

L'INVERSEUR A TRANSISTOR

Allumer, éteindre.

Ces deux fonctions sont les plus élémentaires de la « logique électronique » : à partir de ces commutateurs élémentaires que sont les transistors, on réalise tous les circuits intégrés modernes. D'ailleurs, on « mesure » leur complexité au nombre de leurs transistors. Avant de les compter par dizaines de milliers comme dans les microprocesseurs, faisons connaissance avec le transistor... en solo.

Le transistor bipolaire

Dans sa présentation classique, le transistor est protégé par un petit capot métallique ou plastique, d'où sortent trois fils (trois « pattes »). Dans le boîtier, un petit morceau de cristal est encapsulé : il s'agit d'un « sandwich » constitué par trois couches de semi-conducteur.

Nous savons déjà qu'il y a deux sortes de semi-conducteurs : l'une est enrichie en porteurs de charges négatifs (N), l'autre en porteurs positifs. Il y a donc deux sortes de transistors (fig. 1) : le NPN et le PNP ; l'analogie avec le sandwich est frappante, si l'on sait que la couche médiane est obligatoirement très mince...

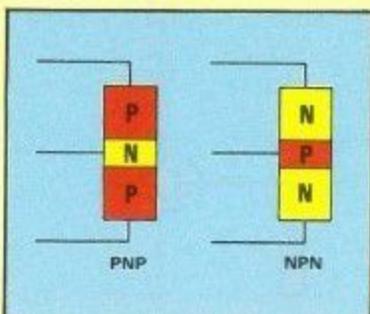


Fig. 1. - Les deux types de transistors « bipolaires » et leurs boîtiers classiques.

Les deux sortes de transistors (PNP et NPN) s'analysent de manière analogue. Contentons-nous de décrire le NPN, afin de ne pas nous encombrer l'esprit avec une double nomenclature.

A première vue, le transistor NPN est l'équivalent de deux diodes dos à dos ; par conséquent, il semble tout à fait impossible (fig. 2a) qu'il circule du courant entre les points extrêmes, puisqu'au moins une des diodes s'oppose au passage du courant (voir fiche 1D).

Par bonheur pour l'électronique, les choses ne sont pas si simples...

Un « lubrifiant » : le courant de base

A condition que la base (couche P) soit rendue positive par rapport à la

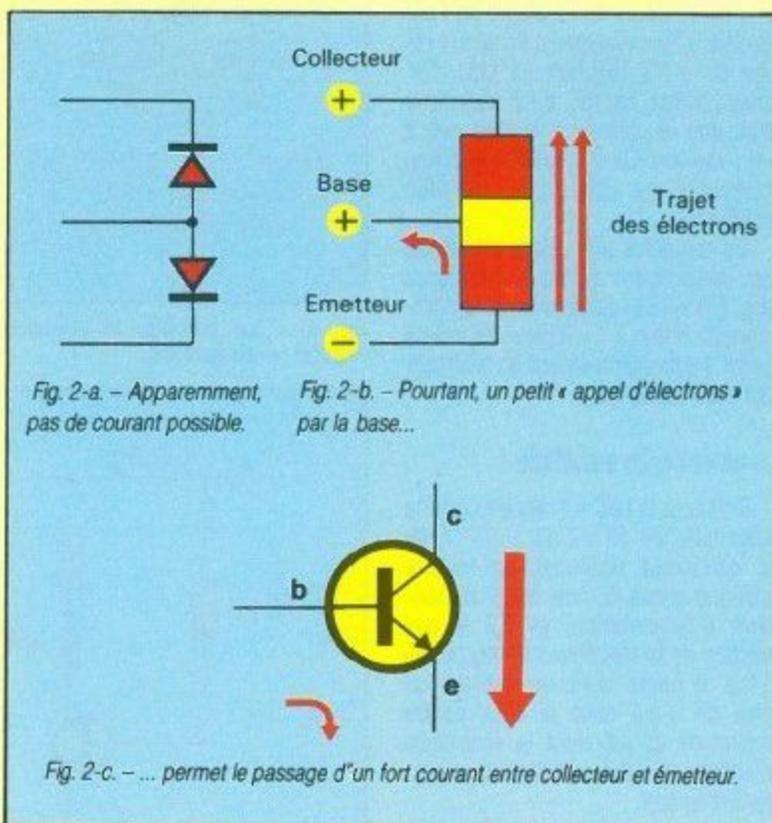


Fig. 2. - Analyse du fonctionnement d'un transistor NPN.

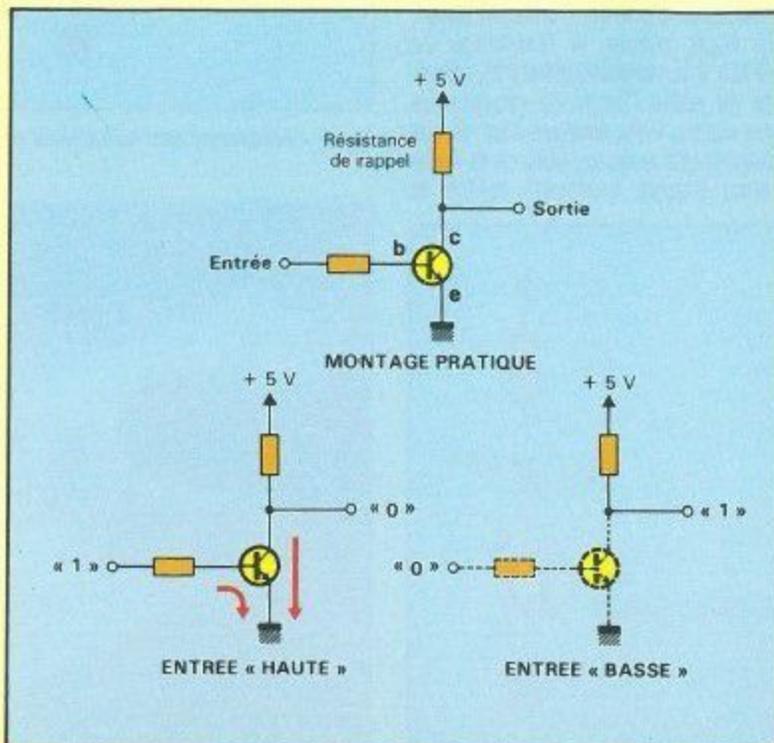


Fig. 3. - Le montage pratique d'un transistor en inverseur.

couche N, dite émetteur, il y aura un courant entre base et émetteur (la diode est dans le « bon sens »). Autrement dit, la base « aspire » des électrons.

Il se passe alors quelque chose d'extraordinaire, et qui valait bien un Nobel pour les trois chercheurs qui l'ont trouvé (*) : certains des électrons traversent la (mince) couche P sans être absorbés (les physiciens diraient « recombinés ») par les « trous » positifs.

En fait, si le collecteur est lui-même relié à une alimentation positive, un plus grand nombre d'électrons qu'entre émetteur et base formera un courant entre émetteur et collecteur (fig. 2b).

Le petit courant de base est un lubrifiant, qui permet à un courant principal de se développer entre collecteur et émetteur. Nos deux diodes tête-bêche sont en fait tout autre chose que deux diodes : elles constituent un transistor, que l'on représente habituellement comme à la figure 2c. On remarque que la petite flèche qui émerge de la base indique le sens de la contribution en courant de base (petite flèche rouge) qui permet le passage du courant fort (grosse flèche).

Comme d'habitude, le courant est fléché à l'inverse des électrons qui circulent. La faute à Franklin, comme vous le savez !

Le plus simple des inverseurs

En logique, on appelle inverseur un élément qui change le « 1 » en « 0 », ou le contraire. Avec les conventions de signaux que nous avons vues (fiche 1B), un niveau bas à l'entrée doit donner un niveau haut à la sortie, et vice versa.

Un transistor NPN monté comme sur la figure 3 est un inverseur tout à fait efficace vis-à-vis des signaux TTL ou C.MOS. Les valeurs pratiques des résistances entre entrée et base d'une part, alimentation + 5 V et col-

(*) Bardeen, Brattain et Shockley, en 1948 ; Nobel en 1956.

lecteur d'autre part, sont fixées en fonction des caractéristiques du transistor.

Le principe est très simple :

Plaçons-nous d'abord dans le cas où l'entrée est au niveau « 1 », c'est-à-dire suffisamment positive : le petit courant de base rend le transistor fortement conducteur. Sa faible résistance l'emporte alors sur celle de la résistance de rappel (pull-up en anglais). La tension de la sortie est donc très basse, assez pour constituer un « 0 » logique.

En revanche, si l'entrée est à une tension voisine de la masse, il n'y a pour ainsi dire pas de courant de base : on dit que le transistor est « bloqué ». Equivalent à une résistance de très grande valeur, il est donc « battu » par la résistance de rappel. La sortie est assez positive pour correspondre à un « 1 » logique. CQFD.

Un transistor au lieu d'un potentiomètre

De même qu'un potentiomètre en série avec une LED et une résistance de limitation nous a permis de « voir » les niveaux logiques, un montage du même genre va, pour nous, matérialiser la fonction d'inverseur.

En montant tout simplement un transistor à la place de la résistance variable (ce qu'il est, d'un certain point de vue), comme le montre la figure 4.

