

# Mesureur de distances

Ce montage permet la mesure de distances relativement importantes, au mètre près. Il s'avère particulièrement pratique pour tout ce qui touche à l'arpentage, au calcul des surfaces des terrains ou encore à la détermination des longueurs de parcours sportifs, par exemple.

**U**ne roue guidée par un bâti adapté permettant un maniement simple de l'appareil se déplace sur le sol. Elle comporte, au niveau de sa jante, un aimant permanent qui défile devant un ILS (interrupteur à lames souples) placé sur la fourche de guidage. Les fermetures périodiques de ce dernier mettent ainsi en évidence le nombre de tours qu'effectue la roue lors d'un parcours donné. Voilà pour la partie mécanique (**figure 1**). L'électronique prend ensuite le relais. Chaque tour de roue correspond en fait à un nombre précis, exprimé en millimètres, correspondant à la circonference. C'est ce nombre qui est incrémenté par un dispositif de comptage.

Par la suite et après avoir effectué une division par 1000, le résultat du comptage parvient à un afficheur à cristaux liquides de quatre digits, ce qui permet un affichage maximal de 9999 mètres. En fait, la capacité de mesure n'est pas limitée par cette valeur. Lors de l'incrémantation suivante, l'affichage entreprend un nouveau cycle en passant par la valeur zéro.

## Fonctionnement

### Alimentation

La source d'énergie est une pile de 9 V qu'un interrupteur met en service. Le découplage entre la pile et la partie aval du montage est assuré par la capacité C1 (**figure 2**).



Étant donné le recours à un affichage à cristaux liquides, la consommation est vraiment réduite au minimum : environ 2 mA. Il en résulte une autonomie très importante du mesureur.

### Initialisation lors de la mise sous tension

Lors de la fermeture de l'interrupteur « I », la capacité C3 se charge à travers R1. Il en résulte une impulsion

positive d'une durée d'environ 1 s sur l'armature négative de C3.

Cette impulsion assure la remise à zéro de tous les compteurs du système. Sur l'afficheur apparaît alors l'indication « 0000 ». À noter qu'à tout moment il est possible d'obtenir le même résultat en appuyant sur le bouton-poussoir BP.

### Fermeture de l'ILS

A chaque fermeture de l'ILS, il se produit la charge rapide de C4 à travers R3. En règle générale, cette fermeture est très brève : de l'ordre de quelques millisecondes. L'impulsion positive qui en découle est aussitôt acheminée sur l'entrée d'une bascule R/S (Reset/Set), constituée des portes NOR (I) et (II) de IC1.

Rappelons que toute impulsion positive sur l'entrée (1) d'une telle bascule a pour effet de faire passer sa sortie (4) à un état « haut » stable. Cette sortie repasse à l'état « bas » seulement quand l'entrée (6) de la bascule est soumise à son tour à une impulsion positive.

Nous verrons ultérieurement dans quelles conditions cela se produit.

Lorsque l'ILS s'ouvre, la capacité C4 se décharge à travers R2 et R3 de manière à être prête pour remplir son rôle lors de la prochaine fermeture de l'ILS.

