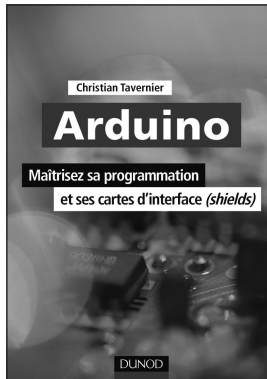
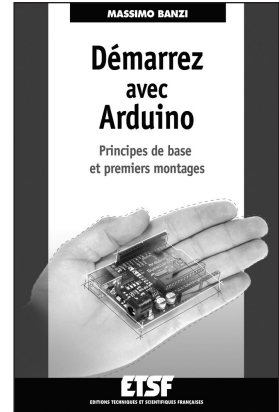


Arduino

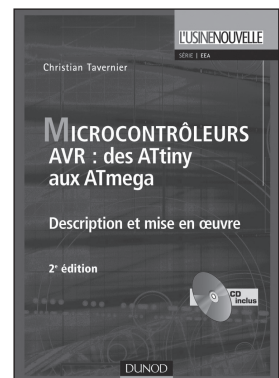
Applications avancées

Démarrez avec Arduino
Principes de base et premiers montages
Massimo Banzi
Dunod, 2011



Arduino
Maîtriser sa programmation
et ses cartes d'interface (shields)
Christian Tavernier
Dunod, 2011

Microcontrôleurs AVR : des ATtiny aux ATmega
Description et mise en œuvre
2^e édition
Christian Tavernier
Dunod, 2009



Christian Tavernier

Arduino

Applications avancées

Claviers tactiles, télécommande par Internet, géolocalisation,
applications sans fil, reconnaissance vocale...

DUNOD

Tout le catalogue sur
www.dunod.com



ÉDITEUR DE SAVOIRS

Maquette de couverture : WIP

Illustration de couverture : digitalvision®

Illustrations intérieures : WIP

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.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} 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

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. 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).



© Dunod, Paris, 2012

ISBN 978-2-10-058205-1

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° 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

Avant-propos	IX
1 • Arduino, environnement de développement	1
1.1 Les nouveaux Arduino et leurs particularités	1
1.1.1 L'Arduino Uno révision 3	2
1.1.2 L'Arduino Mega 2560 révision 3	5
1.1.3 Le petit dernier : l'Arduino Leonardo	8
1.2 Les nouveautés de l'environnement de développement	12
2 • Claviers tactiles et afficheurs graphiques	15
2.1 Clavier à effleurement	15
2.1.1 Le MPR121 de Freescale	16
2.1.2 Le Touch Shield de Sparkfun	17
2.1.3 Logiciel d'exploitation	18
2.2 Multiplexage et Charlieplexage	21
2.2.1 Principe du Charlieplexage	23
2.2.2 Le shield LOL ou shield à LED Charlieplexées	27
2.2.3 Bibliothèque de Charlieplexage	29
2.3 Affichage LCD graphique couleur	32
2.3.1 Le 2.8" TFT Touch Shield d'Adafruit	32
2.3.2 Bibliothèques et programmes de démonstration	35
3 • Réseau, Internet et Power Over Ethernet (PoE)	37
3.1 Les shields Ethernet	37
3.1.1 Ethernet, Internet, adresse IP et adresse MAC	41
3.1.2 Noyau de base commun à tous les programmes	42
3.1.3 Affichage de l'état des entrées dans le navigateur Internet	44
3.1.4 Commande de l'état des sorties depuis le navigateur Internet	46
3.1.5 Entrées et sorties simultanées depuis le navigateur Internet	52
3.1.6 Comment passer au travers du routeur ou de la « box » Internet ?	54

