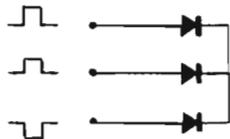


OUI



NON

$$1 + 1 = 10$$

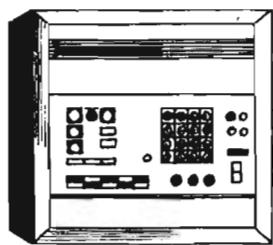
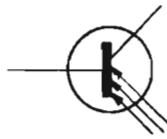
$$10 + 10 = 100$$

$$1000 - 100 = 100$$

$$11 \times 11 = 1001$$

ET

OU



INITIATION AU CALCUL ELECTRONIQUE

LSI : les technologies convergent

LES premiers circuits intégrés ont connu un développement important, parce que l'on avait besoin, alors, de systèmes plus fiables et plus performants, et parce que l'on désirait, par-dessus tout, minimiser le prix de revient de ces systèmes. On savait que les circuits intégrés conduiraient à des montages de beaucoup supérieurs à ceux employant des composants discrets, et ces prédictions se révélèrent être exactes.

Aujourd'hui, n'importe quel fabricant peut vous fournir, en circuits intégrés hybrides et monolithiques les plus variés, un amplificateur, une porte logique et même une mémoire. On vous offrirait, il y a quelques années, trois à huit portes logiques par boîtier; on vous en offre aujourd'hui 20 à 30; demain on vous en livrera des milliers!

L'industrie des circuits intégrés axe toute son activité sur les super-circuits intégrés, qui ont déjà reçu un nom : les circuits LSI (pour Large Scale Integration). Le concept même du LSI n'est pas nouveau : c'est une simple extension du circuit intégré monolithique.

L.S.I.

Des pressions économiques obligent l'industrie électronique à accélérer ses recherches sur le LSI. Mais qu'est-ce que le LSI ?

Le sens commun de l'intégration est la réunion en un seul ensemble de plusieurs sous-ensembles distincts. Le LSI, c'est, pour certains, une super-intégration, et rien de plus. Mais alors : jusqu'où intégrer ?

Les fabricants répondent, chacun de leur côté, à cette question.

Chez Texas Instruments, la conception du LSI est définie par un adjectif : « discrétionnaire ». On fabrique les composants électroniques sur une puce de semi-conducteur et après que la pastille ait été vérifiée pour définir l'em-

placement des éléments bons, les résultats, ainsi que le schéma logique de la fonction souhaitée par l'utilisateur, sont introduits dans un ordinateur. Un tube cathodique, à la sortie du calculateur, reproduit avec précision le masque qu'il faudra réaliser pour relier entre eux les bons éléments de la pastille afin d'obtenir un circuit. Bien entendu, cette technique de production automatisée permet d'obtenir des masques avec un faible prix de revient. Elle permet de fournir des circuits ayant 1 à 1000 réseaux dans un laps de temps extrêmement court et à un prix nettement inférieur à celui qu'entraînerait une réalisation manuelle.

Néanmoins, le câblage discrétionnaire présente un inconvénient fondamental, constitué par la disparition du processus de production en série. A partir du moment où les circuits individuels ont été essayés, chaque circuit a son identité particulière et doit être traité individuellement.

Le raisonnement fondamental qui a conduit à l'étude de l'intégration par câblage discrétionnaire est qu'un réseau ne peut fonctionner que si tous ses circuits sont corrects, ce qui nécessite un rendement irréalisable si l'on utilise un modèle de masque déterminé.

Une autre philosophie du LSI est ce que les Américains appellent F.I.P. (Fixed Interconnection Pattern), et que de ce côté-ci de l'Atlantique, on dénomme le « dessin d'interconnexions fixe », dont le modèle est le « Polycell » de Motorola. La base de cette technique est constituée par une entité logique, l'élément polycell; les connexions sont réalisées par l'ordinateur, pour fabriquer la fonction désirée par l'utilisateur.

Les buts visés par cette technique sont essentiellement le faible prix de revient, la grande rapidité de production et l'uniformité des pièces produites. La réduction

effective du prix de revient est fonction de l'augmentation des séries, comme cela a toujours été le cas. L'emploi d'un calculateur permet de réaliser une étude avec une configuration optimum. Ainsi, il n'est possible de n'utiliser que le nombre et le type exacts de composants nécessaires à la réalisation étudiée. Différents types de circuits peuvent être combinés pour obtenir l'optimisation aussi bien de la vitesse que de la puissance. Chaque étude peut être optimisée selon le meilleur compromis entre la densité des composants et le nombre des couches métalliques d'interconnexions superposées (Fig. 1 et 2).