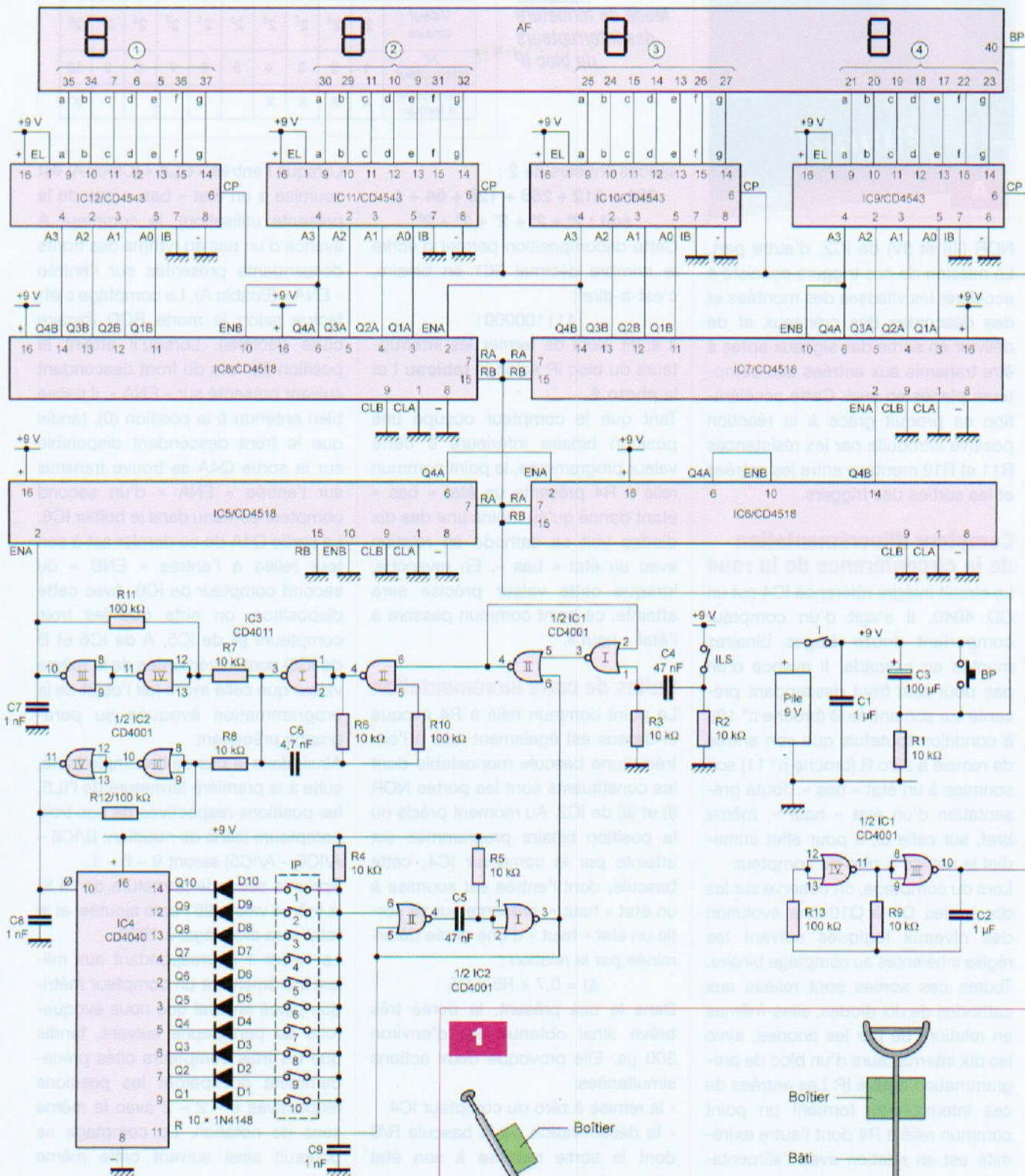
### Génération des signaux de comptage

Les portes NAND (I) et (II) de IC3 forment un oscillateur « commandé » qui est opérationnel tant que son entrée (6) est soumise à un état « haut ». Si tel est le cas, on relève sur sa sortie des créneaux de forme carrée dont la période est déterminée par les valeurs de R6 et C6. Plus précisément, cette période se calcule par le biais de la relation :

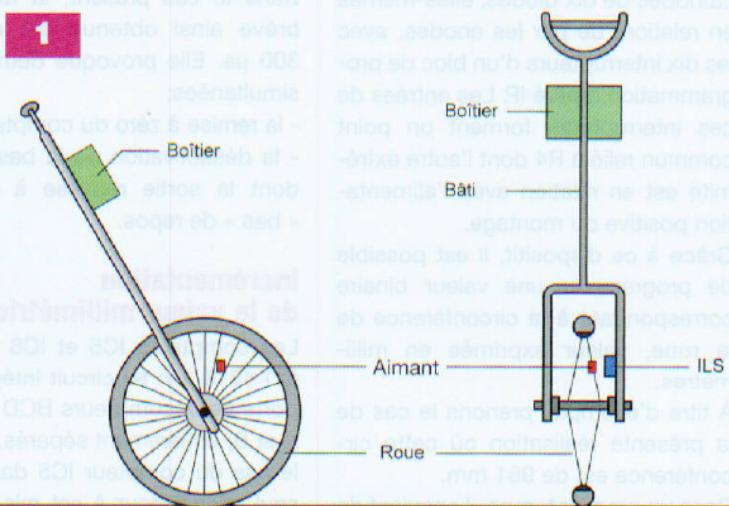
$$T = 2,2 \times R6 \times C6$$

Le lecteur vérifiera que la valeur obtenue est de 100 µs, ce qui correspond à une fréquence de 10 kHz.

