

**PATRICE OGUIC**

# Moteurs pas-à-pas et PC

2<sup>e</sup> édition



**ETSF**

EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES FRANCAISES

# MOTEURS PAS-À-PAS ET PC



## **Sélection dans la série Électronique et informatique**

### **Philippe André,**

- *La Liaison série RS232 2<sup>e</sup> édition (cédérom inclus)*

### **Michaël Bairanzadé,**

- *Initiation au microcontrôleur 68HC11 (disquette incluse)*

### **Thomas Duval,**

- *Robotique mobile, 68HC11 et OS dédié (téléchargement de fichiers depuis le Web)*

### **Patrick Gueulle,**

- *BASIC pour microcontrôleurs et PC (cédérom inclus)*
- *Cartes à puces (disquette incluse)*
- *Cartes magnétiques et PC (disquette incluse)*
- *Composants électroniques programmables sur PC (disquette incluse)*
- *Instrumentation virtuelle sur PC (disquette incluse)*
- *Logiciels PC pour l'électronique (cédérom inclus)*
- *PC et cartes à puces (disquette incluse)*
- *Téléphones portables et PC 2<sup>e</sup> édition (cédérom inclus)*

### **É. Larchevêque / L. Lellu,**

- *Montages pour PC (disquette incluse)*

### **Marc Laury,**

- *Le Microcontrôleur ST623X (disquette incluse)*

### **Pascal Mayeux,**

- *Apprendre la programmation des PIC par l'expérimentation et la simulation, 2<sup>e</sup> édition (coffret livre + 3 cédéroms)*

### **Pascal Morin,**

- *Le Bus I2C par la pratique (disquette incluse)*
- *Mise en œuvre du 8052 AH BASIC (disquette incluse)*
- *Programmateurs pour microcontrôleurs et mémoires (téléchargement de fichiers depuis le Web)*

### **Patrice Oguic,**

- *Interfaces PC (disquette incluse)*
- *Mesures et PC (téléchargement de fichiers depuis le Web)*
- *Moteurs pas-à-pas et PC (téléchargement de fichiers depuis le Web)*
- *PC et domotique (disquette incluse)*
- *PC et télémessures (disquette incluse)*

### **Éric Quagliozi,**

- *Pratique du microcontrôleur ST622X (disquette incluse)*

### **Bernard Schaffner,**

- *Montages électroniques pour PC (disquette incluse)*

### **Christian Tavernier,**

- *Montages autour des Basic Stamp (cédérom inclus)*

PATRICE OGUIC

---

# MOTEURS PAS-À-PAS ET PC

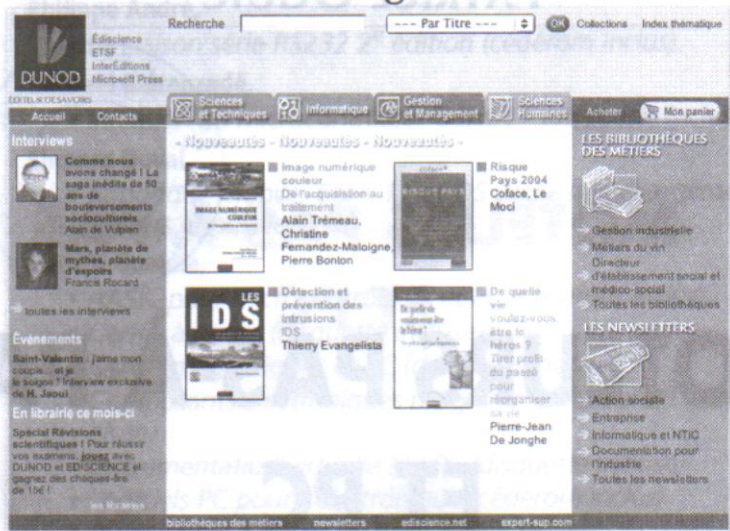
2<sup>e</sup> édition

**ETSF**

EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES FRANÇAISES



# Consultez nos catalogues sur le Web



[www.dunod.com](http://www.dunod.com)

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<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 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).



**DANGER**  
LE PHOTOCOPIAGE  
TUE LE LIVRE

© Dunod, Paris, 2004

© Dunod, Paris, 2001 pour la 1<sup>re</sup> édition

ISBN 2 10 007174 2

Illustrations intérieures : Alain et Ursula BOUTEVEILLE

Couverture : Vincent RIVERON graphiste

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

CHAPITRE		PAGE
	<b>Téléchargez tous les fichiers du livre !</b>	<b>VII</b>
	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Les différents moteurs et leur commande</b>	<b>3</b>
	1.1 Généralités	4
	1.2 Les différents types de moteurs	6
	1.3 La commande des moteurs pas-à-pas	12
<b>2</b>	<b>Commande des moteurs par transistors et par circuits intégrés non spécialisés</b>	<b>19</b>
	2.1 Commande d'un moteur pas-à-pas unipolaire par transistors avec régulation du courant	20
	2.2 Commande de deux moteurs pas-à-pas unipolaires par circuits intégrés	25
	2.3 Commande d'un moteur bipolaire par pont de transistors et tensions symétriques	34
	2.4 Commande d'un moteur bipolaire par ponts de transistors et tension unique	40
<b>3</b>	<b>Les circuits intégrés spécialisés</b>	<b>47</b>
	3.1 Les circuits intégrés EDE1200 et EDE1204	48
	3.2 Le module de commande GS-D200S	60
	3.3 Les circuits de commande L297 et L298	73
	3.4 Le circuit de commande MC3479 pour moteur bipolaire	89
	3.5 Le circuit de commande PBL3717A	105
<b>4</b>	<b>Commande de moteurs par microprocesseurs</b>	<b>121</b>
	4.1 Commande par microcontrôleur Stamp Basic I	122
	4.2 Commande par microcontrôleur PIC	131
<b>5</b>	<b>Réalisation d'un robot mobile, EPOX II</b>	<b>143</b>
	5.1 Le microcontrôleur PICBASIC-3H	145



5.2	Les schémas de principe	150
5.3	La télécommande	154
5.4	La réalisation des platines	160
5.5	La mécanique	168
5.6	Les essais	170

---

<b>Annexe</b>		<b>173</b>
---------------	--	------------

# TÉLÉCHARGEZ TOUS LES FICHIERS DU LIVRE !

Tous les fichiers .TIF donnant le tracé des pistes des circuits imprimés ainsi que certains programmes sont téléchargeables à partir du site :

<http://www.dunod.com>

Il faut tout d'abord rechercher l'ouvrage (par titre ou par auteur) puis, une fois sur la page dédiée à l'ouvrage, cliquer sur *Compléments en ligne* dans la rubrique *Ressources complémentaires*. Un mot de passe, issu de l'ouvrage, vous sera alors demandé.

L'impression directe sur transparent des circuits imprimés pourra ainsi être réalisée facilement. La meilleure qualité sera obtenue en utilisant une imprimante laser qui permet, par sa précision, un rendu du tracé exceptionnel. Si l'on utilise une imprimante à jet d'encre, il conviendra de vérifier minutieusement le résultat car des micro-coupures apparaissent fréquemment sur les pistes.

La dernière solution est de sortir une impression sur papier et d'effectuer une photocopie de ce dessin sur transparent. Dans ce cas, il est nécessaire de réaliser deux transparents et de les superposer, le tracé n'étant pas assez opaque pour l'insolation aux ultraviolets.

Les programmes téléchargeables sont l'éditeur PARALLAX stamp.exe (disponible sur Internet), les fichiers source et objet utilisés pour la réalisation utilisant le PIC (8e-8s.obj et 8e-8s.src), ainsi que tous les programmes du livre en .txt.





# INTRODUCTION

## MOTEURS ET LEUR COMMANDE

Les moteurs pas-à-pas, utilisés pratiquement dans tous les composants d'un système informatique, sont très mal connus, surtout en ce qui concerne leur mode de commande. Ils sont utilisés aussi bien dans les lecteurs de disquettes, les disques durs, que dans les scanners et les imprimantes. Dans le domaine de la robotique, que nous affectionnons particulièrement, ils sont la clef de voûte du système. Ils permettent d'obtenir une précision extraordinaire grâce à leur conception mécanique et électrique.

Nous avons toujours pensé qu'il était dommage que le commun des mortels, et les électroniciens de surcroît, ne puisse utiliser de telles merveilles de technologie, en raison d'une commande beaucoup plus complexe que celle des moteurs normaux.

Nous avons donc souhaité rédiger un ouvrage qui permettrait aux lecteurs intéressés la mise en œuvre de tels composants, que ce soit à des fins pédagogiques, pour une application professionnelle, ou tout simplement par curiosité.

Nous n'aurons pas la prétention de présenter dans cet ouvrage toutes les possibilités électroniques de pilotage des moteurs pas-à-pas, mais nous aborderons néanmoins la quasi-totalité des solutions les plus pratiques d'emploi, que ce soit la commande par composants discrets (la plus simple) ou la commande par circuits intégrés dédiés ou par modules intégrés. Nous aborderons également l'emploi de l'ordinateur et des microprocesseurs pour la gestion des différentes cartes dont nous donnerons une description détaillée. Les deux types de moteurs pas-à-pas les plus répandus seront utilisés. Lorsque nous disons les plus répandus, ce sont ceux les plus utilisés mais aussi les plus disponibles chez les différents revendeurs afin de faciliter l'approvisionnement.

Pour conclure, nous souhaiterions simplement que cet ouvrage corresponde à l'attente de nos lecteurs et réponde aux questions que beaucoup se posent.

Patrice Oguic





# 1 LES DIFFÉRENTS MOTEURS ET LEUR COMMANDE

1.1 Généralités	4
1.2 Les différents types de moteurs	6
1.3 La commande des moteurs pas-à-pas	12

<b>2</b>	Commande des moteurs par transistors et par circuits intégrés non spécialisés	19
<b>3</b>	Les circuits intégrés spécialisés	47
<b>4</b>	Commande de moteurs par microprocesseurs	121
<b>5</b>	Réalisation d'un robot mobile, EPOX II	143
	Annexe	173



Avant de commencer la description des différentes maquettes que nous vous proposerons tout au long de cet ouvrage, nous allons décrire la constitution interne, puis aborder le fonctionnement des différents moteurs. Cela nous a semblé nécessaire afin de mieux comprendre leur technique de commande.

### 1.1 GÉNÉRALITÉS

Il existe deux types de moteurs pas-à-pas : les moteurs à aimants permanents et les moteurs à réluctance variable. Nous verrons plus loin que les moteurs à aimants permanents se subdivisent également en deux catégories.

Malgré les différences existant entre les moteurs, le résultat recherché est l'avance d'un seul pas, c'est-à-dire la rotation de leur axe suivant un angle déterminé à chaque impulsion que l'une ou l'autre de leurs différentes bobines recevra. Cet angle, qui varie selon la constitution interne du moteur, est en général compris entre  $0,9^\circ$  et  $90^\circ$ .

Les moteurs les plus couramment rencontrés présentent des pas de :

- $0,9^\circ$  soit 400 pas par tour ;
- $1,8^\circ$  soit 200 pas par tour ;
- $3,6^\circ$  soit 100 pas par tour ;
- $7,5^\circ$  soit 48 pas par tour ;
- $15^\circ$  soit 24 pas par tour.

Il est évident que les moteurs pas-à-pas, de par leur technologie, présentent une très grande précision et une durée de vie quasi illimitée, l'usure mécanique étant pratiquement inexistante (absence de frottements). La **figure 1.1** en représente l'aspect externe. Leurs domaines de prédilection seront donc ceux où la précision est de rigueur : les constituants mécaniques de l'informatique et la robotique.

Les moteurs pas-à-pas existent en différentes tailles qui varient environ entre 1 cm et plus d'une dizaine de centimètres. Tout dépendra des applications dans lesquelles ils seront utilisés. Le plus petit moteur, par exemple, sera destiné au déplacement des têtes de lecture dans les lecteurs de disquettes ou dans les disques durs où un couple très faible est requis. Par contre, le déplacement du bras d'un robot demandera un couple nettement plus important, donc un moteur de diamètre élevé.



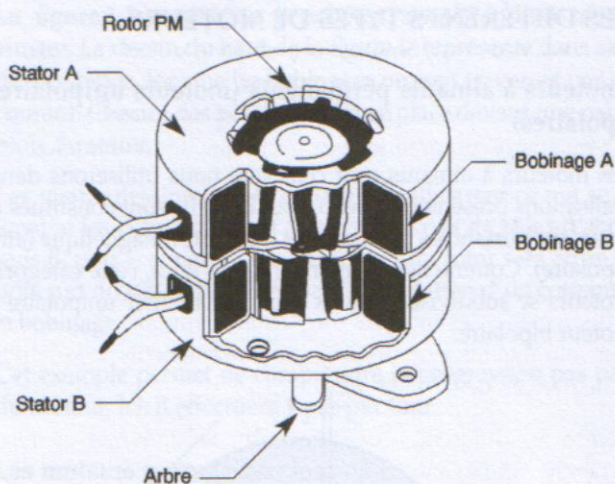


Figure 1.1.  
 Vue d'ensemble  
 d'un moteur pas-à-pas.

Signalons que le couple est exprimé le plus souvent en kilogrammes par centimètre ( $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), ce qui définit le poids en kilogrammes que pourra soulever l'axe d'un moteur pourvu d'un bras de longueur exprimée en centimètres.

La valeur de leur tension d'alimentation varie dans de grandes proportions, elle peut être comprise entre 3 V et plusieurs dizaines de volts. De même, selon la résistance ohmique de leurs bobinages, le courant consommé s'étendra dans une gamme allant de quelques dizaines de milliampères à plusieurs ampères.

En simplifiant, nous pourrions dire que plus le courant sera élevé, plus le couple sera important.

En ce qui nous concerne, les détaillants commercialisent la plupart du temps, sauf exception rare, des moteurs de type standard, de consommation moyenne et possédant un couple de puissance relativement bas. Ce faible couple pourra être compensé par l'adjonction d'une démultiplication constituée de pignons. La vitesse de rotation diminuera mais le couple augmentera dans de fortes proportions, ce qui constituera une solution intermédiaire étant donné le prix prohibitif des moteurs pas-à-pas de forte puissance.

Nous voici arrivés au terme de cette brève description des caractéristiques générales des moteurs pas-à-pas. Nous allons maintenant aborder plus en détail ce qui différencie chaque type de moteurs, leur technologie et les principaux types de commande.



## 1.2 LES DIFFÉRENTS TYPES DE MOTEURS

### Les moteurs à aimants permanents (moteurs unipolaires et bipolaires)

Les moteurs à aimants sont ceux que nous utiliserons dans les réalisations présentées dans cet ouvrage. Ils sont constitués d'un stator supportant les bobinages et d'un rotor magnétique (aimant bipolaire). Comme nous l'avons dit plus haut, cette catégorie de moteurs se subdivise en deux types : le moteur unipolaire et le moteur bipolaire.

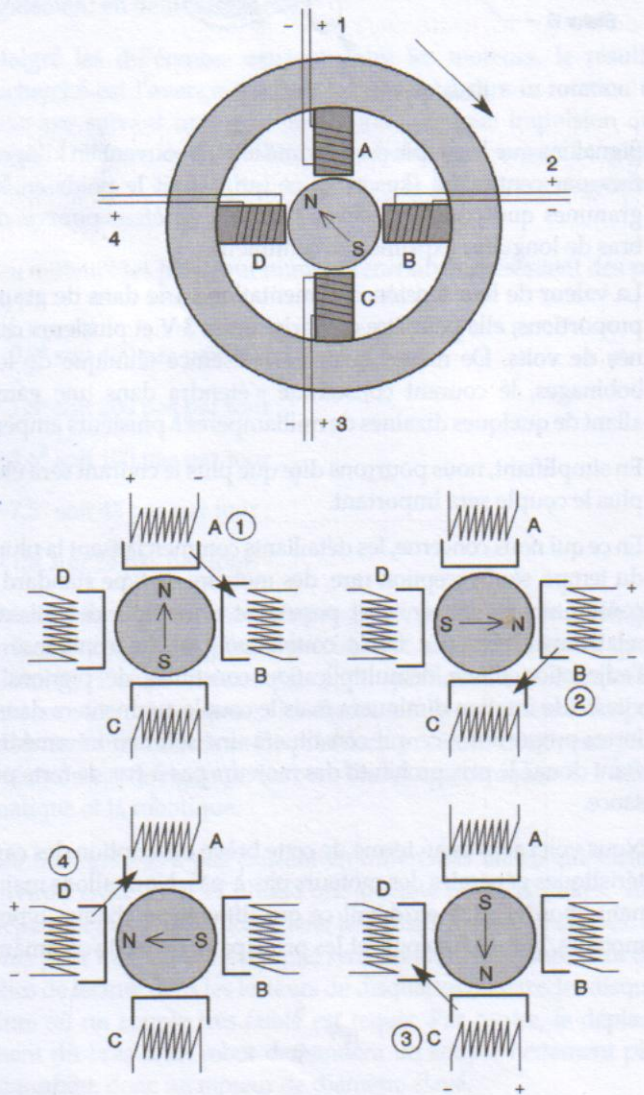


Figure 1.2.  
Fonctionnement  
schématique  
d'un moteur pas-à-pas.

La **figure 1.2** représente le schéma simplifié d'un moteur à aimant. Le dessin du haut de la figure le représente dans sa position de repos, lorsque les bobinages ne sont traversés par aucun courant. Chacun des pôles du rotor se place devant une paire des plots du stator.

Les quatre dessins du bas de la figure illustrent ce qui se passe lorsque les bobinages sont alimentés à tour de rôle : d'abord A, puis B, puis C et enfin D. Le pôle nord du rotor sera attiré par le pôle sud du stator, pôle créé par la circulation d'un courant dans le bobinage.

Cet exemple permet de comprendre la progression pas par pas du moteur. Ici, il effectuera 4 pas par tour.

### Les moteurs unipolaires

Une représentation schématisée d'un moteur unipolaire est donnée en **figure 1.3**. Afin d'inverser le sens du courant, les enroulements sont réalisés au moyen de deux fils dont l'une des extrémités est reliée au + ou au - de l'alimentation. La commande de ce type de moteur est la plus simple de tous les moteurs pas-à-pas puisqu'il suffira d'alimenter les bobinages à tour de rôle pour faire tourner l'axe d'un pas. Le schéma de la **figure 1.4** résume la séquence la plus simple.

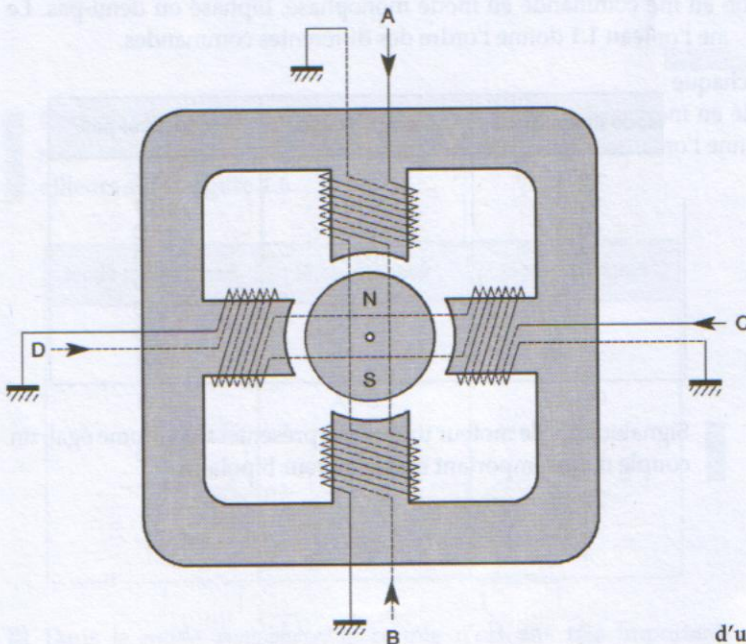


Figure 1.3.  
Représentation  
schématique  
d'un moteur unipolaire.



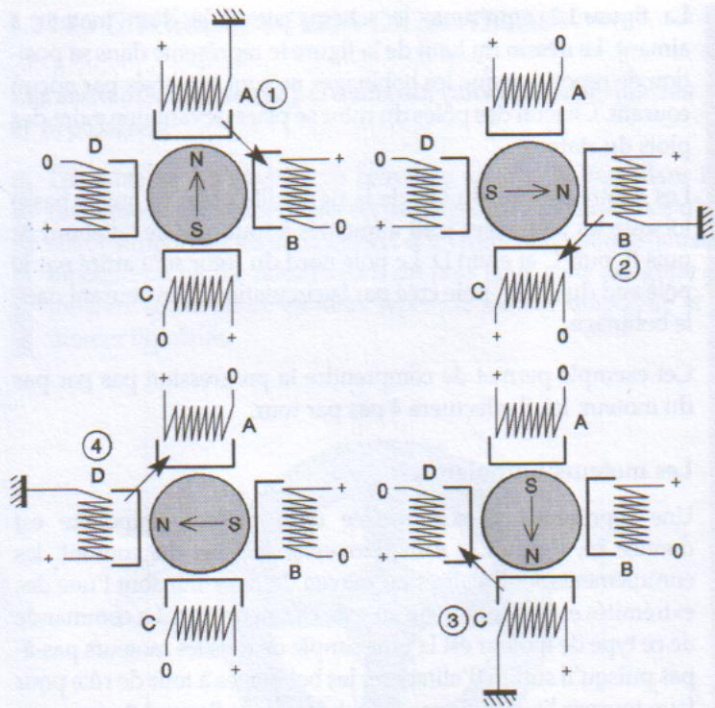


Figure 1.4.  
Séquence de rotation simple.

Comme pour chaque type de moteur, le modèle unipolaire peut être commandé en mode monophasé, biphasé ou demi-pas. Le **tableau 1.1** donne l'ordre des différentes commandes.

**Tableau 1.1.**  
Ordre des différentes commandes suivant le mode monophasé, biphasé ou demi-pas.

Mode monophasé	Mode biphasé	Mode demi-pas
0001	0101	0001
0100	0110	0101
0010	1010	0100
1000	1001	0110
		0010
		1010
		1000
		1001

Signalons que le moteur unipolaire présentera, à volume égal, un couple moins important que le moteur bipolaire.

### Les moteurs bipolaires

La figure 1.5 représente la constitution interne d'un moteur de type bipolaire. Ce type de moteur nécessite une commande plus complexe que celle du moteur unipolaire, le courant devant changer de sens dans les enroulements à chaque pas effectué.

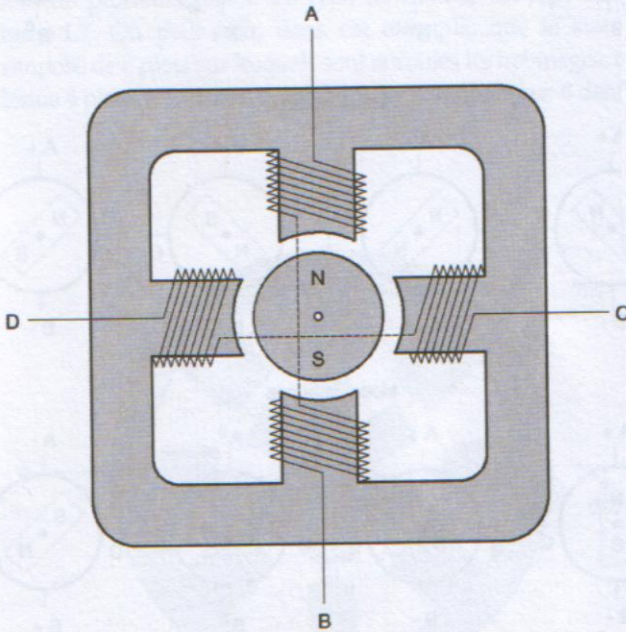


Figure 1.5.  
Représentation  
schématique  
d'un moteur bipolaire.

Comme pour le modèle précédent, ce moteur peut être alimenté sous trois séquences différentes (tableau 1.2), représentées par ailleurs sur la figure 1.6.

Mode monophasé	Mode biphasé	Mode demi-pas
AB	AB-CD	AB
CD	BA-CD	AB-CD
BA	BA-DC	CD
DC	AB-DC	BA-CD
AB	AB-CD	BA
etc.	etc.	BA-DC
		DC
		AB-DC
		AB
		etc.

Tableau 1.2.  
Ordre des différentes  
commandes suivant  
le mode monophasé,  
biphasé ou demi-pas.

Dans le mode *monophasé*, le couple n'est pas très important puisqu'un seul enroulement est alimenté pour effectuer un pas.



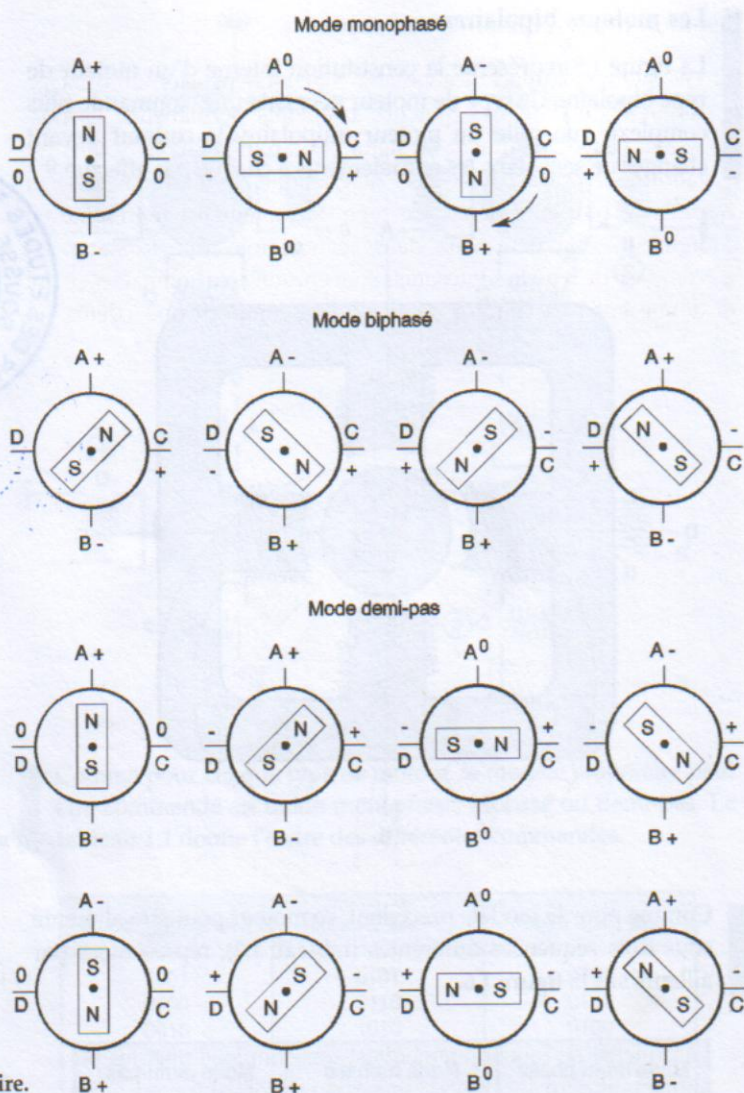


Figure 1.6.  
Séquences  
de commande  
d'un moteur bipolaire.

C'est dans le mode *biphasé* que le moteur développera la plus grande puissance (couple élevé) car les deux phases seront alimentées dans le même temps.

Le mode *demi-pas* permet de doubler le nombre de pas qu'un moteur peut effectuer par tour, mais cette précision supplémentaire engendre un couple irrégulier. En effet, dans ce mode, la commande du moteur est un mélange de mode biphasé et monophasé. Dans ce cas, si la charge est importante, des pas risquent de « sauter », ce qui n'est pas le but recherché.

## Les moteurs à réluctance variable

Les moteurs à réluctance variable fonctionnent selon un principe différent de celui des moteurs à aimants permanents. Ils possèdent bien évidemment un stator et un rotor, mais ce dernier est fabriqué en acier doux non magnétique. Il n'est pas lisse et possède plusieurs dents. Ce type de moteur est représenté en **figure 1.7**. On peut voir, dans cet exemple, que le stator est composé de 8 plots sur lesquels sont enroulés les bobinages, ce qui donne 4 phases. Le rotor, quant à lui, ne comporte que 6 dents.

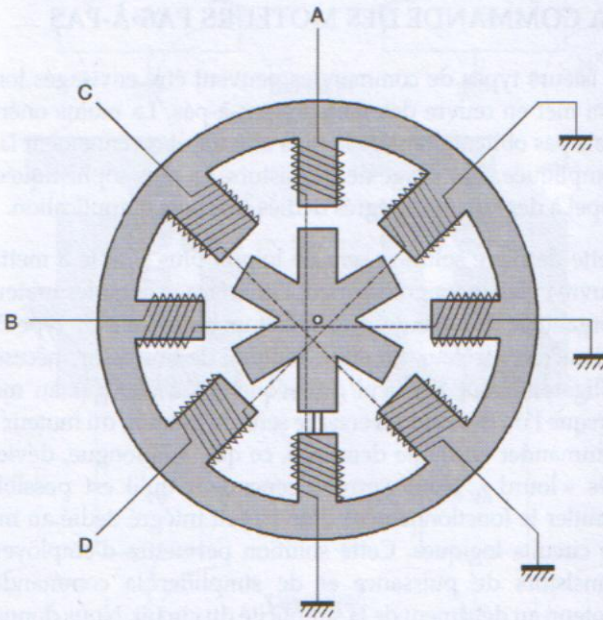


Figure 1.7.  
Commande  
des moteurs  
unipolaire et bipolaire.

Le principe de fonctionnement est très simple : l'une des phases alimentant deux des plots opposés du stator est traversée par un courant afin d'aligner deux des dents du rotor avec ces plots. Le mode de commande peut dans ce cas, de la même façon que pour les autres moteurs, être monophasé, biphasé ou demi-pas. Les séquences de commandes sont présentées dans le **tableau 1.3**.

On peut remarquer que le type de commande du moteur à réluctance variable est identique à celui du moteur à aimant permanent unipolaire puisque l'une des extrémités de chaque phase est reliée au + ou au - de l'alimentation et qu'il n'est donc pas nécessaire d'inverser le courant dans les phases. Remarquons que l'angle de pas du moteur représenté sur la figure est de  $15^\circ$  et non de  $45^\circ$  comme on pourrait le penser.



**Tableau 1.3.**  
Ordre des différentes commandes suivant le mode monophasé, biphasé ou demi-pas.

Mode monophasé	Mode biphasé	Mode demi-pas
A	AC	A
B	CB	AC
C	BD	C
D	DA	BC
		B
		BD
		D
		DA

## 1.3 LA COMMANDE DES MOTEURS PAS-À-PAS

Plusieurs types de commandes peuvent être envisagés lorsque l'on met en œuvre des moteurs pas-à-pas. La moins onéreuse, mais pas obligatoirement la plus efficace et certainement la plus compliquée, fera usage de transistors. La plus sophistiquée fera appel à des circuits intégrés dédiés à ce type d'application.

Cette dernière solution sera de loin la plus simple à mettre en œuvre et facilitera grandement l'interfaçage entre les moteurs et l'organe de commande, que ce soit un ordinateur de type PC ou un microcontrôleur. En effet, l'emploi de transistors nécessitera obligatoirement le calcul des séquences à envoyer au moteur lorsque l'on désirera inverser le sens de rotation du moteur ou le commander en mode demi-pas, ce qui, à la longue, deviendra très « lourd ». Nous verrons cependant qu'il est possible de simuler le fonctionnement d'un circuit intégré dédié au moyen de circuits logiques. Cette solution permettra d'employer des transistors de puissance et de simplifier la commande du moteur, au détriment de la simplicité du circuit. Nous donnerons quelques exemples de circuits qui permettront à l'utilisateur de choisir la solution la plus adaptée à l'application envisagée.

Les commandes nécessitées par les différents types de moteurs sont représentées en **figure 1.8**. Le dessin situé dans le bas de la figure schématise la commande d'un moteur unipolaire. On voit qu'il suffit simplement d'alimenter, en la reliant à la masse, l'extrémité de l'une des phases, l'autre extrémité étant connectée en permanence au + de l'alimentation. On comprend donc qu'un seul transistor sera nécessaire pour cette commutation. Le moteur comprenant quatre bobinages, quatre transistors seront utilisés, ce qui sera d'une grande simplicité. La **figure 1.9** résume, d'une façon plus pratique, les différentes connexions à réaliser.

Sur la **figure 1.8**, le schéma du haut symbolise la commande d'un moteur bipolaire. Là, les choses se compliquent quelque peu



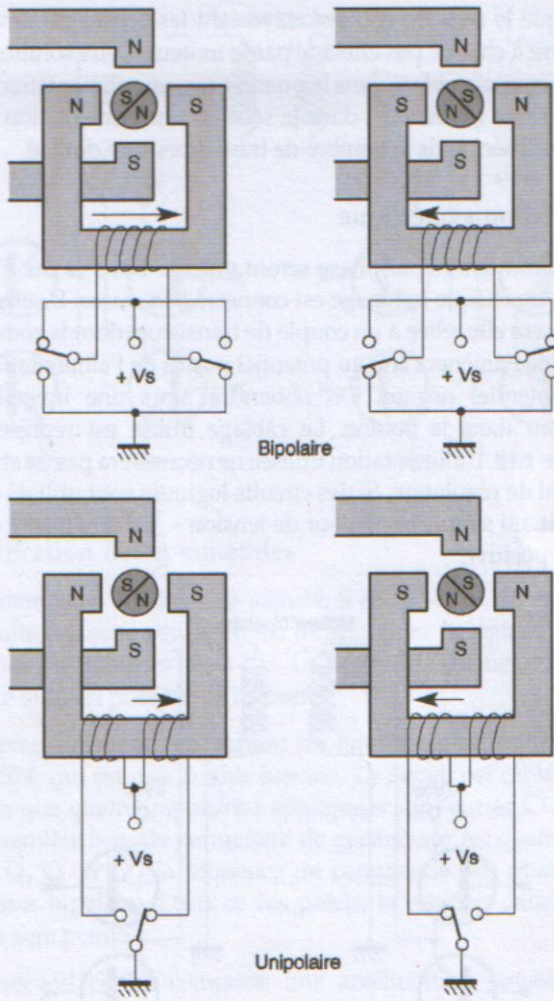


Figure 1.8.  
Commande  
des moteurs  
unipolaire et bipolaire.

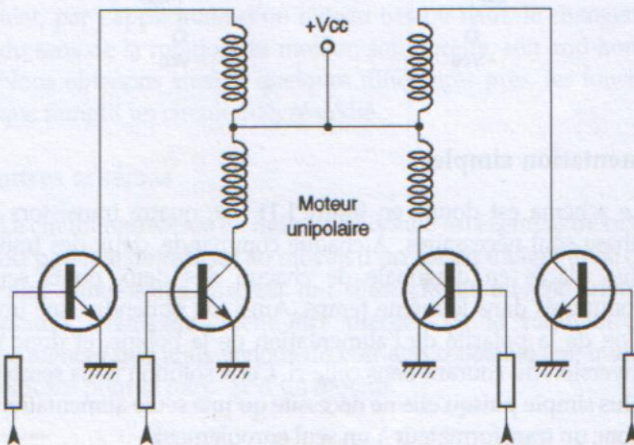


Figure 1.9.  
Commande  
d'un moteur unipolaire  
par transistors.



puisque le sens du courant traversant les bobinages devra être inversé à chaque pas effectué par le moteur. Deux solutions sont alors envisageables : dans le premier cas, une alimentation symétrique sera nécessaire ; dans le second, une alimentation simple sera utilisée, mais le nombre de transistors sera doublé.

### Alimentation symétrique

Deux transistors par phase seront utilisés. Dans ce cas, l'un des pôles de chaque bobinage est connecté à la masse. L'autre extrémité sera elle reliée à un couple de transistors dont la commande séparée l'amènera soit au potentiel positif de l'alimentation, soit au potentiel négatif. On obtiendra alors une inversion du courant dans la bobine. Le câblage utilisé est représenté en **figure 1.10**. L'alimentation utilisée ne nécessitera pas de stabilisation ni de régulation. Si des circuits logiques sont utilisés dans le circuit, un simple régulateur de tension + 5 V sera inséré dans la ligne positive.

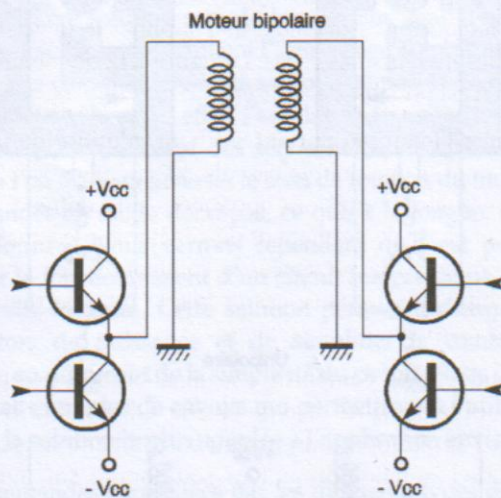


Figure 1.10.  
Commande  
d'un moteur bipolaire  
avec alimentation  
symétrique.

### Alimentation simple

Le schéma est donné en **figure 1.11**. Là, quatre transistors par phase sont nécessaires. À chaque commande, deux des transistors placés en diagonale de chacun des deux ponts seront commutés dans le même temps. Ainsi, on obtiendra une inversion de la polarité de l'alimentation de la bobine, et donc une inversion du courant dans celle-ci. Cette solution nous semble la plus simple puisqu'elle ne nécessite qu'une seule alimentation et donc un transformateur à un seul enroulement.

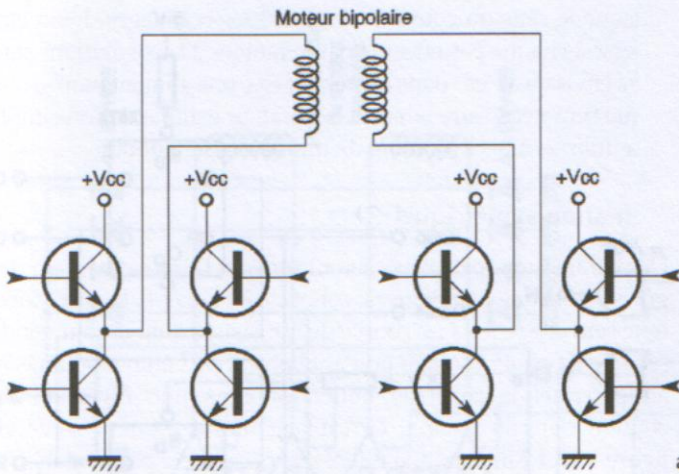


Figure 1.11.  
Commande  
d'un moteur bipolaire  
avec alimentation simple.

### Simplification des commandes

Comme nous l'avons déjà signalé, il est possible, au moyen de circuits logiques peu onéreux, de simplifier le logiciel de commande des moteurs pas-à-pas. La **figure 1.12** donne un exemple de ce qu'il est possible de réaliser.

Le premier circuit, en partant du haut, n'utilise qu'un simple 74LS74, qui est une double bascule. Le circuit est câblé de telle sorte que quatre impulsions appliquées sur l'entrée CLOCK de la première bascule permettent de générer sur les quatre sorties ( $Q$ ,  $\bar{Q}$ ,  $Q'$  et  $\bar{Q}'$ ) la séquence de commande des phases d'un moteur bipolaire. Dans ce cas précis, la rotation dans un seul sens sera possible.

Le second circuit comporte une amélioration notable. Deux portes supplémentaires de type 74LS86 (OU EXCLUSIF) permettent, par l'application d'un niveau bas ou haut, le changement du sens de la rotation du moteur, soit horaire, soit anti-horaire. Nous obtenons ainsi, à quelques différences près, les fonctions que remplit un circuit intégré dédié.

### D'autres schémas

Le circuit représenté en **figure 1.13** donne un exemple de ce qu'il est possible de réaliser au moyen d'un circuit intégré et de quelques composants discrets (ou d'un circuit intégré *driver*). Il pourra avantageusement être précédé de la commande de séquences que nous venons de voir afin d'obtenir une interface efficace pour le pilotage d'un moteur.



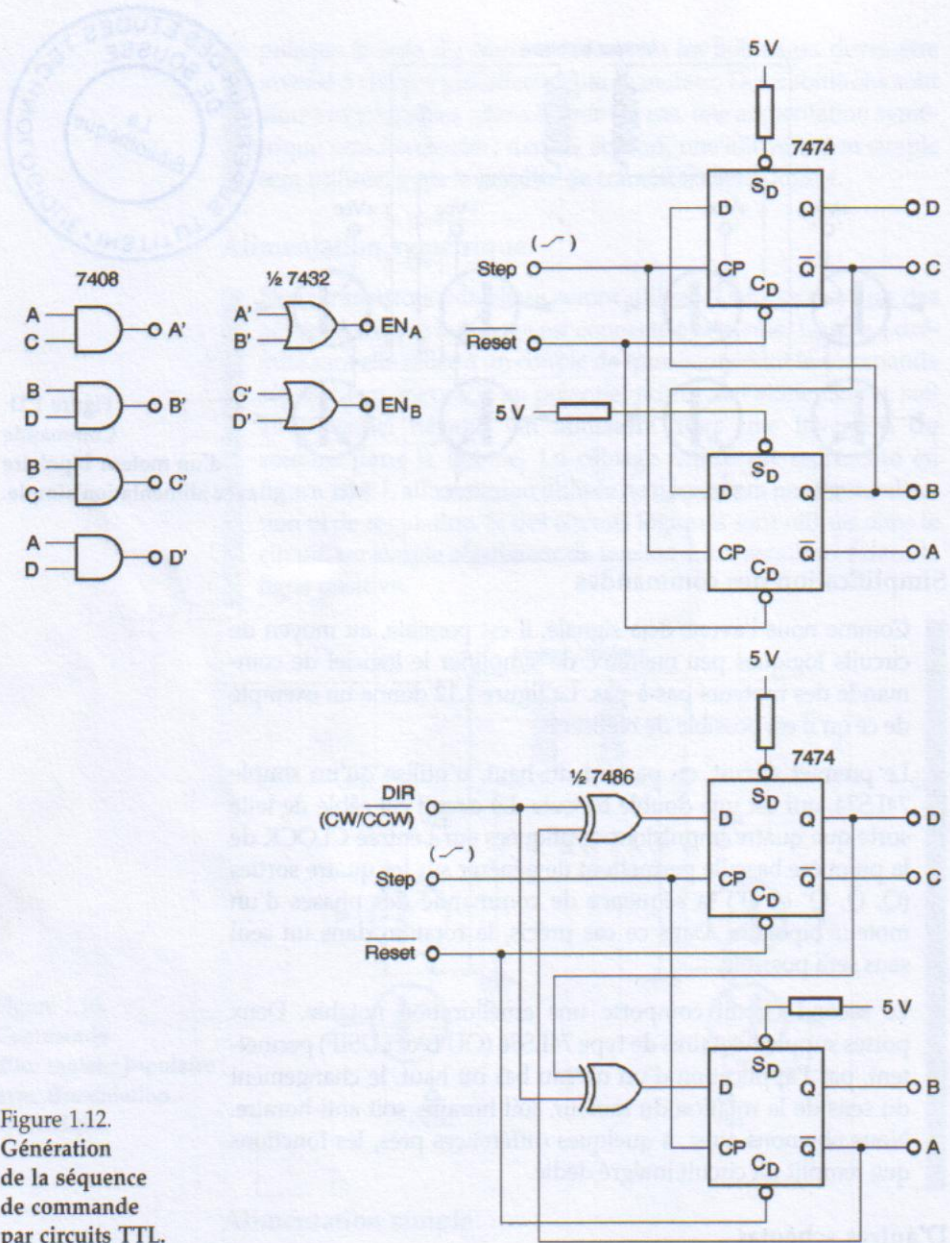


Figure 1.12.  
Génération  
de la séquence  
de commande  
par circuits TTL.

Cette façon de procéder permet de maintenir un courant constant dans les bobines du moteur pas-à-pas. Deux résistances palpeuses de courant d'une valeur de 1 Ω (valeur fixée en fonction de la consommation du moteur) sont d'une part connectées aux sorties adéquates du circuit L293E, et d'autre part aux entrées inverseuses de deux comparateurs. Signalons qu'il est tout à fait possible de remplacer ce circuit intégré par quatre

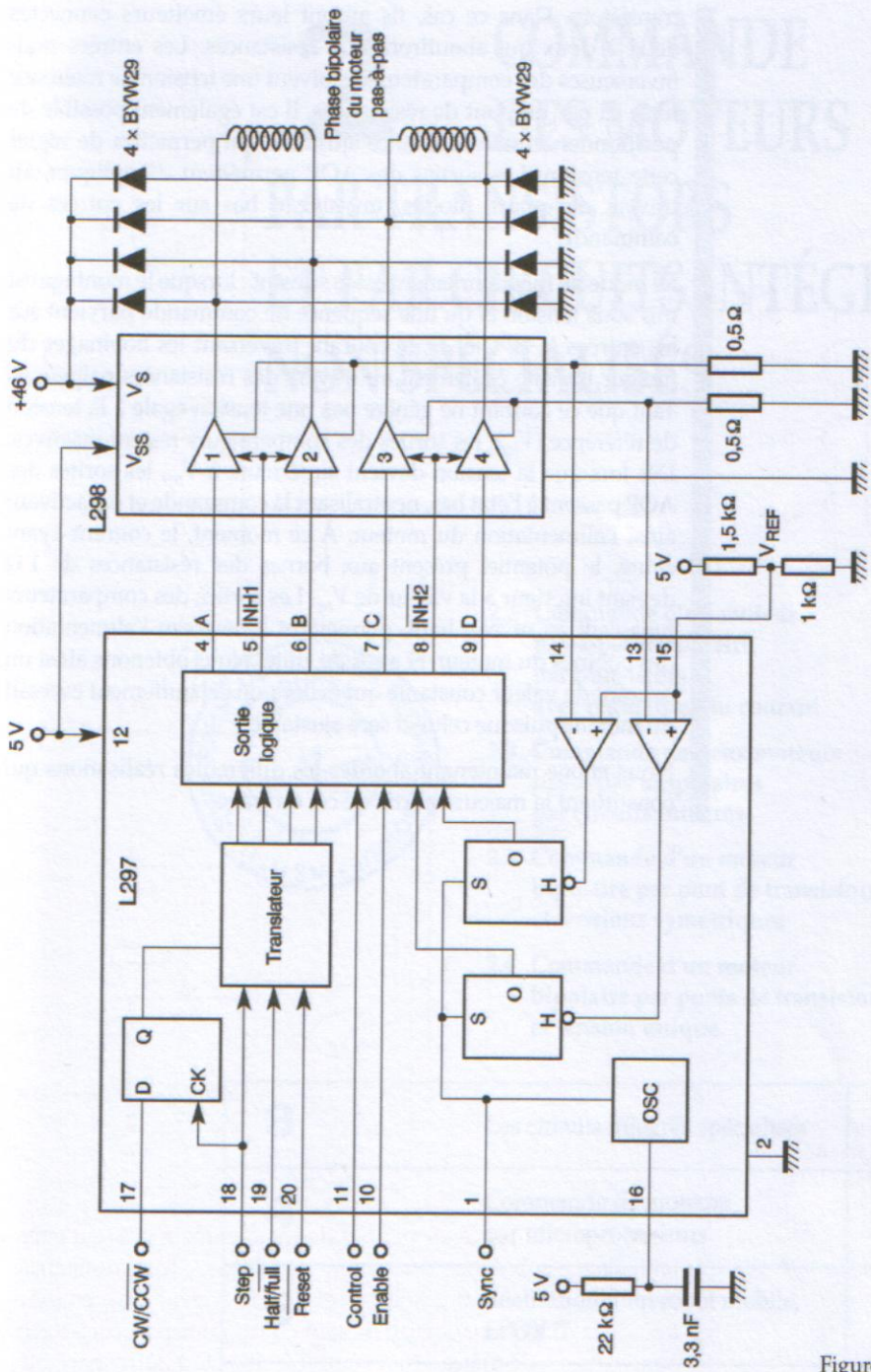


Figure 1.13.  
Commande  
par circuit intégré  
avec mesure du courant.



transistors. Dans ce cas, ils auront leurs émetteurs connectés deux à deux qui aboutiront aux résistances. Les entrées non-inverseuses des comparateurs reçoivent une tension de référence fixée ici par un pont de résistances. Il est également possible de positionner ici une résistance ajustable qui permettra de régler cette tension. Les sorties des AOP permettent d'appliquer, au travers de quatre diodes, un niveau bas sur les entrées de commande.

Le mode de fonctionnement est le suivant : lorsque le montage est mis sous tension et qu'une séquence de commande parvient sur les entrées A, B, C et D, le courant traversant les bobinages du moteur transite également au travers des résistances palpeuses. Tant que ce courant ne génère pas une tension égale à la tension de référence ( $V_{ref}$ ), les sorties des comparateurs restent inactives. Dès lors que la tension devient supérieure à  $V_{ref}$ , les sorties des AOP passent à l'état bas, neutralisant la commande et désactivant ainsi l'alimentation du moteur. À ce moment, le courant ayant chuté, le potentiel présent aux bornes des résistances de  $1\ \Omega$  devient inférieur à la valeur de  $V_{ref}$ . Les sorties des comparateurs repassent au niveau haut, permettant à nouveau l'alimentation des bobines du moteur, et ainsi de suite. Nous obtenons ainsi un courant de valeur constante qui évitera un échauffement excessif du moteur puisque celui-ci sera ajustable.

Nous allons maintenant aborder les différentes réalisations qui constituent la majeure partie de cet ouvrage.

# 2 COMMANDE DES MOTEURS PAR TRANSISTORS ET PAR CIRCUITS INTÉGRÉS NON SPÉCIALISÉS

- 2.1 Commande d'un moteur pas-à-pas unipolaire par transistors avec régulation du courant 20
- 2.2 Commande de deux moteurs pas-à-pas unipolaires par circuits intégrés 25
- 2.3 Commande d'un moteur bipolaire par pont de transistors et tensions symétriques 34
- 2.4 Commande d'un moteur bipolaire par ponts de transistors et tension unique 40

<b>3</b>	Les circuits intégrés spécialisés	47
<b>4</b>	Commande de moteurs par microprocesseurs	121
<b>5</b>	Réalisation d'un robot mobile, EPOX II	143
	Annexe	173



Dans ce chapitre, nous décrirons plusieurs montages d'interface de moteur pas-à-pas. Ces montages n'utiliseront que des transistors et des circuits intégrés non dédiés comme les portes logiques et les amplificateurs opérationnels. Cela permettra au lecteur de se familiariser avec la commande des moteurs avant d'aborder les circuits spécialisés et les modules intégrés de commande.

### 2.1 COMMANDE D'UN MOTEUR PAS-À-PAS UNIPOLAIRE PAR TRANSISTORS AVEC RÉGULATION DU COURANT

Le premier montage que nous décrirons est une variante d'un circuit que nous avons présenté dans le premier chapitre, à une différence près : le circuit intégré de puissance a été remplacé par des transistors.

#### Le schéma de principe

Le schéma de principe du circuit est représenté en **figure 2.1**.

Les signaux issus de l'organe de commande (ordinateur, microcontrôleur, etc.) sont appliqués aux entrées de quatre portes ET contenues dans un circuit de type 74LS08, portes servant de tampons. Les sorties aboutissent aux résistances de base de quatre transistors de puissance, des darlington de type BD679. Les émetteurs de chaque paire de transistors sont connectés deux à deux ( $T_1$ - $T_2$  et  $T_3$ - $T_4$ ) et reliés à des résistances d'une valeur de  $1\ \Omega$  ( $R_5$  et  $R_6$ ). Les collecteurs aboutissent aux bobinages du moteur pas-à-pas dont les points milieux de chaque enroulement resteront connectés en permanence au + de l'alimentation. Une diode placée entre chaque collecteur et le + VCC protège les transistors contre les tensions inverses induites par le moteur lors des ruptures de l'alimentation. Des diodes Led et leur résistance de limitation permettent de visualiser les phases alimentées.

Deux amplificateurs opérationnels contenus dans un boîtier de type LM358 sont utilisés pour la commande du courant alimentant le moteur. Pour cela, ils sont montés en comparateurs et leur entrée inverseuse reçoit la tension générée par le passage du courant dans les diodes de  $1\ \Omega$ . Sur leur entrée non inverseuse est appliquée une tension de référence issue du pont diviseur  $R_{11}$ - $P_1$ . La résistance ajustable  $P_1$  permettra de fixer la valeur du courant. Les sorties des comparateurs sont connectées aux lignes de commande des transistors. Ainsi, lorsque le courant traversant les résistances  $R_5$  et  $R_6$  aura atteint la valeur programmée par la tension de référence, les sorties des AOP passeront au niveau bas, niveau appliqué sur les bases des transistors de commande



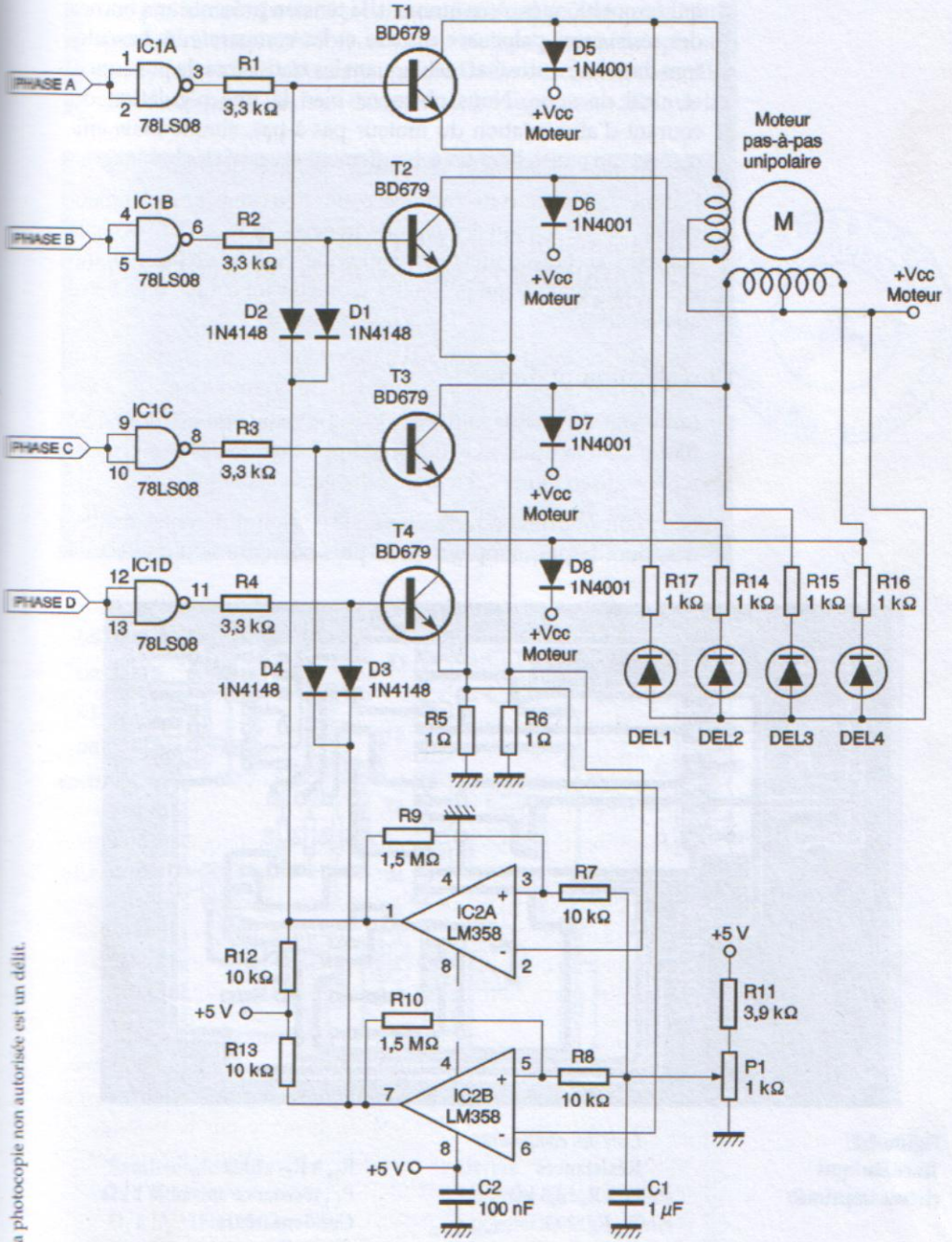


Figure 2.1. Schéma de principe.

© DUNOD - La photocopie non autorisée est un délit.



qui seront bloqués. À ce moment, la tension présente aux bornes des résistances palpeuses chutera et les comparateurs basculeront dans leur autre état, débloquant les transistors de puissance, et ainsi de suite. Nous obtenons bien là une régulation du courant d'alimentation du moteur pas-à-pas, simple mais efficace, et qui empêchera un échauffement excessif des bobinages.

L'alimentation de cette carte nécessite deux tensions d'alimentation : le +5 V pour les circuits intégrés et le +VCC pour le moteur. On choisira une tension plus élevée que la tension nominale du moteur, ce qui permettra d'obtenir un couple plus élevé au démarrage.

## La réalisation pratique

Le dessin du circuit imprimé de notre maquette est donné en **figure 2.2**. On utilisera le dessin d'implantation des composants représenté en **figure 2.3** lors du câblage de la platine.

Le circuit imprimé pourra être réalisé selon différentes méthodes, dont la plus simple mais la plus onéreuse sera d'effectuer

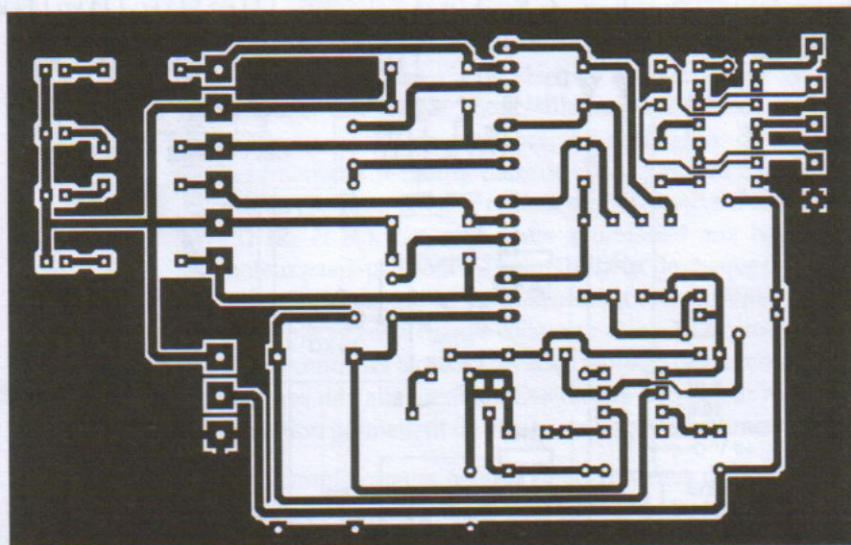


Figure 2.2.  
Tracé du  
circuit imprimé.

