Les GPIO du Raspberry Pi

Le Raspberry Pi offre quelques possibilités d'entrées-sorties directes en utilisant les broches GPIO présentes sur son connecteur P1. Elles ne sont pas très nombreuses (une dizaine) mais cela peut suffire pour des petits projets interactifs nécessitant d'interroger des capteurs tout-ou-rien ou de valider des actionneurs.

Nous pouvons utiliser ces GPIO de différentes façons, depuis l'espace utilisateur ou depuis le noyau. Voyons-en rapidement les principaux aspects…

https://www.blaess.fr/christophe/2012/11/26/les-gpio-du-raspberry-pi/

Les broches GPIO

Sur le connecteur P1 du Raspberry Pi, nous pouvons trouver plusieurs broches consacrées aux entrées-sorties GPIO. Celles-ci peuvent être configurées individuellement en entrées ou en sorties numériques. Attention, la tension appliquée sur une borne d'entrée doit rester inférieure à 3.3 V.

Les GPIO directement accessibles sont les suivantes.

Broche	GPIO
3	0 (rev.1) ou 2 (rev.2)
5	1 (rev.1) ou 3 (rev.2)
7	4
11	17
12	18
13	21 (rev.1) ou 27 (rev.2)

Broche	GPIO
15	22
16	23
18	24
22	25

On peut remarquer que certaines broches (3, 5 et 13) ont changé d'affectations au gré des versions du Raspberry Pi, aussi évitera-t-on de les employer pour garder un maximum de portabilité aux applications.

Accès depuis l'espace utilisateur

L'accès simple, depuis le shell – ou tout autre programme de l'espace utilisateur – peut se faire très aisément grâce au système de fichiers `/sys`.

```
/ # cd /sys/class/gpio/
/sys/class/gpio # ls
export     gpiochip0  unexport
```

Demandons l'accès au GPIO 24 (broche 18).

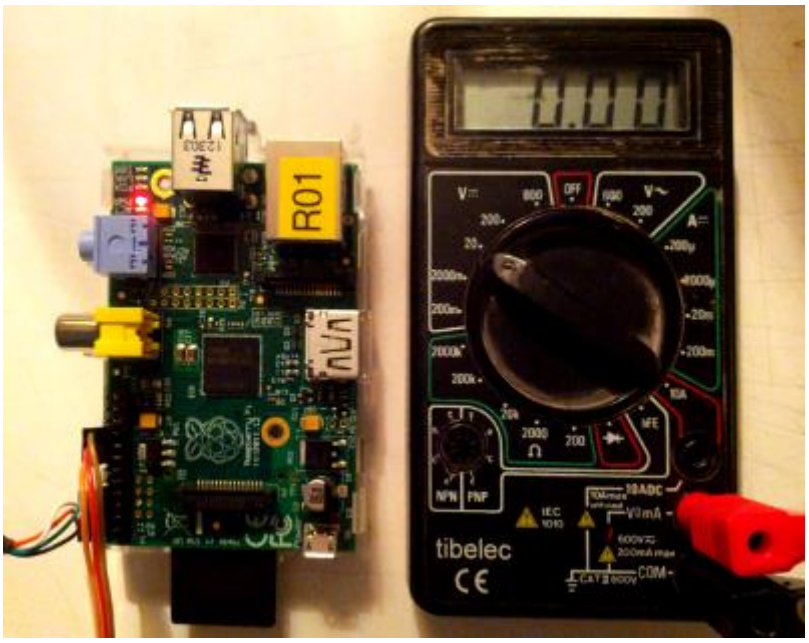
```
/sys/class/gpio # echo 24 > export
/sys/class/gpio # ls
export     gpio24     gpiochip0  unexport
/sys/class/gpio # cd gpio24/
/sys/devices/virtual/gpio/gpio24 # ls
active_low  direction   edge        subsystem   uevent      value
/sys/devices/virtual/gpio/gpio24 # cat direction
in
```

