

LES COMPTEURS BINAIRES

ON rencontre des compteurs dans de très nombreux domaines de l'électronique : dans les ordinateurs, dans l'industrie, pour compter des objets qui défilent devant une cellule photo-électrique... En métrologie, les fréquencesmètres de précision possèdent un compteur qui est commuté pendant une seconde afin de compter les périodes du signal à mesurer.

Les compteurs binaires sont des circuits logiques séquentiels composés d'une suite de bistables ; ceux-ci peuvent être de différents types : JK, RS, D, etc. Et puisque les bistables ne marchent qu'en tout ou rien, ces compteurs ne peuvent compter qu'en binaire. Mais par la suite, ce nombre binaire peut être converti en décimal.

Après un bref rappel sur les systèmes de numération nous allons voir comment lire un nombre binaire, puis étudier comment fonctionne un compteur-type. Si dans sa version binaire un compteur se compose d'une suite de bascules, il convient d'abord de bien connaître ce composant de base afin de l'utiliser au mieux (remise à zéro, commande par flanc positif ou négatif...).

Le nombre N de bascules est déterminé suivant la quantité à compter. Celle-ci ne peut excéder 2^N pour un compteur binaire.

Le système à base 10

Pour commencer, faisons un bref rappel sur le système décimal et sur le système binaire. Il peut paraître un peu futile de parler du système décimal que nous utilisons tous les jours... d'une façon machinale.

Ce système de numération, également appelé système à base 10, utilise 10 symboles allant de 0 à 9. Nous avons appris à l'école qu'un nombre est constitué par plusieurs rangs : le rang des unités, des dizaines, des centaines...

Et lorsque nous comptons, nous partons du rang des unités. En arrivant au dernier chiffre des unités, c'est-à-dire 9, nous plaçons un 1 dans le rang des dizaines et nous continuons à compter dans le rang des unités en repartant de zéro. Ce « 1 » que nous plaçons dans la colonne des dizaines a une forte valeur, un « poids » 10 fois plus grand que le 1 de la colonne des unités.

Pour cette raison, on peut l'écrire : 1×10 ou, d'une façon plus courante en mathématiques : 1×10^1 . Chaque fois que, dans la colonne des unités, nous avons épuisé les dix chiffres, la colonne des dizaines acquiert une valeur supérieure, et on repart de zéro dans la colonne des unités. Et puis, quand la colonne des dizaines atteint 9×10^1 , un « 1 » passe dans la colonne des

centaines, tandis que le contenu des dizaines revient à zéro. Ce « 1 » passant dans la colonne des centaines a la valeur 1×100 ou 1×10^2 . Ainsi en exprimant un nombre comme 1981, nous pouvons l'écrire :

$$1\ 000 + 900 + 80 + 1$$

soit encore :

$$(1 \times 10^3) + (9 \times 10^2 + (8 \times 10^1) + (1 \times 10^0))$$

ou :

$$1\ \text{millier} + 9\ \text{centaines} + 8\ \text{dizaines} + 1\ \text{unité.}$$

Fonctionnement d'un compteur décimal

Considérons un compteur décimal, comme celui d'une pompe à essence, dont l'affichage se compose de tambours.

Avant le comptage, l'affichage indique 000, ce qui signifie que la remise à zéro est faite. C'est évidemment le tambour des unités qui tourne en premier lieu. Celui-ci ayant réalisé un tour complet, il transmet, en passant de 9 à 0, une impulsion mécanique au tambour des dizaines qui affiche alors 1...

	2^2	2^1	2^0
1 ^{er} objet	0	0	1
2 ^{ème} objet	0	1	0
3 ^{ème} objet	0	1	1
4 ^{ème} objet	1	0	0
5 ^{ème} objet	1	0	1
6 ^{ème} objet	1	0	1

Fig. 1. — Comptage d'objets par le système binaire.

Un compteur électronique fonctionne d'une façon analogue, chaque fois que le nombre compté dépasse le nombre de symboles du système de numération employé, une impulsion électrique est transmise à l'étage suivant.

Le système binaire

Dans le système binaire, ou système à base 2, il n'y a que deux symboles : 0 et 1.