### Liste des composants

#### Résistances

$R_1$  à  $R_4$  : 3,3 k $\Omega$   
 $R_5, R_6$  : 1  $\Omega$   
 $R_7, R_8, R_{12}, R_{13}$  : 10 k $\Omega$   
 $R_9, R_{10}$  : 1,5 M $\Omega$   
 $R_{11}$  : 3,9 k $\Omega$

$R_{14}$  à  $R_{17}$  : 1 k $\Omega$

$P_1$  : résistance ajustable 1 k $\Omega$

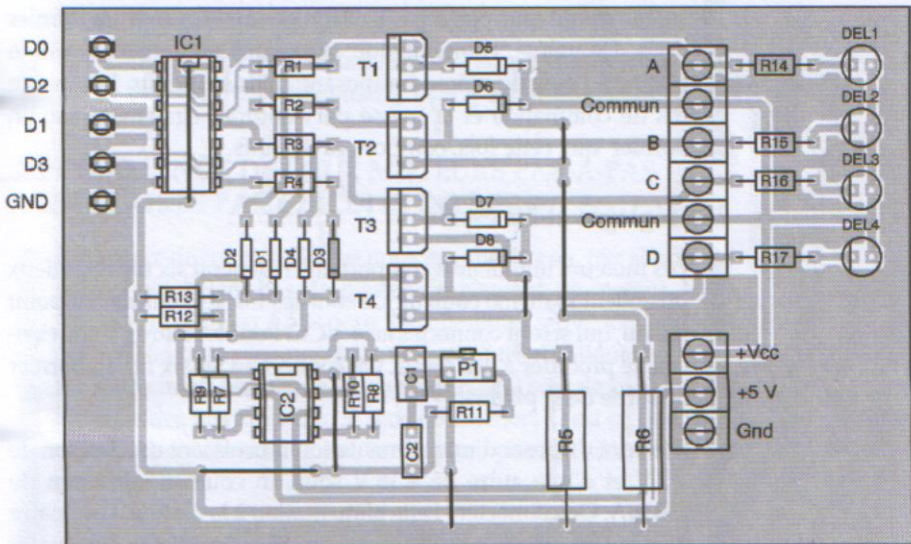
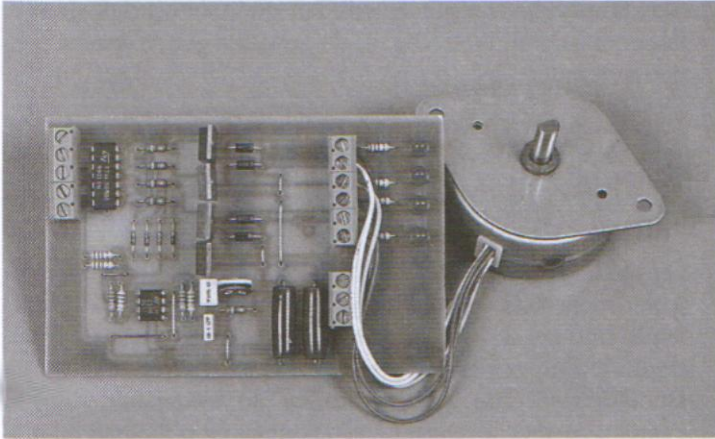
#### Condensateurs

$C_1$  : 1  $\mu$ F

$C_2$  : 100 nF



une photocopie du tracé et de la confier à une société qui le fabriquera. Une autre solution consiste à réaliser une photocopie sur transparent afin d'obtenir un typon. Dans ce cas, nous conseillons de disposer de deux tirages et de les superposer afin que les



#### Semi-conducteurs

T<sub>1</sub> à T<sub>4</sub> : BD679  
 D<sub>1</sub> à D<sub>4</sub> : 1N4148  
 D<sub>5</sub> à D<sub>8</sub> : 1N4001  
 DEL<sub>1</sub> à DEL<sub>4</sub> : diodes Led rouges

#### Circuits intégrés

IC<sub>1</sub> : 74LS08  
 IC<sub>2</sub> : LM358

#### Divers

1 bornier à vis à 2 points  
 1 bornier à vis à 4 points  
 3 borniers à vis à 3 points  
 1 support pour IC 8 broches  
 1 support pour IC 14 broches  
 4 dissipateurs thermiques  
 (voir texte)

Figure 2.3.  
Implantation  
des composants.



traits soient suffisamment opaques, ce qui n'est pas souvent le cas avec un seul typon. La dernière solution, de loin la mieux adaptée, sera de se procurer le fichier d'impression sur Internet, à partir de l'adresse qui figure en début d'ouvrage. Ce fichier permettra d'obtenir sur une imprimante un typon sur transparent. Les meilleurs résultats seront obtenus sur une imprimante laser qui garantit un tracé sans déformation et une opacité plus que suffisante.

Le câblage devra respecter un certain ordre afin de simplifier l'opération. On implantera d'abord les composants les plus petits tels que les résistances, les condensateurs plastiques, les diodes et les supports des circuits intégrés.

On soudera ensuite les transistors de puissance qui seront obligatoirement fixés sur un dissipateur thermique car ils s'échaufferont en cours de fonctionnement, ce qui est tout à fait normal. Il suffira d'utiliser quatre petits morceaux d'aluminium ou de Duralumin. Si l'on souhaite utiliser un même refroidisseur, l'emploi de semelles isolantes et de canons en plastiques pour la fixation des semi-conducteurs sera nécessaire. La sortie vers les six fils du moteur pas-à-pas s'effectuera au moyen d'un bornier à vis. De même, l'alimentation nécessaire sera amenée vers la platine à l'aide du même composant, mais à 4 points. Les quatre fils de commande et la masse parviendront également sur un bornier qui, cette fois, comportera 5 points.

### Les réglages et les essais

Les moteurs unipolaires comportent en général six fils dont deux possèdent la même couleur. Ce sont ces fils, le commun ou point milieu, qui seront connectés au + VCC. Pour les autres, il conviendra de procéder à des essais. On connectera les six fils au bornier de sortie de la platine.

Il faudra disposer d'une alimentation fournissant une tension de + 5 V et d'une autre de + 18 V sous un courant minimum de 750 mA. On connectera cette alimentation à la platine. Les quatre diodes Led devraient s'illuminer puisque les entrées des quatre portes sont laissées en l'air. Il suffira de connecter les entrées à la masse au moyen de quatre résistances de rappel, d'une valeur comprise entre 4,7 k $\Omega$  et 10 k $\Omega$ , pour obtenir un niveau bas en sortie des lignes de commande.

On reliera un fil au + 5 V de l'alimentation et on le connectera à l'entrée A. Le moteur devra effectuer un pas. Le fil sera laissé connecté et l'on pourra ainsi, au moyen d'un voltmètre, mesurer le courant consommé par le moteur, en intercalant les fils de



mesure en série avec ceux du moteur. Par la manœuvre de l'ajustable  $P_1$ , on réglera ce courant à une valeur indiquée en principe sur le carter du moteur. On continuera ce réglage en portant successivement les entrées C, B et D au + 5 V. S'il arrive que le moteur revienne d'un pas en arrière, c'est que le branchement a été mal effectué. Dans ce cas, il suffira d'inverser la connexion des sorties 3 et 4.

Les différentes séquences de commande sont présentées dans le tableau 2.1.

Mode monophasé	Mode biphasé	Mode demi-pas
DCBA	DCBA	DCBA
0001	0101	0001
0100	0110	0101
0010	1010	0100
1000	1001	0110
		0010
		1010
		1000
		1001

**Tableau 2.1.**  
Ordre des différentes commandes suivant le mode monophasé, biphasé ou demi-pas.

Les entrées A, B, C et D seront respectivement connectées, si l'on utilise un ordinateur, aux bits  $D_0$ ,  $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$ .

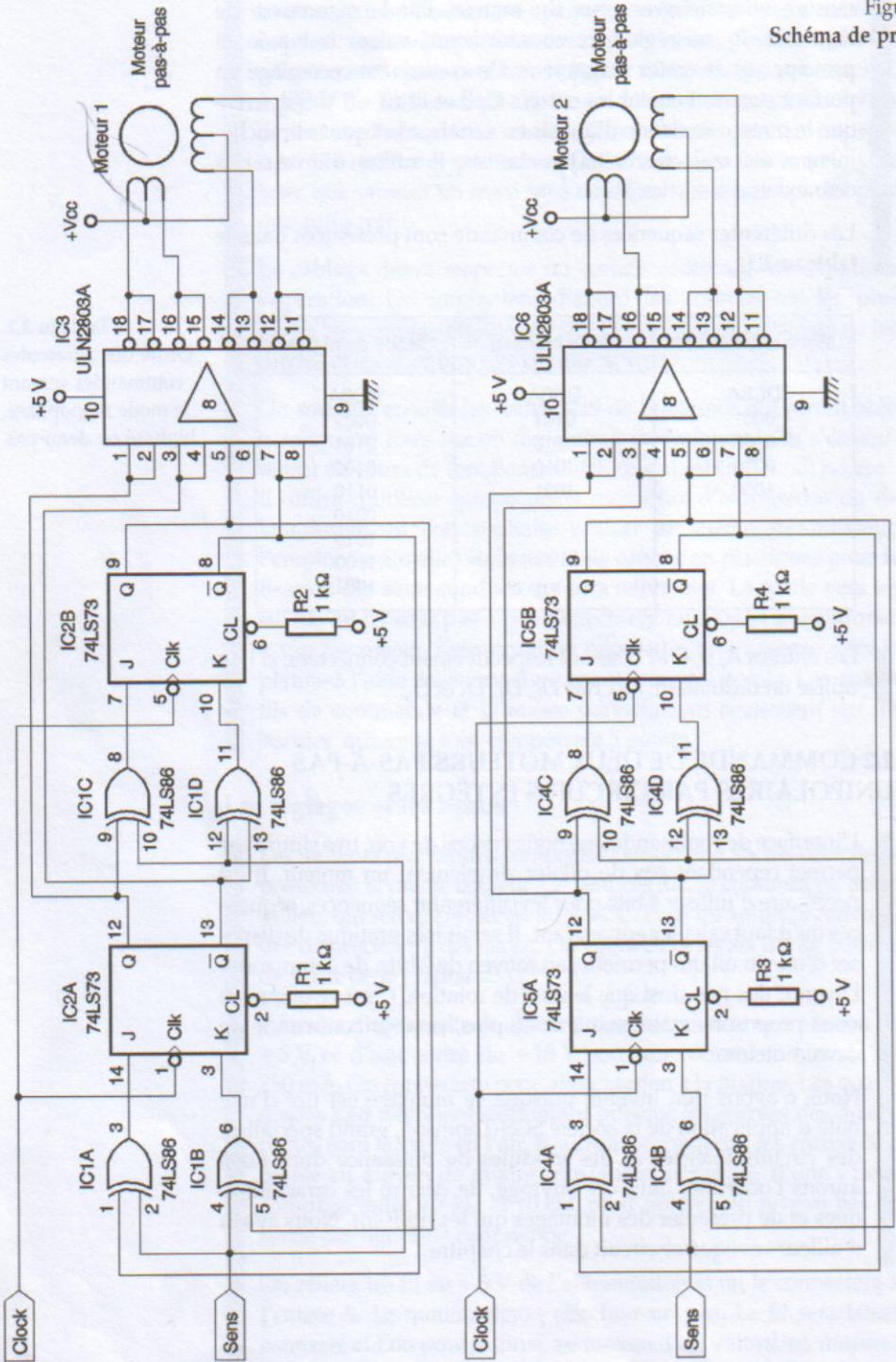
## 2.2 COMMANDE DE DEUX MOTEURS PAS-À-PAS UNIPOLAIRES PAR CIRCUITS INTÉGRÉS

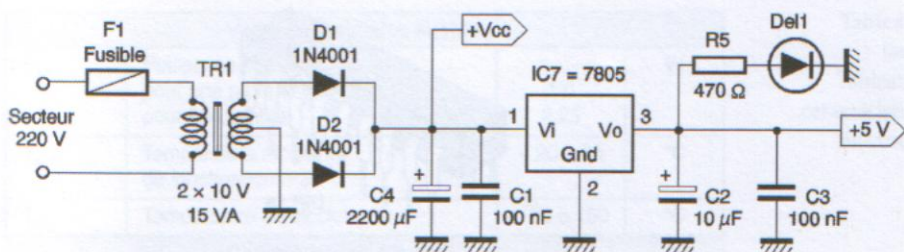
L'interface de commande que nous venons de voir, très simple, ne permet cependant pas de piloter simplement un moteur. Il est nécessaire d'utiliser 4 bits pour les différentes séquences, séquences qu'il faut calculer auparavant. Il serait très pratique de disposer d'un circuit qui permette, au moyen de 2 bits, de commander l'avance des pas ainsi que le sens de rotation. C'est ce que nous vous proposons maintenant, et de plus, pour la commande de deux moteurs.

Nous n'avons rien inventé puisque ce montage est tiré d'une note d'application de la société SGS-Thomson, grand spécialiste des circuits intégrés et des modules de puissance dont nous aurons l'occasion, dans cet ouvrage, de décrire les caractéristiques et de présenter des montages qui les utilisent. Nous avons d'ailleurs évoqué ce circuit dans le chapitre 1.



Figure 2.4.  
Schéma de principe.





### Le schéma de principe

Figure 2.4 (suite).  
Schéma de principe.

Le schéma de principe du montage est donné en **figure 2.4**. Ce circuit est d'une grande simplicité puisqu'il ne nécessite que quatre circuits intégrés très courants : deux de type TTL et deux de puissance. Il faut signaler que la partie commande utilisant les circuits TTL pourra être adaptée à tous les montages que nous verrons dans ce chapitre.

Voyons l'un des circuits puisqu'il est reproduit en deux exemplaires afin de pouvoir alimenter deux moteurs. Un ensemble de quatre portes, contenues dans un boîtier de type 74LS86 combiné à deux bascules (74LS73), permet de générer les différentes séquences de commande d'un moteur pas-à-pas à partir d'un seul signal d'horloge. De plus, l'application d'un niveau bas ou haut sur deux portes OU EXCLUSIF permet d'inverser le sens de rotation.

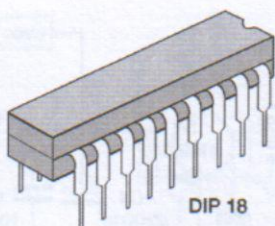
Le circuit de puissance utilise un circuit intégré comportant un octuple réseau de transistors darlington connectés en parallèle deux à deux. Ce circuit supporte une tension maximale de 50 V et un courant de 500 mA par transistor. Le schéma interne de l'ULN2803A est donné en **figure 2.5a**.

La **figure 2.5b** représente la constitution interne d'un élément et le **tableau 2.2**, les caractéristiques électriques. Il ne faut cependant pas envisager que l'on puisse alimenter huit charges, dans le même temps, consommant le courant maximal, la puissance pouvant être dissipée par le circuit étant limitée à environ 1 W. Des valeurs raisonnables correspondraient à un moteur alimenté sous + 9 V à + 12 V et consommant environ 200 mA par phase.

Le montage devra être alimenté par une tension de + 12 V et sous un ampérage minimum de 1 A. La tension + VCC ne sera pas obligatoirement stabilisée ; par contre, la tension + 5 V d'alimentation des circuits TTL devra l'être. Pour cela, on utilisera tout simplement un régulateur de tension 7805.

Un transformateur fournissant une tension de + 10 V sur son enroulement secondaire et d'une puissance de 12 VA fera amplement l'affaire.





DIP 18

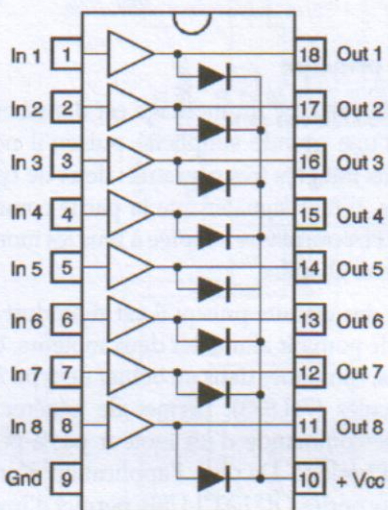


Figure 2.5a.  
Schéma interne  
du circuit intégré  
de l'ULN2803A.

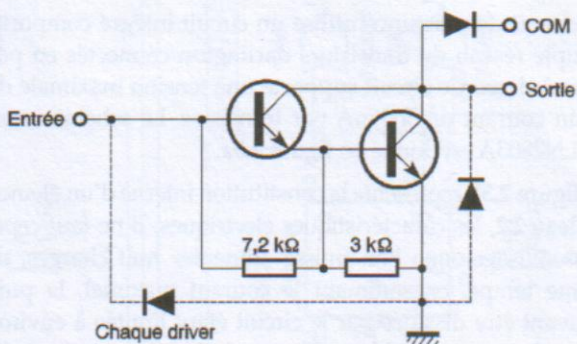


Figure 2.5b.  
Constitution interne  
de l'un des huit éléments  
de l'ULN2803A.

Tableau 2.2.  
Tableau des  
caractéristiques  
électriques.

Valeurs maximales absolues			
Symbole	Paramètre	Valeur	Unités
$V_o$	Tension de sortie	50	V
$V_i$	Tension d'entrée pour : ULN2802A, ULN2803A, ULN2804A, ULN2805A	30 15	V
$I_C$	Courant de collecteur en continu	500	mA
$I_B$	Courant de base en continu	25	mA

Tableau 2.2  
(suite).  
Tableau des  
caractéristiques  
électriques.

Valeurs maximales absolues					
$P_{tot}$	Puissance dissipée : pour une paire de darlington pour l'ensemble		1,0 2,25		W
$T_{amb}$	Température ambiante de fonctionnement		- 20 à 85		°C
$T_{stg}$	Température de stockage		- 55 à 150		°C
Caractéristiques thermiques					
$R_{th J-amb}$	Résistance thermique	Max	55		°C/W
Caractéristiques électriques ( $T_{amb} = 25\text{ °C}$ si rien n'est spécifié)					
Symbole	Conditions de test	Min	Typ	Max	Unité
$I_{CEX}$	$V_{CE} = 50\text{ V}$ $T_{amb} = 70\text{ °C}$ , $V_{CE} = 50\text{ V}$ $T_{amb} = 70\text{ °C}$ - pour ULN2808A : $V_{CE} = 50\text{ V}$ , $V_i = 6\text{ V}$ - pour ULN2804A : $V_{CE} = 50\text{ V}$ , $V_i = 1\text{ V}$			50 100  500 500	$\mu\text{A}$
$V_{CE(sat)}$	$I_C = 100\text{ mA}$ , $I_B = 250\text{ }\mu\text{A}$ $I_C = 200\text{ mA}$ , $I_B = 350\text{ }\mu\text{A}$ $I_C = 350\text{ mA}$ , $I_B = 500\text{ }\mu\text{A}$		0,9 1,1 1,3	1,1 1,3 1,6	V
$I_{i(on)}$	Pour ULN2802A $V_i = 17\text{ V}$ Pour ULN2803A $V_i = 3,85\text{ V}$ Pour ULN2804A $V_i = 5\text{ V}$ $V_i = 12\text{ V}$ Pour ULN2805A $V_i = 3\text{ V}$		0,82 0,93 0,35 1 1,5	1,25 1,35 0,5 1,45 2,4	mA
$I_{i(off)}$	$T_{amb} = 70\text{ °C}$ , $I_C = 500\text{ }\mu\text{A}$	50	65		$\mu\text{A}$
$V_{i(on)}$	$V_{CE} = 2\text{ V}$ Pour ULN2802A : $I_C = 300\text{ mA}$ Pour ULN2803A : $I_C = 200\text{ mA}$ $I_C = 250\text{ mA}$ $I_C = 300\text{ mA}$ Pour ULN2804A : $I_C = 125\text{ mA}$ $I_C = 200\text{ mA}$ $I_C = 275\text{ mA}$ $I_C = 350\text{ mA}$ Pour ULN2805A : $I_C = 350\text{ mA}$			13  2,4 2,7 3  5 6 7 8  2,4	V
$h_{FE}$	Pour ULN2801A : $V_{CE} = 2\text{ V}$ , $I_C = 350\text{ mA}$	1 000			
$C_i$			15	25	pF
$t_{PLH}$	$0,5V_i$ à $0,5V_o$		0,25	1	$\mu\text{s}$
$t_{PHL}$	$0,5V_i$ à $0,5V_o$		0,25	1	$\mu\text{s}$
$I_R$	$V_R = 50\text{ V}$ $T_{amb} = 70\text{ °C}$ , $V_R = 50\text{ V}$			50 100	$\mu\text{A}$
$V_F$	$I_F = 350\text{ mA}$		1,7	2	V



## La réalisation pratique

Le dessin du circuit imprimé est donné en **figure 2.6** tandis que le schéma de l'implantation des composants est représenté en **figure 2.7**.

Le câblage s'effectuera de la manière déjà décrite. Les straps seront implantés en premier lieu, puis viendra le tour des résistances, des condensateurs de petite capacité et des diodes de redressement. Les supports de circuits intégrés, le régulateur de tension, les borniers à vis, le porte-fusible et le régulateur de tension seront ensuite soudés sur la platine. La mise en place des composants s'achèvera par l'implantation du transformateur et du condensateur chimique de filtrage.

On terminera par un contrôle rigoureux des soudures afin de s'assurer de l'absence de courts-circuits, surtout au niveau des broches des circuits intégrés. La phase des essais pourra alors être abordée.

## Les essais

Selon le mode choisi pour la commande de la carte, on la raccordera soit à la sortie parallèle de l'ordinateur de type PC, soit à un petit circuit « horloge » capable de générer les impulsions nécessaires à la génération des pas. Ces deux façons de procéder seront décrites plus tard dans cet ouvrage.

Connecté à l'interface imprimante du PC, le câblage entre ce dernier et notre montage s'effectuera de la manière suivante :

- la première entrée CLOCK sera reliée à la sortie D<sub>0</sub> ;
- l'entrée SENS sera connectée à la sortie D<sub>1</sub> ;
- la seconde entrée CLOCK sera reliée à la sortie D<sub>2</sub> ;
- l'entrée SENS sera reliée à la sortie D<sub>3</sub> ;
- la masse (broches 18 à 25) sera connectée à la masse du circuit imprimé.

Cela étant fait, il suffira d'entrer le programme donné ci-dessous (essai2-2.txt) et d'en lancer l'exécution afin de procéder aux essais de la platine :

```

REM *****
REM Programme d'essai de commande de deux moteurs unipolaires
REM *****
REM Port parallèle placé en H378, soit LPT1
REM *****
DO
OUT &H378, 0 : REM Rotation dans le sens initial
    
```

```
GOSUB Moteur1
SLEEP 1
GOSUB Moteur2
SLEEP 1
OUT &H378, 10 : REM Rotation dans le sens contraire
GOSUB Moteur1-c
SLEEP 1
GOSUB Moteur2-c
SLEEP 1
OUT &H378,0 : REM Rotation dans le sens initial des deux moteurs
GOSUB Moteur1_2
SLEEP 1
OUT &H378,10 : REM Rotation dans le sens contraire des deux moteurs
GOSUB Moteur1_2c
SLEEP 1
LOOP
Moteur1 :   FOR D=0 TO 500
            OUT &H378,1
            OUT &H378,0
            NEXT D
            RETURN
Moteur2 :   FOR D=0 TO 500
            OUT &H378,4
            OUT &H378,0
            NEXT D
            RETURN
Moteur1_c : FOR D=0 TO 500
            OUT &H378,11
            OUT &H378,10
            NEXT D
            RETURN
Moteur2_c : FOR D=0 TO 500
            OUT &H378,14
            OUT &H378,10
            NEXT D
            RETURN
Moteur1_2 : FOR D=0 TO 500
            OUT &H378,5
            OUT &H378,0
            NEXT D
            RETURN
Moteur1_2c : FOR D=0 TO 500
            OUT &H378,15
            OUT &H378,10
            NEXT D
            RETURN
REM *****
```



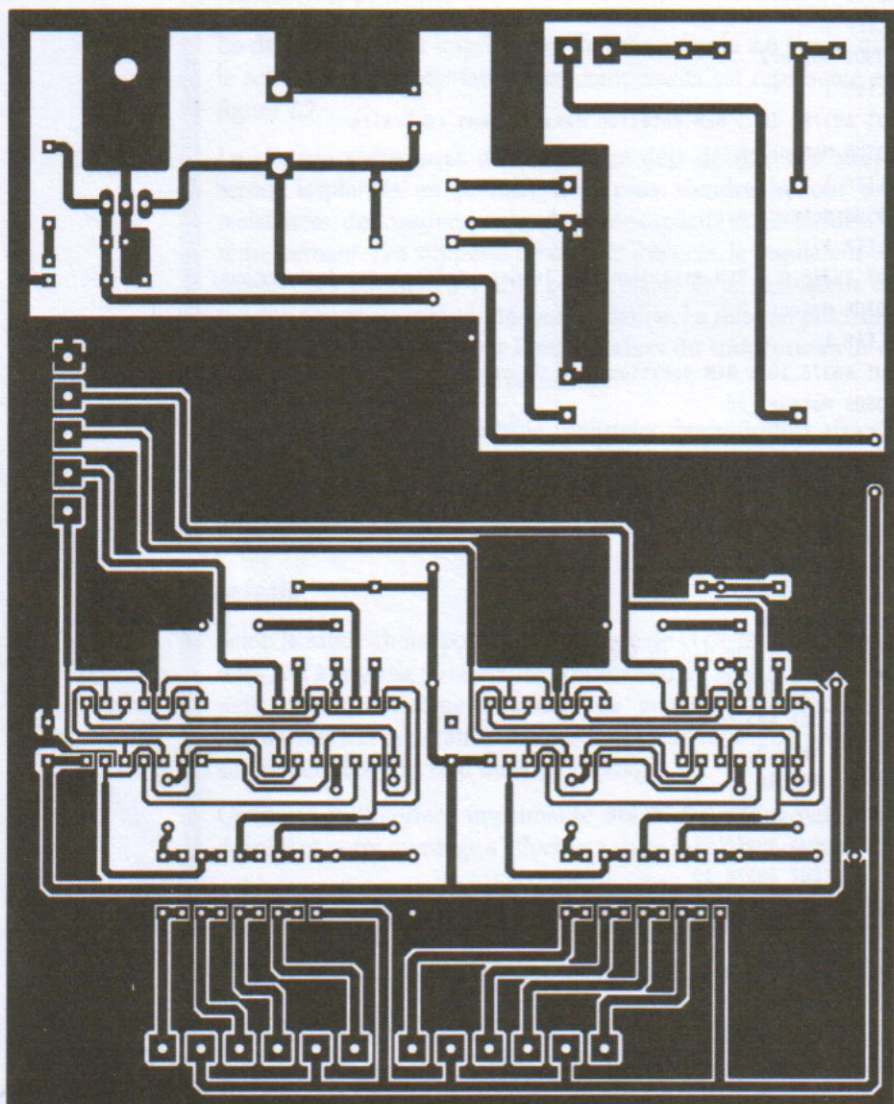


Figure 2.6.  
Tracé  
du circuit imprimé.

*Liste des composants*

**Résistances**

$R_1$  à  $R_4$  : 1 k $\Omega$

$R_5$  : 470  $\Omega$

**Condensateurs**

$C_1$ ,  $C_3$  : 100 nF

$C_2$  : 10  $\mu$ F 16 V

$C_4$  : 2 200  $\mu$ F 35 V

CD : 4 capacités de 100 nF pour  
découplage des IC  
(non notés sur le schéma)

**Semi-conducteurs**

$D_1$ ,  $D_2$  : 1N4001 à 1N4007

DEL<sub>1</sub> : diode Led rouge

**Circuits intégrés**

IC<sub>1</sub>, IC<sub>4</sub> : 74LS86

IC<sub>2</sub>, IC<sub>5</sub> : 74LS73

IC<sub>3</sub>, IC<sub>6</sub> : ULN2803A

IC<sub>7</sub> : régulateur de tension 7805

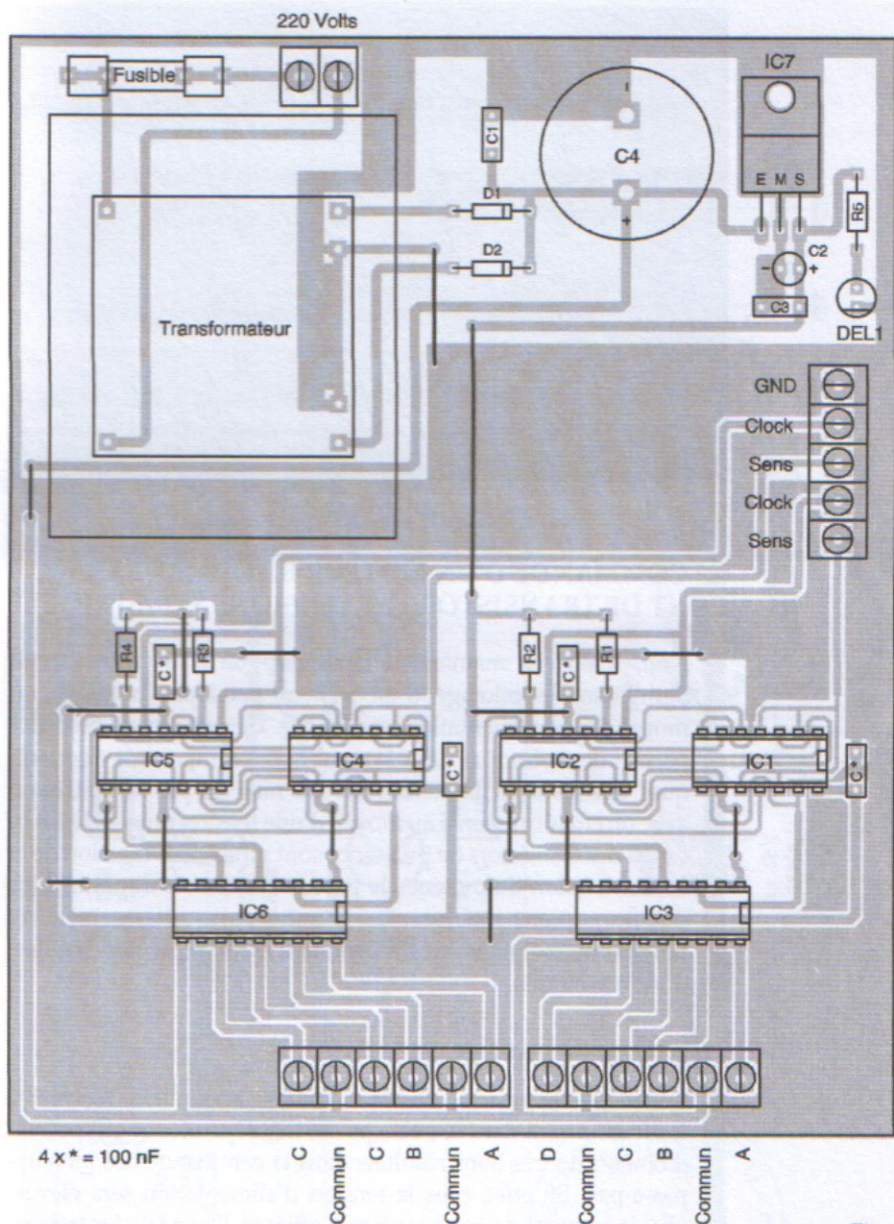


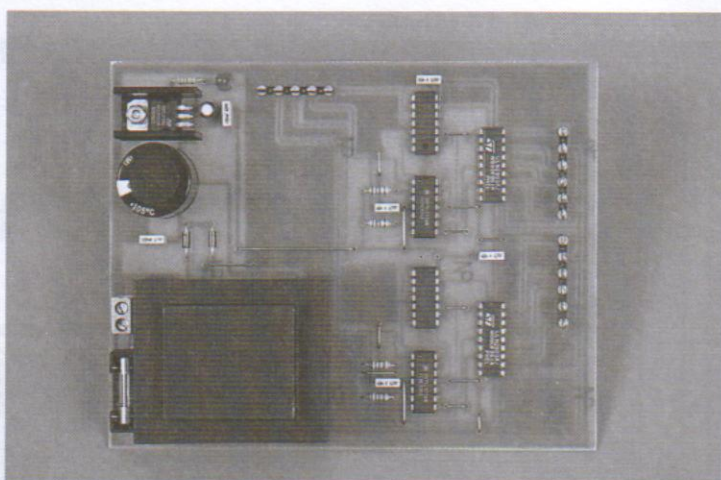
Figure 2.7.  
Implantation  
des composants.

Divers

- 1 bornier à vis à 2 points
- 1 bornier à vis à 5 points
- 2 borniers à vis à 6 points
- 1 dissipateur thermique (facultatif)
- 1 transformateur 2 x 12 V 12 VA

- 1 support de fusible pour circuit imprimé
- 1 fusible rapide 100 mA
- 4 supports pour IC 14 broches (facultatif)
- 2 supports pour IC 18 broches (facultatif)





### 2.3 COMMANDE D'UN MOTEUR BIPOLAIRE PAR PONT DE TRANSISTORS ET TENSIONS SYMÉTRIQUES

Nous abordons maintenant la description d'un autre circuit permettant le pilotage d'un moteur pas-à-pas bipolaire au moyen d'une alimentation symétrique. Cette façon de procéder permet de diviser par deux le nombre des composants électroniques utilisés pour la commande du moteur, par comparaison avec un circuit alimenté au moyen d'une tension unique. Dans ce cas, si des transistors de puissance sont utilisés (en fonction de la consommation du moteur), le prix de revient est diminué dans des proportions intéressantes. D'autre part, cette manière de faire ne nécessite qu'une alimentation symétrique non régulée, donc très simple.

#### Le schéma de principe

Le schéma de principe de notre montage apparaît en **figure 2.8**. C'est un circuit dont le principe est très répandu, et qui permet d'obtenir de très bons résultats dans la commande des moteurs pas-à-pas. En effet, plus la tension d'alimentation sera élevée, plus la commande en courant sera efficace. De ce fait, les transistors de puissance seront obligatoirement fixés sur un refroidisseur car la dissipation thermique sera plus importante, ce qui ne posera pas un problème insurmontable. Il suffira de dimensionner ce dernier de manière correcte en fonction du courant consommé par les bobinages du moteur.

Conçu afin d'être utilisé avec un ordinateur, ce circuit nécessite quatre lignes d'entrées ainsi que la ligne de masse.

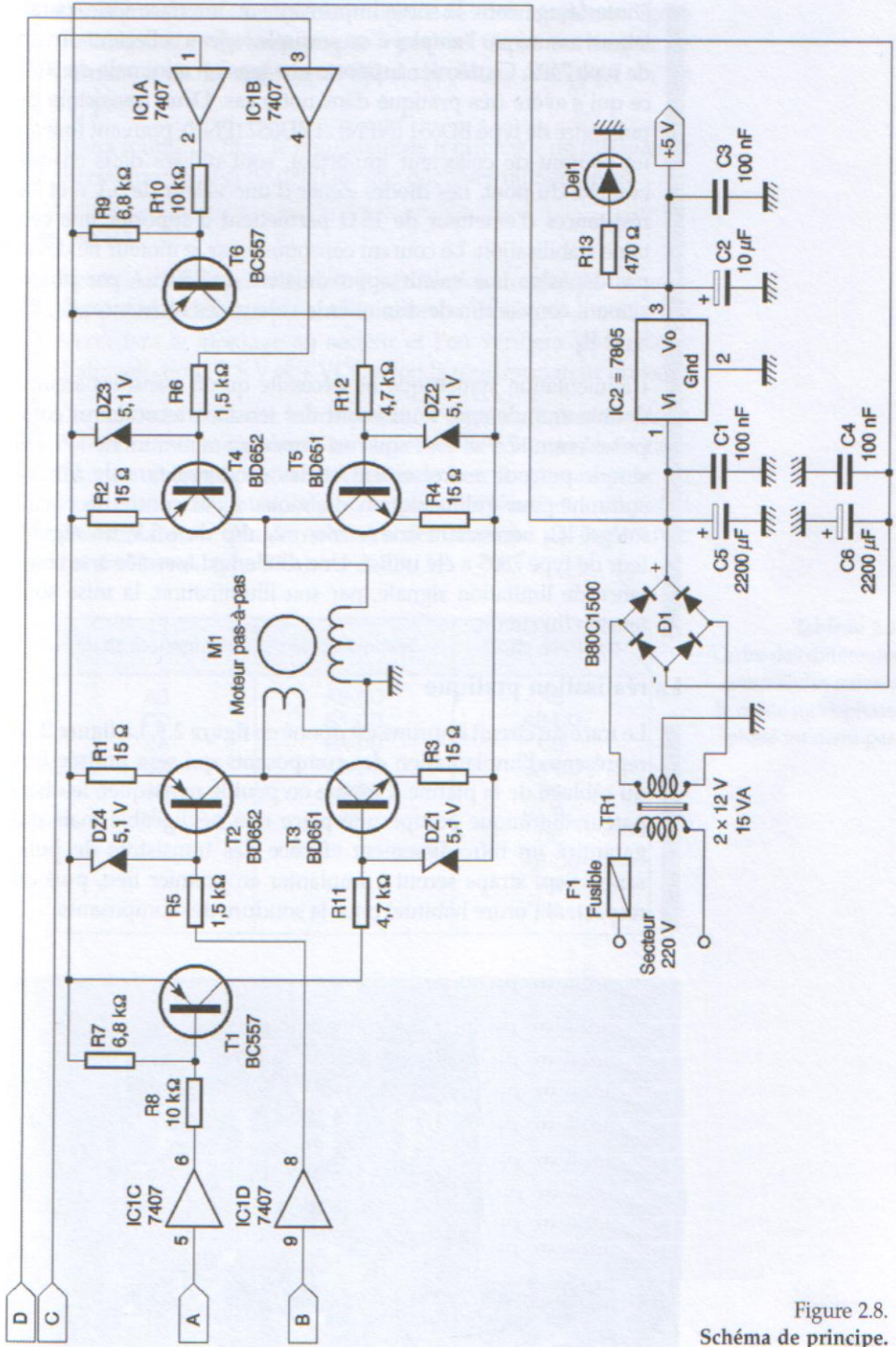


Figure 2.8.  
Schéma de principe.

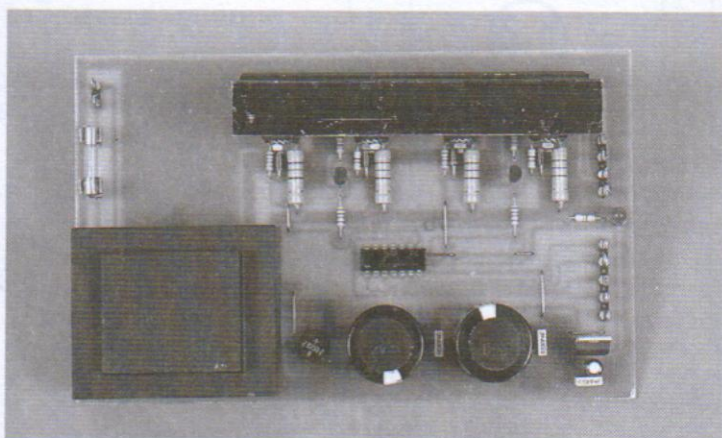


L'interfaçage entre la sortie imprimante ou interface série/parallèle est assuré par l'emploi d'un sextuple *buffer* à collecteur ouvert de type 7407. Ce dernier supporte une tension minimale de 30 V, ce qui s'avère très pratique dans notre cas. Deux transistors de puissance de type BD651 (NPN) et BD652 (PNP), pouvant fournir un courant de collecteur important, sont utilisés dans chaque branche du pont. Les diodes Zener d'une valeur de 5,1 V et les résistances d'émetteur de 15  $\Omega$  permettent d'apporter une certaine stabilisation. Le courant consommé par le moteur ne devra pas dépasser une valeur approximative de 250 mA par phase, sinon il conviendra de diminuer la valeur des résistances  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  et  $R_4$ .

L'alimentation symétrique ne nécessite qu'un transformateur à double enroulement fournissant des tensions secondaires comprises entre 12 V et 15 V sous un ampérage minimum de 1 A. Un simple pont de redressement et des condensateurs de filtrage suffiront pour l'alimentation du moteur. Par contre, le circuit intégré IC<sub>1</sub> nécessitant une tension régulée de +5 V, un régulateur de type 7805 a été utilisé. Une diode Led associée à sa résistance de limitation signale, par son illumination, la mise sous tension du circuit.

### La réalisation pratique

Le tracé du circuit imprimé est donné en figure 2.9. La figure 2.10 représente l'implantation des composants qui sera utilisée lors du câblage de la platine. Comme on peut le remarquer, le dissipateur thermique occupe une place non négligeable mais qui garantira un refroidissement efficace des transistors de puissance. Sept straps seront à implanter en premier lieu, puis on respectera l'ordre habituel pour la soudure des composants.



Les entrées et sorties (secteur, lignes de commandes et lignes d'alimentation du moteur pas-à-pas) se feront au moyen de borniers à vis. Le seul circuit DIL de la platine sera placé sur un support.

Il sera inutile de fixer le régulateur de tension sur un dissipateur thermique, celui-ci ne débitant que quelques milliampères.

### Les essais

Il conviendra de procéder à une vérification du câblage : soudures, polarité des composants et absence de courts-circuits. On raccordera le montage au secteur et l'on vérifiera les tensions d'alimentation : + 5 V et + VCC selon le transformateur utilisé.

On raccordera ensuite la maquette à l'organe de commande et l'on fera en sorte d'envoyer les séquences de commande données dans le **tableau 2.3** afin de vérifier le bon fonctionnement du moteur selon les trois modes monophasé, biphasé et demi-pas (il faut remarquer que les niveaux des tensions de commande devront être de type TTL).

Mode monophasé	Mode biphasé	Mode demi-pas
AB	AB-CD	AB
CD	BA-CD	AB-CD
BA	BA-DC	CD
DC	AB-DC	BA-CD
AB	AB-CD	BA
etc.	etc.	BA-DC
		DC
		AB-DC
		AB
		etc.

**Tableau 2.3.**  
Ordre des différentes commandes suivant le mode monophasé, biphasé ou demi-pas.



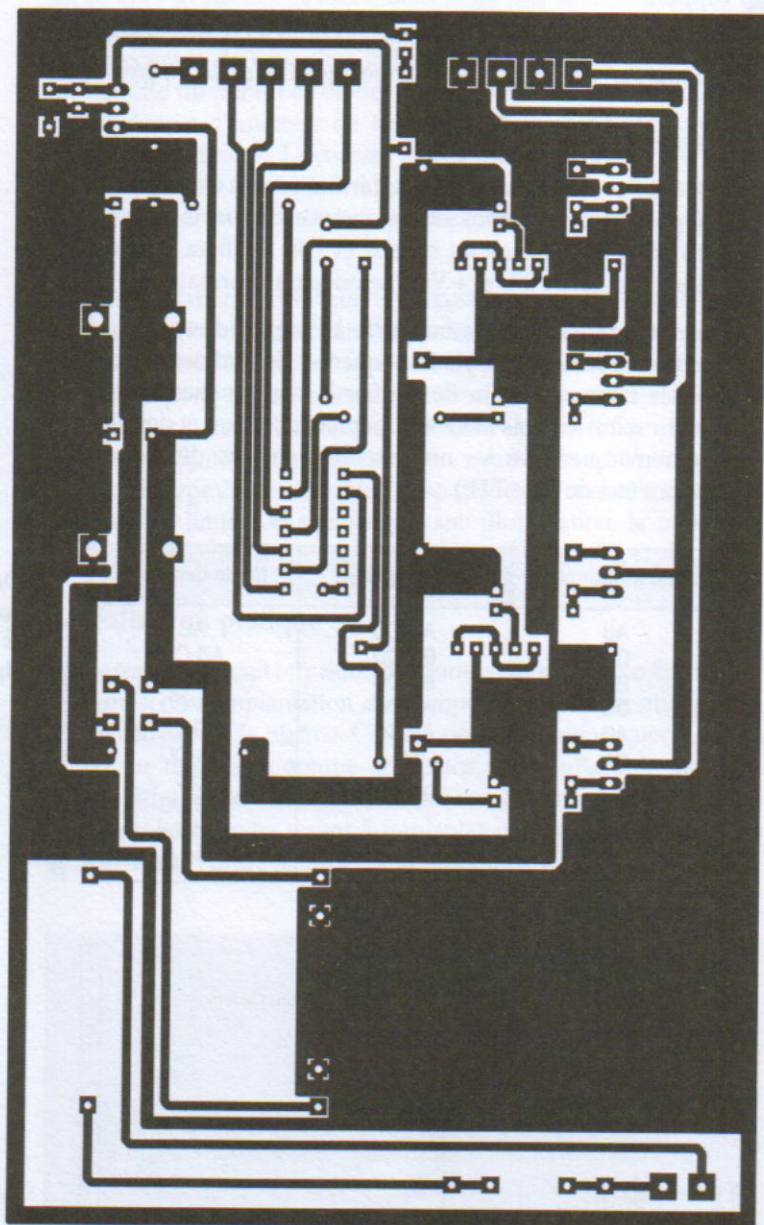
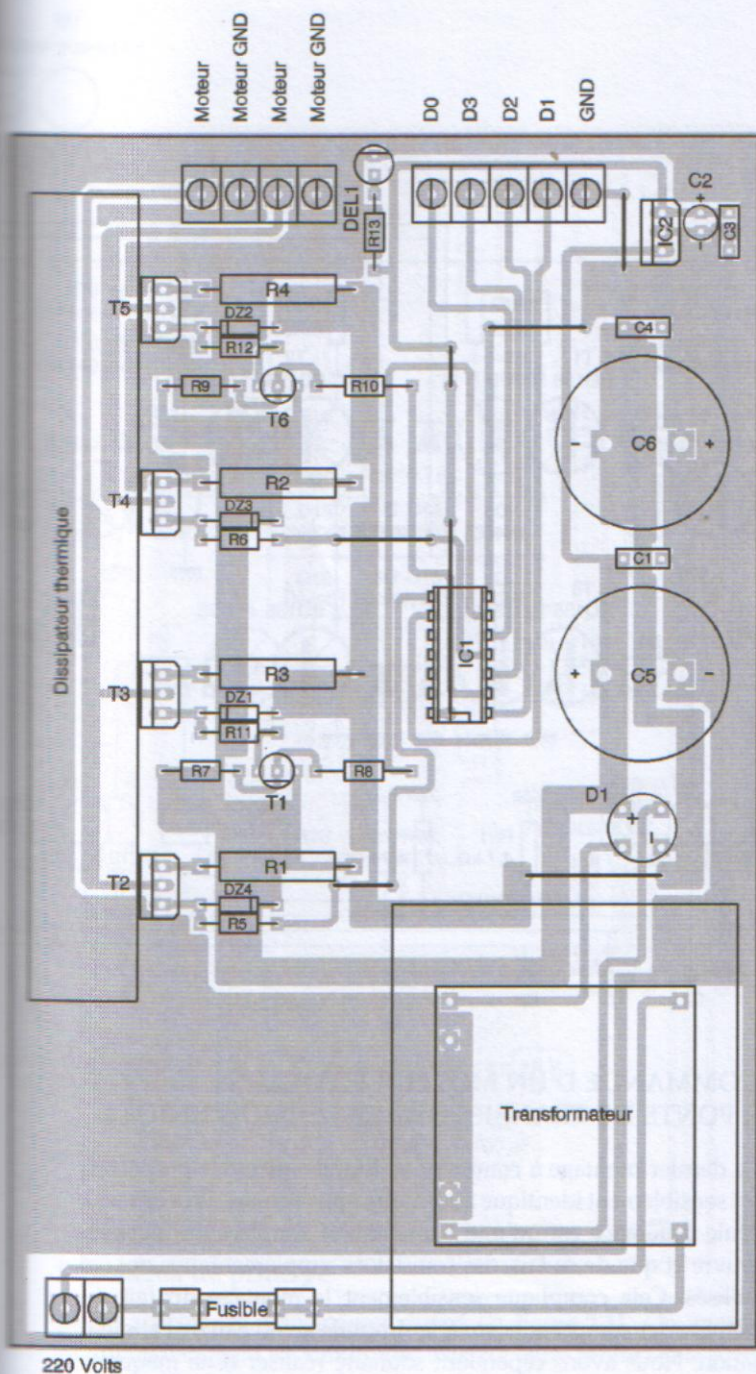


Figure 2.9.  
Tracé du  
circuit imprimé.



Liste des composants

**Résistances**

- R<sub>1</sub> à R<sub>4</sub> : 15 Ω 1 W
- R<sub>5</sub>, R<sub>6</sub> : 1,5 kΩ
- R<sub>7</sub>, R<sub>9</sub> : 6,8 kΩ
- R<sub>8</sub>, R<sub>10</sub> : 10 kΩ
- R<sub>11</sub>, R<sub>12</sub> : 4,7 kΩ
- R<sub>13</sub> : 470 Ω

**Condensateurs**

- C<sub>1</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> : 100 nF
- C<sub>2</sub> : 10 μF 16 V
- C<sub>5</sub>, C<sub>6</sub> : 2 200 μF 35 V

**Semi-conducteurs**

- T<sub>1</sub>, T<sub>6</sub> : BC557
- T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub> : BD652
- T<sub>3</sub>, T<sub>5</sub> : BD651
- D<sub>1</sub> : pont redresseur B80C1500
- Del<sub>1</sub> : diode Led rouge
- DZ<sub>1</sub> à DZ<sub>4</sub> : diodes Zener 5,1 V

**Circuits intégrés**

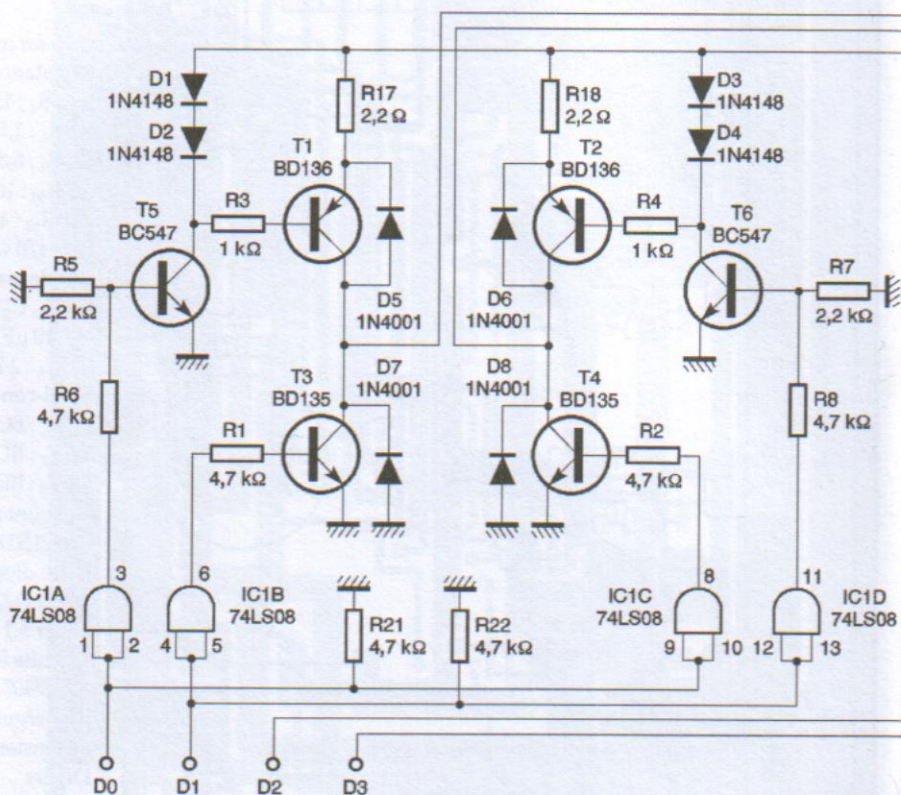
- IC<sub>1</sub> : 7407
- IC<sub>2</sub> : régulateur de tension 7805

**Divers**

- 1 support pour IC 14 broches
- 4 borniers à vis à 2 points
- 1 bornier à vis à 3 points
- 1 transformateur 2 × 12 V 15 VA
- 1 porte-fusible
- 1 fusible rapide 200 mA
- 1 dissipateur thermique (voir implantation pour les dim.)

Figure 2.10.  
Implantation des composants.





## 2.4 COMMANDE D'UN MOTEUR BIPOLAIRE PAR PONTS DE TRANSISTORS ET TENSION UNIQUE

Le dernier montage à composants discrets que nous proposons est sensiblement identique à celui que nous venons de décrire. La seule différence est qu'une alimentation simple a été mise en œuvre et que de ce fait, des transistors supplémentaires ont été utilisés. Cela complique sensiblement le montage du fait du nombre des composants, mais le simplifie au niveau de l'alimentation. Nous avons cependant souhaité réaliser cette maquette afin de montrer toutes les possibilités de commandes sans circuit intégré spécialisé.

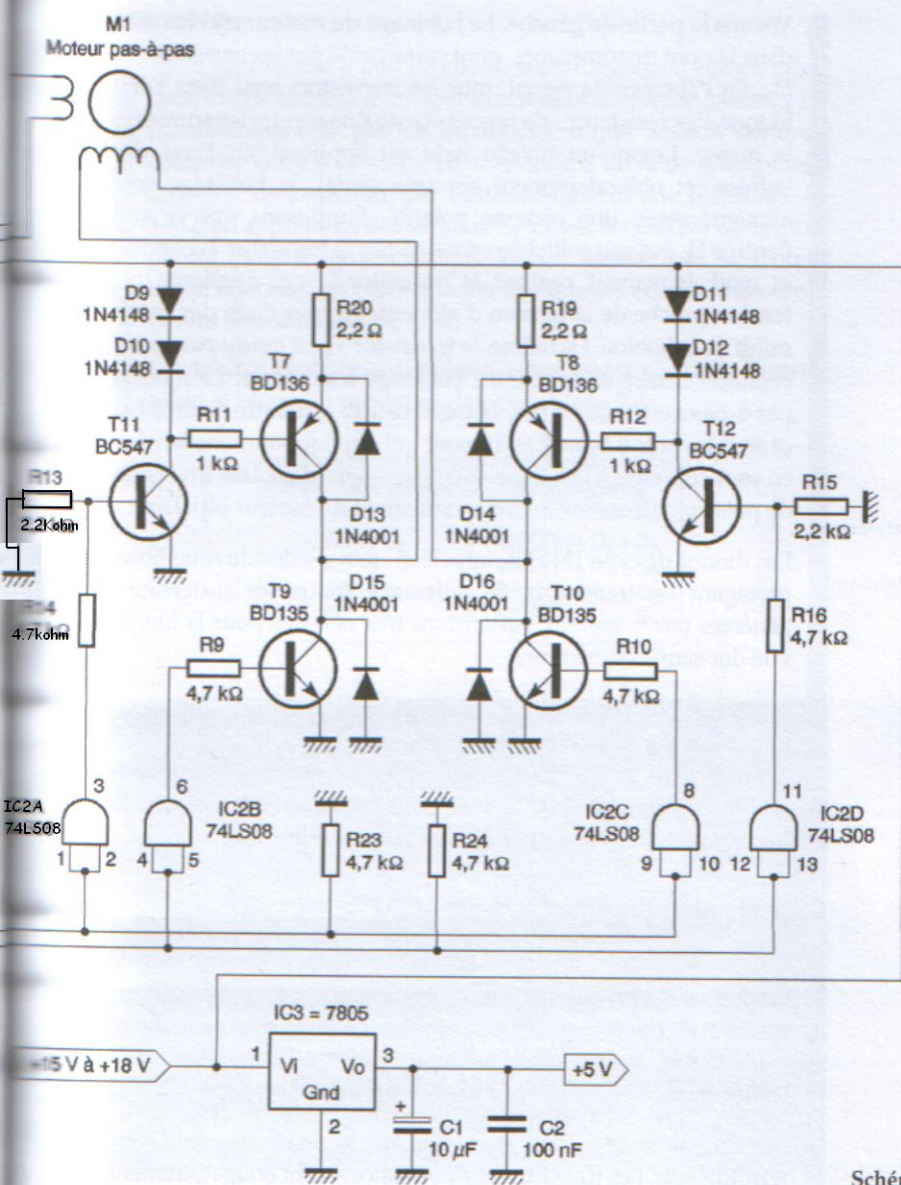


Figure 2.11.  
Schéma de principe.

### Le schéma de principe

Le schéma de principe est donné en figure 2.11. On aperçoit immédiatement les similitudes existant entre celui-ci et le précédent. L'interfaçage entre les signaux TTL de commande et le circuit est réalisé par de simples portes ET contenues dans deux boîtiers de type 74LS08.



Voyons la partie de gauche. Le bobinage du moteur est connecté dans le pont de transistors, pont commandé par les entrées  $D_0$  et  $D_1$ . En l'absence de signal, tous les transistors sont dans l'état bloqué, des résistances de rappel étant câblées entre les entrées et la masse. Lorsqu'un niveau haut est appliqué sur l'une des entrées (et obligatoirement sur une seule), le bobinage sera alimenté selon une certaine polarité. Supposons que ce soit l'entrée  $D_0$  qui soit sollicitée : dans ce cas, le transistor  $T_5$  conduit et rend également passant le transistor  $T_1$  qui applique une tension proche de la tension d'alimentation sur l'une des extrémités de la bobine. De même, le transistor  $T_4$  est rendu passant et connecte l'autre extrémité du bobinage à la masse. Le moteur pas-à-pas a effectué un pas. Lorsque ce sera le tour de l'entrée  $D_1$ , ce sont les autres branches du pont qui appliqueront une tension en sens contraire à la bobine. Nous obtenons donc une inversion de polarité, nécessaire au fonctionnement du moteur bipolaire.

Les diodes de type 1N4001, appelées aussi diodes de roue libre, protègent les transistors de puissance contre les surtensions générées par le moteur, surtensions très néfastes pour la longévité des semi-conducteurs.

Nous n'avons pas prévu ici d'alimentation par transformateur implantée sur la platine. Celle-ci ne nécessitera qu'une tension alternative de 12 V redressée puis filtrée au moyen d'un condensateur chimique de 2 200  $\mu\text{F}$ . Le courant que pourra débiter le transformateur devra atteindre 1 A au maximum.

### La réalisation pratique

Le tracé du circuit imprimé est donné en **figure 2.12** tandis que le dessin de l'implantation des composants est représenté en **figure 2.13**. Le câblage ne présente aucune difficulté particulière. Seuls quatre straps seront à souder, puis on placera les petits composants.

Le régulateur sera directement fixé sur le circuit imprimé sans refroidisseur. Les transistors de puissance seront obligatoirement munis d'un dissipateur thermique sur lequel ils seront vissés, non sans les avoir auparavant isolés à l'aide d'une semelle de mica. Il faudra également utiliser des canons isolants en plastique pour le passage des vis.

Les entrées de commande, les sorties vers le moteur et l'entrée de l'alimentation s'effectueront sur des borniers à vis.

On terminera par la vérification des soudures et par le contrôle de l'implantation des composants polarisés.

