais seulement 17 sont accessibles
La carte RaspberryPi2 en propose 26

GPIO Memory Mapping

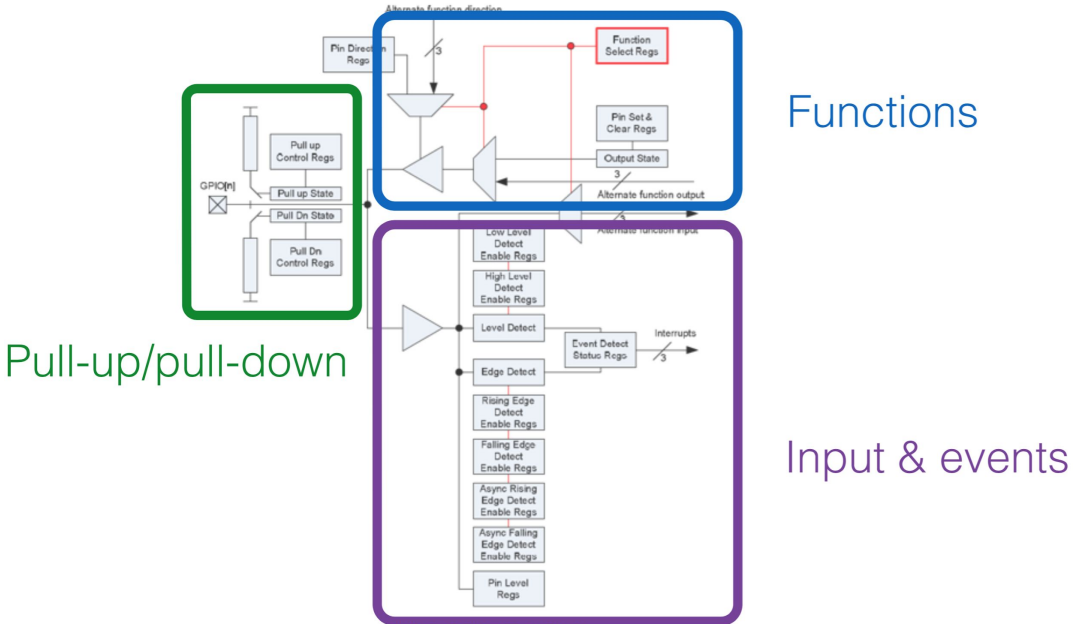


Bus address
0x7E000000

Memory map address
0x20000000

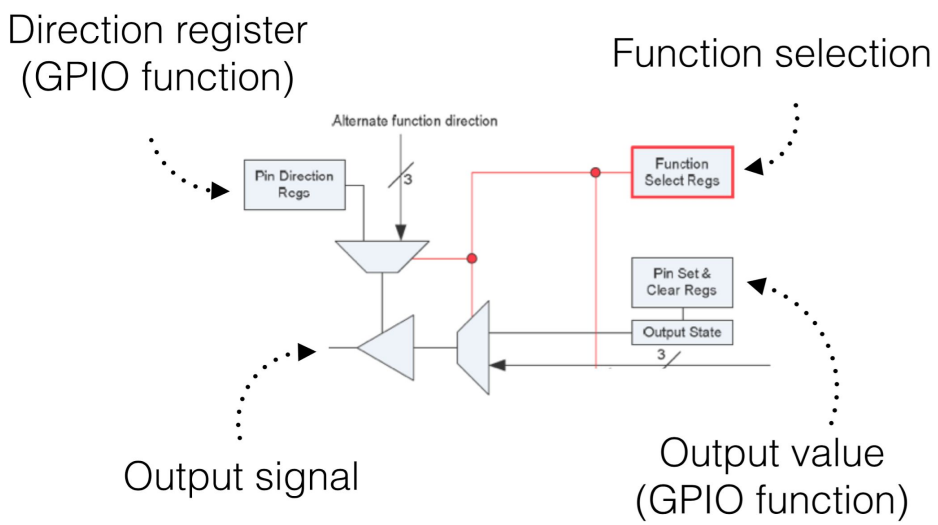
Source: BCM2835-ARM-Peripherals.pdf, page 5

