

François MOCQ



+ QUIZ

Version en ligne
OFFERTE !
pendant 1 an

Raspberry Pi 4

Exploitez tout le potentiel
de votre nano-ordinateur
(inclus : un projet de station météo)

En téléchargement



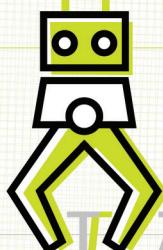
des programmes



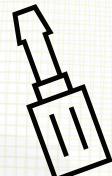
de la documentation



une Webographie



LA FABRIQUE





Les éléments à télécharger sont disponibles à l'adresse suivante :

<http://www.editions-eni.fr>

Saisissez la référence ENI de l'ouvrage **LF4RASP** dans la zone de recherche et validez. Cliquez sur le titre du livre puis sur le bouton de téléchargement.

Avant-propos

Chapitre 1

Raspberry Pi 4 model B

1. Introduction	17
2. Les composants du Raspberry Pi 4	18
2.1 Vue de dessus	18
2.2 Vue de dessous	19
3. Le SoC du Raspberry Pi 4	19
3.1 Le CPU	19
3.2 Le GPU	20
3.3 La mémoire	21
4. Les ports USB et Ethernet du Raspberry Pi 4	22
4.1 USB 3 et USB 2	22
4.2 Ethernet Gigabit	22
4.3 Ports USB et Ethernet	23
5. Le Wi-Fi et le Bluetooth du Raspberry Pi 4	24
6. Les sorties vidéo du Raspberry Pi 4	25
6.1 Vidéo numérique	25
6.2 Vidéo analogique	26
7. Les sorties audio	26
7.1 Audio numérique	26
7.2 Audio analogique	27
8. Le bus CSI du Raspberry Pi 4	27
9. Le bus DSI du Raspberry Pi 4	28
10. Le GPIO du Raspberry Pi 4	28

2 Raspberry Pi 4 - Exploitez tout le potentiel de votre nano-ordinateur

11. L'alimentation du Raspberry Pi 4	29
11.1 Par la prise d'alimentation	29
11.2 Par la PoE	31
11.3 Par le GPIO	31
11.4 Par les ports USB	32
11.4.1 Alimentation des périphériques	32
11.4.2 Alimentation du Raspberry Pi	32
11.5 Les bornes RUN et GLOBAL_EN	32
12. Le connecteur de carte micro SD du Raspberry Pi 4	33
13. Problème de boot	34
14. Les LED d'état du Raspberry Pi 4	35
15. Les dimensions physiques du Raspberry Pi 4	36
16. Conclusion	36

Chapitre 2 Raspberry Pi 3 B+

1. Introduction	37
2. Les composants du Raspberry Pi 3 B+	38
2.1 Vue de dessus	38
2.2 Vue de dessous	39
3. Le SoC du Raspberry Pi 3 B+	39
3.1 Le CPU	39
3.2 Le GPU	40
3.3 La mémoire	42
4. Les ports USB et Ethernet du Raspberry Pi 3 B+	43
5. Le Wi-Fi et le Bluetooth du Raspberry Pi 3 B+	45
6. Les sorties vidéo du Raspberry Pi 3 B+	46
6.1 Vidéo numérique	46
6.2 Vidéo analogique	48
6.3 Les sorties audio	51
6.3.1 Audio numérique	51
6.3.2 Audio analogique	51
7. Le bus CSI du Raspberry Pi 3 B+	52

8. Le bus DSI du Raspberry Pi 3 B+.....	55
9. Le GPIO du Raspberry Pi 3 B+	56
10. L'alimentation du Raspberry Pi 3 B+.....	57
10.1 Par la prise d'alimentation	57
10.1.1 Différence entre chargeur et alimentation.....	58
10.1.2 Importance du câble USB.....	60
10.1.3 Alimentation officielle	61
10.1.4 Indicateur de sous-tension	61
10.2 Par la PoE	62
10.3 Par le GPIO	64
10.4 Par les ports USB.....	66
10.4.1 Alimentation des périphériques	66
10.4.2 Alimentation du Raspberry Pi.....	66
10.5 Les bornes RUN et PEN	67
11. Le connecteur de carte micro SD du Raspberry Pi 3 B+.....	68
12. Les LED d'état du Raspberry Pi 3 B+.....	69
13. Les dimensions physiques du Raspberry Pi 3 B+.....	70
14. L'horloge temps réel	71
15. Conclusion	72