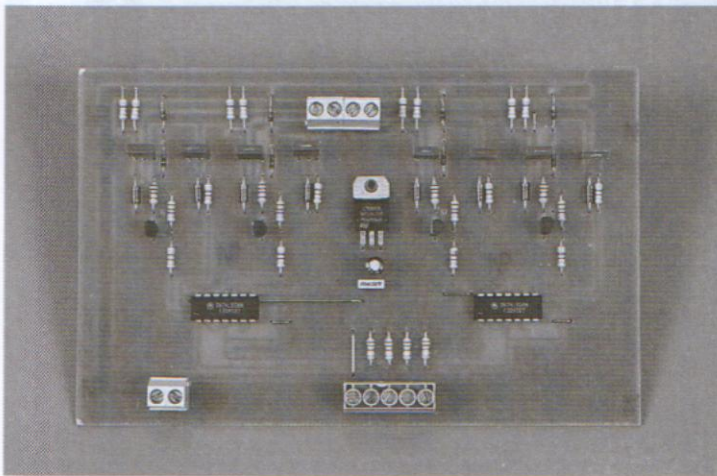
## Les essais

Ils se résumeront à peu de chose, aucun réglage n'étant à effectuer. On raccordera le moteur aux sorties correspondantes, puis on alimentera la platine au moyen d'une tension continue comprise entre + 15 V et + 18 V. À l'aide d'un fil de câblage relié au + 5 V de la platine par l'intermédiaire d'une résistance de 1 k $\Omega$ , on appliquera des niveaux hauts sur les entrées correspondantes (pour le mode monophasé, voir **tableau 2.4**). Le moteur devra effectuer un pas à chaque fois que les entrées correspondantes seront reliées au + 5 V.

On pourra également procéder à des essais en mode biphasé selon la séquence présentée dans le **tableau 2.4**.

Mode monophasé	Mode biphasé
AB $\rightarrow$ D <sub>0</sub>	AB-CD $\rightarrow$ D <sub>0</sub> + D <sub>2</sub>
CD $\rightarrow$ D <sub>2</sub>	BA-CD $\rightarrow$ D <sub>1</sub> + D <sub>2</sub>
BA $\rightarrow$ D <sub>1</sub>	BA-DC $\rightarrow$ D <sub>1</sub> + D <sub>3</sub>
DC $\rightarrow$ D <sub>3</sub>	AB-DC $\rightarrow$ D <sub>0</sub> + D <sub>3</sub>

**Tableau 2.4.**  
Ordre des  
différentes commandes  
suivant le mode  
monophasé ou biphasé.





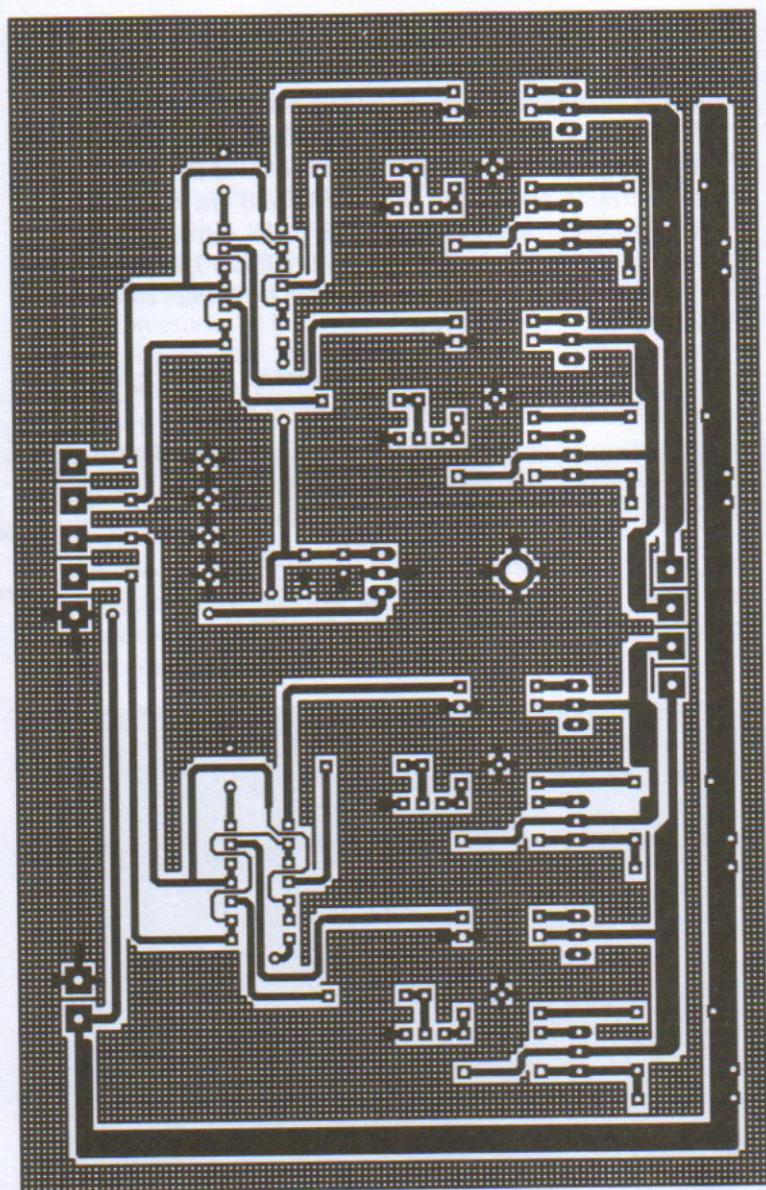


Figure 2.12.  
Tracé du  
circuit imprimé.

Liste des composants

Résistances

$R_1, R_2, R_6, R_8$  à  $R_{10}, R_{14}, R_{16}, R_{21}$  à

$R_{24}$  : 4,7 k $\Omega$

$R_3, R_4, R_{11}, R_{12}$  : 1 k $\Omega$

$R_5, R_7, R_{13}, R_{15}$  : 2,2 k $\Omega$

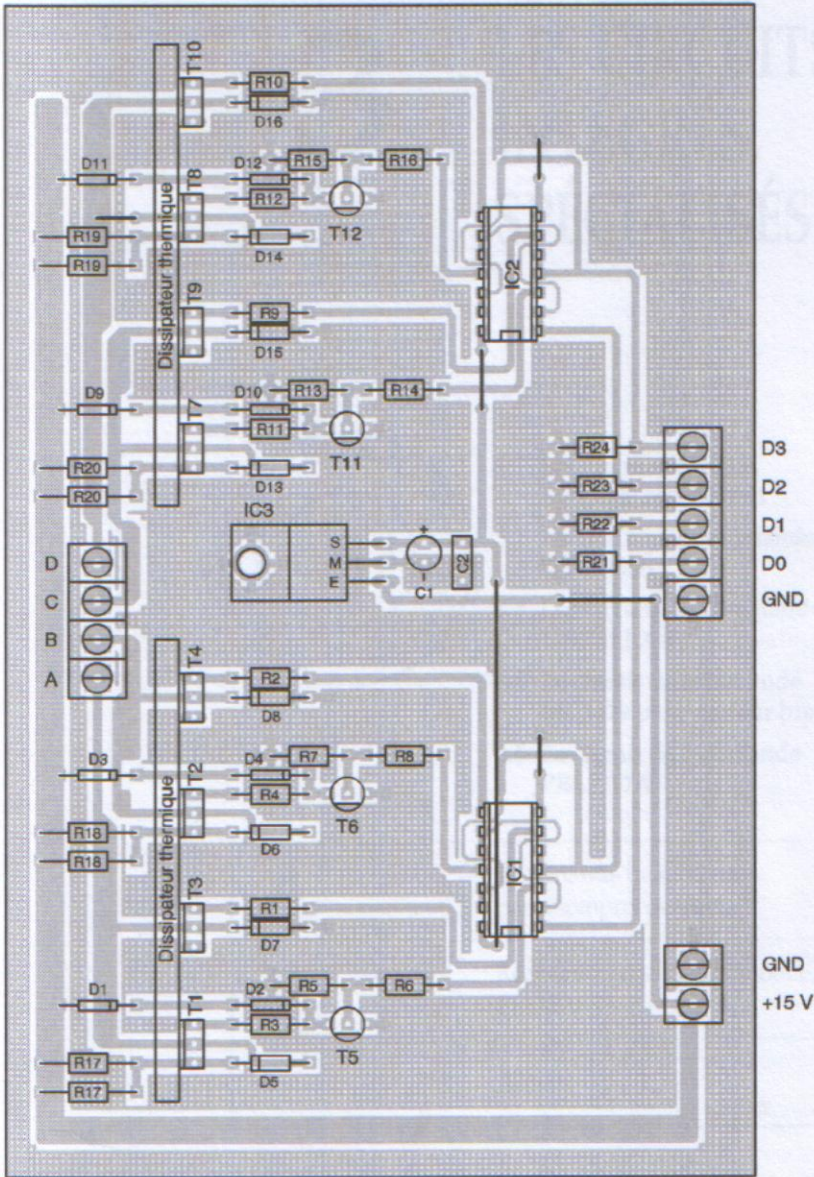
$R_{17}$  à  $R_{20}$  : 2,2  $\Omega$  1 W

Condensateurs

$C_1$  : 10  $\mu$ F 16 V

$C_2$  : 100 nF





### Semi-conducteurs

T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>7</sub>, T<sub>8</sub> : BD136

T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>9</sub>, T<sub>10</sub> : BD135

T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>11</sub>, T<sub>12</sub> : BC547

D<sub>1</sub> à D<sub>4</sub>, D<sub>9</sub> à D<sub>12</sub> : 1N4148

D<sub>5</sub> à D<sub>8</sub>, D<sub>13</sub> à D<sub>16</sub> : 1N4001

### Circuits intégrés

IC<sub>1</sub>, IC<sub>2</sub> : 74LS08

IC<sub>3</sub> : régulateur de tension 7805

### Divers

2 supports pour IC 14 broches

2 dissipateurs thermiques

4 borniers à vis à 2 points

1 bornier à vis à 3 points

Figure 2.13.  
Implantation  
des composants.





# 3 LES CIRCUITS INTÉGRÉS SPÉCIALISÉS

3.1	Les circuits intégrés EDE1200 et EDE1204	48
3.2	Le module de commande GS-D200S	60
3.3	Les circuits de commande L297 et L298	73
3.4	Le circuit de commande MC3479 pour moteur bipolaire	89
3.5	Le circuit de commande PBL3717A	105

<b>4</b>	Commande de moteurs par microprocesseurs	121
<b>5</b>	Réalisation d'un robot mobile, EPOX II	143
	Annexe	173



Nous abordons maintenant la commande des moteurs pas-à-pas par circuits intégrés spécialisés qui, comme nous le verrons par la suite, permet d'obtenir des circuits compacts utilisant un nombre relativement restreint de composants et donnant de meilleurs résultats du point de vue puissance et facilité de commande. Nous nous devons de signaler que le coût de ces circuits dédiés, pour la plupart, reste supérieur au prix de revient des circuits utilisant des transistors. Cependant, étant donné le nombre important de composants nécessaires à la fabrication des montages à composants discrets, nous arrivons à un certain équilibre. Nous laissons à nos lecteurs le choix de la technique qu'ils jugeront bon de mettre en œuvre en fonction de leurs besoins et en tenant compte des différents critères exposés.

Nous étudierons en premier lieu deux circuits intégrés qui permettent la commande de moteurs pas-à-pas unipolaires et bipolaires. Ce ne sont pas à proprement parler des circuits de puissance puisqu'ils nécessitent un étage supplémentaire qui sert d'interface avec les moteurs qui leur sont connectés. Cependant, ils permettent, comme les composants que nous verrons tout au long de ce chapitre, une commande très souple de pratiquement tous les moteurs existants (puissance et tension).

### 3.1 LES CIRCUITS INTÉGRÉS EDE1200 ET EDE1204

#### Présentation et brochage

Nous avons écrit que nous proposerions des circuits « horloge » indépendants, capables de piloter les platines de puissance décrites dans le précédent chapitre. Ces deux circuits regroupent les fonctions de commande indépendante et d'interface avec un microprocesseur ou un ordinateur, et ce, de la manière la plus simple qui soit. Ils peuvent en effet être utilisés comme lien entre la sortie parallèle d'un micro-ordinateur et le circuit de puissance ou comme circuit embarqué dans un mobile de type tortue et programmable au moyen de switches.

Ces deux circuits ne sont en fait, si l'on peut dire, que des microcontrôleurs de type PIC (série PIC16CXX) qui ont été programmés afin d'être utilisés comme *drivers* de moteurs pas-à-pas. C'est pour cette raison qu'ils permettent une commande extrêmement simple des moteurs. Nous constatons encore une fois la supériorité des microcontrôleurs dans le domaine du contrôle de processus divers. L'EDE1200 permet la commande d'un moteur pas-à-pas unipolaire, tandis que l'EDE1204 est utilisé pour le pilotage d'un moteur pas-à-pas bipolaire.



Le brochage des circuits EDE1200 et EDE1204 est représenté respectivement sur les figures 3.1 et 3.2 et dans le tableau 3.1. Ce sont des circuits commercialisés par la société E-LAB Digital Engineering. Les différents dessins présentés sont issus des notes d'application de cette société.

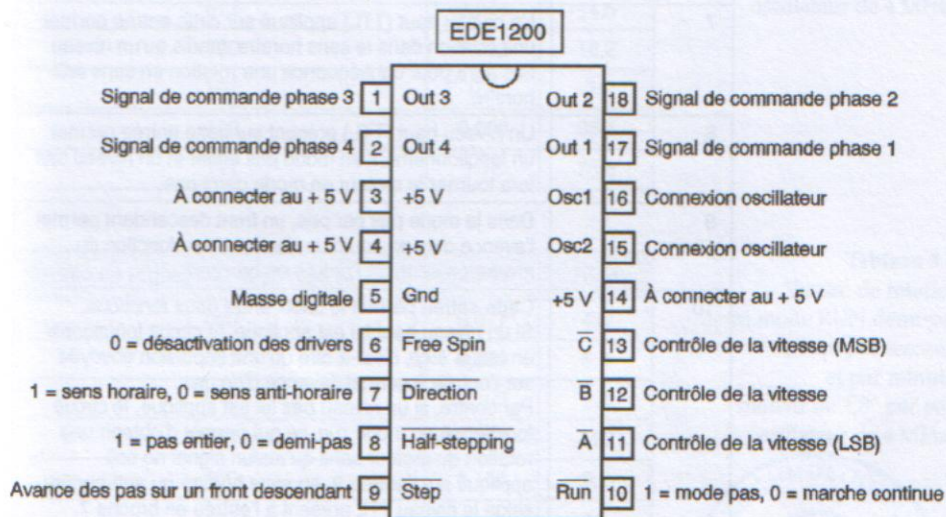


Figure 3.1.  
Brochage de l'EDE1200.

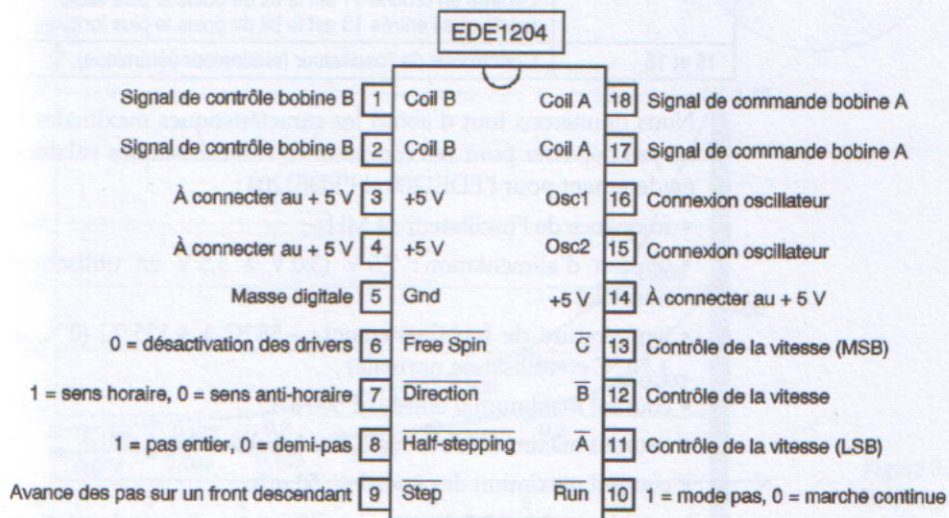


Figure 3.2.  
Brochage de l'EDE1204.



**Tableau 3.1.**  
Fonctions  
des broches  
des circuits  
EDE1200  
et EDE1204.

N° de la broche	Fonction
17, 18, 1 et 2	Sorties de commande du circuit d'interface avec le moteur pas-à-pas.
<b>Broches utilisées pour la configuration du fonctionnement du moteur</b>	
6	Désactivation de l'alimentation du moteur.
7	Un niveau haut (TTL) appliqué sur cette entrée permet une rotation dans le sens horaire, tandis qu'un niveau bas aura pour conséquence une rotation en sens anti-horaire.
8	Un niveau haut (TTL) présent sur cette entrée permet un fonctionnement en mode pas entier et un niveau bas fera tourner le moteur en mode demi-pas.
9	Dans le mode pas par pas, un front descendant permet l'avance d'un pas ou d'un demi-pas, en fonction du niveau présent sur l'entrée en broche 8.
10	Cette entrée permet le choix entre deux fonctions. Si un niveau haut lui est appliqué, le circuit fonctionne en mode <i>step</i> , c'est-à-dire qu'une impulsion envoyée sur l'entrée 9 permet l'avance d'un pas. Par contre, si un niveau bas lui est appliqué, le circuit fonctionne en mode <i>run</i> , ce qui permet d'obtenir une rotation du moteur sans qu'aucun signal ne soit appliqué sur l'entrée 9, en sens horaire ou anti-horaire selon le niveau TTL présent à l'entrée en broche 7.
<b>Autres broches</b>	
11, 12 et 13	Ces trois entrées permettent de fixer la vitesse de rotation du moteur lorsque le circuit est configuré en mode <i>run</i> . L'entrée en broche 11 est le bit de poids le plus faible tandis que l'entrée 13 est le bit de poids le plus fort.
15 et 16	Connexions de l'oscillateur (résonateur céramique).

Nous donnerons tout d'abord les caractéristiques maximales à ne pas dépasser pour ces composants, caractéristiques valables évidemment pour l'EDE1200 et l'EDE1204 :

- fréquence de l'oscillateur : 4 MHz ;
- tension d'alimentation : 7,5 V (3,0 V à 5,5 V en utilisation normale) ;
- température de fonctionnement : -55 °C à +125 °C (0 °C à +70 °C en utilisation normale) ;
- courant maximum d'entrée : ± 500 µA ;
- courant maximum de sortie d'une broche : 20 mA ;
- courant maximum des 4 sorties : 50 mA.

Les **tableaux 3.2** et **3.3** donnent les différentes vitesses de rotation respectivement en mode pas entier et demi-pas. La **figure 3.3** représente le graphique des vitesses en fonction du positionnement des 3 bits (0 à 7).

Entrée de réglage de la vitesse (C, B, A)	RPS	RPM
000	0,152	9,1
001	0,172	10,3
010	0,2	12
011	0,244	14,6
100	0,303	18,2
101	0,4	24
110	0,606	36,4
111	1,18	70,6

Tableau 3.2.  
Vitesse de rotation  
en mode RUN pas entiers  
(tours par seconde  
et par minute,  
moteur de 1,8° par pas,  
oscillateur de 4 MHz).

Entrée de réglage de la vitesse (C, B, A)	RPS	RPM
000	0,077	4,6
001	0,089	5,3
010	0,103	6,2
011	0,121	7,27
100	0,154	9,2
101	0,2	12
110	0,303	18,2
111	0,606	36,4

Tableau 3.3.  
Vitesse de rotation  
en mode RUN demi-pas  
(tours par seconde  
et par minute,  
moteur de 1,8° par pas,  
oscillateur de 4 MHz).

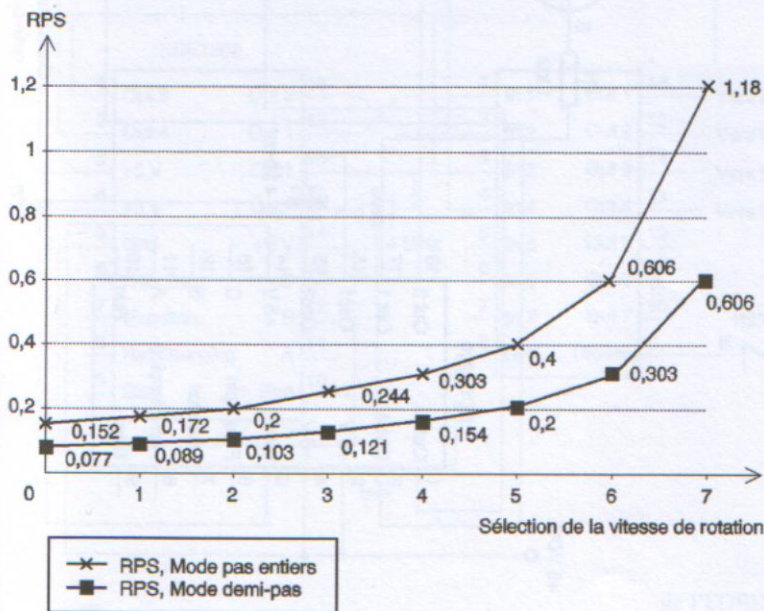


Figure 3.3.  
Graphique des vitesses  
en fonction  
des trois bits  
de réglage.



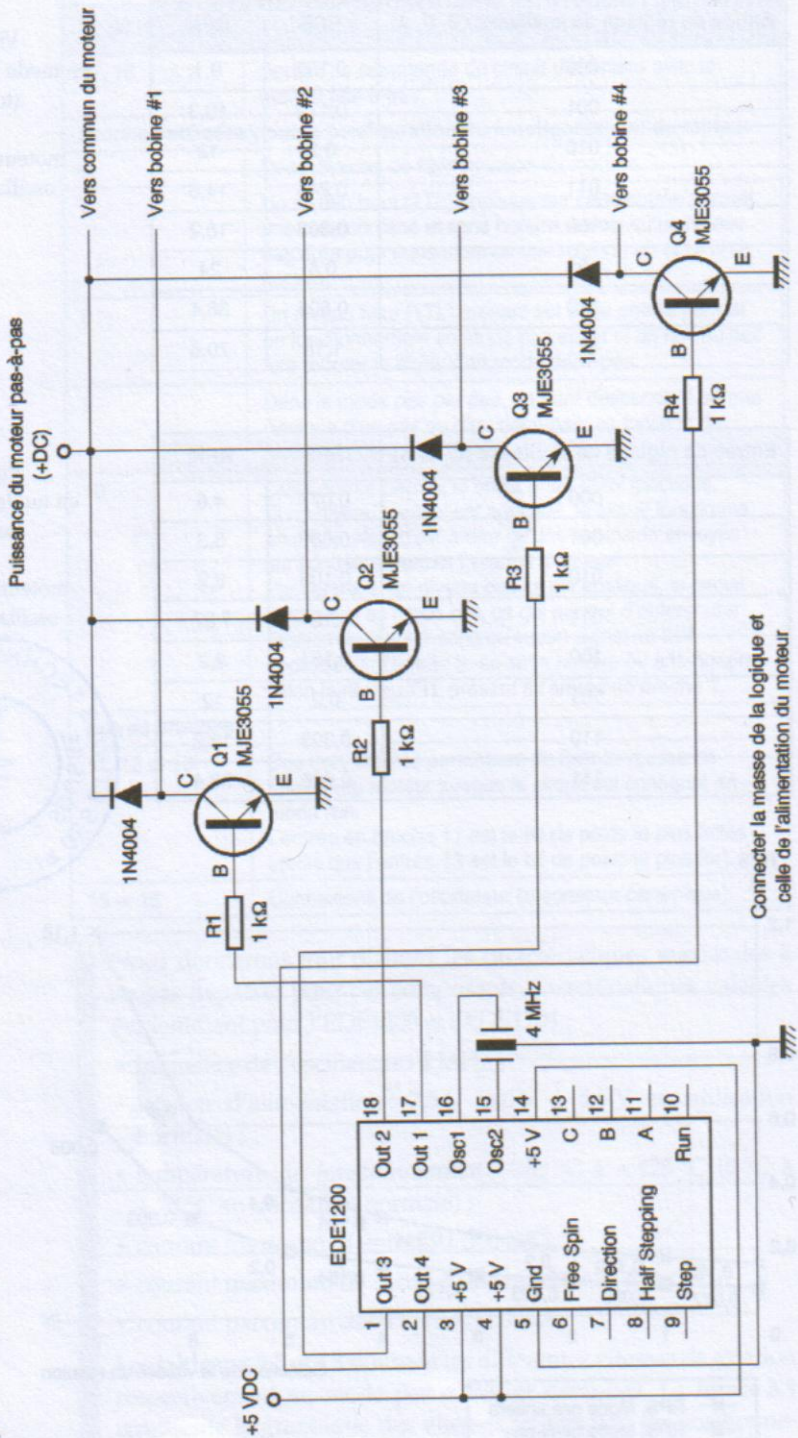


Figure 3.4.  
Commande de quatre transistors par l'EDE1200.

### Différentes possibilités d'utilisation des circuits EDE1200 et EDE1204

Dans ce paragraphe, nous donnerons quelques exemples de schémas qui permettent une utilisation quasi universelle des circuits EDE1200 et EDE1204, sachant qu'ils peuvent être connectés aux montages décrits dans le chapitre précédent.

Le schéma représenté en **figure 3.4** ne nécessite que quatre transistors de type MJE3055 associés à leur diode de protection et à leur résistance de base. Ce circuit permet la commande de moteurs pas-à-pas consommant un courant élevé. Les 8 broches de commande de l'EDE1200 seront à raccorder à une sortie parallèle d'un ordinateur ou à un port de sortie huit bits d'un microcontrôleur.

Le second schéma donné en **figure 3.5** et mettant encore en œuvre l'EDE1200 utilise quant à lui un circuit intégré de type ULN2003A qui permet l'alimentation d'un moteur ne consommant qu'un courant relativement faible. Si l'on désire disposer d'un courant plus élevé, on pourra utiliser un ULN2803A dont les 8 entrées et les 8 sorties seront connectées en parallèle, ce qui permettra un débit de courant plus élevé. Dans ce cas, aucune résistance ni diode de protection n'est nécessaire puisqu'elles sont intégrées dans le boîtier.

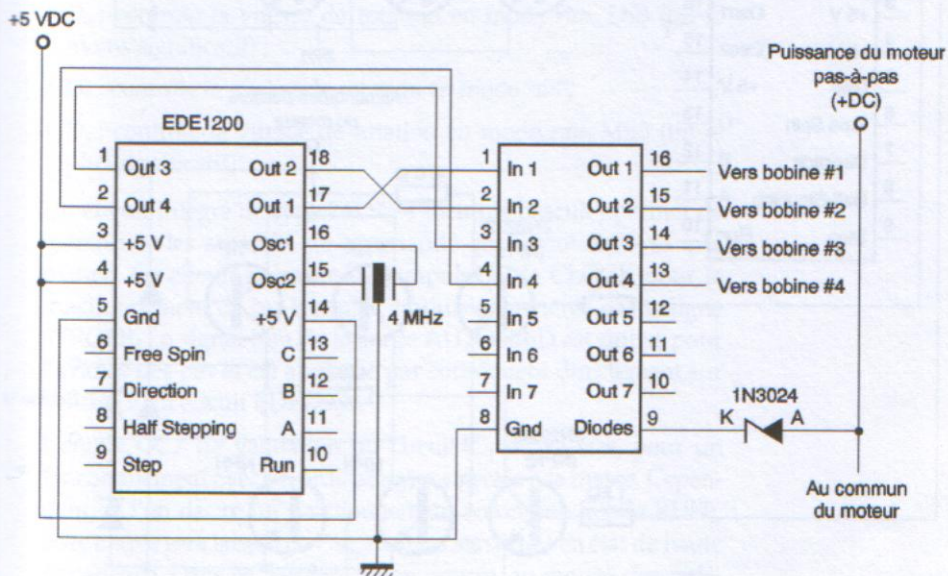


Figure 3.5.  
Association  
de l'EDE1200 et l'ULN2003A.



La figure 3.6 donne un exemple d'utilisation du circuit EDE1204 pour la commande d'un moteur bipolaire. Six transistors par phase sont nécessaires : deux transistors de type 2N2222 et quatre transistors de puissance à grand gain. Pour ces derniers, on pourra utiliser des darlington de type BD651 et BD652 ou BD679 et BD680, selon le courant nécessaire au moteur. Le fabricant du produit préconise quant à lui des transistors de type ZETEX ZTX690B et ZETEX ZTX790A, certainement plus difficiles à trouver dans le commerce de détail.

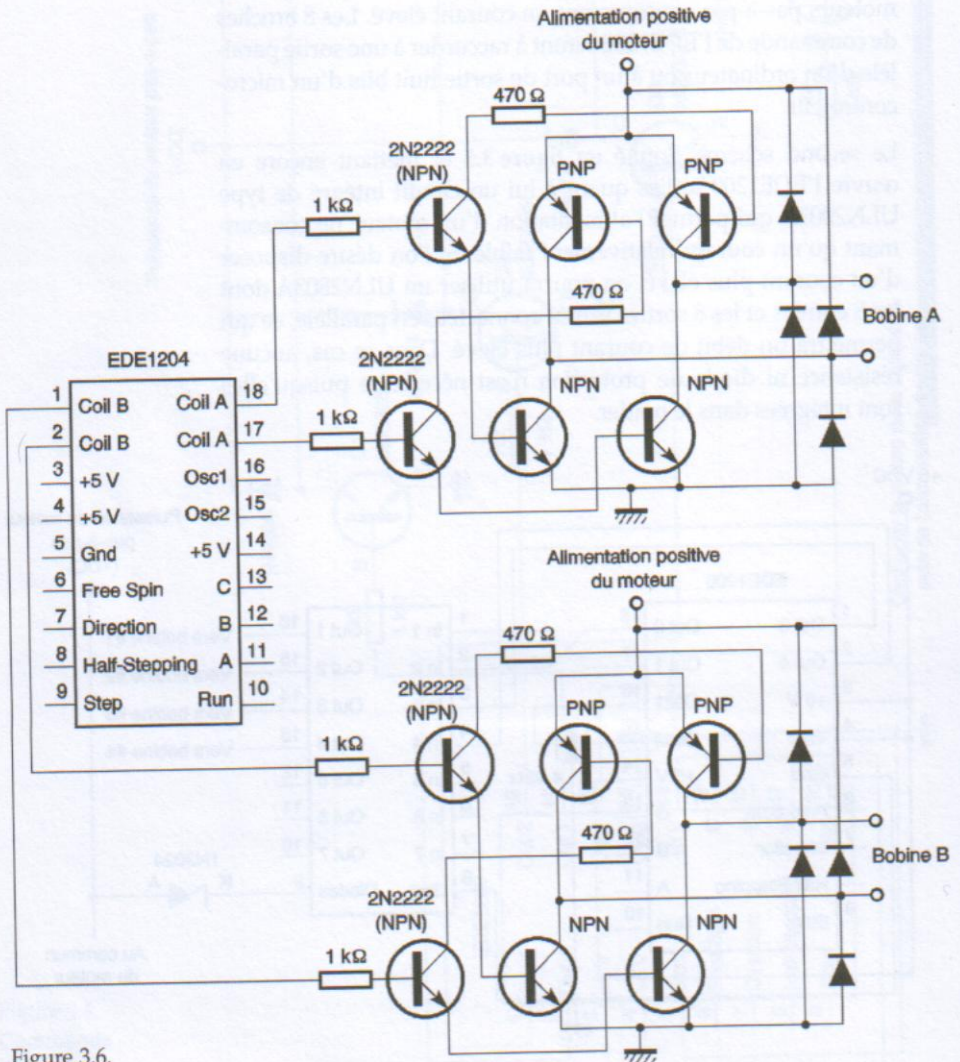


Figure 3.6.  
Commande  
d'un moteur bipolaire  
par l'EDE1204.

## Le schéma de principe

Le schéma de principe de notre montage est représenté en **figure 3.7**. Plutôt que d'utiliser des plans fournis par le fabricant, nous avons préféré réaliser des circuits simples qui serviront d'interfaces entre les circuits décrits précédemment et la sortie parallèle d'un ordinateur. Nous y avons toutefois ajouté un étage supplémentaire qui permet leur utilisation en mode indépendant, c'est-à-dire sans le recours à un ordinateur ou à un microcontrôleur. Cela permettra leur utilisation dans un mobile de type tortue.

Le schéma est le même pour les deux types de circuit. La platine pourra ainsi recevoir soit un EDE1200 pour un moteur unipolaire, soit un EDE1204 qui sera utilisé avec un moteur de type bipolaire. Les signaux issus de l'interface parallèle de l'ordinateur parviennent à la platine au moyen d'un connecteur SUBD à 25 broches. Dix des lignes plus la masse sont utilisées : les signaux STROBE et AUTOFEED ainsi que les huit bits de données. On indique ci-dessous la fonction de chacune des lignes de données :

- $D_0$  : *drivers* moteur mis en ou hors service ;
- $D_1$  : détermine le sens de la rotation, horaire ou anti-horaire ;
- $D_2$  : détermine l'angle de rotation (fonctionnement en pas entier ou en demi-pas) ;
- $D_3$  : détermine le mode *step* ou le mode *run* ;
- $D_4$  : contrôle la vitesse de rotation en mode *run*, LSB (bit le moins significatif) ;
- $D_5$  : contrôle la vitesse de rotation en mode *run* ;
- $D_6$  : contrôle la vitesse de rotation en mode *run*, MSB (bit le plus significatif).

Un circuit intégré de type 74LS574 (octuple bascule) permet de mémoriser les sept bits de commande qui seront envoyés à la platine. Ce circuit nécessite une impulsion de CLOCK pour le fonctionnement de ses bascules, impulsion générée par la ligne STROBE. Le signal issu de la sortie AUTOFEED est utilisé pour l'avance des pas et est appliqué par conséquent directement sur l'entrée 9 du circuit EDE12XX.

L'entrée OC/ de validation du circuit IC<sub>1</sub> devra être, pour un fonctionnement avec un ordinateur, connectée à la masse. Cependant, si l'on désire un fonctionnement autonome (mode RUN), cette entrée sera laissée en l'air, mettant les sorties en état de haute impédance. Dans ce dernier cas, on pourra, au moyen des différents switches, configurer le circuit comme on le souhaite. Des résistances de rappel d'une valeur de 10 k $\Omega$  permettent d'obtenir des niveaux francs sur les entrées de l'EDE12XX.



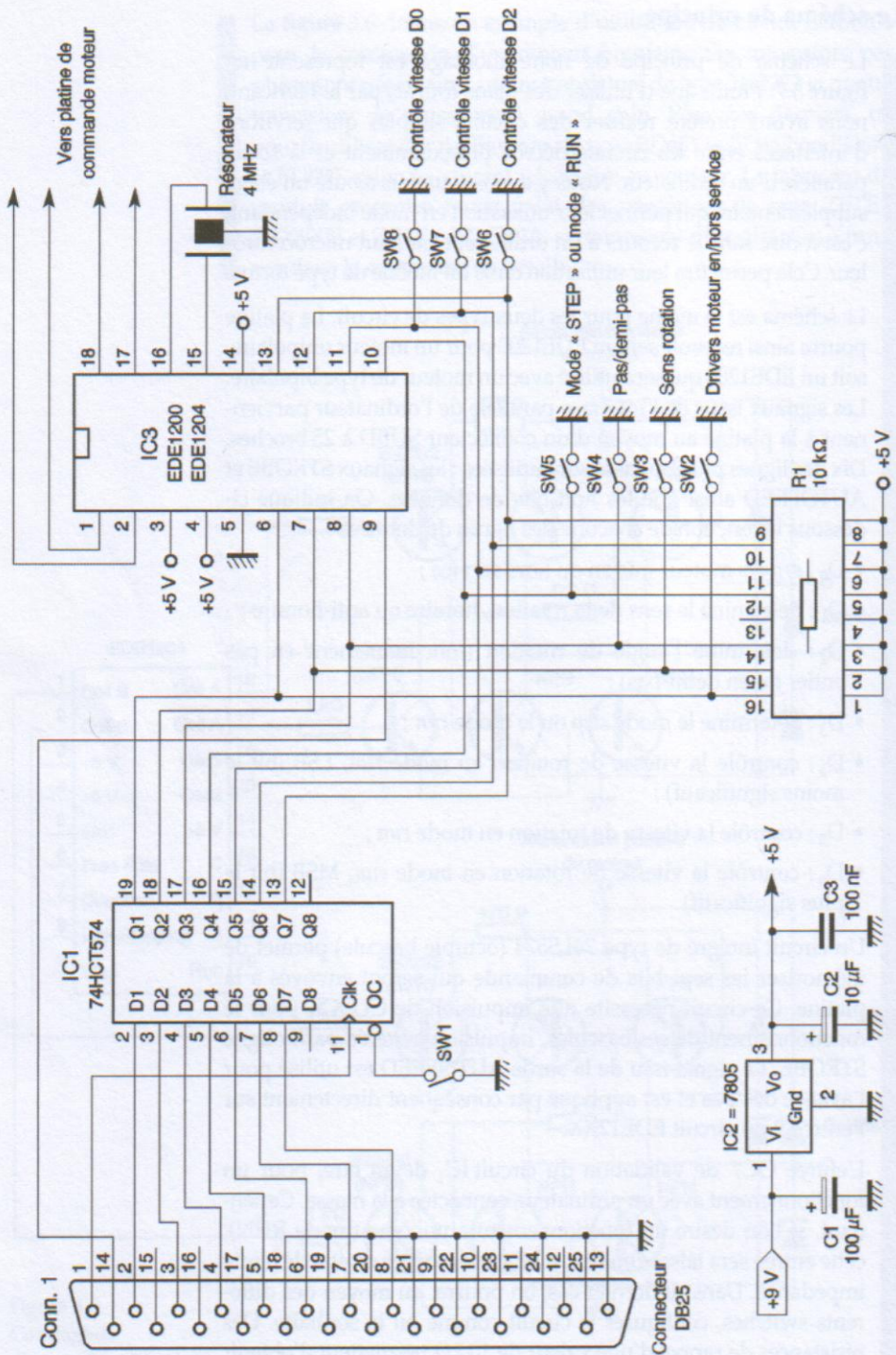
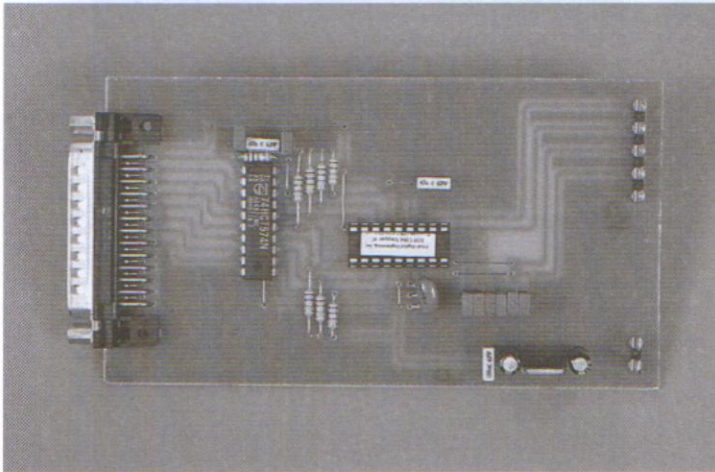


Figure 3.7. Schéma de principe.

Le cadencement du microcontrôleur est assuré par un résonateur céramique oscillant à une fréquence de 4 MHz. L'alimentation de la platine est assurée par une pile de 9 V et un régulateur de tension de type 7805 fournissant une tension régulée de + 5 V. Divers condensateurs filtrent la tension de sortie.

### La réalisation pratique

Le tracé du circuit imprimé est donné en **figure 3.8** et l'implantation des composants en **figure 3.9**. Il n'y a rien de bien particulier à signaler étant donné le petit nombre de composants mis en œuvre. Les deux circuits intégrés seront placés sur des supports. Les commutateurs SW<sub>1</sub> à SW<sub>9</sub> seront constitués de morceaux de barrette de picots à 2 points sur lesquels seront enfilés des cavaliers de type informatique.



La pile sera maintenue en place sur le circuit imprimé au moyen de deux clips, l'un mâle et l'autre femelle, qui serviront également de contacts. Il sera inutile de munir le régulateur de tension d'un dissipateur thermique.

On terminera par la vérification habituelle des soudures et par la mise en place des circuits intégrés dans leurs supports respectifs.

### Les essais

Il conviendra de raccorder le montage à la sortie imprimante de l'ordinateur, puis on le mettra sous tension et l'on vérifiera la présence de la tension + 5 V.

Le programme qui est utilisé pour la commande du moteur est très simple puisqu'il se résume à l'envoi d'un ordre de configuration du circuit EDE12XX, puis à la génération par la ligne



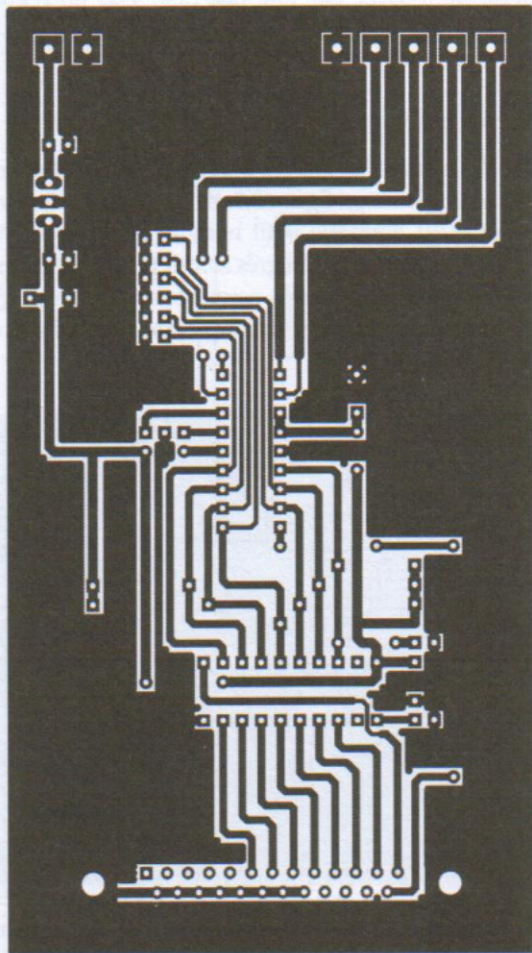
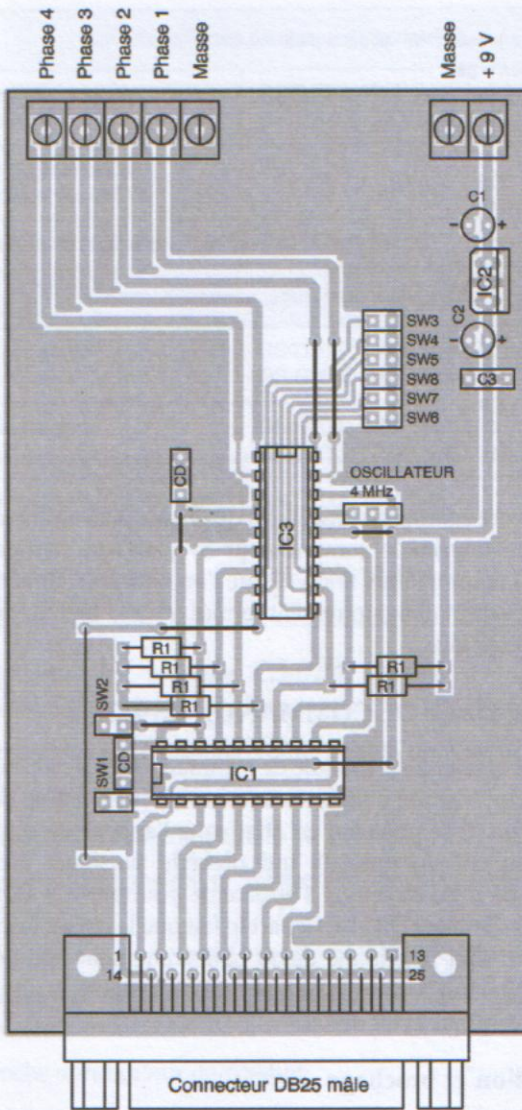


Figure 3.8.  
Tracé du  
circuit imprimé.

AUTOFEED d'une suite d'impulsions pour l'avance des pas. Nous donnons ci-dessous un petit exemple de programme (essai3-1.txt) :

```

REM *****
REM *** COMMANDE D'UN MOTEUR PAS A PAS PAR EDE12XX ***
REM *****
REM envoi des quatre bits de configuration
REM drivers moteur en service
REM rotation en sens horaire
REM mode pas entier
REM mode « STEP »
REM toutes les lignes de contrôle à 0
OUT &H37A, 219
    
```



Liste des composants

**Résistances**

6 résistances  $R_1$  de 10 k $\Omega$

**Condensateurs**

$C_1$  : 100  $\mu$ F 16 V

$C_2$  : 10  $\mu$ F 16 V

$C_3$  : 100 nF

CD : condensateur de découplage de 100 nF

**Circuits intégrés**

IC<sub>1</sub> : 74HCT574 ou 74LS574

IC<sub>2</sub> : régulateur de tension 7805

IC<sub>3</sub> : EDE1200 ou EDE1204

**Divers**

1 support pour IC

18 broches

1 support pour IC

20 broches

1 connecteur SUBD femelle

à 25 broches coudées

pour circuit imprimé

2 clips à souder pour

pile 9 V

1 résonateur céramique

4 MHz

9 morceaux de barrette

de picots à 2 points

9 cavaliers

de type informatique

1 bornier à vis à 2 points

1 bornier à vis à 3 points

Figure 3.9.  
Implantation  
des composants.

REM envoi de la configuration au circuit EDE12XX

OUT &H378, 15

OUT &H37A, 218

OUT &H37A, 219

REM avance de 200 pas

FOR P=0 TO 200

OUT &H37A, 217

OUT &H37A, 219

FOR T=0 TO 100

NEXT T

NEXT P



```
SLEEP 1
REM fonctionnement en mode « RUN »
REM mode demi-pas
REM rotation en sens anti-horaire
REM vitesse la plus faible
OUT &H378, 1
OUT &H37A, 218
OUT &H37A, 219
SLEEP 10
REM vitesse la plus élevée
OUT &H378, 113
SLEEP 10
OUT &H378,0
OUT &H37A, 218
OUT &H37A, 219
END
REM *****
```

On pourra également procéder à des essais sans ordinateur. Pour cela, on ouvrira le commutateur SW<sub>1</sub> et l'on configurera les autres commutateurs selon ce que l'on désirera. Par contre, SW<sub>2</sub> et SW<sub>5</sub> seront obligatoirement fermés (*drivers* moteur en service et mode *RUN*).

### 3.2 LE MODULE DE COMMANDE GS-D200S

Malgré le fait que le module de commande GS-D200S ne soit pas un circuit intégré, nous l'avons arbitrairement classé dans cette catégorie. Il se présente en effet sous l'apparence d'un boîtier relativement volumineux qui possède plusieurs broches de sortie. Sa mise en œuvre s'apparente pourtant très fortement à celle des boîtiers DIL, mis à part le fait que le circuit imprimé sur lequel il sera positionné devra obligatoirement être de dimensions plus importantes. C'est pour cette raison que nous l'avons classé comme circuit dédié.

#### Présentation et brochage

Les modules de la série GS-D200 proposent une excellente alternative pour la commande des moteurs pas-à-pas. Bien que d'un prix de revient relativement élevé, ils permettent une mise en œuvre simplifiée à l'extrême et présentent une très bonne fiabilité, ce qui permet de les utiliser dans les applications industrielles.

L'utilisation du module GS-D200S ne nécessite qu'un circuit imprimé, une alimentation simple (+ VCC et + 5 V) et un connecteur pour le raccordement à l'ordinateur de commande, ce que nous verrons lors de la phase de réalisation. Les caractéristiques électriques des deux composants de cette gamme sont données dans le **tableau 3.4**.



**Tableau 3.4.**  
 Caractéristiques  
 électriques  
 maximales  
 et nominales.

Caractéristiques électriques maximales	
Tension d'alimentation du moteur ( $V_s$ )	GS-D200 : 48 V GS-D200S : 42 V
Tension d'alimentation de la logique de contrôle ( $V_{ss}$ )	7 V
Température de stockage ( $T_{stg}$ )	- 40 °C à + 105 °C
Caractéristiques électriques nominales	
Courant de sortie	GS-D200 : 1 A nominal (0,5 A à 2 A) GS-D200S : 2 A nominal (0,5 A à 2,5 A)
Chute de tension	GS-D200 : 4,1 V maximum GS-D200S : 2,5 V maximum
Tension d'alimentation moteur	GS-D200 : 10 V à 46 V GS-D200S : 12 V à 40 V
Mise en fonctionnement du limiteur de courant	GS-D200S : 5 A

La gamme des modules GS-D200 dispose de nombreuses commandes permettant de les adapter à toutes les applications :

- large gamme de tensions d'alimentation du moteur ;
- sélection du mode pas entier ou demi-pas ;
- signaux d'entrée compatibles en TTL et CMOS ;
- courant des phases et fréquence de découpage programmables ;
- décroissance du courant programmable (lente ou rapide) ;
- broche de synchronisation dans le cas de l'utilisation de plusieurs modules ;
- broche d'indicateur de position.

Le schéma interne du module GS-D200S est donné en **figure 3.10**. La fonction de chacune de ses broches et son câblage sont donnés en **figure 3.11**. Cette dernière figure montre également sa connexion à un microcontrôleur ou à un port de micro-ordinateur.

Le **tableau 3.5** (p. 64) présente le détail de l'attribution des 18 broches du module GS-D200.

Les modules contiennent un compteur sur trois bits ainsi qu'une logique combinatoire qui permet de générer les séquences de commande d'un moteur bipolaire en mode pas entier (mono-phasé et biphasé) ainsi qu'en mode demi-pas. Les **figures 3.12**, **3.13** et **3.14** (pp. 65-66) représentent les diagrammes de fonction-



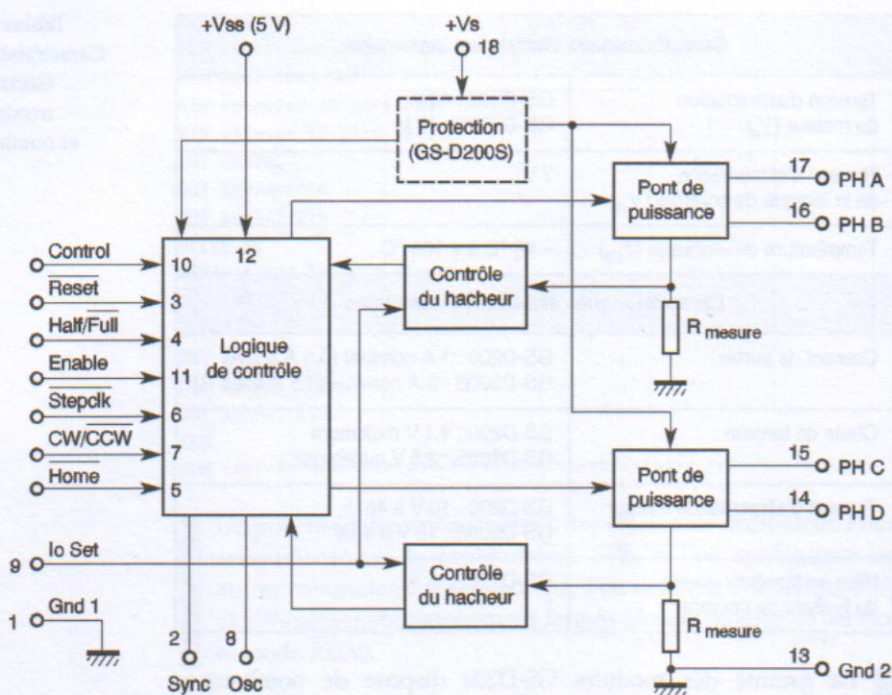


Figure 3.10.  
Schéma interne  
du GS-D200S.

nement de ces trois modes. Le mode demi-pas est obtenu en portant l'entrée  $\overline{\text{HALF/FULL}}$  au niveau logique bas.

La broche  $\overline{\text{RESET}}$  est une entrée de remise à zéro asynchrone qui positionne la logique interne du module dans son état de départ (à la mise sous tension) : état 1 = ABCD (ou 0101). Cette entrée est active à l'état bas. La sortie  $\overline{\text{HOME}}$  signale cet état de fait et, associée à une porte ET dont la seconde entrée est connectée à un capteur de position, permet de concevoir un asservissement de position.

L'entrée  $\overline{\text{ENABLE}}$  permet de valider le module après la mise sous tension. Elle est active à l'état haut (ou laissée déconnectée, « en l'air »).

Les deux étages de puissance sont contrôlés par deux hacheurs fonctionnant en mode PWM (*Pulse With Modulation*) afin d'obtenir une vitesse correcte et un bon couple. Un oscillateur interne est utilisé pour le fonctionnement de ces hacheurs. Lorsque les sorties sont validées, le courant traversant les bobinages du moteur croît jusqu'à une certaine valeur fixée par celle des composants connectés aux entrées IOSET et RSENSE. Lorsque le courant maximum est atteint, les sorties sont désactivées et le courant décroît jusqu'à la prochaine impulsion de l'oscillateur interne, puis le cycle recommence.

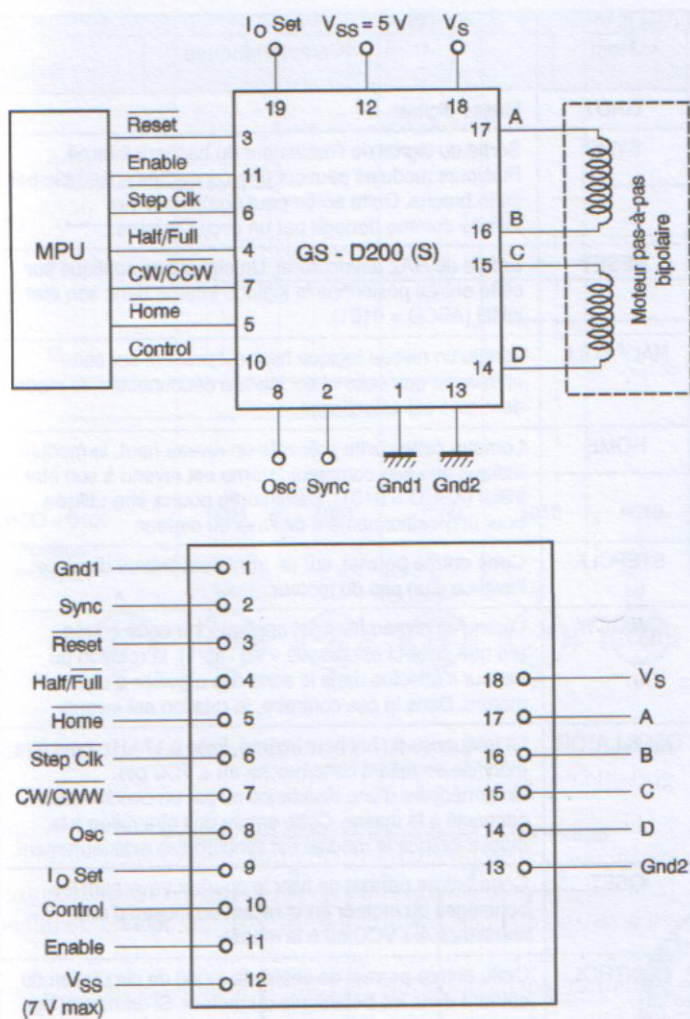


Figure 3.11.  
Fonction  
des broches  
du GS-D200S  
et connexion  
à un microprocesseur.

Le temps de décroissance du courant peut être ajusté en fonction du niveau logique appliqué sur l'entrée 10 (CONTROL). Si cette entrée est maintenue à un niveau haut (ou laissée « en l'air »), la décroissance est lente. Dans le cas contraire, elle est rapide. Si le module doit commander un moteur de forte puissance dont les bobinages n'emmagasinent qu'une énergie faible, la fréquence du hacheur devra être réduite. Cela s'effectuera en connectant une capacité entre la broche OSC et GND1. Lorsque le module GS-D200 est configuré en « décroissance rapide du courant », des diodes rapides et de faible déchet doivent être utilisées en les connectant entre chaque phase et la masse. Les figures 3.15 et 3.16 (p. 67) expliquent ces deux modes (décroissance lente et rapide, *slow decay* et *fast decay*).



## MOTEURS PAS-À-PAS ET PC

Tableau 3.5.  
Fonctions  
des broches  
du module  
GS-D200.

N° de la broche	Nom	Caractéristiques
1	GND1	Masse digitale.
2	SYNC	Sortie du signal de l'oscillateur du hacheur interne. Plusieurs modules peuvent être connectés ensemble par cette broche. Cette sortie peut également être utilisée comme horloge par un circuit externe.
3	RESET	Entrée de RAZ asynchrone. Un signal bas appliqué sur cette entrée positionne la logique interne dans son état initial (ABCD = 0101).
4	HALF/FULL	Lorsqu'un niveau logique haut est présent sur cette entrée, ou que celle-ci est laissée déconnectée, le mode demi-pas est sélectionné.
5	HOME	Lorsque cette sortie présente un niveau haut, le module indique que son compteur interne est revenu à son état initial (ABCD = 0101). Cette sortie pourra être utilisée pour un positionnement de l'axe du moteur.
6	STEPCLK/	Cette entrée permet, sur un front descendant du signal, l'avance d'un pas du moteur.
7	CW/CCW/	Lorsqu'un niveau haut est appliqué sur cette entrée (ou que celle-ci est laissée « en l'air »), la rotation du moteur s'effectue dans le sens des aiguilles d'une montre. Dans le cas contraire, la rotation est inverse.
8	OSCILLATOR	La fréquence du hacheur interne, fixée à 17 kHz, peut être modifiée en reliant cette broche au + VCC par l'intermédiaire d'une résistance ou par un condensateur connecté à la masse. Cette entrée doit être reliée à la masse lorsque le module est synchronisé extérieurement.
9	IOSET	Cette entrée permet de fixer le courant traversant les bobinages du moteur en la reliant au moyen d'une résistance à + VCC ou à la masse.
10	CONTROL	Cette entrée permet de choisir le mode de circulation du courant dans les bobinages du moteur. Si un niveau bas est présent sur cette entrée, la décroissance du courant est rapide. Si un niveau haut lui est appliqué, la décroissance est lente.
11	ENABLE	Lorsque cette entrée est portée à un niveau bas, le positionnement manuel du moteur est possible. Elle doit être dans cet état à la mise sous tension du module.
12,	VSS	+ 5 V
13	GND2	Masse de l'alimentation du moteur.
14	D	Phase D
15	C	Phase C
16	B	Phase B
17	A	Phase A
18	VS	+ VCC alimentation du moteur.