On se sert, pour l'expérience, d'un transistor archiconnu des électroniciens, la « bonne à tout faire » de référence 2N2222. Sous son capot métallique, on repère les trois points en partant d'un petit ergot du capot : émetteur, base et collecteur, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (vue de dessous, fig. 5).

Une fois monté sur la planche, en série avec la LED et une résistance de

1 kΩ, la base n'étant reliée à rien, on voit que la LED reste éteinte, comme on s'y attend, puisqu'il ne peut circuler aucun courant par la base. Cet état en lui-même ne signifie rien ; l'entrée du montage logique doit être reliée à une source de signaux pour que sa sortie ait une signification.

L'inverseur fonctionne...

Reunions la base du transistor, autrement dit l'entrée de l'inverseur, à une source de « 1 » logique : en l'occurrence, une résistance de 10 kΩ reliée au + 5 V (fig. 6a). La LED s'allume ! Nous savons qu'il faut pour cela que le collecteur (sortie) soit à « 0 » logique. Ce que le pèse-sigaux, connecté au collecteur, va bien confirmer.

En revanche, si la même résistance est maintenant reliée à la masse (fig. 6b) la LED est éteinte, et le pèse-sigaux relève « 1 » logique au même point. Le fonctionnement en inverseur est bien démontré.

... et est très sensible !

Rallumez la LED en reconnectant la résistance de 10 kΩ au + 5 V. Avec le contrôleur universel, on mesure quelque chose comme 5,2 V de tension d'alimentation, et 3,2 V aux bornes de la résistance de rappel de 1 kΩ. Il passe donc un courant de plus de 3 mA dans la LED, contre moins de 50 μA dans la résistance d'entrée. En fait, c'est encore plus qu'il n'en faut.

Vous pouvez allumer la LED en employant votre propre corps comme résistance d'entrée. Comment faire ? Eh bien, piquez la résistance de 10 kΩ à la verticale (photo 2), mouillez de salive l'index de chacune de vos mains. Puis, touchez d'un de ces deux doigts la queue libre de la résistance (l'autre extrémité rejoint la

base), en même temps que l'autre doigt touche un point relié au + 5 V. La LED s'allume encore !

Par curiosité, mesurez la résistance de votre corps entre deux doigts mouillés, à l'aide du contrôleur : habituellement, on obtient entre 50 et 100 kΩ. Tout calcul fait, cela donne un courant de base de l'ordre de

10 μA... Donc, ce courant est multiplié d'environ 300 fois par le transistor.

On retiendra deux choses. D'abord, l'extrême sensibilité, le « gain » élevé du transistor. Ensuite, que des mains, surtout humides (transpiration...) sont loin d'être neutres dans un montage logique...

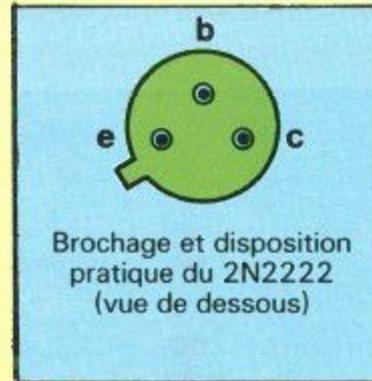


Fig. 5. - Le brochage du transistor 2N2222 (vu de dessous).

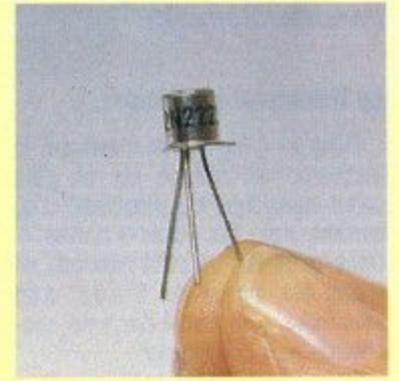


Photo 1. - Disposition pratique du 2N2222.

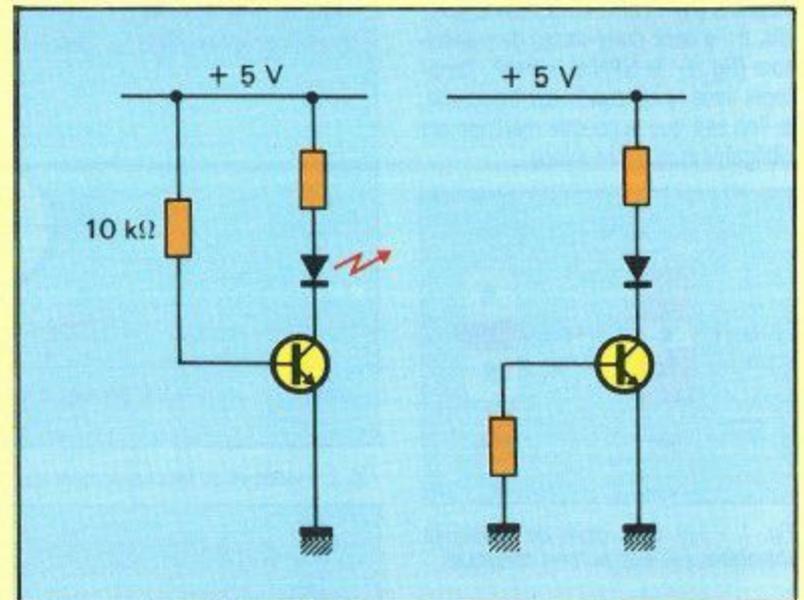


Fig. 6. - Fonctionnement du transistor en inverseur.

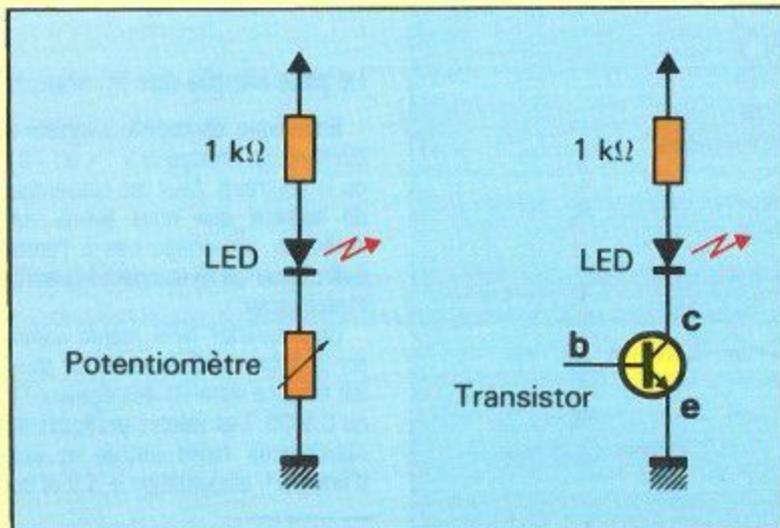


Fig. 4. - Le transistor, à la place d'une résistance variable.

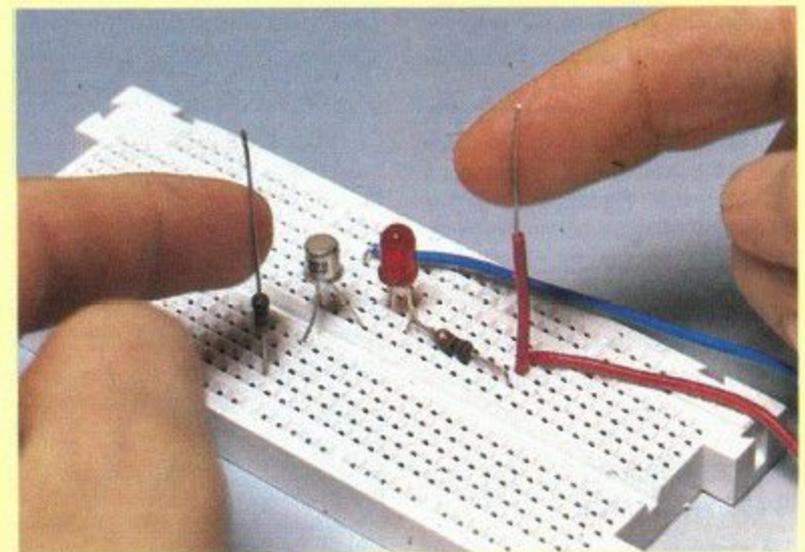


Photo 2. - Le corps humain fait office de résistance (entre 50 et 100 kΩ).

LE CIRCUIT INTEGRE 74LS05 : SIX INVERSEURS A COLLECTEUR OUVERT

On n'utilise plus guère en solo des composants actifs comme le transistor ; sauf pour certaines interfaces sur mesure. Le « prêt-à-porter » de l'électronique moderne, ce sont les circuits intégrés, qui comportent l'équivalent d'un grand nombre de composants élémentaires : résistances, transistors... implantés sur un seul morceau de cristal. La fameuse « puce ». Le 74LS05 est l'un des plus simples parmi les circuits intégrés standards. A peu de chose près, c'est six fois notre inverseur à transistor de la fiche 2 A.

Symbole logique et circuit réel

A la figure 7, on a représenté un schéma désormais familier : celui de l'inverseur à transistor. Très proche de la réalité, un tel dessin est précieux lorsqu'on s'intéresse aux caractéristiques détaillées : gain, courant maximum à l'entrée et à la sortie, etc.

