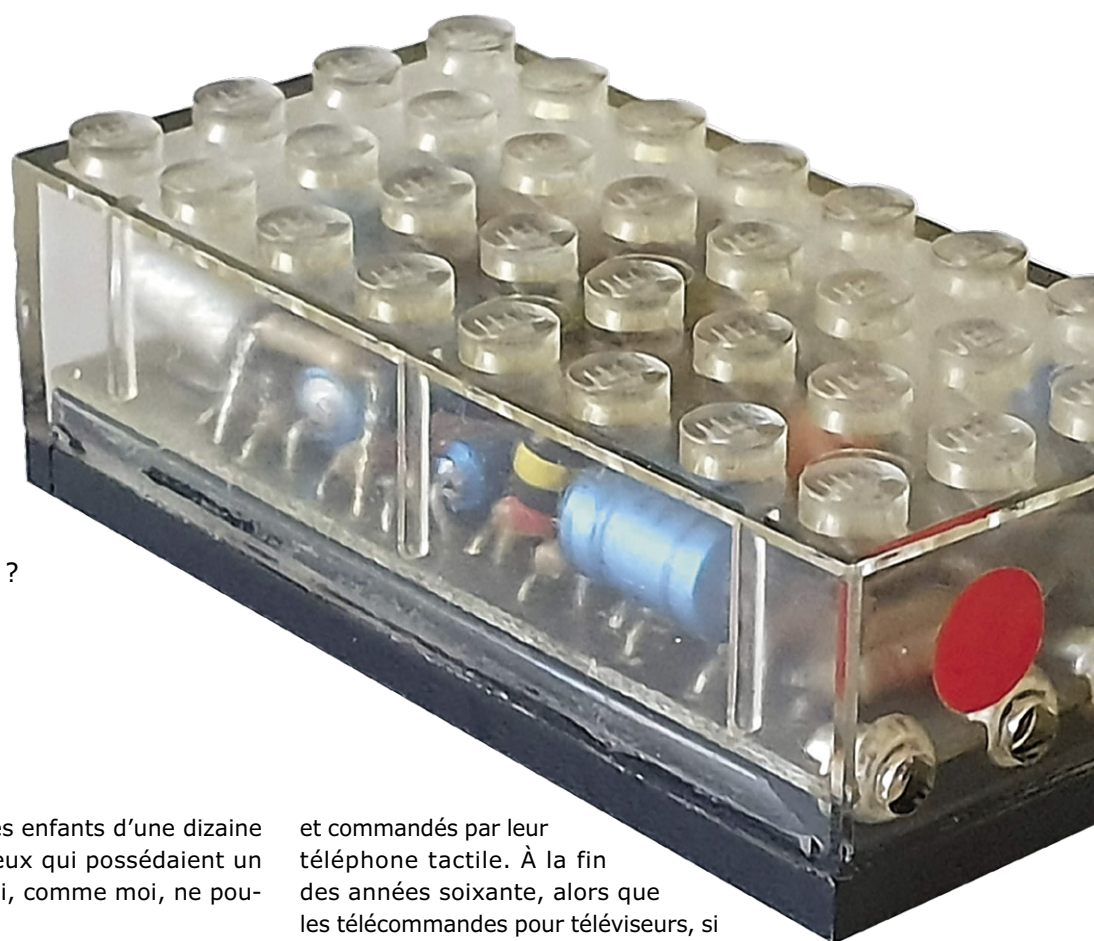


Coffret Lego électronique millésime 1968

50 ans après, les jouets électroniques fascinent encore !

Martin Kompis (Allemagne)

Beaucoup en rêvaient à la fin des années 60, plus rares sont ceux qui ont pu mettre la main sur ce coffret électronique Lego. Un coup de sifflet faisait démarrer la locomotive ! Ces petites boîtes fonctionnent-elles encore aujourd'hui ? Qu'est-ce qu'elles ont dans le ventre ? Qui en a eu l'idée ? Pourrait-on encore en construire aujourd'hui ? Et pour quoi faire ?



Vers la fin des années 1960, parmi les enfants d'une dizaine d'années, il y avait quelques chanceux qui possédaient un Lego Electronic et tous les autres qui, comme moi, ne pouvaient que les envier.

À l'âge adulte il faut payer ses impôts, travailler faute d'héritage convenable, sortir les poubelles, ne pas bâiller durant le réveillon du Nouvel An mais rire des bonnes blagues, pour ne citer que quelques contraintes courantes. Un avantage de l'âge adulte est de pouvoir enfin s'offrir tous les jouets dont on a eu tellement envie.

