

# Les capteurs

pour  
**Arduino et Raspberry Pi**

Expériences et projets

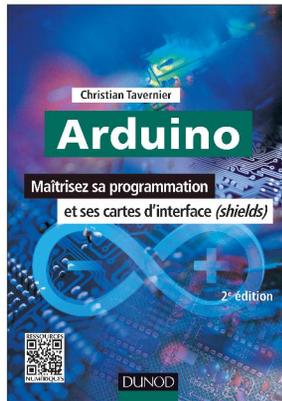
## CHEZ LE MÊME ÉDITEUR



9782100701520, 112 p., 2013

M. BANZI

Une présentation accessible d'Arduino et les bases en électronique et programmation pour sa mise en œuvre immédiate.



9782100710409, 232 p., 2014

C.TAVERNIER

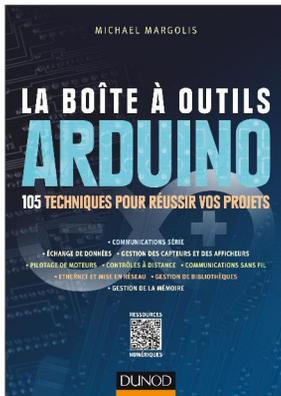
Tous les éléments nécessaires à la conception et à la mise en œuvre de nombreuses applications performantes avec Arduino.



9782100582051, 224 p., 2012

C.TAVERNIER

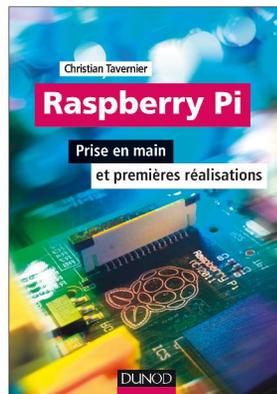
Pour ceux qui souhaitent développer des applications évoluées à base d'Arduino.



9782100701537, 416 p., 2013

M. MARGOLIS

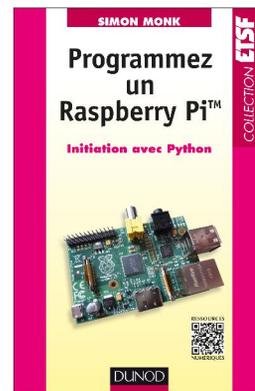
Pour tous ceux qui veulent progresser dans la compréhension et la mise en œuvre d'Arduino.



9782100598915, 224 p., 2013

C.TAVERNIER

Configurez, paramétrez et découvrez les nombreuses possibilités du "micro-ordinateur" Raspberry Pi.

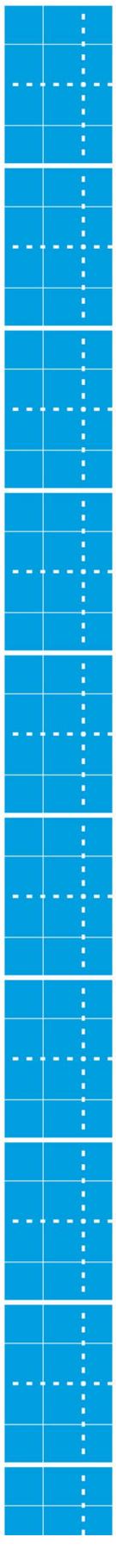


9782100706594, 192 p., 2014

S. MONK

Pour ceux qui découvrent le Raspberry Pi et souhaitent apprendre à écrire des programmes en Python.

Consulter notre catalogue sur [www.dunod.com](http://www.dunod.com)



Tero Karvinen  
Kimmo Karvinen  
Ville Valtokari

**Make:**

# Les capteurs

pour  
**Arduino et Raspberry Pi**

Expériences et projets

*Traduit de l'américain  
par Dominique Maniez*

DUNOD

Toutes les marques citées dans cet ouvrage sont des marques déposées par leurs propriétaires respectifs.

Authorized French translation of material from the English edition of  
**Make:Sensors** ISBN 978-1-4493-6810-4

© 2014 Tero Karvinen, Kimmo Karvinen and Ville Valtokari  
published by Maker Media Inc.

This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media Inc.,  
which owns or controls all rights to sell the same.

Adaptation française de la couverture : WIP

<p>Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.</p> <p>Le Code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements</p>		<p>d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.</p> <p>Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).</p>
--	--	--

© Dunod, 2014 pour la version française

5 rue Laromiguière, 75005 Paris  
[www.dunod.com](http://www.dunod.com)

ISBN 978-2-10-071793-4

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2<sup>o</sup> et 3<sup>o</sup> a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

# Table des matières

<b>AVANT-PROPOS</b>	IX
<b>CHAPITRE 1 • RASPBERRY PI</b>	1
Premier démarrage du Raspberry Pi	2
Introduction à Linux	7
Connexions des broches du Raspberry Pi	11
GPIO sans root	18
GPIO en Python	20
<b>CHAPITRE 2 • ARDUINO</b>	25
Installation de base d'Arduino	26
<b>CHAPITRE 3 • MESURER LES DISTANCES</b>	31
Expérience : mesure de la distance avec un ultrason (PING)	31
Capteur à ultrasons HC-SR04	36
Expérience : détection des obstacles avec l'infrarouge (capteur de distance infrarouge)	42
Expérience : comment voir l'infrarouge	45
Expérience : suivez le mouvement grâce à l'infrarouge (œil composé infrarouge)	46
Projet : alarme posturale (Arduino)	54
<b>CHAPITRE 4 • DÉTECTER FUMÉES ET GAZ</b>	61
Expérience : détecteur de fumée (capteur analogique de gaz)	61
Projet : envoi d'un courriel en cas de fumée	69