Chapitre 3

Raspberry Pi 3 A+

1. Présentation	73
2. Les composants du Raspberry Pi 3 A+.....	74
2.1 Les composants identiques au B+.....	74
2.2 Vue de dessus.....	75
2.3 Vue de dessous.....	76
2.4 Vue latérale	76
2.5 Le port USB du Raspberry Pi 3 A+.....	77
2.6 Wi-Fi - Bluetooth.....	77
2.7 LED ACT et PWR.....	78
3. Les dimensions physiques	79
4. Tableau comparatif modèles 3 et 4	80

4 Raspberry Pi 4 - Exploitez tout le potentiel de votre nano-ordinateur

Chapitre 4

Préparer la carte micro SD

1. Introduction	81
2. Préparation de la carte micro SD.....	82
2.1 Accès à la carte micro SD.....	82
2.2 Acquisition d'une carte SD prête à l'emploi.....	83
3. Installation du système d'exploitation	83
3.1 Le site de téléchargement de la Fondation.....	84
3.2 Installation d'un OS avec NOOBS.....	85
3.2.1 Téléchargement de NOOBS.....	85
3.2.2 Vérification du téléchargement.....	87
3.2.3 Formatage de la carte micro SD	89
3.2.4 Copie de NOOBS sur la carte micro SD	93
3.2.5 Démarrage de NOOBS	95
3.2.6 Conclusion	100
3.3 Installation d'une image de Raspbian	101
3.3.1 Téléchargement de Raspbian.....	101
3.3.2 Transfert de Raspbian sur la carte micro SD	102
3.3.3 Sous Windows 10	103
3.3.4 Sous Linux Debian.....	105
4. Conclusion.....	108

Chapitre 5

Démarrer Raspbian

1. Préparation du Raspberry Pi	109
2. Mise en place de la carte SD	109
3. Connexion des câbles	110
3.1 Raspberry Pi 4	111
3.2 Raspberry Pi 3 B+	111
3.3 Raspberry Pi 3 A+	112

4. Mise sous tension	112
4.1 Démarrage de Raspbian Desktop	112
4.1.1 Configuration initiale	112
4.1.2 Redémarrage de Raspbian Desktop	116
4.2 Démarrage de Raspbian Lite	117
4.2.1 Création de la carte micro SD	117
4.2.2 Démarrage du système	117
4.3 Configuration avec raspi-config	118
4.3.1 Démarrage de raspi-config	119
4.3.2 Utilisation de raspi-config	119
4.3.3 Raspbian en mode headless	121
5. Conclusion	124

Chapitre 6

Utiliser le mode graphique

1. Introduction	125
2. Découverte de l'écran de Raspbian Buster	126
3. Le tableau de bord	126
3.1 Icônes à gauche	126
3.1.1 Menu principal	127
3.1.2 Navigateur web	128
3.1.3 Gestionnaire de fichiers	128
3.1.4 Terminal	128
3.1.5 Corbeille	129
3.2 Icônes à droite	129
3.2.1 Bluetooth	129
3.2.2 Réseau Ethernet et Wi-Fi	130
3.2.3 Son	130
3.2.4 Charge CPU	131
3.2.5 Horloge	131
3.2.6 Ejection	132
3.3 Ajouter/retirer des icônes	132
3.3.1 Sur le bureau	132
3.3.2 Dans le tableau de bord	133

6 Raspberry Pi 4 - Exploitez tout le potentiel de votre nano-ordinateur

4. Configurer le Raspberry Pi 4	136
4.1 Onglet Système	137
4.2 Onglet Interfaces	139
4.3 Onglet Performance	139
4.4 Onglet Localisation	140
4.5 Redémarrage du système	140
4.6 Gestion du double écran	141
4.7 Aspect du bureau	143
4.8 Configuration de la vidéo	144
4.9 Arrêt du système	145
5. Conclusion	146