Les signaux sont ensuite pris en compte par deux triggers de Schmitt formés par les portes NAND (III) et (IV) de IC3, d'une part, et par les portes

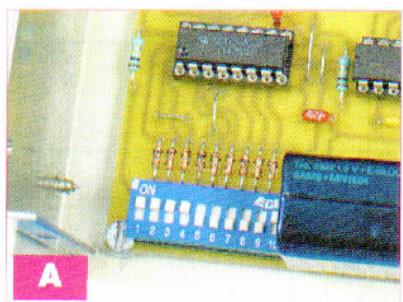


1



2

Antennes - el uoq aéru -  
tutu



NOR (III) et (IV) de IC2, d'autre part. La mission de ces triggers consiste à accélérer les vitesses des montées et des descentes des créneaux et de délivrer en sortie des signaux aptes à être transmis aux entrées des compteurs placés en aval. Cette accélération se produit grâce à la réaction positive introduite par les résistances R11 et R12 montées entre les entrées et les sorties des triggers.

## Compteur d'incrémentation de la circonference de la roue

Le circuit intégré référencé IC4 est un CD 4040. Il s'agit d'un compteur comportant douze étages binaires montés en cascade. Il avance d'un pas pour tout front descendant présenté sur son entrée Ø (broche n° 10), à condition toutefois que son entrée de remise à zéro R (broche n° 11) soit soumise à un état « bas ». Toute présentation d'un état « haut », même bref, sur celle-ci, a pour effet immédiat la remise à zéro du compteur. Lors du comptage, on observe sur les dix sorties Q1 à Q10 une évolution des niveaux logiques suivant les règles inhérentes au comptage binaire. Toutes ces sorties sont reliées aux cathodes de dix diodes, elles-mêmes en relation, de par les anodes, avec les dix interrupteurs d'un bloc de programmation repéré IP. Les entrées de ces interrupteurs forment un point commun relié à R4 dont l'autre extrémité est en relation avec l'alimentation positive du montage.

Grâce à ce dispositif, il est possible de programmer une valeur binaire correspondant à la circonference de la roue, valeur exprimée en millimètres.

À titre d'exemple, prenons le cas de la présente réalisation où cette circonference est de 961 mm.

Dans un premier temps, il convient de décomposer cette valeur en puis-

**Tableau I**  
**Mode de fermeture des interrupteurs du bloc IP**

Valeur binaire	$2^9$	$2^8$	$2^7$	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
N° Interrupteur	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Interrupteur à fermer	X	X	X	X						X

sances entières de 2 :

$$961 = 512 + 256 + 128 + 64 + 1$$

soit :  $2^9 + 2^8 + 2^7 + 2^6 + 2^0$

Cette décomposition permet d'écrire le nombre décimal 961 en binaire, c'est-à-dire :

1111000001

Il suffit alors de fermer les interrupteurs du bloc IP selon le tableau I et la photo A.

Tant que le compteur occupe une position binaire inférieure à cette valeur programmée, le point commun relié à R4 présente un état « bas » étant donné qu'au moins une des dix diodes voit sa cathode en relation avec un état « bas ». En revanche, lorsque cette valeur précise sera atteinte, ce point commun passera à l'état « haut ».

## Suites de cette incrémentation

Le point commun relié à R4 évoqué ci-dessus est également relié à l'entrée d'une bascule monostable dont les constituants sont les portes NOR (I) et (II) de IC2. Au moment précis où la position binaire programmée est atteinte par le compteur IC4, cette bascule, dont l'entrée est soumise à un état « haut », présente sur sa sortie un état « haut » d'une durée déterminée par la relation :

$$\Delta t = 0,7 \times R5 \times C5$$

Dans le cas présent, la durée très brève ainsi obtenue est d'environ 300 µs. Elle provoque deux actions simultanées :

- la remise à zéro du compteur IC4
- la désactivation de la bascule R/S dont la sortie repasse à son état « bas » de repos.

## Incrémentation de la valeur millimétrique

Les compteurs IC5 et IC6 sont des CD 4518. Un tel circuit intégré comporte deux compteurs BCD nommés A et B, entièrement séparés. Prenons le cas du compteur IC5 dans lequel seul le compteur A est mis à contribution.