<b>CHAPITRE 5 • PERCEVOIR LE TOUCHER</b>	<b>77</b>
Expérience : allumage d'une LED avec un bouton	77
Expérience : microrupteur	81
Expérience : potentiomètre (résistance variable)	84
Expérience : percevoir le toucher sans toucher (capteur de toucher capacitif QT113)	88
Expérience : détecter le toucher à travers le bois	91
Expérience : sentez la pression (FlexiForce)	92
Expérience : construisez votre propre capteur tactile	95
Projet : sonnette hantée	98
<b>CHAPITRE 6 • DÉTECTER LES MOUVEMENTS</b>	<b>105</b>
Expérience : détecter le sens avec un capteur d'inclinaison	105
Expérience : de bonnes vibrations avec une interruption (capteur de vibration numérique)	108
Expérience : tournez le bouton	111
Expérience : mini-joystick (analogique deux axes)	114
Expérience : développement durable avec une manette	118
Expérience : alarme antivol (capteur infrarouge passif)	119
Projet : Pong	125
<b>CHAPITRE 7 • DÉTECTER LA LUMIÈRE</b>	<b>135</b>
Expérience : détection de flamme (capteur de flamme)	135
Expérience : précision de la flamme	138
Expérience : voir la lumière (photorésistance)	139
Expérience : une direction	142
Expérience : suivez la ligne	143
Expérience : le noir est blanc	146
Expérience : toutes les couleurs de l'arc-en-ciel	147
Projet : dôme caméléon	153
<b>CHAPITRE 8 • MESURER L'ACCÉLÉRATION</b>	<b>167</b>
Accélération et vitesse angulaire	167
Expérience : on accélère avec le MX2125	168
Expérience : on combine un accéléromètre et un gyroscope	173
Expérience : détournement d'un Nunchuk (avec I2C)	188
Projet : main robotisée contrôlée par le Nunchuk Wii	194
<b>CHAPITRE 9 • ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME</b>	<b>201</b>
Expérience : tension et courant	201

Expérience : est-ce magnétique ?	205
Expérience : nord magnétique avec la boussole-accéléromètre LSM303	209
Expérience : capteur à effet Hall	220
Projet : contrôle d'une pile solaire par Internet	223
<b>CHAPITRE 10 • ENTENDRE LES SONS</b>	<b>231</b>
Expérience : entendre des voix et percevoir un niveau sonore	231
Expérience : pouvez-vous entendre une épingle tomber ?	234
Projet : visualisez le son sur le port HDMI	235
<b>CHAPITRE 11 • CONSTRUIRE UNE STATION MÉTÉO</b>	<b>241</b>
Expérience : est-ce qu'il fait chaud ici ?	241
Expérience : changement de température	244
Expérience : est-ce que c'est humide ici ?	244
Capteur de pression atmosphérique GY65	251
Expérience : est-ce que votre plante a besoin d'être arrosée ? (capteur d'humidité de sol)	260
Projet : prévision météo sur papier électronique	263
Expérience : pas d'alimentation !	272
Stockage des images dans des fichiers d'en-tête	272
Conseils de packaging	274
<b>ANNEXE – RÉFÉRENCES PRATIQUES SUR LA VERSION LINUX DU RASPBERRY PI</b>	<b>277</b>
<b>INDEX</b>	<b>279</b>



# Avant-propos

Grâce à ce livre, vous allez bientôt pouvoir réaliser des objets capables d'analyser leur environnement. Vous allez utiliser des capteurs pour mesurer le monde physique, représenter le résultat sous la forme d'une valeur numérique et agir en fonction de cette valeur.

Les **capteurs** peuvent mesurer la chaleur, la pression, la lumière ou l'accélération et afficher une valeur (22°C, 1 015 millibars ou accélération de 2,3 g ; vous noterez que dans le cas de la lumière on représente la valeur sous la forme d'un booléen, oui/non, au lieu d'une valeur numérique).

Le **microcontrôleur** constitue le cerveau du robot, du système ou du gadget que vous allez construire. Vous allez écrire votre propre logiciel qui sera exécuté sur ce microcontrôleur. Dans ce livre, vous allez travailler avec deux cartes très populaires : Arduino et Raspberry Pi. Ces deux microcontrôleurs facilitent l'écriture de programmes exploitant des composants électroniques.

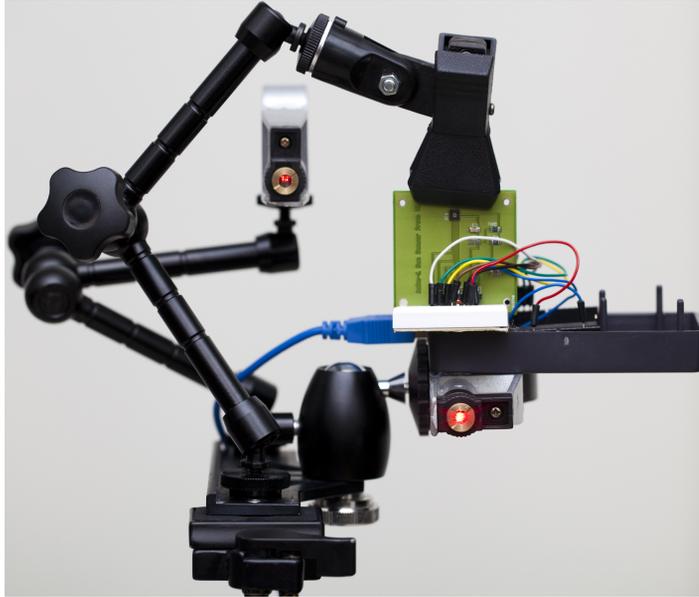
## LAISSEZ S'EXPRIMER VOTRE CRÉATIVITÉ

Si votre passion pour l'électronique a débuté avec la volonté d'apprendre rapidement les bases pour concevoir ensuite vos propres robots, gadgets ou projets, vous avez choisi le bon ouvrage. Ce livre va vous apprendre comment mettre rapidement vos idées en pratique.

La théorie, les compétences et les bases sont utiles pour autant qu'elles sont au service de votre créativité. Sentez-vous libre d'expérimenter vos idées et ayez le courage de publier vos résultats sur le Web.

Chaque chapitre présente un mini-projet qui illustre la manière de combiner différentes technologies. Par exemple, vous allez construire un dôme lumineux qui change de couleur en fonction de son environnement ou bien un détecteur de fumée qui vous avertit par courriel. Ce sont des projets amusants qui constituent aussi de bons points de départ pour vos futures réalisations.

Les compétences que vous allez acquérir avec Arduino sont facilement applicables à des projets professionnels. En ce qui nous concerne, nous avons utilisé un Arduino pour créer un prototype de capteur solaire pour le premier satellite finlandais ([Figure 1](#)).



**Figure 1** La Finlande lance son premier satellite en 2014.  
Nous avons conçu et réalisé le prototype du capteur solaire avec un Arduino

## COMMENT LIRE CE LIVRE

À partir d'une idée, vous allez pouvoir rapidement créer un prototype à l'aide de ce livre. Au lieu de passer des heures avec les notices techniques des composants, vous pouvez simplement choisir un capteur, puis utiliser un schéma et un programme prêts à l'emploi. Vous pouvez utiliser les capteurs comme des briques de construction pour votre projet, mais à la différence du Meccano ou du Lego, les possibilités avec Arduino et Raspberry Pi sont presque illimitées.