Chapitre 7

Utiliser la ligne de commande

1. Introduction	147
2. L'arborescence de Linux	149
3. La ligne de commande	151
3.1 Connexion à Raspbian	151
3.1.1 Connexion en utilisateur normal	152
3.1.2 Connexion en root	155
3.2 Se déplacer dans l'arborescence	158
3.2.1 Identifier le répertoire courant	158
3.2.2 Lister le contenu d'un répertoire	158
3.2.3 Changer de répertoire	160
3.2.4 Chemin relatif et chemin absolu	161
3.2.5 Modifier l'arborescence	163
3.3 Gérer les fichiers	165
3.3.1 Copier les fichiers	165
3.3.2 Déplacer et renommer les fichiers	167
3.3.3 Supprimer les fichiers	167
3.3.4 Afficher le contenu d'un fichier	168
3.3.5 Modifier le contenu d'un fichier	169
3.3.6 Compresser et décompresser un fichier	170

3.4 Accélérer la frappe des commandes.....	172
3.4.1 Rappel des commandes précédentes.....	172
3.4.2 Autocomplétion.....	174
3.5 Administrer le système.....	176
3.5.1 Gérer les utilisateurs et les groupes.....	176
3.5.2 Gérer les dépôts.....	181
3.5.3 Tenir le système à jour	182
3.5.4 Installer/supprimer un programme	184
3.5.5 Gérer les droits	186
3.5.6 Connaitre l'occupation de la carte micro SD.....	192
3.5.7 Écrire un script shell.....	193
3.5.8 Planifier des tâches.....	194
3.5.9 Gérer les processus.....	196
3.5.10 Configurer la date du système.....	200
4. Sauvegarder votre configuration.....	201
4.1 Sauvegarde de la carte micro SD sous Windows 10.....	201
4.2 Sauvegarde de la carte micro SD sous Debian	202
5. Conclusion.....	203

Chapitre 8

Le GPIO du Raspberry Pi

1. Description de l'interface GPIO	205
1.1 Présentation du GPIO.....	205
1.2 Connecteur GPIO J8.....	206
1.3 Caractéristiques techniques des E/S	209
1.3.1 Numérotation des E/S.....	209
1.3.2 Schéma de l'interface GPIO.....	210
1.3.3 Hystérésis.....	211
1.3.4 Seuil du signal d'entrée.....	211
1.3.5 Limitation du courant de sortie	211
1.3.6 Résistance de tirage	212
1.3.7 Configurations dangereuses.....	212
1.4 Liaison GPIO - breadboard.....	214
1.4.1 Fils Dupont.....	214
1.4.2 Carte T-Cobbler.....	215

8 Raspberry Pi 4 - Exploitez tout le potentiel de votre nano-ordinateur

1.4.3 Carte RasPi0 PiBridge	216
2. Conclusion	217

Chapitre 9 Matériel utilisé

1. Introduction	219
2. Carte de prototypage	219
3. Câbles Dupont	221
4. Principe de la résistance	221
5. Diode LED	222
5.1 Principe de la LED	222
5.2 Résistance de protection	223
5.3 Calcul de la résistance de protection	223
5.4 Connexion d'une diode LED à un GPIO	224
6. Bouton poussoir/interrupteur	225
6.1 Utilisation du GPIO en entrée	226
6.2 Inconvénients du bouton poussoir	227
7. LED RVB	227
8. LED adressable	229
9. Anneau et ruban de LED adressables	230
10. Matrice de LED	231
10.1 Principe	231
10.2 Module 7219 + matrice	232
10.3 Chaînage des modules	232
10.4 Activation du bus SPI	233
11. Servomoteur	233
11.1 Principe	233
11.2 Commande PWM	234
11.3 Connexion du servomoteur	234
11.4 Connexion au Raspberry Pi	235
12. Codeur incrémental	235
13. Matériel complémentaire	237

Chapitre 10

Choix du langage

1. Quel langage pour développer ?	239
1.1 Une nébuleuse de langages	239
1.1.1 Langages interprétés	239
1.1.2 Langages compilés	240
1.2 Le choix de l'Éducation nationale	240
1.3 Le langage Python	241
2. Les bibliothèques pour le Raspberry Pi	242
2.1 RPi.GPIO	242
2.2 RPIO.GPIO	242
2.3 WiringPi	242
2.4 pigpio	243
2.5 gpiozero	243
3. Écrire un script en Python	244
3.1 Avec un IDE	244
3.1.1 Démarrer l'IDE Thonny	244
3.1.2 Présentation de l'écran de Thonny IDE	245
3.1.3 Les possibilités de Thonny IDE	246
3.2 Thonny en mode sudo	246
3.2.1 Modifier le fichier de lancement de Thonny	247
3.2.2 Menu Programmation	248
3.3 Avec nano	248