Le point de départ d'une étude, par la technique F.I.P. à l'aide d'un calculateur, est le client. L'apport essentiel du client à la réalisation du système, est constitué par les caractéristiques du réseau final. Dans de nombreux cas, le client communique également des études particulières lui appartenant et relatives à certains circuits et « sous-systèmes », ou ses préférences à ce sujet. Les spécifications du « système » sont introduites dans le calculateur. De son pupitre d'affichage à tube cathodique, l'ingénieur d'études fait apparaître les circuits voulus et les positionne. En liaison avec l'ordinateur, au moyen d'un

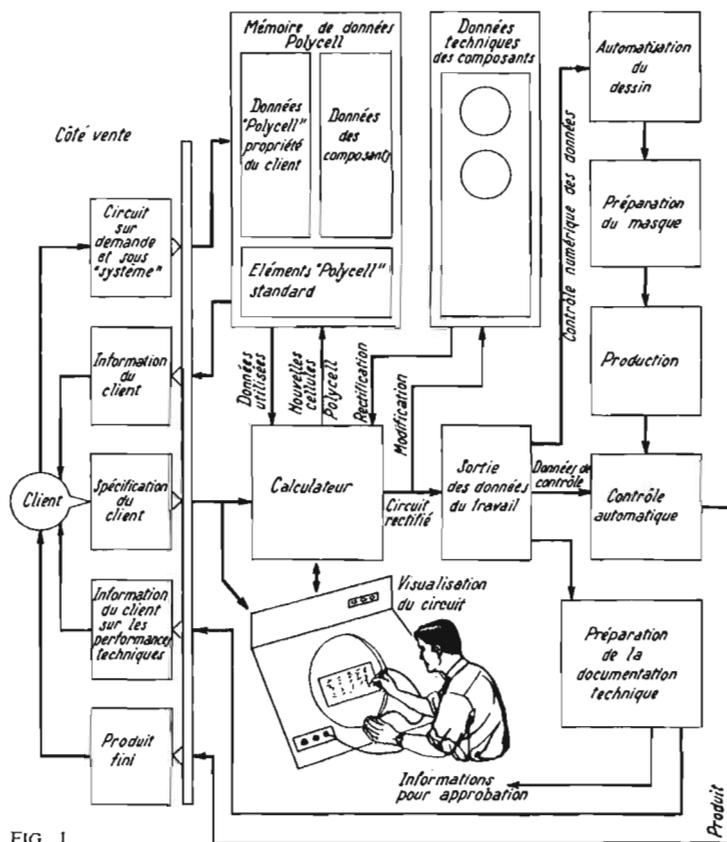


FIG. 1

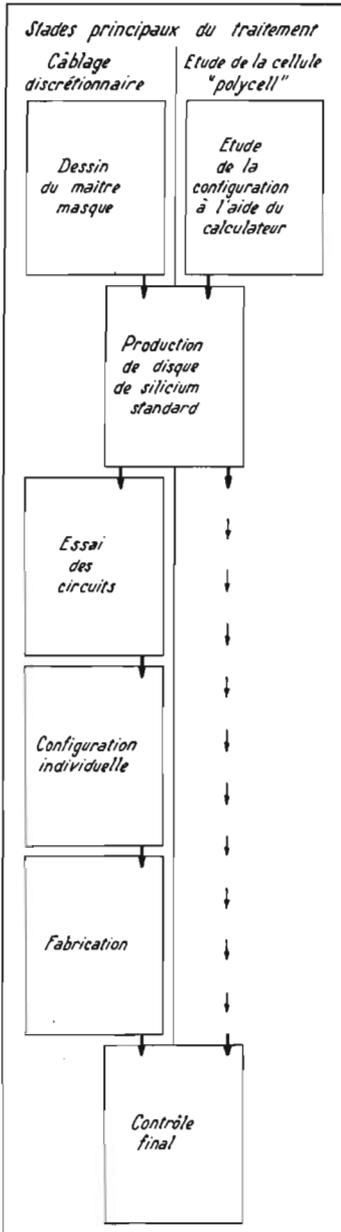


FIG. 2. — Dessin d'interconnexions fixes et câblage discrétionnaire.

