

# 1 • PRÉSENTATION GÉNÉRALE

---

Commercialisés pour la première fois il y a maintenant vingt ans, les microcontrôleurs PIC auraient pu n'avoir qu'un succès mitigé car ils arrivaient sur un marché déjà bien encombré, et encombré par des « poids lourds » du métier de surcroît tels que Motorola (aujourd'hui Freescale Semiconductor) ou Intel. Malgré cela, leur succès fut immédiat et fulgurant et l'on peut affirmer aujourd'hui que ces circuits sont devenus de véritables références dans le monde des microcontrôleurs.

N'existant à l'origine qu'au travers d'une seule famille de circuits, la famille PIC 16 qui leur a assuré à elle seule leur célébrité, les PIC sont aujourd'hui présents sur le marché au travers de multiples gammes de produits, depuis les tout petits PIC 10 jusqu'aux puissants PIC 24, ou bien encore aux PIC orientés traitement du signal que sont les dsPIC.

Quoi qu'il en soit, toutes ces familles partagent, entre autres choses, deux caractéristiques particulières de leur architecture interne dont nous allons maintenant dire quelques mots en guise d'introduction à cette présentation générale.

## 1.1 Harvard contre Von Neumann

De nombreux microprocesseurs et microcontrôleurs actuels utilisent une architecture interne dite de Von Neumann, c'est-à-dire en fait une architecture commune à celle que l'on rencontre habituellement dans les micro-ordinateurs. La mémoire, appelée improprement de programme, contient en fait des instructions et des données placées à la suite les unes des autres et l'on ne dispose que d'un bus, appelé bus de données, pour véhiculer tour à tour les codes des instructions et les données qui leur sont associées comme le montre la figure 1.1.

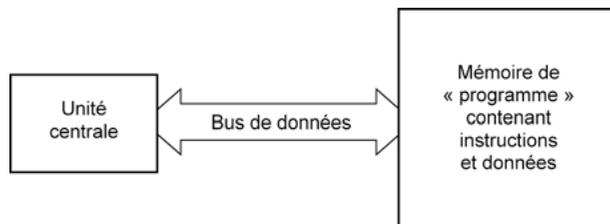


Figure 1.1 – Principe de l'architecture de Von Neumann

Si cette architecture donne toute satisfaction comme vous en avez la preuve éclatante chaque jour, elle pose quelques problèmes dès que l'on veut faire fonctionner l'ensemble rapidement. En effet, l'exécution d'une seule instruction nécessite plusieurs échanges de données sur le seul et unique bus dévolu à cet usage puisqu'il faut tout d'abord aller chercher le code de l'instruction puis le ou les données qu'elle doit manipuler.

Il est alors préférable de faire appel à une architecture dite Harvard dans laquelle les instructions et les données sont clairement différenciées et sont véhiculées sur des bus différents comme le montre la figure 1.2. Vu de l'utilisateur, cela ne change rien bien sûr et les circuits de ce type s'utilisent exactement comme les autres. En revanche, les résultats obtenus, en termes de vitesse d'exécution des programmes, peuvent être impressionnants.

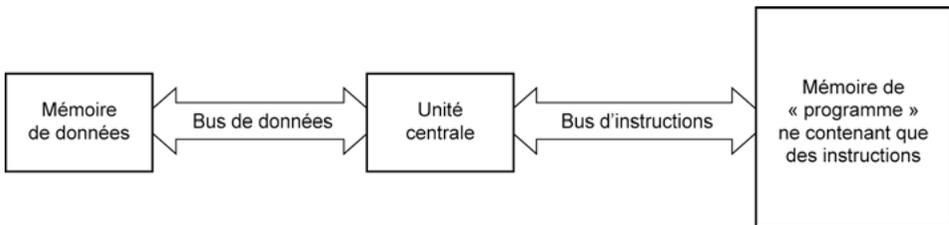


Figure 1.2 – Principe de l'architecture Harvard

En effet, l'exécution d'une instruction ne fait plus appel qu'à un seul cycle machine puisque l'on peut simultanément, grâce aux deux bus, rechercher le code de l'instruction et la ou les données qu'elle manipule.

Rompant avec une tradition bien établie, les microcontrôleurs PIC de Microchip, toutes familles confondues, utilisent une architecture Harvard mais ce n'est pas tout. Ils font également appel à une architecture de type RISC qui, comme on le lit un peu trop souvent, ne se résume pas simplement à disposer d'un jeu d'instructions réduit.

## 1.2 Les points forts de l'architecture RISC

RISC signifie *Reduced Instruction Set Computer* ce qui veut effectivement dire circuit à jeu d'instructions réduit mais ce n'est pas tout. Un vrai circuit de type RISC doit en effet présenter un certain nombre de particularités propres à accroître sa vitesse de fonctionnement.

Les microcontrôleurs à architecture RISC utilisent des instructions codées sur un seul mot, de 24 bits de long dans le cas des PIC 24 qui nous intéressent dans le cadre de cet ouvrage. Cela présente deux avantages. Le premier est que tous les emplacements de la mémoire de programme contiennent une instruction, le second est qu'un seul cycle machine suffit pour lire le code complet d'une instruction d'où un gain en vitesse d'exécution.

Les circuits RISC utilisent ensuite une structure de type pipe-line qui leur permet d'exécuter une instruction tout en recherchant la suivante en mémoire d'où, là encore, accroissement de la vitesse d'exécution.