Au départ, bien sûr, le compteur binaire affiche zéro. Pour le premier objet à compter, il passe de 0 à 1. Puis, pour le suivant, les deux symboles étant épuisés, une impulsion est donnée au rang supérieur (qui passe de 0 à 1) tandis que le rang considéré repasse à zéro. On lit donc la valeur 10.

Résumons sur la figure 1 le comptage des six premiers objets. Nous remarquons que chaque fois que le compteur binaire passe de 1 à 0, il transmet au rang supérieur une impulsion afin qu'il augmente d'un cran.

Par analogie avec le système décimal, la colonne de droite ne prend que deux valeurs : 0×2^0 et 1×2^0 , soit 0 et 1. La deuxième colonne ne peut prendre que deux valeurs, à savoir : 0×2^1 et 1×2^1 , soit 0 ou 2. La troisième colonne ne prend également que deux valeurs : 0 et $1 \times 2^2 = 4$.

Il risque d'y avoir confusion quand on manipule des nombres binaires et des nom-

bres décimaux composés de 0 et de 1. Pour le sixième objet compté de notre exemple, l'affichage du compteur binaire donne : 110 que l'on écrit entre parenthèses avec l'indice 2, puisque nous sommes en système binaire : $(110)_2$. De cette façon, il n'y a pas de risque d'erreur, et on ne le mélangera pas avec le « cent dix » du système décimal. On écrira de préférence ce dernier : $(110)_{10}$.

Comment interpréter un nombre binaire

Pour le sixième objet, nous l'avons vu, la visualisation affiche : $(110)_2$. Quelle sera sa valeur en décimal ? Il suffit de donner à chaque 1 sa valeur décimale, comme nous l'avons fait plus haut pour le nombre 1981 :

$$(1 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (0 \times 2^0)$$

soit :

$$(1 \times 4) + (1 \times 2) + (0 \times 1)$$

$$(4) + (2) + (0) = (6)_{10}$$

Schéma synoptique

Un compteur décimal devant compter les centaines pourra être représenté par trois rectangles, un pour les unités, un autre pour les dizaines et le dernier pour les centaines (fig. 2).

Les impulsions à compter sont représentées à l'entrée du compteur des unités. Ces impulsions peuvent provenir d'un système photo-électrique devant lequel des objets défilent.

D'une façon analogue, un compteur binaire peut se représenter par des rectangles (fig. 3).

Le premier rectangle en partant de la droite ne compte que jusqu'à 2^0 soit 1. Les deux premiers rectangles ne comptent que jusqu'à trois ($2^1 + 2^0$), et l'ensemble ne compte que jusqu'à 7.

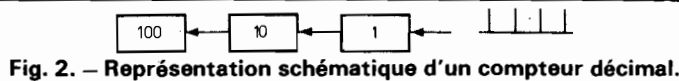


Fig. 2. — Représentation schématique d'un compteur décimal.

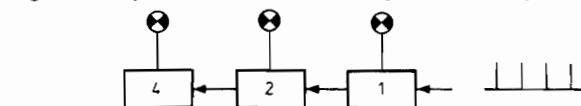


Fig. 3. — Représentation schématique d'un compteur binaire avec sa visualisation.

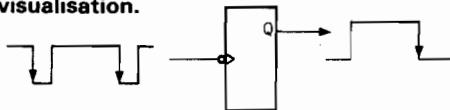


Fig. 4. — Le circuit de base d'un compteur est une bascule divisant par deux le nombre d'impulsions à l'entrée.

L'affichage d'un tel compteur peut se réaliser avec des témoins lumineux, par exemple des diodes LED.

Si le voyant est allumé, cela signifie que l'étage en question est à l'état « 1 ». Ainsi, le compteur est à zéro si tous les voyants sont éteints. Si les trois voyants sont allumés, nous savons que le nombre d'objets comptés est :

$$(1 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (1 \times 2^0) = 4 + 2 + 1 = 7.$$

Pour lire directement la valeur en décimal, les trois étages du compteur seront reliés à un convertisseur binaire-décimal, lui-même commandant par exemple un afficheur à 7 segments.

Notre prochaine étape maintenant est de savoir comment est constitué un étage de compteur binaire.