« crayon électronique », et de la machine à écrire, l'ingénieur fait glisser ou dispose les éléments du type polycell, pour faire apparaître la configuration dont il a besoin pour répondre aux desiderata du client. Une grande partie du tracé des interconnexions est réalisée par l'ordinateur ; lorsque la solution machine dépasse les dimensions demandées, l'ingénieur est alors à même d'intervenir.

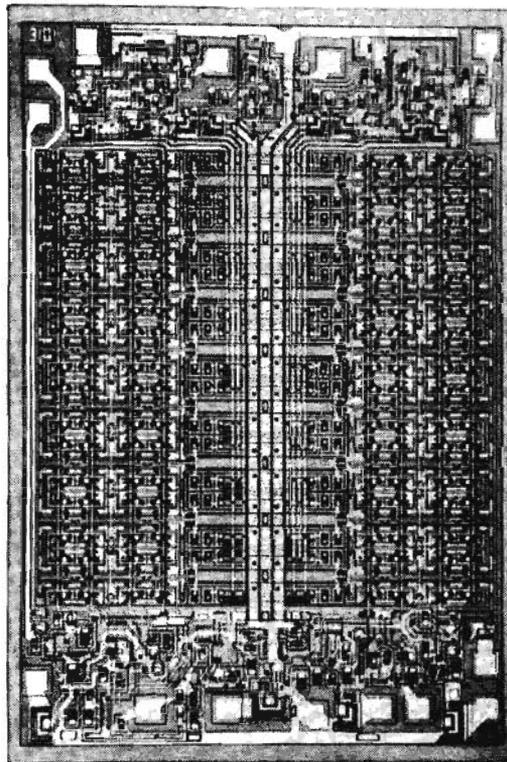
Les « systèmes » intégrés ainsi réalisés sont testés à différents stades de leur fabrication.

VERS LE LSI

Le LSI ne se développe que grâce au désir de faire baisser les prix. C'est pourquoi il n'y a pas d'approche unique vers le LSI.

Le concept de super-intégration est basé sur quatre niveaux distincts d'intégration : 1. Le niveau des composants ; 2. Le niveau des circuits élémentaires ; 3. Le ni-

veau des sous-ensembles et enfin 4. Le niveau des ensembles, étape finale du LSI. A chacun de ces niveaux on peut trouver un outil de travail : la cellule élémentaire. Au niveau des composants, les cellules de base sont le transistor, la résistance, la diode, etc. Ce niveau constitue le B.A. BA du LSI, sa base de départ. Le niveau d'intégration supérieur est celui des circuits et la cellule élémentaire prise en considération ici est un circuit spécifique : portes logiques, flip-flop, etc. Pour réaliser un circuit LSI à partir de circuits élémentaires, on fabrique des composants par les méthodes conventionnelles, que l'on connecte sur un petit dé pour former le circuit ; on songe ensuite à l'interconnexion des dés sur une « puce » de semi-conducteur. Ici un problème important se pose : celui du



I 3101

PHOTO 1. — Circuits intégrés en LSI : le plus haut niveau d'intégration et de performances
(Cliché Technique et Produits)

test de bon fonctionnement de la « puce » : faut-il réaliser une « puce » parfaite, au détriment de son prix de revient, ou une « puce » imparfaite ?

teur, un registre à décalage et l'on peut concevoir de fabriquer un certain nombre de ces sous-ensembles sur une même « puce ». Les sous-ensembles sont alors interconnectés entre eux pour obtenir des sous-ensembles plus complets, telle une mémoire de la photo 2.

Le quatrième et dernier niveau est celui des ensembles : à partir de mémoires, de circuits d'adressage et de codage, de circuits logiques, on réalise sur une seule « puce » de semi-conducteur un ordinateur complet. Bien sûr, l'industrie n'a pas encore atteint cette étape. Mais certains ont déjà

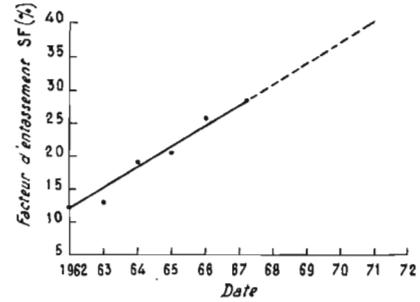


FIG. 3. — Evolution du facteur d'entassement.