Les circuits RISC exécutent toutes leurs instructions en un seul cycle machine ce qui est dû en grande partie au codage de l'instruction sur un seul mot. L'ALU dispose en effet en une seule fois de toutes les informations nécessaires à l'exécution de l'instruction. En fait, nous verrons que les PIC 24 font quelques entorses à cette règle dans le cas de quelques instructions particulières, mais elle reste tout de même globalement satisfaite.

Les instructions d'un circuit de type RISC ont une structure aussi orthogonale que possible, c'est-à-dire que toutes les instructions peuvent être exécutées sur tous les registres avec tous les modes d'adressage. Cela simplifie le travail du programmeur, et donc le vôtre, car il n'est plus nécessaire de retenir une multitude de cas particuliers d'instructions qui ne fonctionnent que dans un mode ou dans un autre.

Enfin, et c'est hélas la seule chose que l'on retient trop souvent à propos de l'architecture RISC, vous n'avez plus à apprendre plusieurs centaines d'instructions différentes comme avec de nombreux microcontrôleurs actuels mais « seulement » 70 instructions dans le cas des PIC 24 étudiés ici.

## 1.3 Les différentes familles de PIC 8 bits

Si l'on considère les microcontrôleurs 8 bits, c'est-à-dire les circuits manipulant des données codées sur 8 bits, il n'existe plus aujourd'hui que trois grandes familles de microcontrôleurs PIC, même si cela n'a pas toujours été le cas par le passé et, si l'on s'en tient à la classification adoptée par Microchip depuis mi-2004, on peut les présenter de la façon suivante :

- La première famille est appelée « Baseline » dans la documentation Microchip. Elle ne contient que quelques circuits mais, paradoxalement, ceux-ci ont un avenir totalement différent selon leurs références. On y trouve en effet les « petits » 12C508, 12C509, 12F508 et 12F509 dont l'unité centrale ne travaille que sur 12 bits et qui sont disponibles en boîtier DIL 8 pattes, ainsi que les « encore plus petits » et très récents circuits de la famille 10Fxxx. Ces derniers sont baptisés par Microchip « les plus petits microcontrôleurs du monde ». Ils sont en effet disponibles en boîtier en montage en surface (CMS) à 6 pattes de type SOT-23. Malgré ce boîtier lilliputien, ce sont de vrais microcontrôleurs PIC qui s'utilisent comme leurs homologues plus encombrants pour peu que l'on puisse se satisfaire de leur faible nombre de lignes d'entrées/sorties. Si l'avenir de la famille 12Cxxx est incertain ; celui des familles 12Fxxx et 10Fxxx ne devrait pas poser de problème. Ces circuits, dont la capacité de leurs mémoires tant de programme que de travail est relativement faible, sont assez mal adaptés à une programmation en langage évolué ; en revanche, ils font merveille s'ils sont programmés directement en langage machine (en assembleur pour employer cette expression impropre). Figurent aussi dans cette gamme « Baseline » les

« vieux » 16C5x, toujours à unité centrale 12 bits et ne possédant aucune des particularités qui font le succès actuel des PIC. Ces circuits sont condamnés à disparaître à plus ou moins longue échéance et, quoi qu'il en soit, sont vivement déconseillés pour toute réalisation nouvelle.

- La deuxième famille, appelée famille « Mid-Range » est celle qui comprend actuellement le plus de références. Ces circuits reprennent évidemment les concepts qui ont fait le succès de la « vieille » famille 16C5x. Ils utilisent la même architecture et le même jeu d'instructions de base mais disposent de ressources internes plus nombreuses avec, par exemple, des ports séries variés, des ports parallèles plus nombreux, des convertisseurs analogiques/digitaux voire des ressources plus évoluées sur les boîtiers les plus récents. Ils supportent aussi la programmation sous forme série ainsi que la programmation en circuit ou ICSP. Enfin, la majorité des circuits de cette famille est disponible avec de la mémoire de programme de type flash. Cette mémoire est programmable et effaçable électriquement et permet donc très facilement de réaliser des maquettes ou des prototypes sans aucune difficulté. De nombreux circuits de cette famille sont bien adaptés à la programmation en langage évolué et plus particulièrement bien sûr, ceux situés du côté « haut » de cette dernière car ils disposent de nombreuses ressources matérielles internes ainsi que de mémoires de travail et de programme de grande capacité.
- La dernière famille porte quant à elle le nom de « High Performance », dont vous aurez compris la signification même si vous n'êtes pas anglophone. Cette famille ne contient plus aujourd'hui que les circuits dont les références sont de type 18Cxxx ou 18Fxxx selon que leur mémoire de programme est de type OTPROM ou Flash, et leur unité centrale utilise des mots d'instructions codés sur 16 bits. Compte tenu de leur richesse en ressources matérielles internes mais aussi des capacités très importantes de leurs mémoires vives et de leurs mémoires de programme, ces circuits sont évidemment très bien adaptés à la programmation en langage évolué. Comme ils sont en fait une évolution logique des circuits des familles précédentes dont ils reprennent les éléments essentiels, la transformation d'une application prévue pour un PIC 16Fxxx en une application à base de 18Fxxx ne pose pas trop de problème, certains circuits étant même compatibles broche à broche (*pin for pin* si vous préférez cet anglicisme).

## 1.4 Les différentes familles de PIC 16 bits

Si l'on considère maintenant les microcontrôleurs 16 bits, c'est-à-dire les circuits manipulant des données codées sur 16 bits, la situation est plus simple car ces circuits ont été introduits plus récemment sur le marché et ont donc suivi une logique de développement parfaitement cohérente et planifiée.