3.2	Alimentation par le réseau ou PoE	56
3.2.1	Shield Ethernet PoE compatible IEEE 802.3af	57
3.2.2	Le PoE passif ou PoE « du pauvre »	58
4	• Enregistrement de données sur cartes mémoires	61
4.1	Ce qu'il faut savoir des cartes mémoires	61
4.1.1	Les particularités de la carte SD	63
4.1.2	Interface pour carte SD	64
4.2	Les shields à carte SD ou micro SD	65
4.2.1	Le plus simple des shields micro SD	65
4.2.2	Les shields SD à horloge temps réel	66
4.2.3	La bibliothèque de gestion des cartes SD	69
4.2.4	La bibliothèque de gestion de l'horloge temps réel	72
4.2.5	Enregistrement de données horodatées	74
5	• Arduino sans fil grâce à XBee	81
5.1	WiFi et Arduino : un choix aujourd'hui discutable	81
5.2	XBee ou le sans fil facile	83
5.2.1	Quelques rappels sur les modems	83
5.2.2	Les modules XBee ou les modems radio à la portée de tous	86
5.3	L'Arduino sans fil grâce aux modules XBee	88
5.3.1	Attention au conflit de port série	88
5.3.2	Les shields XBee	89
5.3.3	Exemple d'utilisation	93
5.3.4	Paramétrage des modules XBee	96
6	• Arduino et GPS	103
6.1	GPS et trames NMEA	103
6.1.1	Le récepteur GPS EM-406a de GlobalSat	104
6.1.2	La norme NMEA appliquée aux GPS	106
6.2	Exploiter un GPS avec l'Arduino	108
6.2.1	Les shields GPS	109
6.2.2	Utilisation sans bibliothèque spécialisée	113
6.2.3	La bibliothèque TinyGPS	115
7	• À l'écoute des fichiers WAV, MP3 et de la radio AM/FM	119
7.1	Lecture des fichiers MP3	119
7.1.1	Quelques rappels concernant le format MP3	120
7.1.2	Le VS1053b de VLSI Solution	121
7.1.3	Le shield MP3 Player	123
7.1.4	Une bibliothèque sur mesure	125

7.1.5	Exemple d'utilisation	128
7.1.6	Ajout d'un amplificateur audio	131
7.2	Lecture des fichiers WAV	133
7.2.1	Quelques rappels concernant le « format » WAV	133
7.2.2	Le Wave Shield d'Adafruit	134
7.3	Recevoir la radio avec l'Arduino	137
7.3.1	Le circuit Si4735 de Silicon Labs	137
7.3.2	Le shield SI4735 AM & FM Receiver	138
7.3.3	Bibliothèque et exemple de programme	143
7.3.4	Un exemple de réalisation remarquable	146
8	Arduino et la reconnaissance vocale	147
8.1	Le module EasyVR de Veeear	147
8.2	Le shield EasyVR Arduino	150
8.3	Le logiciel EasyVR Commander	154
8.4	Un Arduino qui obéit à votre voix	158
9	Arduino et la reconnaissance d'image	167
9.1	Présentation de la CMUcam4	167
9.1.1	Généralités	168
9.1.2	Aperçu des commandes	169
9.1.3	Le « shield » CMUcam4	172
9.2	Utilisation de la CMUcam4	176
9.2.1	Autotest de la CMUcam4	176
9.2.2	Comment tester son futur programme avec un PC	177
9.2.3	Une bibliothèque embryonnaire et pas nécessairement utile	182
10	De l'Arduino aux microcontrôleurs AVR	185
10.1	Mise en œuvre d'un microcontrôleur AVR d'Atmel	185
10.1.1	L'alimentation	186
10.1.2	L'horloge	187
10.1.3	Le circuit de reset	188
10.2	Bootloader et programmation ISP	190
10.2.1	Qu'est-ce qu'un bootloader ?	190
10.2.2	La programmation ISP ou programmation en circuit	191
10.2.3	Utilisez un Arduino en guise de programmeur	193
10.2.4	Le recours à un « vrai » programmeur	198
	Webographie	201
	Index	203

Grâce à un succès qui ne se dément pas, l'Arduino n'est plus aujourd'hui cantonné au monde de la formation ou de l'initiation aux microcontrôleurs, et si les premières applications qui y faisaient appel étaient relativement simples, il est aujourd'hui possible d'aller beaucoup plus loin.