Troisième niveau d'intégration, considérablement plus avancé que le précédent : l'intégration des sous-ensembles. La cellule de base contient un certain nombre de cellules élémentaires (portes logiques, flip-flop, etc.), intrconnectées pour produire un sous-ensemble. La cellule de base est donc un additionneur, un comp-

onné un nom à ce niveau d'intégration : le CSI, pour « Colossal Scale Integration ».

Ces quatre niveaux d'intégration constituent en fait l'histoire du circuit intégré. Le premier niveau n'a permis de fabriquer que des circuits monolithiques. Il était en effet une époque où l'on cherchait à entasser le plus de composants possibles sur une seule « puce » de semi-conducteur. On tenait compte d'un facteur d'entassement, rapport entre la surface active d'une puce (c'est-à-dire la surface globale occupée par les composants) à la surface totale de la puce : ce rapport, de l'ordre de 0,10 en 1962 est actuellement de l'ordre de 0,3 à 0,4. Pour le circuit intégré classique, on tenait compte du nombre de circuits par « puce » : il est passé de 1 en 1962 à plusieurs dizaines, voire centaines à nos jours. Si la tendance à la réduction des composants se maintient, on estime à $200 \mu^2$ la surface moyenne d'un composant en 1972, et à 20 à $100 \mu^2$ cette même surface en 1977.

L'APPROCHE HYBRIDE DU LSI (HLSI)

L'approche hybride du LSI est étudiée avec beaucoup d'attention à l'heure actuelle. L'idée est de fixer la « puce » sur un substrat adéquat et sur ce substrat, on réalise un réseau d'interconnexion des puces. Cette technologie nécessite le mariage du silicium à d'autres matériaux et peu d'in-

TELES
occasion **30 F**
à partir de
TÉLÉ-CLICHY
190 bis, av. de Clichy (17^e)

ils n'étaient pas spécialistes du relais...
... mais nous le sommes !

RADIO-RELAIS
COMPOSANTS POUR AUTOMATION
ET APPLICATIONS ELECTRONIQUES
18 rue CROZATIER PARIS 12. tel 343 98 89
PARTICIP ASSURE

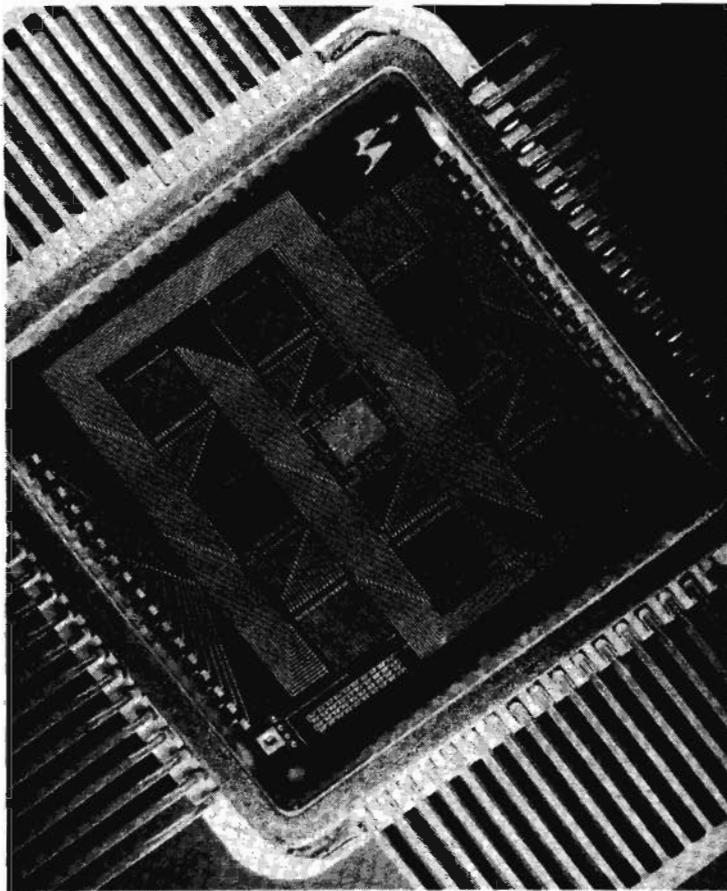


PHOTO 2. — Mémoire LSI à accès aléatoire de 8 192 bits, développée par Motorola. C'est un assemblage hybride d'éléments MOS (circuits de mémorisation) et d'éléments MECL (adressage et décodage).