En revanche, ce luxe de détails a plutôt tendance à encombrer inutilement le papier, tant que l'on reste dans un domaine d'utilisation plus ou moins standardisé : tension d'alimentation toujours identique (exemple : + 5 V), courants faibles, niveaux logiques (cf. fiche 1C) convenus avec de larges plages de valeurs.

C'est d'abord par souci de clarté que l'électronique digitale préfère le symbole triangulaire équivalent. On « gomme » les indications qui seront

toujours les mêmes, tel le raccordement à une source d'alimentation et à la masse ; et on ne représente que les entrées et les sorties. Ici, une de chaque.

Ensuite, on se réfère à quelques conventions visuelles. Les électroniciens ont depuis fort longtemps l'habitude de représenter par un triangle une fonction d'amplification : dans notre cas, la multiplication (non miraculeuse) du courant par le transistor. Quant au petit rond, il symbolise l'inversion : la tension de sortie qui varie en sens opposé de la tension d'entrée.

Six dans un seul boîtier

Le circuit intégré ultra-simple qui porte la référence 74LS05 contient six copies identiques d'un inverseur à peine plus « compliqué », incrustées

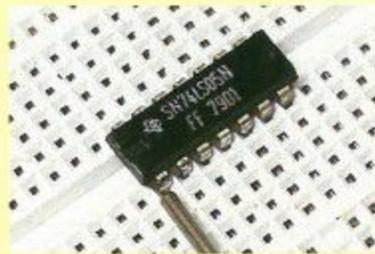


Photo 3. - Le circuit intégré 74LS05. Le pointeur matérialise l'entrée du 1^{er} inverseur (broche n° 1).

dans une seule puce de silicium. Le tout encapsulé dans un boîtier muni de deux rangées de sept broches, destinées aux raccordements avec les autres éléments d'un montage (photo 3).

Trois points de vue, complémentaires, peuvent être utiles quant à ce circuit intégré (fig. 8).

Pour l'étude fonctionnelle, on percevra le 74LS05 comme six inverseurs élémentaires (vue « symbolique »), dont les entrées et sorties sont groupées par paires. Bien

qu'omis pour chaque Inverseur symbolique, les raccordements d'alimentation, mis en commun, sont présents aux deux extrémités du boîtier.

Sans entrer dans les détails de fabrication (sujet pourtant passionnant en soi), il faut savoir que la partie active est très petite par rapport au boîtier : c'est une « puce » de silicium, raccordée par des fils très minces aux broches visibles du dehors. Cette disposition est adoptée pour une raison toute simple : le « gros » boîtier se prête à des fabrications faites à la main et à l'œil nu. Tandis qu'il faut un microscope et des instruments de laboratoire pour raccorder la puce...

Enfin, il faut un repère pour identifier les broches du boîtier qui, autrement, est symétrique. Une encoche, ou un point-repère, détermine où est la première broche, selon une numérotation qui part toujours de 1 « en tournant » dans le sens des aiguilles d'une montre si l'on regarde le circuit par-dessus (face portant les références du fabricant).

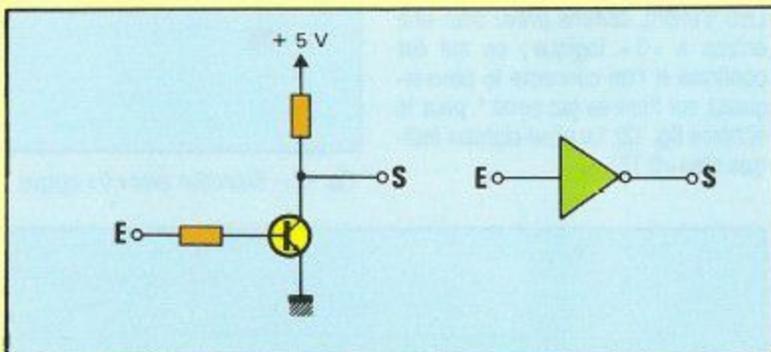


Fig. 7. - Circuit inverseur « réel » et symbole logique.

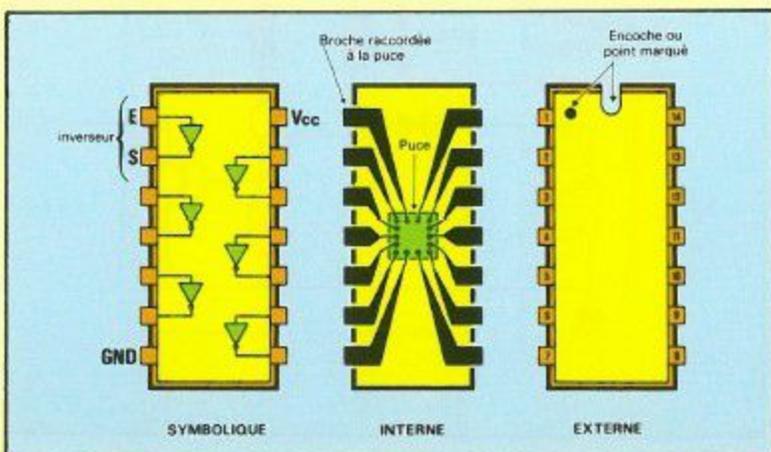


Fig. 8. - Les trois vues d'un circuit intégré.

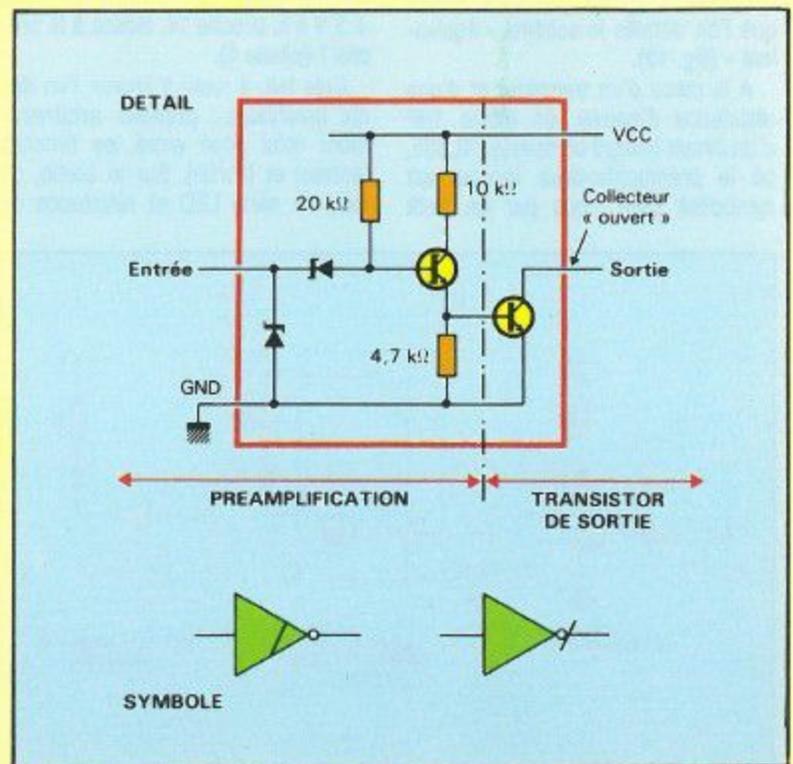


Fig. 9. - L'inverseur élémentaire à « collecteur ouvert ».

Le « collecteur ouvert »

Le véritable inverseur, reproduit à six exemplaires sur la puce, correspond au schéma de la figure 9. La partie « complexe » du schéma n'est en première analyse qu'une version perfectionnée de notre résistance d'entrée : un préamplificateur qui améliore les performances de l'inverseur, surtout la rapidité de sa commutation (délai entre un changement de polarité à l'entrée et à la sortie).

La source d'alimentation positive, habituellement + 5 V, est souvent identifiée V_{CC} , où la lettre « c » fait référence au collecteur des transistors internes (on voit la relation dans le préampli). GND est l'abréviation de *ground* : « terre » ou masse, pour la langue anglaise.

On note que le transistor de sortie n'est pas pourvu de l'habituelle résistance de rappel. C'est pour cette raison que l'on appelle ce type de sortie « collecteur ouvert », et que le symbole de l'inverseur sera marqué d'une petite barre supplémentaire.

Cet « oubli » est délibéré, et donne aux circuits dont la sortie est à collecteur ouvert des propriétés bien sympathiques...

Indicateur logique à LED

Il y a quantité de façons de monter un indicateur logique avec une diode LED. La plus usuelle est d'utiliser un inverseur à collecteur ouvert, selon un montage qui s'apparente directement à celui où nous employons un transistor. D'autant plus directement que l'on détaille le schéma « équivalent » (fig. 10).

A la place d'un transistor et d'une résistance d'entrée, on utilise 1/6^e d'un circuit intégré comme le 74LS05, où le préamplificateur interne est symbolisé pour nous par un petit

triangle. Le résultat sera le même : transistor bloqué et LED éteinte pour une entrée à « 0 » logique ; transistor « passant » et LED allumée pour une entrée à « 1 » logique. Dans les schémas habituels, on omet les détails (alimentation, vue interne du circuit intégré), et l'on ne représente que l'inverseur, la LED et sa résistance de rappel/limitation de courant.