Si vous savez ce que vous voulez mesurer, vous trouverez facilement le capteur qui convient. L'ouvrage est organisé en chapitres qui couvrent les phénomènes physiques que l'on peut mesurer :

- Distance ([Chapitre 3](#))
- Fumée et gaz ([Chapitre 4](#))
- Toucher ([Chapitre 5](#))
- Mouvement ([Chapitre 6](#))
- Lumière ([Chapitre 7](#))
- Accélération et mouvement angulaire ([Chapitre 8](#))
- Électricité ([Chapitre 9](#))
- Son ([Chapitre 10](#))
- Météo ([Chapitre 11](#))

Vous pouvez aussi utiliser ce livre comme source d'inspiration et le feuilleter pour avoir des idées des technologies disponibles et ainsi penser à de nouveaux projets.

Si vous voulez comprendre comment les capteurs sont connectés à un Arduino et à un Raspberry Pi, vous apprécierez les explications détaillées. Tous les exemples de code sont totalement

indépendants et illustrent parfaitement l'interaction avec le capteur. La compréhension du fonctionnement des capteurs de cet ouvrage vous aidera à appliquer vos compétences à de nouveaux capteurs, même s'ils ne sont pas encore sur le marché.

Les capteurs que nous avons choisis constituent un échantillon aussi varié qu'utile, et leur facilité ou leur difficulté d'emploi n'a pas été un critère de sélection. Cela signifie que vous disposez d'une grande palette de solutions qui relèvent des défis techniques à l'aide de capteurs connectés à un Arduino et un Raspberry Pi.

Dans chaque chapitre, vous trouverez des **expériences**, des **tests d'environnement** et un projet final :

1. Les **expériences** fournissent de brèves instructions sur la manière d'utiliser un capteur avec un Arduino et un Raspberry Pi. Vous pouvez facilement les utiliser comme briques de construction pour vos propres projets ou bien simplement voir comment le capteur fonctionne.
2. Les **tests d'environnement** permettent de tester les capteurs et d'analyser les modifications de l'environnement. Cela vous donne une idée de la manière dont les capteurs perçoivent le monde et fonctionnent réellement.
3. Les capteurs sont plus intéressants quand on réalise quelque chose avec les résultats qu'ils fournissent. Vous allez **réaliser un projet**, construire un appareil basé sur un capteur et apprendre ainsi à utiliser différents périphériques de sortie.

## ENTRÉE, TRAITEMENT ET SORTIE

Tous les robots ou gadgets que vous allez construire doivent gérer trois choses : **entrée, traitement et sortie**.

1. Comme la plupart des appareils que vous allez monter ne possèdent ni clavier ni souris, les capteurs constituent les entrées.
2. Le traitement est réalisé par le programme qui s'exécute sur l'Arduino ou le Raspberry Pi. C'est votre programme qui décide de ce qui va se passer.
3. La sortie affecte le monde qui entoure l'appareil. Vous pouvez allumer une LED, activer un servo, ou bien émettre un son. Il s'agit là des principaux types de sorties, mais il y en a d'autres (par exemple, une rétroaction haptique, comme une vibration, l'affichage d'un message sur un écran à encre électronique, ou bien encore l'activation d'un appareil électroménager).

## PROTOCOLES

Un **protocole** définit la manière dont un capteur communique avec le microcontrôleur. Le protocole indique le branchement des câbles et la façon dont le code doit traiter les mesures.

Même s'il y a une quantité impressionnante de capteurs différents, il existe un nombre limité de protocoles. Vous apprendrez chacun de ces protocoles au fur et à mesure que vous réaliserez les expériences et les projets, mais voici un aperçu des protocoles que vous rencontrerez (voir aussi le [Tableau 1](#)).

Protocole	Ex. de valeur	Arduino	Raspberry Pi (Python)	Ex. de capteurs
Résistance numérique	1 ou 0	<code>digitalRead()</code>	<code>botbook_gpio.read()</code>	Bouton, capteur IR, capteur d'inclinaison, mouvement IR passif.
Résistance analogique	5%, 10%, 23 C	<code>analogRead()</code>	<code>botbook_mcp3002.readAnalog(), chip</code>	Potentiomètre, photorésistance, détecteur d'alcool MQ-3, détecteur de gaz MQ X (fumée, hydrocarbure, CO...), pression FlexiForce, flamme KY-026, couleur HDJD-S822-QR999, température LM35, humidité
Durée d'impulsion	20 millisecondes	<code>pulseIn()</code>	<code>gpio.pulseInHigh()</code>	Ping et distance ultrasons. HC-SR04, accélération MX2125.
Port série	A9B3C5B3C5	<code>Serial.read()</code>	<code>pySerial.read()</code>	Scanner GT-511C3
I2C	(2,11 g, 0,0 g, 0,1 g), valeurs très précises	<code>Wire.h</code>	<code>smbus</code>	Wii Nunchuk, accéléromètre MPU 6050, pression atmosphérique GY65
SPI	57°C, valeurs très précises	Bit-banging	<code>spidev</code>	Convertisseur analogique-numérique MCP3002
Bits encodés en impulsions très courtes	53 %	Bit-banging	Bit-banging	Humidité DHT11

**Tableau 1** Protocoles des capteurs, du plus simple au plus complexe.

### Résistance numérique

Certains capteurs fonctionnent comme un bouton et possèdent deux états : *on* ou *off*. Ces capteurs sont faciles à lire. L'état *on* est représenté quand une tension appelée **HIGH** est appliquée à la broche d'entrée du microcontrôleur. Il s'agit habituellement d'une tension de 3,3 volts ou 5 volts en fonction de la carte que vous utilisez.

### Résistance analogique

Les capteurs de résistance analogiques modifient leur résistance en réponse à un changement physique (comme quand on tourne le bouton d'un cadran). Arduino et Raspberry Pi indiquent les changements de résistance en mesurant la tension qui passe au travers du capteur. Par exemple, vous pouvez tourner un potentiomètre pour diminuer ou augmenter la résistance. Ces capteurs de résistance analogique sont très faciles à réaliser avec un Arduino. Le Raspberry Pi a besoin d'une puce externe pour mesurer les valeurs analogiques. Vous apprendrez à utiliser le convertisseur analogique-numérique pour mesurer la résistance avec un Raspberry Pi dans l'expérience sur le *Suivi de mouvement à l'aide d'infrarouge (œil composite IR)* au chapitre 3. La plupart des capteurs d'entrée analogiques indiquent leur valeur en utilisant la résistance, si bien qu'il s'agit de capteurs de résistance analogique.