Il n'existe donc à l'heure actuelle que deux grandes familles de microcontrôleurs PIC 16 bits, chacune se subdivisant à son tour en deux branches.

On trouve donc tout d'abord ce que Microchip a baptisé dsPIC le ds étant l'abréviation de *digital signal*. Ces circuits sont en effet des microcontrôleurs très orientés vers le traitement du signal. Ils disposent ainsi d'une architecture interne et d'instructions propres à leur permettre de réaliser facilement les opérations mathématiques que l'on rencontre habituellement lorsque l'on fait du traitement du signal.

Cette famille se subdivise en deux : les dsPIC30F qui sont des circuits à usage général et les dsPIC33F qui constituent les circuits haut de gamme. Ces circuits demandant des développements particuliers, ils ne seront pas traités dans le cadre de cet ouvrage, consacré à l'autre grande famille des PIC 16 bits, à savoir la famille PIC 24.

Par opposition aux dsPIC, les PIC 24 sont donc des microcontrôleurs 16 bits « classiques » qui sont à leur tour classés en deux sous-familles : les PIC 24F qui sont des circuits à usage général, faible consommation, mais dont la puissance est « limitée » à 16 MIPS (million d'opérations par seconde) et les PIC 24H qui sont des circuits haut de gamme, dont la consommation est plus élevée mais dont la puissance peut grimper à 40 MIPS.

Fort heureusement, les PIC 24F et les PIC 24H partagent la même architecture interne et le même jeu d'instructions ce qui nous permet de les traiter en un seul ouvrage. Hormis la différence de puissance de calcul, la famille PIC 24H dispose en effet de quelques ressources internes supplémentaires par rapport aux PIC 24F, et quelques rares périphériques internes offrent des fonctionnalités supplémentaires, mais cela ne suffit pas à dépayser un utilisateur habitué aux PIC 24F.

Au sein de la famille PIC 24F, quelques circuits présentent la particularité d'avoir une consommation au repos ou en veille extrêmement faible (moins de 20 nA pour certains d'entre eux). Microchip les a donc regroupés sous la dénomination de PIC 24F XLP avec technologie NanoWatt ; XLP étant l'acronyme de *eXtreme Low Power*.

Ceci étant précisé, vous trouverez tableau 1.1, les caractéristiques résumées de tous les circuits classiques de la famille PIC 24F.

Le tableau 1.2 quant à lui vous propose de découvrir les circuits XLP de la famille PIC 24F.

Le tableau 1.3 enfin présente les circuits de la famille PIC 24H qui sont, rappelons-le, les circuits haut de gamme de la famille PIC 24.

Même si ces trois tableaux sont à jour à la date de rédaction de cet ouvrage, compte tenu de l'évolution rapide des microcontrôleurs PIC, nous ne saurions trop vous recommander, avant de décider de réaliser une application, de consulter les dernières informations en vigueur chez Microchip grâce au site Internet de la marque : [www.microchip.com](http://www.microchip.com).

Vous y retrouverez ces mêmes tableaux dans leurs dernières versions, mais vous disposerez en outre de fonctions de tri ou de sélection des circuits selon certains critères de votre application (vitesse, consommation, présence de telle ou telle ressource interne). Vous pourrez également télécharger le « Product Selector Guide » si vous préférez consulter ce classement sur papier à tête reposée.

Tableau 1.1 – Caractéristiques résumées des microcontrôleurs de la famille PIC 24F.

Product	Pins	Flash KB	RAM KB	Timer	Capture	Output Compare/ PWM	RTCC	ADC 10-bit 500 ksps	Analog Comparators	UART	SPI	I <sup>2</sup> C™	PMP	PPS	CTMU	USB OTG	JTAG	Pkg Code
PIC24FJ16GA002	28	16	4	5	5	5	Y	1 ADC, 10 ch	2	2	2	2	Y	Y	-	-	Y	ML, SO, SP,SS
PIC24FJ32GA002	28	32	8	5	5	5	Y	1 ADC, 10 ch	2	2	2	2	Y	Y	-	-	Y	ML, SO, SP,SS
PIC24FJ64GA002	28	64	8	5	5	5	Y	1 ADC, 10 ch	2	2	2	2	Y	Y	-	-	Y	ML, SO, SP,SS
PIC24FJ16GA004	44	16	4	5	5	5	Y	1 ADC, 13 ch	2	2	2	2	Y	Y	-	-	Y	ML, PT
PIC24FJ32GA004	44	32	8	5	5	5	Y	1 ADC, 13 ch	2	2	2	2	Y	Y	-	-	Y	ML, PT
PIC24FJ64GA004	44	64	8	5	5	5	Y	1 ADC, 13 ch	2	2	2	2	Y	Y	-	-	Y	ML, PT
PIC24FJ64GA006	64	64	8	5	5	5	Y	1 ADC, 16 ch	2	2	2	2	Y	-	-	-	Y	PT
PIC24FJ64GB106	64	64	16	5	9	9	Y	1 ADC, 16 ch	3	4	3	3	Y	Y	Y	Y	Y	PT
PIC24FJ128GA006	64	128	8	5	5	5	Y	1 ADC, 16 ch	2	2	2	2	Y	-	-	-	Y	PT
PIC24FJ128GA106	64	128	16	5	9	9	Y	1 ADC, 16 ch	3	4	3	3	Y	Y	Y	-	Y	PT, MR
PIC24FJ128GB106	64	128	16	5	9	9	Y	1 ADC, 16 ch	3	4	3	3	Y	Y	Y	Y	Y	PT, MR
PIC24FJ256GA106	64	256	16	5	9	9	Y	1 ADC, 16 ch	3	4	3	3	Y	Y	Y	-	Y	PT, MR
PIC24FJ256GB106	64	256	16	5	9	9	Y	1 ADC, 16 ch	3	4	3	3	Y	Y	Y	Y	Y	PT, MR
PIC24FJ64GA008	80	64	8	5	5	5	Y	1 ADC, 16 ch	2	2	2	2	Y	-	-	-	Y	PT