GPIO schéma électrique



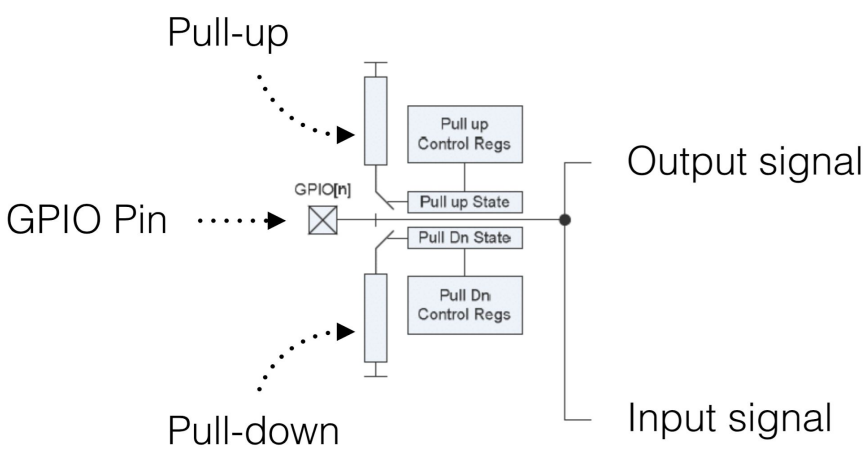
Source: BCM2835-ARM-Peripherals.pdf, page 89

GPIO schéma des fonctions



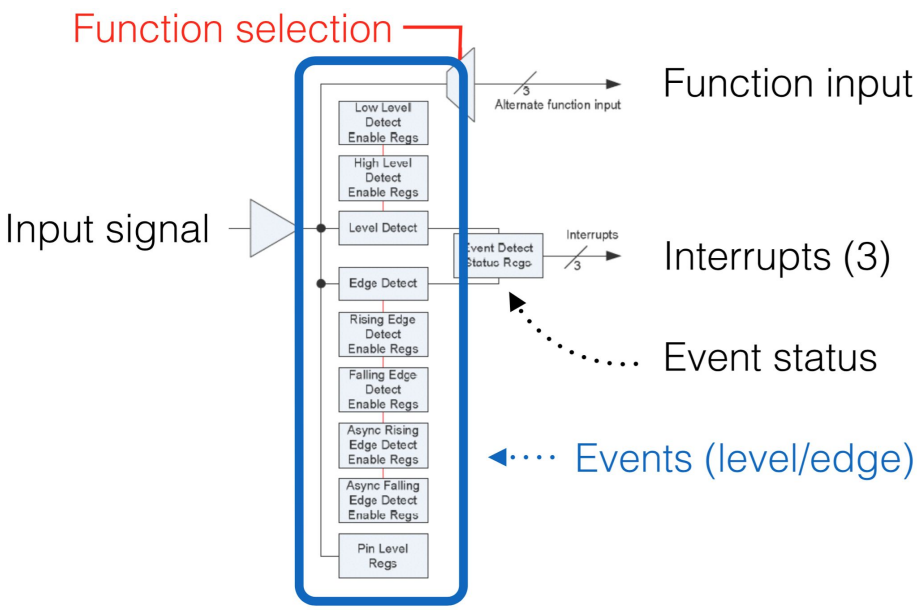
Source: BCM2835-ARM-Peripherals.pdf, page 89