### Durée d'impulsion

Certains capteurs indiquent leur valeur par une durée d'impulsion, ou bien la période pendant laquelle la broche est maintenue à la valeur **HIGH**. On utilise des fonctions comme `pulseIn()` ou `gpio.pulseInHigh()` pour lire la longueur de l'impulsion. Comme ceci est géré par une fonction,

vous n'avez pas à vous embarrasser des opérations de bas niveau du microcontrôleur comme les **interruptions** puisque tout est pris en charge par une bibliothèque.

### *Port série*

Un **port série** fait circuler des caractères de texte entre deux appareils. C'est la même technique que l'ordinateur emploie quand il communique avec l'Arduino *via* le port USB. Vous vous familiariserez avec le port série quand vous afficherez des messages sur le Moniteur série de l'Arduino dans plusieurs projets.

### *I2C*

I2C est un protocole industriel standard populaire. On le trouve couramment dans des ordinateurs et des joysticks bien connus comme le Nunchuk de la console Wii. I2C autorise la connexion de 128 appareils sur les mêmes câbles. Dans cet ouvrage, nous vous fournissons du code prêt à l'emploi et des circuits pour deux capteurs utilisant I2C.

### *SPI*

SPI est un autre protocole industriel standard. Le code livré dans cet ouvrage vous permettra d'utiliser facilement un convertisseur analogique-numérique sur le Raspberry Pi. La création de votre propre code à partir de zéro pour de nouveaux appareils utilisant SPI nécessitera cependant plus de travail.

### *Bit-banging*

Parfois, un capteur est suffisamment rare pour qu'il ne fonctionne pas avec un protocole standard. Dans ce cas-là, vous devez élaborer votre propre code pour communiquer avec ce capteur. On appelle souvent cette opération **bit-banging**, car on manipule le signal du capteur la plupart du temps au niveau du bit. Vous trouverez un exemple de cette technique dans l'expérience *Est-ce que c'est humide ?*.

Au fur et à mesure que vous manipulerez les capteurs, vous vous familiariserez avec ces protocoles, mais si vous êtes pressé de placer de nouveaux capteurs dans vos robots et vos appareils innovants, vous pouvez vous contenter d'utiliser le code fourni dans ce livre puis aborder les détails ultérieurement.

## APPROPRIEZ-VOUS LES CHOSES

Il est difficile de trouver des circuits et des composants bruts qui conviennent parfaitement à nos envies et vous devrez souvent faire preuve d'imagination pour rassembler tous les composants d'un projet dans un packaging élégant.

Cet ouvrage donne un exemple de packaging pour chaque projet, mais il n'est pas nécessaire de suivre nos instructions aveuglément. Vous devez tester différents matériaux et employer différents outils.

Pourquoi ne pas essayer du carton, du tissu ou une impression 3D (**Figure 2**) ?

L'expérimentation et l'apprentissage de nouvelles techniques, comme le soudage ou l'emploi du caoutchouc, rend le processus de création plus intéressant (voir la **Figure 3**).

Nous utilisons aussi beaucoup de matériel recyclé dans nos projets. Non seulement ils sont bon marché (voire gratuits), mais ils donnent aussi un aspect unique à un projet.



**Figure 2** Bender 3D. Photo extraite de la collection Ars Electronica.



**Figure 3** Moule d'une tête de gorille animée et peau en latex réalisée à partir du moule.

## ACHAT DES COMPOSANTS

Si vous avez besoin de composants de bonne qualité sans prise de tête, choisissez une enseigne réputée, de préférence en Europe ou aux États-Unis. Si vous voulez des composants peu onéreux, tournez-vous vers l'Asie.

Parmi les enseignes de qualité qui vendent aux passionnés d'électronique, on peut lister Maker Shed, SparkFun, Parallax et Adafruit. Maker Shed est l'enseigne de l'éditeur de la version américaine de ce livre. SparkFun commercialise de nombreuses platines d'évaluation qui nécessitent des soudures. Parallax a créé Basic Stamp, la génération précédente de microcontrôleurs pour les *makers*<sup>1</sup>. Adafruit possède un grand catalogue et produit de nombreux articles. Les sites web

---

1. « Ceux qui fabriquent », les nouveaux adeptes de la mouvance DIY (*Do it Yourself*, c'est-à-dire ceux qui cherchent à construire par eux-mêmes).

de SparkFun et d'Adafruit contiennent beaucoup d'information sur leurs composants, notamment des tutoriels.

À l'heure actuelle, de grands distributeurs comme Element14 et RS electronics ont également investi le marché des *makers*. Il est devenu plus facile de s'y retrouver dans leur immense catalogue car ils ont créé des rubriques pour Arduino et Raspberry Pi.

Si vous voulez des articles spéciaux ou très bon marché, il faut aller sur le continent asiatique. DealExtreme (<http://dx.com>) est en ce moment très populaire. La livraison est lente et la qualité variable, mais les prix sont très bas et il y a beaucoup de choix. AliExpress (<http://www.aliexpress.com>) qui est aussi une boutique asiatique vaut également le détour.

#### NOTE DE L'ÉDITEUR

Vous trouverez ci-joint une liste non exhaustive de revendeurs de composants présents en France :

- **GO TRONIC**  
35 ter Route nationale, BP 45, 08110 Blagny.  
Tél. : 03 24 27 93 42  
<http://www.gotronic.fr/>
- **HOLDELEC** (ventes exclusivement réservées aux professionnels)  
Avenue de la Victoire, 59117 Wervicq-Sud  
[contact@holdelec.fr](mailto:contact@holdelec.fr)  
<http://holdelec.net/>
- **Kubii.fr** – Distributeur officiel de Raspberry Pi pour le compte de Farnell en France  
69110 Sainte-Foy-les-Lyon  
Tél. : 09 63 25 11 39  
<http://www.kubii.fr/>
- **LEXTRONIC**  
36/40 rue du Général de Gaulle, 94510 La-Queue-en-Brie  
Tél. : 01 45 76 83 88  
[www.lextronic.fr](http://www.lextronic.fr)
- **SELECTRONIC**  
16 rue Jules Verne, ZAC Orée Golf, 59790 Ronchin.  
<http://www.selectronic.fr/>

## CONVENTIONS UTILISÉES DANS CE LIVRE

Les conventions typographiques suivantes sont utilisées dans cet ouvrage :

- **Le bleu** indique de nouveaux termes, les URL, les adresses électroniques, les titres des figures et des exemples.
- **Le bleu italique** indique les noms de fichiers et de répertoires.
- **La couleur orange** est utilisée pour faire référence à des éléments de programmation, comme les noms des variables ou des fonctions, les bases de données, les types de données, les variables d'environnement, les instructions et les mots-clés.
- **La couleur orange** en gras indique les commandes ou le texte qui doit être saisi littéralement par l'utilisateur.