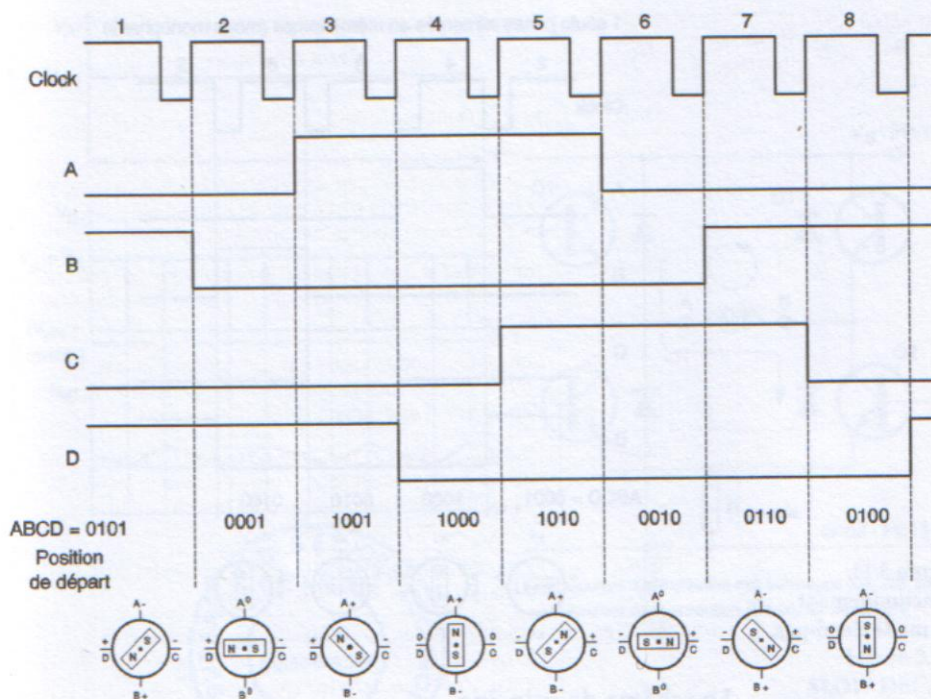


Figure 3.12.  
Fonctionnement  
en mode monphasé.

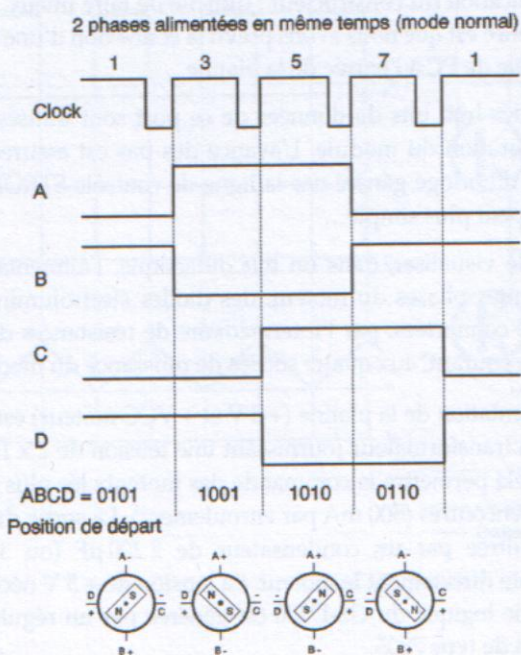


Figure 3.13.  
Fonctionnement  
en mode biphasé.



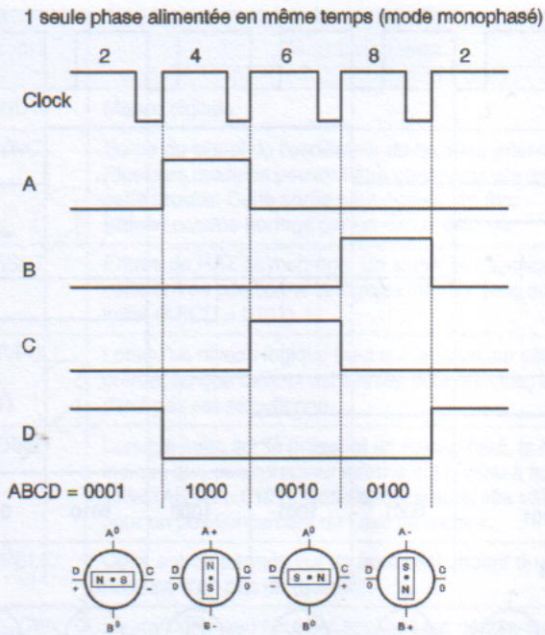


Figure 3.14.  
Fonctionnement  
en mode demi-pas.

### Le schéma de principe

Le schéma de principe de notre réalisation est représenté en **figure 3.17**. Il ne s'agit en fait que d'une simple recopie de la note d'application du constructeur : difficile de faire mieux. La seule différence est que nous avons prévu la connexion d'une interface parallèle de PC à l'entrée de la platine.

Cinq des huit bits de données de ce port sont utilisés pour la configuration du module. L'avance des pas est assurée par un signal d'horloge généré par la ligne de contrôle STROBE. C'est on ne peut plus simple...

Afin de visualiser, dans un but didactique, l'alimentation des différentes phases du moteur, des diodes électroluminescentes ont été connectées, par l'intermédiaire de résistances de limitation de courant, aux quatre sorties de puissance du module.

L'alimentation de la platine (+ 5 V et + VCC moteur) est assurée par un transformateur fournissant une tension de  $2 \times 15$  V sous 1 A. Cela permettra la commande des moteurs les plus couramment rencontrés (500 mA par enroulement). La sortie du redresseur, filtrée par un condensateur de 2 200  $\mu$ F (ou 3 300  $\mu$ F), alimente directement le moteur. La tension de + 5 V nécessaire à la partie logique du GS-D200 est générée par un régulateur de tension de type 7805.

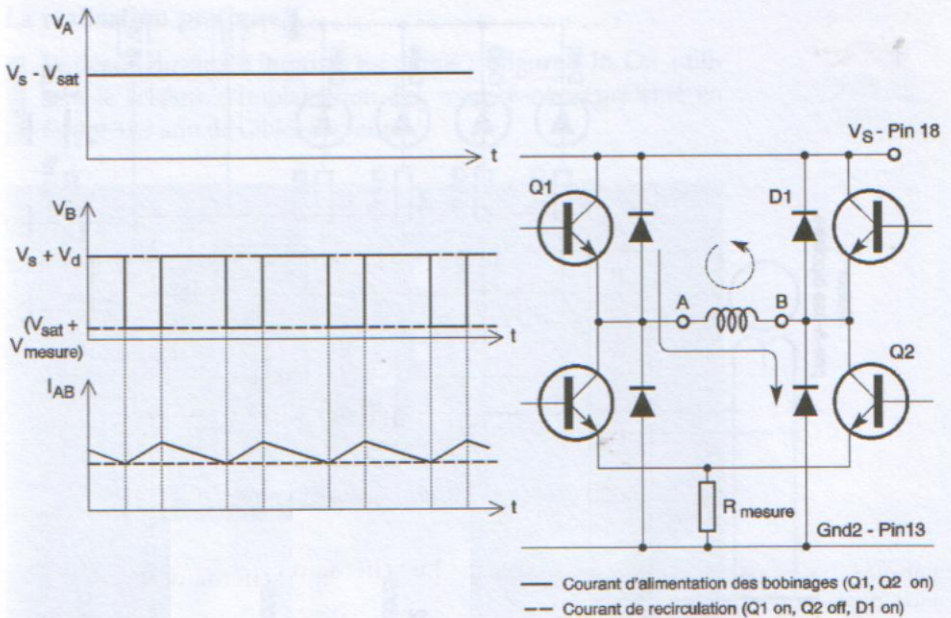


Figure 3.15.  
 SLOW DECAY,  
 décroissance lente.

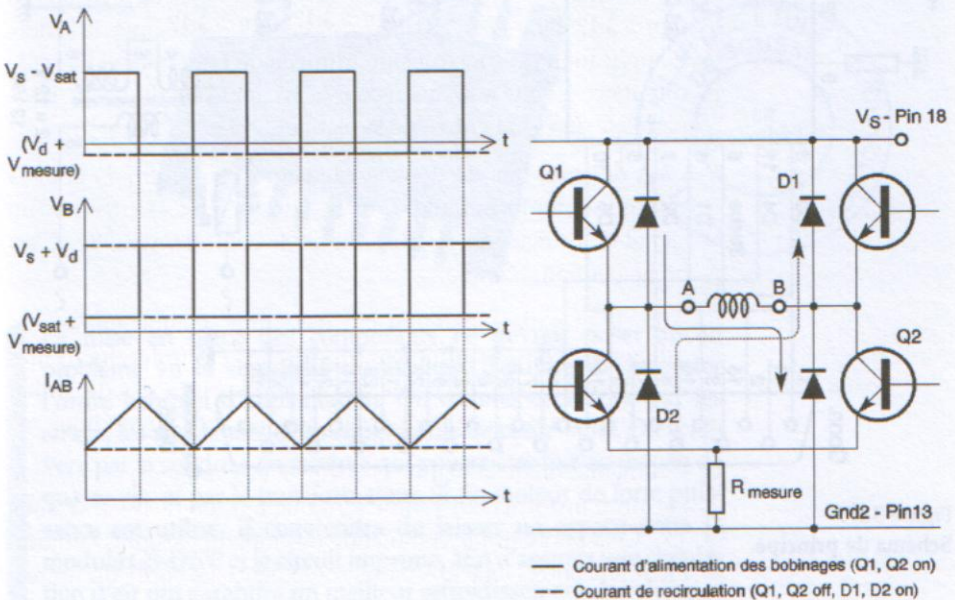


Figure 3.16.  
 FAST DECAY,  
 décroissance rapide.



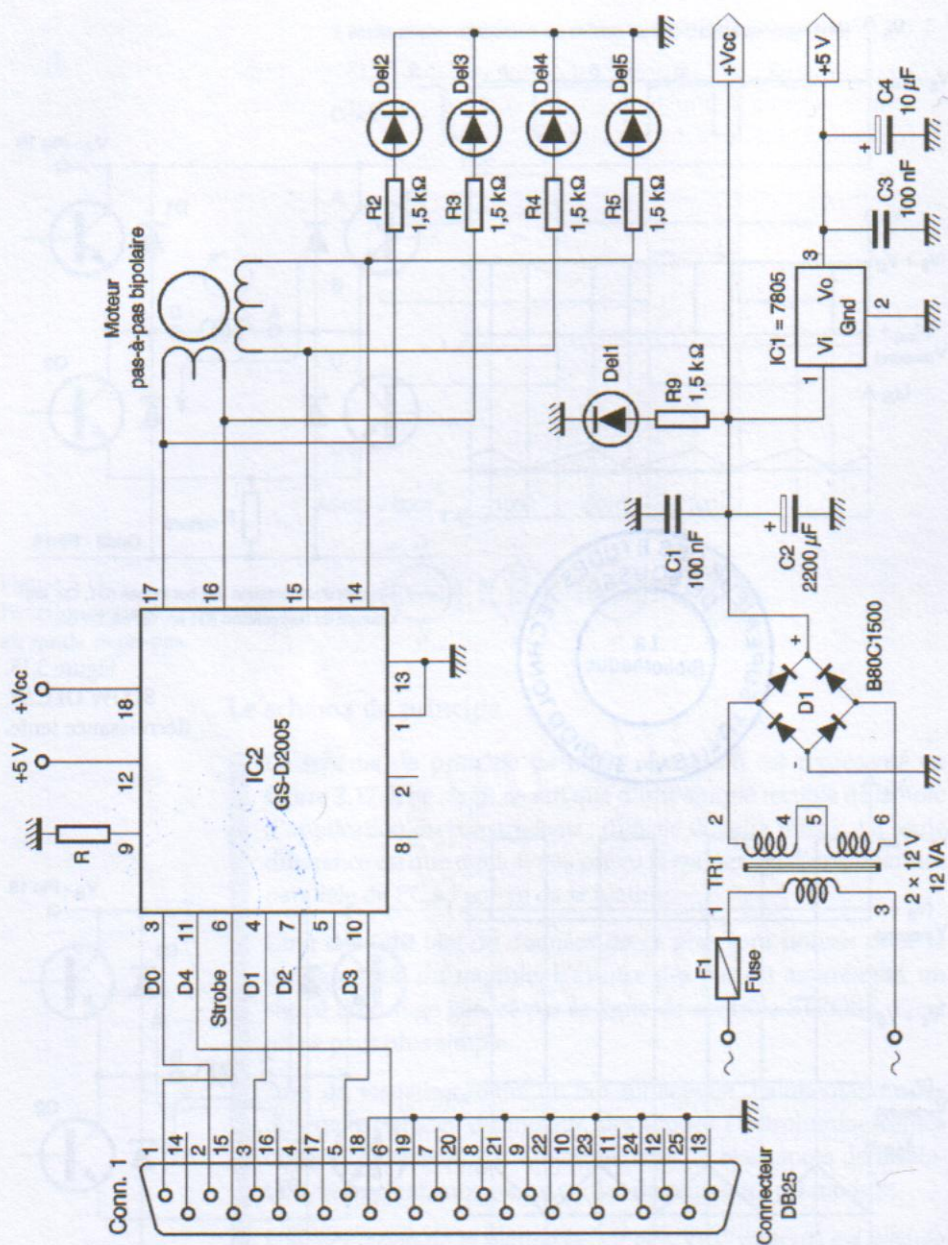
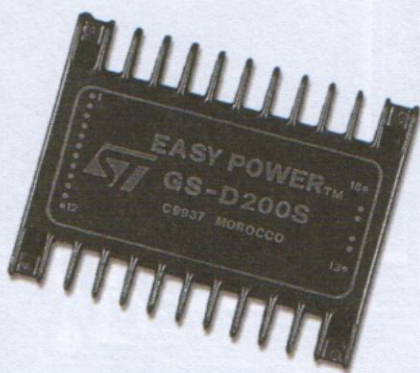
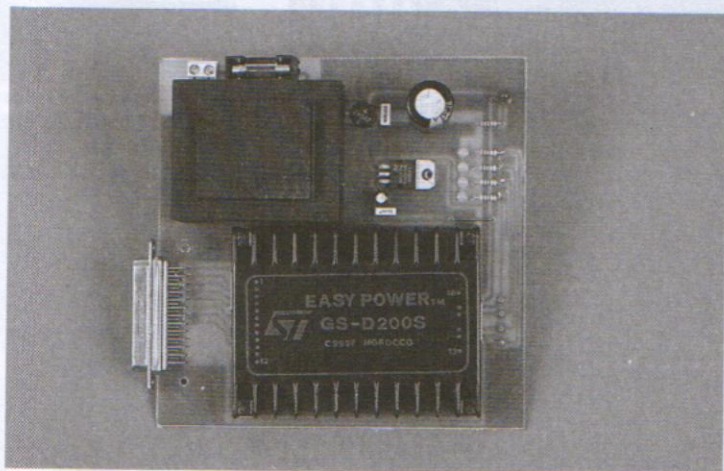


Figure 3.17.  
Schéma de principe.

### La réalisation pratique

Le dessin du circuit imprimé est donné en **figure 3.18**. On utilisera le schéma d'implantation des composants représenté en **figure 3.19** afin de câbler la platine.



La mise en place des composants ne devrait poser aucun problème vu la simplicité du câblage. Il suffira de respecter l'ordre habituel d'implantation. On commencera donc par les straps, les résistances et les composants de petite taille. On achèvera par la soudure du module qui pourra être fixé au moyen de quatre vis, et par le transformateur. Si un moteur de forte puissance est utilisé, il conviendra de laisser un espace entre le module GS-D200 et le circuit imprimé, afin d'assurer une circulation d'air qui garantira un meilleur refroidissement de celui-ci.

La connexion au moteur s'effectuera par l'intermédiaire d'un bornier à vis à quatre points. La liaison de la platine au secteur 220 V se fera de la même manière (bornier à vis à deux points).



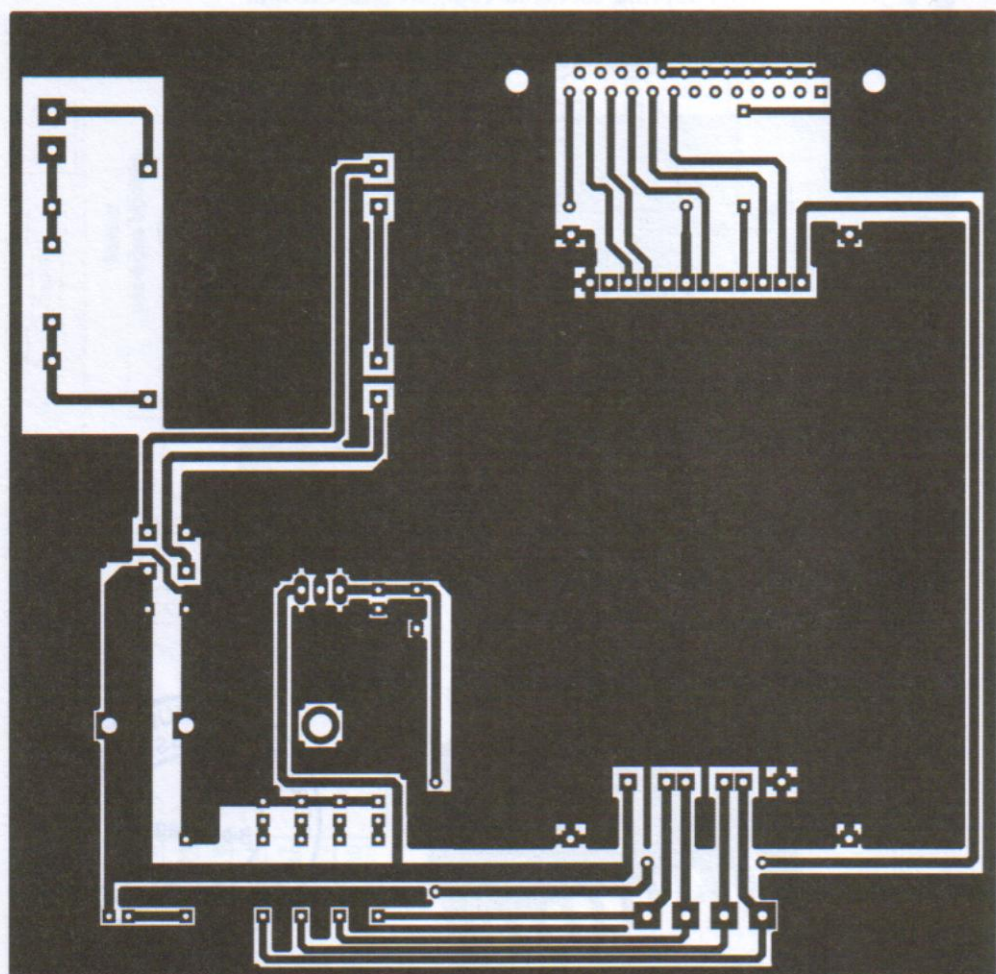
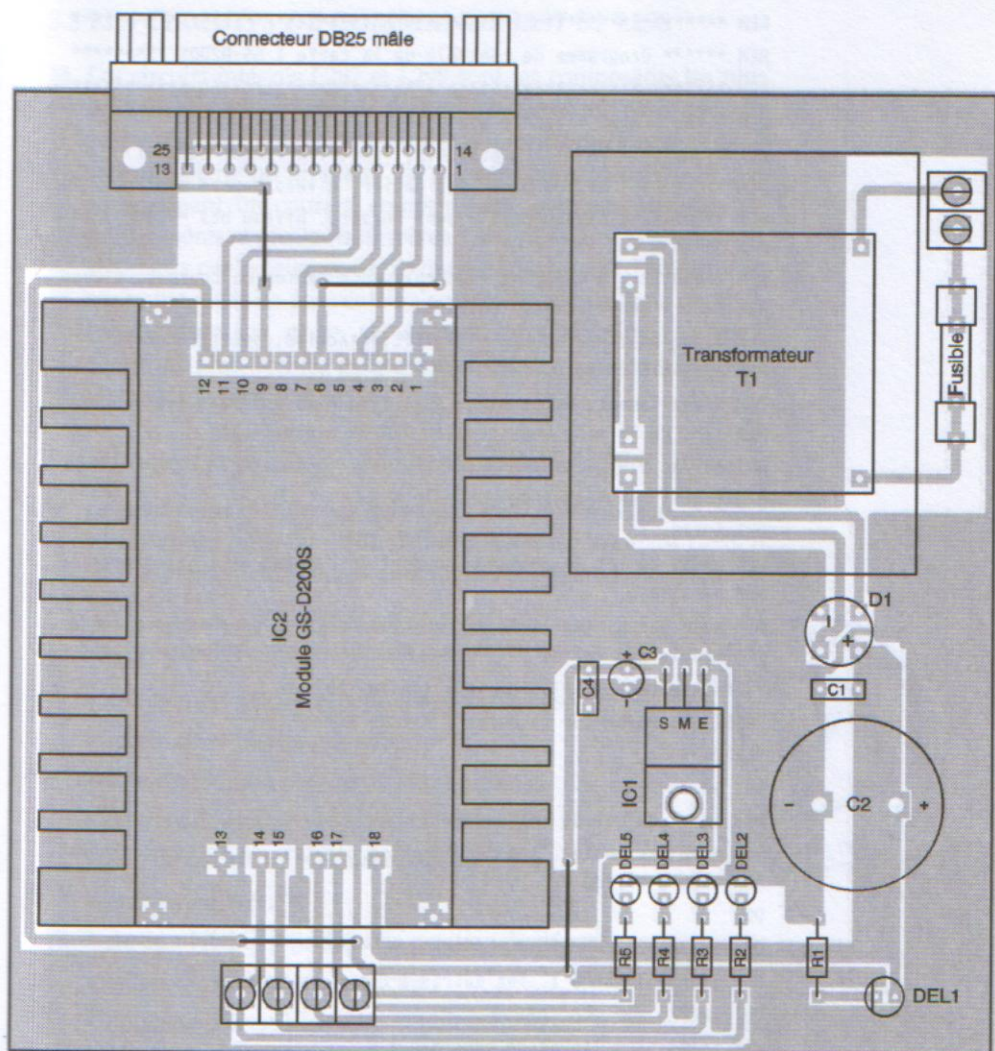


Figure 3.18.  
Tracé du  
circuit imprimé.

### Les essais

Après avoir procédé à une vérification minutieuse du câblage, on pourra connecter le montage à l'interface parallèle de l'ordinateur. On mettra la platine sous tension et on mesurera immédiatement la tension d'alimentation + 5 V. Si tout est en ordre, on pourra alors passer à la phase des essais.

Sous QBASIC ou QUICK BASIC, on entrera le petit programme suivant (essai3-2.txt), qui permettra de vérifier le bon fonctionnement du montage.



*Liste des composants*

**Résistances**

$R_1$  à  $R_5$  : 1,5 k $\Omega$

**Condensateurs**

$C_1, C_4$  : 100 nF

$C_2$  : 2 200  $\mu$ F à 3 300  $\mu$ F 35 V

$C_3$  : 10  $\mu$ F 16 V

**Semi-conducteurs**

$D_1$  : pont redresseur B80C1500

$DEL_1$  à  $DEL_5$  : DEL rouge de 3 mm de diamètre

**Circuits intégrés**

$IC_1$  : régulateur de tension 7805

$IC_2$  : module GS-D200S (Thomson)

**Divers**

1 connecteur SUBD à 25 broches

coudées pour circuit imprimé mâle

1 bornier à vis à 2 points

1 bornier à vis à 4 points

1 porte-fusible

1 fusible rapide 200 mA

Figure 3.19.  
**Implantation des composants.**



## MOTEURS PAS-À-PAS ET PC

```
REM *****
REM ***** Programme de contrôle de la carte à GS-D200S *****
REM *****
REM ligne STROBE = avance des pas
REM ligne D0 : RESET à l'état bas, inactif à l'état haut (1)
REM ligne D1 : niveau bas = pas entier, niveau haut = demi-pas (2)
REM ligne D2 : niveau haut = sens horaire, niveau bas = sens anti-
REM horaire (4)
REM ligne D3 : niveau bas = décroissance rapide du courant, niveau
REM haut = décroissance lente (8)
REM ligne D4 : niveau bas = circuit désactivé, positionnement
REM possible du moteur
REM manuellement. Cette ligne doit être mise à l'état logique bas
REM lors de la mise sous tension REM du circuit (16)
OUT &H27A, 219
REM toutes les lignes de contrôle à 0
OUT &H278, 13
REM envoi du mot de commande au port de données de l'interface
REM parallèle
REM mode pas entier, sens de rotation horaire, décroissance lente,
REM module non validé
PRINT « Mettre la platine sous tension puis »
PRINT « appuyer sur la barre « espace » »
SLEEP
OUT &H278, 29
REM envoi du mot de commande
REM mode pas entier, sens de rotation horaire, décroissance lente,
REM module validé
DO
OUT &H27A, 218
REM ligne STROBE à 1, les autres à 0
OUT &H27A, 219
REM toutes les lignes de contrôle à 0
REM avance d'un pas
FOR T=0 TO 50
NEXT T
REM boucle d'attente
LOOP
REM appuyer sur CTRL+PAUSE pour arrêter la rotation
REM *****
```

Selon la fréquence d'horloge de l'ordinateur utilisé et son type, il conviendra d'augmenter ou de diminuer le temps d'attente introduit par la boucle « FOR T=0 TO 50 ». Signalons que ces essais devront être effectués lorsque le module sera connecté au port LPT2 (H278). Le port LPT1 est adressé en H378.



### 3.3 LES CIRCUITS DE COMMANDE L297 ET L298

Les circuits intégrés L297 et L298 sont les composants les plus utilisés lorsqu'il s'agit de piloter des moteurs pas-à-pas. Ils permettent en effet de commander n'importe quel moteur, qu'il soit unipolaire ou bipolaire. Ils peuvent alimenter des organes consommant un courant compris entre quelques dizaines de milliampères et plusieurs ampères. Ce sont donc les composants standards par excellence car ils ont été conçus afin d'être utilisés ensemble, mais ils peuvent également être inclus dans un quelconque montage, et ce, séparément. La réalisation que nous décrirons plus loin les utilise conjointement car cette façon de faire reste la plus simple.

#### Présentation et brochage du circuit intégré L297

Le contrôleur de moteur pas-à-pas L297 a été conçu, comme nous venons de le dire, afin d'être utilisé avec le circuit L298. Il peut également être couplé avec le L293E, que nous décrirons en annexe.

Ses principales caractéristiques sont :

- commande en mode monophasé ou biphasé ;
- mode demi-pas ou pas entier ;
- sens de rotation horaire ou anti-horaire ;
- courant de charge programmable ;
- peu de composants externes nécessaires ;
- entrée de RAZ ;
- sortie « HOME » (indique la position de départ) ;
- entrée de validation du circuit ;
- doubleur d'impulsion de pas (uniquement sur le circuit L297A).

La **figure 3.20** donne le brochage et la structure interne du circuit L297, tandis que sur la **figure 3.21** nous trouvons ceux du circuit L297A. Le L297 est conçu pour fonctionner avec un *driver* en double pont, un réseau de quatre darlington de puissance ou des composants discrets. Il lui suffit de recevoir les signaux de CLOCK (avance des pas), de direction et de mode afin de piloter le moteur pas-à-pas. Il génère ensuite, seul, la séquence de commande de l'étage de puissance.

Comme on peut l'apercevoir sur les figures représentant sa constitution interne, il possède deux étages principaux : un translateur qui génère les différentes séquences de commande et un double hacheur PWM (*Pulse With Modulation*) qui régule le courant traversant les bobinages du moteur.



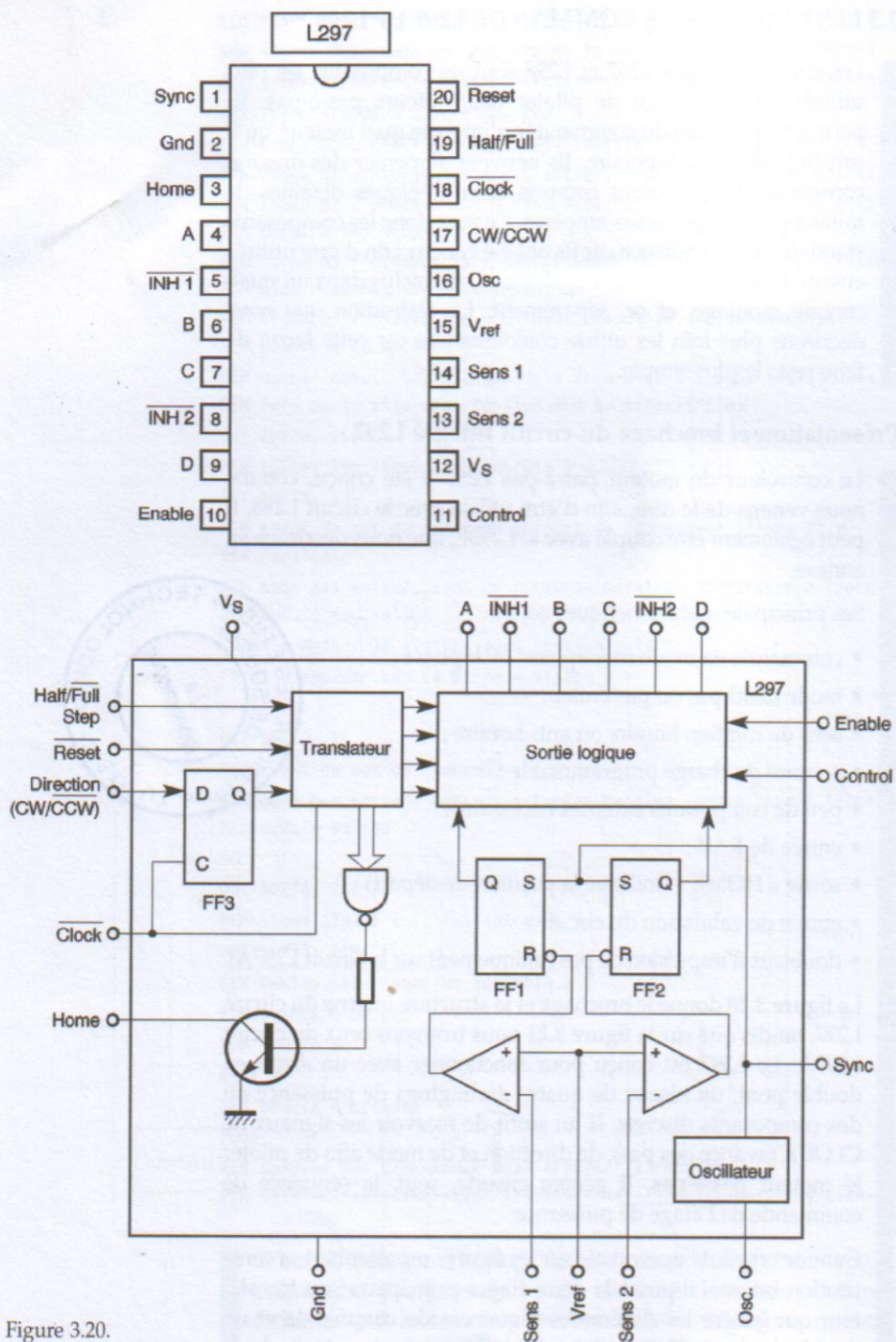


Figure 3.20.  
Brochage et structure interne  
du circuit L297.

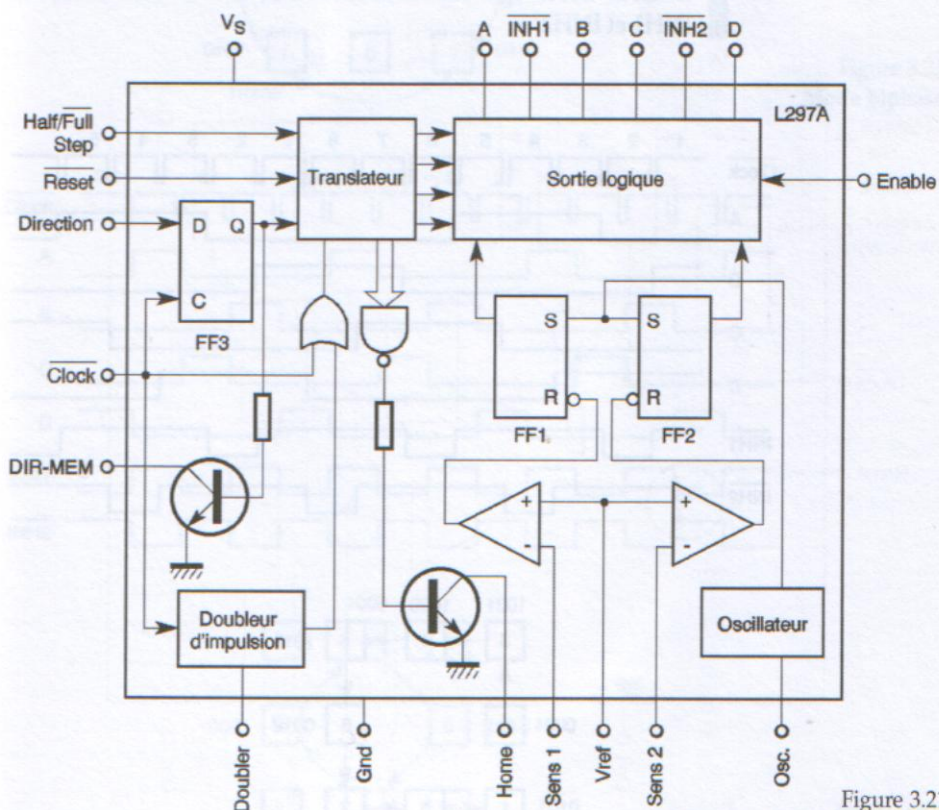
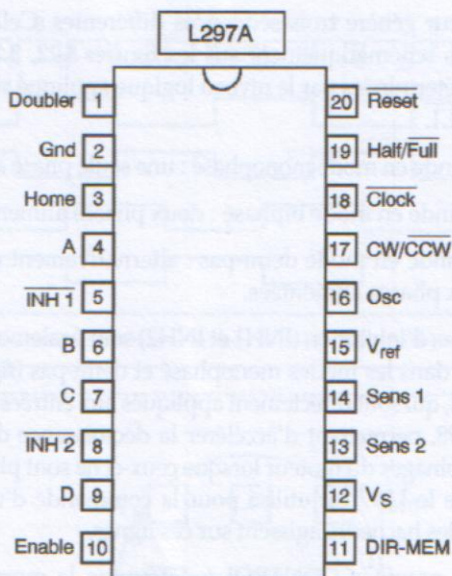


Figure 3.21.  
Brochage et structure interne  
du circuit L297A.



Le translateur génère trois séquences différentes. Celles-ci sont représentées schématiquement sur les figures 3.22, 3.23 et 3.24. Elles sont déterminées par le niveau logique appliqué sur l'entrée HALF/FULL :

- la commande en mode monophasé : une seule phase alimentée ;
- la commande en mode biphasé : deux phases alimentées ;
- la commande en mode demi-pas : alternativement une phase puis deux phases alimentées.

Deux signaux d'inhibition (INH1 et INH2) sont également générés par le L297 dans les modes monophasé et demi-pas (figure 3.25). Ces signaux, qui sont directement appliqués aux entrées de validation du L298, permettent d'accélérer la décroissance du courant dans les bobinages du moteur lorsque ceux-ci ne sont plus alimentés. Lorsque le L297 est utilisé pour la commande d'un moteur unipolaire, les hacheurs agissent sur ces lignes.

Une entrée nommée CONTROL/ détermine le moment où le hacheur devra agir sur les sorties A, B, C et D ou les entrées INH1 et INH2.

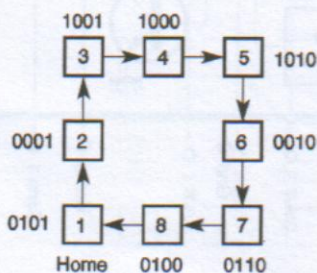
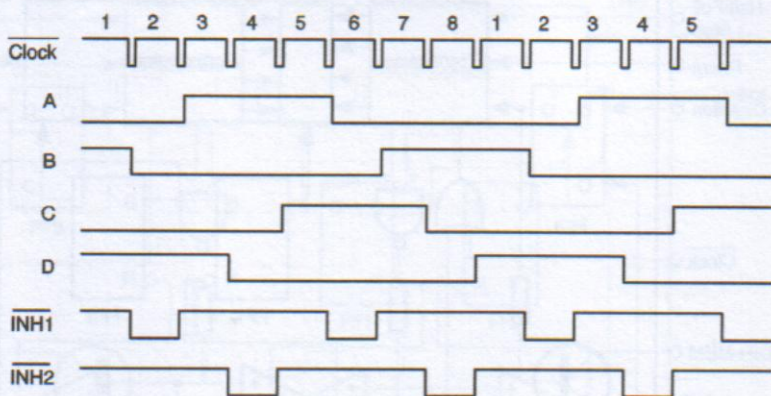


Figure 3.22.  
Mode monophasé.

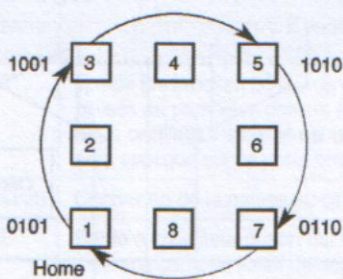
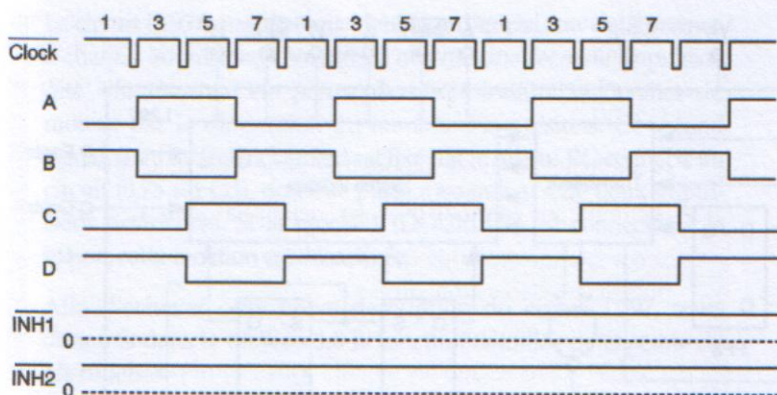


Figure 3.23.  
Mode biphasé.

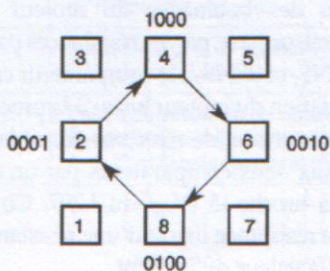
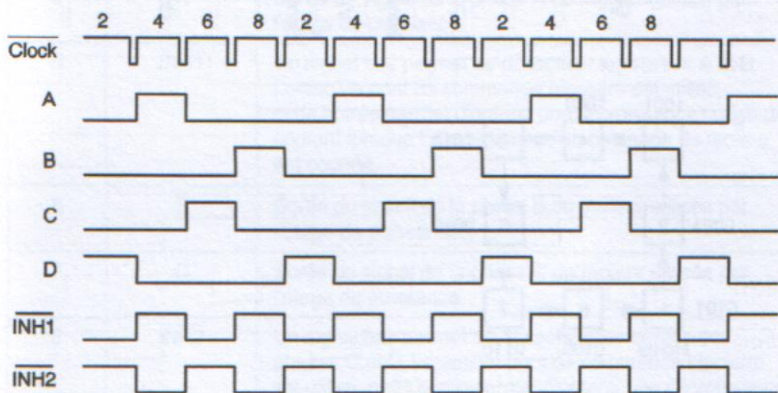


Figure 3.24.  
Mode demi-pas.



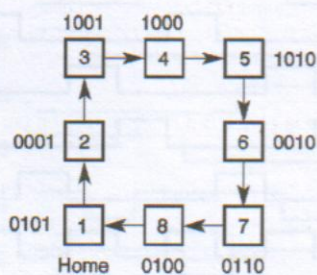
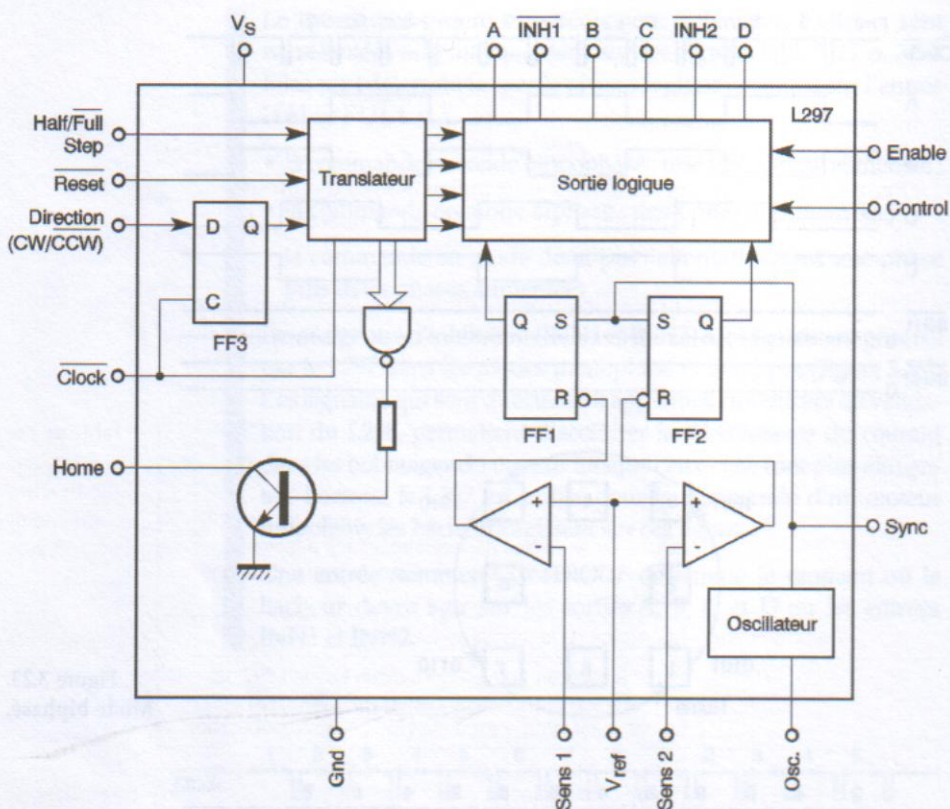


Figure 3.25.  
Signaux  
INH1 et INH2.

Un oscillateur interne commande les hacheurs. Lorsque le courant traversant l'un des bobinages du moteur atteint la tension programmée (valeur fixée par les résistances palpées connectées aux entrées SENS<sub>1</sub> et SENS<sub>2</sub>), le comparateur correspondant interrompt l'alimentation du moteur jusqu'à la prochaine impulsion de l'oscillateur. Une tension de référence fixant la valeur du courant est dispensée aux deux comparateurs par un diviseur de tension connecté sur la broche 15 (V<sub>ref</sub>) du L297. Ce diviseur peut être constitué d'une résistance fixe et d'une résistance ajustable afin de pouvoir régler la valeur du courant.

Le circuit L297A contient un « doubleur d'impulsion » qui permet, à chaque impulsion d'horloge, d'obtenir une seconde impulsion dite « fantôme ». Cela permet la simplification de l'avance du moteur par la diminution du nombre d'impulsions. Ce second signal, dont le déclenchement est fixé par le réseau RC connecté au circuit (0,75 Rd Cd), doit être placé « au milieu » de deux impulsions extérieures. Si la broche 1 (DOUBLER) est connectée à la masse, cette fonction est désactivée.

Afin d'achever cette brève description du circuit L297, nous donnons dans le **tableau 3.6** la fonction détaillée de chacune de ses broches.

**Tableau 3.6.**  
Fonctions  
des broches  
du circuit  
L297.

N° de la broche	Nom	Fonction
1	SYNC	Toutes les broches SYNC de chacun des circuits L297 utilisés en parallèles doivent être reliées ensemble. Si un oscillateur externe est utilisé, le signal d'horloge sera appliqué sur ces broches.
2	GND (ground)	Connexion de la masse au circuit.
3	HOME	Sortie à collecteur ouvert qui indique que le L297 est revenu à son état initial de départ (ABCD = 0101). Le transistor interne est ouvert lorsque le signal est actif.
4	A	Sortie du signal de la phase A du moteur utilisée par l'étage de puissance.
5	INH1	Un signal bas permet de désactiver les sorties A et B. Lorsqu'un pont de commande bipolaire est utilisé, cette entrée permet d'obtenir une décroissance rapide du courant lorsque l'alimentation d'un bobinage du moteur est coupée.
6	B	Sortie du signal de la phase B du moteur utilisée par l'étage de puissance.
7	C	Sortie de signal de la phase C du moteur utilisée par l'étage de puissance.
8	INH2	Un signal bas permet de désactiver les sorties des phases C et D. Lorsqu'un pont de commande bipolaire est utilisé, cette sortie permet d'obtenir une décroissance rapide du courant lorsque l'alimentation d'un bobinage du moteur est coupée.
9	D	Sortie du signal de la phase D du moteur utilisée par l'étage de puissance.
10	ENABLE	Entrée de validation du circuit. Lorsqu'elle est portée à un niveau bas (circuit non validé), les sorties INH1/, INH2/, A, B, C et D présentent un niveau bas.



## MOTEURS PAS-À-PAS ET PC

Tableau 3.6  
(suite).  
Fonctions  
des broches  
du circuit  
L297.

N° de la broche	Nom	Fonction
11	CONTROL	Cette entrée permet de définir le fonctionnement du hacheur. Lorsqu'un niveau logique bas est appliqué à cette entrée, le hacheur agit sur INH1/ et INH2/. Lorsqu'au contraire un niveau haut lui est appliqué, le hacheur agit sur les sorties A, B, C et D.
12	Vs	Alimentation + 5 V du circuit.
13	SENS2	Entrée du palpeur de courant des phases C et D.
14	SENS1	Entrée du palpeur de courant des phases A et B.
15	Vref	Entrée sur laquelle est appliquée la tension de référence nécessaire au fonctionnement du hacheur. Cette tension détermine le courant maximal traversant les bobinages du moteur pas-à-pas.
16	OSC	Un réseau RC connecté à cette entrée détermine la fréquence de fonctionnement du hacheur ( $f = 1/0,69 RC$ , $R > 10 \text{ k}\Omega$ ).
17	CW / $\overline{\text{CW}}$	Entrée de contrôle du sens de rotation du moteur (sens horaire ou anti-horaire).
18	$\overline{\text{CLOCK}}$	Entrée utilisée par le circuit pour le signal d'horloge nécessaire à l'avance des pas du moteur. Cette avance se produit sur le flanc descendant du signal.
19	HALF / $\overline{\text{FULL}}$	Cette entrée permet de sélectionner le mode d'avance des pas du moteur : un niveau haut sélectionne l'avance par demi-pas, tandis qu'un niveau bas permet d'obtenir l'avance par pas entiers.
20	$\overline{\text{RESET}}$	Cette entrée permet une remise à zéro du circuit. Un niveau bas appliqué sur cette broche permet de positionner le circuit (translateur) dans son état initial (ABCD = 0101).

### Présentation et brochage du circuit intégré L298

Le circuit intégré L298 est le circuit complémentaire du L297. Il permet, ainsi que nous l'avons déjà signalé, la simplification extrême de la construction d'une platine de commande pour moteur pas-à-pas. Ce circuit n'est ni plus ni moins qu'un double pont de commande de puissance possédant des sorties de mesure du courant consommé par le moteur ainsi que des entrées de validation. Il ne nécessite donc que très peu de composants externes et sa mise en œuvre est très simple.

Il se présente sous la forme d'un boîtier à 15 broches de type Multiwatt dont le dessin est donné en **figure 3.26**. Les fonctions attribuées à chacune de ses broches sont détaillées dans le **tableau 3.7**.



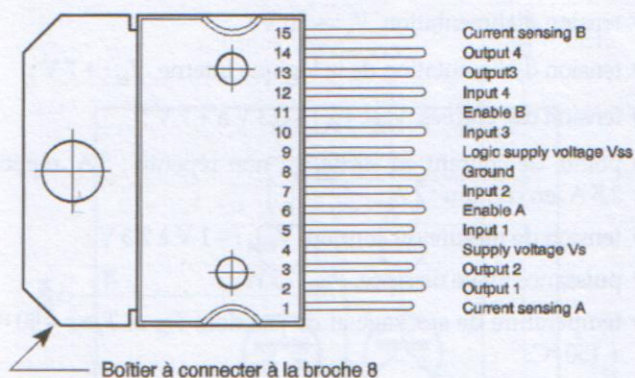


Figure 3.26.  
Boîtier Multiwatt.

N° de la broche	Nom	Fonction
1 et 15	SENSE A et SENSE B	Entre les deux broches et la masse doivent être connectées des résistances permettant de contrôler le courant circulant dans les bobinages du moteur.
2 et 3	OUT1 et OUT2	Sorties du pont A. Le courant débité par cet étage est commandé par la broche 1.
4	Vs	Entrée de la tension d'alimentation des étages de puissance. Un condensateur de 100 nF doit être connecté entre cette broche et la masse.
5 et 7	INPUT I et INPUT 2	Entrées compatibles TTL du pont A.
6 et 11	ENABLE A et ENABLE B	Entrées compatibles TTL permettant de valider les ponts A et B. Un niveau bas appliqué sur ces broches met les étages de puissance au repos.
5	GND	Masse du circuit.
9	Vss	Entrée de la tension d'alimentation de la partie logique du circuit. Un condensateur de 100 nF doit être connecté entre cette broche et la masse.
10 et 12	INPUT 3 et INPUT 4	Entrées compatibles TTL du pont B.
13 et 14	OUT3 et OUT4	Sorties du pont B. Le courant débité par cet étage est commandé par la broche 15.

Tableau 3.7.  
Fonctions des broches du L298.

Le L298 permet l'utilisation d'une tension d'alimentation du moteur relativement élevée. Le courant qu'il peut débiter permet l'usage de moteurs pas-à-pas possédant des bobinages de valeur ohmique peu élevée. Il peut être utilisé pour la commande de moteurs pas-à-pas, de relais électromécaniques, de solénoïdes ou de moteurs à courant continu, et ce, en mode commun ou différentiel. Les valeurs électriques extrêmes (à ne pas dépasser) sont les suivantes :



- tension d'alimentation,  $V_s$  : + 50 V ;
- tension d'alimentation de la logique interne,  $V_{ss}$  : + 7 V ;
- tension des entrées,  $V_i$  et  $V_{en}$  : - 0,3 V à + 7 V ;
- pointe de courant en sortie,  $I_o$  : non répétitif : 3 A, répétitif : 2,5 A, en continu : 2 A ;
- tension de mesure du courant,  $V_{sens}$  : - 1 V à 2,3 V ;
- puissance totale dissipée,  $P_{tot}$  : 25 W ;
- température de stockage et de jonction,  $T_{stg}$  et  $T_j$  : - 40 °C à + 150 °C.

Le schéma interne du L298 est représenté en **figure 3.27**. On y aperçoit les deux ponts de 4 transistors de puissance commandés par les portes logiques, ainsi que la connexion des résistances de mesure du courant consommé par la charge reliées aux émetteurs de chaque paire de transistors.

La **figure 3.28** donne la configuration classique des circuits L297 et L298. Un pont de diodes par sortie devra être utilisé lorsque des charges inductives y seront connectées. On utilisera de préférence des diodes Shottky (très rapides) si les entrées du circuit de puissance sont contrôlées par le hacheur du L297. Si le courant débité dans la charge dépasse 2 A, on pourra connecter en parallèle et deux à deux les sorties du L298. Cette possibilité est représentée sur la **figure 3.29**.

Pour terminer cette présentation, nous donnons en **figure 3.30** un schéma permettant d'utiliser le L298 pour une commande de moteur à courant continu. Cette configuration est intéressante car elle permet d'obtenir une rotation en sens horaire ou anti-horaire, un arrêt avec freinage brusque et un arrêt en roue libre et ce, en fonction des niveaux logiques appliqués sur les entrées de commande.

Ainsi, si l'entrée ENABLE est à l'état haut, on obtiendra une rotation à droite si l'entrée C est à l'état haut et l'entrée D à l'état bas. La rotation à gauche sera obtenue en inversant ces deux derniers signaux. Le freinage brusque aura lieu lorsque sur les deux entrées seront présents les mêmes niveaux logiques. Afin d'obtenir l'arrêt du moteur en roue libre, l'entrée ENABLE devra être portée à un niveau bas et les deux entrées de commande à un même niveau.

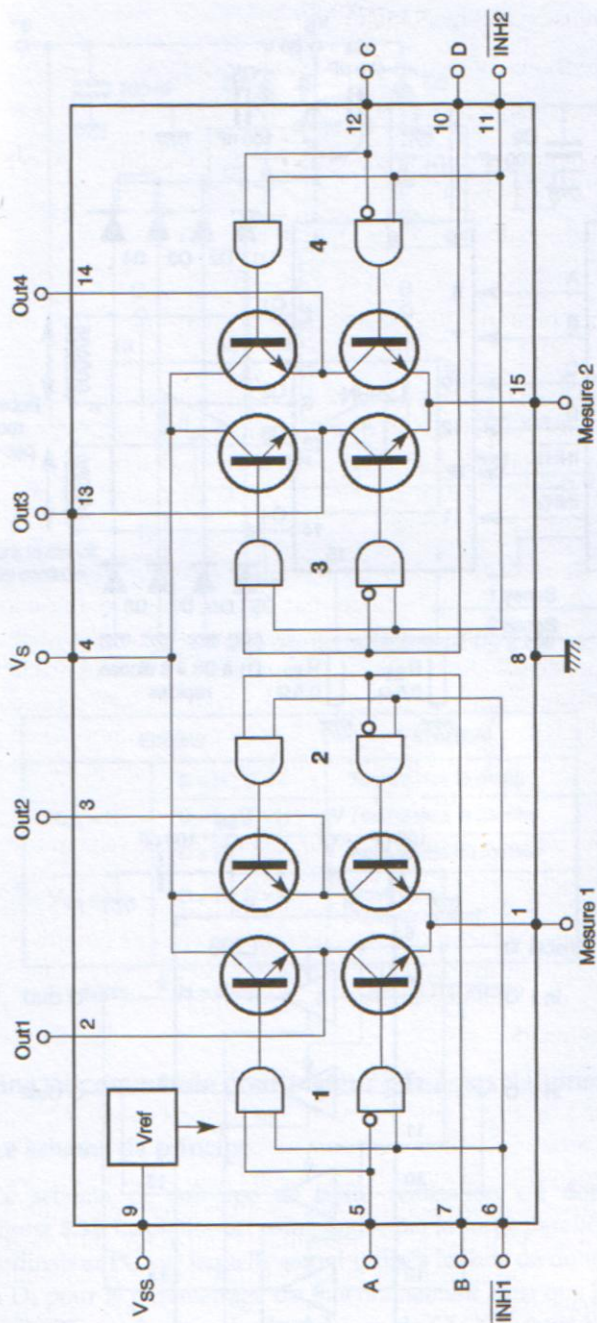


Figure 3.27.  
Constitution interne  
du circuit L298.



# MOTEURS PAS-À-PAS ET PC

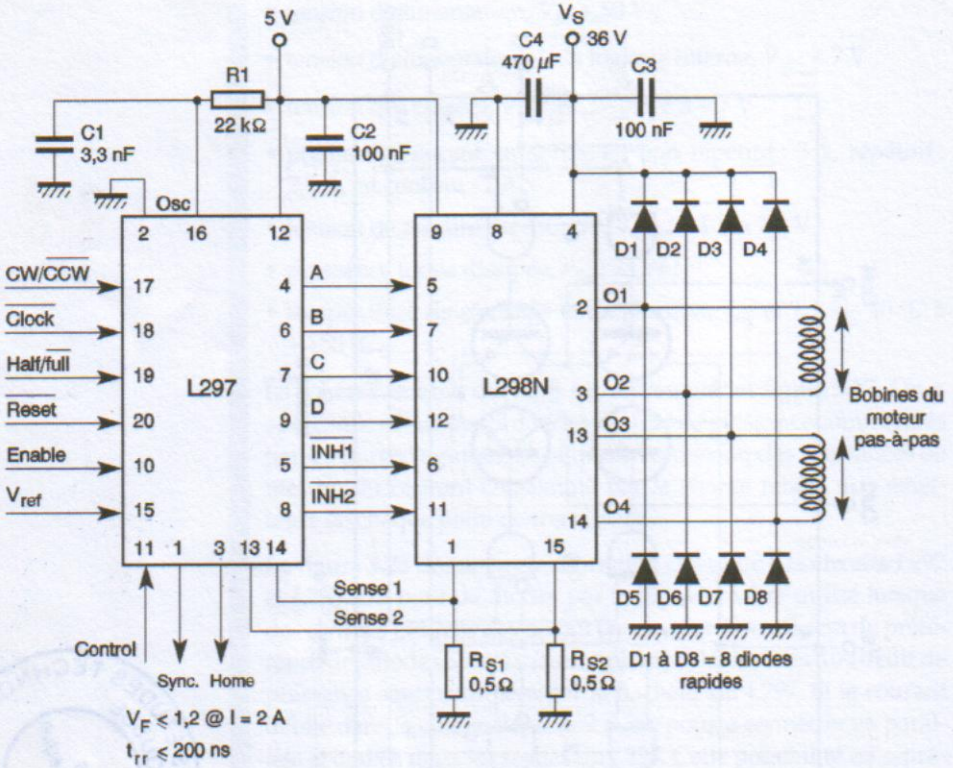


Figure 3.28.  
Association  
des circuits  
L297 et L298.

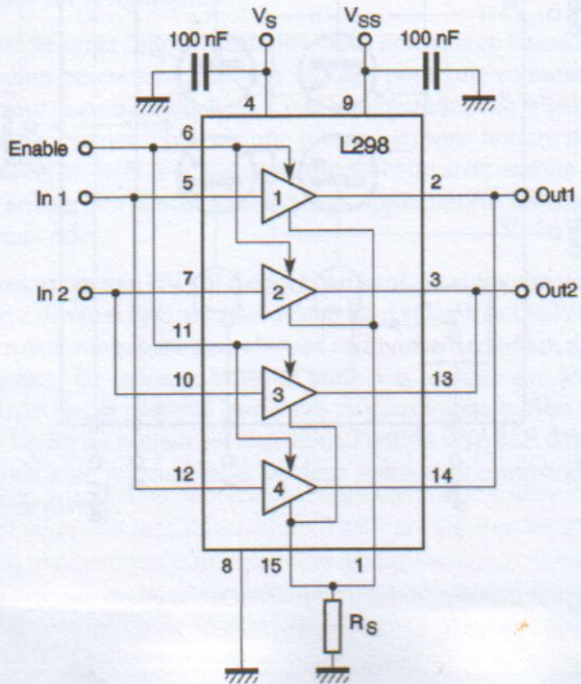
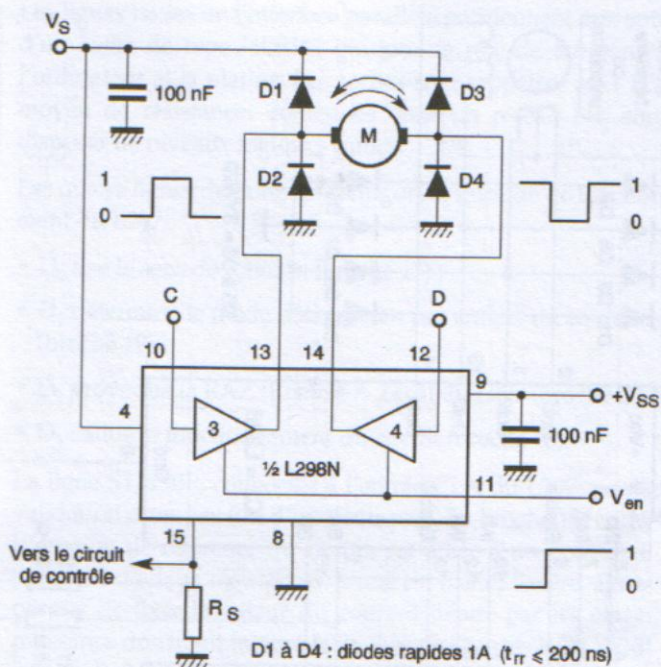


Figure 3.29.  
Mise en parallèle  
des sorties  
du circuit L298.