GPIO pull-up / pull-down



Source: BCM2835-ARM-Peripherals.pdf, page 89

GPIO entrées et interruptions



Source: BCM2835-ARM-Peripherals.pdf, page 89

GPIO Registres de configuration

Address	Field Name	Description	Size	Read/ Write
0x 7E20 0000	GPFSEL0	GPIO Function Select 0	32	R/W
0x 7E20 0000	GPFSEL0	GPIO Function Select 0	32	R/W
0x 7E20 0004	GPFSEL1	GPIO Function Select 1	32	R/W
0x 7E20 0008	GPFSEL2	GPIO Function Select 2	32	R/W
0x 7E20 000C	GPFSEL3	GPIO Function Select 3	32	R/W
0x 7E20 0010	GPFSEL4	GPIO Function Select 4	32	R/W
0x 7E20 0014	GPFSEL5	GPIO Function Select 5	32	R/W
0x 7E20 0018	-	Reserved	-	-
0x 7E20 001C	GPSET0	GPIO Pin Output Set 0	32	W
0x 7E20 0020	GPSET1	GPIO Pin Output Set 1	32	W
0x 7E20 0024	-	Reserved	-	-
0x 7E20 0028	GPCLR0	GPIO Pin Output Clear 0	32	W
0x 7E20 002C	GPCLR1	GPIO Pin Output Clear 1	32	W
0x 7E20 0030	-	Reserved	-	-
0x 7E20 0034	GPLEV0	GPIO Pin Level 0	32	R
0x 7E20 0038	GPLEV1	GPIO Pin Level 1	32	R
0x 7E20 003C	-	Reserved	-	-
0x 7E20 0040	GPEDS0	GPIO Pin Event Detect Status 0	32	R/W
0x 7E20 0044	GPEDS1	GPIO Pin Event Detect Status 1	32	R/W
0x 7E20 0048	-	Reserved	-	-
0x 7E20 004C	GPREN0	GPIO Pin Rising Edge Detect Enable 0	32	R/W
0x 7E20 0050	GPREN1	GPIO Pin Rising Edge Detect Enable 1	32	R/W
0x 7E20 0054	-	Reserved	-	-
0x 7E20 0058	GPFEN0	GPIO Pin Falling Edge Detect Enable 0	32	R/W
0x 7E20 005C	GPFEN1	GPIO Pin Falling Edge Detect Enable 1	32	R/W

Address	Field Name	Description	Size	Read/ Write
0x 7E20 0060	-	Reserved	-	-
0x 7E20 0064	GPHEN0	GPIO Pin High Detect Enable 0	32	R/W
0x 7E20 0068	GPHEN1	GPIO Pin High Detect Enable 1	32	R/W
0x 7E20 006C	-	Reserved	-	-
0x 7E20 0070	GPLEN0	GPIO Pin Low Detect Enable 0	32	R/W
0x 7E20 0074	GPLEN1	GPIO Pin Low Detect Enable 1	32	R/W
0x 7E20 0078	-	Reserved	-	-
0x 7E20 007C	GPAREN0	GPIO Pin Async. Rising Edge Detect 0	32	R/W
0x 7E20 0080	GPAREN1	GPIO Pin Async. Rising Edge Detect 1	32	R/W
0x 7E20 0084	-	Reserved	-	-
0x 7E20 0088	GPAFEN0	GPIO Pin Async. Falling Edge Detect 0	32	R/W
0x 7E20 008C	GPAFEN1	GPIO Pin Async. Falling Edge Detect 1	32	R/W
0x 7E20 0090	-	Reserved	-	-
0x 7E20 0094	GPPUD	GPIO Pin Pull-up/down Enable	32	R/W
0x 7E20 0098	GPPUDCLK0	GPIO Pin Pull-up/down Enable Clock 0	32	R/W
0x 7E20 009C	GPPUDCLK1	GPIO Pin Pull-up/down Enable Clock 1	32	R/W
0x 7E20 00A0	-	Reserved	-	-
0x 7E20 00B0	-	Test	4	R/W

41 registres permettent de définir les fonctions et les comportement des GPIO

Source: BCM2835-ARM-Peripherals.pdf, page 90

Configuration des broches GPIO

GPFSELn registers

Bus address	Memory address	Description	Size	R/W
0x7E200000	0x20200000	GPIO Function Select 0	32	R/W
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0x7E200014	0x20200014	GPIO Function Select 5	32	R/W