Montage pratique

On commencera par installer le circuit intégré marqué 74LS05 à cheval sur la « rigole » au milieu de la planchette. De telle sorte que chaque broche puisse être connectée via l'un ou l'autre des quatre trous alignés à la

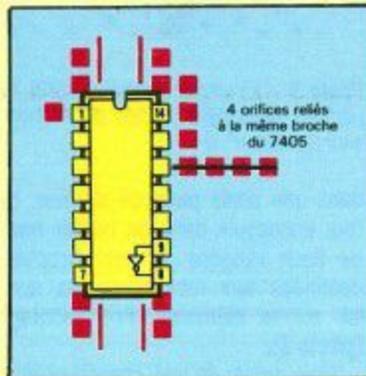


Fig. 11. - Quatre orifices reliés à la même broche du 74LS05.

perpendiculaire du circuit intégré (fig. 11).

On commence par amener les alimentations aux points ad hoc : + 5 V à la broche 14, masse à la broche 7 (photo 4).

Cela fait, il reste à choisir l'un des six inverseurs : prenons arbitrairement celui situé entre les broches (entrée) et (sortie). Sur la sortie, on relie en série LED et résistance de

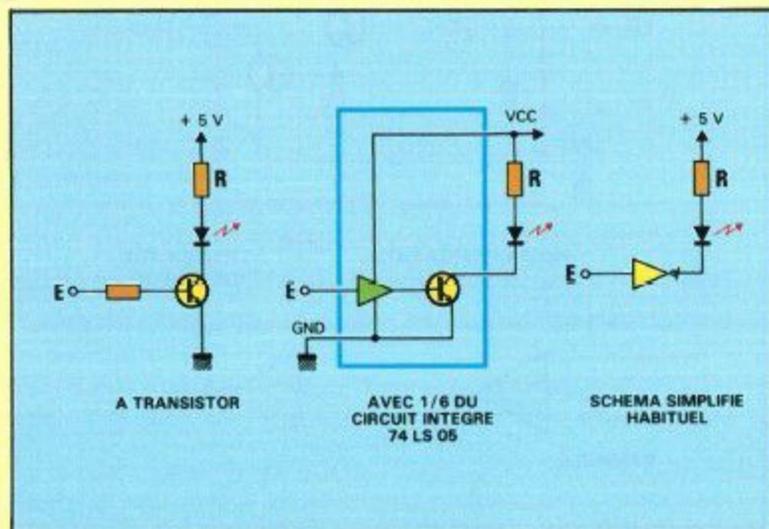


Fig. 10. - Transposition du montage « indicateur logique ».

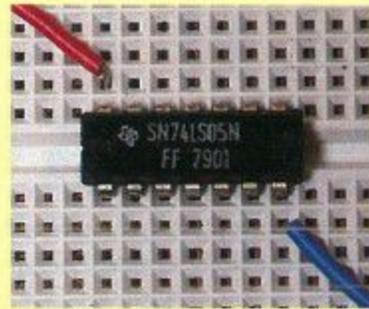


Photo 4. - Le positionnement du circuit sur la planchette et son alimentation.

1 k Ω , avec la ligne d'alimentation positive.

Tel quel, le montage doit allumer la LED et a fortiori si l'on relie l'entrée de l'inverseur à une source de « 1 » logique, par exemple une résistance de 10 k Ω reliée au + 5 V.

Pourquoi le circuit croit-il que son entrée est à « 1 » alors qu'elle n'est pas reliée ? Parce que (et cela est visible sur le schéma détaillé) la plupart des circuits intégrés comportent un léger « rappel » interne, disons une résistance de forte valeur, entre l'entrée et l'alimentation positive.

Extinction

On monte entre l'entrée de l'inverseur et la masse le potentiomètre de 10 k Ω . En butée dans un sens, que l'on trouve expérimentalement, la LED s'éteint, comme prévu pour une entrée à « 0 » logique ; ce qui est confirmé si l'on connecte le pèse-sigaux sur l'entrée (au point * pour le schéma fig. 12). Le pèse-sigaux indique bien « 0 TTL ».

Au voisinage de l'autre butée, en revanche, c'est-à-dire lorsque la résistance entre masse et entrée est voisine de 10 k Ω , la LED se rallume ! Le pèse-sigaux montre à ce point que l'on est sorti de la plage de valeurs « 0 TTL »... ce qui s'explique très bien avec le schéma équivalent d'un inverseur 74LS05, repris à la figure 13.

Le courant d'entrée passe par une résistance interne de 20 k Ω , une diode et le potentiomètre. C'est là un « pont diviseur » (fiche 1B) tel que la tension d'entrée sera incorrecte à partir d'une certaine valeur de la résistance extérieure, en série entre entrée et masse.

Ou, ce qui revient au même, si l'élément qui « attaque » l'entrée n'est pas capable d'absorber un minimum de courant : de l'ordre de 100 microampères pour notre circuit.

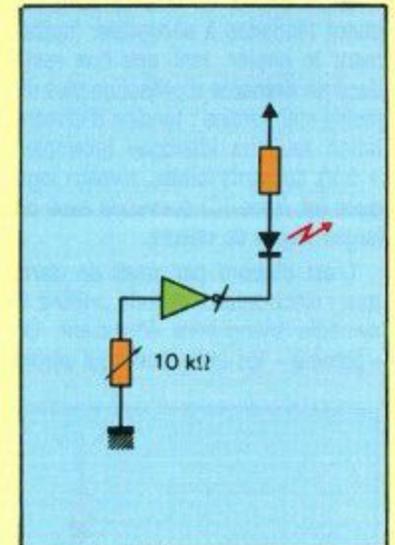


Fig. 12. - Extinction avec « 0 » logique.

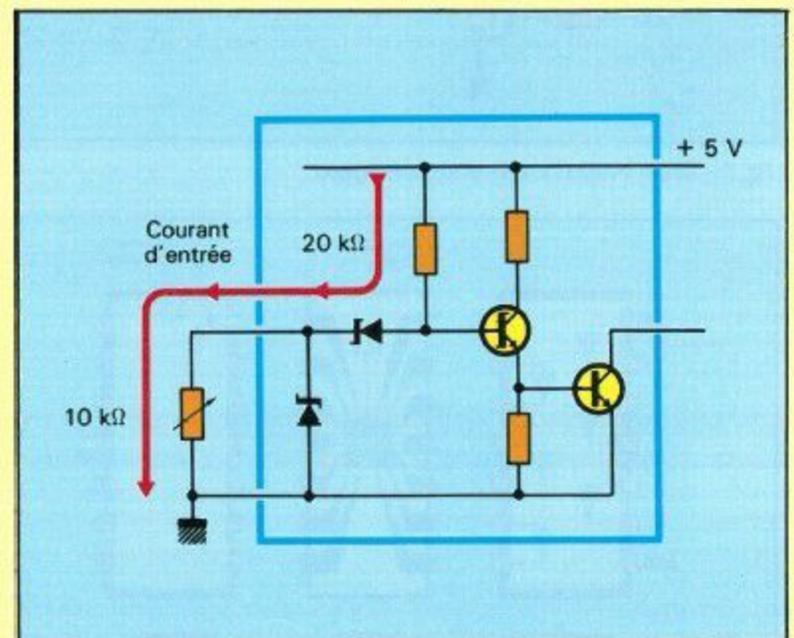


Fig. 13. - Le schéma équivalent de l'inverseur 74LS05 : le niveau logique est incorrect quand on n'absorbe pas assez de courant à l'entrée.

LE NAND: UNE VRAIE FONCTION LOGIQUE DE BASE

Les opérations logiques ET, OU et NON sont considérées comme les fonctions de base dans les théories mathématiques habituelles. Dès l'école primaire, les enfants s'habituent à cette sorte de maths par des jeux du genre « sept familles ». Logiciens et électroniciens savent bien qu'on peut se contenter d'une seule opération réellement « élémentaire », et en déduire toutes les autres. Deux sont candidates : le NON-ET et le NON-OU, qui bien entendu existent toutes deux sous forme électronique. Il s'agit en fait de faire voter les entrées d'un circuit, comme on va le voir avec NAND...

Le plus petit gagne...

Nous connaissons déjà les diodes lumineuses ; quant aux diodes qui ne le sont pas, ce sont simplement des valves, des « sens uniques » électroniques, qui ne laissent passer du courant en quantité notable que dans un seul sens.

Au temps où les ordinateurs s'appelaient encore calculatrices électroniques, on y trouvait fréquemment un petit montage comme celui de la figure 14 : une résistance de rappel dont le pied est « sortie », reliée à deux diodes (ou plus) qui « pointent » sur deux « entrées ».

La théorie de ce montage est bien simple. Si les deux entrées sont assez positives, il ne passe que peu ou pas de courant par les diodes ; la résistance R est « source de 1 logique ». En revanche, si l'une ou l'autre des diodes est reliée à la masse par un élément de faible résistance, l'habituelle division amène la sortie dans les valeurs de basse tension valant « 0 » logique.

Notez en passant que l'on peut mettre plus de deux diodes et retrouver ce fonctionnement : le montage réalise un vote complètement antidémocratique entre les entrées, où il suffit que l'une d'entre elles dise « 0 » pour l'emporter.