Lorsque l'entrée « CLA » (Clock A) est soumise à un état « bas » (cas de la présente utilisation), le compteur A avance d'un pas au rythme des fronts descendants présentés sur l'entrée « ENA » (Enable A). Le comptage s'effectue selon le mode BCD (binaire codé décimal). Lorsqu'il atteint la position (9), lors du front descendant suivant présenté sur « ENA », il passe bien entendu à la position (0), tandis que le front descendant disponible sur la sortie Q4A se trouve transmis sur l'entrée « ENA » d'un second compteur contenu dans le boîtier IC6. La sortie Q4A de ce dernier est à son tour reliée à l'entrée « ENB » du second compteur de IC6. Avec cette disposition, on note que les trois compteurs (A de IC5, A de IC6 et B de IC6) sont incrémentés de la même valeur que celle ayant fait l'objet de la programmation évoquée au paragraphe précédent.

Ainsi, dans le cas de l'exemple traité, suite à la première fermeture de l'ILS, les positions respectives de ces trois compteurs (sens de notation: B/IC6 – A/IC6 – A/IC5) seront 9 – 6 – 1.

Après la seconde fermeture de l'ILS, la même valeur 961 sera ajoutée et le total sera alors égal à 1922.

La valeur 1 (correspondant aux mille) incrémentera un compteur métrique placé en aval que nous évoquerons au paragraphe suivant, tandis que les trois compteurs cités précédemment occuperont les positions respectives 9 – 2 – 2 avec le même sens de notation. Le comptage se poursuit ainsi suivant cette même logique.

## Incrémentation de la valeur métrique

Les circuits intégrés IC7 et IC8, toujours des CD 4518, forment un ensemble de quatre compteurs correspondant au comptage métrique des :

- unités pour le « compteur A » de IC7
- dizaines pour le « compteur B » de IC7

- centaines pour le « compteur A » de IC8  
- mille pour le « compteur B » de IC8. Le compteur des unités (« compteur A » de IC7) reçoit les fronts descendants délivrés par la sortie Q4B de IC6 par l'intermédiaire de son entrée « ENA ». On notera que l'ensemble des entrées de remise à zéro (RA et RB) de tous les compteurs est soumis à l'impulsion positive d'initialisation qui se produit lors de la mise sous tension du montage. De même, tous ces compteurs peuvent être remis à zéro à tout moment par un simple appui sur le bouton-poussoir BP.

### Décodage et affichage

Les sorties Qn de l'ensemble formé par IC7 et IC8 sont reliées, pour un compteur donné, aux quatre entrées A0 à A3 des quatre circuits décodeurs référencés IC9 à IC12. Il s'agit de CD 4543 qui sont des décodeurs BCD → 7 segments plus particulièrement destinés à « driver » un affichage à cristaux liquides.

Il convient, en effet, de rappeler que ce type d'affichage nécessite une alimentation des segments en alternant sans cesse les états « haut » et les états « bas », contrairement aux segments constitués par des leds. C'est la raison pour laquelle un oscillateur formé par les portes NOR (III) et (IV) de IC1 génère en permanence des créneaux sous une fréquence de l'ordre de 45 Hz.

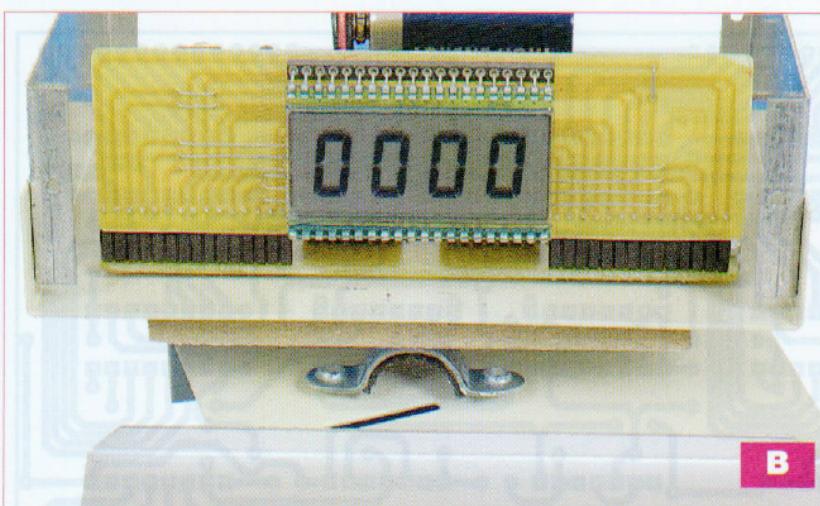
La sortie de cet oscillateur est reliée, d'une part, au point « BP » (backplane) de l'afficheur sept segments comportant quatre digits et, d'autre part, aux entrées « CP » des décodeurs. La logique de fonctionnement est fort simple. Si un segment donné doit être actionné, il faut et il suffit que son entrée de commande « CP » et la broche « BP » de l'afficheur soit soumises à des niveaux logiques opposés.