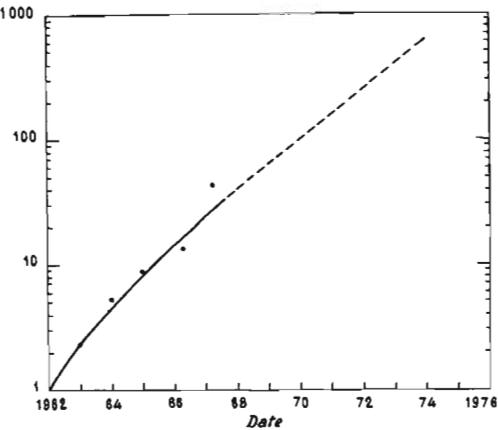
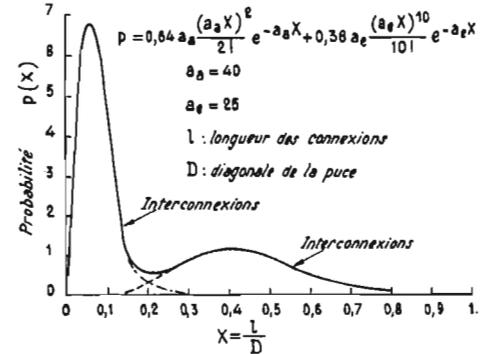


FIG. 4. — Evolution du nombre de circuits silicium.

FIG. 5. — Fonction de probabilité des connexions.



d'interconnexions. A partir de cette courbe, on peut calculer la longueur moyenne des connexions, et trouver les points entre lesquels les connexions sont les plus longues (ou les plus courtes).

On peut également déterminer le temps mis par un signal à traverser une connexion, et estimer les temps maximum et minimum.

formations sont disponibles sur les réalisations.

Le HLSI supprime en partie un problème angoissant pour l'ingénieur d'études : celui des connexions.

La « physique » des interconnexions a été étudiée à fond afin d'obtenir une base permettant de prédire des propriétés telles que la longueur moyenne de ces interconnexions, la surface qu'elles occupent et le temps mis par les signaux pour les parcourir. On a tout d'abord besoin de connaître la distribution des longueurs de connexion. Il existe deux types de connexions : les intraconnexions, dans les circuits et les interconnexions, entre circuits. Chaque type de connexions possède sa propre distribution : dans une « puce » bien disposée, la probabilité pour que 2 points soient connectés est une fonction décroissante de la distance qui les sépare. De plus, la probabilité de connexion décroît avec les longueurs de connexion très courtes : il y a en effet une surface minimum réservée aux composants et il existe, en plus, une limite de résolution des instruments utilisés pour la fabrication. Les fonctions de probabilité des connexions présentent alors un maximum chacune. En combinant les fonctions de probabilité des inter et des intraconnexions, on obtient une fonction de probabilité globale pour les connexions, représentée à la figure 5 dans le cas d'un circuit à 64 % d'intraconnexions et 36 %

VERS LE CSI ?

En 1962, les circuits intégrés étaient des choses rares ; récemment, les Bell Telephone Laboratoires ont annoncé la réalisation d'un million de composants sur une pastille de semi-conducteur de la taille d'un timbre poste.

L'industrie doit faire face à cette nouvelle technologie. La complexité des « puces » de semi-conducteur est un compromis entre le rendement, la densité de composants, la taille de la « puce » et la puissance à dissiper. A la lumière des exigences posées par chacun de ces facteurs, l'approche hybride vers le LSI ne doit pas être abandonnée : dans l'éventualité où le LSI monolithique s'avérerait trop coûteux, on aura tout intérêt à optimiser la complexité de chaque « puce » élémentaire, avant de les interconnecter.

Le LSI aujourd'hui en est au même point que les circuits intégrés monolithiques en 1964. Les technologies convergent très rapidement : hier les circuits intégrés, bientôt le LSI, et demain ? pourquoi pas le CSI, « Colossal-Scale Integration » ?