Product	Pins	Flash KB	RAM KB	Timer	Capture	Output Compare/ PWM	RTCC	ADC 10-bit 500 ksps	Analog Comparators	UART	SPI	I <sup>2</sup> C™	PMP	PPS	CTMU	USB OTG	JTAG	Pkg Code
PIC24FJ64GB108	80	64	16	5	9	9	Y	1 ADC, 16 ch	3	4	3	3	Y	Y	Y	Y	Y	PT
PIC24FJ128GA008	80	128	8	5	5	5	Y	1 ADC, 16 ch	2	2	2	2	Y	-	-	-	Y	PT
PIC24FJ128GA108	80	128	16	5	9	9	Y	1 ADC, 16 ch	3	4	3	3	Y	Y	Y	-	Y	PT
PIC24FJ128GB108	80	128	16	5	9	9	Y	1 ADC, 16 ch	3	4	3	3	Y	Y	Y	Y	Y	PT
PIC24FJ256GA108	80	256	16	5	9	9	Y	1 ADC, 16 ch	3	4	3	3	Y	Y	Y	-	Y	PT
PIC24FJ256GB108	80	256	16	5	9	9	Y	1 ADC, 16 ch	3	4	3	3	Y	Y	Y	Y	Y	PT
PIC24FJ64GA010	100	64	8	5	5	5	Y	1 ADC, 16 ch	2	2	2	2	Y	-	-	-	Y	PF, PT
PIC24FJ64GB110	100	64	16	5	9	9	Y	1 ADC, 16 ch	3	4	3	3	Y	Y	Y	Y	Y	PT
PIC24FJ128GA010	100	128	8	5	5	5	Y	1 ADC, 16 ch	2	2	2	2	Y	-	-	-	Y	PF, PT
PIC24FJ128GA110	100	128	16	5	9	9	Y	1 ADC, 16 ch	3	4	3	3	Y	Y	Y	-	Y	PT
PIC24FJ128GB110	100	128	16	5	9	9	Y	1 ADC, 16 ch	3	4	3	3	Y	Y	Y	Y	Y	PT
PIC24FJ256GA110	100	256	16	5	9	9	Y	1 ADC, 16 ch	3	4	3	3	Y	Y	Y	-	Y	PT
PIC24FJ256GB110	100	256	16	5	9	9	Y	1 ADC, 16 ch	3	4	3	3	Y	Y	Y	Y	Y	PT

Tableau 1.2 – Caractéristiques résumées des microcontrôleurs de la famille PIC 24F avec technologie NanoWatt XLP.

Product	Pins	Flash	RAM	EEPROM	Timer	Capture	Output Compare/ PWM	RTCC	ADC	Comparators	UART	SPI	I <sup>2</sup> C™	PMP	PPS	CTMU	USB OTG	JTAG	Deep Sleep	Pkg Code
PIC24F04KA200	14	4	512	–	3	1	1	–	7	2	1	1	1	–	–	Y	–	–	Yes	P, ST
PIC24F04KA201	20	4	512	–	3	1	1	–	9	2	1	1	1	–	–	Y	–	–	Yes	P, SO, SS, MQ
PIC24F08KA101	20	8	1.5	512	3	1	1	Y	9	2	2	1	1	–	–	Y	–	–	Yes	P, SO, SS, MQ
PIC24F16KA101	20	16	1.5	512	3	1	1	Y	9	2	2	1	1	–	–	Y	–	–	Yes	P, SO, SS, MQ
PIC24F08KA101	28	8	1.5	512	3	1	1	Y	9	2	2	1	1	–	–	Y	–	–	Yes	P, SO, SS, MQ
PIC24F16KA101	28	16	1.5	512	3	1	1	Y	9	2	2	1	1	–	–	Y	–	–	Yes	P, SO, SS, MQ
PIC24F32GA102	28	32	8	–	5	5	5	Y	10	3	2	2	2	Y	Y	Y	–	Y	Yes	SP, SO, SS, ML
PIC24F32GB002	28	32	8	–	5	5	5	Y	10	3	2	2	2	Y	Y	Y	–	Y	Yes	SP, SO, SS, ML
PIC24F64GA102	28	64	8	–	5	5	5	Y	10	3	2	2	2	Y	Y	Y	–	Y	Yes	SP, SO, SS, ML
PIC24F64GB002	28	64	8	–	5	5	5	Y	10	3	2	2	2	Y	Y	Y	–	Y	Yes	SP, SO, SS, ML
PIC24F32GA104	44	32	8	–	5	5	5	Y	13	3	2	2	2	Y	Y	Y	–	Y	Yes	PT, ML
PIC24F32GB004	44	32	8	–	5	5	5	Y	13	3	2	2	2	Y	Y	Y	–	Y	Yes	PT, ML
PIC24F64GA104	44	64	8	–	5	5	5	Y	13	3	2	2	2	Y	Y	Y	–	Y	Yes	PT, ML
PIC24F64GB004	44	64	8	–	5	5	5	Y	13	3	2	2	2	Y	Y	Y	–	Y	Yes	PT, ML

Tableau 1.3 – Caractéristiques résumées des microcontrôleurs de la famille PIC 24H.