ET... et NON-ET

Le logicien peut donner à ce montage l'interprétation suivante : considérant que le « 1 » est aussi bien le « VRAI », et « 0 » est « FAUX », on peut dire que le circuit répond « VRAI » si, et seulement si, les deux entrées sont « VRAIES ». Il est habituel de dessiner ce genre de petit tableaux croisés :

		ENTREE 1		
		0	1	
ENTREE 2	0	0	0	SORTIE
	1	0	1	

	FAUX	VRAI
FAUX	FAUX	FAUX
VRAI	FAUX	VRAI

	BAS	HAUT
BAS	BAS	BAS
HAUT	BAS	HAUT

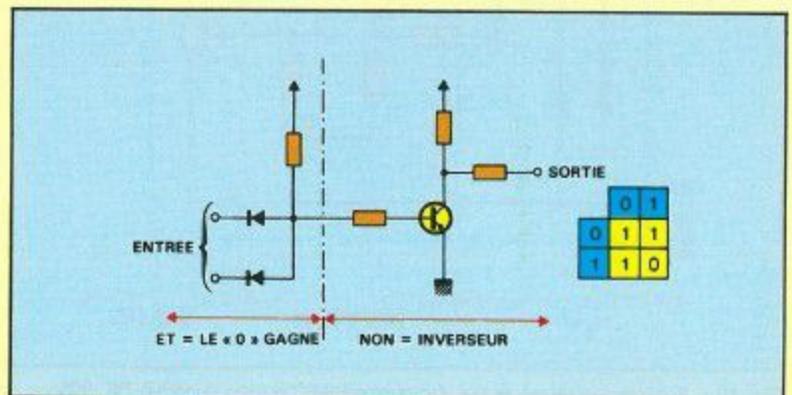


Fig. 15. - Le circuit « NAND ».

Que l'on s'exprime en 0/1, FAUX/VRAI ou BAS/HAUT, on a le même résultat essentiel : le ET logique. Qui est la fonction (dans le langage courant) qui exprime l'accord de toutes les parties...

Pour transformer le ET en son contraire, il suffit de le nier ; en électronique, il suffit d'y relier un montage inverseur, comme indiqué sur la figure 15.

Déjà familiers avec les symboles qui allègent la représentation des circuits, nous pouvons représenter le NON-ET par le symbole du ET et celui de l'inverseur, bout à bout (fig. 16). On préfère, pour la concision, ne conserver que le symbole du ET, assorti du petit rond « inverseur ».

anglo-saxonne). C'est un circuit intégré spécifié pour les niveaux logiques TTL, qui comporte quatre exemplaires du même NON-ET (fig. 17).

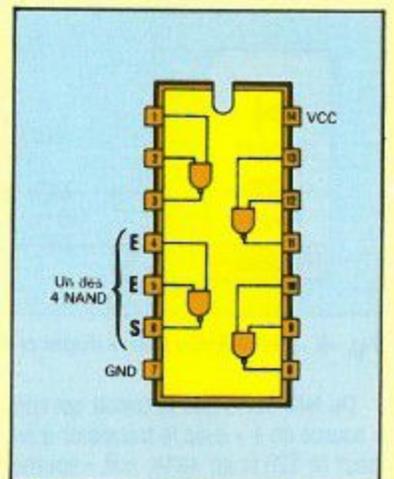


Fig. 17. - Vue symbolique du circuit 74LS05.

Soit quatorze broches avec les deux points d'alimentation.

Le circuit équivalent à l'un des quatre NAND identiques est celui de la figure 18. Le détail du « préamplificateur » nous importe peu, tandis que nous reconnaissons à gauche la paire de diodes qui réalise le « ET ».

Quant à la sortie, nous voyons qu'elle comporte non pas un seul transistor, mais deux, en série entre Vcc et masse. Il s'agit d'une disposition appelée *totem-pole* en jargon technique. Le préamplificateur bloque en fonction de l'entrée l'un ou l'autre exclusivement.

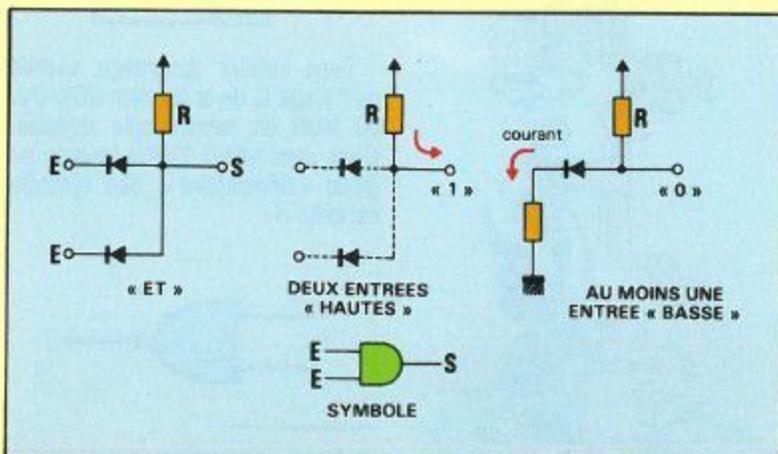


Fig. 14. - Un « ET » logique à diodes.

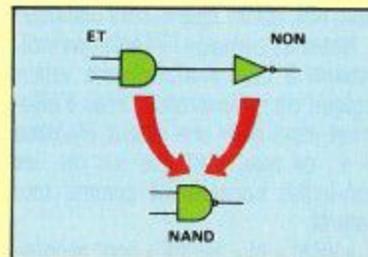


Fig. 16. - Synthèse de « ET » avec « NON ».

Le quadropole NAND 74LS00

Dans les micro-ordinateurs, c'est le circuit intégré 74LS00 que l'on retrouve le plus souvent dans le rôle de NON-ET, ou NAND (terminologie

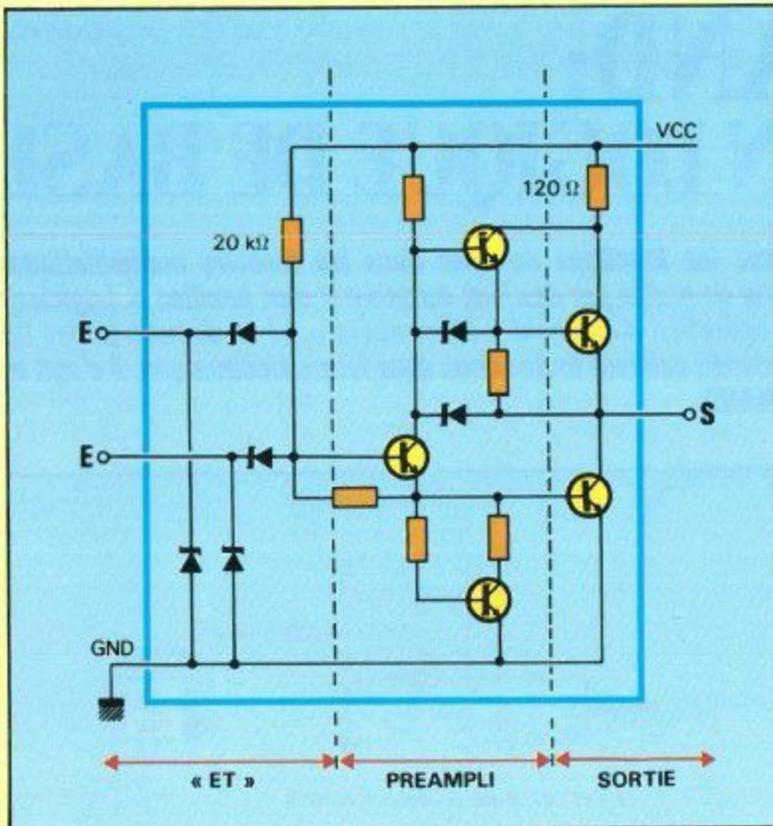


Fig. 18. - Schéma équivalent de l'un des quatre NAND du circuit intégré 74LS05.

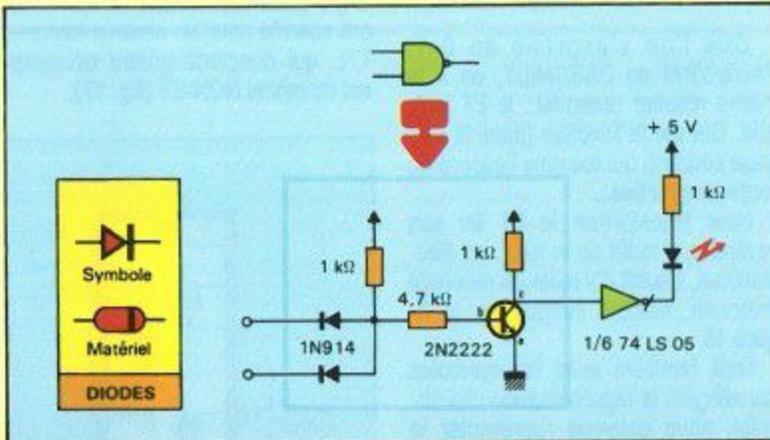


Fig. 19. - Un « NAND » à deux diodes et un transistor.

De telle sorte que le circuit est soit « source de 1 » avec le transistor d'en haut et 120 Ω en série, soit « source de 0 » par l'appel de courant dans le transistor d'en bas.

REGLE : pour les circuits logiques à sortie « totem », famille TTL
 - une sortie à « 1 » fournit (un peu) de courant
 - une sortie à « 0 » absorbe (beaucoup plus) de courant.

Un NAND à transistor

Il est temps pour vous de voler de vos propres ailes : montez donc, sans autre indication que le schéma de la figure 19, ce NAND à un transistor et deux diodes ; avec comme « témoin » lumineux l'indicateur à LED et inverseur 74LS05 de la fiche 2B (que vous

n'avez peut-être pas encore démantelé).