Le circuit de base du compteur

Lorsque vous avez fait fonctionner une bascule, vous avez sans le savoir utilisé un compteur binaire.

Un compteur décimal

donne une impulsion de sortie pour dix impulsions à l'entrée. Un compteur binaire donne une impulsion de sortie pour deux impulsions à l'entrée. Une bascule type T, qui donne une impulsion de sortie pour deux à l'entrée, présente ainsi les caractéristiques d'un compteur binaire. Nous avons déjà parlé de ce type de bascule (voir le Haut-Parleur n° 1666). Elle est réalisée sans difficulté avec une JK en reliant les entrées J et K au niveau logique « 1 », l'attaque de la bascule se faisant par l'entrée dénommée CK ou T. On utilisera par exemple le circuit TTL du type SN7476N.

Une bascule T peut également se réaliser avec un modèle D dont on a préalablement relié la sortie Q à l'entrée D, l'injection des signaux à compter se faisant par l'entrée CK.

On sait qu'une bascule D est équivalente à une bascule RS dont on a placé un inverseur entre les entrées S et R afin de lever l'indétermination de cette dernière. La figure 5 représente la bascule D avec sa table de vérité, et la figure 6 montre les signaux d'entrée et de sortie de la

bascule afin d'expliquer le fonctionnement du circuit. Un train d'impulsions numérotées est envoyé sur CK. Un signal positif apparaît en D à un moment situé entre les impulsions 1 et 2. La sortie Q passera à l'état 1 lors de l'apparition du flanc de montée de l'impulsion 2, suivant ce qui est énoncé à la deuxième ligne de la table de vérité : $Q_n = 0, Q_{n+1} = 1$. Le signal d'entrée disparaît après l'impulsion 4, le niveau de sortie retombera à 0 dès l'apparition du flanc de montée de l'impulsion 5 (troisième ligne de la table de vérité : $Q_n = 1, Q_{n+1} = 0$).

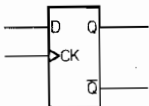
Il y a un certain retard entre les signaux d'entrée et de sortie, c'est une des caractéristiques de cette bascule, dont le nom provient paraît-il de la première lettre du mot anglais « delay » qui signifie « retard ».

En reliant la sortie \bar{Q} à l'entrée D, on change automatiquement, à chaque impulsion CK, le signal appliqué en D. On obtient de cette manière une bascule de type T.

Le circuit intégré TTL du type SN7474N pourra être utilisé. Il comporte deux bascules D comme l'indique le schéma de branchement de la figure 7.

Constitution du compteur binaire

Ainsi un compteur binaire est constitué par une suite de bascules, changeant d'état chaque fois qu'une impulsion se présente à l'entrée (fig. 8).



Q_n	D	Q_{n+1}
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

Fig. 5. — Bascule D avec sa table de vérité.

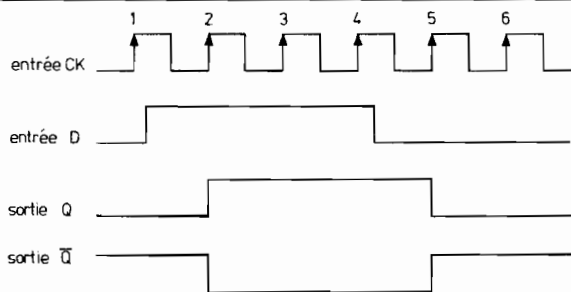


Fig. 6. — Signaux de la bascule D.

En appuyant sur le bouton-poussoir de remise à zéro les quatre bascules sont à l'état repos ($Q = 0$) et les quatre voyants lumineux sont éteints. Dès l'apparition d'une impulsion, la première bascule passe à l'état travail ($Q = 1$), ce qui est mis en évidence par le premier voyant lumineux. A l'impulsion suivante, cette première bascule retourne à son état initial. Le flanc négatif de sa sortie reliée à l'entrée de la bascule suivante change l'état de celle-ci. A la troisième impulsion, les deux premières bascules sont à l'état travail...

Plus le nombre de bascules constituant un compteur est élevé, d'autant plus grande pourra être la quantité à compter.