Titillés par ce succès, de nombreux fabricants ont mis en effet sur le marché des shields – les fameuses cartes d'extension de l'Arduino – qui lui ouvrent les portes d'un monde que l'on croyait jusqu'alors réservé à des microcontrôleurs beaucoup plus puissants.

L'utilisation d'écrans tactiles, la télécommande par Internet, le stockage de données sur cartes mémoires, la géolocalisation grâce au GPS, la lecture de fichiers MP3, la reconnaissance vocale et même la reconnaissance d'images sont aujourd'hui à la portée de n'importe quelle application à base d'Arduino.

Bien que les technologies auxquelles donnent accès de tels shields soient très évoluées, et parfois même complexes, l'esprit Arduino est toujours présent et leur mise en œuvre reste accessible au plus grand nombre comme nous allons le démontrer tout au long de cet ouvrage.

Afin que vous puissiez poursuivre cette lecture avec profit, précisons toutefois que cet ouvrage présuppose une connaissance de base des concepts de l'Arduino et de son langage de programmation, que vous les ayez acquis en lisant notre précédent ouvrage *Arduino – Maîtrisez sa programmation et ses cartes d'interface (shields)* (Dunod) dont il est une suite naturelle, ou en parcourant les nombreux sites Internet qui lui sont consacrés.

■ Les compléments en ligne de cet ouvrage

Comme pour notre précédent ouvrage, vous trouverez sur www.dunod.com (sur la page dédiée à l'ouvrage) et sur le site de l'auteur www.tavernier-c.com, un certain nombre de compléments en ligne constitués par :

- les **fiches techniques** et assimilées de tous les circuits cités dans l'ouvrage ;
- les **bibliothèques** citées ou utilisées dans l'ouvrage, autres bien sûr que celles fournies avec l'environnement de développement de base et installées en même temps que lui ;
- les **listings** de tous les programmes commentés et/ou développés par nos soins ;
- les **logiciels** tiers utilisés par certaines applications (paramétrage des modules XBee, gestion du module de reconnaissance vocale, etc.).

Afin de faciliter l'utilisation de ces compléments, tous les fichiers correspondants sont groupés dans des répertoires qui portent les noms des chapitres de l'ouvrage dans lesquels ils apparaissent pour la première fois.

En lisant un chapitre, il suffit donc de vous positionner sur le répertoire correspondant pour avoir accès immédiatement à tous les documents et/ou programmes qui y sont utilisés ou évoqués.

1 • ARDUINO, ENVIRONNEMENT DE DÉVELOPPEMENT

Comme nous vous l'avons laissé entendre en avant-propos, nous allons découvrir tout au long de cet ouvrage des applications à base d'Arduino faisant appel à des technologies évoluées et/ou complexes telles que l'utilisation d'écrans tactiles, la télécommande par Internet, le stockage de données sur cartes mémoires, la géolocalisation grâce au GPS, la lecture de fichiers MP3, la reconnaissance vocale et même la reconnaissance d'images.

Grâce à des shields bien conçus et à des bibliothèques appropriées, la mise en œuvre de ces diverses technologies n'est pas particulièrement difficile mais nécessite cependant un minimum de connaissances de base en matière de programmation de l'Arduino.

Si vous avez déjà quelques notions relatives à la programmation et à la mise en œuvre d'un Arduino et de ses shields, vous devriez pouvoir aborder la lecture de cet ouvrage sans difficulté.

Par contre, si vous n'avez jamais programmé un Arduino, nous vous conseillons de vous procurer notre précédent ouvrage *Arduino – Maîtrisez sa programmation et ses cartes d'interface (shields)* (Dunod) qui vous permettra de découvrir avec une grande facilité les notions de base indispensables. Le présent ouvrage peut en effet être considéré comme sa suite naturelle.