Nos diodes 1N914 sont reconnaissables à leur petite taille, et à l'anneau noir qui indique le côté cathode.

Notez au passage l'intérêt des indicateurs à LED montrant une valeur logique via un inverseur : elles s'allument alors pour une valeur d'entrée = 1 ; ce que, neuf fois sur dix, les non-initiés considèrent comme tout naturel.

« VRAI » et « allumé » sont synonymes dans l'esprit des gens, semble-t-il... Vérifiez-le sur les quatre combinaisons possibles des entrées.

Le « ET câblé » avec les collecteurs ouverts

Les sorties en collecteur ouvert comme celles du 74LS05 fonctionnent

exclusivement par absorption de courant ; jamais comme source.

On peut par conséquent, sans inconvénient et sans aléa, les relier ensemble comme dans la manipulation que nous vous proposons.

Gardons le seul 74LS05 monté, et relierons entre elles deux sorties : par exemple, les broches 8 et 10, en série avec le désormais classique binôme LED + 1 kΩ (*). La figure 20 comporte, pour compléter l'information, des petits numéros qui identifient les

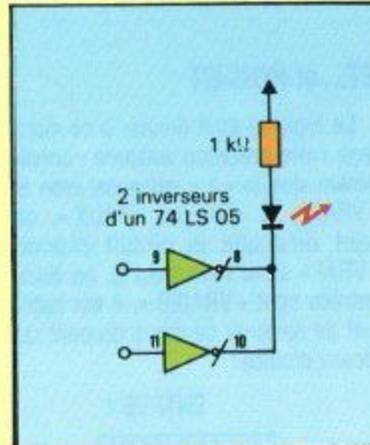


Fig. 20. - Montage avec « ET » câblé.

broches effectivement employées. Comme l'énoncent les professionnels : « 9 vers 8 » et « 11 vers 10 ». Assorti de numéros de broches, on considère que le schéma est complet, car il indique non seulement le principe (par des symboles) mais la réalité du montage (identification des composants, numéros de broches utilisées, etc.).

Vous le vérifierez par l'expérience, avec les quatre combinaisons des entrées : la LED s'allume pourvu qu'au moins une des deux soit à « 1 ». Ce

qui est... logique car, dès cet instant, l'un des transistors de sortie est passant (fig. 21).

Bien qu'il s'agisse d'une fiction, on représente parfois au point de raccordement commun un « ET », car, en ce point, il y a vote antidémocratique entre les sources de « 0 ». On pourrait y connecter bien plus de deux sorties à collecteur ouvert et obtenir ainsi un « ET câblé », selon l'expression consacrée, avec autant de contributions que l'on veut.

Dans la pratique, cette façon de faire de la logique avec de simples résistances de rappel est très économique, et très usitée. D'où l'existence de nombreux circuits intégrés avec des sorties à collecteur ouvert.

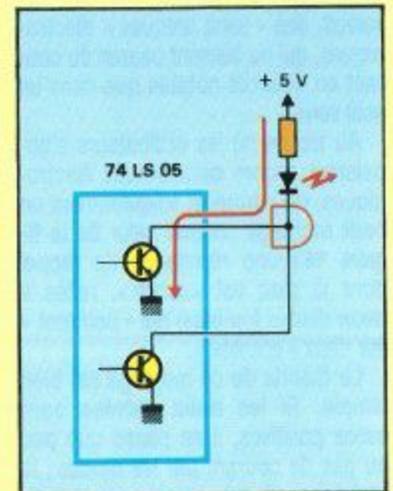


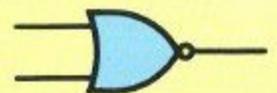
Fig. 21. - Le « ET CÂBLÉ ».

NON-OU

Au passage, vous avez réalisé avec les deux inverseurs un opérateur logique dont la table croisée est la suivante :

	0	1
0	1	0
1	0	0

Sans insister davantage, sachez qu'il s'agit là de la fonction NON-OU, ou NOR en terminologie anglaise. C'est, avec NAND, l'autre fonction logique « élémentaire ». Son symbole est celui-ci :



(*) Si vous voulez vraiment plus de lumière, vous disposez aussi de 470 Ω.



TOUTES LES FONCTIONS LOGIQUES A PARTIR D'UNE SEULE

Nous venons de faire connaissance avec la fonction logique NON-ET ou : NAND. A partir de cette seule fonction, donc à l'aide d'un seul composant, on peut « fabriquer » toutes les autres. L'apparition du circuit intégré quadruple NAND avec le numéro zéro-zéro, dans les catalogues TTL, n'est donc pas un effet du hasard. Un ingénieur normalement constitué prévoit toujours une place pour quelques NAND, dans un coin de son circuit imprimé. Au cas où...

Seize fonctions logiques

Il y a exactement seize fonctions logiques possibles ; ce qui n'a rien pour surprendre le lecteur de *Micro-Systèmes* qui sait, bien entendu, compter en binaire.

En effet, une fonction logique est (par définition) une « boîte noire » avec deux entrées et une sortie, comme représenté à la figure 22. Avec deux entrées A et B, les combinaisons sont au nombre de quatre : 00, 01, 10 et 11 ; on énonce complètement le fonctionnement de la boîte en donnant les quatre valeurs du « résultat » selon ces quatre combinaisons.

Les « tables de vérité » croisées sont une façon parmi d'autres de rendre compte de la fonction. Ainsi le ET logique (AND) possède la table suivante :

	A	0	1
B	0	0	0
	1	0	1

Par conséquent, on énonce toutes les fonctions possibles si l'on donne toutes les combinaisons de quatre valeurs 0 ou 1 : de 0000 à 1111. Qui sont seize, CQFD.

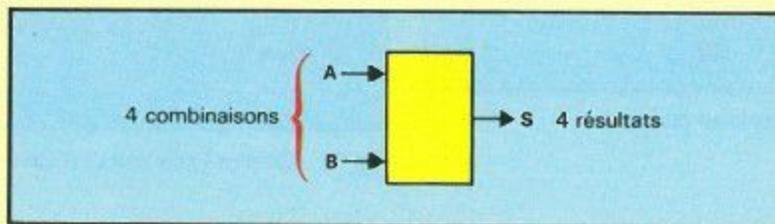


Fig. 22. - La « boîte noire » logique.

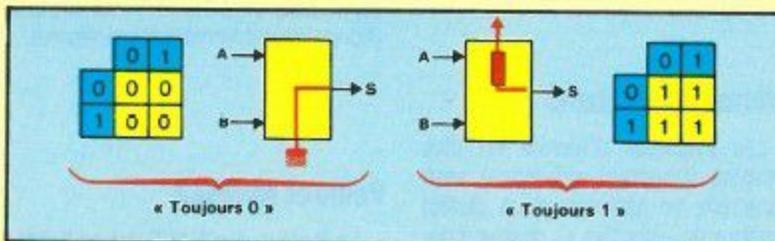


Fig. 23. - Des fonctions logiques sans grand intérêt...

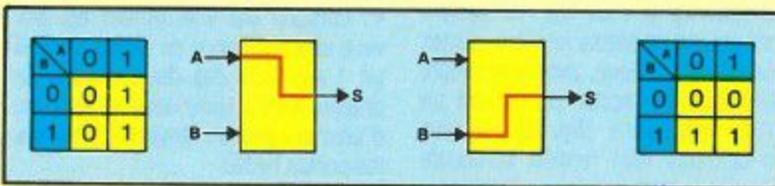


Fig. 24. - Les copies.

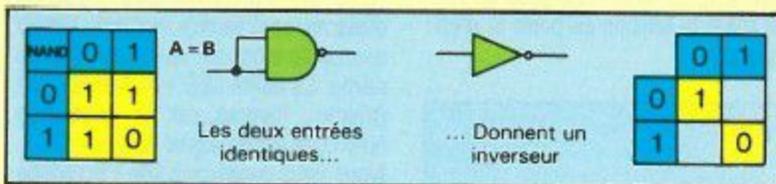


Fig. 25. - Le NAND donne un inverseur.

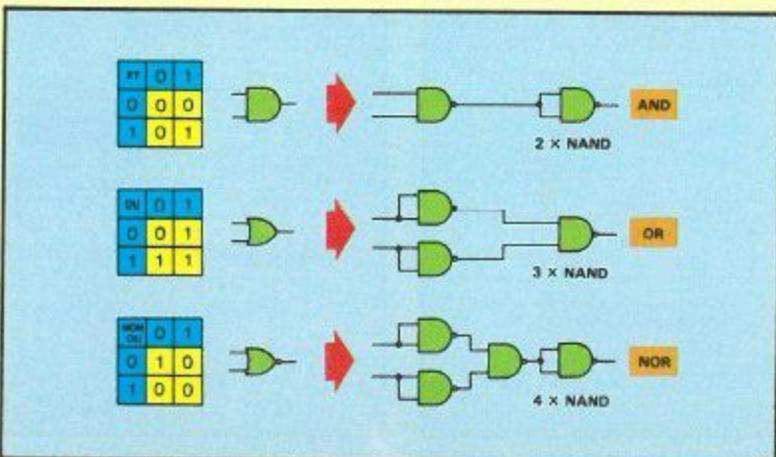


Fig. 27. - Synthèse des fonctions logiques usuelles.