### Les limites du mesureur

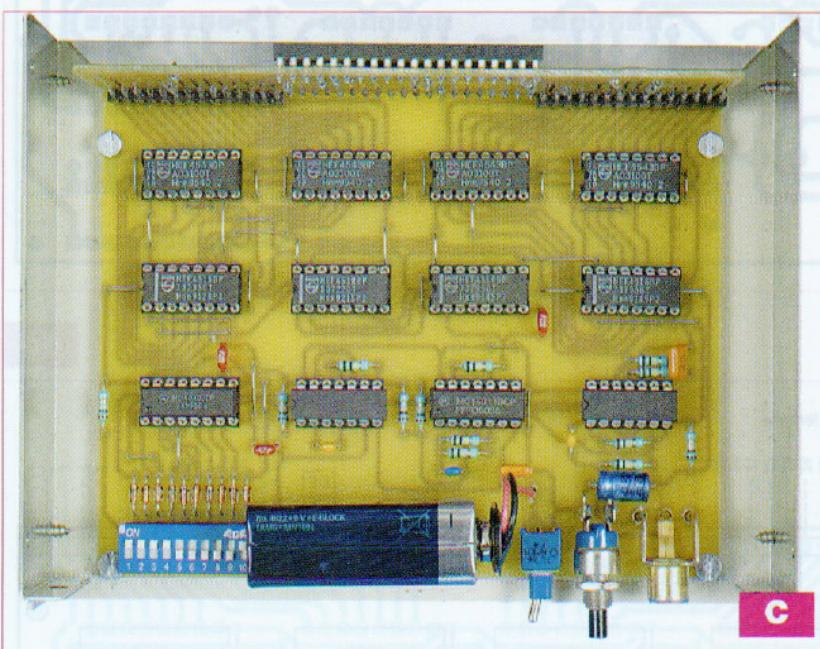
#### Vitesse maximale de déplacement de la roue

La vitesse maximale que l'utilisateur du mesureur ne devra pas dépasser est essentiellement liée à la fréquence des signaux de comptage.

Plus exactement, lorsqu'une fermeture de l'ILS s'effectue, il est indispen-



B



C

sable que l'incrémentation correspondant au cycle précédent soit achevée. On peut calculer cette vitesse maximale limite.

Soit  $D$  (en mm) le diamètre de la roue,  $V$  (en km/h) la vitesse de déplacement de l'utilisateur et  $F$  (en Hz) la fréquence de comptage.

Pour un tour de roue, la distance parcourue est de  $\pi D$  (mm). La durée correspondant à ce parcours est donc de :

$$\Delta t \text{ (s)} = \frac{\text{Distance (mètres)}}{\text{Vitesse (m/s)}}$$

Soit :

$$\Delta t \text{ (s)} = \frac{\pi D / 10^3}{10^3 \times V / 3600} = \frac{3,6 \pi D}{1000 V}$$

Le nombre (exprimé en mm) à incrémenter, c'est-à-dire le nombre de périodes étant de  $\pi D$  (mm), on peut

calculer la valeur de la période  $T$  :

$$T = \frac{\Delta t \text{ (s)}}{11D} = \frac{3,6}{1000 V}$$

D'où la valeur de la fréquence  $F$  :

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1000 V}{3,6}$$

En définitive, on peut exprimer  $V$  :