Depuis ce premier ouvrage consacré à l'Arduino, dont l'édition originale date déjà de juin 2011, un certain nombre de nouveautés ou d'améliorations ont fait leur apparition dans le monde de l'Arduino ; nouveautés que nous allons synthétiser dans ce premier chapitre afin que, le cas échéant, vous ne soyez pas surpris lorsque nous y ferons appel par la suite.

1.1 Les nouveaux Arduino et leurs particularités

Si l'on oublie volontairement les Arduino aux formes particulières tel que les Mini, Nano, Fio ou bien encore LilyPad pour se consacrer seulement aux Arduino disposant des deux rangées de connecteurs bien connues permettant la mise en place des shields, il ne reste plus aujourd'hui à notre disposition que trois modèles principaux : l'Arduino Uno qui en est à sa révision 3, l'Arduino Mega 2560 qui vient

lui aussi de passer en révision 3 et le tout nouvel Arduino Leonardo que l'on peut considérer comme une évolution de l'Arduino Uno.

De nouveaux produits sont, semble-t-il, en préparation à la fondation Arduino, dont l'Arduino Due qui serait un modèle équipé d'un microcontrôleur Atmel ARM Cortex M3 à 32 bits mais, au moment où ces lignes sont écrites, nous n'avons aucune autre information à son sujet, ni surtout aucune date de commercialisation. Précisons sans plus attendre que toutes les applications décrites dans cet ouvrage peuvent fonctionner sans restriction avec un Arduino Uno, quelle que soit sa révision, car c'est d'ailleurs avec un Arduino Uno révision 2 qu'elles ont été développées. Si donc vous souhaitez les exploiter avec un Arduino Uno révision 3, un Mega 2560 révision 3 ou bien même un Leonardo, vous êtes assuré qu'elles fonctionneront aussi sans problème puisque ces derniers sont « *upward* compatibles » comme disent les Anglo-Saxons.

1.1.1 L'Arduino Uno révision 3

L'Arduino Uno révision 3, ou Arduino Uno R3, résulte de l'évolution logique des précédents Arduino Uno avec lesquels il reste cependant compatible à 100 %, et ce bien que les évolutions soient tout à la fois internes et externes.

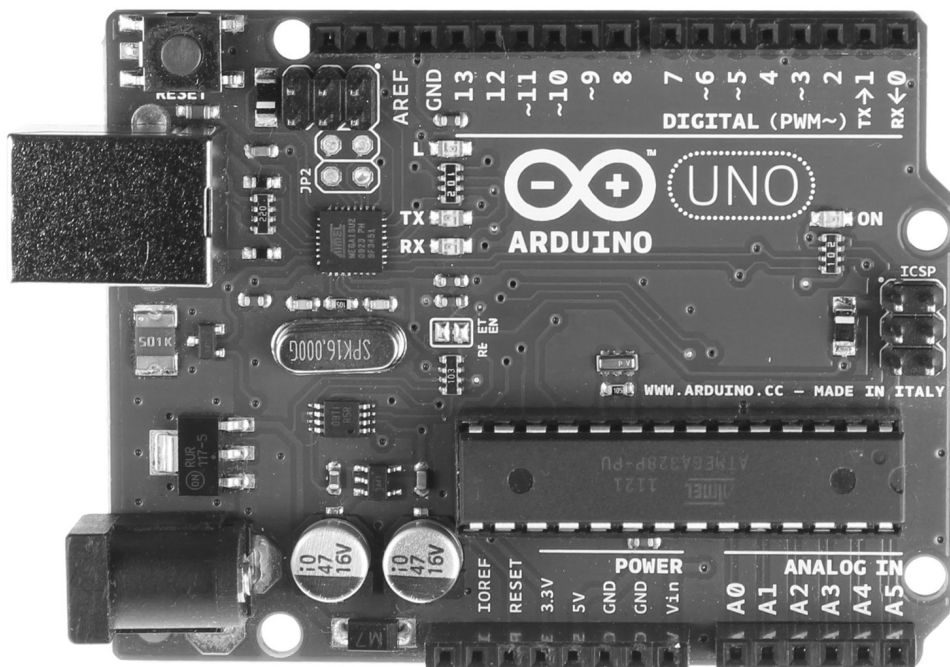


Figure 1.1 – L'Arduino Uno révision 3 (source Arduino).