Entrées		Fonction
$V_{en} = H$	C = H ; D = L	Tourne vers la droite
	C = L ; D = H	Tourne vers la gauche
	C = D	Arrêt rapide du moteur
$V_{en} = L$	C = X ; D = C	Roue libre Arrêt du moteur

L = faible    H = élevé    X = sans importance

Figure 3.30.  
Commande  
d'un moteur  
à courant continu

## Platine de commande pour moteur pas-à-pas de puissance

### Le schéma de principe

Le schéma de principe de notre réalisation est donné en figure 3.31. La platine est commandée par la sortie parallèle d'un ordinateur PC sur laquelle seront utilisés les bits de données  $D_0$  à  $D_3$  pour le paramétrage du fonctionnement ainsi que la ligne STROBE qui fournira les impulsions de CLOCK pour l'avance des pas. Signalons que le branchement d'une seconde platine a été prévu sur le circuit imprimé si l'on souhaite commander un second moteur. Dans ce cas, il suffira de réaliser un autre montage et de le connecter sur les sorties prévues.





Les lignes issues de l'interface parallèle parviennent aux entrées d'un *buffer* de type 74LS541 qui joue le rôle de tampon entre l'ordinateur et la platine. Les sorties sont rappelées au + 5 V au moyen de résistances contenues dans un réseau SIL afin de disposer de niveaux logiques francs.

Les quatre lignes de données configurent le mode de fonctionnement du L297 :

- D<sub>0</sub> fixe le sens de rotation (broche 17) ;
- D<sub>1</sub> détermine le mode d'avance en pas entiers ou en demi-pas (broche 19) ;
- D<sub>2</sub> provoque la RAZ (Remise À Zéro) du L297 (broche 20) ;
- D<sub>3</sub> valide le fonctionnement du circuit (broche 10).

La ligne STROBE, connectée à l'entrée CLK du L297, permet la validation d'un pas (ou d'un demi-pas). La broche 15, entrée de la tension de référence du circuit, est reliée à un pont diviseur constitué de deux résistances. L'une est fixe et l'autre, ajustable, permet de fixer la valeur du courant débité par les étages de puissance du circuit intégré L298. Les résistances R<sub>1</sub> et R<sub>2</sub>, d'une valeur de 0,5 Ω, mesurent ce courant et les entrées SA et SB du L297 sont les entrées de mesure.

Une diode munie de sa résistance de limitation de courant est branchée sur la sortie HOME. Par son illumination, elle indique le moment où un cycle de rotation a été accompli.

La broche MODE peut être, au moyen d'un inverseur, connectée soit au + 5 V, soit à la masse. Ce niveau logique détermine le mode de fonctionnement des sorties (voir plus haut dans la description du L297). L'oscillateur, de même, peut être réglé au moyen de la résistance ajustable R<sub>5</sub>.

Les sorties de commande du circuit intégré sont reliées aux entrées du circuit suivant, le L298. Les broches INHA et INHB le sont également. Leur fonction a été expliquée auparavant dans le paragraphe traitant les fonctions de ces deux circuits.

Les sorties des étages de puissance du L298 sont directement connectées aux bobinages du moteur pas-à-pas. Quatre paires de diodes protègent les transistors des ponts de puissance. Ces diodes seront de préférence de type rapide, mais des diodes normales de type BY251 pourront également convenir, le coût de ces dernières étant nettement inférieur.

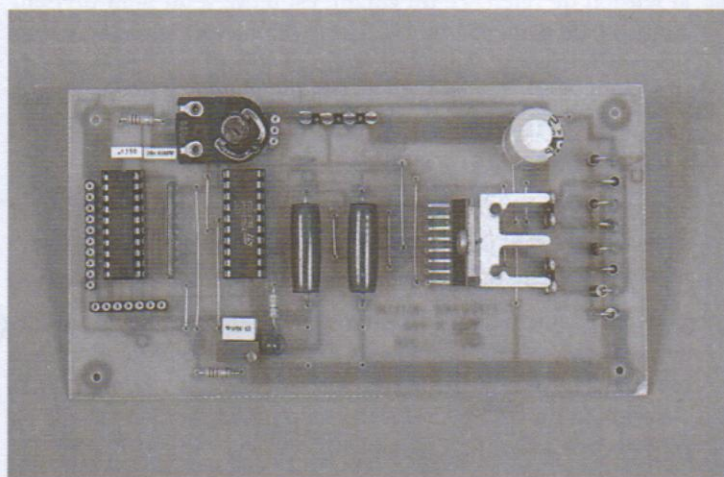
Le montage devra être alimenté par deux tensions distinctes : le + 5 V pour toute la logique et le + VCC moteur qui sera choisi en fonction de celui-ci. Cette tension pourra dépasser les + 40 V.



Il faut savoir que plus la tension appliquée au moteur sera élevée, plus le couple au démarrage sera puissant, mais plus le moteur dissipera de la chaleur. Il faudra donc trouver le juste milieu.

### La réalisation pratique

Le dessin du circuit imprimé est représenté en **figure 3.32** (p. 90). Le schéma de l'implantation des composants est donné en **figure 3.33** (p. 91). Comme à l'accoutumée, les straps seront soudés en premier lieu, puis viendra le tour des résistances et des composants plus petits. On implantera ensuite les supports des circuits intégrés  $IC_1$  et  $IC_3$ , tandis que  $IC_2$  sera soudé sur la platine. Il conviendra de le munir d'un dissipateur thermique pouvant être constitué par un morceau d'aluminium de dimensions convenables ou d'un dissipateur à ailettes. Les résistances  $R_1$  et  $R_2$  devront pouvoir dissiper au minimum une puissance de 3 W, la totalité du courant transitant par ces dernières.



Si l'on utilise des diodes de type BYW29, il faudra absolument munir leur semelle (une sur deux) d'un mica isolant collé, étant donné qu'elles sont accolées dos à dos. Si l'on utilise des BY251, elles seront soudées verticalement.

Les lignes issues de l'interface parallèle seront connectées à la platine au moyen de picots à souder. Le moteur sera relié à la platine au moyen de deux borniers à vis à deux points. L'alimentation externe utilisera un bornier à vis à quatre points.

Avant de passer aux essais, on procédera à une vérification du câblage : soudures, courts-circuits, micro-coupures des pistes.

On placera ensuite les deux circuits intégrés dans leur support en respectant le sens.



### Les essais

Il conviendra tout d'abord d'entrer le programme suivant (essai3-3.txt) sous QBASIC ou QUICK BASIC :

```

REM*****
REM ***** Programme d'essai de la carte L297 - L298 *****
REM ***** Port parallèle LPT1 situé en H378 *****
REM *****
REM Configuration de la rotation en sens horaire et configuration
REM en pas entiers
REM RESET au niveau logique haut et ENABLE au niveau logique haut
OUT&H378, 12
REM Avance de 100 pas par validation de la ligne STROBE
FOR D=0 TO 100
OUT &H37A, 0
OUT &H37A,15
FOR T=0 TO 200
NEXT T
REM Temporisation en fonction de la vitesse de l'ordinateur
NEXT D

```

Le moteur devra effectuer une rotation de 100 pas dans le sens horaire puis s'arrêter. Il est évident que ce petit programme ne sert qu'à vérifier le bon fonctionnement de la platine et à indiquer les adresses du port parallèle. Un programme plus élaboré devra être écrit selon les besoins de chacun.

### 3.4 LE CIRCUIT DE COMMANDE MC3479 POUR MOTEUR BIPOLAIRE

Le circuit intégré MC3479C permet de contrôler des moteurs pas-à-pas consommant un courant maximum de 350 mA par enroulement, ce qui le limitera à l'utilisation de moteurs de puissance relativement faible. On le consacrera donc à des applications mécaniques ne nécessitant pas un couple élevé, ou bien il sera nécessaire d'utiliser une forte démultiplication. Mais dans ce cas, la vitesse de rotation des organes en mouvement sera considérablement réduite.

#### Présentation et brochage

Son schéma interne est donné en **figure 3.34** (p. 92). On y remarque les portes d'entrées de commande, la logique interne et les *drivers* de puissance. Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- tension d'alimentation simple, de + 7,2 V à + 16 V ;
- courant débité de 350 mA par enroulement ;
- diodes de protection intégrées ;



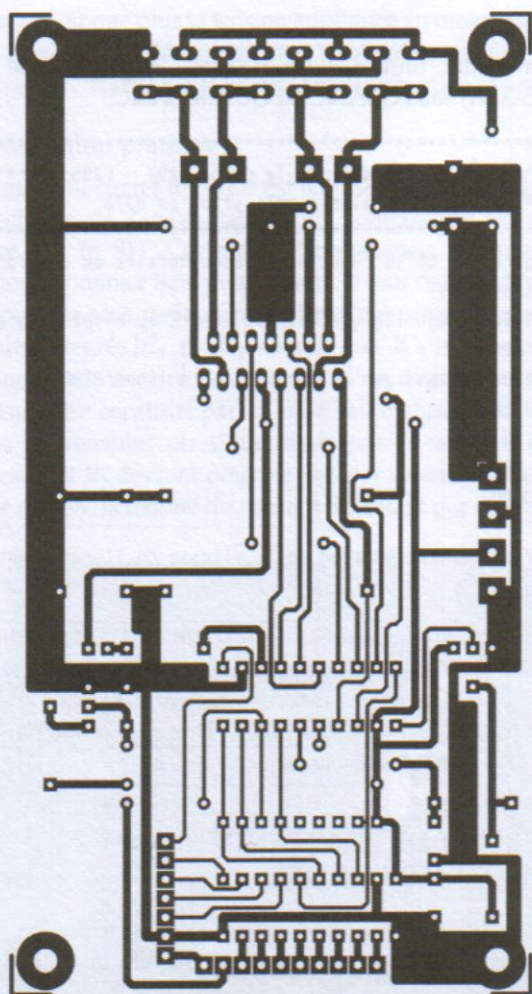


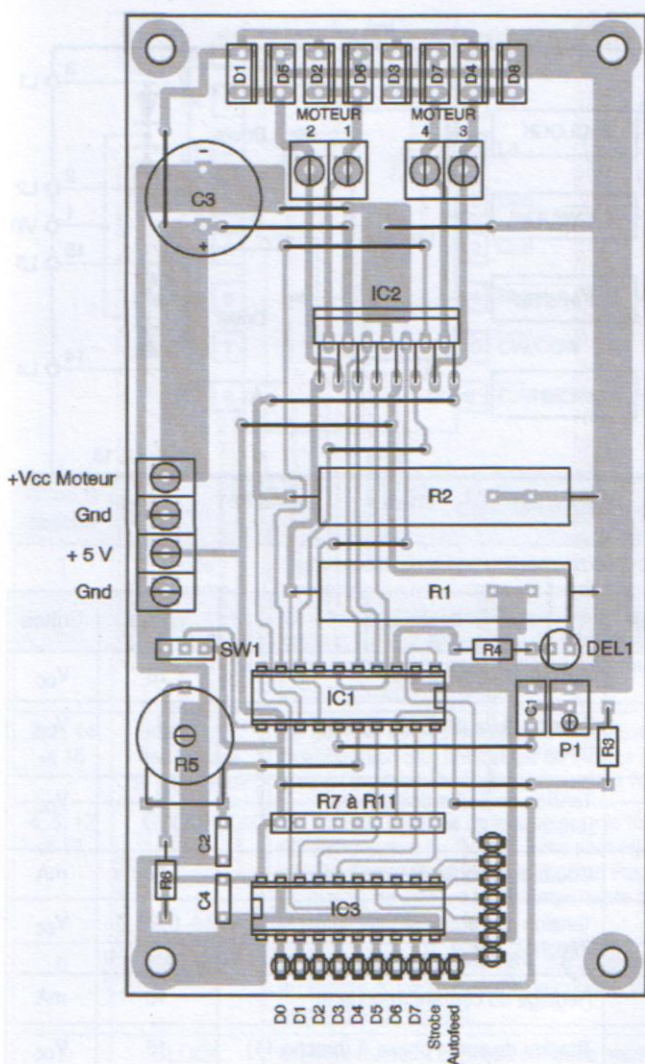
Figure 3.32.  
Tracé du  
circuit imprimé.

- sens de rotation programmable ;
- fonctionnement en mode pas entier ou en mode demi-pas ;
- possibilité de positionner les sorties en état de haute impédance (en mode demi-pas).

Le **tableau 3.8** donne les caractéristiques maximales à ne pas dépasser.

Le brochage du MC3479 est donné en **figure 3.35** (p. 93).

Nous donnons dans le **tableau 3.9** (p. 93) la fonction de chacune des broches du circuit, ce qui permettra une meilleure compréhension de son utilisation.



Liste des composants

**Résistances**

- R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> : 0,5 Ω (ou 0,47 Ω) 3 W
- R<sub>3</sub> : 22 kΩ
- R<sub>4</sub> : 330 Ω
- R<sub>5</sub> : résistance ajustable 220 kΩ
- R<sub>6</sub> : 10 kΩ
- R<sub>7</sub> à R<sub>11</sub> : réseau de résistances 10 kΩ à 33 kΩ
- P<sub>1</sub> : résistance ajustable multitours 20 kΩ

**Condensateurs**

- C<sub>1</sub> : 1 μF
- C<sub>2</sub> : 10 nF
- C<sub>3</sub> : 470 μF 50 V
- C<sub>4</sub> : 100 nF

**Semi-conducteurs**

- D<sub>1</sub> à D<sub>8</sub> : BYW29 ou BY251
- DEL<sub>1</sub> : diode Led rouge

**Circuits intégrés**

- IC<sub>1</sub> : L297
- IC<sub>2</sub> : L298
- IC<sub>3</sub> : 74LS541 ou 74HCT541

**Divers**

- 1 dissipateur thermique (L298)
- 2 supports pour IC
- 20 broches
- 2 borniers à vis à 2 points
- 1 bornier à vis à 4 points
- 17 picots à souder

Figure 3.33.  
Implantation des composants.

**Les schémas de principe**

Nous avons décidé, pour cette application du MC3479, de réaliser un petit mobile qui pourra être commandé par le port parallèle d'un ordinateur de type PC.

**La commande des moteurs**

Le premier des schémas que nous allons étudier est la commande proprement dite des moteurs nécessaires à la construction du mobile. Deux circuits intégrés de type MC3479 sont nécessaires, ainsi qu'un double monostable 74LS123 dont nous verrons l'utilité plus loin. Les deux schémas étant évidemment identiques, nous



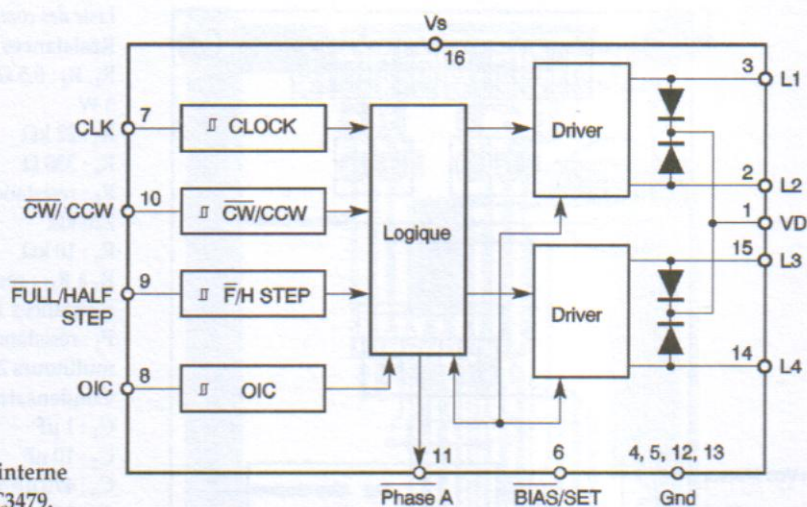


Figure 3.34.  
Constitution interne  
du circuit MC3479.

Tableau 3.8.  
Caractéristiques  
électriques  
maximales.

Symbole	Paramètre	Valeur	Unités
$V_S$	Tension d'alimentation	16	$V_{DC}$
$V_D$	Tension de la diode de CLAMP (broche 1)	$V_S$	$V_{DC}$
$V_{OD}$	Tension de sortie des <i>drivers</i> (broches 2, 3, 14, 15)	$V_S$	$V_{DC}$
$I_{OD-}$	Courant de sortie des <i>drivers</i>	$\pm 500$	mA
$V_{IN}$	Tension des entrées (broches 7, 8, 9, 10)	-0,5 à 7	$V_{DC}$
$I_{BS}$	Réglage du courant (broche 6)	10	mA
$V_{OA}$	Tension de sortie phase A (broche 11)	16	$V_{DC}$
$I_{OA}$	Courant de sortie phase A (broche 11)	20	mA
$T_j$	Température de jonction	150	$^{\circ}C$
$T_{stg}$	Température de stockage	-55 à 150	$^{\circ}C$

n'en détaillerons qu'un. Voyons celui représenté dans la partie haute de la figure 3.37 (pp. 95-96).

La configuration de IC<sub>2</sub> (MC3479) est tout à fait classique. Une seule de ses broches n'est pas utilisée : l'entrée OIC (*Out Impedance Control*, broche 8) qui est portée au + VCC au moyen d'une résistance d'une valeur de 10 kΩ.

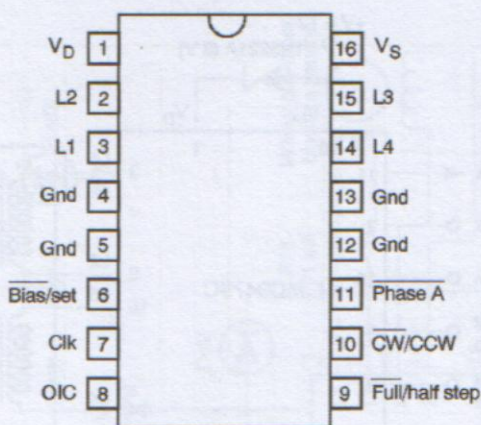


Figure 3.35.  
Brochage  
du circuit MC3479.

Tableau 3.9.  
Fonctions  
des broches  
du circuit  
MC3479.

N° de la broche	Nom	Caractéristiques
1	Diode de clamp	Cette broche peut être utilisée afin de protéger les sorties lorsque de hautes pointes de tension apparaissent lors de la commutation de l'alimentation des bobinages du moteur. Généralement, une diode peut être connectée entre cette broche et le + VCC. La figure 3.36 représente la configuration classique.
2, 3, 14 et 15	Sorties des drivers de puissance	Ce sont les sorties fournissant le courant nécessaire à l'alimentation des bobinages du moteur (L <sub>1</sub> et L <sub>2</sub> connectées à l'un des bobinages et L <sub>3</sub> et L <sub>4</sub> à l'autre bobinage).
4, 5, 12 et 13,	GROUND	Ce sont les broches de masse pour la logique interne et l'alimentation du moteur. Elles sont également utilisées afin de dissiper la chaleur du boîtier. Pour cela, un plan de masse de surface assez importante devra exister sur le circuit imprimé.
6	BIAS/SET	Cette entrée permet de fixer, par sa mise à la masse au moyen d'une résistance, le courant traversant les bobinages du moteur.
7	CLOCK	Un front montant appliqué sur cette entrée fait effectuer un pas au moteur. Cette entrée est inactive si la broche 6 est laissée en l'air.
8	OUT IMPEDANCE CONTROL	Cette broche est utilisable uniquement si le mode demi-pas a été sélectionné (potentiel supérieur à + 2 V sur la broche 9). Lorsqu'elle est portée à un niveau bas, les deux drivers se trouvent en état de haute impédance.
9	FULL/HALF STEP	Portée à un niveau bas, chaque impulsion d'horloge provoque l'avance d'un pas du moteur. Portée à un niveau haut, l'avance ne se fera que d'un demi-pas.
10	CLOCKWISE/COUNTER-CLOCKWISE	Cette entrée permet d'inverser le sens de rotation du moteur.
11	PHASE A	Cette sortie, à l'état bas, indique que les sorties sont dans leur état d'origine.



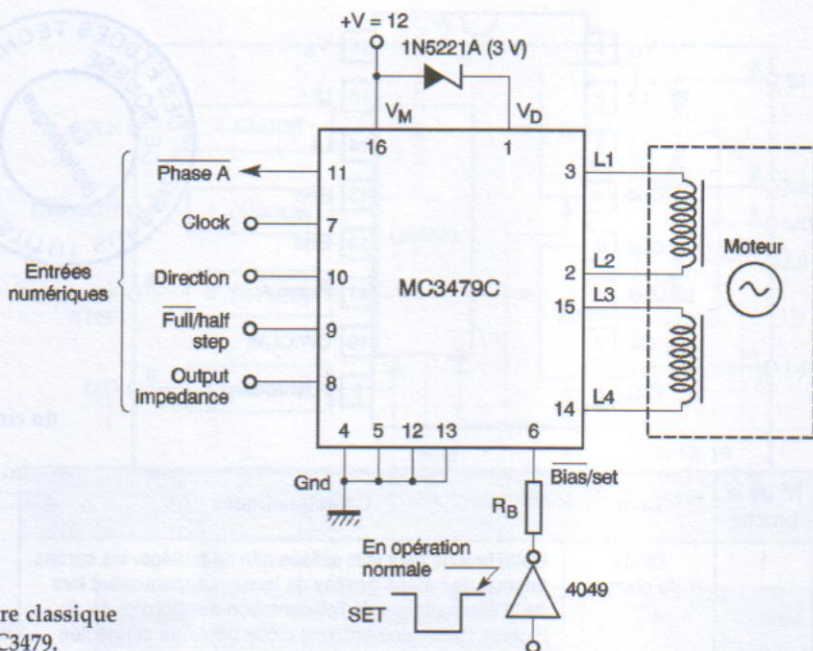


Figure 3.36.  
Mise en œuvre classique  
du circuit MC3479.

L'entrée d'avance des pas (CLOCK) est activée par la ligne AUTOFEED de l'interface parallèle, tandis que les entrées CW/CCW (sens de rotation) et F/H (pas entier ou demi-pas) sont commandées par les lignes de données  $D_3$  et  $D_2$ . Une diode Led est connectée à la sortie 11 (PHASE A) afin de signaler le passage de l'axe du moteur par sa position d'origine.

Nous avons signalé au début de cet ouvrage que pour maintenir un moteur pas-à-pas à l'état bloqué dans sa position d'arrivée, il n'était pas nécessaire de lui fournir le courant maximum sous peine d'obtenir un échauffement excessif de ses bobinages. Nous avons donc imaginé le petit circuit centré autour du monostable redéclenchable 74LS123. Ce type de circuit possède deux sorties complémentaires Q et  $\bar{Q}$ , ainsi que deux entrées permettant de déclencher le changement d'état des sorties, soit sur un flanc montant, soit sur un flanc descendant. C'est l'entrée A qui a été choisie, tandis que la sortie Q commande un transistor permettant de connecter, en parallèle sur la résistance de 150 k $\Omega$  (connectant l'entrée BIAS/SET à la masse), une autre résistance d'une valeur de 56 k $\Omega$ .

Le fonctionnement du système est donc le suivant : lorsqu'aucune impulsion de CLOCK issue de la ligne AUTOFEED ne parvient à l'entrée A du monostable, le transistor est bloqué et seule la résistance de 150 k $\Omega$  est connectée à l'entrée 6 du MC3479. Le courant

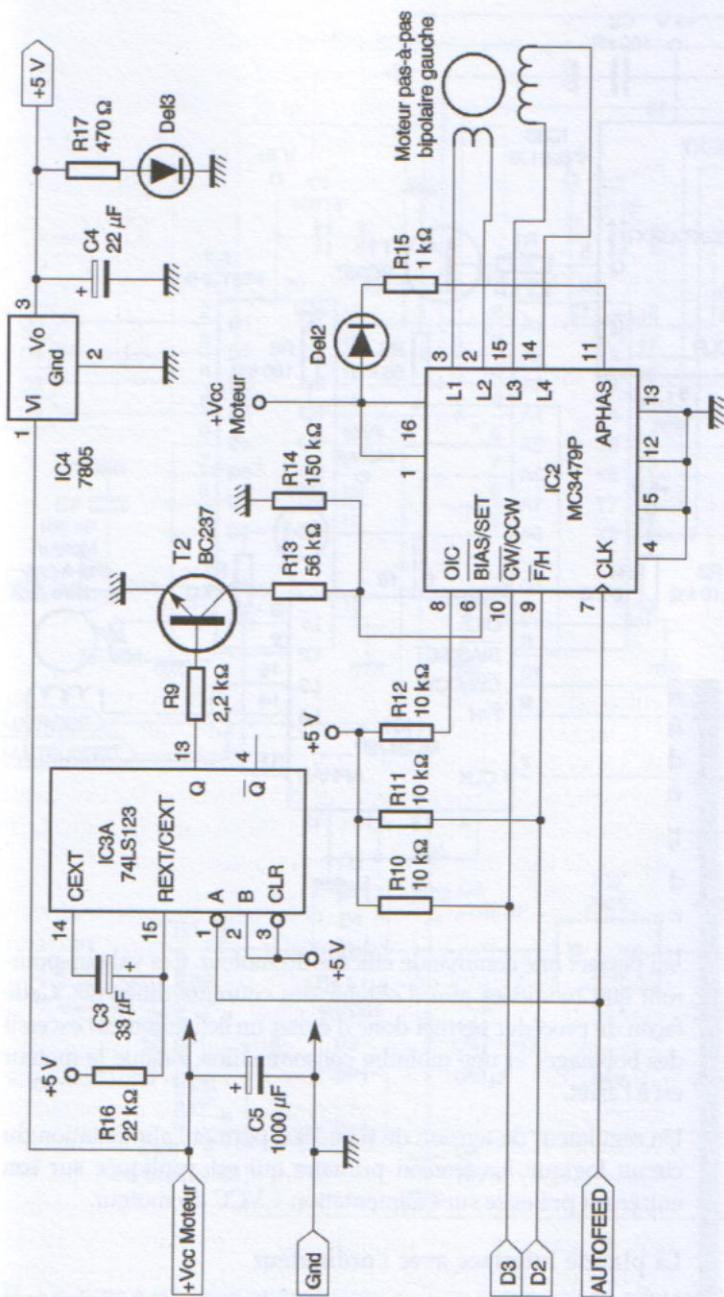


Figure 3.37a.  
Schéma de principe  
des moteurs.

traversant les bobinages du moteur est donc limité à une valeur minimale (environ 80 mA). Par contre, dès que des signaux de CLOCK déclenchent le monostable, la seconde résistance est mise en parallèle et le courant devient plus élevé (environ 250 mA), ce



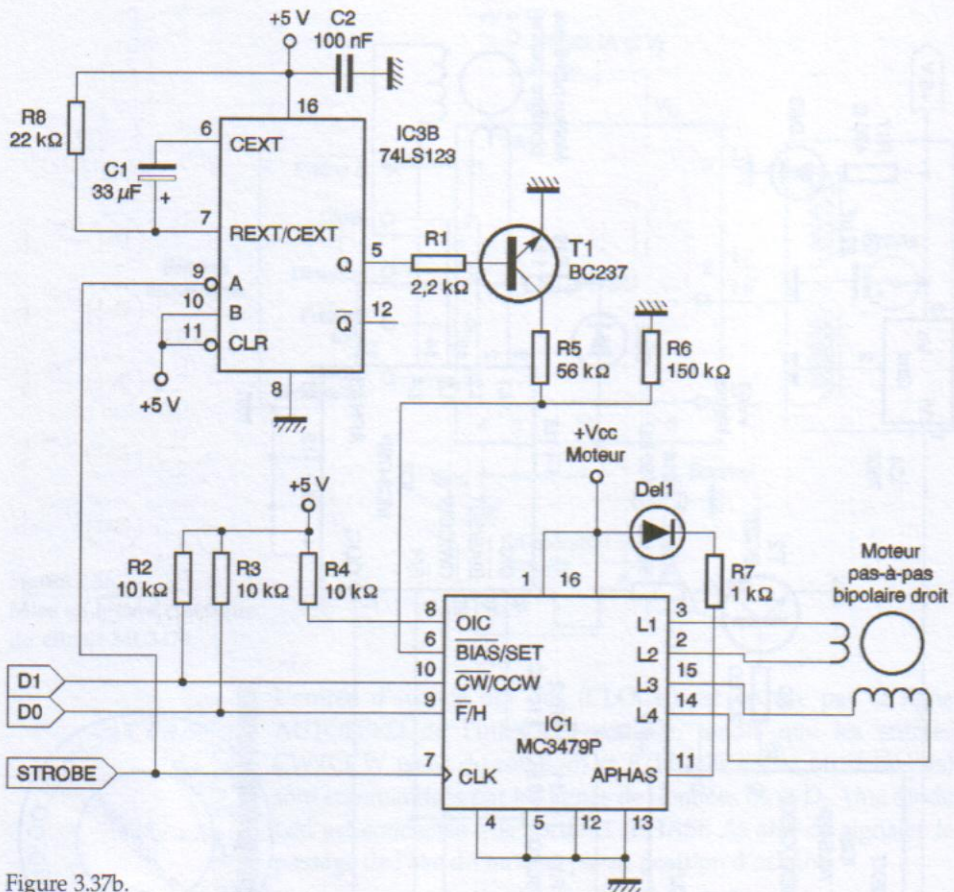


Figure 3.37b.  
Schéma de principe  
de commande  
des moteurs.

qui permet une commande efficace du moteur. Ces valeurs pourront être modifiées afin d'obtenir des courants différents. Cette façon de procéder permet donc d'éviter un échauffement excessif des bobinages et une moindre consommation lorsque le moteur est à l'arrêt.

Un régulateur de tension de type 7805 permet l'alimentation du circuit logique. La tension primaire qui est appliquée sur son entrée est prélevée sur l'alimentation + VCC du moteur.

### La platine interface avec l'ordinateur

Le second schéma de principe, représenté en figure 3.38, donne la représentation théorique de l'interface nécessaire à la connexion de la platine de commande des moteurs au port parallèle de l'ordinateur. Cette interface supporte également l'alimentation générale.

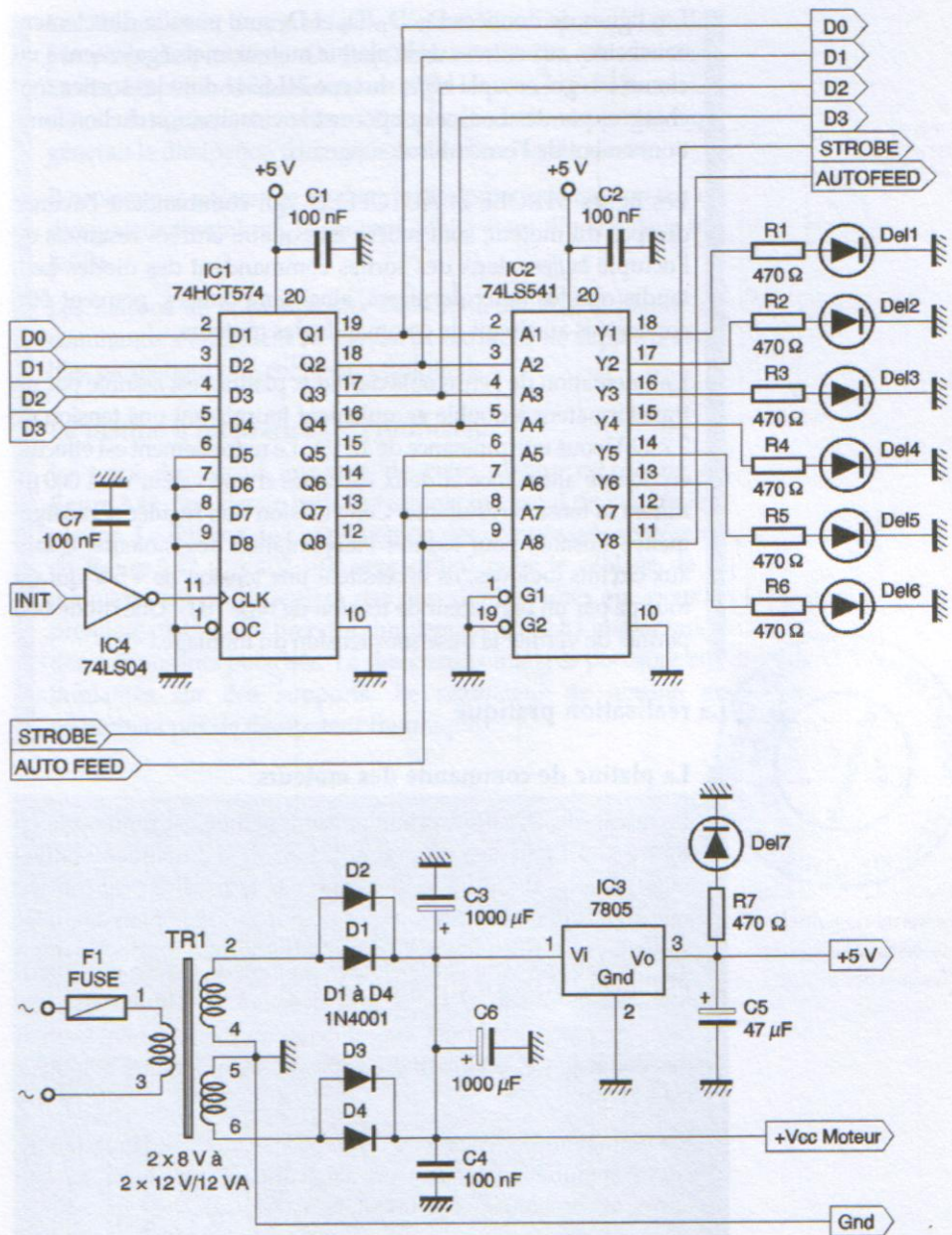


Figure 3.38.  
Schéma de principe  
de l'interface PC.

Ce circuit est relativement simple. Il ne comporte en effet que deux circuits logiques. Le premier, IC<sub>1</sub>, une octuple bascule de type 74HCT574, permet de mémoriser le mot de commande qui fixe le sens de rotation et le mode d'avance en pas entiers ou en demi-pas. Cette mémorisation est assurée par une impulsion sur son entrée CLOCK provenant de la ligne INIT du port parallèle.



Les lignes de données  $D_0$ ,  $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$  sont ensuite directement connectées aux entrées de la platine moteur, mais également à un circuit intégré octuple *buffer* de type 74LS541 dont les sorties sont chargées par des Led, ce qui permet la visualisation du bon fonctionnement de l'ensemble des signaux.

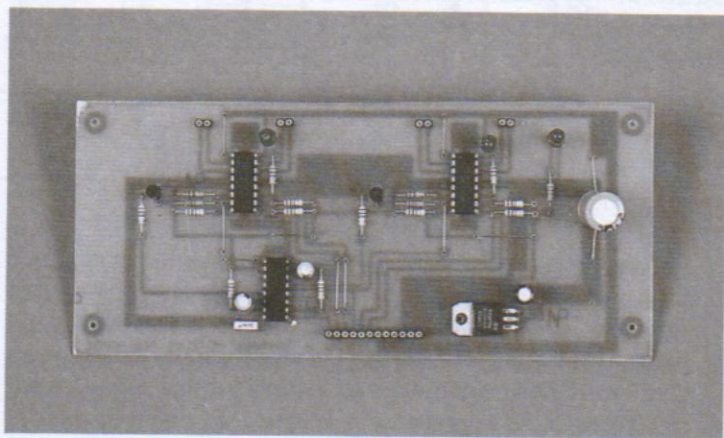
Les lignes STROBE et AUTOFEED, qui commandent l'avance des pas du moteur, sont reliées aux quatre entrées restantes de l'octuple *buffer* : deux des sorties commandent des diodes Led, tandis que les deux dernières, ainsi tamponnées, peuvent être connectées au circuit de commande des moteurs.

L'alimentation de l'ensemble des deux platines est assurée par un transformateur à double enroulement fournissant une tension de  $2 \times 12$  V sous une puissance de 12 VA. Le redressement est effectué en double alternance et deux capacités d'une valeur de  $1\,000\ \mu\text{F}$  filtrent la tension résultante. Cette tension non régulée sera largement suffisante pour assurer l'alimentation des moteurs. Quant aux circuits logiques, ils nécessitent une tension de  $+5$  V qui est fournie par un régulateur de tension de type 7805. Une diode Led permet de vérifier la mise sous tension du montage.

### La réalisation pratique

#### La platine de commande des moteurs

Le dessin du circuit imprimé de cette platine est représenté en **figure 3.39**. Étant dessiné en simple face, il est d'un tracé relativement simple. Il faudra veiller à ne pas le modifier, surtout au niveau des deux circuits intégrés de puissance, le plan de masse servant entre autres de refroidisseur thermique. Le dessin d'implantation est donné en **figure 3.40** (pp. 100-102).





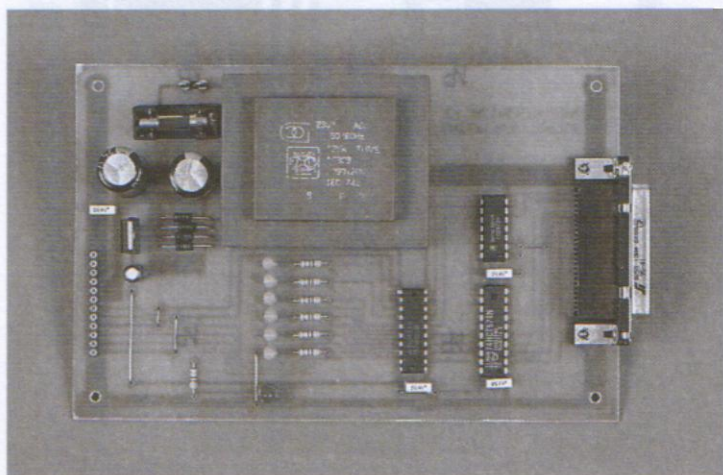
Le câblage, étant donné le faible nombre de composants, ne doit pas poser de problème. On implantera les straps, puis les résistances, les petits condensateurs et enfin les semi-conducteurs. Les circuits intégrés ne devront pas être placés sur des supports, ce qui gênerait la dissipation thermique par les broches de masse.

Il ne sera pas nécessaire de fixer le dissipateur de tension sur un dissipateur thermique, le courant débité étant d'une valeur très faible.

Les liaisons de la platine aux deux moteurs et à la platine de commande s'effectuent au moyen de barrettes de supports sécables permettant une connexion simplifiée.

### La platine d'interface avec l'ordinateur

Le tracé du circuit imprimé de cette platine est donné en **figure 3.41**. Son dessin est aussi simple que celui de la première platine. Le schéma de l'implantation des composants représenté en **figure 3.42** (pp. 102-103) sera utilisé pour le câblage de la maquette qui ne présentera pas plus de difficultés que pour la première platine. On prendra simplement garde à l'implantation des composants polarisés. Là, les circuits intégrés pourront être implantés sur des supports. Le régulateur de tension ne nécessitera pas de dissipateur thermique.



Un connecteur SUBD à 25 broches permet la liaison au port imprimante de l'ordinateur. Un morceau de barrette sécable assure la liaison à la platine de commande des moteurs au moyen d'un câble en nappe de dimension suffisante.



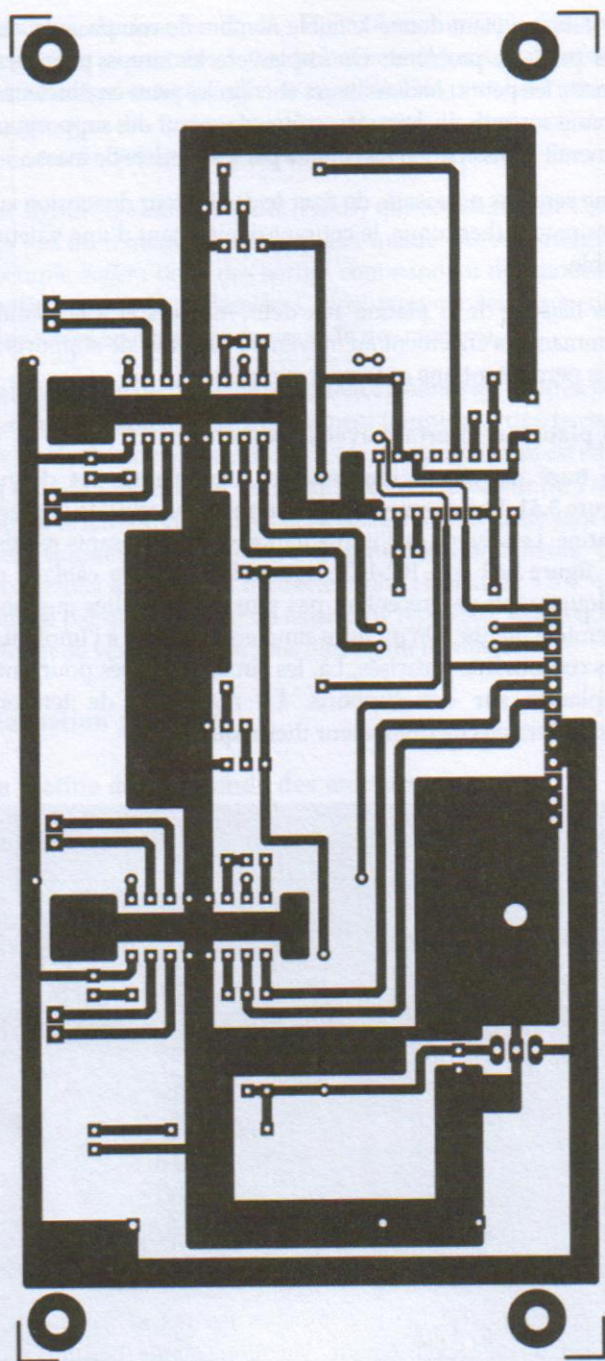
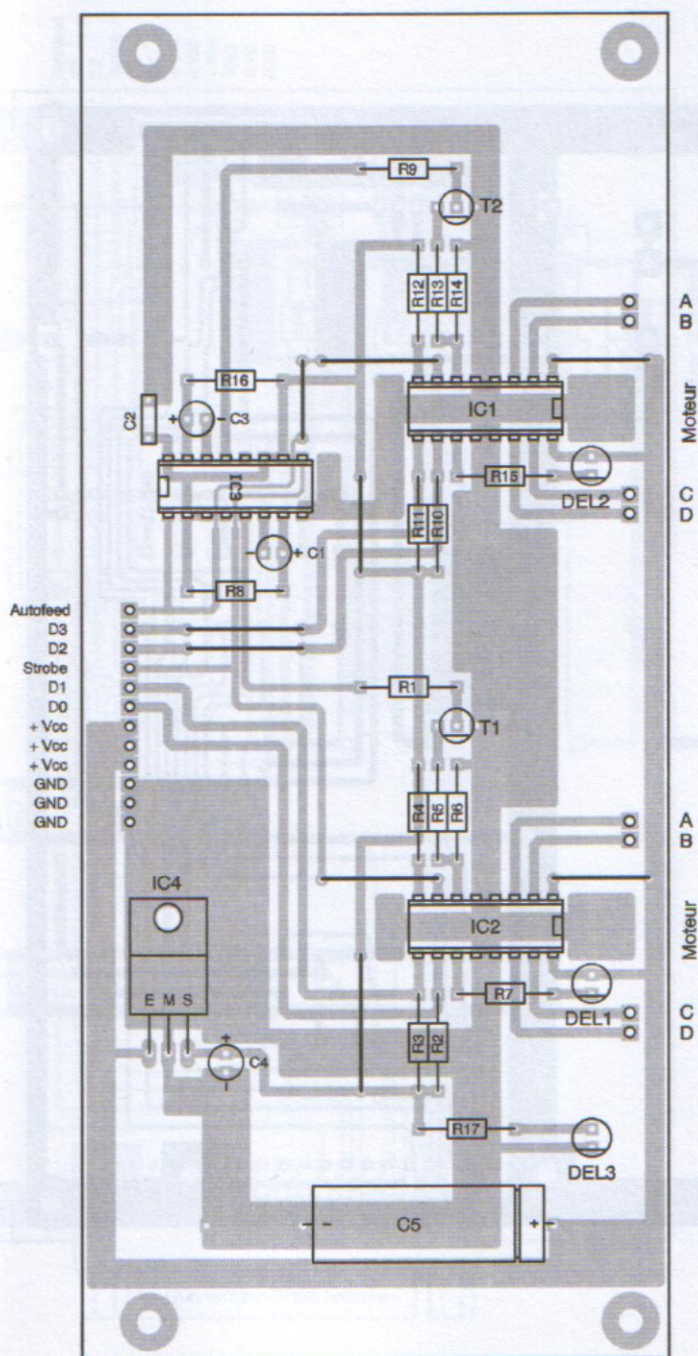


Figure 3.39.  
Tracé du  
circuit imprimé  
de la commande  
des moteurs.



Autofeed  
C3  
D2  
Strobe  
D1  
D0  
+ Vcc  
+ Vcc  
+ Vcc  
GND  
GND

Liste des composants

**Résistances**

- R<sub>1</sub>, R<sub>9</sub> : 2,2 kΩ
- R<sub>2</sub> à R<sub>4</sub>, R<sub>10</sub> à R<sub>12</sub> : 10 kΩ
- R<sub>5</sub>, R<sub>13</sub> : 56 kΩ
- R<sub>6</sub>, R<sub>14</sub> : 150 kΩ
- R<sub>7</sub>, R<sub>15</sub> : 1 kΩ
- R<sub>8</sub>, R<sub>16</sub> : 22 kΩ
- R<sub>17</sub> : 470 Ω

**Condensateurs**

- C<sub>1</sub>, C<sub>3</sub> : 33 μF 16 V
- C<sub>2</sub> : 100 nF
- C<sub>4</sub> : 22 μF 16 V
- C<sub>5</sub> : 1 000 μF 25 V

**Semi-conducteurs**

- T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> : BC237, BC547
- DEL<sub>1</sub> à DEL<sub>3</sub> : diodes Led rouges

**Circuits intégrés**

- IC<sub>1</sub>, IC<sub>2</sub> : MC3479
- IC<sub>3</sub> : 74LS123
- IC<sub>4</sub> : régulateur de tension 7805

**Divers**

- 1 support 16 broches pour IC
- 2 refroidisseurs pour boîtier DIL 16 broches
- 2 morceaux de barrettes de supports tulipe
- 12 points
- 1 morceau de câble en nappe 12 conducteurs (longueur selon utilisation)

A B  
Moteur  
C D  
A B  
Moteur  
C D

Figure 3.40.  
Implantation des composants de la commande des moteurs.



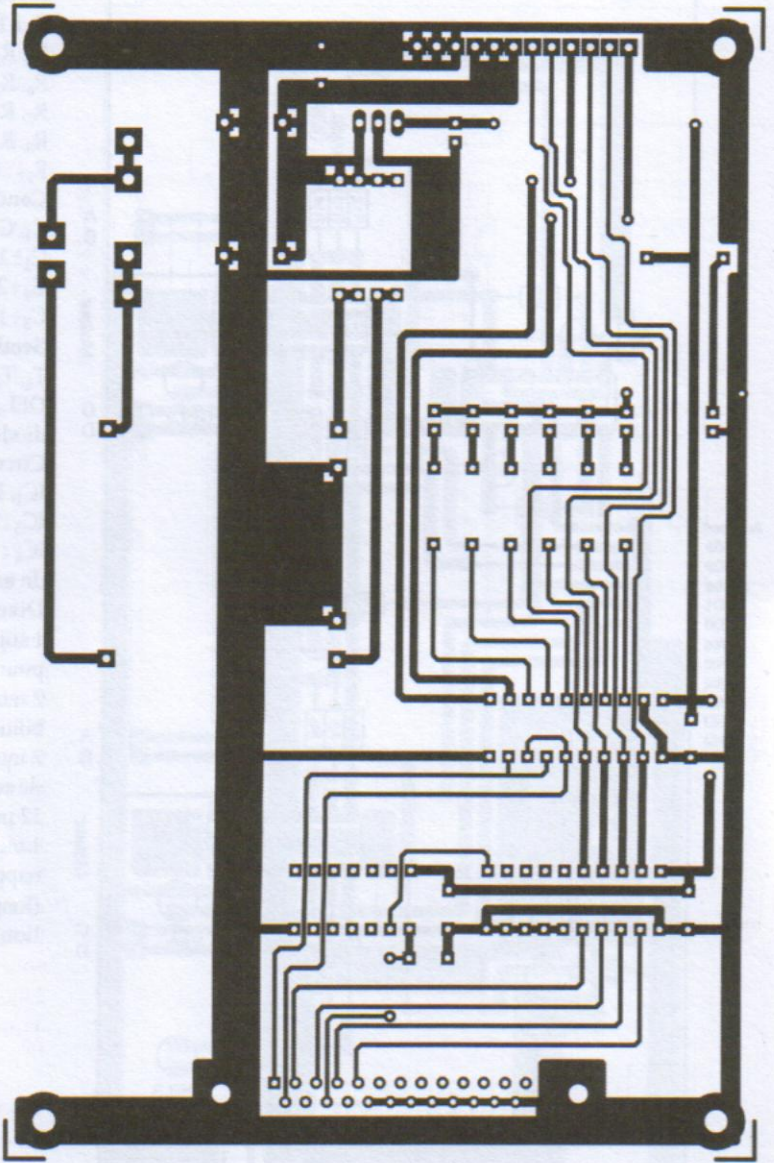
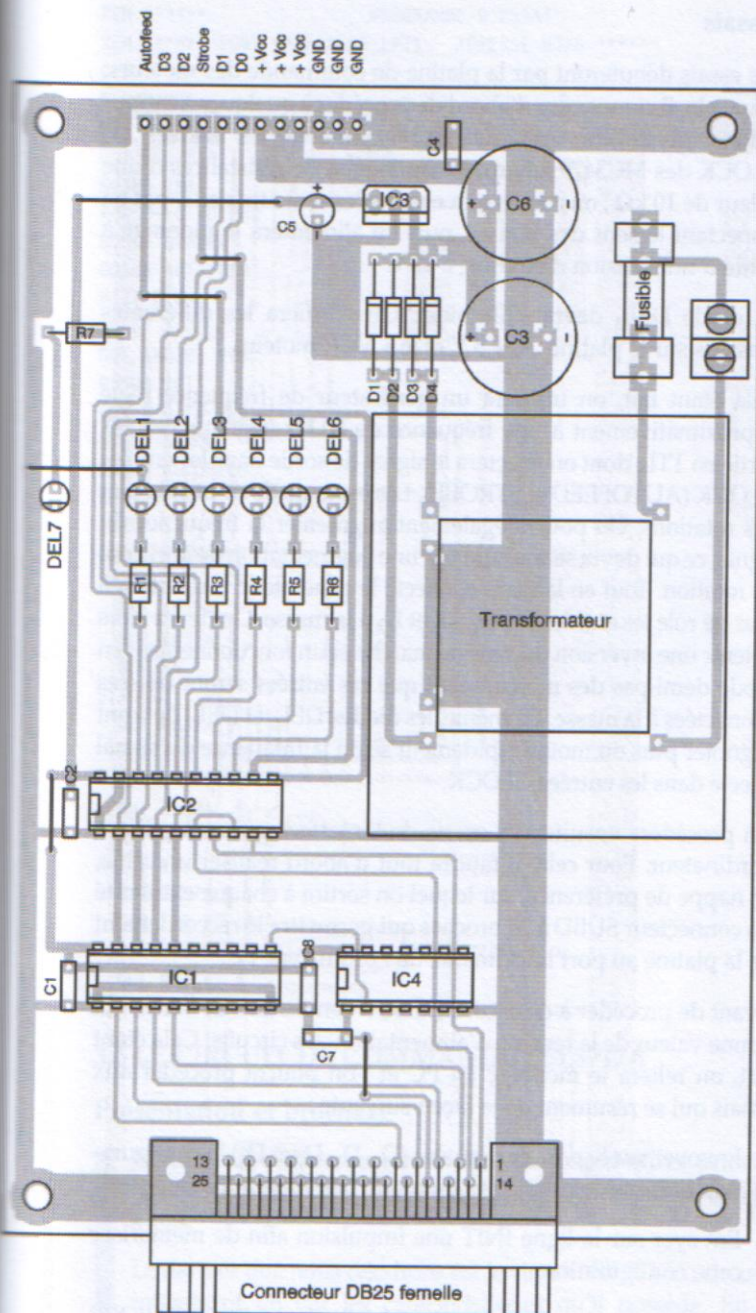


Figure 3.41.  
Tracé du  
circuit imprimé  
de l'interface PC.



Secteur 220 Volts

Liste des composants

**Résistances**

R<sub>1</sub> à R<sub>7</sub> : 470 Ω

**Condensateurs**

C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>, C<sub>7</sub>, C<sub>8</sub> : 100 nF

C<sub>3</sub>, C<sub>6</sub> : 1 000 μF 25 V

C<sub>5</sub> : 47 μF 16 V

**Semi-conducteurs**

D<sub>1</sub> à D<sub>4</sub> : 1N4001, ou

1XBY251 pour D<sub>1</sub>-D<sub>2</sub>

et 1XBY251 pour D<sub>3</sub>-D<sub>4</sub>

DEL<sub>1</sub> à DEL<sub>7</sub> : diodes électroluminescentes rouges

**Circuits intégrés**

IC<sub>1</sub> : 74HCT574

IC<sub>2</sub> : 74LS541

ou 74HCT541

IC<sub>3</sub> : régulateur de tension 7805

IC<sub>4</sub> : 74LS04

ou 74HCT04

**Divers**

1 connecteur SUBD 25 soudé à 90°

pour circuit imprimé

2 supports pour IC 20 broches

1 support pour IC 14 broches

1 transformateur

2 × 12 V 12 VA

1 porte-fusible

1 fusible rapide 100 mA

1 refroidisseur

pour boîtier TO220

2 morceaux de barrette de support marguerite 12 points

2 connecteurs SUBD 25 à sertir

1 morceau de câble en nappe (voir longueur selon utilisation)

Figure 3.42.  
Implantation des composants de l'interface PC.



## Les essais

Les essais débiteront par la platine de commande des moteurs. Pour cela, il conviendra d'abord de procéder à quelques manipulations : il faudra raccorder provisoirement les entrées de CLOCK des MC3479 à la masse au moyen de résistances d'une valeur de 10 k $\Omega$  ; on connectera ensuite les moteurs pas-à-pas en respectant le sens des phases, puis on alimentera le montage à l'aide d'une tension d'environ + 15 V.

La diode DEL<sub>3</sub> devra s'illuminer. On vérifiera les différentes tensions sur la platine : le + 5 V et le + VCC moteur.

Cela étant fait, on utilisera un générateur de fréquence réglé approximativement à une fréquence de 50 Hz (signaux carrés), sortie en TTL, dont on injectera le signal de sortie dans les entrées CLOCK (AUTOFEED et STROBE). Les moteurs devront effectuer des rotations. On pourra également augmenter la fréquence du signal, ce qui devra se traduire par une augmentation de la vitesse de rotation. Tout en laissant connecté le générateur, on portera à tour de rôle les entrées D<sub>0</sub>, D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> et D<sub>3</sub> à la masse. On devra alors obtenir une inversion du sens de marche et un fonctionnement en mode demi-pas des moteurs tant que ces entrées seront laissées connectées à la masse. De même, les diodes DEL<sub>1</sub> et DEL<sub>2</sub> devront clignoter plus ou moins rapidement selon la fréquence du signal injecté dans les entrées CLOCK.

On procédera ensuite aux essais de l'interface qui sera reliée à l'ordinateur. Pour cela, il faudra tout d'abord réaliser un câble, en nappe de préférence, sur lequel on sertira à chaque extrémité un connecteur SUBD à 25 broches qui permettra le raccordement de la platine au port imprimante de l'ordinateur PC.

Avant de procéder à cette connexion, il conviendra de vérifier la bonne valeur de la tension d'alimentation des circuits. Cela étant fait, on reliera le montage au PC et l'on pourra procéder aux essais qui se résument de la façon suivante :

1. Envoyer sur le port de données (D<sub>0</sub>, D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> et D<sub>3</sub>) la configuration du sens de rotation et du mode pas entier ou demi-pas.
2. Envoyer sur la ligne INIT une impulsion afin de mémoriser cette configuration.
3. Envoyer simultanément les impulsions sur les lignes STROBE et AUTOFEED afin d'obtenir la rotation des moteurs.

Le petit programme suivant (essai3-4.txt), écrit en QBASIC ou QUICK BASIC, donne un exemple simple de programmation de l'interface :



```

REM *****          PROGRAMME D'ESSAI          ****
REM ***** PORT PARALLELE LPT1 - ADRESSE H378 *****
CLS
PROGRAMME:
OUT &H37A,4
OUT &H37B,0
GOSUB INIT
FOR D= 0 TO 200
GOSUB STROBE
GOSUB AUTOFEED
NEXT D
SLEEP 1
OUT &H37B, 255
GOSUB INIT
FOR D=0 TO 200
GOSUB STROBE
GOSUB AUTOFEED
NEXT D
SLEEP 1
GOTO PROGRAMME
INIT:
  OUT &H37A,0
  OUT &H37A,4
  RETURN
STROBE:
  OUT &H37A,5
  FOR T=0 TO 50
  NEXT T
  OUT &H37A, 4
  RETURN
AUTOFEED:
  OUT &H37A,6
  FOR T=0 TO 50
  NEXT T
  OUT &H37A, 4

```

### 3.5 LE CIRCUIT DE COMMANDE PBL3717A

#### Présentation et brochage

Nous voici arrivés au terme de la description des principaux circuits intégrés spécialisés dans la commande des moteurs pas-à-pas.