Reportez-vous à la figure 9 sur laquelle sont représentées des impulsions à compter, numérotées de 1 à 8. Au-dessous nous voyons les signaux à la sortie des trois premières bascules.

Au moment t_1 la sortie des trois bascules est au niveau zéro. En t_2 , au bout de quatre impulsions, le niveau des sorties est le suivant : $Q_1 = 0$, $Q_2 = 0$, $Q_3 = 1$, soit : $(100)_2$ ou $(1 \times 2^2) + (0 \times 2^1) + (0 + 2) = 4$.

Après la huitième impulsion (temps t_3), les trois sorties sont toutes à zéro. D'où la conclusion qu'un compteur de N étages (ou bascules) ne peut compter que jusqu'à 2^N .

Dans notre exemple, le compteur à trois étages ne comptera que jusqu'à $2 \times 2 \times 2$ soit $(8)_{10}$.

En utilisant les quatre bascules D de deux circuits SN7476, il est possible de compter jusqu'à 16. Par des artifices, il est alors concevable de transformer ce compteur binaire en compteur décimal et de le faire compter de 0 à 9.

Générateur d'impulsions

Afin d'expérimenter un compteur binaire, montons un générateur d'impulsions

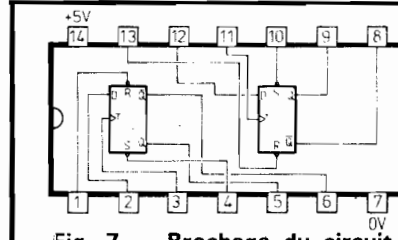


Fig. 7. - Brochage du circuit SN 7474N (2 bascules D).

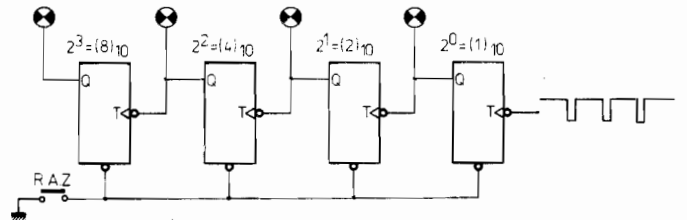


Fig. 8. - Schéma de principe d'un compteur binaire.

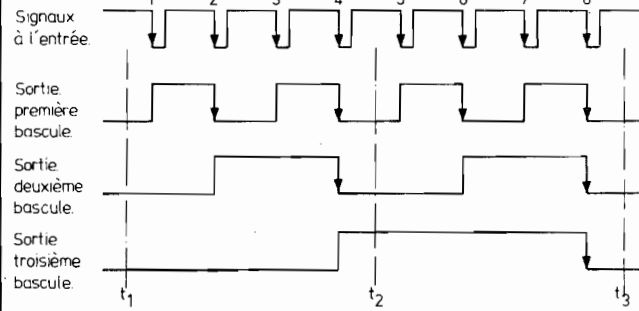


Fig. 9. - Signaux à l'entrée et à la sortie des trois premières bascules du compteur binaire.

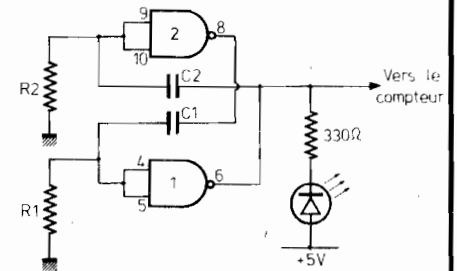


Fig. 10. - Montage astable fournissant les impulsions au compteur, réalisé avec deux NAND d'un SN 7400N.

dont la période de répétition sera assez longue pour pouvoir vérifier le bon fonctionnement de ce compteur.

Un premier projet de schéma pourrait comporter le relaxateur à transistor unijonction décrit dans le dernier article. Le signal de sortie devrait être alors mis en forme par un monostable.

On peut également employer un montage astable pour obtenir un signal périodique de durée et de répétition déterminées. Le plus simple n'utilise seulement que deux portes NAND et un circuit RC (fig. 10).