## UTILISATION DES EXEMPLES DE CODE

Vous pouvez télécharger le code source de cet ouvrage sur le site des éditions Dunod ([www.dunod.com/contenus-complémentaires/9782100717934](http://www.dunod.com/contenus-complémentaires/9782100717934)).

Dans le texte de ce livre, il est souvent fait référence au site web des auteurs où vous pouvez également télécharger le code des exemples et projets : <http://makesensors.botbook.com/>

Nous attirons cependant votre attention sur le fait que le site des auteurs classe les exemples par plateforme (Arduino ou Raspberry Pi) alors que nous avons opté pour un classement par chapitre. De plus, cette traduction de l'ouvrage américain *Make: Sensors*, publié chez O'Reilly ne reprend pas le chapitre 9 de l'édition originale. Si vous téléchargez les exemples de code sur le site des auteurs, vous trouverez donc des programmes qui ne figurent pas dans la traduction française (tous les exemples du chapitre 9 consacré au contrôle de l'identité). Pour faciliter le repérage des exemples de code, nous avons conservé les noms originaux des programmes, mais nous avons traduit en français tous les commentaires.

Si vous n'avez aucune expérience de la programmation avec Arduino et Raspberry Pi, nous vous conseillons de lire les deux ouvrages d'initiation de Christian Tavernier, parus aux éditions Dunod, *Arduino – Maîtrisez sa programmation et ses cartes d'interface (shields)* et *Raspberry Pi – Prise en main et premières réalisations*.

### RÉUTILISATION DES PROGRAMMES

Ce livre est censé faciliter la réalisation de vos projets. En général, vous pouvez utiliser le code de cet ouvrage dans vos programmes et votre documentation. Vous n'avez pas besoin de nous contacter pour nous demander la permission, à moins que vous ne reproduisiez une quantité importante de code. Par exemple, l'écriture d'un programme qui utilise plusieurs portions de code de ce livre ne nécessite aucune autorisation. En revanche, la vente ou la distribution d'un CD-ROM d'exemples extraits de ce livre nécessite une autorisation. Si vous répondez à une question en citant cet ouvrage et en reprenant un exemple de code, vous n'avez pas besoin de demander la permission, mais si vous incorporez une grande quantité d'exemples de code dans votre produit ou votre documentation, il vous faut demander une autorisation.

Nous apprécions, sans que cela ne revête un caractère obligatoire, que lorsque vous citez notre ouvrage vous mentionniez ses références exactes qui comprennent le titre, l'auteur, l'éditeur et l'ISBN. Pour cette édition de l'ouvrage, voici comment le citer correctement :

**Make: Sensors** by Tero Karvinen, Kimmo Karvinen, and Ville Valtokari.

Copyright 2014 Tero Karvinen, Kimmo Karvinen, and Ville Valtokari, 978-1-449-36810-4.

Si vous pensez que votre utilisation des exemples de code de ce livre n'est pas couverte par les principes que nous venons d'énoncer, veuillez nous contacter à [bookpermissions@makermedia.com](mailto:bookpermissions@makermedia.com).

## REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier Hipsu, Marianna, Nina, Paavo Leinonen et Valtteri.

# 1 Raspberry Pi

Nous vous recommandons de commencer avec le Raspberry Pi Model B, qui comprend une prise Ethernet et deux ports USB pour une souris et un clavier. Cela facilitera votre initiation.

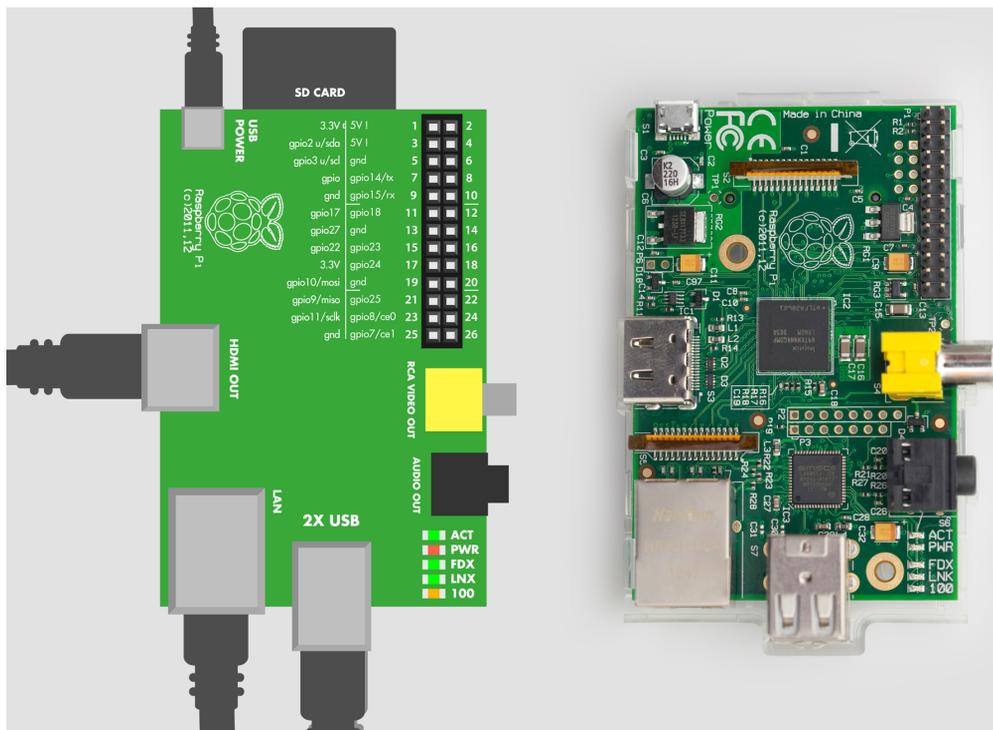


Figure 1.1 Connexions du Raspberry Pi

À moins d'acheter votre Raspberry Pi dans un kit, il n'est probablement pas livré avec un boîtier, mais en le posant directement sur la table, vous passerez pour un geek. Si vous avez accès à une imprimante 3D, vous trouverez de nombreux modèles de boîtiers à confectionner sur <http://www.thingiverse.com>.