Le dernier que nous décrivons est le circuit PBL3717A, circuit très intéressant de par les caractéristiques qu'il possède. En effet, certaines de ses fonctions n'existent pas dans les circuits que nous avons étudiés auparavant, fonctions qui en font un circuit très souple d'emploi et qui permettent d'utiliser toutes sortes de moteurs pas-à-pas bipolaires (jusqu'à une consommation maximale de 1 A). Il convient néanmoins de signaler qu'il est nécessaire



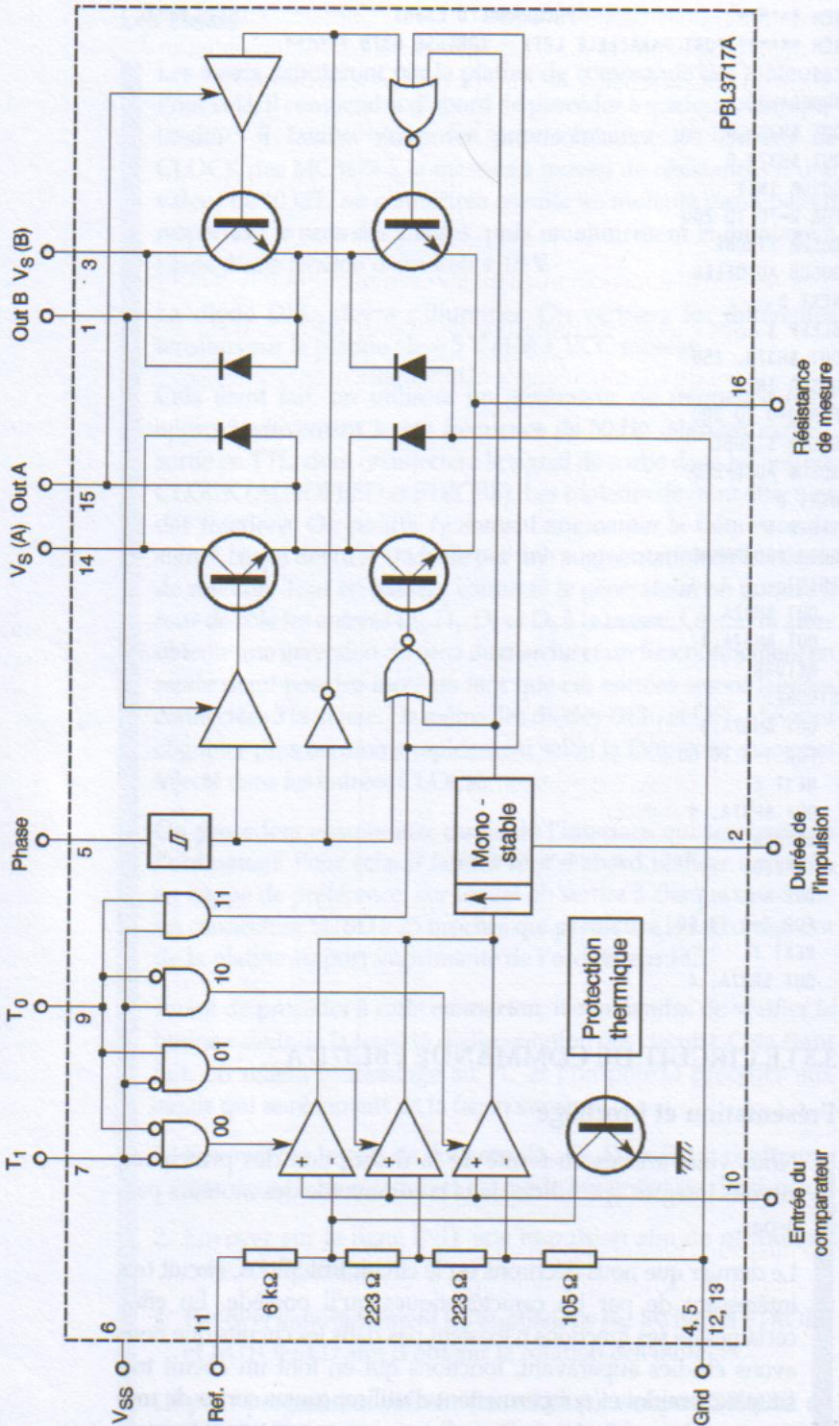


Figure 3.43.  
 Constitution interne  
 du circuit PBL3717A.

d'utiliser deux circuits intégrés PBL3717A afin de commander un moteur bipolaire, ce qui s'explique par la constitution interne du circuit dont le schéma de principe est donné en **figure 3.43**.

Il possède des caractéristiques très intéressantes telles que :

- fonctionnement en pas entier, demi-pas ou quart de pas ;
- courant de sortie supérieur à 1 A (1,2 A maximum) ;
- tension d'alimentation du moteur comprise entre 10 V et 46 V ;
- diodes internes de protection des transistors de sortie ;
- niveau du courant réglable extérieurement ;
- courant de sortie réglable de façon numérique ou analogique ;
- protection thermique.

Les caractéristiques électriques maximales à ne pas dépasser sont présentées dans le **tableau 3.10** et le brochage est donné en **figure 3.44**.

**Tableau 3.10.**  
Caractéristiques  
électriques  
maximales.

Symbole	Paramètre	Valeur	Unité
$V_S$	Tension d'alimentation (broches 14 et 3)	50	V
$V_{SS}$	Tension d'alimentation logique (broche 6)	7	V
$V_i$	Tension d'entrées logiques (broches 7, 8 et 9)	6	V
$V_c$	Tension d'entrée comparateur (broche 10)	$V_{SS}$	
$V_r$	Tension de référence (broche 11)	15	V
$I_o$	Courant de sortie	1,2	A
$T_{stg}$	Température de stockage	- 55 à + 150	°C
$T_j$	Température de jonction en fonctionnement	150	°C

Bien sûr, chacune des broches du PBL3717A possède une fonction bien définie que nous allons expliquer, comme pour les circuits intégrés précédents, de la façon la plus détaillée possible dans le **tableau 3.11**.

Le schéma donné en **figure 3.45** (p. 110) représente la configuration type la plus simple. Il est à remarquer que la broche 11, entrée de la tension de référence, est connectée au + 5 V. Cependant, elle



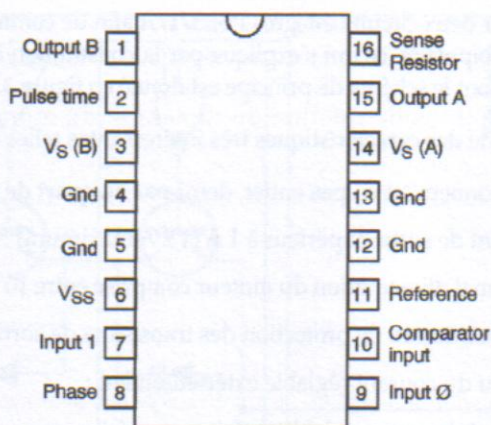


Figure 3.44.  
Brochage du  
circuit PBL3717A.

Tableau 3.11.  
Fonctions  
des broches  
du circuit  
PBL3717A.

N° de la broche	Nom	Caractéristiques																		
1	OUTPUT B	C'est l'une des deux sorties à laquelle sera connectée l'une des extrémités de l'un des bobinages du moteur. Cette sortie est reliée au pont de puissance (en H) composé de quatre transistors et de quatre diodes de protection.																		
2	PULSE TIME	Un réseau RC connecté à cette broche permet de régler le temps de mise hors fonction de la paire de transistors inférieure de l'étage de puissance. Le générateur d'impulsions est un monostable déclenché par le front montant du signal issu de la sortie des comparateurs ( $t_{off} = 0,69R_1C_1$ ).																		
3	SUPPLY VOLTAGE B	Entrée de la tension d'alimentation pour la moitié de l'étage de sortie.																		
4	GROUND	Broche de connexion du circuit à la masse. Cette dernière, connectée également aux broches 5, 12 et 13 permet la dissipation de la chaleur du boîtier.																		
5	GROUND																			
6	LOGIC SUPPLY	Broche d'alimentation + 5 V de la logique interne du circuit.																		
7	INPUT 1	Cette broche ainsi que l'entrée 9 (INPUT 0) sont les entrées logiques qui permettent de sélectionner les sorties des trois comparateurs afin de régler le niveau du courant alimentant les bobinages du moteur. Ce courant dépend également de la valeur de la résistance de mesure et de la tension de référence. Le tableau ci-dessous indique la valeur du courant en fonction de l'état logique de chacune des deux entrées.																		
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>INPUT 0</th> <th>INPUT 1</th> <th>Valeur du courant</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Broche 9</td> <td>Broche 7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>H</td> <td>Courant nul</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>H</td> <td>Courant faible</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>L</td> <td>Courant moyen</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>L</td> <td>Courant fort</td> </tr> </tbody> </table>	INPUT 0	INPUT 1	Valeur du courant	Broche 9	Broche 7		H	H	Courant nul	L	H	Courant faible	H	L	Courant moyen	L	L	Courant fort
		INPUT 0	INPUT 1	Valeur du courant																
		Broche 9	Broche 7																	
		H	H	Courant nul																
		L	H	Courant faible																
H	L	Courant moyen																		
L	L	Courant fort																		



peut également être reliée à une tension réglable afin de pouvoir ajuster le courant de sortie à une valeur quelconque.

### Contrôle du sens de rotation du moteur et du mode pas

Ainsi que nous l'avons vu plus haut, les entrées logiques  $I_0$  et  $I_1$  permettent de fixer la valeur du courant traversant les bobinages du moteur. Un niveau haut appliqué sur l'entrée PHASE détermine le sens du courant qui circule alors de la sortie A vers la sortie B. Un niveau bas appliqué sur cette même entrée provoque la circulation du courant en sens inverse.

Le PBL3717A permet la rotation du moteur pas-à-pas qui lui est connecté selon trois modes : le mode pas entier, le mode demi-pas et le mode quart de pas. Ce sont les séquences envoyées aux entrées PHASE A et PHASE B qui déterminent le mode de rotation. Le diagramme représenté en figure 3.46 donne les différentes séquences.

N° de la broche	Nom	Caractéristiques
8	PHASE	Entrée est de type TTL. Elle permet de définir le sens du courant circulant à travers les bobinages du moteur. Un niveau haut appliqué sur cette broche provoque le passage du courant de la sortie A vers la sortie B. Un trigger de Schmitt connecté à cette entrée permet d'obtenir une très bonne immunité au bruit.
9	INPUT 0	Voir broche 7
10	COMPARATOR INPUT	Entrée connectée aux trois comparateurs. La tension recueillie aux bornes de la résistance de mesure est appliquée sur cette entrée au moyen d'un filtre RC. Lorsque cette tension excède la tension de référence du comparateur sélectionné, la paire inférieure des transistors de l'étage de puissance est mise hors service. Lorsque ce cas se produit, le courant décroît pour une durée fixée par la formule : $t_{off} = 0,69 R_T C_T$
11	REFERENCE	Une tension injectée dans cette entrée règle la tension de référence des trois comparateurs. Cela détermine le courant de sortie (qui dépend également de la valeur de la résistance de mesure et de l'état logique des entrées INPUT 0 et INPUT 1).
12	GROUND	Voir broche 4.
13	GROUND	Voir broche 4.
14	SUPPLY VOLTAGE A	Entrée de la tension d'alimentation pour la moitié de l'étage de puissance (voir broche 3).
15	OUTPUT A	Seconde sortie à laquelle sera connectée l'autre extrémité du bobinage du moteur (voir broche 1).
16	SENSE RESISTOR	Broche connectée en interne aux émetteurs des transistors de sortie (paire inférieure) de l'étage de puissance. C'est à cette entrée que doit être connectée la résistance de mesure du courant traversant les bobinages du moteur.

Tableau 3.11.  
(suite)  
Fonctions des broches du circuit PBL3717A.



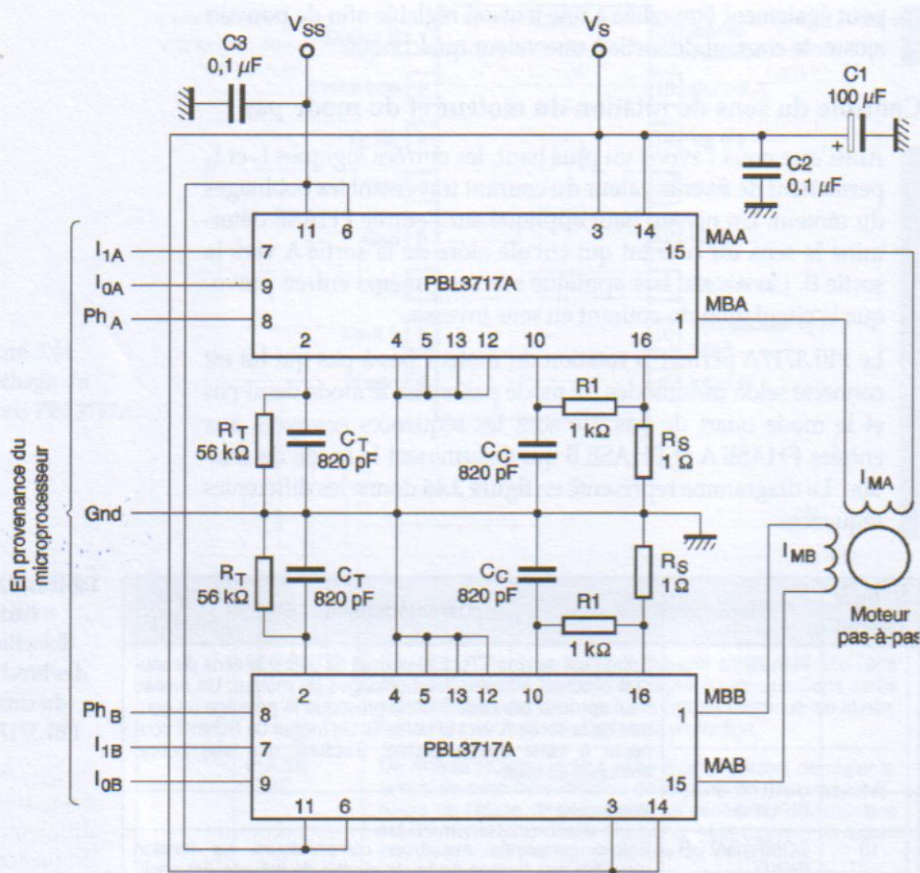


Figure 3.45.  
Configuration classique du circuit PBL3717A.

### Mode pas entier

Dans ce mode, les deux bobinages du moteur pas-à-pas sont constamment traversés par un même courant ( $I_{MA} = I_{MB}$ ). C'est dans ce mode que le couple du moteur est le plus élevé et c'est donc celui-ci que l'on choisira afin d'obtenir le maximum de puissance. Sur les entrées  $I_0$  et  $I_1$  seront appliqués les niveaux logiques permettant de fixer le courant en fonction du couple nécessaire.

Si l'on nomme A la phase alimentée dans un sens et A/ la phase alimentée dans le sens contraire (de même pour la phase B), alors la séquence d'envoi des pas est la suivante :

$$A B \rightarrow A/ B \rightarrow A/ B/ \rightarrow A B/ \rightarrow \text{etc.}$$

Pour obtenir la rotation du moteur dans le sens inverse, la séquence doit être inversée.

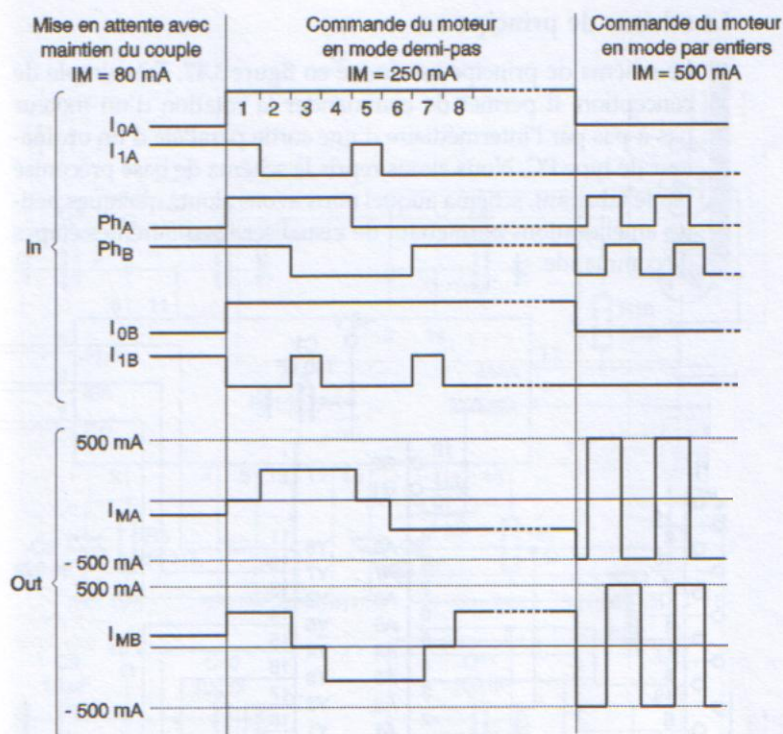


Figure 3.46.  
Les trois  
différentes  
séquences  
de commande.

### Mode demi-pas

Dans ce mode, le courant est envoyé alternativement dans un seul bobinage puis dans les deux. On comprend aisément que le couple du moteur ne sera pas constant et sera donc moins élevé lorsqu'une seule phase sera alimentée. La séquence pour le mode demi-pas est la suivante :

$A \rightarrow B \rightarrow A / B \rightarrow A / \rightarrow A / B / \rightarrow B / \rightarrow A B / \rightarrow A \rightarrow$  etc.

Lorsque l'une des phases ne devra pas être alimentée, il suffira d'appliquer un niveau logique haut sur les entrées  $I_0$  et  $I_1$ .

### Mode quart de pas

Lorsque l'on utilise ce mode commande, il est conseillé de sélectionner le courant le plus élevé (entrées  $I_0$  et  $I_1$  à l'état logique bas), sinon on risque d'obtenir un fonctionnement très irrégulier de l'avance des pas.

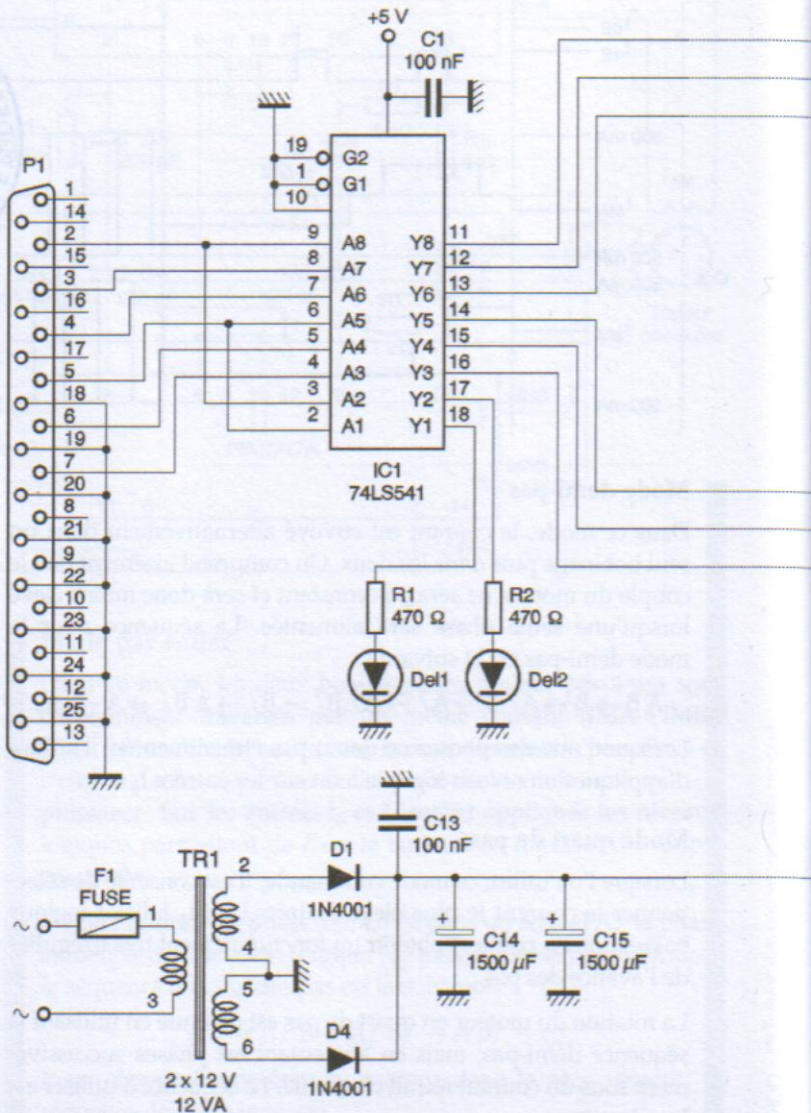
La rotation du moteur en quart de pas est obtenue en utilisant la séquence demi-pas, mais en alimentant les phases successivement sous un courant réduit de moitié. La séquence à utiliser est la suivante :

$A B \rightarrow A / 2 B \rightarrow B \rightarrow A / / 2 B \rightarrow A / B / 2 \rightarrow A / \rightarrow$  etc.



Le schéma de principe

Le schéma de principe est donné en **figure 3.47**. Très simple de conception, il permet de commander la rotation d'un moteur pas-à-pas par l'intermédiaire d'une sortie parallèle d'un ordinateur de type PC. Nous avons repris le schéma de base préconisé par le fabricant, schéma auquel nous avons ajouté quelques petites améliorations permettant de visualiser les différentes étapes de commande.



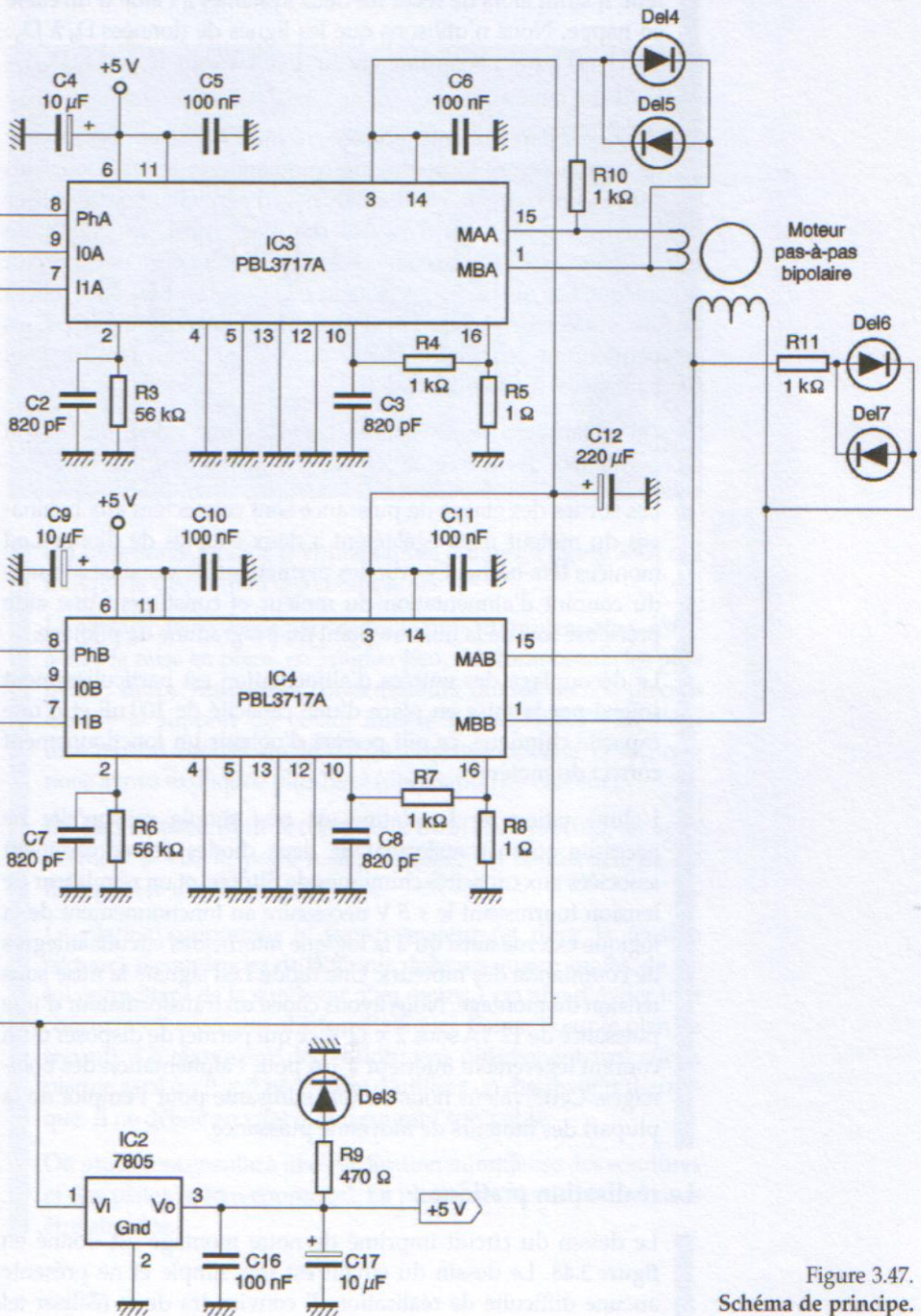


Figure 3.47.  
Schéma de principe.



Les signaux de données issus de l'interface parallèle du PC parviennent à la carte au moyen d'un connecteur SUBD à 25 broches reproduisant le câblage du connecteur de l'ordinateur. Il suffit alors de relier les deux systèmes à l'aide d'un câble en nappe. Nous n'utilisons que les lignes de données  $D_0$  à  $D_5$  :  $D_0$ ,  $D_1$  et  $D_2$  pour la commande du circuit intégré  $IC_3$  et  $D_3$ ,  $D_4$ ,  $D_5$  pour  $IC_4$ .

Ces lignes parviennent aux entrées d'un *buffer* à 8 entrées servant de tampon entre la platine de commande et le PC. Deux des sorties sont chargées par des diodes Led permettant de visualiser l'envoi des signaux d'avance des pas. Ainsi, les lignes de données  $D_0$  et  $D_3$  sont connectées à quatre des entrées du circuit intégré. Les quatre lignes restantes,  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_4$  et  $D_5$ , sont reliées aux entrées  $I_0A$ ,  $I_0B$  de  $IC_3$  et aux entrées  $I_0B$  et  $I_1B$  de  $IC_4$ . Elles permettront de régler la valeur du courant alimentant les deux bobinages du moteur pas-à-pas.

On remarquera les résistances  $R_5$  et  $R_8$  d'une valeur de  $1 \Omega$  qui permettent de mesurer le courant d'alimentation.

Les sorties des étages de puissance sont connectées aux bobinages du moteur mais également à deux couples de diodes Led montées tête-bêche. Ces diodes permettent de visualiser le sens du courant d'alimentation du moteur et constituent une aide précieuse lors de la mise au point du programme de pilotage.

Le découplage des entrées d'alimentation est particulièrement soigné par la mise en place d'une capacité de 100 nF et d'une capacité chimique, ce qui permet d'obtenir un fonctionnement correct du moteur.

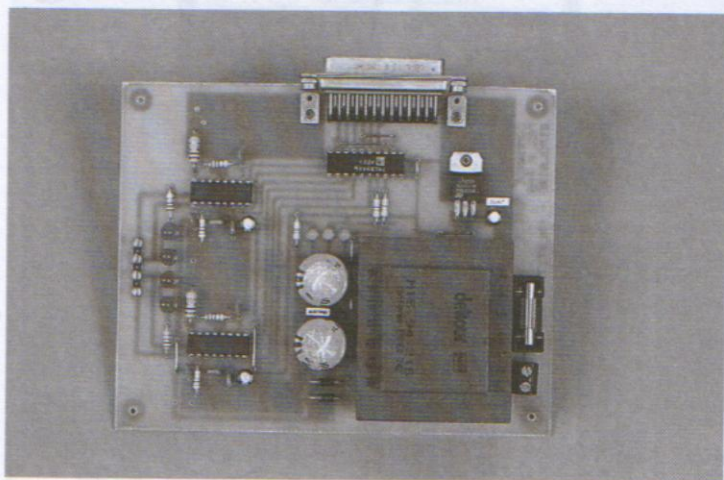
L'alimentation de la platine est très simple puisqu'elle ne nécessite qu'un transformateur, deux diodes de redressement associées aux capacités chimiques de filtrage, et un régulateur de tension fournissant le + 5 V nécessaire au fonctionnement de la logique externe ainsi qu'à la logique interne des circuits intégrés de commande des moteurs. Une diode Led signale la mise sous tension du montage. Nous avons choisi un transformateur d'une puissance de 12 VA sous  $2 \times 12$  V, ce qui permet de disposer d'un courant légèrement inférieur à 1 A pour l'alimentation des bobinages. Cette valeur nous semble suffisante pour l'emploi de la plupart des moteurs de moyenne puissance.

### La réalisation pratique

Le dessin du circuit imprimé de notre montage est donné en **figure 3.48**. Le dessin du circuit est très simple et ne présente aucune difficulté de réalisation. Il conviendra de le réaliser tel



que présenté car il a été conçu, surtout au niveau des circuits PBL3717A, pour dissiper la chaleur produite par les étages de puissance. On remarquera le large plan de masse dessiné à cet effet et connecté aux broches de masse.



On utilisera le schéma d'implantation, donné en figure 3.49, qui indique la disposition des composants.

Le câblage devra respecter l'ordre logique d'implantation, c'est-à-dire la mise en place, en premier lieu, des composants les plus petits : straps, résistances, condensateurs, diodes, etc. On placera ensuite le support du circuit intégré IC<sub>1</sub>, les PBL3717A étant directement soudés sur le circuit imprimé pour la raison que nous avons expliquée plus haut (dissipation de chaleur).

On implantera ensuite le connecteur SUBD à 25 broches, les deux borniers à vis, le porte-fusible équipé, les condensateurs de filtrage et le transformateur.

La platine supportant le transformateur (et donc la tension secteur), il conviendra de la munir, dans ses quatre angles, de vis lui permettant de la surélever d'au moins 1 cm afin d'éviter tout court-circuit (avec des objets métalliques traînants sur le plan de travail). Le régulateur de tension sera directement fixé sur la platine sans qu'il soit nécessaire d'utiliser un dissipateur thermique. Il ne débite en effet qu'un courant très faible.

On procédera ensuite à une vérification minutieuse des soudures et des pistes (micro-coupures). La phase des essais pourra alors être abordée.



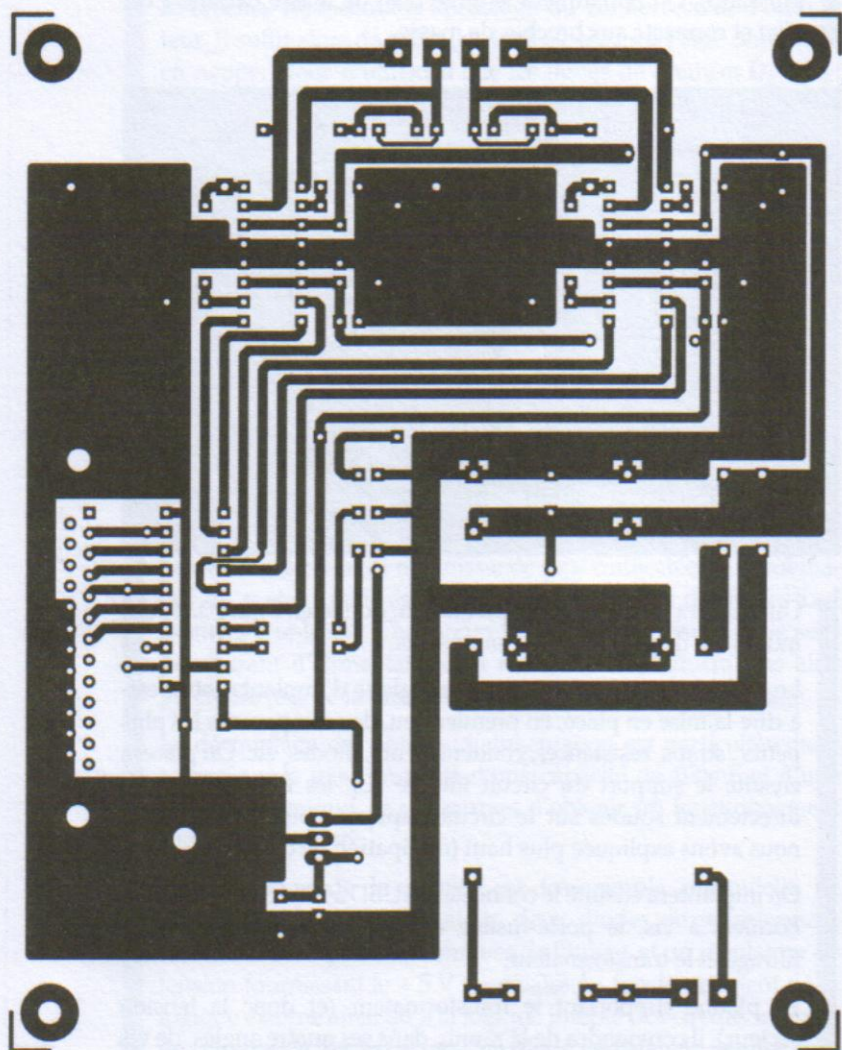


Figure 3.48.  
Tracé du  
circuit imprimé.

*Liste des composants*

**Résistances**

$R_1, R_2, R_9$  : 470  $\Omega$

$R_3, R_6$  : 56 k $\Omega$

$R_4, R_7, R_{10}, R_{11}$  : 1 k $\Omega$

$R_5, R_8$  : 1  $\Omega$  1 W

**Condensateurs**

$C_1, C_5, C_6, C_{10}, C_{11}, C_{13}, C_{16}$  : 100 nF

$C_2, C_3, C_7, C_8$  : 820 pF

$C_4, C_9, C_{17}$  : 10  $\mu$ F 16 V

$C_{12}$  : 220  $\mu$ F 25 V

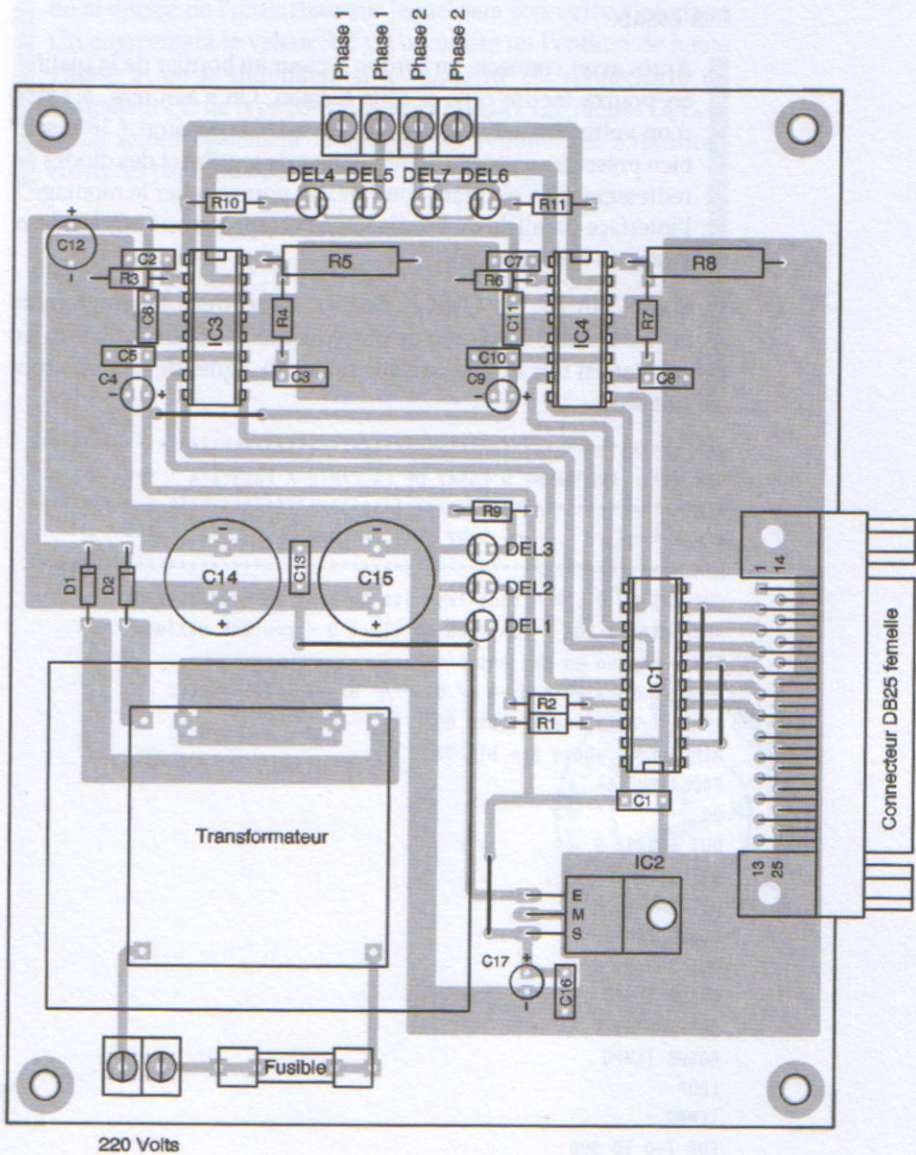
$C_{14}, C_{15}$  : 1 500  $\mu$ F 25 V

**Semi-conducteurs**

$D_1, D_2$  : 1N4001 à 1N4007

DEL<sub>1</sub> à DEL<sub>7</sub> :

diodes Led rouges 3 mm

**Circuits intégrés**IC<sub>1</sub> : 74LS541IC<sub>2</sub> : régulateur de tension 7805IC<sub>3</sub>, IC<sub>4</sub> : PBL3717A**Divers**

1 support pour IC 20 broches

1 transformateur 2 × 12 V 12 VA

1 support de fusible

1 fusible rapide 200 mA

1 bornier à vis à 2 points

1 bornier à vis à 4 points

1 connecteur SUBD femelle

à 25 points pour circuit imprimé  
(coudé à 90°)

4 vis de diamètre 3 mm

ou 4 entretoises

Figure 3.49.  
Implantation  
des composants.



## Les essais

Après avoir connecté un cordon secteur au bornier de la platine, on pourra mettre celle-ci sous tension. On s'assurera, à l'aide d'un voltmètre, que les tensions de + 5 V et environ + 16 V sont bien présentes en sortie du régulateur de tension et des diodes de redressement. Cela étant contrôlé, on pourra relier le montage à l'interface parallèle de l'ordinateur PC (après avoir mis les deux systèmes hors tension).

Sous QBASIC ou QUICK BASIC, on entrera le programme suivant (essai3-5.txt) afin de procéder aux essais de la platine. Ce dernier est très simple puisque seules six lignes de données sont utilisées.

```

REM *****
REM ***   PROGRAMME D'ESSAI DE LA CARTE A PBL3717A   ***
REM *****
REM ***           PORT LPT1 EN H378           ***
REM *****
OUT &H378, 0 : REM tous les bits du port de données à 0
REM entrées IOA , I1A, IOB et I1B à 0 = courant maximum
REM rotation en pas entiers
REM séquence → A B → A/ B → A/ B/ → A B/ → etc.
REM entrée phase A = bit D0
REM entrée phase B = bit D3
PROGRAMME :
DO
OUT &H378, 9
GOSUB TEMPO
OUT &H378, 8
GOSUB TEMPO
OUT &H378, 0
GOSUB TEMPO
OUT &H378, 1
GOSUB TEMPO
LOOP
TEMPO :
FOR T=0 TO 300
NEXT T
RETURN

```

Le moteur pas-à-pas, commandé par ce programme, tournera dans un seul sens. Il suffira d'inverser la séquence contenue dans « PROGRAMME : » pour obtenir une rotation en sens inverse. Les diodes Led de contrôle de l'alimentation du moteur s'illumineront à tour de rôle, ce qui montre un fonctionnement correct de la platine. La temporisation engendrée par le sous-programme « TEMPO : » devra vraisemblablement être modifiée en fonction

de la vitesse de l'ordinateur sur lequel sera connectée l'interface. On augmentera la valeur 300 si l'on utilise un Pentium de haute vitesse et on la diminuera si la maquette est connectée à un ordinateur PC de type 386 ou 486 (SX ou DX). Les diodes  $DEL_1$  et  $DEL_2$  seront également alimentées au rythme des impulsions envoyées par l'interface parallèle.





# 4 COMMANDE DE MOTEURS PAR MICROPROCESSEURS

- 4.1 Commande par microcontrôleur Stamp Basic I 122
- 4.2 Commande par microcontrôleur PIC 131

<b>5</b>	Réalisation d'un robot mobile, EPOX II	143
	Annexe	173



Le dernier chapitre de ce livre est consacré à la commande des moteurs pas-à-pas au moyen de microcontrôleurs. Cette façon de procéder permet d'utiliser l'interface série d'un ordinateur PC, qui, autrement, serait difficilement exploitable. Cette interface transmet en effet, comme chacun sait, les données par bits successifs, ce qui est incompatible avec une commande de moteur qui doit recevoir les données en mode parallèle.

Nous donnerons donc, dans les lignes qui suivent, la description de deux interfaces gérées par des microcontrôleurs, interfaces qui permettent la conversion d'une donnée série issue de l'ordinateur en donnée parallèle exploitable pour le pilotage des moteurs. Le premier de ces deux montages utilise un Stamp Basic I, qui est un microcontrôleur de type PIC programmé et contenant un interpréteur Basic. Cela facilite grandement l'élaboration du programme. Le second montage utilise un microcontrôleur également de type PIC mais programmé au moyen d'un langage machine.

Nous commencerons la description des deux platines par le Stamp Basic I.

### 4.1 COMMANDE PAR MICROCONTRÔLEUR STAMP BASIC I

Le microcontrôleur Stamp Basic I est disponible en deux versions :

- un module vendu prêt à l'emploi et réalisé en technologie CMS. Son schéma interne et la fonction de chacune de ses broches sont donnés en **figure 4.1**. Le module est présenté sur un minuscule circuit imprimé équipé de 14 broches et qui doit être implanté verticalement sur le circuit imprimé principal. Cela permet un gain de place appréciable et une mise en œuvre facile ;
- un PIC programmé en boîtier DIL à 18 broches, et qui nécessite une mémoire EEPROM externe, un oscillateur et un circuit à transistor unique pour le RESET. Ce circuit fonctionne de manière strictement identique mais nécessite la réalisation d'un circuit imprimé de plus grande taille. Le seul avantage qu'il présente est un prix de revient nettement inférieur à celui du module. Le schéma de ce circuit est représenté en **figure 4.2**.

Pour notre part, nous avons utilisé le module ; mais rien n'empêche de choisir la seconde solution en traçant un autre circuit imprimé.

Voyons brièvement les principales caractéristiques du Stamp Basic I. Ce dernier dispose de 16 octets de RAM interne pour le



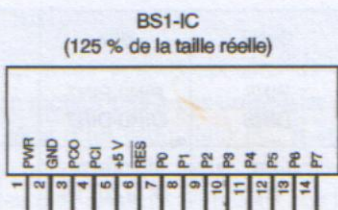


Figure 4.1.  
Schéma interne et brochage du STAMP BASIC I.

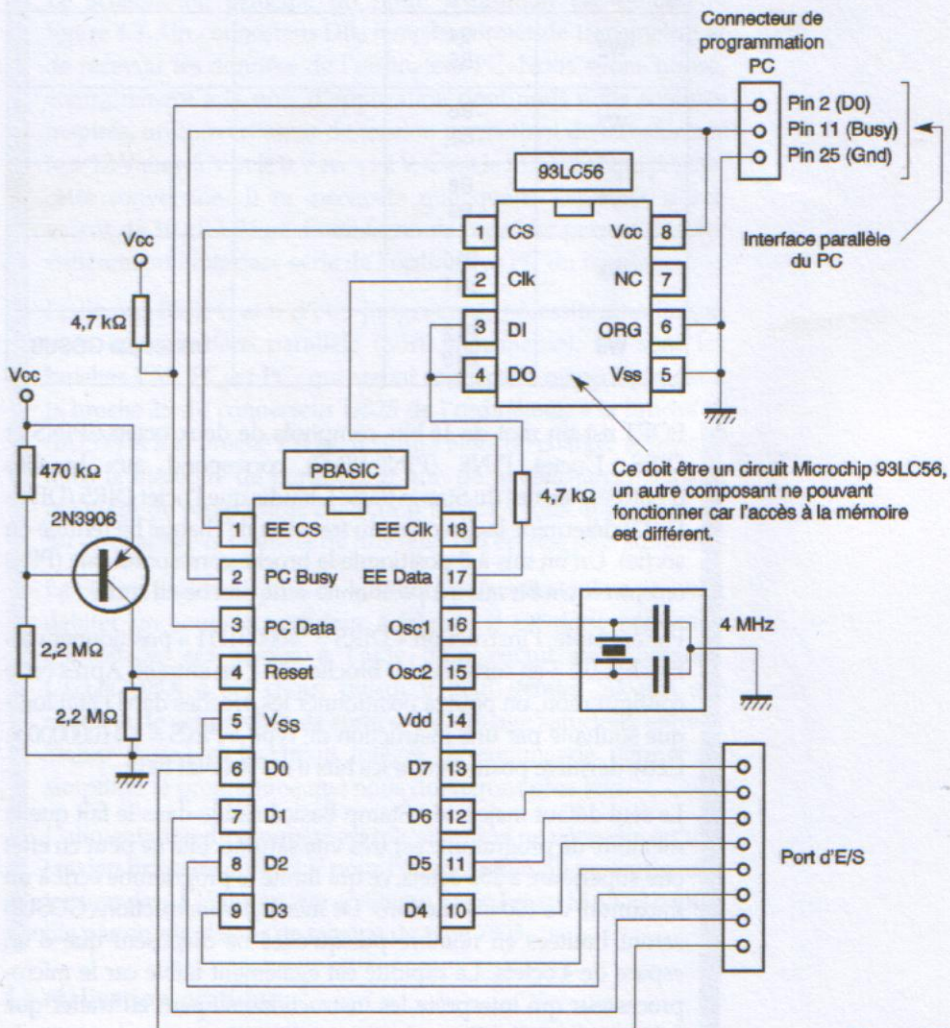


Figure 4.2.  
Configuration avec le PIC BASIC.

stockage des variables. Les deux premiers sont utilisés pour les entrées/sorties, un pour les broches (0 à 7) et un pour la direction du transfert, ce qui laisse 14 octets pour les données. Le **tableau 4.1** donne l'attribution et le nom de ces 14 octets.



**Tableau 4.1.**  
Attribution et nom  
des 14 octets  
réservés aux données.

Mot	Octet	Bits	Remarques
PORT	PINS DIRS	PIN0-PIN7 DIR0-DIR7	I/O PINS direction
W0	B0 B1	BIT0-BIT7 BIT8-BIT15	Bits adressables
W1	B2 B3		
W2	B4 B5		
W3	B6 B7		
W4	B8 B9		
W5	B10 B11		
W6	B12 B13		Utilisés par GOSUB

PORT est un mot de 16 bits composés de deux octets : PINS et DIRS. L'octet PINS (PIN0-PIN7) correspond aux broches d'entrées/sorties du Stamp Basic I, tandis que l'octet DIRS (DIR0-DIR7) détermine la direction du transfert de chaque bit (entrée ou sortie). Un bit mis à 0 positionne la broche correspondante (PIN) en entrée. Un bit mis à 1 positionne cette broche en sortie.

Par exemple, l'instruction « DIRS = %00001111 » positionnera les broches 0 à 3 en sorties et les broches 4 à 7 en entrées. Après cette configuration, on pourra positionner les broches dans l'état logique souhaité par une instruction de type « PINS = %11000000 ». Cette dernière positionnera les bits 6 et 7 à l'état haut.

Le seul défaut majeur du Stamp Basic I réside dans le fait que la mémoire de programme est très vite saturée. Elle ne peut en effet être supérieure à 256 octets, ce qui limite le programme écrit à un maximum de 100 instructions. De même, les instructions GOSUB seront limitées en nombre puisqu'elles ne disposent que d'un espace de 4 octets. La rapidité est également faible car le microprocesseur qui interprète les instructions ne peut en traiter que 2 000 par seconde. Cependant, ce petit outil permet néanmoins la réalisation de montages très intéressants qui devront être commandés par des programmes élaborés de manière judicieuse afin de ne pas gaspiller cette petite mémoire.



## Le schéma de principe

Le montage que nous vous proposons de réaliser permet la commande d'un moteur pas-à-pas unipolaire par l'intermédiaire de l'interface série d'un ordinateur PC. Il suffira d'entrer une commande au clavier afin de régler le nombre de pas souhaité ainsi que la vitesse de rotation. Signalons que la rotation dans les deux sens pourra être obtenue.

Le schéma de principe de notre réalisation est donné en **figure 4.3**. Un connecteur DB<sub>9</sub> femelle permet de transmettre et de recevoir les données de l'ordinateur PC. Nous avons utilisé, contrairement à la note d'application dont nous nous sommes inspirés, un convertisseur de tension permettant de transformer le + 12 V en + 5 V et le 0 V en - 12 V. C'est le MAX 232 qui permet cette conversion. Il ne nécessite que quatre capacités d'une valeur de 10  $\mu$ F à 22  $\mu$ F. Cette façon de procéder permet d'isoler entièrement l'interface série de l'ordinateur PC du montage.

Le Stamp Basic I, afin d'être programmé, nécessite une liaison avec une interface parallèle (port imprimante). Ce sont les broches VSS, PC<sub>0</sub> et PC<sub>1</sub> qui seront connectées respectivement à la broche 25 du connecteur DB25 de l'ordinateur, à la broche 11 (BUSY) et à la broche 2 (D<sub>0</sub>). Il suffira alors de charger le logiciel dans la mémoire de l'ordinateur afin de le télécharger dans la mémoire de programme du Stamp Basic I. Nous donnerons en fin de chapitre la manière de procéder qui est des plus simples.

Le Stamp Basic I dispose de huit entrées/sorties qui ne peuvent débiter un courant supérieur à 50 mA. Il est donc nécessaire d'interfacer ses sorties à l'aide d'un circuit de puissance. L'ULN2803A a été choisi puisqu'il peut débiter 500 mA sur chacune de ses broches de sorties. Un câblage astucieux entre le Stamp Basic I et le circuit intégré de commande permet de simplifier le programme que nous donnerons plus loin.

L'alimentation du montage est très simple et ne nécessite qu'une tension primaire de + 12 V pour l'alimentation du moteur et une tension de + 5 V, nécessaire au Stamp Basic I et au MAX232, fournie par un régulateur de tension de type 7805.

## La réalisation pratique

Le dessin du circuit imprimé est donné en **figure 4.5**. Il est très simple à réaliser étant donné le peu de composants à implanter. On pourra également utiliser le schéma représenté en **figure 4.4** si l'on utilise la platine commercialisée pour l'utilisation du Stamp Basic I.



# MOTEURS PAS-À-PAS ET PC

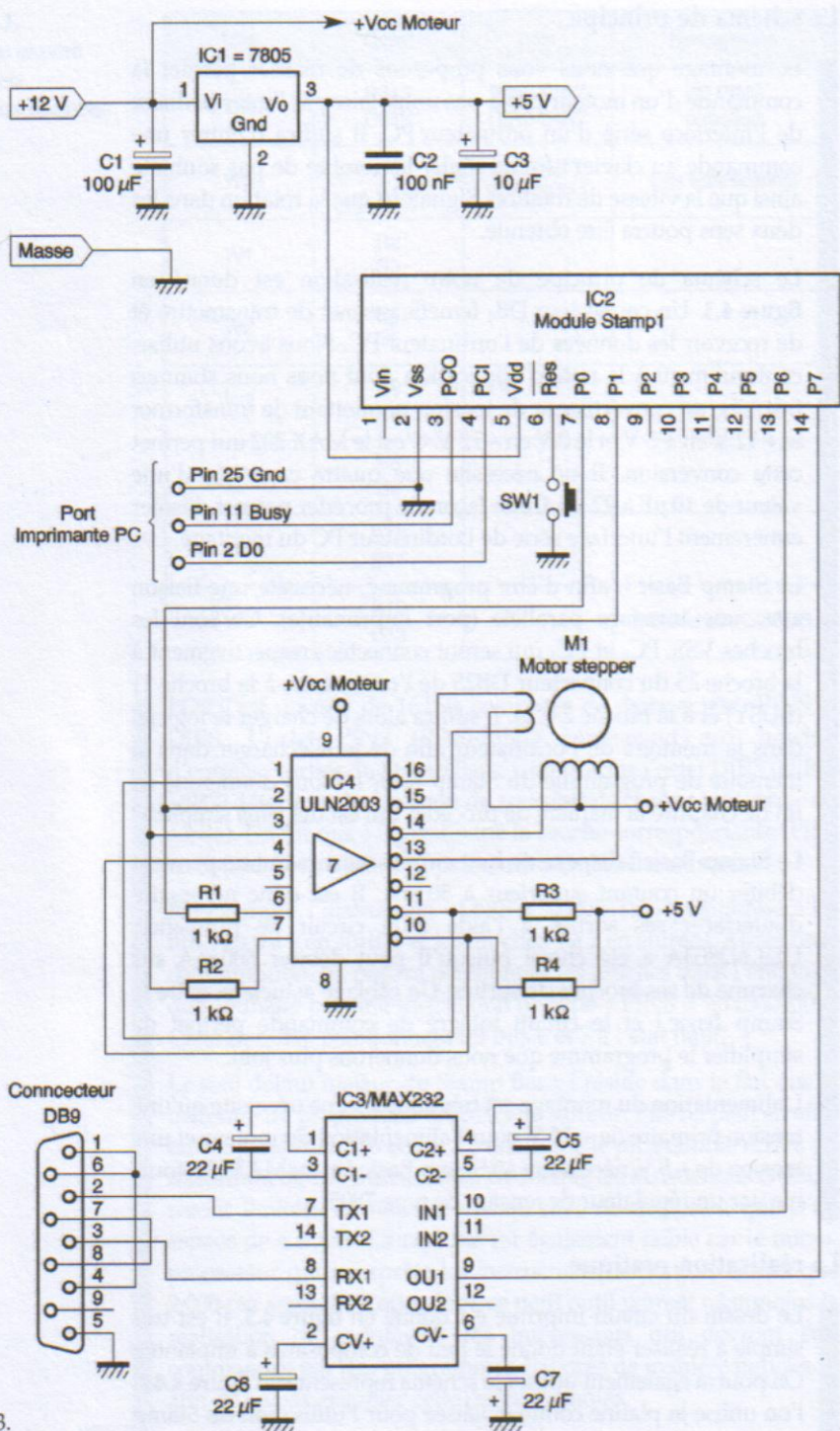


Figure 4.3.  
Schéma de principe.

Il suffira alors de câbler l'ULN2003A (qui est identique à l'ULN2803A mais ne comporte que 7 entrées) sur l'espace de câblage, et cela par la technique du *wrapping*. Le schéma de l'implantation des composants est donné en figure 4.6.

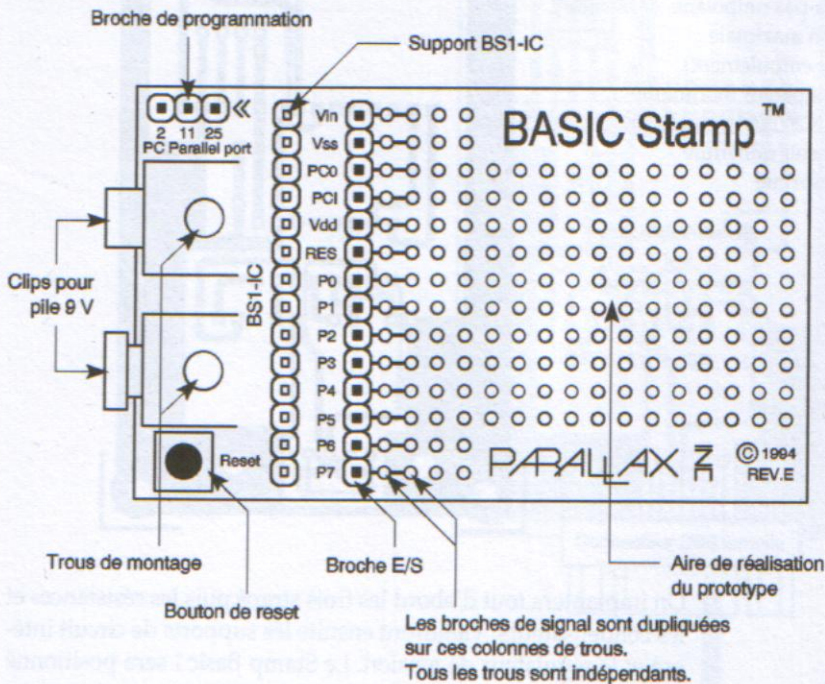
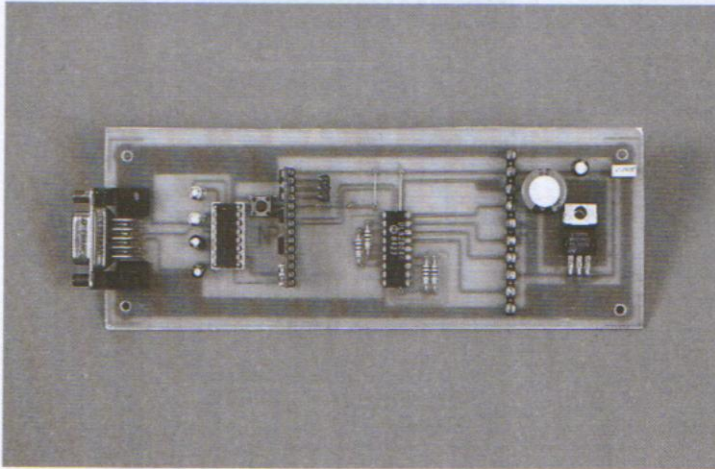


Figure 4.4.  
Implantation  
des composants  
sur la platine d'essai.



## Liste des composants

### Résistances

$R_1$  à  $R_4$  : 1 k $\Omega$

### Condensateurs

$C_1$  : 100  $\mu$ F à 220  $\mu$ F 25 V

$C_2$  : 100 nF

$C_3$  : 10  $\mu$ F 16 V

$C_4$  à  $C_7$  : 10  $\mu$ F à 22  $\mu$ F 16 V

### Circuits intégrés

IC<sub>1</sub> : régulateur de tension 7805

IC<sub>2</sub> : MAX232

IC<sub>3</sub> : ULN2803A

### Divers

1 module Stamp Basic 1

1 connecteur DB9 femelle coudé à 90° pour circuit imprimé

1 bornier à vis à 10 points

1 morceau de barrette sécable de support marguerite à 14 points

1 support pour IC 16 broches

1 support pour IC 18 broches

1 morceau de barrette sécable de picots à 3 points

1 moteur pas-à-pas unipolaire (consommation maximale de 500 mA par enroulement).