Comme l'objet de mes rêves ne se trouve pas dans les vitrines des magasins de jouets, j'ai acheté mon coffret Lego Electronic sur l'internet. Il porte le numéro 139A et est livré avec microphone, sifflet Lego, le tout dans sa boîte originale (**fig. 1**).

Le fonctionnement du système est assez simple et on ne pourrait probablement pas mieux l'illustrer que ne le fait le couvercle de la boîte (photo 1). Sifflez une fois avec le sifflet Lego, le train se met en marche. Sifflez un deuxième coup, le train s'arrête. Au lieu de siffler, on peut aussi bien frapper dans ses mains. Rien de particulièrement sensationnel pour des enfants d'aujourd'hui, qui jouent avec des drones équipés d'une caméra

et commandés par leur téléphone tactile. À la fin des années soixante, alors que les télécommandes pour téléviseurs, si elles existaient déjà théoriquement, étaient encore rares de ce côté-ci de l'Atlantique, c'était un jouet vraiment tentant et qui promettait des heures de plaisir.

Dans les années 1968 et 1969, deux versions différentes du coffret électronique Lego sont sorties, regroupées en quatre jeux Lego différents avec les numéros 118, 138, 139 et 139A. L'ancienne version de 1968 se trouve dans les ensembles 118 et 139A. Ce dernier est à la figure 1 et contient un bloc électronique, un microphone dans un boîtier en plastique blanc, deux paires de câbles et un sifflet dont allons reparler. Le coffret Lego numéro 118, plus grand, contenait une locomotive complète avec tender (**fig. 2**).

À peine un an plus tard, on trouvait dans les étagères un nouveau bloc électronique, disponible soit individuellement sous le numéro 139, soit avec la locomotive et son tender sous le numéro 138, cette fois avec un nouveau moteur plus petit. Alors que l'ancienne version est faite entièrement de compo-

sants électroniques discrets, celle de 1969 contient un circuit intégré codé 211 OM [1]. Il permet au train de rouler en marche avant et en marche arrière, télécommandé par le sifflet du chef de gare.

Un coup d'œil rapide à la boîte achetée aux enchères montre qu'il s'agit de l'ancienne version, avec composants discrets. C'est non seulement plus approprié pour la rubrique Rétro-nique, mais aussi plus facile pour analyser et reconstruire le circuit, alors que le mystérieux circuit intégré est peut-être un composant développé ou programmé spécialement pour cette application, comme une sorte de précurseur des FPGA actuels.

Un peu d'acoustique avant l'électronique

Commençons par le commencement, le bloc électronique n'est que la deuxième partie du système. La première est le générateur de signal acoustique, c'est-à-dire le sifflet Lego (fig. 1 et 2). Celui que j'ai acheté fonctionne impeccablement avec le circuit, mais je le trouve trop sonore. Même en soufflant modérément, on atteint un niveau d'environ 95 dBA à 1 m. C'est fort. À mon oreille, quand je siffle, je mesure même 105 dBA. Le niveau acoustique varie logiquement avec la force du souffle, mais la tonalité change un peu aussi. La fréquence de mon spécimen avoisine 5,7 kHz. Précisément la plage de fréquences dans laquelle l'oreille humaine semble la plus sensible à la pression acoustique [3]. J'ai constaté qu'un niveau sonore plus faible suffisait pour obtenir une commutation fiable, avec mon exemplaire environ 82 dBA font largement l'affaire.

L'électronique

La partie de loin la plus attractive et la plus précieuse de tout le système est bien sûr le bloc électronique, bourré de composants, forcément antiques et tous à fils traversants, puisque la technologie CMS n'avait pas encore été introduite en 1968 [2]. La partie supérieure est transparente, ce qui faisait déjà partie de son attrait pour les enfants intéressés par la technique. Même dans la locomotive terminée, l'électronique n'est pas dissimulée, mais fièrement exposée (fig. 2).

Le raccordement au moteur s'effectue par deux tiges métalliques sur la face inférieure du bloc électronique, le raccordement au microphone et au boîtier de la batterie par deux paires de douilles de 2,5 mm sur sa face avant. Elles sont marquées d'un point bleu pour le microphone et d'un point rouge pour l'alimentation (fig. 1).