Product	Pins	Flash KB	RAM KB	DMA # ch	Timer 16- bit	Input Capture	Output Compare/ PWM	ADC 10-/12-bit <sup>1</sup> 1.1/0.5 Msps	Analog Comparators	UART	SPI	IC <sup>2</sup> <sup>TM</sup>	PMP	PPS	RTCC	CAN	JTAG	Pkg Code
PIC24HJ12GP201	18	12	1	-	3	4	2	1 ADC, 6 ch	-	1	1	1	-	Y	-	-	-	R SO
PIC24HJ12GP202	28	12	1	-	3	4	2	1 ADC, 10 ch	-	1	1	1	-	Y	-	-	Y	SP SO, ML, SS
PIC24HJ32GP202*	28	32	2	-	3	4	2	1 ADC, 10 ch	-	1	1	1	-	Y	-	-	Y	SP SO, MM
PIC24HJ32GP302	28	32	4	8	5	4	4	1 ADC 10 ch	2	2	2	1	1	Y	1	-	Y	SO, SP, MM
PIC24HJ64GP202	28	64	8	8	5	4	4	1 ADC 10 ch	2	2	2	1	1	Y	1	-	-	SO, SP, MM
PIC24HJ64GP502*	28	64	8	8	5	4	4	1 ADC 10 ch	2	2	2	1	1	Y	1	1	Y	SO, SP, MM
PIC24HJ128GP202	28	128	8	8	5	4	4	1 ADC 10 ch	2	2	2	1	1	Y	1	-	-	SO, SP, MM
PIC24HJ128GP502*	28	128	8	8	5	4	4	1 ADC 10 ch	2	2	2	1	1	Y	1	1	Y	SO, SP, MM
PIC24HJ16GP304*	44	16	2	-	3	4	2	1 ADC 13 ch	-	1	1	1	-	Y	-	-	Y	PT, ML
PIC24HJ32GP204*	44	32	2	-	3	4	2	1 ADC 13 ch	-	1	1	1	-	Y	-	-	Y	PT, ML
PIC24HJ32GP304	44	32	4	8	5	4	4	1 ADC 13 ch	2	2	2	1	1	Y	1	-	Y	PT, ML
PIC24HJ64GP204	44	64	8	8	5	4	4	1 ADC 13 ch	2	2	2	1	1	Y	1	-	Y	PT, ML
PIC24HJ64GP504*	44	64	8	8	5	4	4	1 ADC 13 ch	2	2	2	1	1	Y	1	1	Y	PT, ML
PIC24HJ128GP204	44	128	8	8	5	4	4	1 ADC 13 ch	2	2	2	1	1	Y	1	-	Y	PT, ML

Tableau 1.3 – Caractéristiques résumées des microcontrôleurs de la famille PIC 24H.

Product	Pins	Flash KB	RAM KB	DMA # ch	Timer 16- bit	Input Capture	Output Compare/ PWM	ADC 10-/12-bit† 1.1/0.5 Msps	Analog Comparators	UART	SPI	IC <sup>2</sup> ™	PMP	PPS	RTCC	CAN	JTAG	Pkg Code
PIC24HJ128GP504*	44	128	8	8	5	4	4	1 ADC, 13 ch	2	2	2	1	1	Y	1	1	Y	PT, ML
PIC24HJ64GP206A	64	64	8	8	9	8	8	1 ADC, 18 ch	-	2	2	1	-	N	-	-	Y	PT, MR
PIC24HJ64GP506A	64	64	8	8	9	8	8	1 ADC, 18 ch	-	2	2	2	-	N	-	1	Y	PT, MR
PIC24HJ128GP206A	64	128	8	8	9	8	8	1 ADC, 18 ch	-	2	2	2	-	N	-	-	Y	PT, MR
PIC24HJ128GP306A	64	128	16	8	9	8	8	1 ADC, 18 ch	-	2	2	2	-	N	-	-	Y	PT, MR
PIC24HJ128GP506A*	64	128	8	8	9	8	8	1 ADC, 18 ch	-	2	2	2	-	N	-	1	Y	PT, MR
PIC24HJ256GP206A	64	256	16	8	9	8	8	1 ADC, 18 ch	-	2	2	2	-	N	-	-	Y	PT, MR
PIC24HJ64GP210A	100	64	8	8	9	8	8	1 ADC, 32 ch	-	2	2	2	-	N	-	-	Y	PT, PF
PIC24HJ64GP510A	100	64	8	8	9	8	8	1 ADC, 32 ch	-	2	2	2	-	N	-	1	Y	PT, PF
PIC24HJ128GP210A	100	128	8	8	9	8	8	1 ADC, 32 ch	-	2	2	2	-	N	-	-	Y	PT, PF
PIC24HJ128GP310A	100	128	16	8	9	8	8	1 ADC, 32 ch	-	2	2	2	-	N	-	-	Y	PT, PF
PIC24HJ128GP510A*	100	128	8	8	9	8	8	1 ADC, 32 ch	-	2	2	2	-	N	-	1	Y	PT, PF
PIC24HJ256GP210A	100	256	16	8	9	8	8	1 ADC, 32 ch	-	2	2	2	-	N	-	-	Y	PT, PF
PIC24HJ256GP610A	100	256	16	8	9	8	8	2 ADC, 32 ch	-	2	2	2	-	N	-	2	Y	PT, PF

†PIC24H devices feature one or two user-selectable 1.1 Msps 10-bit ADC (4 Sample and Hold) or 500 ksp/s 12-bit ADC (1 Sample and Hold).

