

Recherche, informatique, industrie : En 1980, des étudiants grenoblois concevaient des circuits intégrés (4/12 - année 2021)

Publié par [ACONIT \(Association pour un Conservatoire de l'Informatique et de la Télématique\)](#), le 1 avril 2021 1.1k

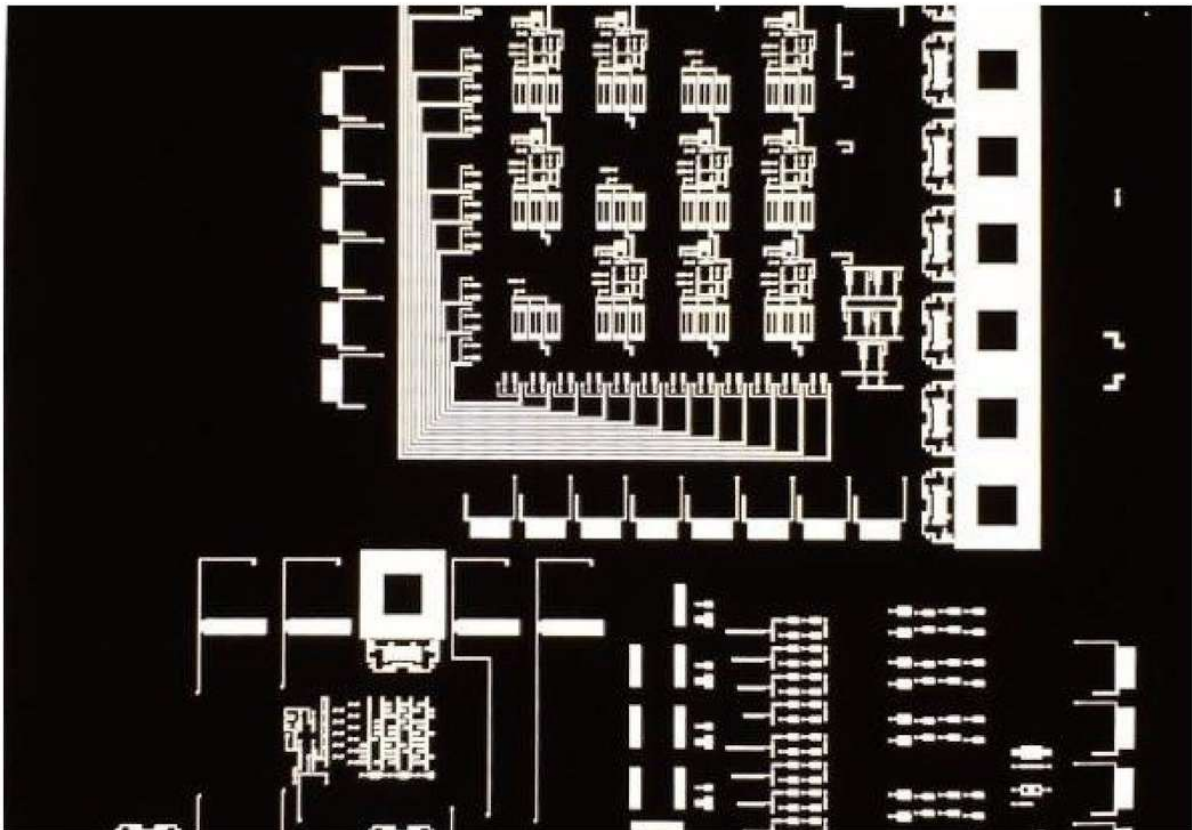


Illustration d'en-tête : portion d'un masque en verre 10x produit par la Gyrex.

version courte par Xavier Hiron (ACONIT)

**(à partir d'un article original d'Alain Guyot, membre du bureau de l'ACONIT
ex-responsable conception du DEA de Microélectronique de Grenoble)**

(version condensée de l'article présentant la mise en place d'un atelier pratique pour étudiants, dans un contexte où les conditions technologiques de production des CMP commençaient à fortement évoluer. Cette aventure sans équivalent a prouvé sa validité, apportant aux futurs développeurs un bagage solide et durable sur la compréhension des produits auxquels ils furent ensuite confrontés au cours de leur carrière. La version longue est accessible en suivant le [lien](#).)