Sortie de signal

Par défaut, les broches GPIO sont dirigées en entrée. Inversons le sens du 24, puis regardons sa valeur.

```
/sys/devices/virtual/gpio/gpio24 # echo out > direction
/sys/devices/virtual/gpio/gpio24 # cat value
0
```

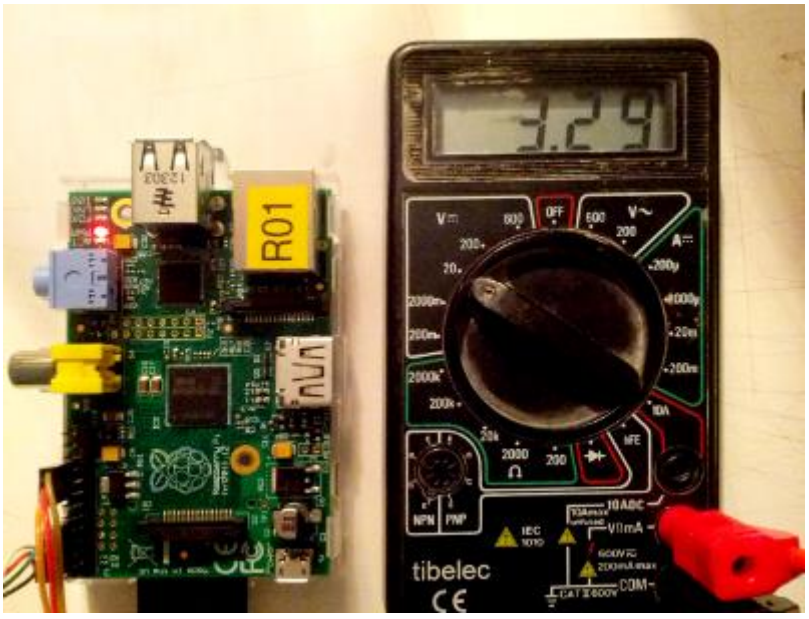
Effectivement, le voltmètre confirme qu'il n'y a pas de tension sur la broche.



Modifions l'état de la sortie

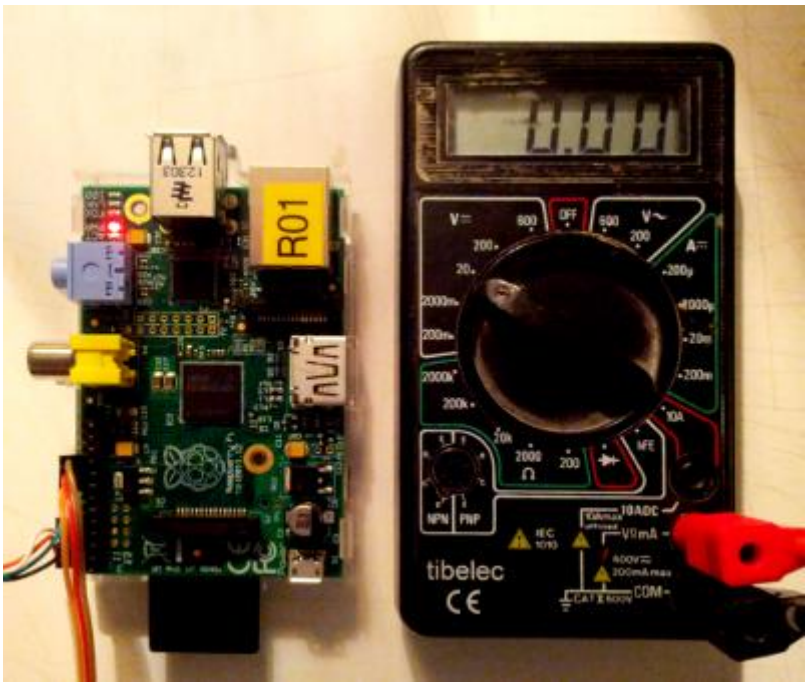
```
/sys/devices/virtual/gpio/gpio24 # echo 1 > value
```

Vérifions la tension.