\*Parts available with High Temperature options.

## 1.5 Décodez les références

Lorsque l'on découvre une famille de microcontrôleurs, on est en général un peu perdu parmi les nombreuses références disponibles surtout lorsque, comme c'est le cas ici, elles ne sont pas forcément d'une lisibilité évidente.

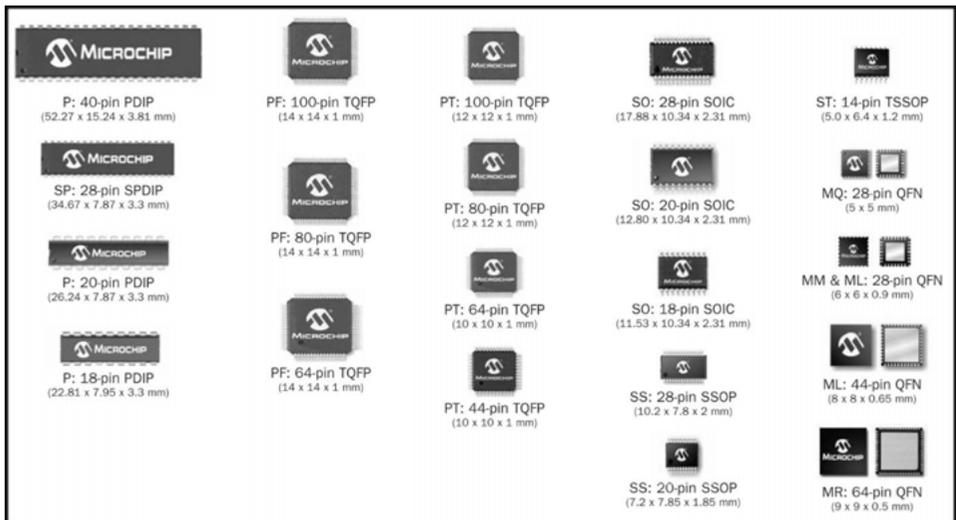
Voici donc, pour vous aider à y voir plus clair, comment sont construites les références des circuits de la famille PIC 24 ce qui, comme nous allons le voir, nous renseigne déjà sur un certain nombre de paramètres importants.

Une référence de microcontrôleur Microchip de la famille PIC 24 est toujours de la forme PIC 24 A (J optionnel) NNN BBB MM C-D/EF-XXX où :

- A ne peut être égal qu'à F ou H selon que le circuit appartient à la famille PIC 24F ou PIC 24H.
- Que J soit présent ou pas, cela indique que le circuit utilise de la mémoire de programme de type Flash, c'est-à-dire programmable et effaçable électriquement, par le circuit lui-même. C'est le cas de tous les circuits de la famille PIC 24 et nous n'avons donc pas réussi à comprendre pourquoi cette lettre était présente dans certaines références et pas dans d'autres.
- NNN est un ensemble de deux ou trois chiffres qui indique la taille de la mémoire de programme exprimée en kilo octets. Attention ! Même si les mots de la mémoire de programme comportent 24 bits, cette taille est toujours indiquée avec l'octet comme unité, que ce soit dans les tableaux de sélection ou dans les fiches techniques.
- BBB est une combinaison de lettres et de chiffres censée indiquer le groupe auquel appartient le circuit. Pour l'instant, et quelle que soit cette combinaison, nous n'avons pu référencer que des circuits « general purpose » c'est-à-dire à usage général. La seule information que l'on puisse tirer de ce groupe de lettres est que, s'il comporte la lettre B, le circuit dispose d'une interface USB.
- MM indique le nombre de pattes du boîtier conformément aux indications du tableau 1.4. Attention ! Pour une raison qui nous échappe encore, le mode de codage de ce nombre de pattes diffère selon que l'on est en présence d'un PIC 24F ou d'un PIC 24H.
- T est une lettre facultative indiquant si le circuit est disponible en bobines pour les machines à insertion automatique.
- D est une lettre qui indique la gamme de température. À l'heure actuelle, seules les lettres I, E et H sont proposées. I correspond à la gamme de température industrielle soit -40 °C à +85 °C, E à la gamme de température étendue soit -40 °C à +125 °C et H à la gamme militaire ou spatiale soit de -40 °C à +140 °C.
- EF un ensemble de deux lettres indiquant le type de boîtier contenant le circuit conformément aux indications de la figure 1.3.
- XXX enfin correspond à une indication optionnelle relative au circuit. Par exemple, si ces trois lettres se résument à ES, cela signifie que le circuit est un échantillon d'évaluation (*Engineering Sample*).

**Tableau 1.4** – Codage du nombre de pattes d'un boîtier au sein de la référence d'un circuit de la famille PIC 24.

Code numérique (MM)	Nombre de pattes	
	PIC 24F	PIC 24H
00	14	–
01	20	18
02	28	28
03	–	44
04	44	44
06	64	64
08	80	–
10	100	100



**Figure 1.3** – Les différents types de boîtiers dans lesquels sont proposés les PIC 24.

Vous pouvez donc désormais déduire qu'un PIC 24FJ256GB110-I/PT est :

- un PIC de la famille PIC 24F (F) ;
- équipé de mémoire de programme de type flash (J) ;
- contenant 256 K octets de mémoire de programme (256) ;

- à usage général mais contenant une interface USB (GB1) ;
- en boîtier 100 pattes (10) ;
- pouvant fonctionner de  $-40\text{ °C}$  à  $+85\text{ °C}$  (plage de température industrielle – I) ;
- en boîtier TQFP (PT) à 100 pattes (10 vu précédemment).