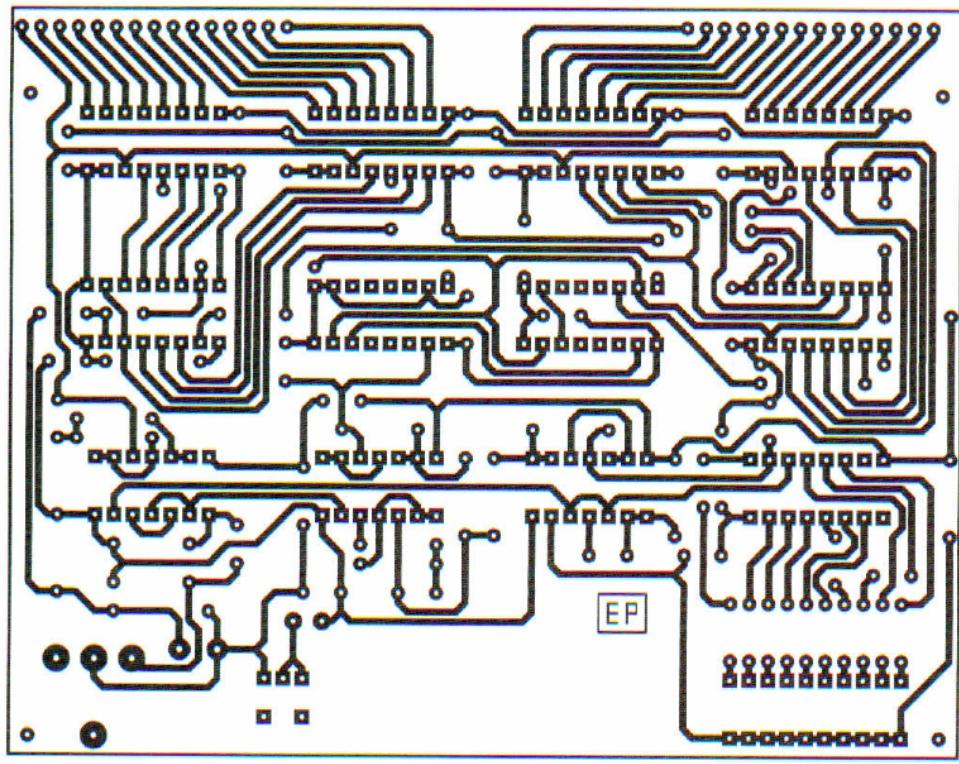
$$V = 0,0036 F$$

Nous avons vu que la fréquence de comptage était de 10 kHz. En conséquence, la valeur maximale de  $V$  est de 36 km/h.

Il n'y a donc pas de problème de ce côté. Même un coureur de niveau olympique aurait du mal à atteindre cette limite...