Cela soulève d'emblée des questions sur le circuit. La polarité de la tension d'alimentation n'est indiquée nulle part. Cela ne servirait d'ailleurs à rien, puisque la polarité de la tension de service peut être modifiée par une courte pression sur le levier situé sur le compartiment des piles. Mécaniquement, toutes les prises sont identiques, vous pourriez donc connecter le microphone sur les connexions du moteur, la batterie à celles du microphone et ainsi de suite. Comme l'ensemble est destiné aux enfants qui aiment faire des expériences, il est protégé contre les fausses manœuvres. Un court test montre que le circuit ne fonctionne comme prévu qu'avec la bonne polarité de la tension d'alimentation. En cas d'inversion de polarité, il n'y a pas de risque : le train fait simplement marche arrière, mais à une vitesse beaucoup plus lente.

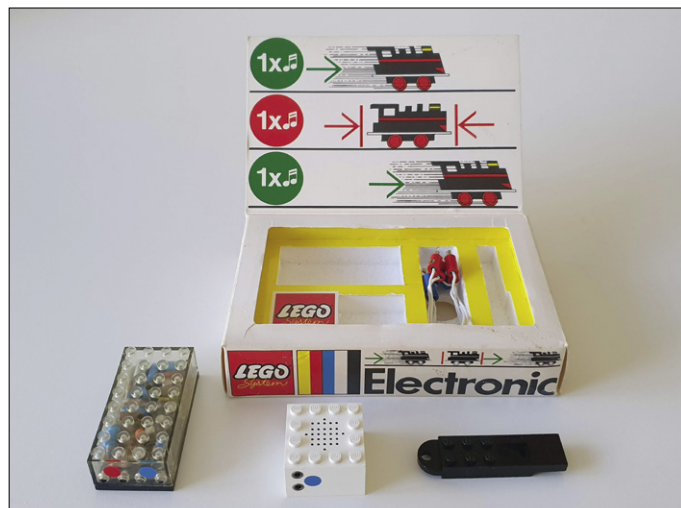


Figure 1. L'ensemble électronique Lego des années 60, vendu aux enchères : à gauche le bloc électronique proprement dit, à l'avant le microphone et à sa droite, le sifflet tout puissant du chef de gare.

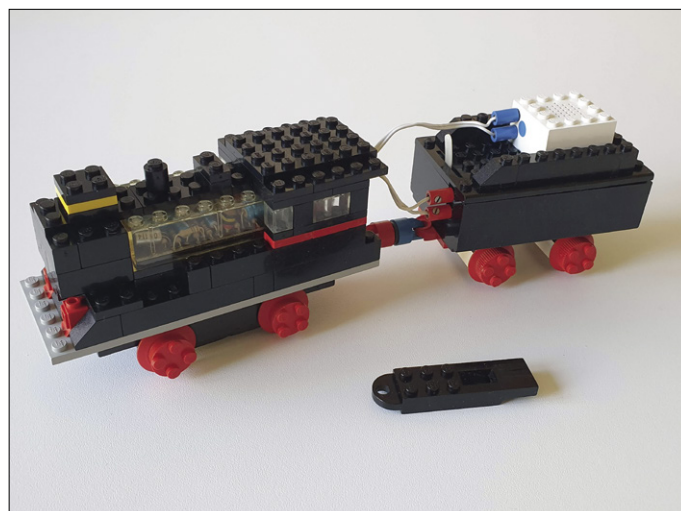


Figure 2. Réplique (malheureusement pas l'original) de la locomotive n° 118, le module électronique y est mis en évidence.

En cas de surcharge du moteur, l'intensité du courant augmente rapidement jusqu'à 80 mA environ. Pourtant, à l'intérieur du bloc électronique, à travers le couvercle transparent, on n'aperçoit ni transistor de puissance ni diodes de protection contre l'inversion de polarité. Comment ont-ils fait ça en 1968 ? Pour répondre à cette question et à bien d'autres, il faudrait le schéma du circuit. En première instance, je ne trouve rien sur l'internet, il me faut donc ouvrir le bel appareil. Je me suis rendu compte plus tard que je n'avais tout simplement pas assez bien cherché : on trouve le schéma sur l'internet [1] et même en deux variantes. Cependant, les deux ne reflètent pas correctement la polarité des transistors, ce qui laisse planer une incertitude sur le fonctionnement du circuit.