Re-basculons la sortie à zéro.

```
/sys/devices/virtual/gpio/gpio24 # echo 0 > value
/sys/devices/virtual/gpio/gpio24 #
```



Lecture d'état

Demandons à présent l'accès à la broche 16 (Gpio 23)

```
# cd /sys/class/gpio/
/sys/class/gpio # echo 23 > export
/sys/class/gpio # ls
export     gpio23     gpio24     gpiochip0  unexport
/sys/class/gpio # cd gpio23/
/sys/devices/virtual/gpio/gpio23 # cat direction
in
```

Je relie la broche 16 à la broche 20 (*GND*), puis je lis la valeur d'entrée.

```
/sys/devices/virtual/gpio/gpio23 # cat value
0
```

Je relie à présent la broche 16 à la broche 17 (*+3.3V*)

```
/sys/devices/virtual/gpio/gpio23 # cat value
1
```

Retour à nouveau sur la broche 20 (*GND*).

```
/sys/devices/virtual/gpio/gpio23 # cat value
0
/sys/devices/virtual/gpio/gpio23 #
```

Accès depuis le kernel

Lectures et écritures

Nous pouvons écrire un petit module pour accéder en lecture et écriture aux mêmes broches. Dans le module ci-dessous un timer à 8Hz fait clignoter la sortie sur la broche 18 seulement si la broche 16 est mise à 1 (+3.3V).

rpi-gpio-1.c

```
#include <linux/module.h>
#include <linux/timer.h>
#include <linux/gpio.h>
#include <linux/fs.h>

// Sortie sur broche 18 (GPIO 24)
#define RPI_GPIO_OUT 24

// Entree sur broche 16 (GPIO 23)
#define RPI_GPIO_IN  23

static struct timer_list rpi_gpio_1_timer;

static void rpi_gpio_1_function (unsigned long unused)
{
  static int value = 1;
  value = 1 - value;
  if (gpio_get_value(RPI_GPIO_IN) == 0)
    value = 0;
  gpio_set_value(RPI_GPIO_OUT, value);
  mod_timer(& rpi_gpio_1_timer, jiffies+ (HZ >> 3));
}

static int __init rpi_gpio_1_init (void)
{
  int err;

  if ((err = gpio_request(RPI_GPIO_IN,THIS_MODULE->name)) != 0)
    return err;
  if ((err = gpio_request(RPI_GPIO_OUT,THIS_MODULE->name)) != 0) {
    gpio_free(RPI_GPIO_IN);
    return err;
  }
  if ((err = gpio_direction_input(RPI_GPIO_IN)) != 0) {
    gpio_free(RPI_GPIO_OUT);
    gpio_free(RPI_GPIO_IN);
    return err;
  }
  if ((err = gpio_direction_output(RPI_GPIO_OUT,1)) != 0) {
    gpio_free(RPI_GPIO_OUT);
    gpio_free(RPI_GPIO_IN);
    return err;
  }

  init_timer(& rpi_gpio_1_timer);
  rpi_gpio_1_timer.function = rpi_gpio_1_function;
  rpi_gpio_1_timer.data = 0; // non utilise
  rpi_gpio_1_timer.expires = jiffies + (HZ >> 3);
  add_timer(& rpi_gpio_1_timer);
```