Dans la pratique, et tant que l'on n'est pas au stade de la passation de commande chez le fabricant, on se limite généralement à la partie « utile » de la référence pour parler du circuit. Dans l'exemple précédent on parlerait donc d'un 24FJ256GB110.

## 1.6 Une mémoire de programme toujours de type Flash

La mémoire de programme est toujours le point noir des concepteurs de systèmes à base de microcontrôleurs car, si la mémoire programmable par masque est celle que l'on adopte toujours pour les productions en grandes séries, elle ne convient pas aux séries moins importantes et encore moins aux phases de développement.

Pour les petites séries, la mémoire OTPROM ou mémoire programmable une seule fois (*One Time Programmable ROM*) est idéale car elle n'impose pas de quota minimum de fabrication. En outre, sa programmation est généralement très simple et ne nécessite pas toujours d'investir dans un programmeur coûteux.

Pour les phases de développement, et si l'on ne dispose pas d'un émulateur, des versions avec de la mémoire effaçable, que ce soit électriquement comme la mémoire Flash ou aux ultraviolets, est évidemment une solution idéale.

Jusqu'à ces dernières années, la fabrication de mémoire Flash et son intégration au sein de microcontrôleurs était une opération relativement complexe et les circuits dotés de mémoire de ce type étaient assez rares. Microchip a été un des premiers fabricants à introduire massivement ce type de mémoire dans ces circuits au point de forcer quasiment tous les fabricants à lui emboîter le pas.

Aujourd'hui, l'intégration de mémoire Flash dans un microcontrôleur est devenue monnaie courante et tous les circuits de la famille PIC 24 sont donc dotés de mémoire de programme de ce type.

Comme leurs petits frères des familles PIC 10 à PIC 18, ils supportent eux aussi la programmation en circuit sous forme série, ou ICSP, ce qui permet de modifier le contenu de leur mémoire de programme sans devoir les enlever de l'application où ils sont installés, mais ils vont plus loin que les PIC 10 à PIC 16 puisqu'ils peuvent, en quelque sorte, s'auto programmer ou, plus exactement, modifier eux-mêmes le contenu de leur propre mémoire de programme.

Ces mémoires Flash, qui suscitent beaucoup d'interrogations quant à la durée de rétention de l'information qu'elles contiennent et quant au nombre de cycles d'effacement et de programmation qu'elles peuvent supporter, ont beaucoup progressé depuis leur intégration dans les premiers PIC qui en étaient équipés.

Sachez donc qu'aujourd'hui, les mémoires de ce type qui équipent les PIC 24 sont annoncées comme ayant une durée de rétention minimum de l'information de 40 ans. Pour ce qui est des cycles de programmation, ils sont au minimum de

100 000 pour la mémoire Flash de données (voir chapitre 3) et de « seulement » 10 000 pour la mémoire Flash de programme.

La mémoire de programme des microcontrôleurs PIC dispose d'un ou plusieurs bits de protection qui interdisent sa relecture à partir d'un programmeur depuis l'extérieur du circuit, afin d'éviter la copie frauduleuse du logiciel contenu dans le circuit. Ces bits sont positionnés ou non par vos soins lors de la programmation du circuit. Même s'ils font partie d'un registre interne, ils ne peuvent pas être manipulés par programme. De plus, sur les circuits à mémoire de programme effaçable, ils ne peuvent être effacés qu'en même temps que l'effacement global de toute la mémoire. La confidentialité de votre programme est ainsi préservée d'un éventuel concurrent indélicat.

## 1.7 Tension d'alimentation

Tous les circuits des familles de microcontrôleurs 8 bits de Microchip offrent une large plage de tension d'alimentation qui peut atteindre 5 volts au nom de la sacrosainte compatibilité TTL. Ce n'est hélas plus le cas avec les circuits de la famille PIC 24 qui, en outre, peuvent nécessiter parfois deux tensions d'alimentation distinctes.

### 1.7.1 Cas général

Pour tous les circuits de la famille PIC 24, la tension d'alimentation peut évoluer de 1,8 à 3,6 volts au maximum avec une valeur typique de 3,3 volts qui est celle des circuits logiques rapides actuels. De ce fait, ces microcontrôleurs ne sont plus que partiellement compatibles TTL, au sens propre ou « ancien » du terme, c'est-à-dire si l'on fait référence aux circuits TTL historiques alimentés en 5 volts.

En fait, et pour que tout soit bien clair :

- un PIC 24 s'alimente, ou peut s'alimenter, sous n'importe quelle tension comprise entre 1,8 et 3,6 volts avec une valeur nominale de 3,3 volts ;
- ses entrées/sorties sont compatibles des circuits MOS ou CMOS alimentés sous la même tension ;
- lorsqu'il est alimenté en 3,3 volts, les entrées/sorties d'un PIC 24 sont compatibles des circuits TTL alimentés sous la même tension (familles 74HC ou 74 HCT par exemple) ;
- en entrée uniquement, certains circuits de la famille PIC 24H ont des entrées dites « 5 V tolérant » c'est-à-dire qu'elles admettent de recevoir directement les signaux émanant de circuits TTL classiques alimentés sous 5 volts ;
- certains circuits de la famille PIC 24 disposent de sorties pouvant être placées en mode « drain ouvert », l'équivalent en MOS du bon vieux collecteur ouvert. Il est alors possible, au moyen d'une résistance de charge externe reliée à une alimentation 5 volts, de leur faire commander des circuits TTL classiques alimentés sous cette même tension.