Chapitre 11

Gérer le GPIO avec Python

1. Introduction	249
2. Allumer une LED	249
2.1 Connecter la LED au GPIO	250
2.2 Piloter la LED en Python	250
2.2.1 En Shell	250
2.2.2 Chargement partiel de gpiozero	251
2.2.3 Par script Python	252
2.3 Conclusion	253

10 Raspberry Pi 4 - Exploitez tout le potentiel de votre nano-ordinateur

3. Exécuter un script Python en shell	254
3.1 Exécuter directement le script	254
3.1.1 Le shebang #!	254
3.1.2 Rendre le script exécutables	254
3.2 Différence IDE/ligne de commande	255
4. Utiliser un bouton poussoir	256
4.1 Connecter le bouton poussoir au GPIO	256
4.2 Lire la position du bouton poussoir	258
4.2.1 Afficher la position du bouton poussoir	258
4.2.2 Attendre l'appui sur le bouton	259
4.3 Exécuter une fonction	261
4.3.1 Fonction en Python	261
4.3.2 Fonction Python et bouton poussoir	262
4.4 Conclusion	264
5. Allumer une LED avec le bouton poussoir	264
5.1 Méthode "classique"	264
5.2 Méthode "rapide"	265
6. Projet 1 : Réaliser un feu tricolore	266
6.1 Cahier des charges	266
6.2 Câblage du feu tricolore	266
6.3 Script du feu tricolore	267
6.3.1 Feu tricolore - version 1	267
6.3.2 Feu tricolore - version 2	268
6.3.3 Feu tricolore pour passage piéton	269
7. Variation de luminosité de la LED	271
7.1 Clignotement	271
7.1.1 Par défaut	271
7.1.2 Modification du clignotement	272
7.2 Variation continue de luminosité	272
7.2.1 MLI - PWM	272
7.2.2 Pulsation	273
7.2.3 Variation programmée	274
8. Projet 2 : Variation de Luminosité	275
8.1 Cahier des charges	275
8.2 Câblage du variateur de luminosité	275
8.3 Analyse du déroulement du script	276

8.4 Écriture du script	277
8.5 Les particularités	278
8.5.1 Virgule flottante	278
8.5.2 Inégalité	278
9. Projet 3 : Jeu de réflexes	279
9.1 Cahier des charges	279
9.2 Câblage du jeu de réflexes	279
9.3 Écriture du script	279
9.4 Amélioration du script	280
9.5 Une solution possible	280
10. LED tricolore RVB	281
10.1 Brochage de la LED RVB	282
10.2 Câblage de la LED RVB	282
10.3 Script Python pour tester la LED RVB	283
10.4 Changer la couleur de la LED	284
10.4.1 Cahier des charges	284
10.4.2 Câblage	285
10.4.3 Script du changement de couleur	285
11. LED RVB adressable	286
11.1 Bibliothèque néopixel	287
11.2 Connexion des LED RGB	287
11.3 Test des LED WS2812	288
11.4 Allumer les LED d'un ruban/anneau	288
11.4.1 Cahier des charges	288
11.4.2 Amélioration du programme	290
11.4.3 Proposition de solution	290
11.4.4 Allumer une LED à la fois	291
11.4.5 Effet "trainée lumineuse"	292
12. Gestion d'une matrice de LED	295
12.1 Installation de la bibliothèque	295
12.2 Connexion des matrices	296
12.3 Test avec un exemple existant	297
12.4 Police de caractères 437	298
12.5 Insérer un caractère dans une chaîne	300
12.5.1 Insertion d'un caractère spécial chr()	300
12.5.2 Insertion au format hexadécimal	300