Une carte mémoire SD de 4 Go est suffisante pour stocker le système d'exploitation, mais une carte plus grande s'utilisera moins vite car il y aura plus d'espace à allouer au *wear-leveling* (technique qui répartit équitablement les écritures sur l'espace de stockage disponible) ; il est donc préférable d'avoir une carte d'au moins 8 Go.

Le Raspberry Pi peut piloter un écran HD et même envoyer le son par la prise HDMI. La plupart du temps, un téléviseur HD conviendra parfaitement à votre Pi.

Pour démarrer, il vous faut un clavier et une souris qui se brancheront justement sur les deux ports USB du Raspberry Pi.

Si vous voulez ajouter un adaptateur WiFi USB, il vous faudra un hub USB alimenté. Consultez [http://elinux.org/RPi\\_USB\\_Wi-Fi\\_Adapters](http://elinux.org/RPi_USB_Wi-Fi_Adapters) pour une liste des adaptateurs WiFi compatibles avec le Raspberry Pi. On configure le WiFi sur le Pi en faisant un double-clic sur l'icône « Configuration WiFi du Bureau » après avoir installé le système d'exploitation et démarré dans l'environnement graphique.

### L'ORDINATEUR À 35 EUROS LE PLUS CHER DU MONDE ?

Si vous devez acheter les câbles, le clavier, la souris et l'écran, cela risque de vous coûter le prix de plusieurs Raspberry Pi. Si vous n'avez pas déjà tout ce matériel, cela va finir par revenir cher pour un petit ordinateur.

Vous noterez cependant que vous économiserez du temps (donc de l'argent) en créant un environnement de développement confortable.

Plus tard, lorsque votre projet fonctionnera, vous pourrez facilement alléger le système en ne conservant que les éléments nécessaires. Comme on dit, le Raspberry Pi est le seul ordinateur à 35 euros qui en coûte une centaine.

Si vous décidez de communiquer avec votre Raspberry Pi *via* SSH ou VNC, il suffit de le connecter au réseau et de l'alimenter ; vous n'aurez ainsi pas besoin de clavier, de souris ni d'écran, sauf pour le premier démarrage.

## PREMIER DÉMARRAGE DU RASPBERRY PI

Ce chapitre vous permet de commencer à travailler rapidement avec le Raspberry Pi. La première chose à faire consiste à installer Linux sur le Raspberry Pi. Cela comprend les étapes suivantes :

- Télécharger et extraire l'installateur sur une carte SD formatée.
- Insérer la carte dans le Raspberry Pi et le connecter à un clavier, une souris et un écran.
- Allumer le Pi, choisir ce qu'il faut installer, et attendre.

Une fois que c'est fait, vous êtes prêt à démarrer le Pi avec un bureau Linux graphique.

Vous aurez besoin des éléments suivants :

- Raspberry Pi Model B
- Câble micro USB et chargeur USB (ou ordinateur)
- Carte SD de 4 Go
- Écran avec prise HDMI
- Câble HDMI
- Souris USB
- Clavier USB

## Extraction de NOOBS\*.zip

Téléchargez [\\_NOOBS\\_vX\\_Y\\_Z.zip](#) (au moment de la rédaction, il s'agissait de la version [\\_NOOBS\\_v1\\_3\\_7.zip](#), mais le nom du fichier sera peut-être différent quand vous lirez ce livre) à partir de <http://raspberrypi.org/downloads>.

Vous trouverez aussi tous les liens importants mentionnés dans cet ouvrage sur <http://botbook.com>, ainsi que des copies miroir de certains fichiers.

Insérez la carte SD dans votre ordinateur. La plupart des cartes SD sont formatées en FAT32 en usine et il suffit d'extraire l'archive NOOBS sur la carte SD, à moins que vous n'utilisiez une carte SD que vous avez vous-même formatée.

Après avoir décompressé le fichier, assurez-vous que le fichier [\\_bootcode.bin](#) est dans le répertoire racine de la carte SD.

Si vous avez besoin de formater la carte SD, utilisez l'outil de formatage de la SD Card Association qui est disponible à [https://www.sdcard.org/downloads/formatter\\_4/](https://www.sdcard.org/downloads/formatter_4/).

Dans les versions modernes de Linux, Windows et Mac, il suffit de faire un double-clic sur l'archive **NOOBS** ou bien un clic droit pour la décompresser. Avec les versions anciennes de Windows, vous pouvez installer 7-Zip (<http://www.7-zip.org>) pour décompresser les fichiers ZIP.

## Connexion des câbles

La connexion des câbles est facile car chaque câble a une prise bien spécifique. Branchez la souris et le clavier dans les ports USB du Raspberry Pi.

Si vous utilisez un écran HDMI, connectez un câble HDMI entre l'écran et le Raspberry Pi.

Si vous utilisez un moniteur NTSC ou PAL, connectez un câble vidéo composite à la prise jaune du Raspberry Pi pour le raccorder à l'écran.

Connectez ensuite le câble micro USB au Raspberry pour l'alimenter. Branchez ce câble sur le port USB d'un ordinateur ou sur un chargeur USB 5 volts qui fournit au moins 700 mA.

## Démarrage et installation de Raspbian

Dès que vous alimentez le Raspberry Pi, il démarre. Il n'y a donc pas besoin d'interrupteur.

Si rien n'apparaît à l'écran, il vous faudra peut-être sélectionner le bon mode d'affichage pour le Raspberry Pi.

Le mode d'affichage par défaut est HDMI, mais si vous êtes connecté en HDMI et que rien n'apparaît, essayez d'appuyer sur la touche **2** du clavier connecté au Raspberry Pi pour sélectionner le mode HDMI Safe.

Si vous êtes connecté *via* le connecteur jaune composite, appuyez sur la touche **3** pour un moniteur ou un téléviseur PAL et **4** pour un écran NTSC.

Vous êtes accueilli par un menu graphique des différents systèmes d'exploitation.

Sélectionnez « Raspbian [RECOMMENDED] » ([Figure 1.2](#)) et choisissez la langue et le type de clavier que vous utilisez.