Indépendamment de cela, notez que la mémoire vive ou RAM contenue dans les microcontrôleurs PIC est capable de conserver son contenu lorsque le circuit est

placé en mode sommeil ou assimilé, et ce jusqu'à une tension d'alimentation aussi basse que 1,5 volt.

Dernière précision, mais qui va quasiment de soi en présence de circuits CMOS : le positif de la tension d'alimentation est appliqué à la ou aux pattes  $V_{DD}$  du boîtier et la masse à la ou aux pattes  $V_{SS}$ .

Lorsque plusieurs pattes  $V_{DD}$  et  $V_{SS}$  sont présentes sur un même boîtier, elles doivent toutes être reliées en externe à l'alimentation, et ce bien qu'elles soient parfois interconnectées en interne dans certains circuits. En outre, ces pattes d'alimentation doivent être découplées au plus près du circuit au moyen d'un condensateur de 22 à 100 nF de type céramique multicouches.

### 1.7.2 Les circuits à régulateur de tension intégré

Un certain nombre de circuits de la famille PIC 24, généralement parmi les plus récents et/ou les plus performants, alimentent leur unité centrale et une partie de sa logique associée sous une tension de 2,5 volts alors que le reste du circuit continue d'être alimenté sous la tension normale de 3,3 volts.

Une ou plusieurs entrées d'alimentation distinctes sont alors prévues sur le boîtier sous le nom de  $V_{DDCORE}$ .

Comme la réalisation d'une alimentation double, c'est-à-dire fournissant tout à la fois du 3,3 volts pour les ressources internes du circuit et du 2,5 volts pour l'unité centrale et sa logique peut être contraignante, les PIC 24 dans ce cas intègrent un régulateur de tension, que vous restez cependant libre d'utiliser ou non.

Une patte du boîtier, baptisée DISVREG, permet de valider ou non ce régulateur. Pour cela, et comme indiqué figure 1.4, il suffit de la relier à la masse pour que le régulateur fonctionne.

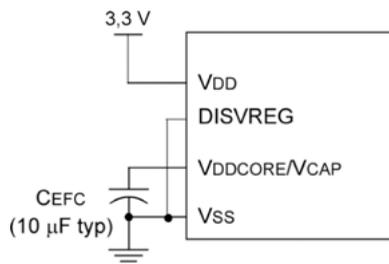
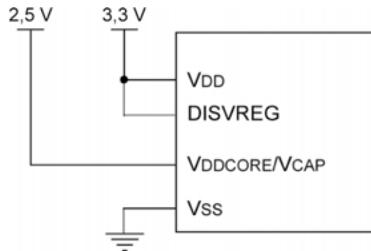


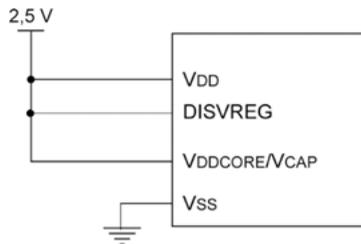
Figure 1.4 – Alimentation sous 3,3 volts avec utilisation du régulateur intégré.

Si tel est le cas, une seule alimentation 3,3 volts devient nécessaire. En revanche, il faut découpler la sortie du régulateur interne par ajout, entre la patte  $V_{DDCORE}$  et la masse (patte  $V_{SS}$ ) d'un condensateur à faible résistance série (low ESR) de 10  $\mu\text{F}$  de capacité typique.

Lorsque ce régulateur n'est pas utilisé, ce qui s'obtient en reliant DISVREG à  $V_{DD}$ , deux possibilités s'offrent à vous. Soit fournir deux tensions d'alimentation distinctes : 3,3 volts et 2,5 volts comme indiqué figure 1.5. Soit alimenter l'ensemble du circuit sous 2,5 volts comme indique figure 1.6.



**Figure 1.5** – Alimentation sous 3,3 volts sans utilisation du régulateur intégré.



**Figure 1.6** – Alimentation sous 2,5 volts sans utilisation du régulateur intégré.

Lorsque le régulateur est utilisé, il peut fonctionner jusqu'à une tension d'entrée de l'ordre de 2,6 volts. En dessous de cette valeur, il cesse de fonctionner en régulateur et passe en mode « tracking » ; il délivre alors à l'unité centrale une tension égale à celle qui lui est appliquée diminuée de 100 mV environ.

Dans le cas de la figure 1.6, l'unité centrale peut fonctionner normalement pour une tension d'alimentation inférieure à 2,5 volts mais alors ses performances se trouvent réduites et la fréquence d'horloge maximum utilisable également. La consultation de la partie consacrée aux spécifications électriques du circuit concerné est alors nécessaire pour connaître l'ampleur de cette réduction.

Lorsque le régulateur est utilisé, et même si c'est un modèle à très faible consommation, celle-ci n'est pas nulle et peut grever celle du circuit lorsqu'il entre en mode sommeil (voir la description de ce mode chapitre 4). De ce fait, ce régulateur peut passer automatiquement en mode attente dans une telle situation afin de réduire sa consommation au minimum. Pour cela, il cesse alors d'alimenter la mémoire flash de programme. Un tel comportement peut toutefois être invalidé par programmation d'un des bits de configuration du circuit.