12 Raspberry Pi 4 - Exploitez tout le potentiel de votre nano-ordinateur

13. Projet 4 : Journal lumineux	300
13.1 Cahier des charges	300
13.2 Câblage du journal lumineux	301
13.3 Script du journal lumineux	301
14. Piloter un servomoteur	302
14.1 Câblage	303
14.2 Script de commande du servomoteur	303
14.2.1 Positions prédéterminées	303
14.2.2 Positions variables	304
15. Codeur rotatif incrémental	305
15.1 Cahier des charges	305
15.2 Branchement au GPIO	305
15.3 Programme	305
15.4 Amélioration du programme	306
16. Projet 5 : Défilement de couleurs	308
16.1 Cahier des charges	308
16.2 Câblage	308
16.3 Script de défilement de couleurs	308
17. Carte d'acquisition analogique	310
17.1 Choix de la carte	310
17.2 Montage	311
17.3 Test	312
17.3.1 Composants utilisés	312
17.3.2 Schéma de test	312
17.3.3 Câblage	313
17.4 Script de mesure	313
18. Conclusion	314

Chapitre 12 Station Météo

1. Présentation	315
2. Cahier des charges	316
3. Abri Stevenson	316

4. Température, humidité, pression.....	318
4.1 Principe	318
4.1.1 Température, humidité, pression.....	318
4.1.2 Composés organiques volatils	319
4.2 Bus I2C et bus SPI	321
4.3 Connexion du BME680	322
4.4 Test du bus I2C.....	322
4.5 Installation des dépendances.....	323
4.6 Script de mesure TPH	324
4.6.1 Affichage des mesures T, P, H	324
4.6.2 Réglage des mesures T, P, H	325
4.6.3 Valeurs permises.....	326
4.7 Script de mesure des VOC	326
4.7.1 Activation du capteur VOC.....	327
4.7.2 Mesure de la résistance.....	327
4.7.3 Affichage des mesures	328
4.8 Projet 6 : Mesures climatiques.....	329
4.8.1 Cahier des charges	329
4.8.2 Connexion du BME680	329
4.8.3 Script de lecture/affichage.....	329
5. Anémomètre	331
5.1 Principe	331
5.2 ILS	331
5.3 Fonctionnement	332
5.4 Connectique de l'anémomètre.....	333
5.5 Carte de connexion Dev-Lex.....	334
5.6 Test de l'anémomètre	335
5.7 Mesure de la vitesse du vent.....	336
5.8 Étalonnage de l'anémomètre	340
6. Pluviomètre	341
6.1 Principe	341
6.2 Fonctionnement	342
6.3 Connectique du pluviomètre	343
6.4 Test du pluviomètre.....	344
6.5 Mesure d'un niveau de pluie	344

14 Raspberry Pi 4 - Exploitez tout le potentiel de votre nano-ordinateur

7. Girouette	348
7.1 Présentation	348
7.2 Principe	349
7.3 Connectique de la girouette	352
7.4 Test de la girouette	352
7.5 Mesure de la direction du vent	354
7.5.1 Conventions	354
7.5.2 Moyenne	355
7.5.3 Script de la girouette	356
8. Projet 6 : Station météo	359
8.1 Démarche progressive	359
8.2 Analyse des mesures	359
8.3 Connexion des éléments	360
8.4 Logigramme du script	361
8.5 Script de gestion de la station météo	362

Chapitre 13 Exporter les données

1. Par SMS	369
1.1 Présentation	369
1.2 Carte NadHAT	370
2. Avec Sigfox	371
3. Avec LoRa - LoRaWAN	372
4. Sur une page web	373
5. Sur un réseau de partage	373

Chapitre 14

Interface graphique

1. Choix de l'interface.....	375
2. Désactiver l'écran de veille	376
3. InfluxDB	376
3.1 Présentation	376
3.2 Installation d'InfluxDB	377
3.3 Configuration d'InfluxDB.....	378
3.3.1 Adresse IP et port	378
3.3.2 Base de données et utilisateur.....	379
4. Chronograf	380
4.1 Présentation	380
4.2 Installation	380
4.3 Configuration de la BDD	381
4.3.1 Suppression d'une BDD dans Chronograf	381
4.3.2 Création d'une BDD dans Chronograf.....	382
4.4 Connexion à la base de données.....	383
4.5 Installation de la bibliothèque InfluxDB	384
4.6 Script de test de la BDD.....	384
4.7 Création d'un tableau de bord	385
4.8 Ajout de cellules au tableau de bord Chronograf.....	387
5. Liaison avec le script météo.....	388
5.1 Script final	388
5.2 Exécution du script.....	394
5.3 Création d'un tableau de bord	395
5.4 Retour sur l'utilisation de Python	395
5.5 Démarrage automatique du script.....	396
6. Conclusion.....	397
Index	399