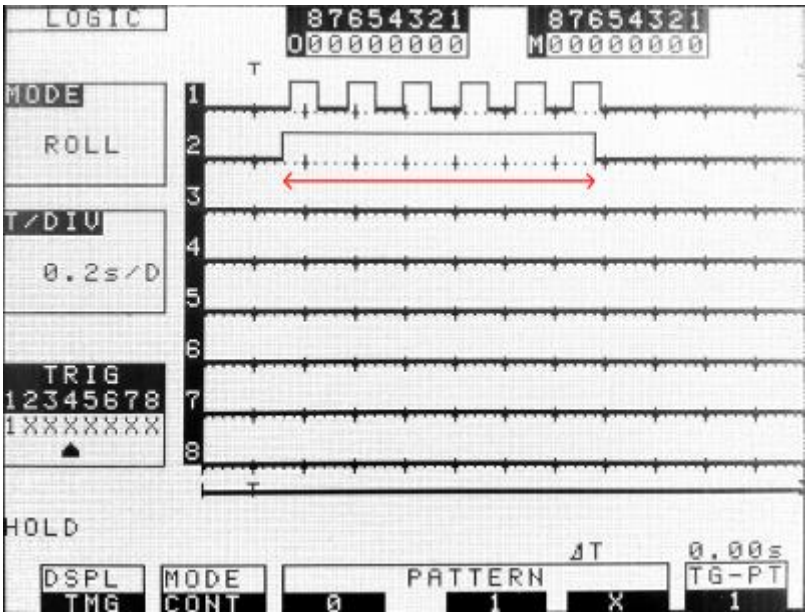
```
  return 0;
}

static void __exit rpi_gpio_1_exit (void)
{
  del_timer(& rpi_gpio_1_timer);
  gpio_free(RPI_GPIO_OUT);
  gpio_free(RPI_GPIO_IN);
}

module_init(rpi_gpio_1_init);
module_exit(rpi_gpio_1_exit);
MODULE_LICENSE("GPL");
```

La compilation se fait avec le fichier `Makefile` suivant. Les lignes `KERNEL_DIR` et `CROSS_COMPILE` indiquent respectivement l'emplacement du répertoire de compilation du noyau pour le Raspberry Pi et le préfixe pour la toolchain sur mon système. Il faut les adapter à votre environnement.

Makefile

```
ifneq (${KERNELRELEASE},)

  obj-m += rpi-gpio-1.o

else
  ARCH          ?= arm
  KERNEL_DIR ?= ~/linux-3.2.27
  CROSS_COMPILE ?= /usr/local/cross/rpi/bin/arm-linux-
  MODULE_DIR    := $(shell pwd)
  CFLAGS        := -Wall

all: modules

modules:
  ${MAKE} -C ${KERNEL_DIR} ARCH=${ARCH} CROSS_COMPILE=${CROSS_COMPILE}
SUBDIRS=${MODULE_DIR} modules

clean:
  rm -f  *.o  .*.o  .*.o.* *.ko  .*.ko  *.mod.* .*.mod.* .*.cmd
  rm -f Module.symvers Module.markers modules.order
  rm -rf .tmp_versions
endif
```

Après compilation et transfert sur le Raspberry Pi, nous chargeons le module et observons à l'aide d'un analyseur logique les deux broches 16 (canal 2) et 18 (canal 1), tandis qu'un signal de +3.3V est envoyé sur la broche 16.



Durant la période (mise en évidence par un trait rouge) où la broche 16 se voit appliquer une tension de +3.3V, nous voyons bien une oscillation de la sortie sur la broche 18.

Interruptions

À présent nous allons traiter les interruptions déclenchées par une entrée GPIO. Le module ci-dessous installe un handler d'interruption pour le GPIO 23 (broche 16). À chaque déclenchement de l'interruption, notre handler basculera l'état de la broche de sortie 18 (GPIO 24).