La partie supérieure du boîtier est collée sur la plaque de base et je dois l'entailler avec un couteau suisse. Pour un tel outrage au composant historique Lego, je risque d'aller en enfer Lego (ou est-ce l'enfer du jeu ?). Quoi qu'il en soit, il est possible

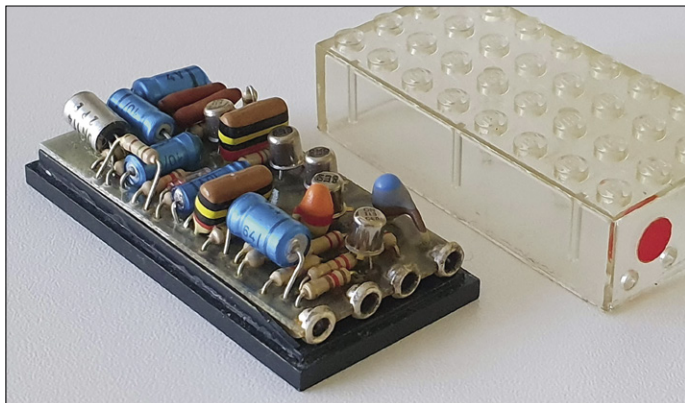


Figure 3. Le Lego électronique, boîtier ouvert. À l'arrière, tout à gauche, le transistor au germanium.

d'enlever la partie supérieure sans endommager aucune des pièces en plastique. L'ensemble de l'électronique est maintenant devant moi dans toute sa splendeur (**fig. 3**). En soulevant un peu petit carton coincé de côté, je trouve une note jaunie où je lis la date « SEP. 1968 ». C'est charmant.

Avec du papier calque, un appareil de mesure et un œil exercé, le circuit est maintenant tout tracé. Les composants sont tellement serrés les uns contre les autres que l'identification ressemble assez à un autre défi. Par souci de compacité, ils sont partiellement superposés, de sorte qu'on ne peut apercevoir certaines résistances et une diode qu'en pliant les fils des composants du dessus.

La **figure 4** montre le schéma de circuit qui en résulte. Sur le petit circuit imprimé, il y a en tout six transistors en boîtier métallique. Cinq d'entre eux sont étiquetés *ON 113* dans les petits boîtiers TO-18, le dernier, sous un grand format TO-1, porte la mention *ON 114*.

À ma connaissance, ces désignations ne sont répertoriées nulle part et j'ai cherché en vain sur l'internet une correspondance quelconque dans un système connu. Selon les mesures effectuées, le *ON 114* doit être un transistor au germanium PNP,

tandis que les cinq autres transistors sont de type NPN et, à ma grande surprise, il s'agit de transistors au silicium. Fondamentalement, le fonctionnement du circuit est facile à comprendre. Les transistors T1 et T2 forment un amplificateur pour le signal du microphone. On n'exige pas ici de haute fidélité, ce qu'il nous faut est une amplification plus forte. Du coup, le signal au collecteur de T2 semble déformé. En fait, seules certaines parties des demi-ondes négatives sont amplifiées, et même pas de manière particulièrement propre. Cela dit, le signal atteint quand même facilement une amplitude crête à crête d'environ 2,5 V.

Avec le condensateur C4 et la résistance R9, le transistor T3 forme un interrupteur qui commande le multivibrateur bistable composé de T4 et T5. Le condensateur C4 est presque chargé à la tension de service au repos via R9 (et donc aussi via R10, bien sûr). Si un coup de sifflet retentit, T3 devient brièvement conducteur à chaque demi-onde et décharge ainsi rapidement C5. La recharge de C5 se fait alors beaucoup plus lentement, avec une constante de temps de près de 50 ms déterminée par C5 et R9, après que le signal sonore se soit arrêté. Le multivibrateur bistable est commandé par C7 et C8. Si T4 est conducteur, le moteur s'arrête. En revanche, si T5 conduit, la jonction CE du transistor de l'étage de sortie T6 devient conductrice et le train roule.

Cinq des six transistors du circuit sont au silicium, mais les concepteurs ont choisi un transistor au germanium pour commander le moteur. Cela s'explique par le fait que, quand il conduit, la chute de tension est nettement plus faible sur les jonctions d'un transistor au germanium que sur un homologue au silicium. Dans le circuit que j'ai devant moi, la tension de déchet est de l'ordre de 0,03 V, une valeur étonnamment faible. En conséquence, la dissipation de puissance sur T6 est très faible.

