



François MOCQ

Version en ligne

**OFFERTE !**




pendant 1 an

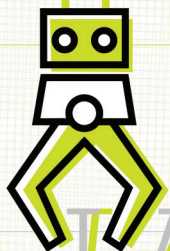
 + QUIZ

# Raspberry Pi 4

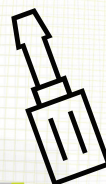
Exploitez tout le potentiel  
de votre nano-ordinateur  
(inclus : un projet de station météo)

## 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 Connaître 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 RasPiO 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 exécutable .....	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 I<sup>2</sup>C, un bus SPI ou une E/S UART. Dans ce cas, les broches concernées ne peuvent plus être utilisées comme entrées/sorties numériques.

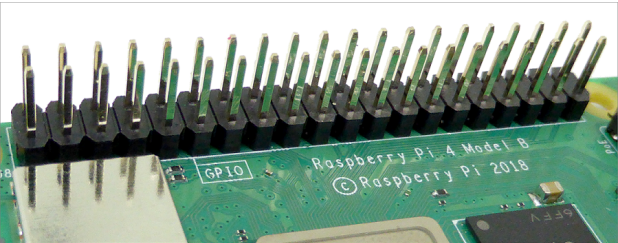
Le brochage du connecteur GPIO est rappelé dans le schéma suivant. Les broches impaires sont à gauche, les paires sont à droite.



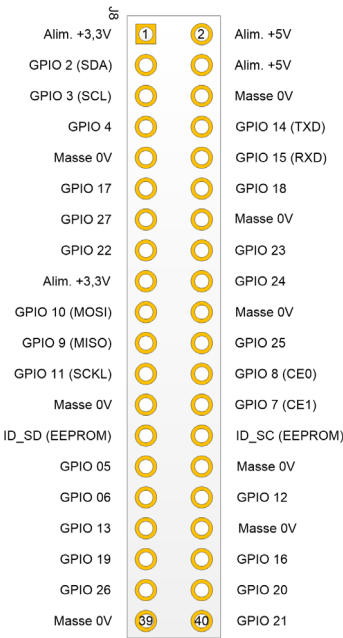
Remarque

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.



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 <sup>2</sup> C	Ces deux contacts fournissent un bus I <sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> C permet de piloter les nombreux circuits intégrés compatibles avec ce type de bus.
27-28	I <sup>2</sup> 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 I<sup>2</sup>C), 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 I<sup>2</sup>C 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 I<sup>2</sup>C. 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.

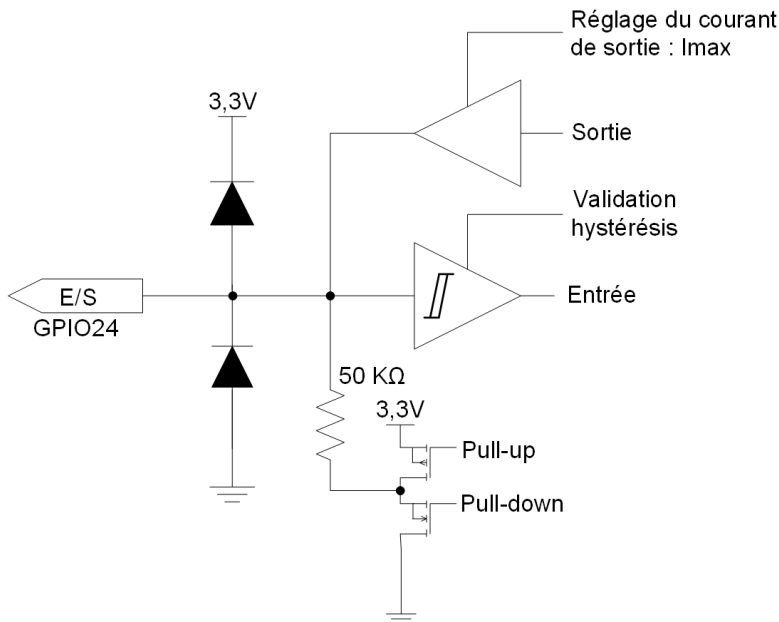


#### Remarque

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'hystérésis sur l'entrée. Ces choix sont valables pour l'ensemble des broches du GPIO. Il est impossible de modifier séparément chaque broche.



#### Remarque

L'hystérésis 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.