Ex: GPFSEL0

.....	FSEL 4	FSEL3	FSEL2	FSEL1	FSEL0

15 12 9 6 3 0

FSELn (3 bits) : **000** pour input **001**pour output

Source: BCM2835-ARM-Peripherals.pdf, pages 91-94

GPIO functions

	Pull	ALT0	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5
GPIO0	High	SDA0	SA5	<reserved>			
GPIO1	High	SCL0	SA4	<reserved>			
GPIO2	High	SDA1	SA3	<reserved>			
GPIO3	High	SCL1	SA2	<reserved>			
GPIO4	High	GPCLK0	SA1	<reserved>			ARM_TDI
GPIO5	High	GPCLK1	SA0	<reserved>			ARM_TDO
GPIO6	High	GPCLK2	SOE_N / SE	<reserved>			ARM_RTCK
GPIO7	High	SPI0_CE1_N	SWE_N / SRW_N	<reserved>			
GPIO8	High	SPI0_CE0_N	SD0	<reserved>			
GPIO9	Low	SPI0_MISO	SD1	<reserved>			
GPIO10	Low	SPI0_MOSI	SD2	<reserved>			
GPIO11	Low	SPI0_SCLK	SD3	<reserved>			
GPIO12	Low	PWM0	SD4	<reserved>			ARM_TMS
GPIO13	Low	PWM1	SD5	<reserved>			ARM_TCK
GPIO14	Low	TXD0	SD6	<reserved>			TXD1
GPIO15	Low	RXD0	SD7	<reserved>			RXD1
GPIO16	Low	<reserved>	SD8	<reserved>	CTS0	SPI1_CE2_N	CTS1
GPIO17	Low	<reserved>	SD9	<reserved>	RTS0	SPI1_CE1_N	RTS1
GPIO18	Low	PCM_CLK	SD10	<reserved>	BSCSL SDA / MOSI	SPI1_CE0_N	PWM0
GPIO19	Low	PCM_FS	SD11	<reserved>	BSCSL SCL / SCLK	SPI1_MISO	PWM1
GPIO20	Low	PCM_DIN	SD12	<reserved>	BSCSL / MISO	SPI1_MOSI	GPCLK0
GPIO21	Low	PCM_DOUT	SD13	<reserved>	BSCSL / CE_N	SPI1_SCLK	GPCLK1
GPIO22	Low	<reserved>	SD14	<reserved>	SD1_CLK	ARM_TRST	
GPIO23	Low	<reserved>	SD15	<reserved>	SD1_CMD	ARM_RTCK	
GPIO24	Low	<reserved>	SD16	<reserved>	SD1_DAT0	ARM_TDO	
GPIO25	Low	<reserved>	SD17	<reserved>	SD1_DAT1	ARM_TCK	
GPIO26	Low	<reserved>	<reserved>	<reserved>	SD1_DAT2	ARM_TDI	
GPIO27	Low	<reserved>	<reserved>	<reserved>	SD1_DAT3	ARM_TMS	
GPIO28	-	SDA0	SA5	PCM_CLK	<reserved>		
GPIO29	-	SCL0	SA4	PCM_FS	<reserved>		
GPIO30	Low	<reserved>	SA3	PCM_DIN	CTS0		CTS1
GPIO31	Low	<reserved>	SA2	PCM_DOUT	RTS0		RTS1
GPIO32	Low	GPCLK0	SA1	<reserved>	TXD0		TXD1
GPIO33	Low	<reserved>	SA0	<reserved>	RXD0		RXD1
GPIO34	High	GPCLK0	SOE_N / SE	<reserved>	<reserved>		
GPIO35	High	SPI0_CE1_N	SWE_N / SRW_N		<reserved>		
GPIO36	High	SPI0_CE0_N	SD0	TXD0	<reserved>		
GPIO37	Low	SPI0_MISO	SD1	RXD0	<reserved>		
GPIO38	Low	SPI0_MOSI	SD2	RTS0	<reserved>		
GPIO39	Low	SPI0_SCLK	SD3	CTS0	<reserved>		
GPIO40	Low	PWM0	SD4		<reserved>	SPI2_MISO	TXD1
	Pull	ALT0	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5