En mettant le montage sous tension, l'une des sorties sera à l'état haut tandis que l'autre sera à l'état bas. La liaison capacitive par C_1 et C_2 fait que, d'une façon continue, il y a charge et décharge de ces condensateurs et il en résulte des impulsions dont l'amplitude est d'environ 5 V et dont la fréquence est déterminée par la constante de temps des résistances et des condensateurs.

La fréquence est :

$$F = \frac{1,4}{R_1 C_1 + R_2 C_2}$$

soit une période $T = 0,7 (R_1 C_1 + R_2 C_2)$.

Les unités sont le hertz, l'ohm, le farad et la seconde. Au cas où on souhaite des signaux carrés, $R_1 = R_2 = R$,

et $C_1 = C_2 = C$ et les formules se simplifient :

$$F = \frac{0,7}{RC}$$

et $T = 1,4 RC$.

Si nous désirons des impulsions de l'ordre de la seconde, avec $R = 1 \text{ k}\Omega$, les condensateurs devront avoir une valeur de plusieurs centaines de microfarads. Une période d'une seconde est suffisamment basse pour observer le fonctionnement du compteur. Une diode LED est placée à la sortie de l'astable pour en contrôler le fonctionnement.

Il est bien sûr tout à fait possible de produire manuellement des impulsions.

Dans ce cas, il est conseillé d'utiliser un bouton-poussoir « anti-rebond », ou bien placer, entre l'interrupteur et le compteur un circuit

monostable dit « non redéclenchable », comme le SN74122N.

Réalisation pratique

Nous avons représenté sur la figure 11 le schéma complet du compteur à base 2. On remarque la simplicité du circuit. L'entrée, située à droite, reçoit les impulsions à compter. Celles-ci proviennent du montage astable à deux portes NAND. La liaison est directe entre la sortie d'une de ces portes et l'entrée CK de la première bascule. Les bascules étant munies de commandes de remise à zéro (R) et de mise en position travail (S), il est possible, avant tout comptage, de mettre à zéro le compteur.

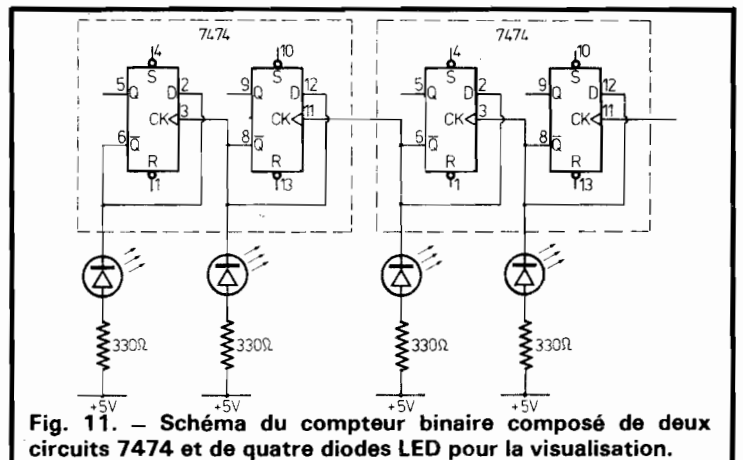
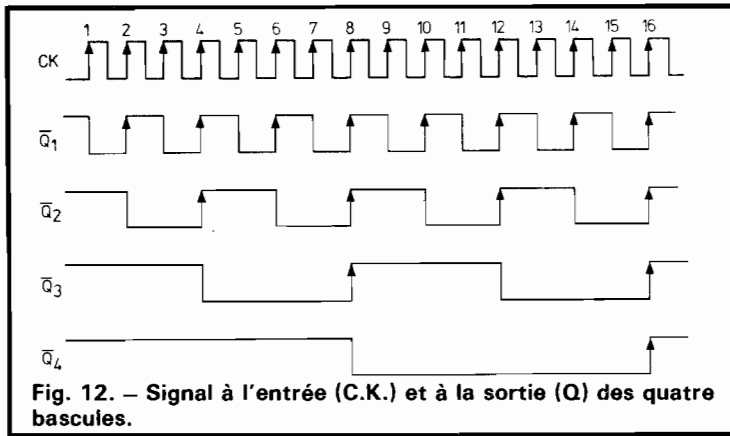


Fig. 11. - Schéma du compteur binaire composé de deux circuits 7474 et de quatre diodes LED pour la visualisation.