Prévoir un dissipateur thermique pour le IC ULN2803A

1 bouton-poussoir miniature pour circuit imprimé

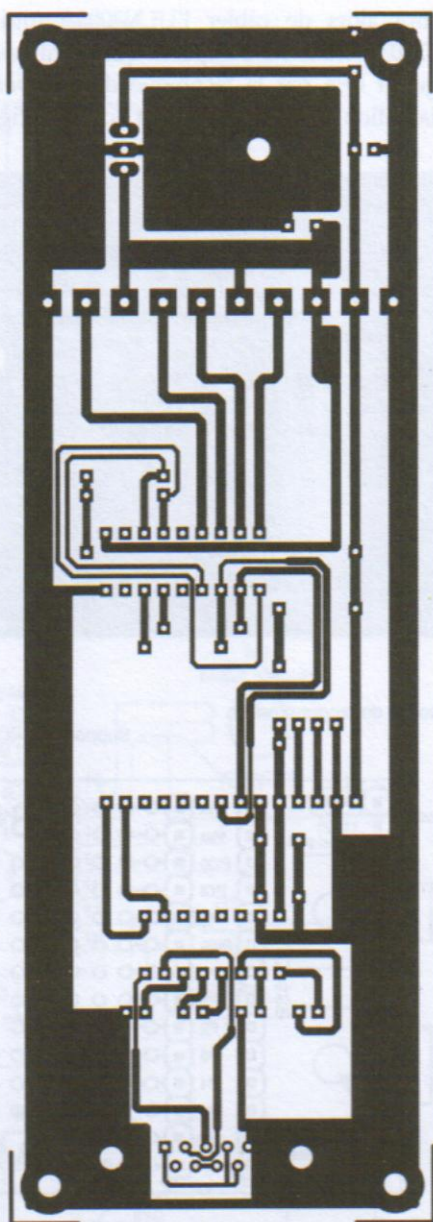


Figure 4.5.  
Tracé du  
circuit imprimé.

On implantera tout d'abord les trois straps puis les résistances et les condensateurs. Viendront ensuite les supports de circuit intégré et le régulateur de tension. Le Stamp Basic I sera positionné sur un morceau de barrette sécable de support marguerite, ce qui évitera de le dessouder pour une utilisation ultérieure. On implantera ensuite le bornier à vis à 10 points pour la connexion

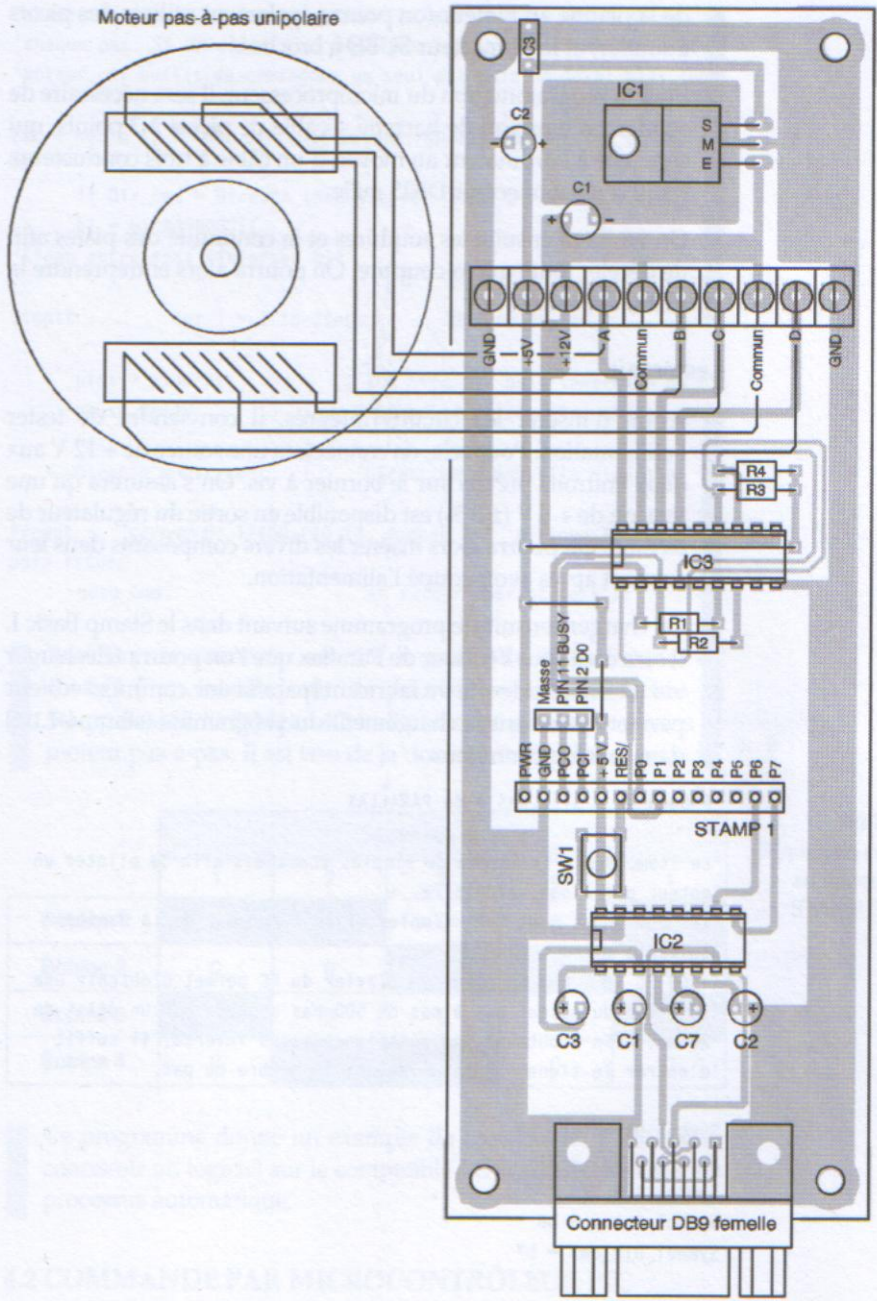


Figure 4.6.  
 Implantation  
 des composants  
 sur le circuit imprimé.



de la platine au moteur (on pourra également utiliser des picots à souder) et le connecteur SUBD à broches.

Pour la programmation du microprocesseur, il sera nécessaire de souder un morceau de barrette sécable de picots à 3 points, qui sera relié à l'ordinateur au moyen d'un câble à trois conducteurs muni d'un connecteur DB25 mâle.

On vérifiera ensuite les soudures et la continuité des pistes afin de déceler toute micro-coupure. On pourra alors entreprendre la phase des essais.

### Les essais

Avant d'insérer les circuits intégrés, il conviendra de tester l'alimentation. Pour cela, on connectera une source de + 12 V aux deux endroits prévus sur le bornier à vis. On s'assurera qu'une tension de + 5 V ( $\pm 5\%$ ) est disponible en sortie du régulateur de tension. On pourra alors insérer les divers composants dans leur support après avoir coupé l'alimentation.

On chargera ensuite le programme suivant dans le Stamp Basic I. Il sera écrit sous l'éditeur de Parallax que l'on pourra télécharger via Internet sur le site du fabricant ([parallaxinc.com](http://parallaxinc.com)). Cet éditeur permet également le chargement du programme (stamp4-1.txt) dans le microcontrôleur.

'PROGRAMME « STEP.BAS » de PARALLAX

'Le Stamp Basic I accepte de simples commandes afin de piloter un 'moteur pas-à-pas unipolaire.

'Les commandes sont très simples et se composent de la manière 'suivante :

'+500 20 <RETURN> tapé sur le clavier du PC permet d'obtenir une 'rotation du moteur pas à pas de 500 pas séparés par un délai de '20 ms. Afin d'obtenir une rotation en sens inverse, il suffit 'd'entrer le signe - (moins) devant le nombre de pas.

Symbol Directn = b0

Symbol Steps = W1

Symbol i = W2

Symbol Delay = b6

Symbol Dir\_cmd = b7

```
dirs = %00000011 : pins = %00000001 'Configuration des sorties
b1 = %00000001 : Directn = « + »
goto Prompt 'Affiche le « prompt »
```

'Accepte une chaîne de commandes consistant par l'indication du 'sens de rotation (+ ou -), un nombre de 16 bits déterminant le



## COMMANDE DE MOTEURS PAR MICROPROCESSEURS

\*nombre de pas et un nombre de huit bits fixant le délai entre  
\*chaque pas. Si un délai plus long est requis entre chaque pas du  
\*moteur, il suffit de commander un seul pas puis un délai plus long.

Cmd : serin 7, T2400, Dir\_cmd, #Steps, #Delay 'Reçoit les ordres du  
PC

```
if Dir_cmd = Directn then Stepit 'Même direction ? Début
b1 = b1^%00000011
```

'Sinon autre sens (inverser b1)

Stepit : for i = 1 to Steps 'Nombre de pas

```
pins = pins^b1 'XOR avec b1, puis inversion de b1
pause Delay 'Attend le délai entre chaque pas
next
Directn = Dir_cmd 'Direction = nouvelle direction
```

Prompt : serout 6, T2400,(10,13, « step ») 'Affiche le prompt,  
puis return

goto Cmd 'et retour chariot vers le terminal

Il suffira de connecter ensuite la maquette à l'ordinateur PC configuré en terminal afin de pouvoir envoyer les ordres au Stamp Basic I. Le **tableau 4.2** indique les séquences envoyées au moteur pas-à-pas. Il est issu de la documentation Parallax.

	Séquence du pas				
	1	2	3	4	1
Bobine 1	1	1	0	0	1
Bobine 2	0	0	1	1	0
Bobine 3	1	0	0	1	1
Bobine 4	0	1	1	0	0

**Tableau 4.2.**  
Séquences envoyées  
au moteur par le  
STAMP BASIC I.

Ce programme donne un exemple de commande. Il suffira de concevoir un logiciel sur le compatible PC si l'on désire créer un processus automatique.

## 4.2 COMMANDE PAR MICROCONTRÔLEUR PIC

Ce deuxième montage est plus sophistiqué que le précédent dans la mesure où nous avons fait appel à un microcontrôleur de la famille des PIC, le 16C55. Il est équipé d'un port de huit bits en sortie qui commande deux moteurs pas-à-pas unipolaires et de huit entrées permettant de connecter des capteurs de position



(si on le désire). Cette platine est entièrement transparente pour l'ordinateur PC puisqu'elle ne sert qu'à convertir des données de type série en données parallèles et inversement. Le programme qui est chargé dans la ROM du 16C55 n'est utilisé que pour la conversion des données en entrée et en sortie de l'ordinateur. C'est donc un montage aisé qui ne nécessite qu'un programme très simple.

## Présentation du PIC16C55

Les microcontrôleurs PIC, conçus et fabriqués par Microchip, sont des composants à structure RISC, ce qui signifie *Reduced Instruction Set Computer*, microprocesseur à jeu d'instructions limité. La structure CISC, pour information, signifiant *Complex Instruction Set Computer*, est un microprocesseur à jeu d'instructions complexe.

L'architecture du PIC est de type Harvard, qui utilise deux bus différents pour le transfert des données et des instructions.

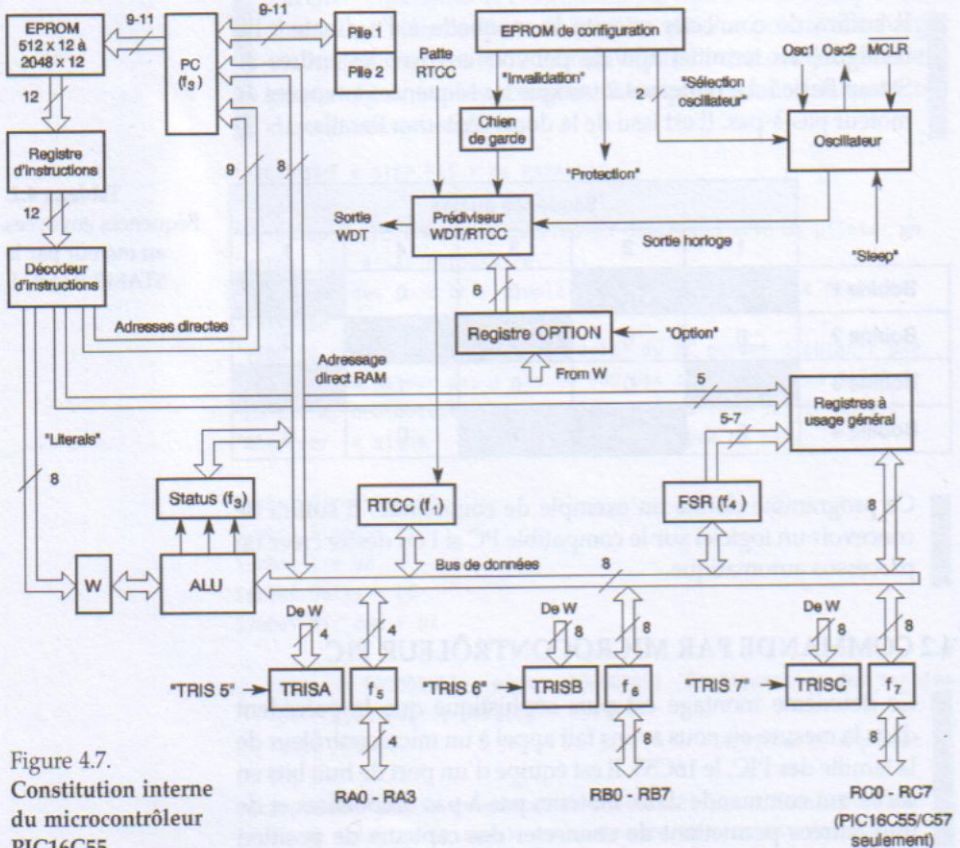


Figure 4.7.  
Constitution interne  
du microcontrôleur  
PIC16C55.



Afin de simplifier les choses, un PIC recherchera l'instruction suivante dans sa mémoire programme alors qu'il exécute l'instruction précédente. Deux opérations pouvant être exécutées en même temps, le microprocesseur travaille à une vitesse très rapide, contrairement au CISC. Les instructions étant dimensionnées sur 12 ou 14 bits (selon le microprocesseur), elles sont exécutées en un seul cycle machine, ce qui contribue à augmenter la vitesse d'exécution.

La figure 4.7 représente la structure interne du PIC 16C55, et le tableau 4.3 donne les caractéristiques des différents types de circuits.

La figure 4.8 donne les différentes pages selon le type de microprocesseur PIC.

Tableau 4.3.  
Différents types  
de circuits.

Part	Effacement	E(PROM)	RAM	E/S	Alimentation	Oscillateur	Frequence
PIC16C54-RC/P	Non	512 × 12	32 × 8	12	3,00 - 6,25 V	RC	DC - 4 MHz
PIC16C54-XT/P	Non	512 × 12	32 × 8	12	3,00 - 6,25 V	XTAL	DC - 4 MHz
PIC16C54-HS/P	Non	512 × 12	32 × 8	12	4,50 - 5,50 V	XTAL	DC - 20 MHz
PIC16C54-LP/P	Non	512 × 12	32 × 8	12	2,50 - 6,25 V	XTAL	DC - 40 kHz
PIC16C54/JW	Oui	512 × 12	32 × 8	12	3,00 - 5,50 V	RC, XTAL	DC - 20 MHz
PIC16C55-RC/P	Non	512 × 12	32 × 8	20	3,00 - 6,25 V	RC	DC - 4 MHz
PIC16C55-XT/P	Non	512 × 12	32 × 8	20	3,00 - 6,25 V	XTAL	DC - 4 MHz
PIC16C55-HS/P	Non	512 × 12	32 × 8	20	4,50 - 5,50 V	XTAL	DC - 20 MHz
PIC16C55-LP/P	Non	512 × 12	32 × 8	20	2,50 - 6,25 V	XTAL	DC - 40 kHz
PIC16C55/JW	Oui	512 × 12	32 × 8	20	3,00 - 5,50 V	RC, XTAL	DC - 20 MHz
PIC16C56-RC/P	Non	1K × 12	32 × 8	12	3,00 - 6,25 V	RC	DC - 4 MHz
PIC16C56-XT/P	Non	1K × 12	32 × 8	12	3,00 - 6,25 V	XTAL	DC - 4 MHz
PIC16C56-HS/P	Non	1K × 12	32 × 8	12	4,50 - 5,50 V	XTAL	DC - 20 MHz
PIC16C56-LP/P	Non	1K × 12	32 × 8	12	2,50 - 6,25 V	XTAL	DC - 40 kHz
PIC16C56/JW	Oui	1K × 12	32 × 8	12	3,00 - 5,50 V	RC, XTAL	DC - 20 MHz
PIC16C57-RC/P	Non	2K × 12	80 × 8	20	3,00 - 6,25 V	RC	DC - 4 MHz
PIC16C57-XT/P	Non	2K × 12	80 × 8	20	3,00 - 6,25 V	XTAL	DC - 4 MHz
PIC16C57-HS/P	Non	2K × 12	80 × 8	20	4,50 - 5,50 V	XTAL	DC - 20 MHz
PIC16C57-LP/P	Non	2K × 12	80 × 8	20	2,50 - 6,25 V	XTAL	DC - 40 kHz
PIC16C57/JW	Oui	2K × 12	80 × 8	20	3,00 - 5,50 V	RC, XTAL	DC - 20 MHz
PIC16LC58A-04/P	Non	2K × 12	80 × 8	20	2,50 - 6,25 V	RC, XTAL	DC - 4 MHz
PIC16C58A-04/P	Non	2K × 12	80 × 8	20	3,00 - 6,25 V	XTAL	DC - 4 MHz
PIC16C58A-20/P	Non	2K × 12	80 × 8	20	3,00 - 6,25 V	XTAL	DC - 20 MHz
PIC16C58A/JW	Oui	2K × 12	80 × 8	20	3,00 - 6,25 V	RC, XTAL	DC - 20 MHz



# MOTEURS PAS-À-PAS ET PC

	Page 0	Page 1 *	Page 2 *	Page 3 *
	Registre W	Registre W	Registre W	Registre W
	Pile (2)	Pile (2)	Pile (2)	Pile (2)
	Registre option	Registre option	Registre option	Registre option
	TRISA	TRISA	TRISA	TRISA
	TRISB	TRISB	TRISB	TRISB
	TRISC	TRISC	TRISC	TRISC
00h	Adressage indirect	Adressage indirect	Adressage indirect	Adressage indirect
01h	RTCC	RTCC	RTCC	RTCC
02h	PC	PC	PC	PC
03h	STATUS	STATUS	STATUS	STATUS
04h	FSR	FSR	FSR	FSR
05h	PORT A	PORT A	PORT A	PORT A
06h	PORT B	PORT B	PORT B	PORT B
07h	PORT C	PORT C	PORT C	PORT C
08h	8 Registres d'usage général (RAM)	Registres lecture / écriture 08h - 0Fh	Registres lecture / écriture 08h - 0Fh	Registres lecture / écriture 08h - 0Fh
0Fh				
10h	16 Registres d'usage général (RAM)	30h 16 Registres d'usage général (RAM) *	50h 16 Registres d'usage général (RAM) *	70h 16 Registres d'usage général (RAM) *
1Fh		3Fh	5Fh	7Fh
	(00h - 1Fh)	(20h - 3Fh) *	(40h - 5Fh) *	(60h - 7Fh) *

Figure 4.8.  
Description  
des pages  
selon le type  
de PIC.

Deux autres fonctions très intéressantes du PIC sont le *watchdog* (chien de garde) et la fonction SLEEP (repos). Le *watchdog* permet la réinitialisation du microprocesseur si le programme « se plante ». Lorsque cette fonction est utilisée, lors de la programmation du microprocesseur, le programme contenu dans l'EPROM doit réinitialiser le *watchdog* à intervalles réguliers. Si cela n'est pas le cas, le PIC subit un RESET.

L'instruction SLEEP est très intéressante dans la mesure où l'horloge interne est stoppée et où toutes les lignes restent dans l'état logique où elles se trouvaient avant l'arrêt. Seul un RESET ou le dépassement de la durée du *timer* du *watchdog* peut sortir le PIC de son état de veille.



Un autre avantage des PIC est que le nombre d'instructions se limitent à 33. Les adresses des différents registres sont données en figure 4.9.

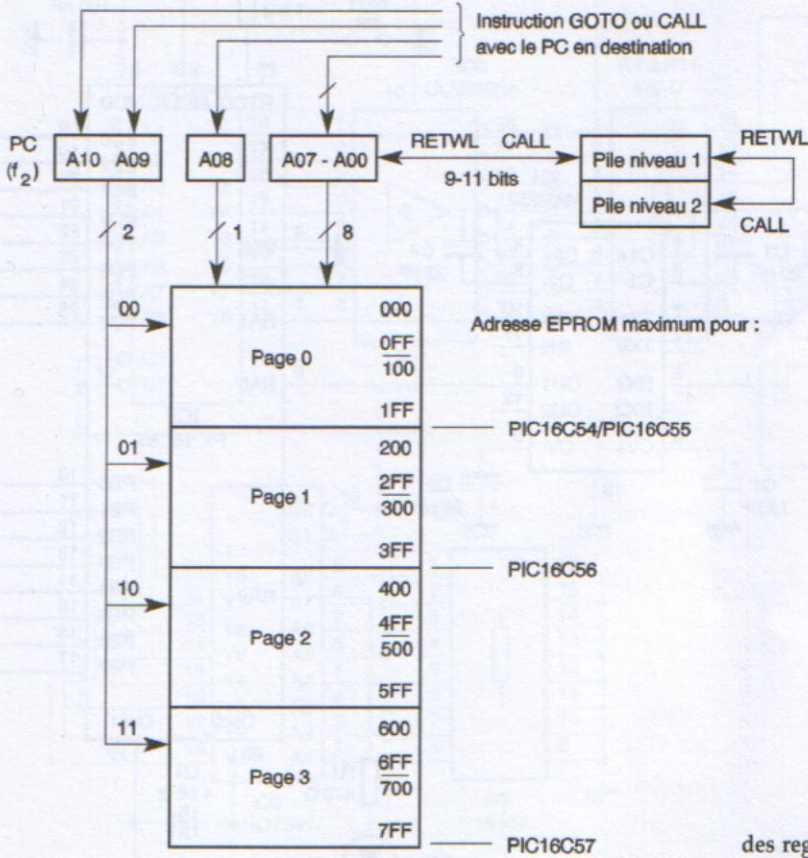


Figure 4.9.  
Adresses  
des registres du PIC.

## Le schéma de principe

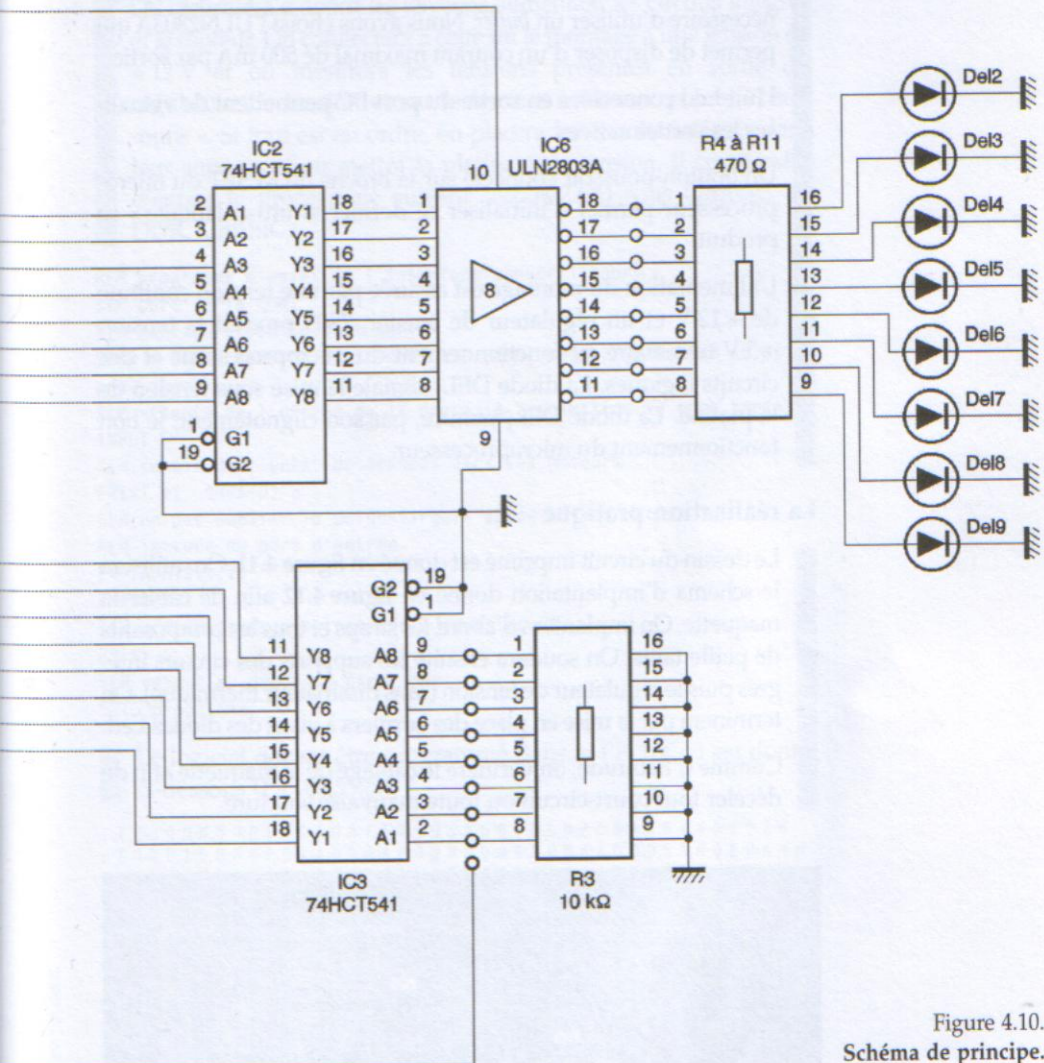
Le schéma de principe de notre réalisation est donné en figure 4.10. De conception très simple puisque ne nécessitant que cinq circuits intégrés, la maquette sera très facile à réaliser.

L'entrée et la sortie des données s'effectuent au moyen d'un connecteur DB9. Celui-ci sera relié à l'ordinateur PC au moyen d'un câble standard.

L'interfaçage entre le port série de l'ordinateur et le microprocesseur PIC, ne supportant que des niveaux de type TTL, est réalisé à l'aide d'un convertisseur de tension RS232/TTL TTL/RS232 de type MAX232. Les deux lignes de transfert sont reliées au port RA du PIC (RA0 et RA1).







Le port PC de ce dernier permet de disposer de huit lignes de sorties qui commanderont les moteurs pas-à-pas, tandis que le port PB reçoit les données venant des capteurs de position (s'ils sont utilisés). Il pourra également servir à recevoir d'autres données numériques issues de n'importe quel système. Un réseau de résistances d'une valeur de 10 kΩ relie ces entrées à la masse. Ainsi, lorsqu'aucune entrée n'est active, le résultat lu par l'ordinateur sera 0. Si une entrée est reliée au +5 V, le résultat sera 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 ou 128 selon l'entrée sollicitée.



Les sorties du port PC du PIC16C55 ne pouvant débiter un courant suffisant pour l'alimentation d'un moteur pas-à-pas, il est nécessaire d'utiliser un *buffer*. Nous avons choisi l'ULN2803A qui permet de disposer d'un courant maximal de 500 mA par sortie.

Huit Led connectées en sortie du port PC permettent de visualiser les sorties actives.

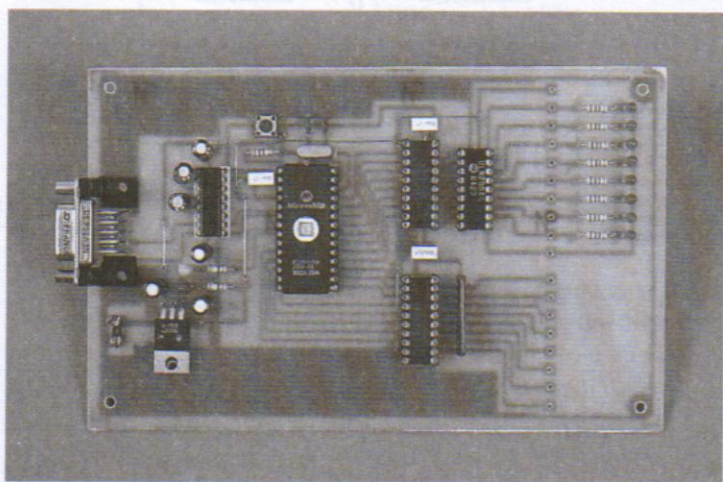
Un bouton-poussoir connecté sur la broche de RESET du microprocesseur permet d'initialiser ce dernier si un « plantage » se produit.

L'alimentation du montage est assurée par une tension continue de +12 V et un régulateur de tension 7805 produit la tension +5 V nécessaire au fonctionnement du microprocesseur et des circuits logiques. La diode DEL<sub>2</sub> signale la mise sous tension de la platine. La diode DEL<sub>1</sub> montre, par son clignotement, le bon fonctionnement du microprocesseur.

### La réalisation pratique

Le dessin du circuit imprimé est donné en **figure 4.11**. On utilisera le schéma d'implantation donné en **figure 4.12** afin de câbler la maquette. On implantera d'abord les straps et tous les composants de petite taille. On soudera ensuite les supports des circuits intégrés puis le régulateur de tension (sans dissipateur thermique). On terminera par la mise en place des borniers à vis et des diodes Led.

Comme d'habitude, on vérifiera le câblage de la maquette afin de déceler tout court-circuit ou toute mauvaise soudure.





## Les essais

On contrôlera d'abord les tensions alimentant les circuits intégrés et le moteur. On connectera à cette fin le montage à une tension de +12 V et on mesurera les tensions présentes en sortie du régulateur de tension et sur le bornier à vis aux points « communs ». Si tout est en ordre, on placera les circuits intégrés dans leur support et on mettra la platine sous tension. Il conviendra d'entrer le programme suivant (essai4-2.txt) sous QBASIC ou QUICK BASIC :

```
REM programme d'essai de l'interface convertisseur
REM port série COM1
REM configuration du port série
OPEN « COM1 :9600,n ,8, 1, cd0, cs0, ds0, op0 » FOR RANDOM AS #1
programme :
REM attente de l'entrée de la donnée à transmettre au port série
INPUT D
REM sortie de l'octet de données vers les moteurs
PRINT #1, CHR$(D) ;
REM ne pas oublier le point-virgule après l'instruction
REM lecture du port d'entrée
E$=INPUT$(1,1)
E=ASC(E$)
REM affichage du résultat sur l'écran du PC
PRINT E
REM retour au début du programme
GOTO programme
```

Le logiciel devant être programmé dans le PIC16C55 est donné ci-dessous (Pic16C55.txt) :

```
: 10000000010C500FF0C06000000C07004504400928
: 100010004E0940094E0940096B006A0005060E0AA8
: 100020003A090506E0A080C29006A00340905077A
: 100030000304050603052A03E902160A34090A0225
: 1000400027006B00080C290006022B002504340948
: 100050002B0303072504030625053409E902280AB2
: 100060002505340940090E0A180C2800000E80292
: 10007000360A00080C0C28000000E8023C0A0008C0
: 100080004505800C2C00FF0C2D000000ED02450AF8
: 10009000FF0C2D00EC02450A45040008800C2C00E2
: 1000A000FF0C2D000000ED02520AFF0C2D00EC02A7
: 0400B000520A0008EB
: 0203FE00000AF3
: 061FFA000000FFFF0109D9
: 00000001FF
```

Ce programme est en attente de l'envoi d'un octet à l'interface par l'ordinateur PC. Lorsque cette donnée est reçue par le microprocesseur, celui-ci la renvoie sur son port PC et les diodes Led correspondantes s'illuminent. Aussitôt après cette réception, le PIC lit son port d'entrée PB et transmet l'état de ses huit lignes d'entrées à l'ordinateur. Ces entrées sont normalement à l'état haut au repos. Il conviendra de les relier à la masse afin d'obtenir un état bas sur la ou les lignes concernées.



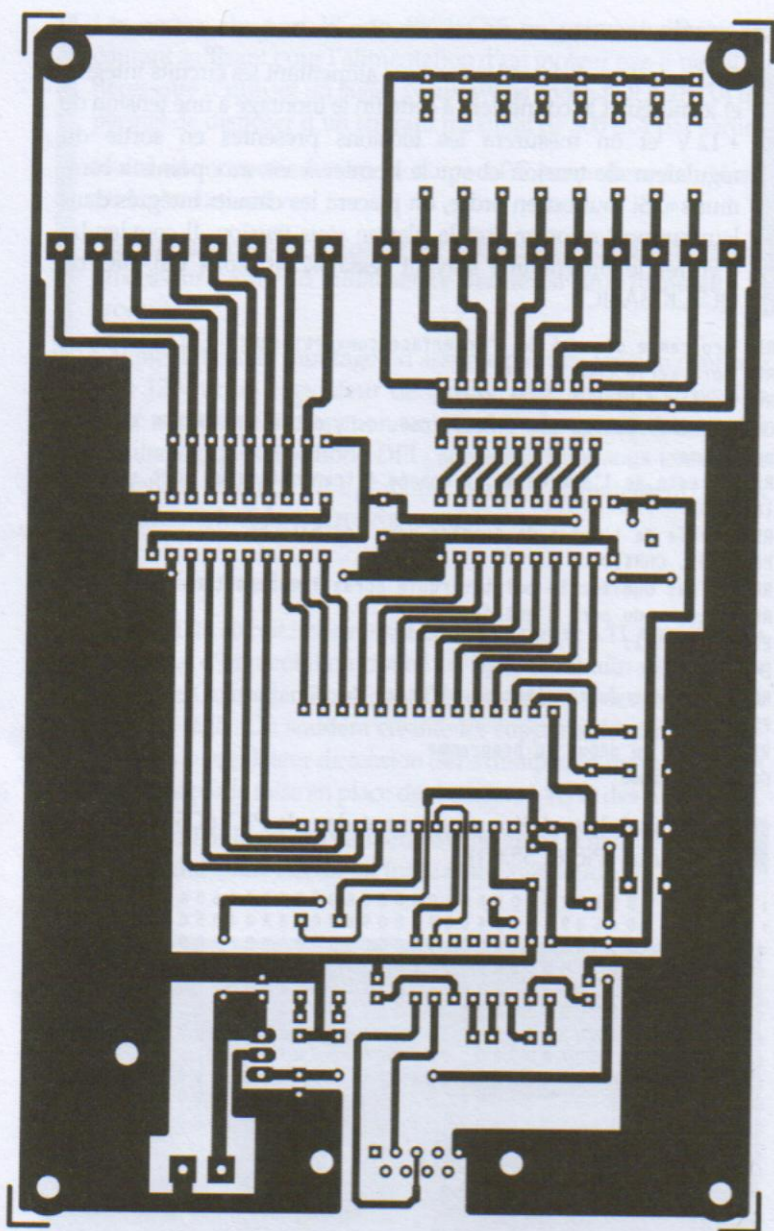
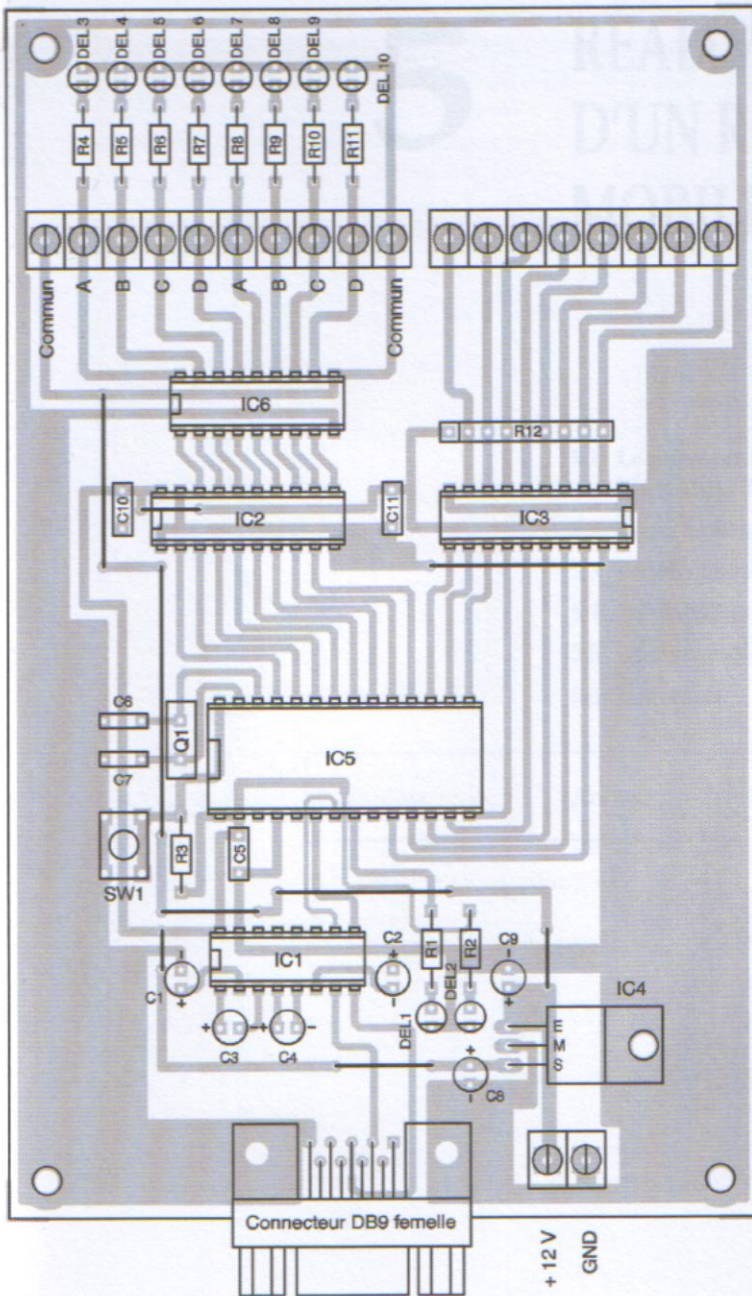


Figure 4.11.  
Tracé du  
circuit imprimé.



## Liste des composants

**Résistances**

$R_1, R_2, R_4$  à  $R_{10}$  : 470  $\Omega$

$R_3$  : 1 k $\Omega$

$R_{12}$  : réseau de résistances SIL 10 k $\Omega$

**Condensateurs**

$C_1$  à  $C_4$  : 10  $\mu\text{F}$  à 22  $\mu\text{F}$  16 V

$C_5, C_{10}, C_{11}$  : 100 nF

$C_6, C_7$  : 22 pF

$C_8$  : 10  $\mu\text{F}$  16 V

$C_9$  : 100  $\mu\text{F}$  25 V

**Semi-conducteurs**

DEL<sub>1</sub> à DEL<sub>10</sub> : diodes Led rouges (diam. 3 mm).

**Circuits intégrés**

IC<sub>1</sub> : MAX232

IC<sub>2</sub>, IC<sub>3</sub> : 74HCT541

IC<sub>4</sub> : régulateur de tension 7805

IC<sub>5</sub> : PIC16C55

IC<sub>6</sub> : ULN2803A

**Divers**

1 connecteur DB9 broches femelle soudée à 90° pour

circuit imprimé

1 bornier à vis à 2 points

1 bornier à vis à 8 points

1 bornier à vis à 10 points

1 quartz 4 MHz

1 bouton-poussoir miniature pour circuit imprimé

1 support pour IC 16 broches

1 support pour IC 18 broches

1 support pour IC 28 broches

2 supports pour IC 20 broches

Figure 4.12.  
Implantation des composants.





# 5

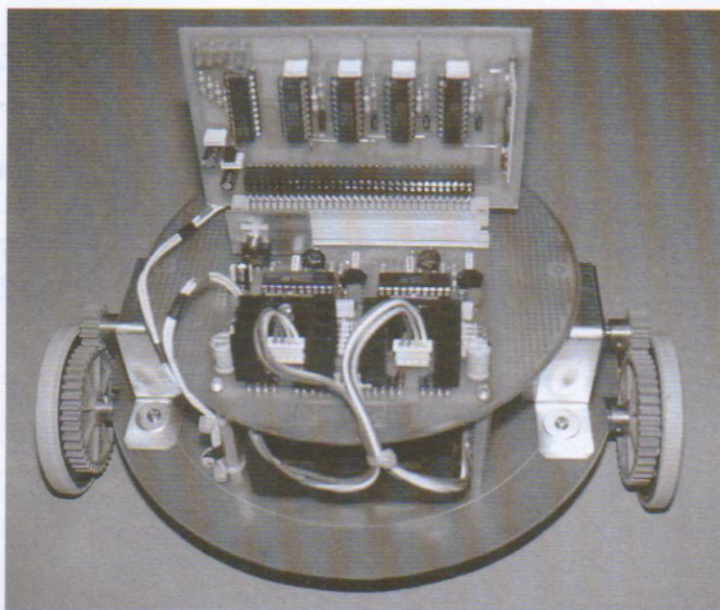
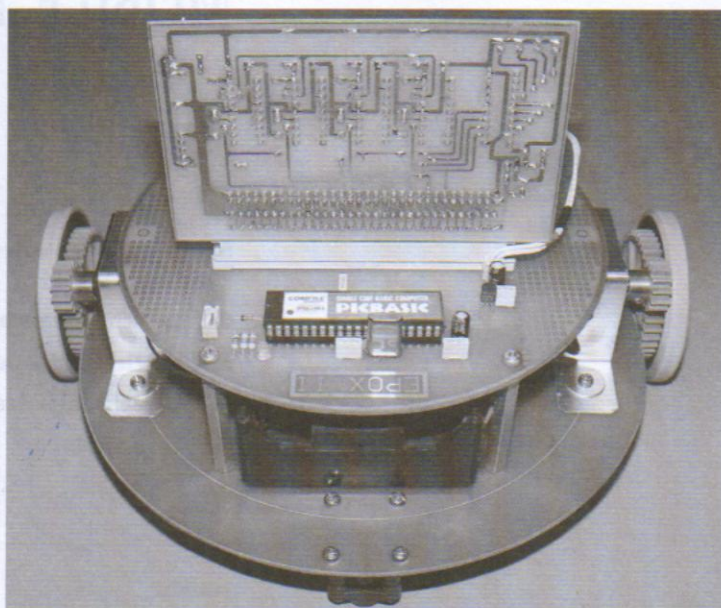
## RÉALISATION D'UN ROBOT MOBILE, EPOX II

5.1 Le microcontrôleur PICBASIC-3H	145
5.2 Les schémas de principe	150
5.3 La télécommande	154
5.4 La réalisation des platines	160
5.5 La mécanique	168
5.6 Les essais	170

Annexe	173
--------	-----



Dans ce chapitre, nous allons mettre en application ce que nous avons étudié tout au long de cet ouvrage en réalisant un robot mobile évolutif. Celui-ci, équipé de deux moteurs pas-à-pas bipolaires, se déplace, dans sa version la plus simple (celle que nous présentons), au moyen d'une télécommande radiofréquence.





Étant conçu de manière à pouvoir évoluer, il peut être pourvu de capteurs divers lui permettant d'éviter les obstacles, de trouver son chemin au moyen de balises, et même être équipé d'une caméra miniature. Tout cela est possible car son système repose sur l'utilisation d'un microcontrôleur extrêmement efficace pourvu d'un grand nombre de lignes d'entrées/sorties et de fonctions très pratiques. C'est d'ailleurs par ce dernier que nous commencerons notre description.

## 5.1 LE MICROCONTRÔLEUR PICBASIC-3H

Le PICBASIC-3H est un microcontrôleur de la famille des PIC, le 16F877, équipé d'un interpréteur BASIC. Malgré cela, il exécute les instructions de son programme avec une rapidité de 56 000 par seconde, ce qui permet de lui faire accomplir pratiquement n'importe quelle tâche.

Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- présenté en boîtier DIL 40 broches ;
- équipé d'une mémoire flash de 4 Ko (kilo-octets) ;
- 80 octets de RAM ;
- 29 broches d'entrées/sorties ;
- convertisseur analogique/numérique 10 bits à huit entrées.

Son boîtier est représenté en **figure 5.1**. Le **tableau 5.1** explique la fonction de chacune de ses broches.

Certaines broches du PICBASIC-3H nécessitent quelques explications qui donneront toute la mesure de ses possibilités.

Les broches 2 à 5 et 7 à 10 sont soit de simples entrées/sorties, soit les huit entrées du convertisseur analogique/numérique 10 bits interne. Ce convertisseur permet de mesurer une tension externe comprise entre 0 et +5 V sur 1 024 pas. Sa précision atteint donc 0,00488 V (environ 5 mV). Afin de ne pas risquer la détérioration d'une ou plusieurs de ses entrées, il est recommandé de les protéger à l'aide du petit circuit représenté en **figure 5.2**. La diode zéner et la diode 1N4148 évitent l'application d'une tension supérieure à +5 V et d'une tension négative. Le schéma de la **figure 5.3**, qui utilise un optocoupleur, est également une très bonne solution. Une bonne solution, si la place le permet, est d'utiliser un amplificateur opérationnel configuré en suiveur. Si des tensions négatives doivent être mesurées, on configurera cet AOP en amplificateur inverseur de gain unitaire.



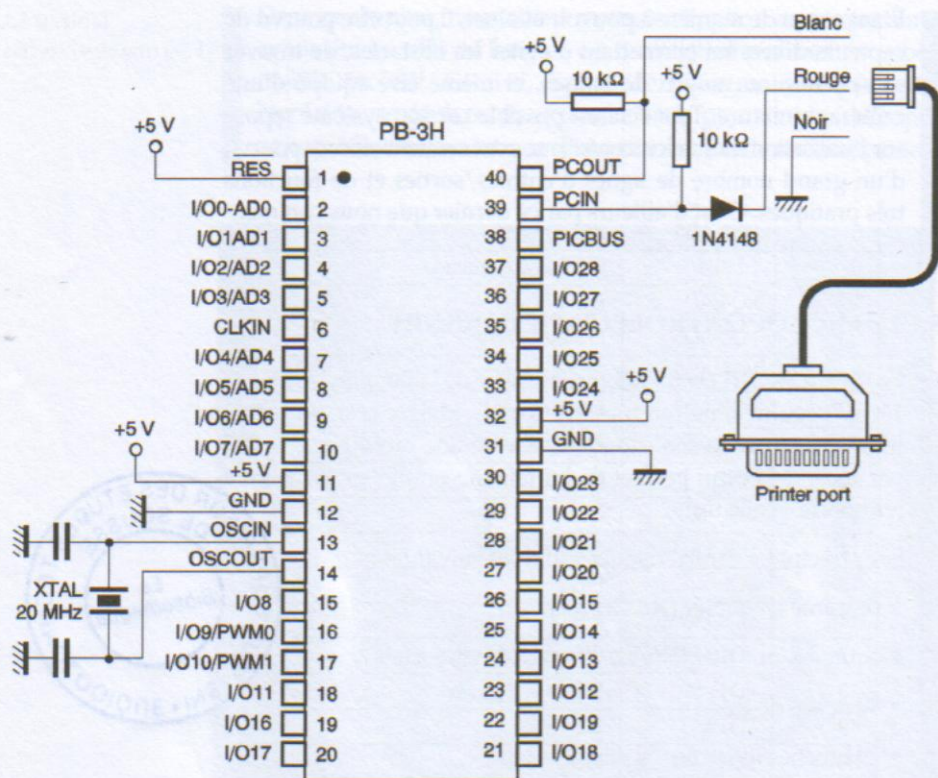


Figure 5.1.  
Boîtier DIL 40 broches.

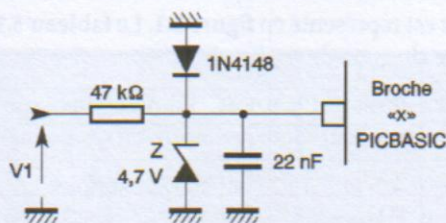
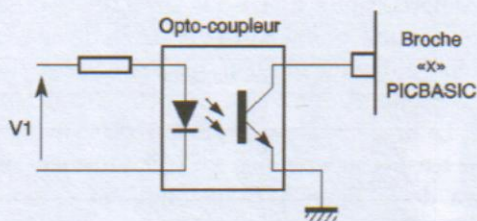


Figure 5.2.

Figure 5.3.



Chaque sortie du microcontrôleur peut débiter un courant de 25 mA. On peut donc y connecter tout dispositif qui ne consommera pas un courant supérieur, comme représenté en figure 5.4.

Tableau 5.1.  
Fonction des broches.

Broche	Désignation	Fonction
1	RES	RESET
2	I/O0-AD0	E/S ou CAN
3	I/O1-AD1	E/S ou CAN
4	I/O2-AD2	E/S ou CAN
5	I/O3-AD3	E/S ou CAN
6	CLKIN	Entrée de comptage
7	I/O4-AD4	E/S ou CAN
8	I/O5-AD5	E/S ou CAN
9	I/O6-AD6	E/S ou CAN
10	I/O7-AD7	E/S ou CAN
11	+5Vcc	Alimentation
12	GND	Masse
13	OSCIN	Quartz 20 MHz
14	OSCOU	Quartz 20 MHz
15	I/O8	E/S
16	I/O9-PWM0	E/S ou PWM
17	I/O10-PWM1	E/S ou PWM
18	I/O11	E/S
19	I/O16	E/S
20	I/O17	E/S
21	I/O18	E/S
22	I/O19	E/S
23	I/O12	E/S
24	I/O13	E/S
25	I/O14	E/S
26	I/O15	E/S
27	I/O20	E/S
28	I/O21	E/S
29	I/O22	E/S
30	I/O23	E/S
31	GND	Masse
32	+5Vcc	Alimentation
33	I/O24	E/S
34	I/O25	E/S
35	I/O26	E/S
36	I/O27	E/S
37	I/O28	E/S
38	PICBUS	Commande d'afficheur LCD série
39	PCIN	Communication avec le PC
40	PCOUT	Communication avec le PC



En revanche, il est impératif d'utiliser l'un des deux schémas de la **figure 5.5** si le courant demandé dépasse cette limite.

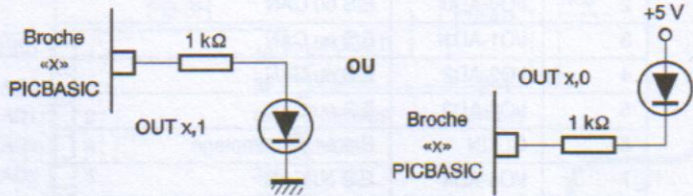
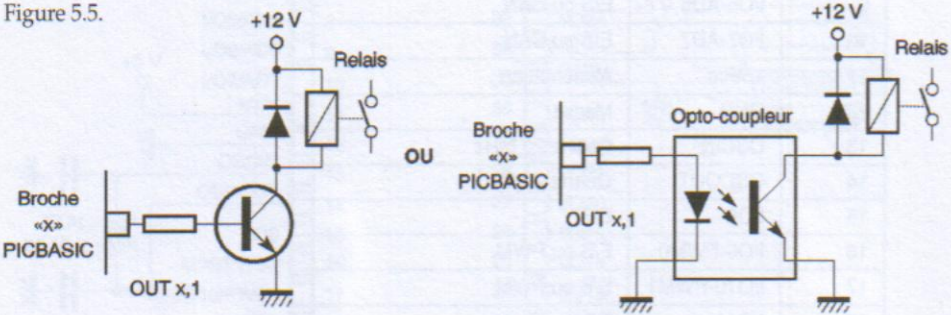


Figure 5.4.

Figure 5.5.



La broche 6 permet de compter le nombre d'impulsions présentes sur son entrée. On peut ainsi déterminer la fréquence d'un signal carré ou le nombre d'impulsions générées par un système externe. Chose intéressante, ce comptage s'effectue en tâche de fond.

La broche PICBUS permet la gestion d'un afficheur LCD au moyen de quelques instructions très simples.

Les broches 16 et 17, à l'aide de l'instruction PWM, peuvent générer un signal de fréquence fixe (1 220 Hz) et dont le rapport cyclique est variable. Ce type de signal est appelé PWM (*Pulse Width Modulation* ou impulsion à durée variable). Il permet la commande, par l'intermédiaire d'une interface de puissance, de moteurs à courant continu. Il est à signaler que les signaux PWM sont générés en tâche de fond.

Les broches PCIN et PCOUT permettent la programmation du PICBASIC-3H par leur connexion au port parallèle d'un PC. Un logiciel, PICBASIC STUDIO, permet l'édition du programme et son envoi dans la mémoire programme du microcontrôleur. Il est disponible en téléchargement sur le site coréen du fabricant ([www.comfile.co.kr](http://www.comfile.co.kr)) et de préférence sur celui du revendeur Lextronic ([www.lextronic.fr](http://www.lextronic.fr)). Si le système d'exploitation du PC est de type WINDOWS XP, le cordon de liaison contenant une partie électronique doit être acheté auprès de ce revendeur.

Les broches I/O8 à I/O15 permettent, au moyen de l'instruction PADIN, la gestion d'un clavier matriciel de 16 touches. Le dessin donné en figure 5.6 indique les branchements à réaliser.

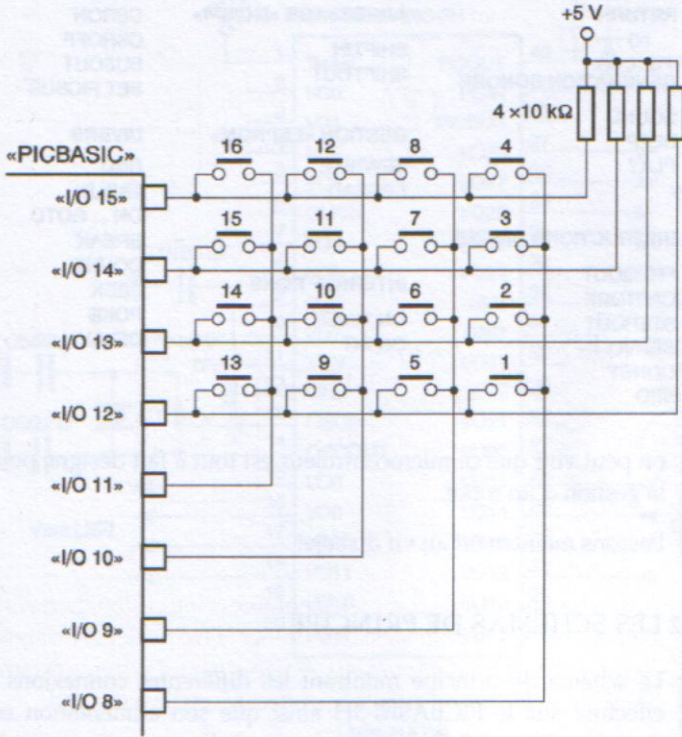


Figure 5.6. Branchements à réaliser.

Enfin, n'importe quelle broche permet la commande d'un servomoteur. L'instruction SERVO suivie du numéro de port I/O et de la durée de l'impulsion permet de positionner le palonnier entre  $-45^\circ$  et  $+45^\circ$  (voir figure 5.7).

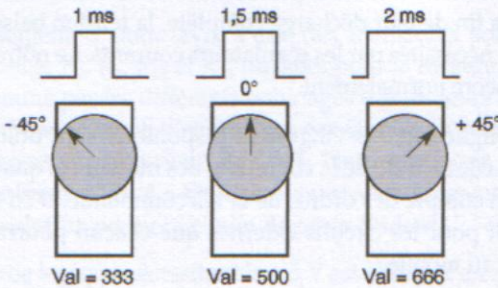


Figure 5.7.

Les instructions reconnues par le PICBASIC-3H sont données dans le tableau de la figure 5.8. Au vu de cette brève description,



## MOTEURS PAS-À-PAS ET PC

<b>ENTRÉES / SORTIES</b>	<b>SAUTS / CONDITIONS</b>	<b>GESTION «RS232»</b>	<b>GESTION «LCD»</b>
IN	IF .. THEN	SERIN	LCDINIT
BYTEIN	FOR ... NEXT	SEROUT	CLS
OUT	GOTO		LOCATE
BYTEOUT	GOSUB		PRINT
OUTSTAT	RETURN	<b>ADRESSAGE «I2C/SPI»</b>	CSRON
TOGGLE		SHIFTIN	CSROFF
PULSE	<b>GÉNÉRATION SONORE</b>	SHIFTOUT	BUSOUT
	SOUND		SET PICBUS
<b>CONV. «A/N» ET «N/A»</b>	BEEP	<b>GESTION «EEPROM»</b>	<b>DIVERS</b>
ADIN	PLAY	EEWRITE	RND
PWM		EEREAD	TABLE
PWMOFF	<b>INSTRUCTIONS DIVERS</b>		ON ... GOTO
	FREQOUT	<b>INTERRUPTIONS</b>	BREAK
<b>GESTION TOUCHES</b>	CAPTURE	ON TIMER	COUNT
ADKEYIN	STEPOUT	ON INT	PEEK
PADIN	SERVO		POKE
KEYIN	CONST		DELAY
KEYDELAY	BCD		

Figure 5.8.

on peut voir que ce microcontrôleur est tout à fait désigné pour la gestion d'un robot.

Passons maintenant au vif du sujet.

### 5.2 LES SCHÉMAS DE PRINCIPE

Le schéma de principe montrant les différentes connexions à effectuer sur le PICBASIC-3H ainsi que son alimentation est donné en **figure 5.9**. Peu de choses sont à dire sur cette partie du robot puisque les connexions sont celles indiquées par le fabricant. L'alimentation est indépendante pour chacune des parties du mobile. Ainsi, le régulateur de tension IC<sub>2</sub> ne fournit le courant que pour le microcontrôleur. Il est de type à faible tension de déchet (environ 1 V), ce qui s'explique par le fait que l'alimentation est fournie par des accumulateurs. Arrivés un peu avant la fin de leur décharge complète, la tension baisse en deçà des 3 V nécessités par les régulateurs courants. Le nôtre fonctionnera encore normalement.

Douze lignes sur les vingt-neuf disponibles sont utilisées : huit pour la commande de la circuiterie des moteurs et quatre pour la prise en compte des ordres de la télécommande. Il en reste donc dix-sept pour les circuits externes que chacun pourrait vouloir ajouter au mobile.