Marc FERRETTI

Le LSI, super-circuit intégré : ce sont plusieurs milliers de composants électroniques réunis sur la même « puce » de semi-conducteur. Mais c'est aussi, et surtout, un ensemble de fonctions logiques et de mémoires intégrées sous la forme la plus compacte possible.

POCHETTES VENDES A TRÈS BAS PRIX

(Nos prix s'entendent franco avec TVA comprise.)

Règlement par timbres jusqu'à 20 F. Au-dessus de 20 F par chèque ou mandat.

20 résistances subminiatures de 1/20 à 1/8 watt 6,00	10 fiches banane 4 mm, 5 couleurs + 10 douilles isolées ass. 6,00
100 résistances miniatures assorties (1/2, 1, 2 watts) 12,00	20 fusibles sous verre assortis de 80 mA à 10 A 6,00
20 résistances diverses 1 et 2 % 6,00	4 switch inter. et commut. 6,00
20 résistances ajustables 6,00	2 jeux de jacks mâle et femelle 3,5 mm. Prix 6,00
10 résistances bobinées 6,00	5 contacteurs 6,00
Décades résistances 1 %, unité, dizaine, centaine, millier, 10 K. ohms, 100 K. ohms, chaque décade Avec contacteur spécial 16,00	4 minirupteurs 6,00
7 résistances 1 % (1, 10, 100, 1 K. ohm, 100 K. ohms, 1 mégohm) 12,00	50 relais, plaquettes à cosses à douilles pour distributeur de courant, prises, supp. lampes 6,00
20 résistances au choix 1/3 W, aggloméré, 10 % 6,00	7 inductances diverses de 25µH jusqu'à 4 mH pour 6,00
10 résistances au choix 1/8 W, c. métallique, 10 % 6,00	Vis à métaux, la pochette au choix de 3, 4, 5, 6, 8 ou 10 mm 2,50
100 condensateurs assortis, papier, mica, céramique 15,00	Ecrous, la pochette au choix de 3, 4, 5, 6, 8 ou 10 mm 2,50
20 condensateurs divers 1 et 2 % 6,00	25 ampoules 1,5 V, 2,5 V, 3,5 V, 6 V, 12 V et néon 6,00
10 condensateurs chimiques haute et basse tension 9,00	Circuit imprimé avec les produits et mode d'emploi 12,00
20 condensateurs chimiques pour transistors 9,00	3 relais : 1 sur alt., 2 sur cont. 12,00
10 condensateurs chimiques H.T. 12,00	5 potentiom. et rhéostats bob. 6,00
10 potentiomètres + 2 au choix 13,00	10 carcasses moulées + noyaux pour bobinages 6,00
20 boutons 6,00	5 CV. de 4 pF à 100 pF 9,00
10 boutons pour appareils de mesure et professionnels 6,00	25 m souples, 1, 2, 3, 4 mm 6,00
10 transistors premier choix 2 x OC70 - 2 x OC71 - 2 x OC72 - 1 x OC44 - 1 x OC45 - 2 diodes avec lexique. Prix 25,00	0,250 kg plaq. bakélite 15/10 Assortiment tubes bakélite 6, 12, 14, 16, 18 et 22 mm 6,00
20 transistors + 10 diodes (5 préamplis, 5 BF, 5 HF et 5 FM). Premier choix. Prix 44,00	Transfos pour transistors, 1 driver et 1 de sortie, au choix en 16 x 20 ou 28 x 32 6,00
10 transistors de démontage dans les 2N508, 25T1, 35T1, 36T1, 37T1, 955T1, SFT103, 154T1, 2N324, OC71 + 2 diodes 6,00	2 voyants Ø 12 ou 15 x 12 à clips, 6 ou 12 V, en rouge, vert, jaune, blanc, au choix. Complet 6,00
2 pastilles micro charbon 6,00	1 voyant à clips néon 120/220 V en rouge ou blanc 6,00
1 laryngophone charbon 6,00	1 000 cosses, douilles, oeillets, rivets, rondelles 6,00

ÉLECTRONIQUE MONTAGE
111, boul. Richard-Lenoir ainsi que 35-37, rue Crussol, PARIS-XI^e