La question de la polarité

Jusqu'à présent, tout est simple, mais certains détails restent flous. Que se passe-t-il si la polarité de la tension de service est mauvaise ? Pourquoi le train circule-t-il et pourquoi plus lentement qu'en marche avant ? Qu'arrive-t-il aux différents composants du circuit si la polarité est inversée ? La pre-

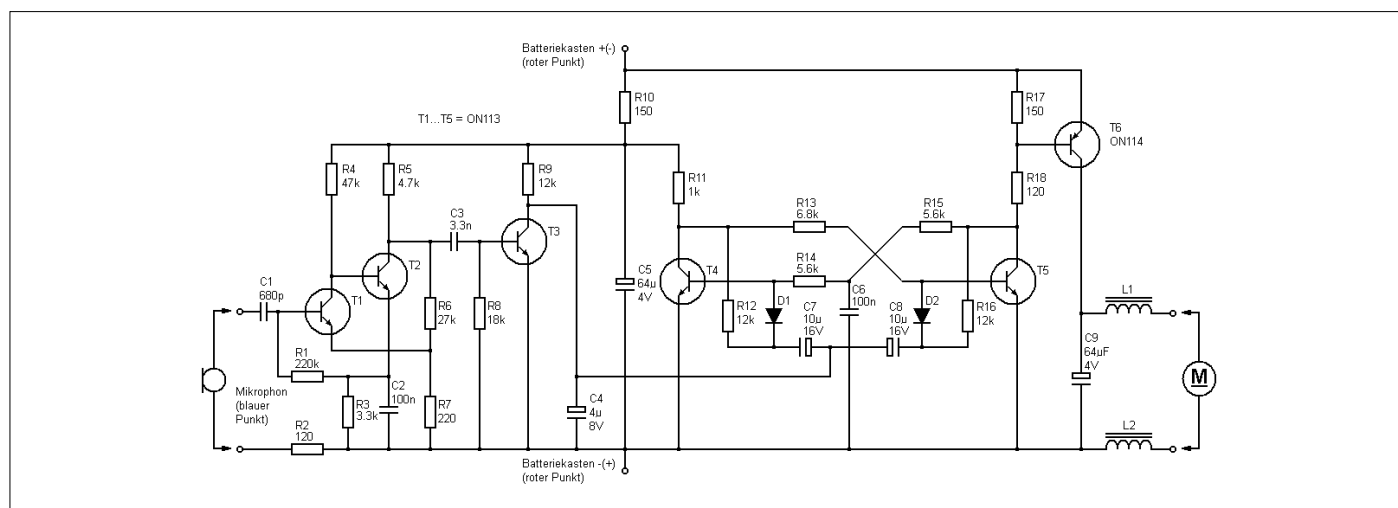


Figure 4. Le schéma du circuit. Les transistors T1 à T5 sont au silicium, T6 est au germanium.

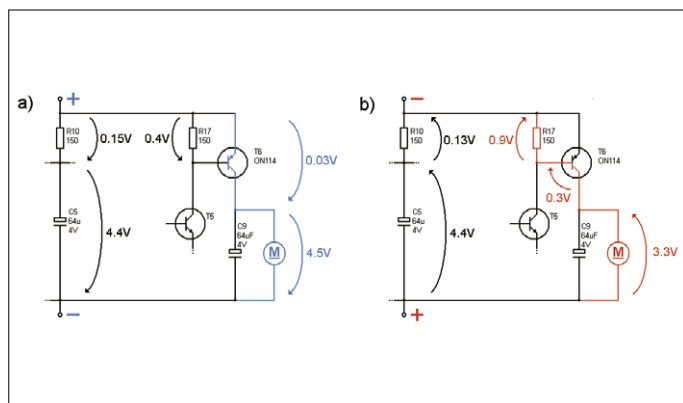


Figure 5. Certaines tensions (a) pendant la marche avant et (b) pendant l'inversion de polarité de la tension d'alimentation avec laquelle le train ralentit et se déplace dans la direction opposée.

mière partie du circuit peut être protégée par R10, mais que deviennent les condensateurs électrolytiques C5 et C9 ? Ne subissent-ils pas une polarisation inverse dans ce cas-là ? La **figure 5** montre les deux états et quelques tensions relevées pendant le fonctionnement.