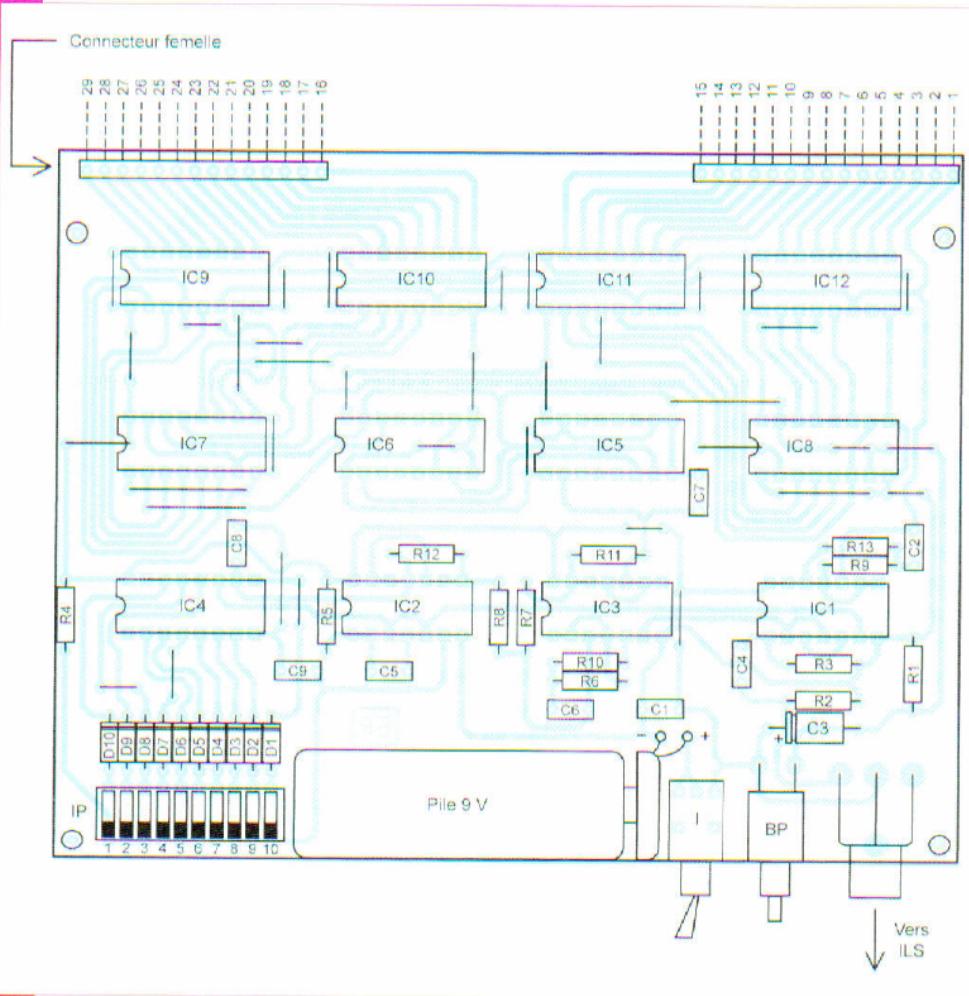
#### Diamètre maximal de la roue

Une autre limite est le diamètre maximal de la roue. C'est le nombre maxi-



3a

4a



## Nomenclature

### Résistances

R1 à R9 : 10 kΩ (marron, noir, orange)  
R10 à R13 : 100 kΩ (marron, noir, jaune)

### Condensateurs

C1, C2 : 1 µF  
C3 : 100 µF/25 V  
C4, C5 : 47 nF  
C6 : 4,7 nF  
C7, C8, C9 : 1 nF

### Semiconducteurs

D1 à D10 : 1N 4148  
AF : Afficheur à cristaux liquides 4 digits (119 RS)  
IC1, IC2 : CD 4001  
IC3 : CD 4011  
IC4 : CD 4040  
IC5 à IC8 : CD 4518  
IC9 à IC12 : CD 4543

### Divers

#### Straps :

- module affichage : 19 (14 horizontaux, 5 verticaux)
- module comptage : 36 (16 horizontaux, 20 verticaux)
- IP : groupe de 10 interrupteurs « dual in line »
- 2 bandes-support de 20 broches (afficheur)

3 supports de 14 broches

9 supports de 16 broches

1 support de 20 broches

#### Pile 9 V

#### Coupleur de pile

I : Interrupteur (broches coudées)

BP : Bouton-poussoir (broches coudées)

Embase femelle CINCH

ILS (Interrupteur à lames souples)

Fiche mâle CINCH

Aimant(s) permanent(s) - voir texte

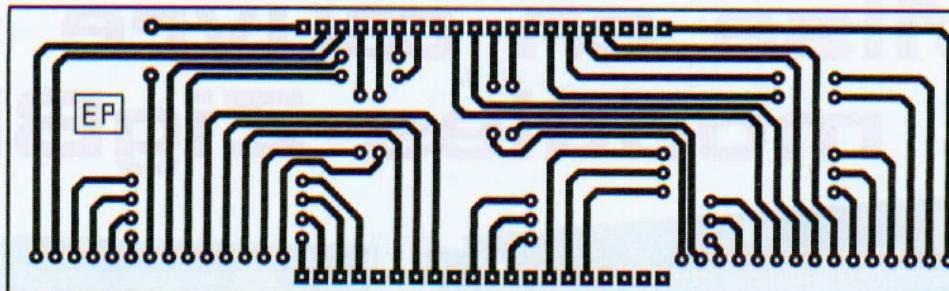
Connecteurs à broches coudées sécables (15 et 16 broches)

Connecteurs femelles sécables (15 et 16 broches)