Il suffit pour cela de brancher ensemble les sorties R (broches 1 et 13) et de les connecter temporairement au niveau zéro logique (0 V).

On remarquera sur le schéma le branchement des diodes électro-luminescentes. Elles sont connectées en série avec une résistance de protection de 330 Ω et branchées entre la sortie Q et le + 5 V. Lorsque la bascule est à l'état travail, le potentiel de sortie Q est alors égal à celui de la masse, la diode, alimentée normalement, s'allumera. En alignant les LED sur la plaque de connexions, il est facile de traduire mentalement en quantité décimale le nombre binaire affiché.

La forme des signaux à la sortie de chaque bascule est donnée figure 12. Chaque étage du compteur se comporte comme un diviseur de fréquence par deux.

Le compteur peut également être réalisé avec des bascules JK, à condition seulement de connecter les entrées J et K au + 5 V, l'attaque se faisant sur l'entrée CK.

Avant de mettre en exécution le montage d'un compteur, il y a lieu de tenir compte du mode d'attaque de cette entrée CK. Certaines bascules peuvent être commandées par le flanc descendant (de 1 à 0) d'une impulsion. Ceci est le cas des bascules du compteur de la figure 8. Ce mode de commande est repéré par le petit cercle placé à l'entrée T (ou CK). L'attaque de la bascule suivante se fait par la sortie Q de la bascule considé-

rée. La figure 9 montre les signaux à la sortie des bascules. La commande d'autres bascules, comme le type 7474 que nous avons utilisé, se fait par le front montant du signal d'attaque. La liaison avec la suivante se fait par la sortie Q.

Décompteur

Il est très facile de transformer un compteur en décompteur. Il suffit simplement de modifier légèrement le câblage. Si l'attaque d'une bascule se fait, pour le compteur, par le signal provenant de Q, il convient de se déconnecter de cette sortie et de se brancher sur Q. En prenant comme exemple notre schéma avec deux 7474, l'entrée CK (3 et 11) ne doit plus recevoir les signaux venant de la sortie Q (6 et 8), mais ceux provenant de la sortie complémentaire Q (5 et 9) des étages précédents.

Avant de commencer le décomptage, toutes les bascules seront mises à l'état travail, d'une façon analogue à la remise à zéro d'un compteur. Les entrées S (broches 4 et 10) seront branchées ensemble et connectées un bref instant au niveau logique zéro. Le nombre binaire est alors (1111)₂. Après la première impulsion, il passe à (1110)₂, puis à (1101)₂, etc.

Un compteur-décompteur sera réalisé sans problème en insérant entre chaque bascule un circuit logique faisant fonction de OU-exclusif, avec commande extérieure.

J.-B.P.

B. G. MENAGER

20, rue Au-Maire, PARIS-3^e
Tél. : TUR. 66-96 - C.C.P. 109-71 Paris
A 50 mètres du métro Arts-et-Métiers

MAGASINS OUVERTS
Tous les jours de 9 h à 12 h 30 et de 14 h à 19 h
sauf Samedi-Dimanche

CREDIT DE 6 A 24 MOIS sur tout le matériel

MACHINES A COUDRE D'OCCASION

Portable en mallette. Modèle récent.
Garantie 490 F

FOURS AEG NEUFS
Différents modèles
Soldés pour défaut d'aspect.
650 F - 890 F - 1 250 F

PROMOTION

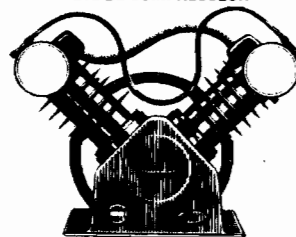
POMPE A VIDANGE de puisard
220 V mono 4 000 l/h 490 F
Modèle 7 000 l/h 820 F
RADIATEUR pour salle de bains
modèle infra-rouge à quartz 2 allures
600-1 200 watts 180 F
HOTTE DE CUISINE
2 vitesses de ventilation, éclairage
longueur 60 cm 450 F
POELE A BOIS soldé 450 F
MOTEURS ELECTRIQUES
OCCASION 1/3 CV, 220 V mono,
3 000 tours avec poulie à gorge de
60 mm.
Prix 75 F