Du côté interne tout d'abord, le circuit d'interface USB qui était un modèle bien connu de chez FTDI (www.ftdichip.com) sur les Arduino les plus anciens, puis

un Atmel ATmega8U2 jusqu'aux Arduino Uno révision 2, a été remplacé par un Atmel ATmega16U2 programmé pour jouer le rôle d'un convertisseur USB-série. Au niveau de l'utilisateur que vous êtes, cela ne change rien car ces modifications sont totalement transparentes puisque prises en charge automatiquement par l'environnement de développement. Le circuit de *reset* a également été amélioré ce qui, là aussi, ne change rien pour vous sauf peut-être en mieux si vous aviez éprouvé par le passé quelques difficultés à son niveau.

Le schéma de ce « nouvel » Arduino Uno est présenté figure 1.2 afin que vous puissiez, si nécessaire, le comparer aux versions précédentes et constater ainsi les modifications qui y ont été apportées.

Du côté externe, le connecteur à huit pattes situé à côté du poussoir de *reset* s'est allongé et en compte désormais dix, mais reste bien évidemment compatible des précédents et donc des shields qui n'ont qu'un modèle huit pattes.

Les deux pattes supplémentaires, ajoutées au-delà de AREF, sont respectivement SDA et SCL c'est-à-dire encore les deux lignes d'interface du bus I2C. Ces deux lignes existaient bien sûr déjà par le passé, puisque l'ATmega328 qui équipe l'Arduino est muni d'une interface I2C, mais elles n'étaient accessibles que *via* les broches également dédiées aux entrées analogiques A4 et A5.

Attention !

Cet ajout ne signifie pas que, sur l'Arduino Uno révision 3, les lignes SDA et SCL sont devenues indépendantes des lignes A4 et A5. Elles sont toujours communes avec ces dernières puisque c'est l'ATmega328 qui nous l'impose. C'est juste une facilité de connexion supplémentaire qui pourra être exploitée sur certains shields futurs.

Le connecteur à six pattes situé à côté du *jack* d'alimentation s'est également allongé et en comporte désormais huit. À côté de la patte RESET est apparue une connexion nommée IOREF qui, pour l'instant, est parfaitement inutile. Elle serait destinée à permettre l'adaptation automatique des futurs shields qui en seront équipés à la tension d'interface de l'Arduino. En effet, si le Uno actuel fonctionne sous 5 volts, le ou les futurs Arduino – dont notamment le Due – devraient fonctionner sous 3,3 volts. Cette information IOREF permettrait donc une adaptation automatique des shields à l'une ou l'autre de ces tensions. La broche qui est située à côté d'elle par contre n'est pas encore utilisée et est réservée pour des développements futurs dont nous ne savons encore rien.

Toutes les autres caractéristiques de l'Arduino Uno révision 3 sont identiques à celles des versions précédentes, telles qu'elles sont décrites sur le site de la fondation Arduino (www.arduino.cc) ou au chapitre 1 de notre précédent ouvrage.

Compte tenu des « allongements » de connecteurs que nous venons d'évoquer, le brochage de l'Arduino Uno révision 3 est donc désormais celui qui est présenté figure 1.3.