Chapitre 8

Le GPIO du Raspberry Pi

1. Description de l'interface GPIO

Le GPIO du Raspberry Pi est identique pour tous les modèles actuels. La compatibilité est assurée entre les différentes versions de la carte.

1.1 Présentation du GPIO

Les broches GPIO du Raspberry Pi sont reliées à un connecteur 40 points J8, situé sur un bord de la carte. Les broches du connecteur sont réparties sur deux rangées de 20 broches. 26 broches GPIO sont accessibles (GPIO 2 à GPIO 27).

Remarque

Les broches du connecteur sont également appelées pin (= aiguille en anglais). Ces deux termes sont équivalents et utilisés indifféremment dans cet ouvrage.

Ce sont des entrées/sorties numériques capables de fournir et de recevoir des signaux numériques 1 et 0 sous la forme de tensions 0 volt et 3,3 volts.

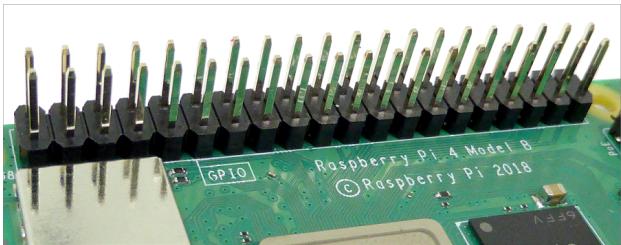
Certaines broches peuvent être utilisées différemment pour fournir un bus I²C, un bus SPI ou une E/S UART. Dans ce cas, les broches concernées ne peuvent plus être utilisées comme entrées/sorties numériques.

Le brochage du connecteur GPIO est rappelé dans le schéma suivant. Les broches impaires sont à gauche, les paires sont à droite.

Remarque

Le GPIO est identique sur les BCM2835 (Raspberry Pi Zero), BCM2837 (Raspberry Pi 3 A+ et B+) et BCM2711 (Raspberry Pi 4). Dans la suite de ce chapitre, le SoC sera désigné par BCM2xxx.

1.2 Connecteur GPIO J8



Sur cette photo du connecteur GPIO J8, la broche 1 est à gauche au premier plan. La pastille de cette broche 1 sous la carte est carrée. Le schéma qui suit présente le connecteur GPIO (J8) vu de dessus.

Alim. +3,3V	1	Alim. +5V
GPIO 2 (SDA)	2	Masse 0V
GPIO 3 (SCL)		GPIO 14 (TXD)
GPIO 4		GPIO 15 (RXD)
Masse 0V		GPIO 18
GPIO 17		Masse 0V
GPIO 27		GPIO 23
GPIO 22		GPIO 24
Alim. +3,3V		Masse 0V
GPIO 10 (MOSI)		GPIO 25
GPIO 9 (MISO)		GPIO 8 (CE0)
GPIO 11 (SCKL)		GPIO 7 (CE1)
Masse 0V		ID_SC (EEPROM)
ID_SD (EEPROM)		Masse 0V
GPIO 05		GPIO 12
GPIO 06		Masse 0V
GPIO 13		GPIO 16
GPIO 19		GPIO 20
GPIO 26		Masse 0V
Masse 0V	39	GPIO 21
	40	

Connecteur GPIO du Raspberry Pi

Douze pins concernent l'alimentation. Les tensions d'alimentation 3,3 V et 5 V ainsi que la masse sont accessibles sur les broches du GPIO pour alimenter des circuits extérieurs. Inversement, il est possible d'alimenter le Raspberry Pi en 5 V à partir des broches du GPIO. Le GPIO fournit deux broches 3,3 V, deux broches 5 V et huit broches de masse.

Le tableau ci-dessous détaille l'utilisation des broches du GPIO.