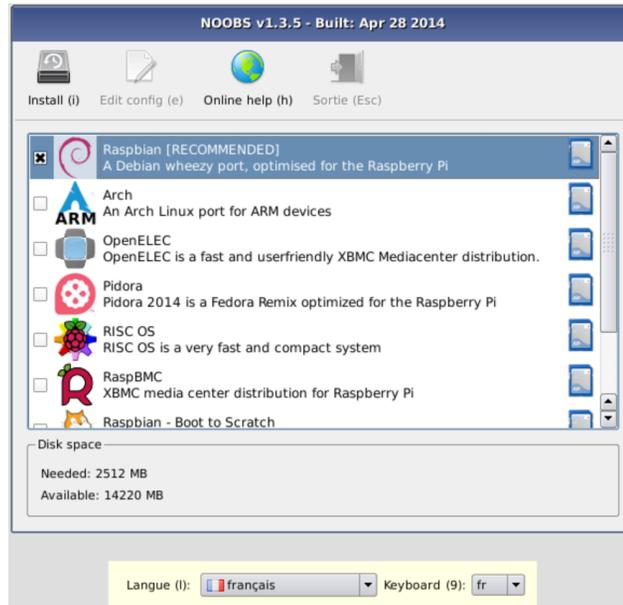


Figure 1.2 Choix d'un système d'exploitation

Si vous connaissez n'importe quelle distribution Debian, Mint ou Ubuntu, vous serez en terrain connu ; si ce n'est pas le cas, continuez à lire et tout ira bien !

L'installation de Raspbian ne prend que quelques minutes (Figure 1.3). Quand le processus est terminé, un message vous invite à cliquer sur OK pour redémarrer.

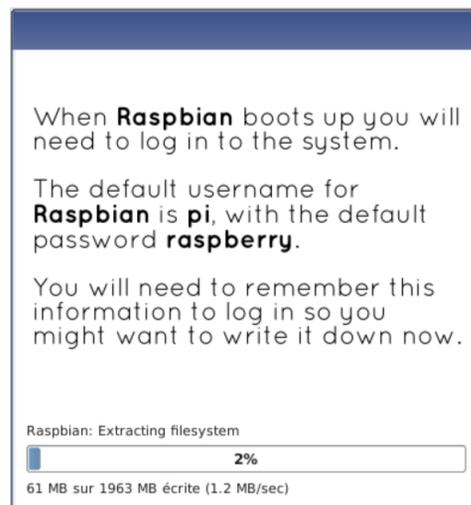


Figure 1.3 Installation de Raspbian

L'utilitaire de configuration du Raspberry Pi s'ouvre. Utilisez les flèches et la touche Tabulation pour vous déplacer, appuyez sur la touche Entrée pour sélectionner une option (Figure 1.4).

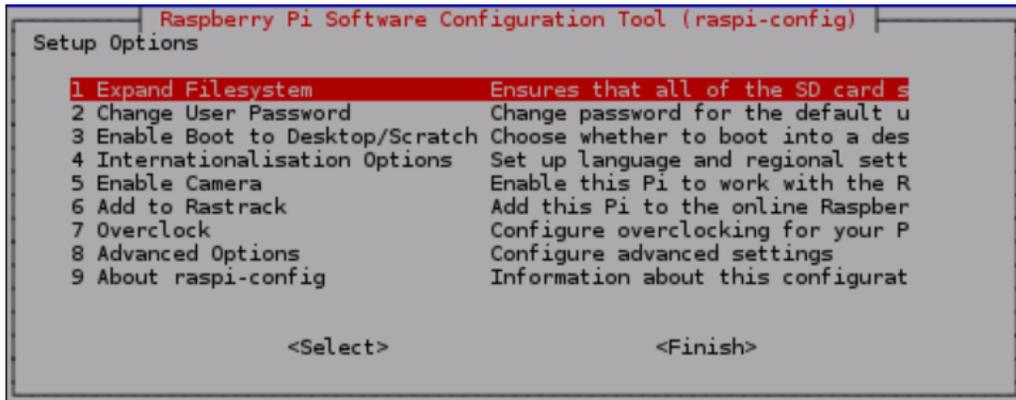


Figure 1.4 Utilitaire de configuration raspi-config

Il est souhaitable d'activer l'option **Enable Boot to Desktop/Scratch**. Quand la modification des paramètres est achevée, utilisez la touche Tabulation pour sélectionner **Finish** et redémarrer.

Une fois que le Raspberry Pi a redémarré, vous vous retrouvez dans un environnement graphique et une session sera ouverte automatiquement.

Si vous n'avez pas activé l'option **Boot to Desktop**, vous démarrerez toujours avec une interface en ligne de commande. Il faut alors vous connecter sous le nom « **raspberrypi** » avec le mot de passe « **pi** » (sauf si vous avez modifié le mot de passe). Après vous être identifié, saisissez **startx** pour démarrer X Window System, qui est l'interface graphique.

Bienvenue chez Linux !

Vous avez à présent installé Raspbian sur un Raspberry Pi (Figure 1.5).

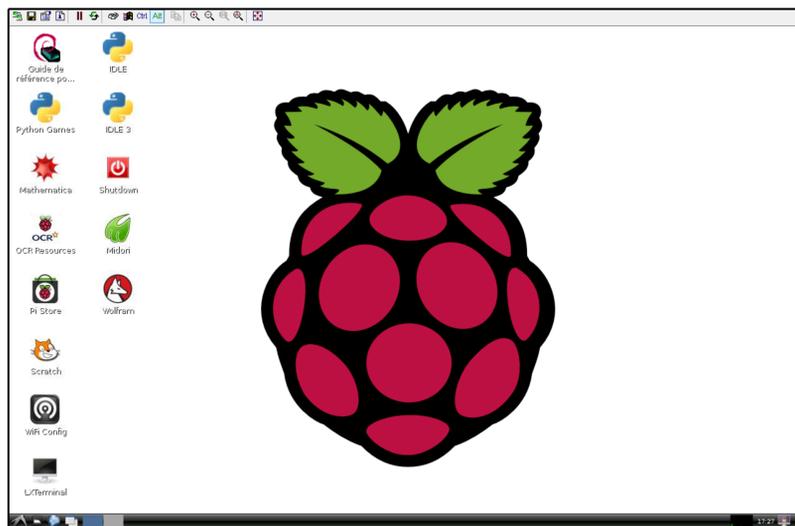


Figure 1.5 Bureau Linux

Pour éteindre votre Raspberry Pi, faites un double-clic sur l'icône Shutdown du bureau. Une fois le processus d'arrêt terminé, vous pouvez débrancher l'alimentation.