Cessons donc d'examiner les simples figurants, pour nous consacrer aux fonctions logiques vraiment utiles.

A commencer par la dix-septième, l'inversion.

Synthèse des fonctions principales

L'inverseur s'obtient à partir de NAND en reliant entre elles les deux entrées (fig. 25). Un circuit comme le 74LS00 peut donc être employé comme quadruple inverseur (fig. 26).

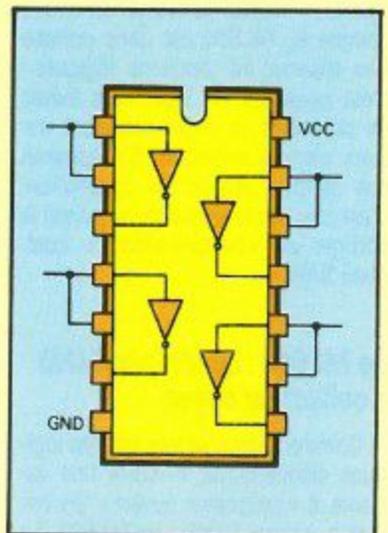


Fig. 26. - Le 74LS00 peut être employé comme quatre inverseurs.

Entre autres.

Le ET (AND) s'obtient tout naturellement... en inversant le NON-ET. Sans entrer dans la théorie, l'opposé n'est pas possible...

Le OU (OR) représente l'autre forme de vote antidémocratique, où il suffit d'un « 1 » sur une entrée pour forcer la sortie à « 1 ». Sa version niée (NOR) s'obtient avec une inversion en plus. Voyez figure 27.

Enfin, on obtient, selon la figure 28, une fonction dont les applications pratiques sont fructueuses ; les gens l'appellent habituellement

Par élimination

Un grand nombre de ces combinaisons sont sans intérêt pratique, par exemple (caricatural) celles qui donnent toujours le même résultat 0, ou 1. Comme le suggère la figure 23, leur réalisation électronique est vraiment très simple !

Les entrées sont en ce cas sans grande signification...

Il en est de même de celles qui se contentent de « recopier » l'une des entrées (fig. 24).

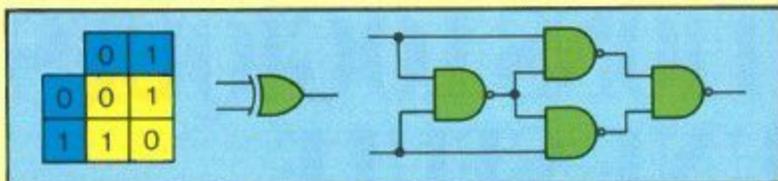


Fig. 28. – Le « OU exclusif » : voyez la différence...

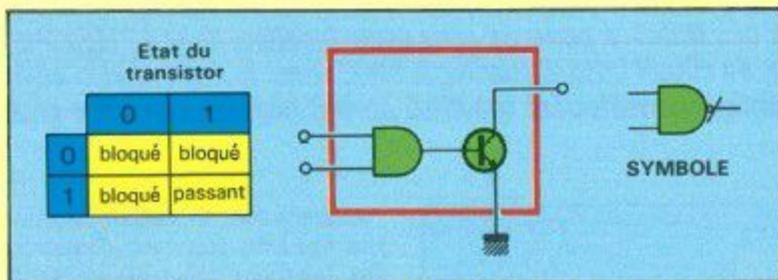


Fig. 29. – Un quart du circuit NAND 74LS03 à collecteur ouvert.

OU-EXCUSIF (EXCLUSIVE-OR). Elle donne le résultat 1 si les entrées sont différentes. On ferait bien mieux de l'appeler, simplement, « différent ». C'est la fonction de base des comparaisons en logique électronique.

Vous avez remarqué ? On sait construire n'importe laquelle des fonctions logiques avec quatre « portes » NAND ou moins. Un circuit comme le 74LS00 est donc comme une réserve de fonctions logiques : c'est pourquoi les ingénieurs avisés en prévoient un léger excédent sur leurs circuits imprimés. S'il apparaît une (petite) erreur de conception, c'est bien le diable qu'on ne puisse la corriger en « personnalisant » quelques NAND...

Le 74LS03 : quadruple NAND à collecteur ouvert

Comme bien d'autres circuits logiques élémentaires, il existe une variante à « collecteur ouvert » du circuit à quatre NAND : le 74LS03. Le boîtier a exactement le même brochage (= affectation des différentes broches) que le classique 74LS00. Seules diffèrent les quatre sorties ; simplifiées, elles se présentent comme à la figure 29.

En logique à collecteur ouvert, nous savons que l'on doit évoquer l'état du transistor de sortie plutôt qu'un « niveau logique 0 ou 1 » : il est bon de voir la table croisée avec les mentions « bloqué » ou « passant ». Ce qui revient au même, à condition de disposer des résistances de rappel adéquates.

La combinaison de fonctions logiques et des propriétés du ET câblé (fiche 2C) ouvre bien des possibilités

d'économie de moyens. Ainsi, expérimentez un système d'alarme rudimentaire...

Alarme sur contacts

Les systèmes d'alarme les plus simples (pourtant efficaces) sont construits en centralisant un certain nombre de « boucles » ; chaque boucle est un fil qui court à travers les locaux protégés, et dont la continuité est assurée si tous les « contacts » sont établis : fenêtres fermées, portes closes... En logique, avec une simple résistance de rappel, on obtient un NAND mécanique (fig. 30) ; si tous les contacts sont fermés, la boucle relie S à la masse, d'où un 0 logique. Si l'un ou l'autre contact s'ouvre (alarme !), la forte résistance de rappel élève la tension au point S, d'où 1 logique.

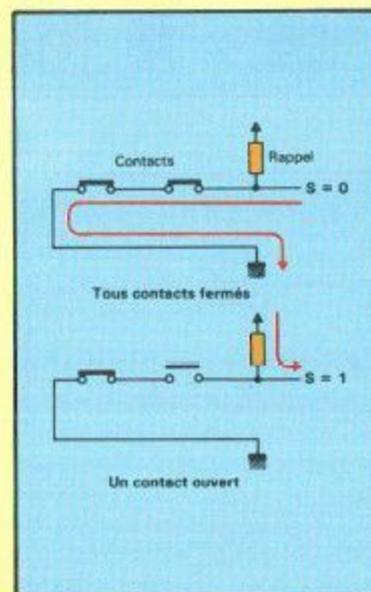


Fig. 30. – La boucle d'alarme : un NAND mécanique.

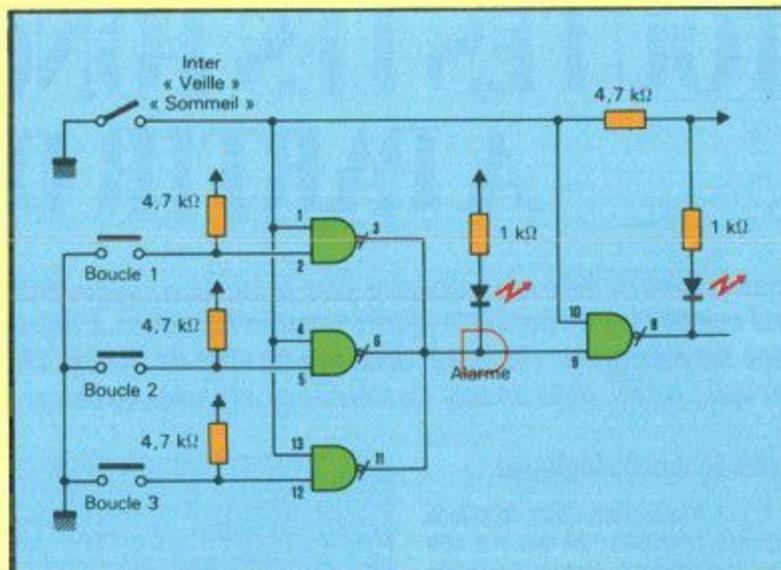


Fig. 31. – Système à trois boucles d'alarme.

Le montage de la figure 31 montre trois boucles d'alarme du même type : pour simplifier, un seul contact (normalement fermé) est représenté.

Veille et sommeil

La logique des NAND est sollicitée pour déterminer deux modes de fonctionnement, grâce à un interrupteur V. Lorsque cet interrupteur est ouvert, une résistance de rappel impose un 1 sur l'une des deux entrées de chaque NAND. Dans cet état, le signal d'alarme « passe » (inversé) à travers les portes NAND.

Dans ce mode de veille, lorsque tous les contacts des boucles d'alarme sont fermés, les trois NAND associées bloquent leur transistor de sortie. La diode LED « ALARME » est éteinte ; inversé par la quatrième NAND, le même signal allume « OK ». Nous vous suggérons une LED rouge

pour « ALARME », une verte pour « OK ». Telle est la force de l'habitude.

Dès que l'un ou l'autre des contacts de boucle d'alarme s'ouvre, une entrée passe à 1. Via le ET câblé, le transistor de sortie de la NAND associée est passant ; il s'ensuit que « ALARME » s'allume tandis que (bien entendu) « OK » s'éteint.

Quant au mode de sommeil, forcé quand l'interrupteur V est fermé, il bloque toutes les NAND... et rien ne s'allume.