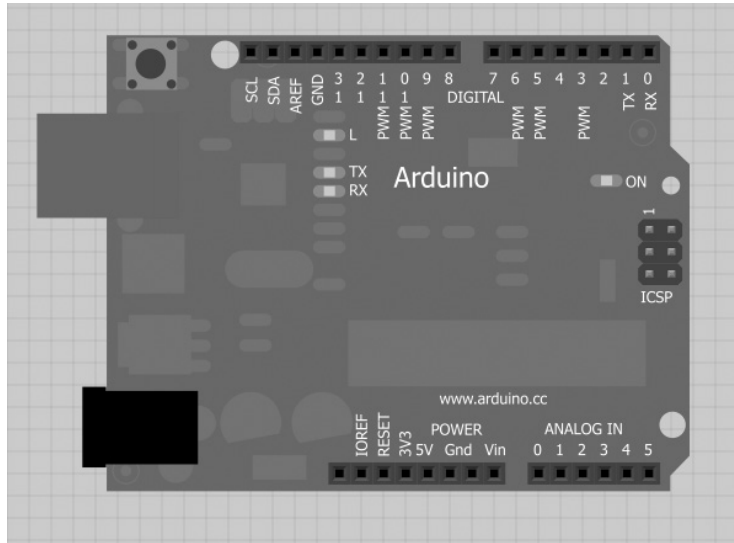


Figure 1.3 – Brochage de l’Arduino Uno révision 3 et de l’Arduino Leonardo.

1.1.2 L’Arduino Mega 2560 révision 3

Beaucoup moins utilisé que l’Arduino Uno, l’Arduino Mega 2560 n’en est pas moins intéressant et surtout indispensable pour qui a besoin de ports d’entrées/sorties plus nombreux que ceux disponibles sur le Uno. Rappelons aussi que l’un des autres intérêts du Mega 2560 est la présence de plusieurs ports séries matériels, ce qui peut s’avérer fort utile pour certaines applications comme nous le verrons dans la suite de cet ouvrage.

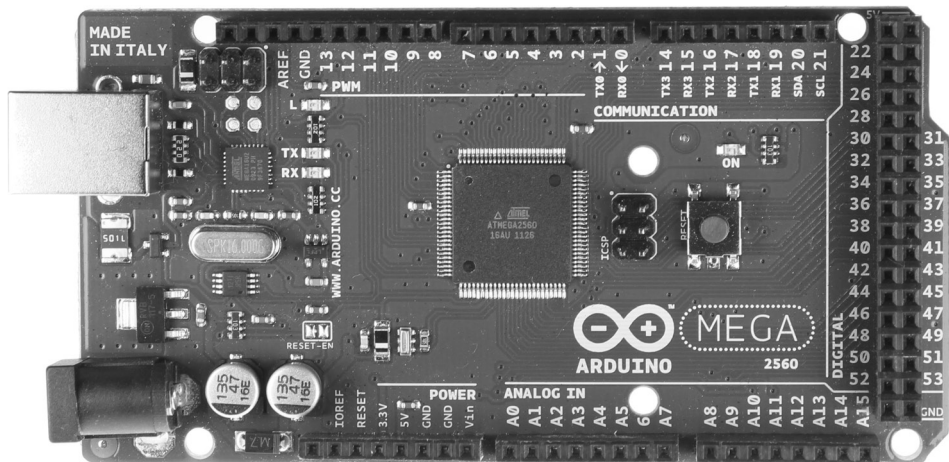


Figure 1.4 – L’Arduino Mega 2560 révision 3 (source Arduino).