SANS SUITE
PERCEUSE D'ETABLI
à colonne type artisanal moteur 220 mono
COMPLETE AVEC MANDRIN
en 13 mm 1 090 F
16 à 24 mm TRI 220/380 ... 1 595 F
20 à 32 mm TRI 220/380 ... 3 200 F
PERCEUSE PEUGEOT
Type professionnel 13 mm, 4 vitesses, double isolement,
sans percussion.
Valeur 700 F Vendu 390 F

GENERATEUR D'OZONE
pour assainissement VENDU 265 F

GROUPE ELECTROGENE
Portatif, moteur 4 temps, équipé de
génératrice LEROY 220 V mono,
AU PRIX HORS COURS :
1 KVA 2 425 F 2 KVA 3 169 F
5 KVA 5 800 F

TETE DE COMPRESSEUR



Monocylindre
5 m³ 430 F
Bi-cylindres
10 m³ 705 F
15 m³ 965 F
Tri-cylindres
20 m³ 1 280 F
OU MONOCYLINDRE
8 m³, 5 kg de pression ou 5 m³,
7 kg vendu avec moteur 1 CV,
220/380 V 650 F

POMPES "SAM"

Pompe immergée pour puits ou forage profond
jusqu'à 40 m. Peut distribuer l'eau jusqu'à 1 000 m.
Faible encombrement 220 V NET 790 F
FLOTTANTE utilisation instantanée, refoulement 28
m 1 800 L/Heure, puits, rivière, mare, étang, piscine
pour abreuvoir, étable, arrosage habitation,
etc. Avec 10 m de câble TTC 990 F
RADIATEUR à circulation d'huile, 2 000 W, 220 V.
Prix exceptionnel 395 F

ELECTRO-POMPE

PR 1, 220 V, mono.
Aspirat. 6,50 m. Refoult. 20 m vertical,
200 m horizontal ... 395 F

ENSEMBLE SOUS PRESSION

Pour DISTRIBUTION EAU
ménagère avec réservoir 25 l 890 F
En 100 l à pression air 1 250 F

MONTEZ VOTRE GROUPE ELECTROGENE

Alternateur mono, 220 V
2 000 W 1 500 F
5 kW 220-380 tri mono ... 3 250 F

CUISINIERE-CHAUDIERE de cuisine Bois et Charbon, larg. 85 cm 6 450 F

ROBINET THERMOSTATIQUE
fabrication allemande 85 F
CIRCULATEUR-ACCELERATEUR
pour chauffage central adapt 360 F

CLIMATISEUR retour d'expo.
50 à 60 m³ 2 940 F

BRULEUR A MAZOUT
de 15 000 à 45 000 calories 1 530 F

FER A SOUDER 120 watts, 220 V, à chauffe rapide 42 F

MEULEUSE TRONÇONNEUSE

Ø 230, puissance 2 000 W, 6 000 tr, 220 V
Prix 750 F

TOURET D'ATELIER

2 meules Ø 125 et 150 mm. Courant 220 V mono
Avec écran protecteur NET 282 F et 380 F

au prix de gros

Moteurs mono 220 V
1 CV 1 500 T : 495 F ou 3 000 tours 448 F
1.5 CV 3 000 tours 535 F



MOTEURS ELECTRIQUES
triphasé 220/380
ventilés
NEUFS
Garantie 1 an
1 CV 3000 T/m 299 F 1500 T/m 307 F
1.5 CV 3000 T/m 346 F 1550 T/m 381 F
2 CV 3000 T/m 403 F 1500 T/m 442 F
3 CV 3000 T/m 521 F 1500 T/m 544 F
4 CV 3000 T/m 616 F 1500 T/m 637 F
5.5 CV 3000 T/m 768 F 1500 T/m 811 F
7.5 CV 3000 T/m 976 F 1500 T/m 1 030 F
Avec inter. jusqu'à 4 CV 90 F
Avec démarreur Et. triangle
de 3 à 10 CV 227 F