Si la polarité est correcte (**fig. 5a**), tout fonctionne exactement comme décrit. En marche arrière (**fig. 5b**), en revanche, la jonction BC de T6 agit comme une diode avec une chute de tension prévue d'environ 0,3 V. Le courant circulant dans le moteur doit alors circuler aussi à travers la résistance R17 de 150 Ω , où une autre chute de 0,9 V se produit. En conséquence, le moteur tourne beaucoup plus lentement, mais il tourne !

Et les deux condensateurs électrolytiques ? Il n'y a pas de miracle. Si la locomotive roule lentement vers l'arrière, les deux condensateurs électrolytiques C5 et C9 sont en fait mal polarisés et les tensions inverses qu'ils subissent ne sont pas négligeables. Les concepteurs le savaient et cela semble fonctionner, même après plus de 50 ans.

Les mesures sur le circuit imprimé étroit ne sont pas très faciles. De plus, il est tentant de reconstruire le circuit pour s'assurer que le schéma est correct.

La prochaine question pertinente est donc la suivante : faut-il vraiment le reconstruire ? Comme pour toutes les interrogations cruciales dans ma vie, je consulte d'abord ma famille. Cette fois-ci, les réponses varient entre « ferme la porte » (les adolescents) et « à quoi ça servira ? » (mon épouse aimante, qui a ses propres tourments existentiels). Quand j'interroge mon chat (âge et pedigree incertains, mais pas de la dernière portée non plus) il ferme ostensiblement les deux yeux et ronronne. Le connaissant, j'en déduis c'est une réaction d'approbation enthousiaste à mes interrogations et je me mets aussitôt au travail.

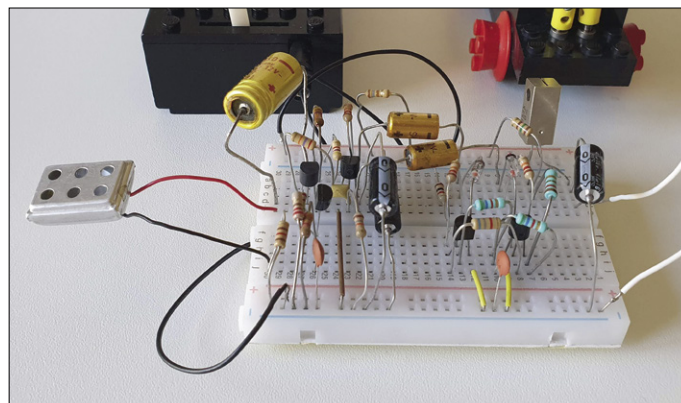


Figure 6. La réplique de l'électronique Lego. À l'arrière, à droite, le transistor au germanium AC153K en boîtier TO-1 avec son radiateur, superflu pour cette application.

La réplique

La **figure 6** montre la copie du circuit sur une petite plaque d'expérimentation. Au lieu des cinq transistors au silicium ON 113 NPN pour T1 à T5, j'ai utilisé les types BC548C et en lieu et place du transistor au germanium ON 114, j'ai pris un exemplaire de l'AC153K, qui venait de passer les dernières décennies enfoui dans les profondeurs du boîtier de l'appareil. Le montage fonctionne immédiatement, tout comme l'original vieux de plus de 50 ans. Un coup de sifflet et le moteur démarre, un deuxième coup et il s'arrête. Si vous appuyez sur l'interrupteur de batterie, le moteur tourne dans l'autre sens, et beaucoup plus lentement. Ça maaaaarche ! Comme microphone, j'ai pris un vieux modèle à cristal. J'espère que mon circuit reconstitué pourra être utile à quelqu'un qui possède comme moi un vénérable coffret Lego électronique aujourd'hui défectueux. Je suis content comme un gamin, le circuit n'a semble-t-il rien perdu du potentiel ludique de l'original. Il n'y a pas de mal à se faire du bien, je vous recommande d'en faire autant ! ◀

(190382-02 VF Robert Grignard)

EST²⁰⁰⁴

www.elektor.tv



Rétronique est une rubrique mensuelle sur les pages glorieuses et jaunies de l'électronique, avec occasionnellement des montages de légende décrits dans Elektor. Si vous avez des suggestions de sujets à traiter, merci de les télégraphier à redaction@elektor.fr

Liens

[1] Circuit 211 OM:

www.eurobricks.com/forum/index.php?forums/topic/10989-electronic-train-118138-and-139-anyone-have-one-or-have-seen-one/&page=2

[2] Petite histoire des CMS (en allemand) : www.all-electronics.de/eine-kleine-geschichte-der-smt/