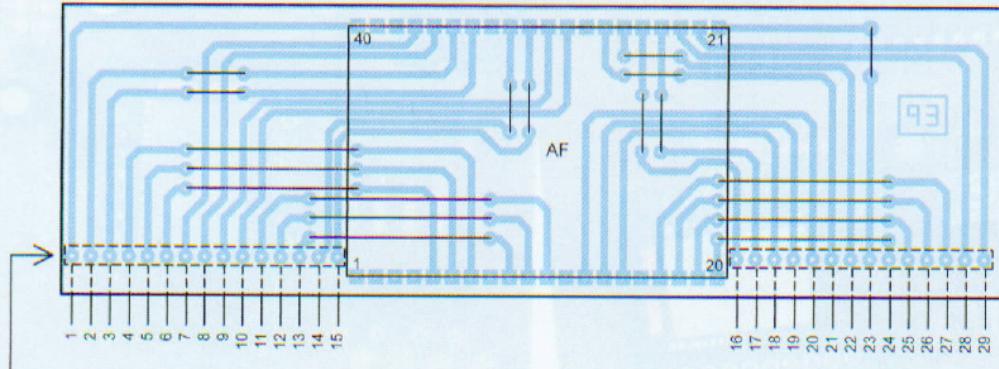
2 picots

mal de l'incrémentation millimétrique qui constitue cette limite. Comme le nombre d'interrupteurs de programmation est de 10, la valeur binaire maximale que l'on peut obtenir est  $2^{10} - 1$ , c'est-à-dire 1023. Il ne faut donc pas que le diamètre de la roue dépasse  $1023/\pi$  soit 325 mm.

Si la roue que l'on a réussi à se procurer était caractérisée par un diamètre supérieur à cette valeur, il reste la possibilité de disposer sur la jante deux aimants permanents diamétralement opposés. Dans ce cas, l'ILS est actionné pour chaque demi-tour de roue. La valeur millimétrique à



3b



4b

Connecteur mâle à broches coudées soudé côté cuivre

incrémenter est la demi-circonférence d'où une diminution de ce nombre et la possibilité de la programmer.

La vitesse maximale de 36 km/h n'en serait pas affectée du fait que le nombre nécessaire de périodes du signal de comptage serait également réduit de moitié.

## Réalisation pratique

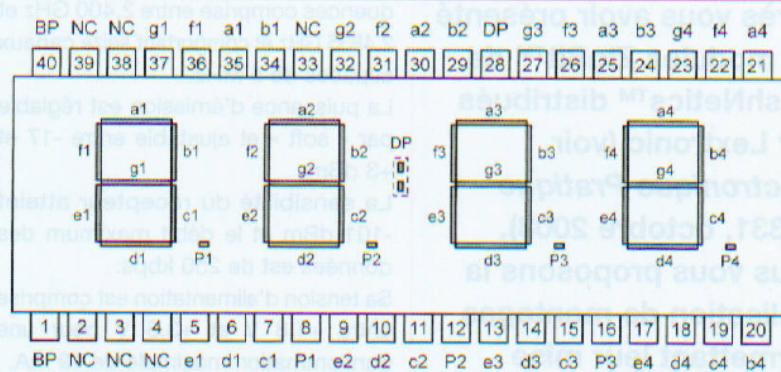
### Circuits imprimés

Ils sont au nombre de deux : un module « comptage » (figure 3a) et un module « affichage » (figure 3b).

Ces circuits imprimés sont prévus pour être disposés selon deux plans perpendiculaires. Le module « affichage » apparaîtra ainsi contre la face avant du boîtier. Bien entendu, cela nécessite une parfaite concordance des pastilles au niveau de l'arête de raccordement. Comme c'est souvent le cas quand le nombre de circuits intégrés est plus important, de nombreux straps ont été nécessaires pour contourner la problématique technique du circuit double face.

### Implantation des composants

Après la mise en place des straps, planter les diodes, les résistances, les capacités et les supports des cir-



## Légende :

BP : Back Plane (commun)

NC : Non connecté

5

cuits intégrés (figures 4a et 4b).

Terminer le montage par les composants plus volumineux comme l'interrupteur, le bouton-poussoir et l'embase CINCH.

Attention à l'orientation des diodes, de C3 et surtout des circuits intégrés. Les deux modules sont reliés entre eux, d'une part, par des connecteurs mâles soudés sur le côté cuivre du module « affichage » et, d'autre part, par des connecteurs femelles soudés sur l'autre module (photos B et C).

La figure 5 indique à titre d'information le brochage détaillé de l'afficheur à 4 chiffres à cristaux liquides.

Le montage ne nécessite aucun

réglage. Ne pas oublier la programmation des interrupteurs IP.

## Réalisation mécanique

Peu de remarques sur cette réalisation. Il vous suffit de faire appel à vos talents de bricoleur. Le bâti du modèle proposé a été réalisé à l'aide d'un tube en cuivre de diamètre 16 mm, utilisé pour les installations sanitaires. À ce sujet, on peut préciser qu'il n'est pas obligatoire de réaliser les assemblages par soudure, une colle du type « Araldite » fait amplement l'affaire.

R. KNOERR