Broches	Utilisation	Descriptif
6-9-14-20-25-30-34-39	Alimentation	Masse
2-4	Alimentation	+ 5 V
1-17	Alimentation	+ 3,3 V
8-10	UART	Ces deux broches donnent accès à un UART (<i>Universal Asynchronous Receiver Transmitter</i> = émetteur-récepteur asynchrone universel) qui pourra dialoguer avec un terminal ou tout autre appareil possédant un port série. Ces broches sont la 8 : TXD (<i>Transmitted Data</i> = données émises) et la 10 : RXD (<i>Received Data</i> = données reçues).
19-21-23-24-26	Bus SPI	Ces cinq broches fournissent un bus SPI (<i>Serial Peripheral Interface</i> = interface de périphérique série). C'est un bus de transmission de données série synchrone. Il est utilisé pour faire communiquer des circuits intégrés. Les signaux sont SCLK (23) (<i>Serial Clock</i> = horloge série), MOSI (19) (<i>Master Out-Slave In</i> = émission du maître-réception de l'esclave), MISO (21) (<i>Master In-Slave Out</i> = réception du maître-émission de l'esclave) et deux signaux CE0 (24) (<i>Chip Enable</i> = sélection du circuit) et CE1 (26) qui vont permettre de sélectionner l'esclave avec lequel le maître va communiquer. Le Raspberry Pi ne fonctionne qu'en mode maître et peut gérer nativement deux esclaves. Il est possible de gérer plus d'esclaves en utilisant d'autres ports GPIO pour commander les entrées CS des circuits utilisés.

Broches	Utilisation	Descriptif
3-5	Bus I ² C	Ces deux contacts fournissent un bus I ² C. Il s'agit de SDA (3) (<i>Serial Data Line</i> = ligne de données série) et SCL (5) (<i>Serial Data Clock</i> = horloge de données série). Le bus I ² C permet de piloter les nombreux circuits intégrés compatibles avec ce type de bus.
27-28	I ² C EEPROM	Ces deux broches ne doivent absolument pas être utilisées. Elles sont réservées au dialogue avec l'EEPROM présente sur les cartes d'extension répondant aux spécifications HAT (<i>Hardware Attached on Top</i> = matériel venant au-dessus du Raspberry Pi).
7-11-12-13-15-16-18-22-29-31-32-33-35-36-37-38-40	GPIO	Ces dix-sept broches sont des entrées/sorties numériques.

Bien entendu, toutes les broches du GPIO peuvent être reconfigurées à volonté. Seules les broches TXD et RXD (GPIO 14 et GPIO 15) sont configurées lors du démarrage pour fournir les signaux de l'UART. Elles pourront au besoin être transformées en broches GPIO standards (comme les broches SPI et I²C), pour fournir jusqu'à 26 entrées/sorties GPIO.

Par contre, les broches 27 et 28 (ID_SD et ID_SC) sont uniquement réservées à la lecture des EEPROM présentes sur les cartes d'extension. Au moment du démarrage, le Raspberry Pi interroge cette interface I²C pour trouver une EEPROM qui lui permette d'identifier la carte connectée au GPIO. Le contenu de cette EEPROM définit également la configuration des ports d'entrée/sortie du GPIO (et éventuellement, les pilotes Linux à charger). Il ne faut pas utiliser ces broches pour autre chose que la liaison à une EEPROM I²C. Laissez ces broches non connectées si aucune EEPROM n'est présente.

Différents types de connexions peuvent être utilisés pour se raccorder au GPIO :

- Des fils soudés directement sur les broches du GPIO
- Des fils "Dupont" femelles, qui viendront se connecter sur les broches
- Un raccord à installer entre les broches du GPIO et une carte de prototypage ou breadboard (*planche à pain*)

Il est possible de modifier l'état des broches du GPIO en ligne de commande, en utilisant des bibliothèques comme WiringPi, RPI.GPIO ou encore gpiozero. Les chapitres suivants reviendront sur ces bibliothèques.

Le GPIO est dépourvu d'entrée analogique. Le SoC d'un téléphone portable n'en a pas vraiment besoin... Pour accéder à des mesures de valeurs analogiques, il faudra donc utiliser un convertisseur analogique numérique ou un microcontrôleur Arduino, puis renvoyer ces informations sur le Raspberry Pi.