Il ne vous reste plus qu'à réaliser ce petit montage. Conseil pratique : vous pouvez dans un premier temps n'équiper qu'une seule des trois NAND d'entrée (photo 7), puis mettre en place une ou deux autres, raccordées à mesure sur le point « ET câblé ». N'ayant pas d'interrupteurs, vous simulerez leurs deux états en reliant (ou ne reliant pas) le « point actif » à la masse.

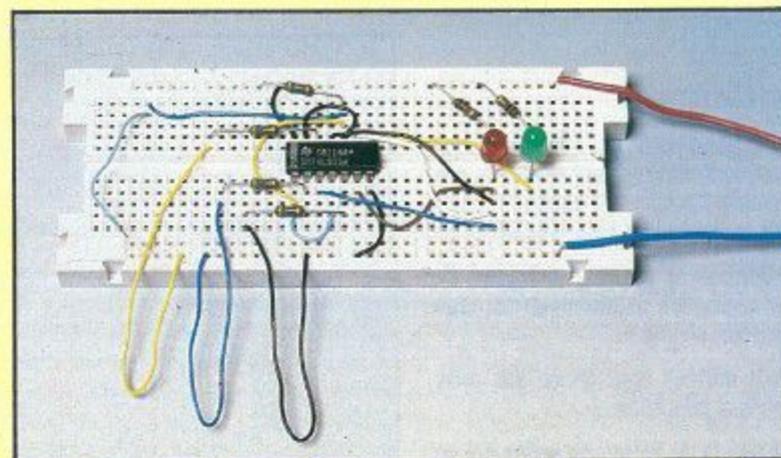


Photo 7. – Le montage d'une boucle d'alarme avec une seule des trois portes NAND d'entrée.

POUR CEUX QUI VEULENT EN SAVOIR PLUS

Que vient faire un transistor dans le monde du microprocesseur ?

Il y a bien longtemps que l'on ne construit plus les unités centrales d'ordinateur avec des composants aussi élémentaires. On préfère monter ensemble quelques circuits intégrés, qui travaillent dans une gamme de tensions d'alimentation réduite (souvent une seule, comme le + 5 V), avec des niveaux logiques convenus et des courants faibles.

Cette approche est à tous égards la meilleure pour assembler des circuits logiques.

Il reste cependant un champ d'application privilégié pour les bons vieux composants discrets : diodes, transistors, thyristors... Les interfaces avec le « monde extérieur ».

Tôt ou tard, l'ingénieur est confronté au raccordement, sur l'ordinateur, d'entrées ou de sorties présentant, quant aux tensions électriques et aux courants (entre autres), des caractéristiques tout à fait quelconques. Des 5 à 50 μ V captés par l'électro-encéphalogramme aux centaines d'ampères d'un four électrique.

Les transistors s'utilisent habituellement, sans jeu de mots, comme éléments de transition entre circuits logiques (tels les circuits intégrés) TTL et des composants électroniques ou électromécaniques non directement compatibles.

Ainsi, le même transistor nous permettra-t-il aussi bien de détecter le faible courant créé par la montée de l'eau dans un réservoir, que d'actionner un petit relais (fig. 1). Sa sensibilité, dans le premier cas, et ses possibilités de débit élevé, dans le second, sortent du domaine des composants logiques usuels.

Comme disent les Anglais, il ne faut pas jeter le bébé avec l'eau de son bain : les « bons vieux » transistors ont encore quelques services à rendre. Même s'ils sont surclassés, ô combien, dans les fonctions nobles du micro-ordinateur.

A quoi peut servir un montage simpliste comme celui de la fiche 2D ?

Malgré ses apparences de gadget à bon marché, le petit montage dé-

tecteur d'alarme en question pourrait rendre bien des services, précisément, à ceux qui construiraient un système de sécurité avec un microprocesseur.

Ou bien à tous ceux qui, du train électrique à l'instrument de laboratoire, se donnent un cahier des charges tel que celui-ci :

- détecter une ou plusieurs ruptures de contacts (passage d'un véhicule, ouverture d'une porte...);

- avec un dispositif qui nécessite un minimum d'attention de la part du programme.

- avec la possibilité d'activer ou de désactiver les détecteurs aux moments choisis par le programme ;

- avoir en outre un témoignage lumineux de l'activité des détecteurs : bien utile pour mise au point, maintenance...

Le même montage déjà vu sera pour ce faire raccordé (fig. 2) au microprocesseur. L'interrupteur de « veille » est remplacé par une ligne de sortie V, commandée par programme ; quand le système est désactivé ($V = 0$), les deux LEDs sont éteintes, etc. : les deux dernières pétiltions du cahier des charges sont respectées.

La manière classique de ne solliciter un programme que s'il y a lieu est d'utiliser une entrée d'interruption sensible à un niveau donné : dans notre exemple, on suppose une sensibilité au « 0 », que les habitués marquent avec une barre sur le INT (les microprocesseurs 68xx, entre autres, sont ainsi). Dans un cas semblable, la validation V est aussi, gratuitement, un moyen d'inhibition de cette interruption, car INT est forcée à 1 si V est à 0.

Si l'interruption se produit, l'identification de la boucle d'alarme concernée (ou plusieurs à la fois) sera possible, au programme, en consultant les entrées A, B, C.

Il va de soi que le montage est extensible et modifiable à toutes sortes de points de vue. Tel quel, il prouve déjà qu'un montage ultra-simple, employant un nombre limité de composants rudimentaires, peut rendre de grands services à un micro... et à son programmeur.

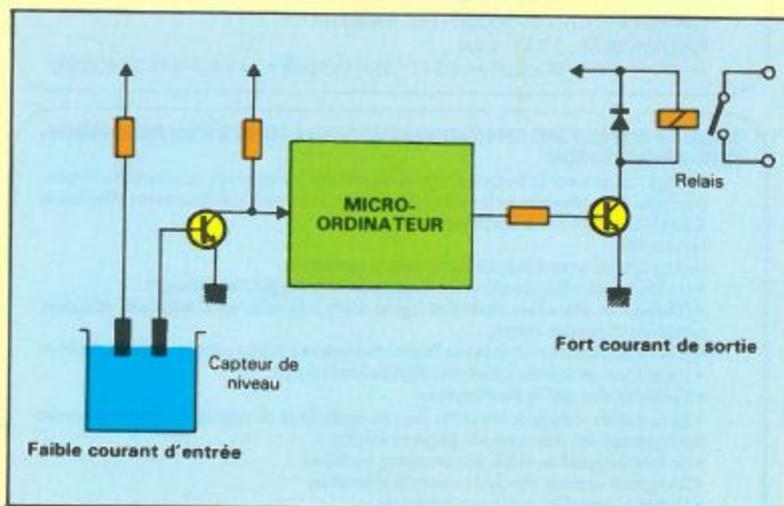


Fig. 1. - Les deux types de transistors « bipolaires » et leurs boîtiers classiques.

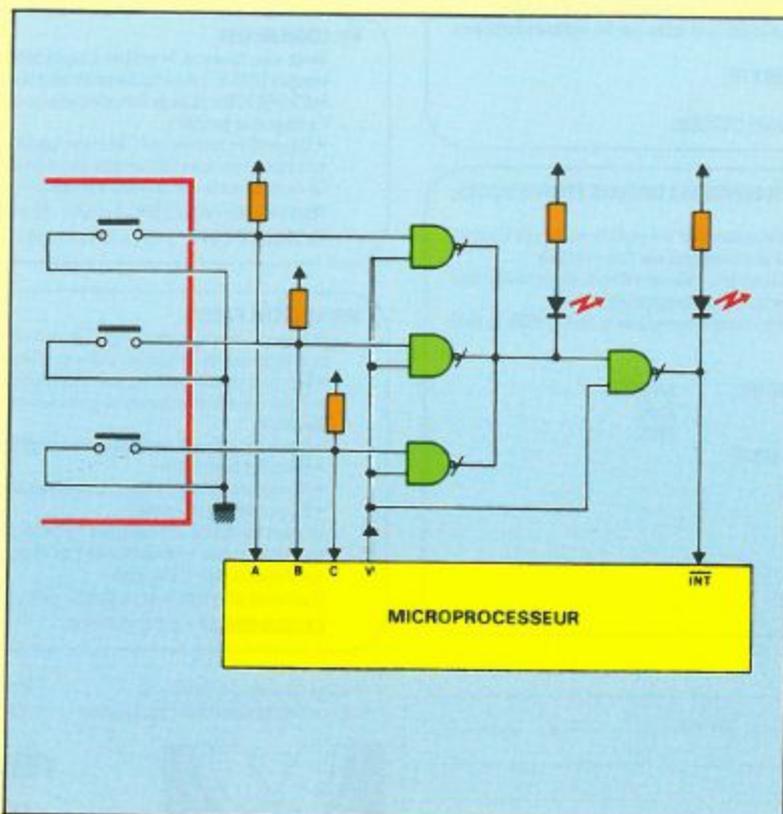


Fig. 2. - Analyse du fonctionnement d'un transistor NPN.

Pour obtenir l'ensemble des composants électroniques...

L'ensemble du matériel électronique nécessaire aux expériences décrites dans ces fiches :

- résistances, potentiomètres
- condensateurs
- diodes et transistors
- circuits intégrés
- outillage divers (planche à trous, pèse-signaux, contrôleur universel...)
- etc.

est disponible sous forme de « kit » complet auprès de la société Betatime, rue de Brie, cour n° 14, 94520 Mandres-les-Roses.