## Dépannage de votre installation Raspberry Pi

Voici quelques solutions à quelques problèmes courants :

### **Votre carte est-elle formatée en FAT32 ?**

Si vous n'arrivez pas à démarrer à partir de la carte SD, c'est peut-être parce qu'elle n'est pas correctement formatée.

Sous Linux, utilisez l'éditeur graphique intégré de partition (saisissez `sudo gparted` pour l'exécuter). Formatez la totalité de la carte en FAT. Vous pouvez exécuter un autre outil avec la commande `sudo palimpsest` (ou `sudo gnome-disks`) et, pour les utilisateurs avancés, `sudo parted` fournit un outil classique de gestion des partitions en ligne de commande.

Sous Windows et Mac, utilisez l'outil de la SD Association ([https://www.sdcard.org/downloads/formatter\\_4/](https://www.sdcard.org/downloads/formatter_4/)). Sous Windows, choisissez l'option « format size adjustment » de l'utilitaire et sous Mac, l'option « Overwrite Format ».

### **La LED rouge d'alimentation (PWR) ne s'allume pas.**

La LED d'alimentation brille faiblement ou clignote ? Elle s'allume puis elle s'éteint ? Le Raspberry Pi n'a pas suffisamment de courant. Connectez un chargeur USB qui fournit 5 volts et au moins 1 ampère. Si vous alimentez le Pi *via* le port USB d'un ordinateur portable, connectez-le à la prise USB d'un ordinateur fixe ou utilisez un chargeur puissant de téléphone mobile ou de tablette.

### **L'écran est noir, mais la LED rouge est allumée.**

Il est possible que le Raspberry Pi ne puisse pas lire l'amorce de la carte SD. Éteignez-le, enlevez la carte SD et réinsérez-la franchement. Vérifiez que le premier fichier utilisé dans la séquence de démarrage, `bootcode.bin`, est dans le répertoire racine de la carte SD.

Si le problème persiste, formatez la carte SD et décompressez à nouveau l'archive NOOBS sur la carte SD. Si cela ne règle pas le problème, essayez une carte SD différente.

### **Il y a quatre carrés de couleur à l'écran.**

L'amorce a été lue à partir de la carte SD, mais le système d'exploitation `kernel.img` n'a pas réussi à démarrer. Formatez la carte SD et décompressez à nouveau l'archive NOOBS ou essayez une autre carte SD.

### **Le démarrage échoue et il y a des messages d'erreur.**

Déconnectez tous les périphériques USB, comme le clavier, la souris et l'adaptateur WiFi (s'il est présent). Ne laissez que la carte SD, l'écran et l'alimentation. Enlevez et insérez la carte SD pour vous assurer que le contact est correct.

Si le problème persiste, reformatez la carte SD et décompressez à nouveau l'archive NOOBS.

### **Vous avez mis la pagaille dans le système d'exploitation.**

Si les commandes normales ne fonctionnent plus et que votre écran est rempli de messages d'erreur ou que le Raspberry Pi cesse de fonctionner soudainement, ne vous inquiétez pas. Maintenez enfoncée au démarrage la touche Majuscule et choisissez l'option de réinstallation de Raspbian. Cela est

assez rapide et facile, mais toutes les données de la carte SD sont effacées. Si le problème persiste, reformatez la carte SD et décompressez à nouveau l'archive **NOOBS**, puis recommencez le processus d'installation.

### **Vous n'avez pas d'Internet.**

Si vous avez connecté un câble Ethernet avant de démarrer, cela doit fonctionner parfaitement sur un réseau classique. Vérifiez que la LED LNK est allumée sur le Raspberry Pi.

Si ce n'est pas le cas, cela signifie que le Raspberry Pi pense qu'une extrémité du câble Ethernet n'est pas connectée. En général, vous devez voir 100 (ce qui indique une connexion de 100 Mbit/s), et la LED FDX (*full duplex*) doit être allumée.

Si LNK est allumée et que vous avez encore des problèmes, vous pouvez essayer les commandes suivantes : **ifconfig** (affiche la configuration de l'adaptateur réseau), **route -n** (affiche la table de routage de la connexion réseau), **cat /etc/resolv.conf** (affiche le serveur de noms utilisé), et **ping -c 1 dunod.com** (indique si vous pouvez accéder au Web).

Si vous rencontrez des messages d'erreur qui ne sont pas listés ici, essayez de saisir entre guillemets le message d'erreur dans un moteur de recherche et assurez-vous d'avoir bien saisi le même message d'erreur. Si le message apparaît lors du démarrage, prenez une photo avec votre APN ou votre téléphone mobile et saisissez-le dans un moteur de recherche.

## INTRODUCTION À LINUX

Raspberry Pi est Linux, ce qui signifie qu'il est bâti sur Linux. Le nom « Linux » est employé pour décrire le noyau du système d'exploitation ainsi que le système d'exploitation lui-même.

Le système d'exploitation Linux est composé du noyau et de milliers d'utilitaires et d'applications émanant de différentes sources.

Le Raspberry Pi n'est pas une station de travail, mais s'apparente plus en termes de puissance à une tablette d'entrée de gamme ou à un téléphone mobile.

Dans ces conditions, même si vous utilisez le bureau graphique, ne comptez pas abandonner tout de suite votre ordinateur de bureau ou votre portable. Une puissance minimale combinée à une mémoire réduite empêche les applications comme LibreOffice et Mozilla Firefox d'être utilisables.

### **Une interface en ligne de commande omniprésente**

Êtes-vous prêt à ressentir la puissance de l'invite \$ ?

La ligne de commande a résisté à l'épreuve du temps et c'est peut-être quelque chose que vous apprendrez à vos petits-enfants. Les commandes que vous allez utiliser tout le temps, comme **pwd**, **ls**, ou **cat**, existaient bien avant l'invention de Linux (Linux a été créé par un étudiant finlandais à Helsinki, à cinq kilomètres du jardin botanique où j'écris ces lignes). Les utilisateurs chevronnés de Mac OS X et de Windows utilisent aussi la ligne de commande quand ils ont besoin de faire quelque chose impossible à réaliser avec une souris.

La plupart des commandes que vous allez utiliser avec un Raspberry Pi sont identiques à celles que l'on emploie sur un Mac ou un ordinateur sous Linux, et elles sont similaires aux outils en ligne de commande sous Windows.

Comme vous le savez sans doute, la plupart des serveurs tournent sous Linux (Google, Facebook, Amazon et la majorité des superordinateurs). Comme les serveurs web n'ont pas d'interface