Remarque

Les broches du GPIO sont prévues pour fonctionner en 3,3 V et ne supportent absolument pas une tension de 5 V ! Aucune protection n'est prévue contre les surtensions. Il appartient à l'utilisateur de mettre en place sur la carte extérieure les amplificateurs ou convertisseurs de niveau de tension nécessaires à la protection de la carte Raspberry Pi.

1.3 Caractéristiques techniques des E/S

Ce sont des entrées/sorties (E/S) numériques capables de fournir et de recevoir des signaux numériques 1 et 0 sous la forme de tensions 0 volt et 3,3 volts. Il n'y a pas d'entrée/sortie analogique.

Comme tout circuit électronique, les ports du GPIO ont des limitations en tension (V) et en courant (I) qu'il faut connaître et intégrer pour utiliser le Raspberry Pi en toute sécurité.

1.3.1 Numérotation des E/S

Les E/S sont numérotées de plusieurs façons. Il faudra être attentif au mode de numérotation utilisé. Les différents modes sont les suivants :

- **BCM** - numérotation utilisée par le fabricant du SoC Broadcom. Elle est également notée "GPIO".
- **Physique** - numérotation correspondant à la position physique des broches sur le connecteur GPIO.
- **Bibliothèque** - numérotation interne à une bibliothèque. Utilisée par exemple quand on utilise la librairie Wiring Pi.

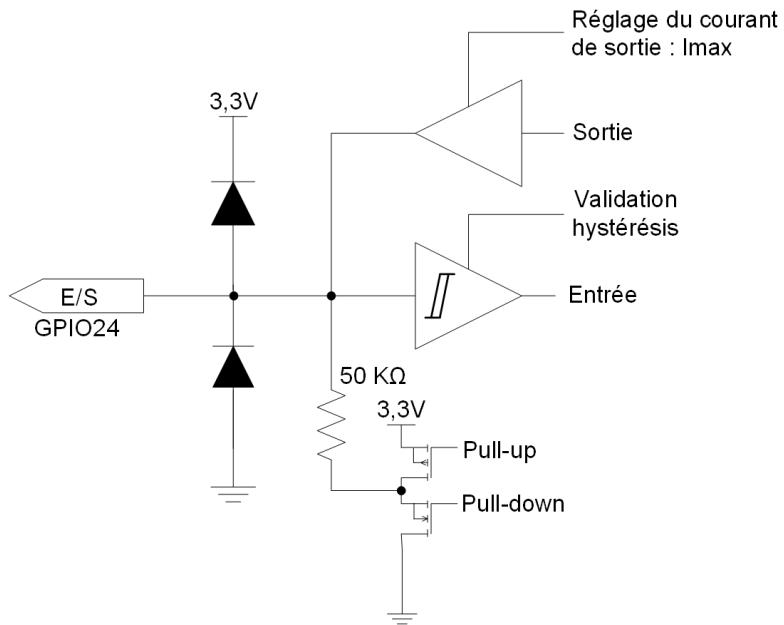
Par exemple, la broche physique 12 correspond à BCM 18 et à Wiring Pi pin 1.

Remarque

Avant de démarrer un projet ou une réalisation, il faudra bien vérifier le mode utilisé et s'assurer de la concordance des broches.

1.3.2 Schéma de l'interface GPIO

Le schéma suivant est une représentation simplifiée de l'étage de sortie d'une broche GPIO du SoC Broadcom BCM2xxx.



La broche d'entrée/sortie (E/S GPIO24) se trouve à gauche du schéma. À droite de ce point d'accès physique, les composants représentés sont dans le SoC. Toutes les E/S GPIO sont basées sur le même circuit.

Il est possible de régler le courant de sortie de 2 mA à 16 mA par pas de 2 mA, de choisir la pente (*slew rate* = vitesse de balayage) du signal et de mettre en service l'hystéresis sur l'entrée. Ces choix sont valables pour l'ensemble des broches du GPIO. Il est impossible de modifier séparément chaque broche.

Remarque

L'hystérisis permet de mettre en forme un signal en utilisant des seuils différents sur le front montant et sur le front descendant. Il est utilisé pour éliminer le bruit d'un signal par exemple.