rpi-gpio-2.c

```
#include <linux/interrupt.h>
#include <linux/module.h>
#include <linux/gpio.h>

// Sortie sur broche 18 (GPIO 24)
#define RPI_GPIO_OUT 24

// Entree sur broche 16 (GPIO 23)
#define RPI_GPIO_IN  23

static irqreturn_t rpi_gpio_2_handler(int irq, void * ident)
{
  static int value = 1;

  gpio_set_value(RPI_GPIO_OUT, value);
  value = 1 - value;

  return IRQ_HANDLED;
}

static int __init rpi_gpio_2_init (void)
{
  int err;

  if ((err = gpio_request(RPI_GPIO_OUT, THIS_MODULE->name)) != 0)
    return err;
```

```
  if ((err = gpio_request(RPI_GPIO_IN, THIS_MODULE->name)) != 0) {
    gpio_free(RPI_GPIO_OUT);
    return err;
  }

  if ((err = gpio_direction_output(RPI_GPIO_OUT,1)) != 0) {
    gpio_free(RPI_GPIO_OUT);
    gpio_free(RPI_GPIO_IN);
    return err;
  }

  if ((err = gpio_direction_input(RPI_GPIO_IN)) != 0) {
    gpio_free(RPI_GPIO_OUT);
    gpio_free(RPI_GPIO_IN);
    return err;
  }

  if ((err = request_irq(gpio_to_irq(RPI_GPIO_IN), rpi_gpio_2_handler,
IRQF_SHARED | IRQF_TRIGGER_RISING, THIS_MODULE->name, THIS_MODULE->name))
!= 0) {
    gpio_free(RPI_GPIO_OUT);
    gpio_free(RPI_GPIO_IN);
    return err;
  }

  return 0;
}

static void __exit rpi_gpio_2_exit (void)
{
  free_irq(gpio_to_irq(RPI_GPIO_IN), THIS_MODULE->name);
  gpio_free(RPI_GPIO_OUT);
  gpio_free(RPI_GPIO_IN);
}

module_init(rpi_gpio_2_init);
module_exit(rpi_gpio_2_exit);
MODULE_LICENSE("GPL");
```

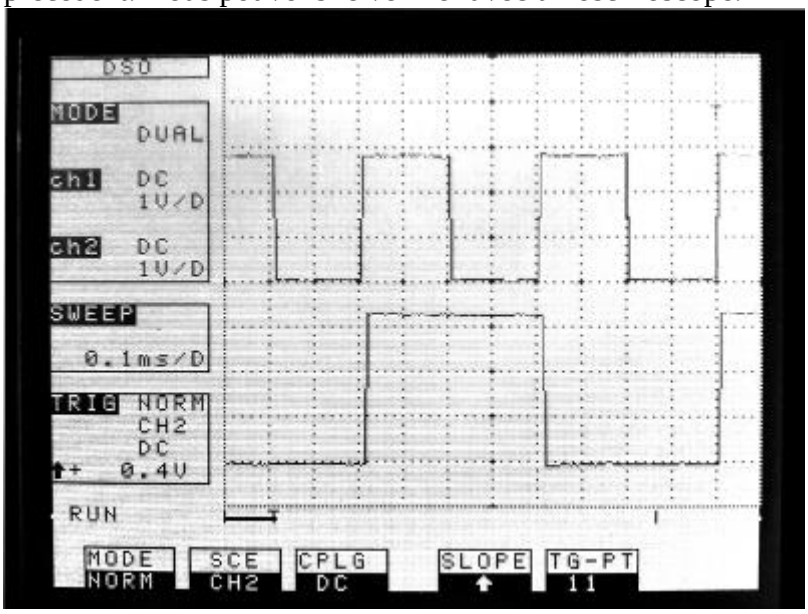
Le second module ayant été ajouté dans le `Makefile`, nous pouvons le compiler de la même façon que le précédent. Transférons-le sur le Raspberry Pi, puis chargeons-le dans le kernel.

```
/ # cat /proc/interrupts
           CPU0
  3:        362   ARMCTRL  BCM2708 Timer Tick
 32:        419   ARMCTRL  dwc_otg, dwc_otg_pcd, dwc_otg_hcd:usb1
 52:          0   ARMCTRL  BCM2708 GPIO catchall handler
 65:         20   ARMCTRL  ARM Mailbox IRQ
 66:          1   ARMCTRL  VCHIQ doorbell
 77:        123   ARMCTRL  bcm2708_sdhci (dma)
 83:         18   ARMCTRL  uart-pl011
 84:        317   ARMCTRL  mmc0
FIQ:             usb_fiq
Err:          0
/ # insmod rpi-gpio-2.ko
/ # cat /proc/interrupts
           CPU0
  3:        434   ARMCTRL  BCM2708 Timer Tick
 32:        463   ARMCTRL  dwc_otg, dwc_otg_pcd, dwc_otg_hcd:usb1
```

```
 52:          0   ARMCTRL  BCM2708 GPIO catchall handler
 65:         28   ARMCTRL  ARM Mailbox IRQ
 66:          1   ARMCTRL  VCHIQ doorbell
 77:        124   ARMCTRL  bcm2708_sdhci (dma)
 83:        119   ARMCTRL  uart-pl011
 84:        326   ARMCTRL  mmc0
193:          0      GPIO  rpi_gpio_2
FIQ:             usb_fiq
Err:          0
/ #
```