GPIO41	Low	PWM1	SD5	<reserved>	<reserved>	SPI2_MOSI	RXD1
GPIO42	Low	GPCLK1	SD6	<reserved>	<reserved>	SPI2_SCLK	RTS1
GPIO43	Low	GPCLK2	SD7	<reserved>	<reserved>	SPI2_CE0_N	CTS1
GPIO44	-	GPCLK1	SDA0	SDA1	<reserved>	SPI2_CE1_N	
GPIO45	-	PWM1	SCL0	SCL1	<reserved>	SPI2_CE2_N	
GPIO46	High	<Internal>					
GPIO47	High	<Internal>					
GPIO48	High	<Internal>					
GPIO49	High	<Internal>					
GPIO50	High	<Internal>					
GPIO51	High	<Internal>					
GPIO52	High	<Internal>					
GPIO53	High	<Internal>					

Chaque broche peut être liée à des functions alternatives

- attention toutes ne sont pas accessibles sur la RaspberryPi
- code couleur facilite la lecture
  - Orange / Fuschia I2C
  - Bleu moyen PWM
  - Rouge RS232
  - Marron SPI
  - ...

Source: BCM2835-ARM-Peripherals.pdf, pages 102-103

Ecrire une valeur sur une broche

Deux bits par broche : SET & CLEAR
4 registres 32 bits puisqu'il y a 54 GPIOs

adresse BUS

0x 7E20 001C	GPSET0	GPIO Pin Output Set 0	32	W
0x 7E20 0020	GPSET1	GPIO Pin Output Set 1	32	W
0x 7E20 0024	-	Reserved	-	-
0x 7E20 0028	GPCLR0	GPIO Pin Output Clear 0	32	W
0x 7E20 002C	GPCLR1	GPIO Pin Output Clear 1	32	W

Bit(s)	Field Name	Description	Type	Reset
31-0	SETn (n=0..31)	0 = No effect 1 = Set GPIO pin *n*	R/W	0

Table 6-8 – GPIO Output Set Register 0

Bit(s)	Field Name	Description	Type	Reset
31-0	CLRn (n=0..31)	0 = No effect 1 = Clear GPIO pin *n*	R/W	0

Table 6-10 – GPIO Output Clear Register 0

Lire la valeur d'une broche

1 seul bit par broche qui recopie sa valeur

0x 7E20 0034	GPLEV0	GPIO Pin Level 0	32	R
0x 7E20 0038	GPLEV1	GPIO Pin Level 1	32	R

Bit(s)	Field Name	Description	Type	Reset
31-0	LEVn (n=0..31)	0 = GPIO pin *n* is low 0 = GPIO pin *n* is high	R/W	0

Table 6-12 – GPIO Level Register 0

Qu'allez-vous faire au TP ?

Vous allez …

- écrire un programme qui va mapper les registres de contrôle dans l'espace utilisateur (root)
- allumer et éteindre des LEDs
- lire un bouton poussoir

Ce n'est pas bien difficile mais ce sera un test pour votre niveau en langage C

FAQ Raspberry Pi

1. Informations générales (3)
2. Introduction (4)
3. Achat et expédition (7)
4. Généralités (15)
5. Considérations de performance et de coût (8)
6. Module Caméra (9)
7. Boîtier (2)
8. Vidéo (5)
9. Audio (2)
10. Consommation, alimentation (4)
11. OS & Software (9)
12. Carte SD et espace de stockage (9)
13. Réseau, USB et réseau sans fil (6)
14. Utilisation scolaire (1)
15. Glossaire (1)

Présentation Arduino

Carte-s Arduino ...

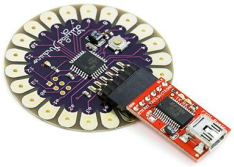
http://arduino.cc/en/Products.Compare

< 3.5 €

Pro-Mini -- LilyPad

ATmega168 - 16kB - 8MHz

14 ES num - 6 PWM - 6 An



< 3 €

Nano

ATmega328 - 32kB - 16MHz

14 ES num - 6 PWM - 8 An

UNO :