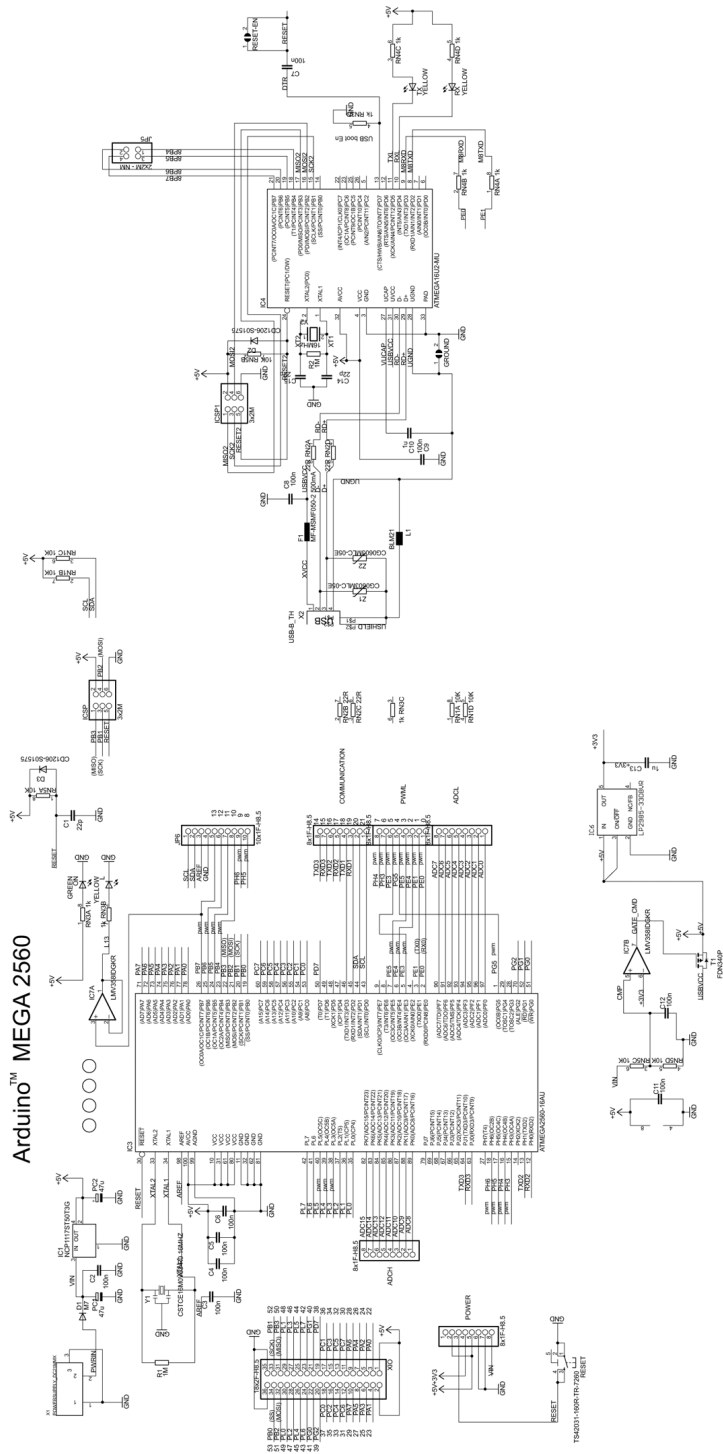


Figure 1.5 – Schéma de l'Arduino Mega 2560 révision 3 (source Arduino).

Tout comme le Uno, le Mega 2560 a eu droit à sa petite cure de jouvence et c'est donc désormais sous l'appellation d'Arduino Mega 2560 révision 3 qu'il est commercialisé.

Son « nouveau » schéma est visible figure 1.5 et, si vous l'examinez attentivement, vous constaterez qu'il a subi le même traitement que le Uno, à savoir le remplacement de l'interface USB – série par un ATmega16U2 ainsi que la modification de son circuit de *reset*.

Côté « monde extérieur » l'Arduino Mega 2560 révision 3 a subi le même traitement que le Uno révision 3, à savoir l'allongement de deux de ses connecteurs et donc l'apparition de SDA, SCL et IOREF sur ces derniers. Les explications données précédemment à propos du Uno révision 3 restent bien évidemment d'actualité pour cette version du Mega 2560.

Compte tenu de ces modifications, son brochage devient conforme à ce que l'on peut découvrir figure 1.6.