Nous voyons que la ligne d'interruption (numéro 193) est apparue dans `/proc/interrupts`. Pour l'instant aucune interruption ne s'est déclenchée. Connectons sur cette entrée un Générateur-Basse-Fréquence, qui lui envoie un signal carré [0, +3.3V] de 2.5kHz environ.

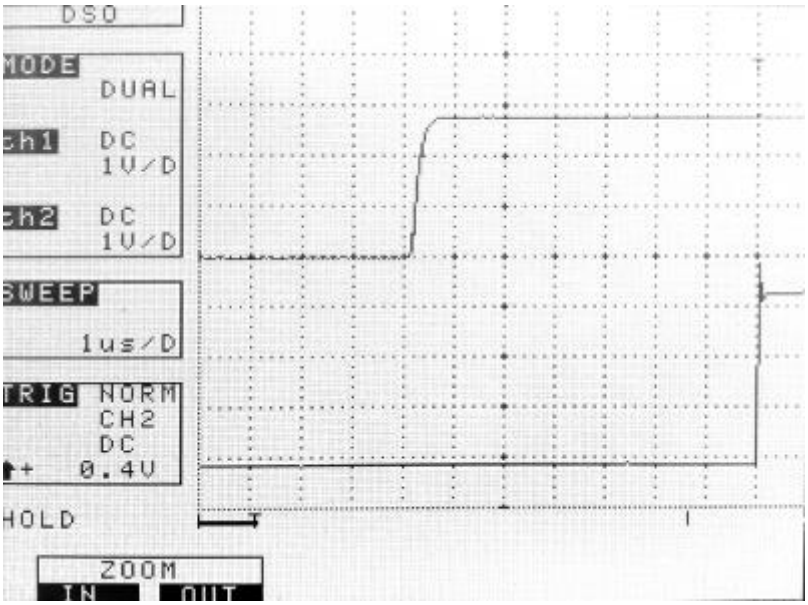
Aussitôt un signal carré apparaît sur la broche de sortie, avec une fréquence moitié du précédent. Nous pouvons le vérifier avec un oscilloscope.



Nous pouvons également vérifier dans `/proc/interrupts` que le nombre d'interruptions 193 traitées progresse régulièrement.

```
/ # cat /proc/interrupts
           CPU0
  3:        646   ARMCTRL  BCM2708 Timer Tick
 32:        617   ARMCTRL  dwc_otg, dwc_otg_pcd, dwc_otg_hcd:usb1
 52:      29791   ARMCTRL  BCM2708 GPIO catchall handler
 65:         60   ARMCTRL  ARM Mailbox IRQ
 66:          1   ARMCTRL  VCHIQ doorbell
 75:          1   ARMCTRL
 77:        124   ARMCTRL  bcm2708_sdhci (dma)
 83:        187   ARMCTRL  uart-pl011
 84:        342   ARMCTRL  mmc0
193:      29792      GPIO  rpi_gpio_2
FIQ:             usb_fiq
Err:          0
/ #
```

En zoomant sur le point de déclenchement, nous mesurons la durée de prise en compte de l'interruption.



La durée entre la montée du signal d'entrée et la réponse du handler est d'environ 7 micro-secondes, ce qui est tout à fait correct pour cette gamme de microprocesseur.

Conclusion

L'accès aux GPIO du port d'extension du Raspberry Pi est très simple, tant depuis l'espace utilisateur que depuis le noyau. Il existe d'autres broches permettant des entrées-sorties GPIO, mais elles ont une autre fonctionnalité par défaut (RS-232, SPI, etc.).

Il serait également intéressant d'accéder aux GPIO depuis un driver RTDM pour Xenomai. Ceci fera l'objet d'un prochain article.