Le schéma donné en **figure 5.10** décrit les modules de commande des moteurs pas-à-pas. On retrouve le schéma donné par ailleurs dans cet ouvrage puisque nous avons utilisé les L297 et L298 qui

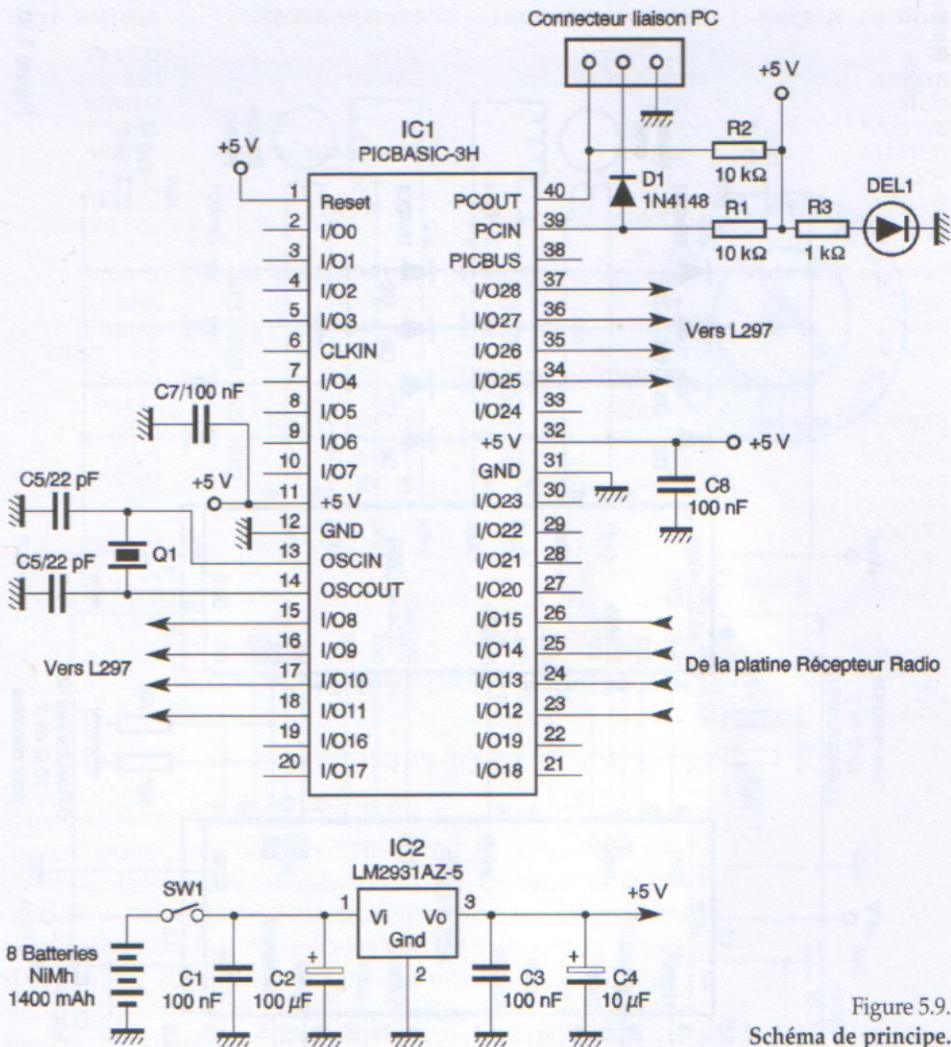


Figure 5.9.  
Schéma de principe.

représentent, à notre avis, l'une des meilleures solutions. Les résistances  $R_7$ ,  $R_8$ ,  $R_{12}$  et  $R_{13}$  utilisées pour la mesure du courant consommé par les différents bobinages des moteurs sont constituées, pour chacune d'entre elles, par la mise en parallèle de six résistances d'une valeur de  $10 \Omega$ . Nous obtenons une valeur approximative de  $1,6 \Omega$  et une puissance acceptable de  $3 \text{ W}$ . Cette solution permet un gain de place évident.

La partie logique nécessitant le + 5 V est alimenté au moyen d'un régulateur, également à faible tension de déchet, de type LM2940-CT5.



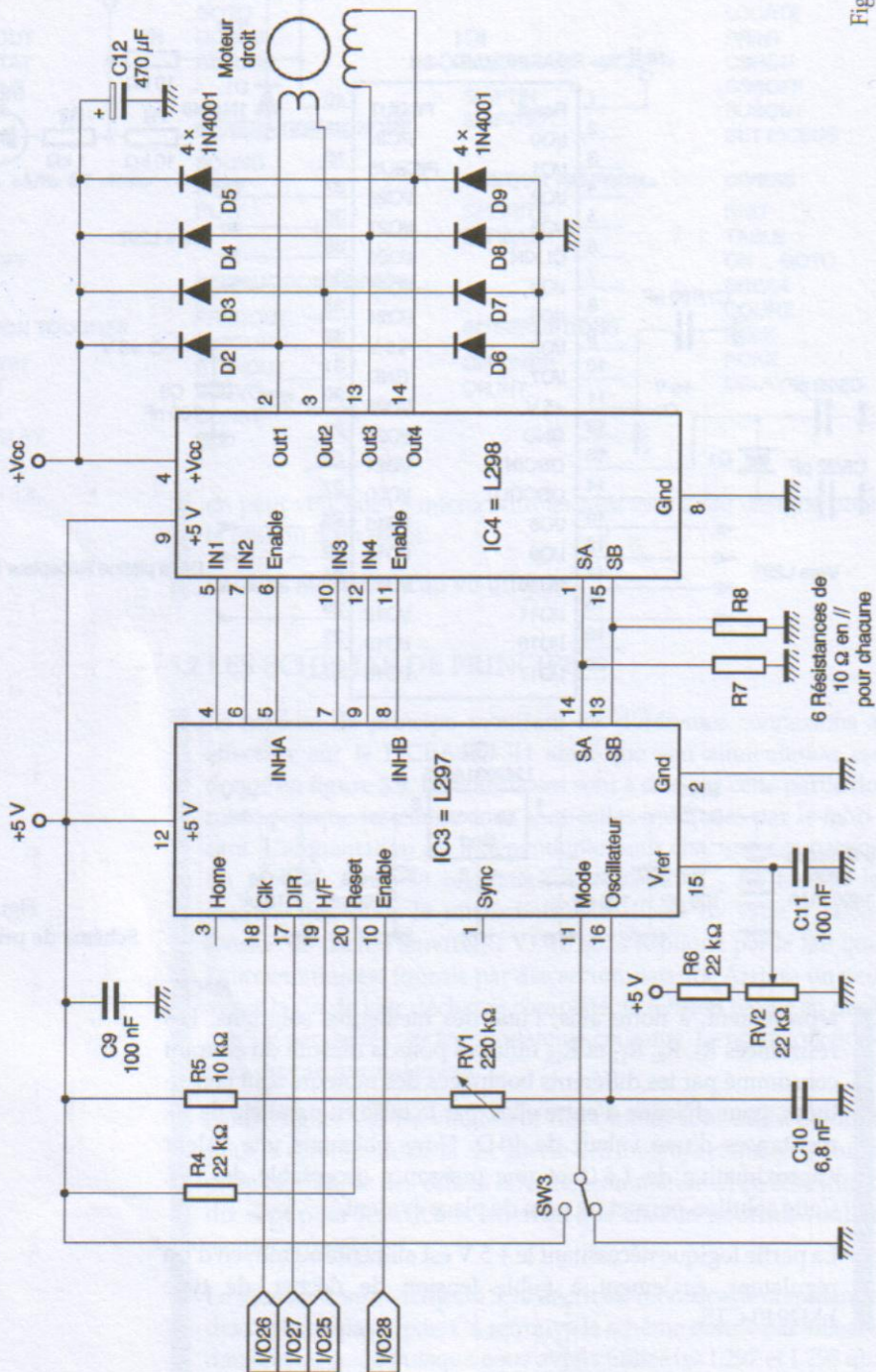


Figure 5.10.

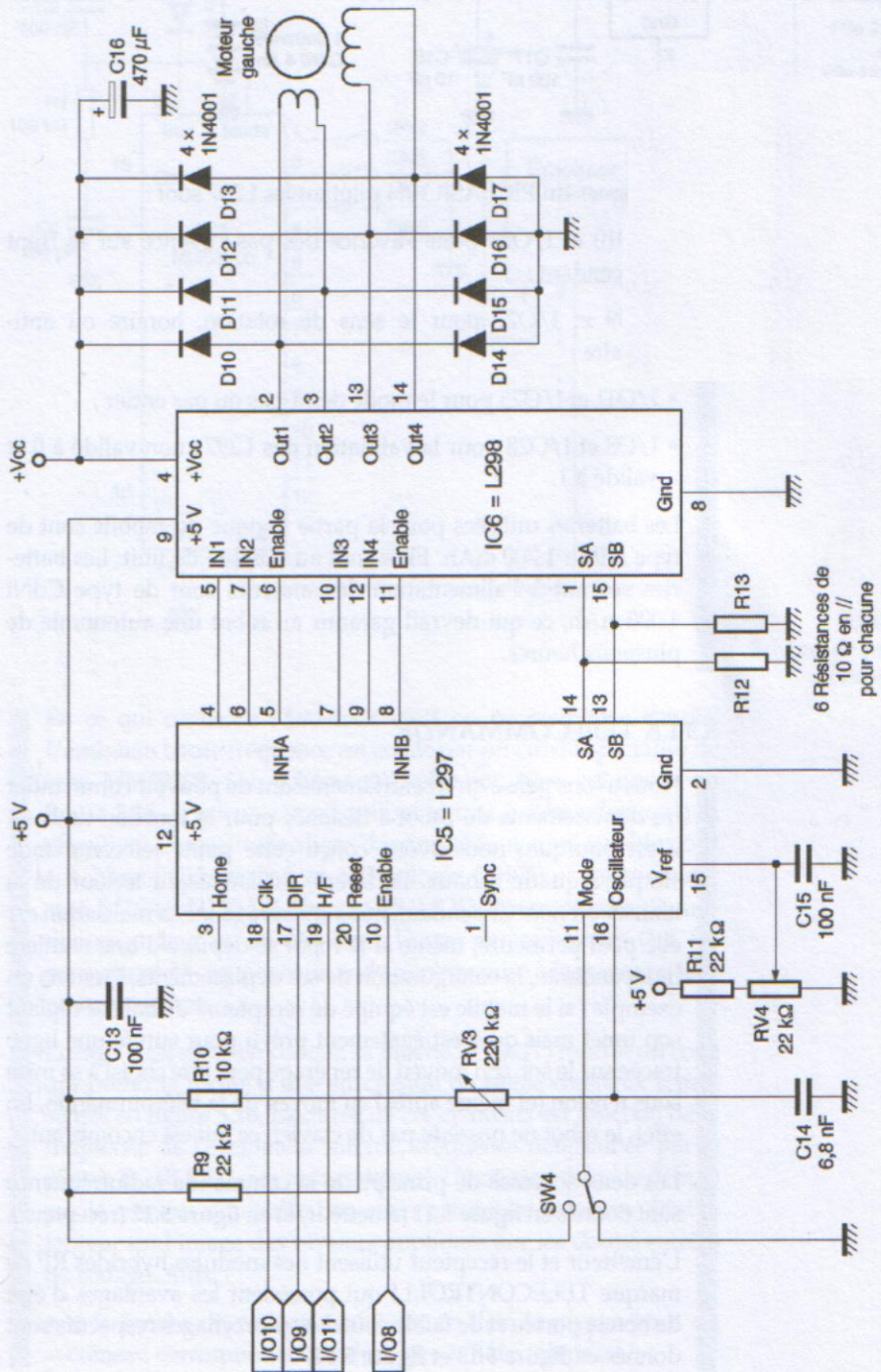


Figure 5.10. (suite)

© DUNOD - La photocopie non autorisée est un délit.



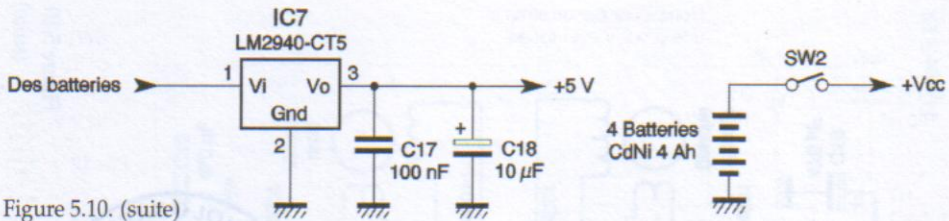


Figure 5.10. (suite)

Les lignes du PICBASIC-3H pilotant les L297 sont :

- I/O10 et I/O26 pour l'avance des pas : avance sur le front descendant ;
- I/O9 et I/O27 pour le sens de rotation, horaire ou anti-horaire ;
- I/O11 et I/O25 pour le mode demi-pas ou pas entier ;
- I/O8 et I/O28 pour la validation des L297 : non validé à 0 et validé à 1.

Les batteries utilisées pour la partie logique du mobile sont de type NiMh 1 700 mAh. Elles sont au nombre de huit. Les batteries servant à l'alimentation des moteurs sont de type CdNi 4 000 mAh, ce qui devrait garantir au robot une autonomie de plusieurs heures.

## 5.3 LA TÉLÉCOMMANDE

Nous avons pensé qu'il serait intéressant de pouvoir commander les déplacements du robot à distance pour la fonction de base. C'est pourquoi nous avons conçu cette petite télécommande simple à quatre canaux. La liberté est laissée au lecteur de la réaliser ou non. Cependant, nous encourageons sa réalisation car elle peut permettre, même si le robot se déplace d'une manière indépendante, la configuration de ses déplacements. Prenons un exemple : si le mobile est équipé de récepteurs de balises réglant son trajet mais qu'il est également prévu pour suivre une ligne tracée sur le sol, son moyen de repérage peut être choisi à sa mise sous tension (et même après) au moyen de la télécommande. En effet, le robot ne possède pas de clavier, ce qui est encombrant.

Les deux schémas de principe de la commande radiofréquence sont donnés en **figure 5.11** (émetteur) et en **figure 5.12** (récepteur).

L'émetteur et le récepteur utilisent des modules hybrides RF de marque TELECONTROLLI qui possèdent les avantages d'être de bonne portée et de faible coût. Leurs brochages respectifs sont donnés en **figure 5.13** et **figure 5.14**.



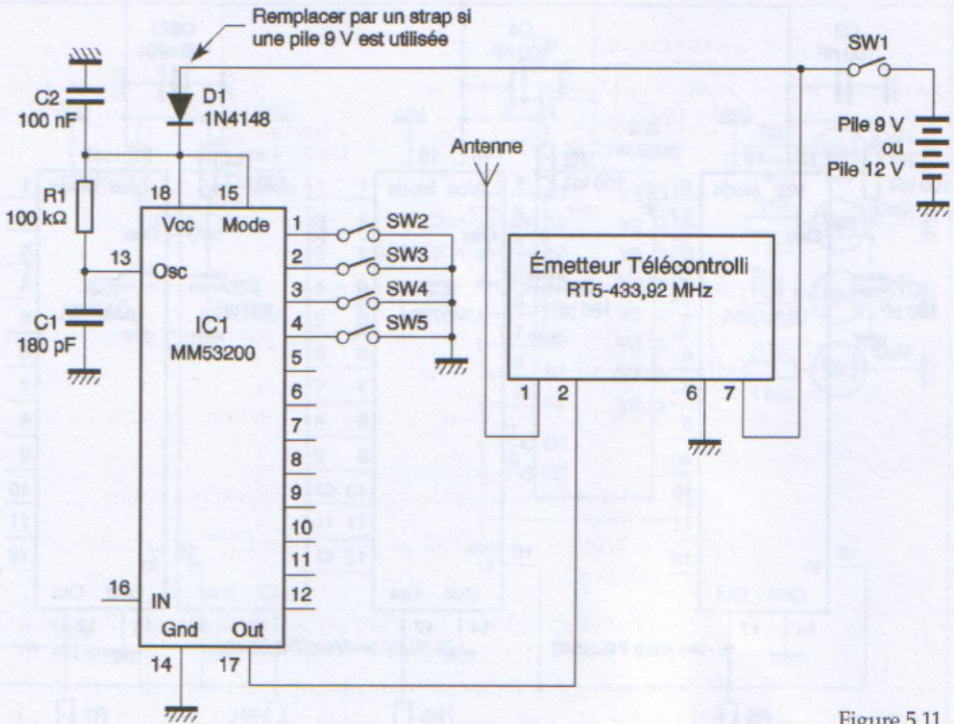


Figure 5.11.  
Schéma de principe  
de l'émetteur.

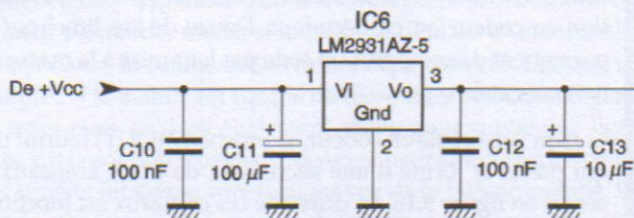
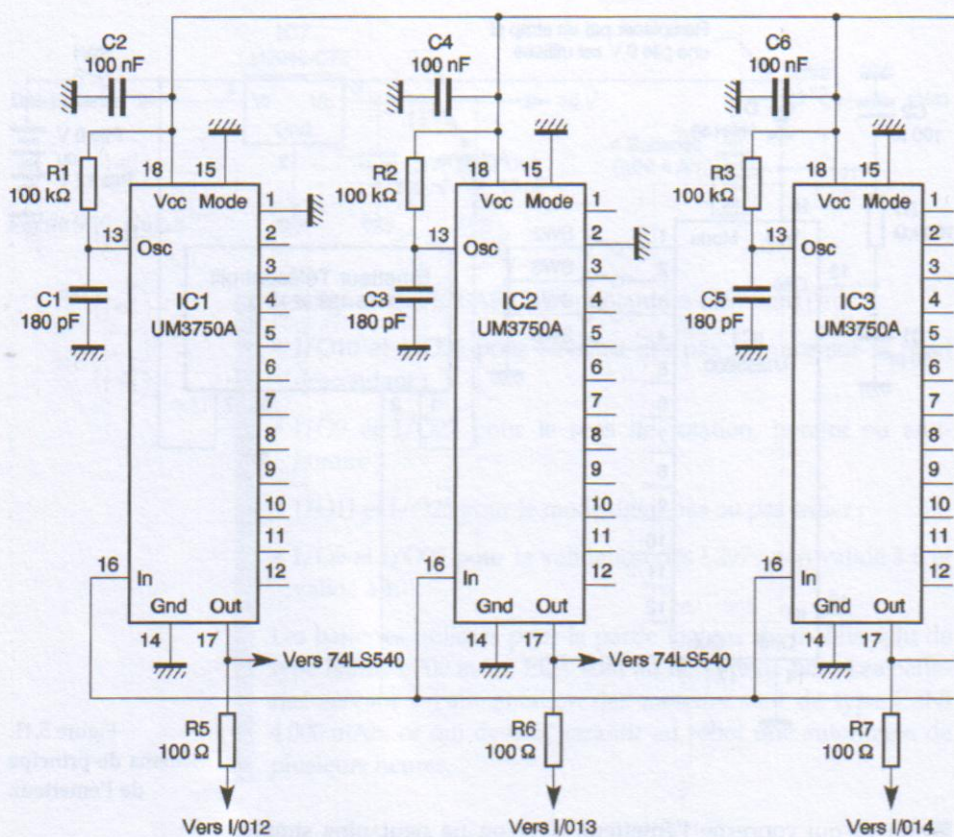
En ce qui concerne l'émetteur, c'est on ne peut plus simple. L'émission haute fréquence est codée par un circuit spécialisé de type MM53200. Son schéma d'application type est donné en **figure 5.15**. C'est un circuit utilisable tant à l'émission qu'à la réception. Ce que nous allons décrire est tout aussi valable pour son homologue réalisé en technologie CMOS et fonctionnant sous 5 V, l'UM3750A. La broche 15 (MODE) permet sa configuration en codeur ou en décodeur. Douze de ses broches (1 à 12) permettent de composer un code par leur mise à la masse ou leur non-connexion.

Lorsqu'il est câblé en codeur, sa broche 17 (OUT) fournit un code qui prend la forme d'une succession de treize créneaux représentés en **figure 5.16**. La durée de ces créneaux est fonction de la fréquence de l'oscillateur interne, fréquence déterminée par le réseau RC ( $R_1$  et  $C_1$  sur notre schéma). L'émission du code débute par le créneau d'initialisation suivi par douze créneaux dont la largeur est l'image des niveaux appliqués sur les douze entrées de codage. Ainsi :

- si la broche de codage est laissée en l'air, le niveau haut du créneau correspondant ne dure que 1/3 du temps ;



# MOTEURS PAS-À-PAS ET PC



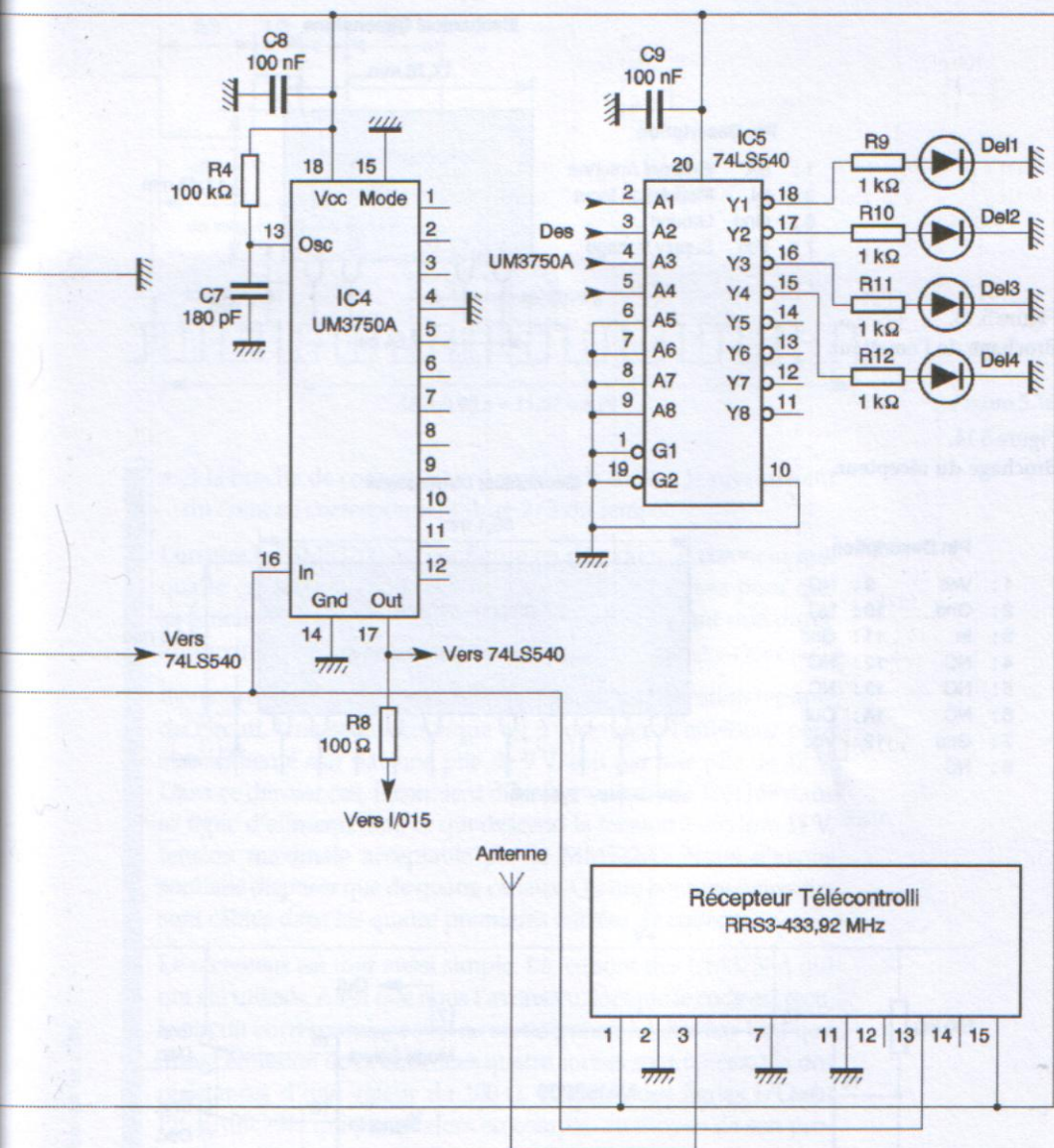


Figure 5.12.  
Schéma de principe  
du récepteur.



## Mechanical Dimensions

### Pin Description

- 1: EA External Antenna
- 2: IN Modulation Input
- 6: Gnd Ground
- 7: Vcc Supply Voltage

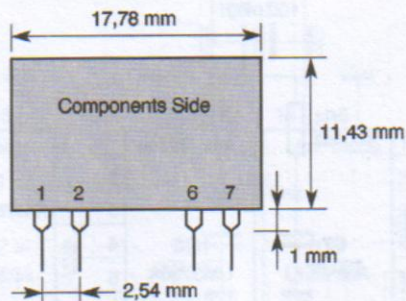


Figure 5.13.  
Brochage de l'émetteur.

Figure 5.14.  
Brochage du récepteur.

## Mechanical Dimensions

### Pin Description

- 1: Vcc
- 2: Gnd
- 3: In
- 4: NC
- 5: NC
- 6: NC
- 7: Gnd
- 8: NC
- 9: NC
- 10: NC
- 11: Gnd
- 12: NC
- 13: NC
- 14: Out
- 15: Vcc

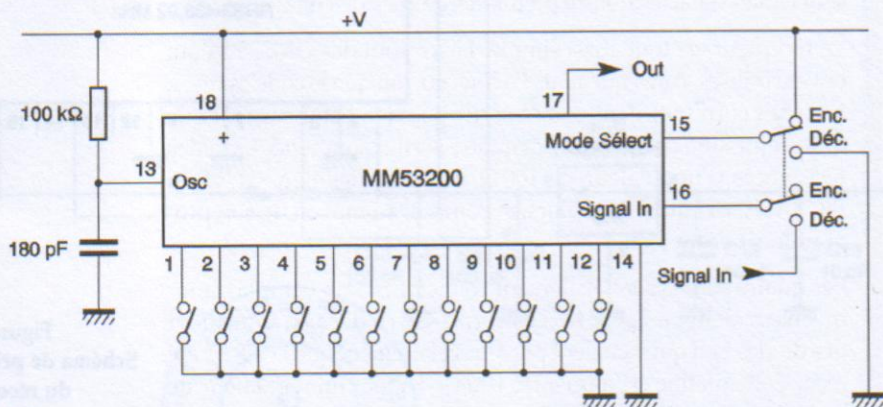
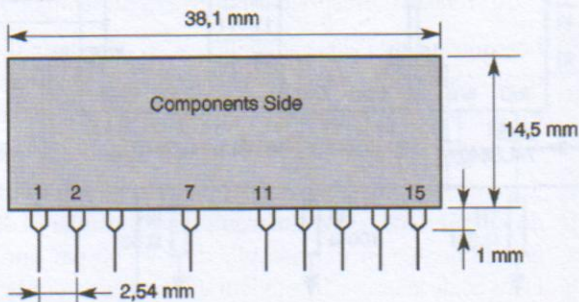


Figure 5.15.  
Schéma d'application.

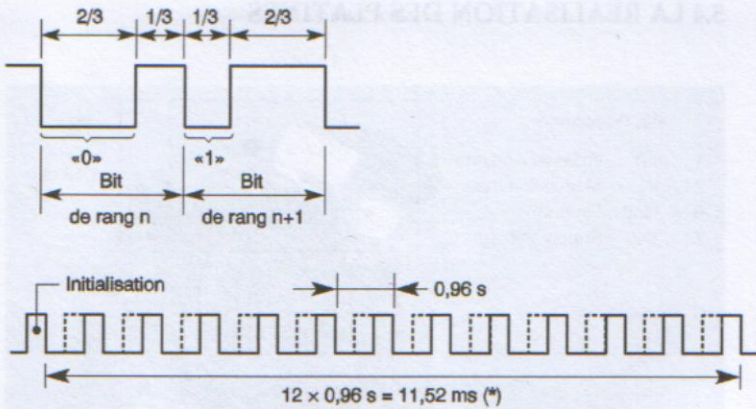


Figure 5.16.

- si la broche de codage est connectée à la masse, le niveau haut du créneau correspondant dure  $2/3$  du temps.

Lorsque le MM53200 est configuré en décodeur, il convient que quatre émissions identiques successives soient reçues pour que sa broche 17 passe de l'état haut à l'état bas pendant une durée approximative d'une seconde.

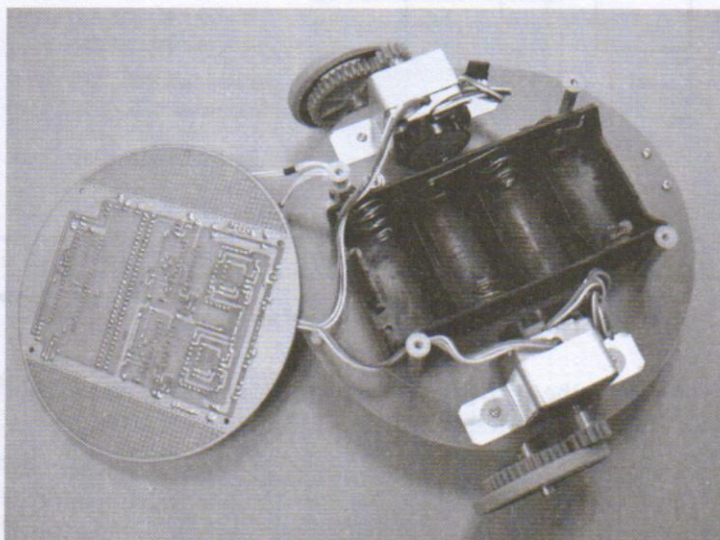
Revenons à notre schéma. Il n'est en fait que l'application typique du circuit. Une seule remarque est à formuler : l'émetteur peut être alimenté soit par une pile de 9 V, soit par une pile de 12 V. Dans ce dernier cas, il convient d'insérer une diode 1N4148 dans sa ligne d'alimentation, ce qui descend la tension à environ 11 V, tension maximale acceptable par le MM53200. Nous n'avons souhaité disposer que de quatre canaux. Quatre boutons poussoirs sont câblés dans les quatre premières entrées de codage.

Le récepteur est tout aussi simple. Là, ce sont des UM3750A qui ont été utilisés. Ainsi que nous l'avons vu, lorsque le code est reçu, le circuit correspondant voit sa sortie passer à l'état bas tant que dure l'émission de ce code. Les quatre sorties sont reliées, via des résistances d'une valeur de  $100 \Omega$ , à quatre des lignes I/O du PICBASIC-3H qui prend alors en compte, au moyen de son programme, l'ordre reçu.

Les quatre sorties sont également connectées à un octuple buffer inverseur de type 74LS540. Les sorties de ce dernier alimentent des diodes Led qui signalent par leur éclaircissement que l'ordre a été reçu. Cette platine est alimentée sous + 5 V par un régulateur de tension de type LM2931AZ-5.



### 5.4 LA RÉALISATION DES PLATINES



Les différents dessins des circuits imprimés sont donnés ci-après.

Pour le robot : figures 5.17, 5.18 et 5.19.

Pour la télécommande : figures 5.20, 5.21, 5.22 et 5.23.

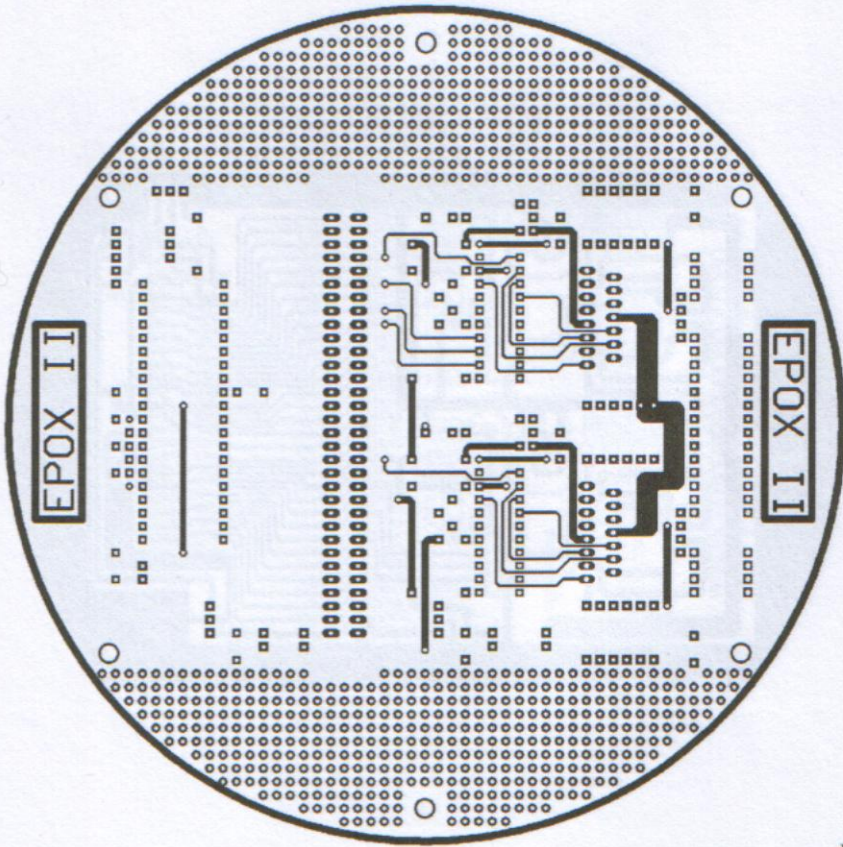


Figure 5.17.  
Tracé supérieur  
(côté composants)  
du circuit imprimé,  
réduit de 30 %.



LES RÉALISATIONS DÉTAILLÉES

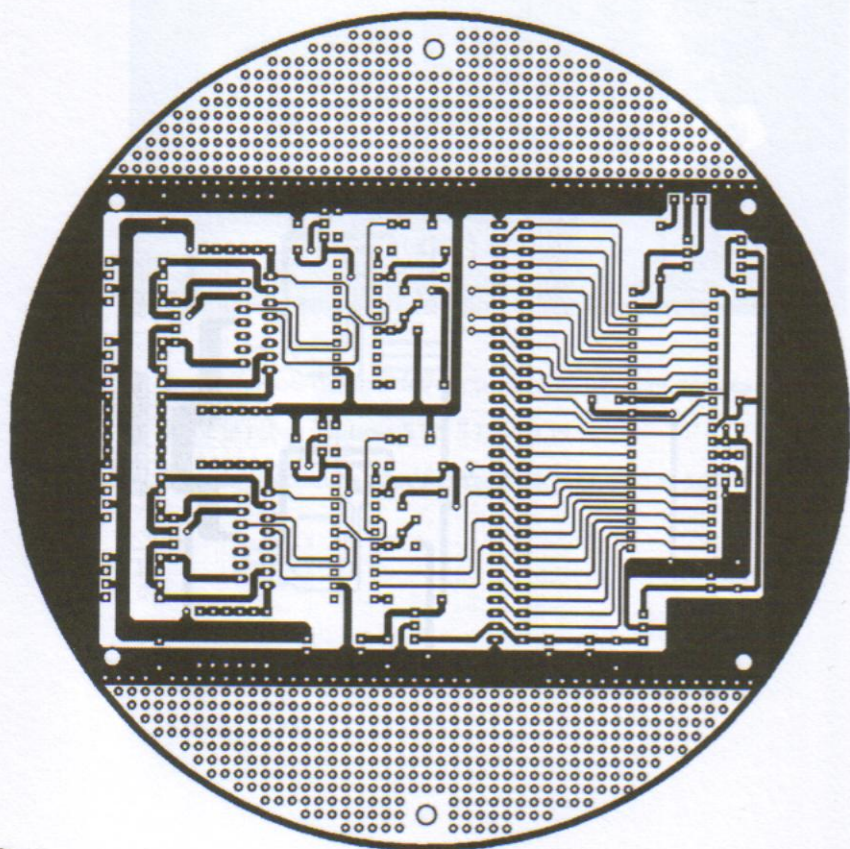


Figure 5.18.  
Tracé inférieur  
(côté soudures)  
du circuit imprimé,  
réduit de 30 %.

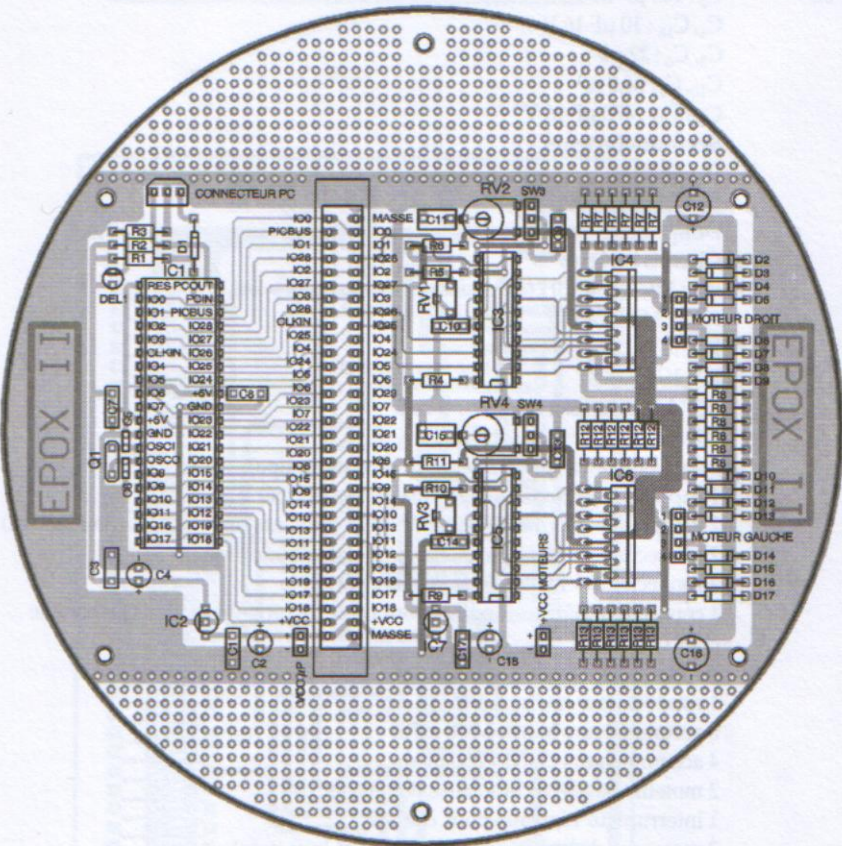


Figure 5.19.  
Implantation  
des composants,  
réduite de 30 %.



## Liste des composants du robot

### Résistances

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>5</sub>, R<sub>10</sub> : 10 kΩ (marron, noir, orange)

R<sub>3</sub> : 1 kΩ (marron, noir, rouge)

R<sub>4</sub>, R<sub>6</sub>, R<sub>9</sub>, R<sub>11</sub> : 22 kΩ (rouge, rouge, orange)

R<sub>7</sub>, R<sub>8</sub>, R<sub>12</sub>, R<sub>13</sub> : 24 résistances de 10 Ω (marron, noir, noir)

RV<sub>1</sub>, RV<sub>3</sub> : résistances ajustables 220 kΩ

RV<sub>2</sub>, RV<sub>4</sub> : résistances ajustables 22 kΩ

### Condensateurs

C<sub>1</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>7</sub>, C<sub>8</sub>, C<sub>9</sub>, C<sub>11</sub>, C<sub>13</sub>, C<sub>15</sub>, C<sub>17</sub> : 100 nF

C<sub>2</sub> : 100 μF 16 V

C<sub>4</sub>, C<sub>18</sub> : 10 μF 16 V

C<sub>5</sub>, C<sub>6</sub> : 22 pF

C<sub>10</sub>, C<sub>14</sub> : 6,8 nF

C<sub>12</sub>, C<sub>16</sub> : 470 μF 16 V

### Semi-conducteurs

D<sub>1</sub> : 1N4148

D<sub>2</sub> à D<sub>17</sub> : 1N4001

DEL<sub>1</sub> : diode électroluminescente

### Circuits intégrés

IC<sub>1</sub> : PICBASIC-3H (disponible chez Lextronic)

IC<sub>2</sub> : LM2931AZ-5

IC<sub>3</sub>, IC<sub>5</sub> : L297

IC<sub>4</sub>, IC<sub>6</sub> : L298

IC<sub>7</sub> : LM2940-CT5

### Divers

2 supports pour circuit intégré 20 broches (tulipe)

1 support pour circuit intégré 40 broches (tulipe)

2 dissipateurs thermiques (voir dessin d'implantation pour l'encombrement)

2 connecteurs mâles deux points pour circuit imprimé

2 connecteurs femelles deux points pour câble

1 connecteur mâle trois points pour câble de programmation (disponible chez Lextronic)

2 supports pour quatre piles

1 support pour quatre piles

8 accumulateurs NiMh 1 700 mAh

4 accumulateurs CdNi 4 000 mAh

2 moteurs pas-à-pas bipolaires bobinages 5 V

1 interrupteur bipolaire pour châssis

2 morceaux de barrette sécable de picots trois points

2 cavaliers type informatique

2 roues (diamètre selon pignon)

2 pignons petit diamètre et deux pignons grand diamètre (nombre de dents pour obtenir une démultiplication de 3 à 5)

1 connecteur DIN 41612 mâle droit pour circuit imprimé 64 points implantation en A et C

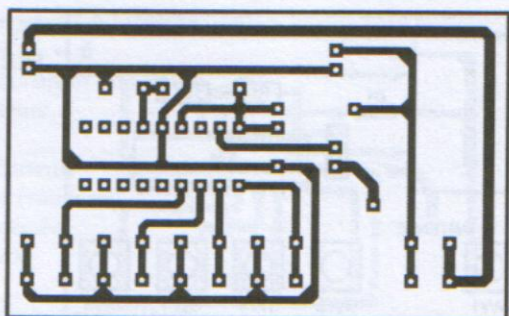


Figure 5.20.  
Tracé  
du circuit imprimé  
de l'émetteur.

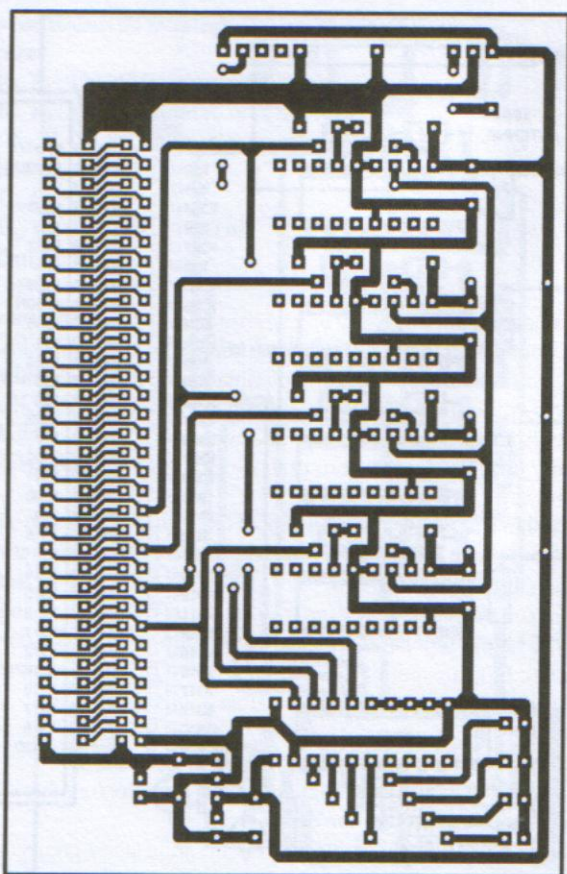


Figure 5.21.  
Tracé  
du circuit imprimé  
du récepteur.



Figure 5.22.  
Dessin  
de l'implantation  
des composants  
de l'émetteur.

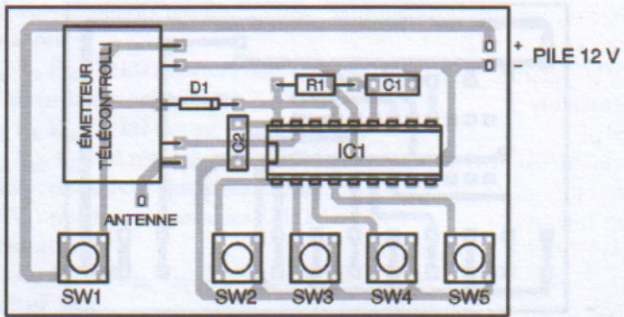
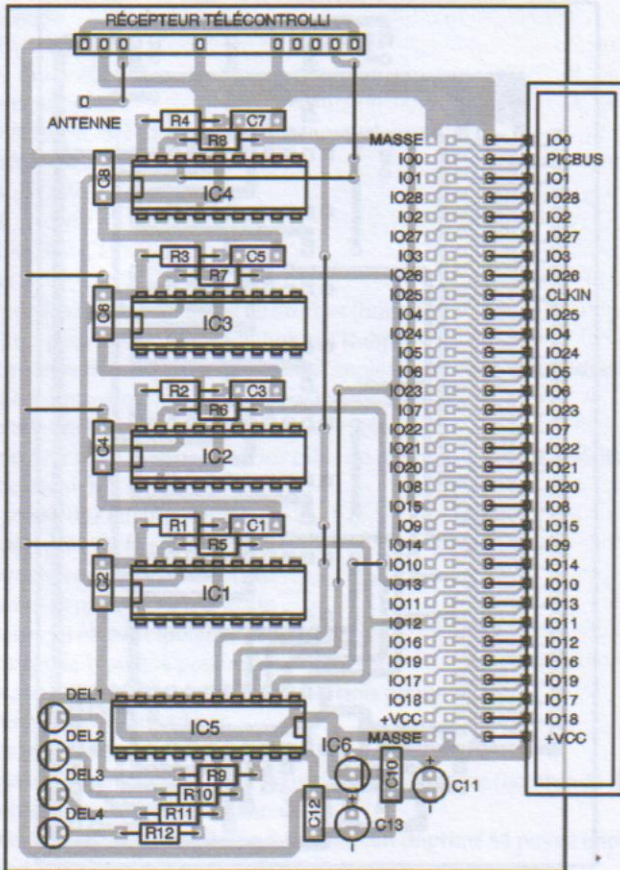


Figure 5.23.  
Dessin  
de l'implantation  
des composants  
du récepteur.



*Liste des composants de l'émetteur***Résistances**

$R_1$  : 100 k $\Omega$  (marron, noir, jaune)

**Condensateurs**

$C_1$  : 180 pF

**Semi-conducteurs**

$D_1$  : 1N4148 (voir texte)

**Circuits intégrés**

$IC_1$  MM53200

**Divers**

4 boutons poussoirs miniatures

1 module émetteur TELECONTROLLI RT5-433,92 MHz (Lextronic)

1 antenne

*Liste des composants du récepteur***Résistances**

$R_1, R_2, R_3, R_4$  : 100 k $\Omega$  (marron, noir, jaune)

$R_5, R_6, R_7, R_8$  : 100 k $\Omega$  (marron, noir, marron)

$R_9, R_{10}, R_{11}, R_{12}$  : 1 k $\Omega$  (marron, noir, rouge)

**Condensateurs**

$C_1, C_3, C_5, C_7$  : 180 pF

$C_2, C_4, C_6, C_8, C_9, C_{10}, C_{12}$  : 100 nF

$C_{11}$  : 100  $\mu$ F 16 V

$C_{13}$  : 10  $\mu$ F 16 V

**Semi-conducteurs**

$DEL_1, DEL_2, DEL_3, DEL_4$  : diodes électroluminescentes rouges

**Circuits intégrés**

$IC_1, IC_2, IC_3, IC_4$  : UM3750A

$IC_5$  : 74LS540

$IC_6$  : LM2931AZ-5

**Divers**

1 module récepteur TELECONTROLLI RRS3-433,92 MHz (Lextronic)

4 supports pour circuit intégré 18 broches et 1 support pour circuit intégré

20 broches

1 antenne

1 connecteur DIN 41612 femelle coudé pour circuit imprimé 64 points

implantation en A et C



Bien que la réalisation d'un circuit imprimé double face soit plus compliquée pour l'amateur, nous avons pourtant choisi cette technique afin de diminuer la surface utilisée. Si l'on ne souhaite pas réaliser sur la même plaque un tel circuit, il reste une alternative : utiliser deux plaques d'époxy de 6/10<sup>e</sup> de millimètres d'épaisseur et les accoler dos à dos.

Le câblage ne devrait pas poser de problèmes insurmontables au regard du peu de composants utilisés.

Les seuls straps à implanter sont sur la platine du récepteur et un seul sur la platine de l'émetteur (suppression de la diode 1N4148 dans le cas de l'utilisation d'une pile de 9 V).

Le récepteur est connecté à la platine électronique du robot au moyen d'un connecteur femelle coudé de type DIN 41612. Le connecteur mâle droit du même type est soudé sur la platine du robot.

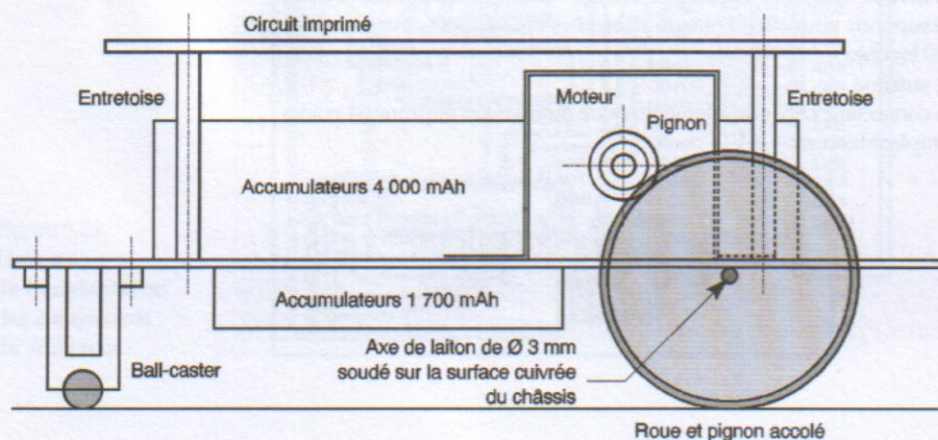
L'implantation des composants étant achevée, on passera à une vérification minutieuse des soudures et des pistes afin de s'assurer qu'aucun court-circuit ou aucune microcoupure n'existe.

On pourra alors passer à la réalisation de la mécanique (très simple du robot.

## 5.5 LA MÉCANIQUE

Les dessins représentés en **figure 5.24** donnent la vue de côté du robot EPOX II. EPOX II est en effet son nom, et il y a deux raisons très simples à cela : sa structure est en verre époxy cuivré et c'est le second de ce type que nous réalisons.

Figure 5.24.  
Vue de côté  
du robot EPOX II.



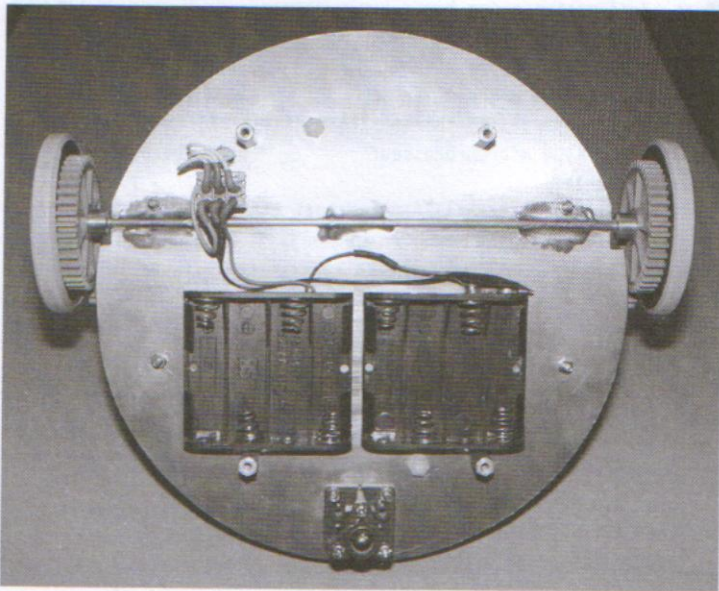


Comme on l'aperçoit sur la figure et sur les photographies illustrant ce chapitre, le châssis d'EPOX II n'est constitué que d'une surface ronde découpée dans une plaque d'époxy cuivré de  $300 \times 200$  mm. C'est un matériau qui présente toutes les qualités nécessaires : il est solide, se coupe et se perce facilement, et il est facilement disponible. Le circuit imprimé étant également circulaire, il ne reste plus qu'à le fixer au moyen de quatre entretoises au-dessus du châssis. Les trous sont déjà repérés par des pastilles.

Les axes des moteurs sont décalés d'un centimètre par rapport à l'axe du cercle constituant la structure. Les moteurs sont fixés au moyen de morceaux de feuille d'aluminium de  $5/10^e$  de millimètre d'épaisseur et enveloppés autour de ces derniers. Ils sont ensuite vissés sur le châssis. L'axe des roues sera situé en fonction du diamètre des pignons qui les entraîneront.

Les quatre accumulateurs CdNi sont placés dans un support de quatre piles et placés sous le circuit imprimé. Les huit accumulateurs NiMh sont également placés dans un ou deux supports de piles collés à la colle néoprène sur la face inférieure du châssis.

La roue arrière est un « ball-caster » facilement disponible chez les revendeurs de composants spécialisés dans la robotique.





## 5.6 LES ESSAIS

Après avoir réalisé l'assemblage des différentes pièces mécaniques et électriques constituant EPOX II, il convient de relier le connecteur de celui-ci à l'ordinateur PC au moyen du câble que l'on se sera procuré. Ce raccordement est effectué lorsque le robot est hors tension, sous risque de détérioration du microcontrôleur PICBASIC-3H.

Sous PICBASIC STUDIO, on tape le programme donné ci-dessous :

```

*****
'Programme robot EPOX II
*****
'Attribution des ports I/O
'
'Port 8=validation L297: 0=non validé, 1=validé
'Port 9=sens de rotation
'Port 10=entrée d'horloge
'Port 11=demi-pas ou pas entier: 1=demi-pas, 0=pas entier
'Port 25=demi-pas ou pas entier: 1=demi-pas, 0=pas entier
'Port 26=entrée d'horloge
'Port 27=sens de rotation
'Port 28=validation L297: 0=non validé, 1=validé
'Port 12=réception ordre 1
'Port 13=réception ordre 2
'Port 14=réception ordre 3
'Port 15=réception ordre 4
*****
'Déclaration type microprocesseur
const device=3h
*****
'Déclarations variables
dim A as byte
dim B as byte
dim C as byte
dim D as byte
*****
goto TELECOMMANDE
*****
TELECOMMANDE:
    out 8,0:out 28,0:'Dévalidation des L297
    out 9,1:out 27,0:'Sens de rotation, en avant
    out 11,0:out 25,0:'Pas entiers
    A=in(12)
    B=in(13)
    C=in(14)
    D=in(15)
    if A=0 then goto AVANCE:'Touche 1
    if B=0 then goto DROITE:'Touche 2

```

```

if C=0 then goto GAUCHE : 'Touche 3
if D=0 then goto REcule : 'Touche 4
goto TELECOMMANDE
'*****
AVANCE:
  out 9,1:out 27,0
  out 8,1:out 28,1
  out 10,1:out 26,1
  delay 1
  out 10,0:out 26,0
  delay 1
  A=in(12):if A=0 then goto AVANCE
  if A=1 then goto TELECOMMANDE
'*****
DROITE:
  out 9,0:out 27,0
  out 8,1:out 28,1
  out 10,1:out 26,1
  delay 1
  out 10,0:out 26,0
  delay 1
  B=in(13):if B=0 then goto DROITE
  if B=1 then goto TELECOMMANDE
'*****
GAUCHE:
  out 9,1:out 27,1
  out 8,1:out 28,1
  out 10,1:out 26,1
  delay 1
  out 10,0:out 26,0
  delay 1
  C=in(14):if C=0 then goto GAUCHE
  if C=1 then goto TELECOMMANDE
'*****
REcule:
  out 9,0:out 27,1
  out 8,1:out 28,1
  out 10,1:out 26,1
  delay 1
  out 10,0:out 26,0
  delay 1
  D=in(15):if D=0 then goto REcule
  if D=1 then goto TELECOMMANDE
'*****

```

Une fois saisi, on télécharge le programme dans le microcontrôleur par la fonction appropriée. Il ne reste plus qu'à agir sur les boutons poussoirs de l'émetteur de télécommande pour voir EPOX II se mouvoir dans toutes les directions.





# ANNEXE

Nous donnons ci-dessous la façon de piloter les lignes de données et les lignes de contrôle de l'interface parallèle d'un ordinateur de type PC. Cette dernière peut être située à l'adresse 378h pour LPT1 ou 278h pour LPT2 en ce qui concerne le port de données ; le port de contrôle peut être adressé en 37Ah (LPT1) ou 27Ah (LPT2). Les lignes de statut se situent à l'adresse 379h (LPT1) ou 279h (LPT2).

## Port de données

- OUT &H378, 0 → positionne toutes les lignes de données à 0
- OUT &H378, 255 → positionne toutes les lignes de données à 1

## Port de contrôle

- OUT &H37A, 11 → positionne toutes les lignes de contrôle à 0
- OUT &H37A, 4 → positionne toutes les lignes de contrôle à 1
- OUT &H37A, 10 → positionne la ligne STROBE à 1
- OUT &H37A, 9 → positionne la ligne AUTOFEED à 1
- OUT &H37A, 15 → positionne la ligne INITIALIZE à 1
- OUT &H37A, 3 → positionne la ligne SELECT IN à 1
- OUT &H37A, 5 → positionne la ligne STROBE à 0
- OUT &H37A, 6 → positionne la ligne AUTOFEED à 0
- OUT &H37A, 0 → positionne la ligne INITIALIZE à 0
- OUT &H37A, 12 → positionne la ligne SELECT IN à 0

379h            LECTURE DES LIGNES DE STATUT  
Bit 3 :        ERROR (erreur)  
Bit 4 :        SELECT (imprimante connectée)  
Bit 5 :        PAPER END (plus de papier)  
Bit 6 :        ACKNOWLEDGE (acquiescement)  
Bit 7 :        BUSY (imprimante occupée)

37Ah            ECRITURE DES LIGNES DE CONTROLE  
Bit 0 :        STROBE  
Bit 1 :        AUTOFEED  
Bit 2 :        INITIALISATION  
Bit 3 :        SELECT IN



## MOTEURS PAS-À-PAS ET PC

- Bit 4 : autorisation interruption  
lorsque ce bit est mis à 0, l'écriture des données s'effectue sur le port lorsqu'il est positionné à 1, la lecture peut alors être faite. Ce bit ne peut être positionné que sur les ports bidirectionnels





# Moteurs pas-à-pas et PC

Les moteurs pas-à-pas sont aujourd'hui très largement utilisés dès qu'un système mécanique doit être positionné angulairement avec précision, ou doit fonctionner à vitesse variable. Ces moteurs, qui nécessitent une électronique de commande, sont l'interface idéale entre l'électronique numérique et la mécanique. Leurs immenses qualités font qu'ils sont employés dans des domaines d'application toujours plus nombreux et plus variés :

- robotique (positionnement des axes, vitesse variable du robot, etc.) ;
- informatique (déplacement d'une tête de lecture d'un lecteur, déplacement de la tête d'impression, avance du papier pour les imprimantes, commande des axes pour les tables traçantes, etc.) ;
- astronomie (positionnement du télescope pour suivre un astre par exemple) ;
- réception TV par satellites (positionnement d'une parabole).

Et ce ne sont là que quelques-unes des applications que la lecture de ce livre vous permettra d'appréhender au gré de vos besoins et de votre imagination. Technologie et commande des moteurs pas-à-pas, circuits intégrés spécialisés dans la commande de ces moteurs, réalisation d'interfaces de commandes diverses à partir d'un PC : tout y est exposé et conçu de manière à ce que la découverte se fasse... pas à pas, et ce au travers de nombreux montages commentés et illustrés.



MOTEURS PAS-A-446116

67227 140305  
0002

0  
9  
U  
4

... avoir été journaliste technique durant plusieurs  
... désormais à l'écriture d'ouvrages techniques dont  
... principalement orientés vers l'électronique de loisirs et  
... des modernes.

[www.dunod.com](http://www.dunod.com)



Un ensemble de fichiers en rapport direct avec ce livre - tels que tracés des pistes de circuits imprimés et listings de programmes - est téléchargeable sur Internet. Vous trouverez l'adresse de téléchargement en pages intérieures.

ISBN 2 10 007174 2