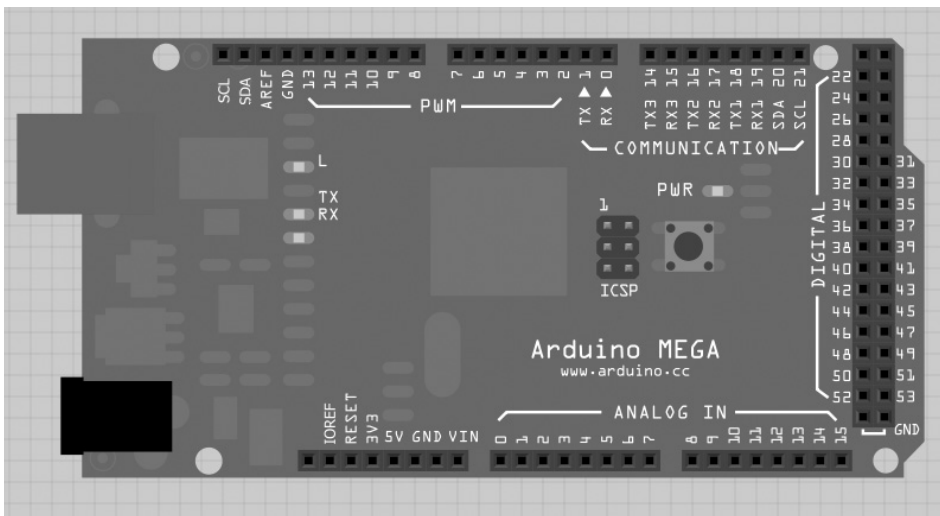


Figure 1.6 – Brochage de l'Arduino Mega 2560 révision 3.

Comme c'est le cas pour le Uno révision 3, toutes les autres caractéristiques de l'Arduino Méga 2560 révision 3 sont identiques à celles des versions précédentes, telles qu'elles sont décrites sur le site de la fondation Arduino (www.arduino.cc) ou au chapitre 1 de notre précédent ouvrage.

1.1.3 Le petit dernier : l'Arduino Leonardo

Bien qu'il ressemble extérieurement à un Arduino Uno, comme on peut le constater figure 1.7, l'Arduino Leonardo, introduit récemment sur le marché, recèle quelques particularités qui pourraient bien en faire, dans un avenir relativement proche, le successeur et remplaçant du Uno.

Même s'il lui est quasiment compatible à 100 % – si ce n'est quelques modifications d'ordre logicielles que nous verrons dans un instant – l'Arduino Leonardo utilise tout d'abord un microcontrôleur différent de l'ATmega328 du Uno, puisque c'est un ATmega32U4 plus récent. Le choix de ce processeur s'explique notamment par le fait qu'il intègre une interface USB en mode natif ce qui rend désormais inutile l'ATmega16U2 auquel était dévolu ce rôle sur les cartes Arduino Uno.

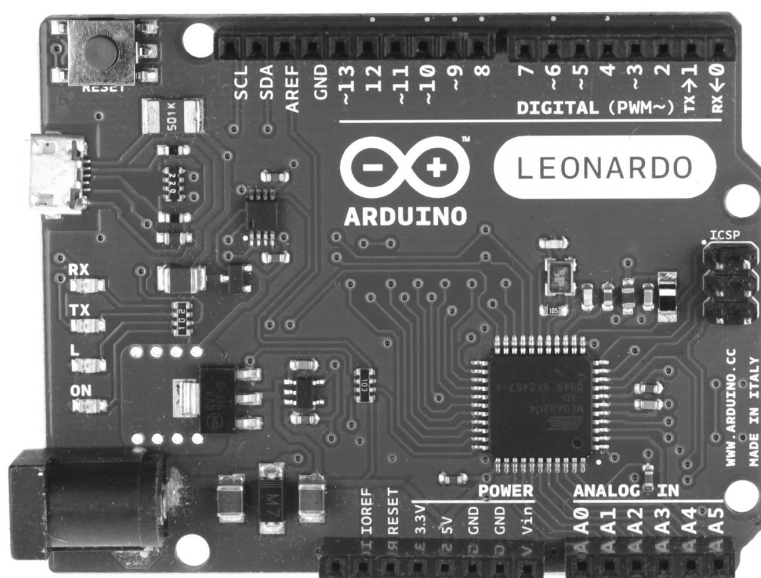


Figure 1.7 – L'Arduino Leonardo (source Arduino).

Le schéma de l'Arduino Leonardo est donc nettement plus simple que celui du Uno comme on peut le constater à l'examen de la figure 1.8.