ATmega328 - 32kB + 2kB - 16MHz

14 ES num - 6 PWM - 6 An

Intel Galieo2

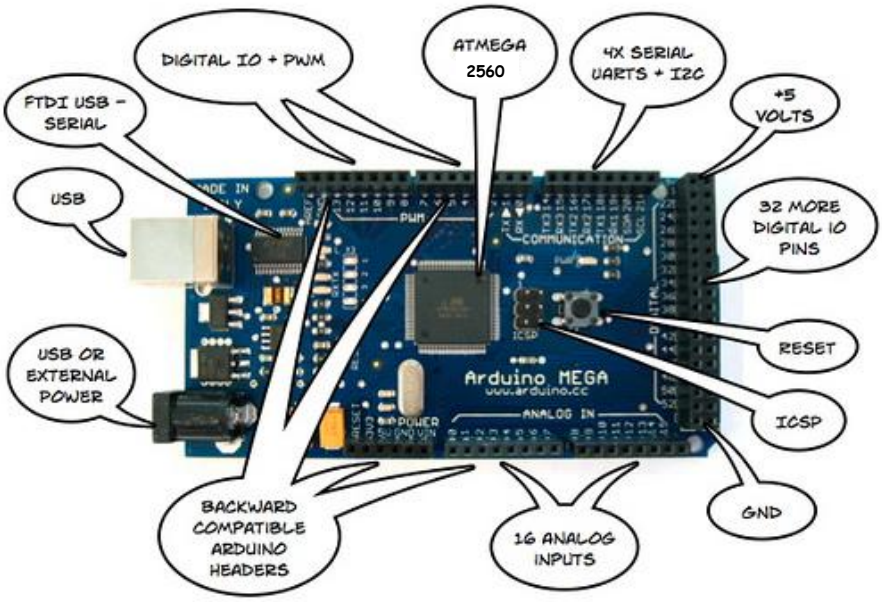
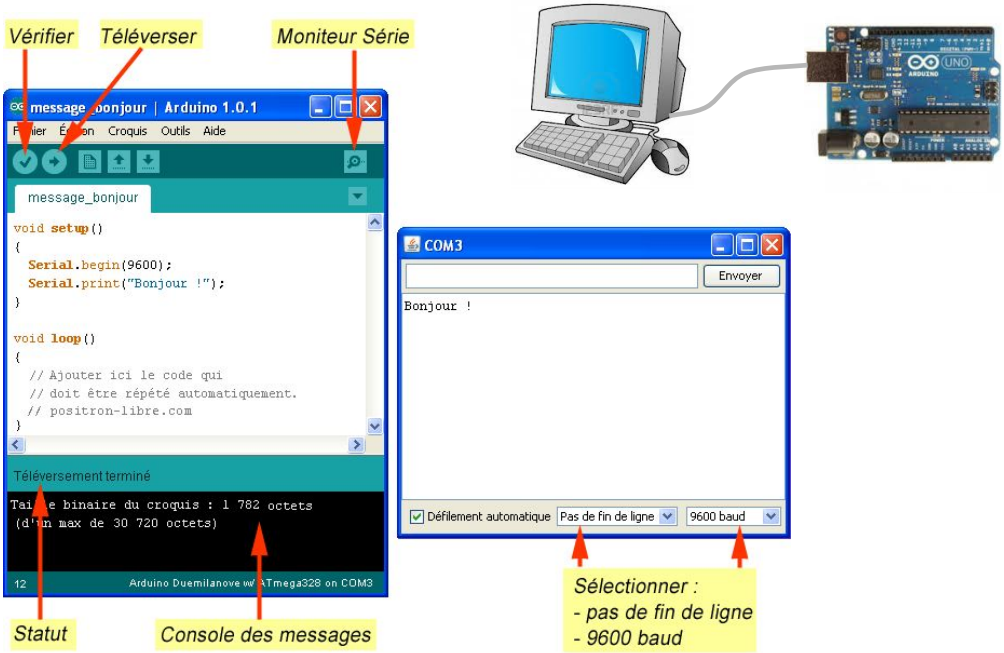
SoC 32b (pentium)

Mega :

ATmega 2560 - 256kB + 8kB - 16MHz

54 ES num - 14 PWM - 16 An

Arduino ATmega2560 : Vue d'ensemble



Programmation de l'arduino