En 1980-81 démarrait à Grenoble, pour la première fois en France, un enseignement de conception de circuits intégrés numériques. Ces cours étaient accompagnés de la conception et de la fabrication par les étudiants eux-mêmes de circuits intégrés réels, quoique simples au début. Comme l'habilitation du DEA* de microélectronique, créé sous la responsabilité d'Alain Deneuville, excluait les travaux pratiques, les séances de conception furent inscrites comme « ateliers d'élaboration de circuits ». Dans ce domaine, Grenoble avait 2 ans et demi de retard sur les américains (décembre 1978 au MIT de Boston), d'après un article du professeur Lynn Conway paru en 2012 dans l'*IEEE Solid State Circuits Magazine*.

Par contre, nous étions les premiers en Europe, comme l'a confirmé le projet européen *Eurochip* de formation en microélectronique. Sa section Esprit 3, administrée par les Allemands pour la coordination des enseignements belges, danois, anglais et français, a concerné environ 10 000 étudiants européens par an dans les années 1990. Si de nombreux circuits intégrés avaient déjà été conçus et fabriqués dans les universités des deux côtés de l'atlantique, il s'agissait de circuits de recherche conçus par des doctorants, et non par des étudiants.

L'enseignement en conception de circuits intégrés à Grenoble ne partait pas de rien. Le laboratoire TIM3 avait acquis de l'expérience en collaborant avec les concepteurs Michel Henry, Michel Vergniault et Jean-Pierre Moreau, de la société EFCIS, pour un microprocesseur en technologie avancée pour l'époque : le CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) sur isolant (l'ancêtre du SOI - Silicon on Insulator - de Stmicroelectronics). Nous avons aussi pu profiter de l'expérience des professeurs Carver Mead (l'inventeur du terme « loi de Moore »), du Caltech de Los Angeles, et Lynn Conway de Xerox Parc de Palo Alto, qui avaient initié la formation en conception de circuits intégrés dans les universités américaines.

Mead et Conway avaient édité en 1978 le livre *Introduction to VLSI systems*, traduit en français en 1983, et conçu un kit de formation pour formateurs, l'*Instructor's Guide to VLSI System Design*, avec son manuel d'utilisation. Mead et Conway ont confié ce copieux kit aux futurs enseignants grenoblois, traitant l'INPG (devenu par la suite Grenoble-INP) à l'égal d'une université américaine, hormis l'accès à la fonderie de silicium [MOSIS](#) (MOS Implementation Service), inaccessible aux universités non américaines. Cependant, ce déni d'accès aux fonderies américaines fut probablement une chance, car le service [CMP](#) (Circuit Multi Projet) fut créé pour pallier cette interdiction. Ces deux services de courtage en silicium coopèrent toujours en 2020, alors que CMP est devenu au moins aussi important que MOSIS.

Fabriquer un circuit intégré

Pour concevoir et fabriquer un circuit intégré, il faut disposer d'une technologie, d'un langage de description de circuit et des outils informatiques, d'une bibliothèque de blocs fonctionnels pré-dessinés et pré-caractérisés, d'un fabricant de masques

(réticules) et d'un fondeur de silicium. Ces éléments sont détaillés dans les paragraphes qui suivent.

A/-La technologie

Dans notre domaine, ce terme désigne l'ensemble des règles électriques et topologiques que le concepteur doit respecter pour que le circuit fonctionne. Notre technologie dispose de 3 niveaux de conducteurs superposés (la désoxydation, le silicium polycristallin - ou polysilicium - et le métal), séparés par du SiO_2 (verre) en guise d'isolant. Le **contact** est une ouverture dans l'isolant permettant de connecter électriquement les diverses couches de conducteur. La technologie est dite **autoalignée** quand un conducteur vert croise un conducteur rouge, produisant un transistor MOS. La couche d'oxyde étant très mince, le champ électrique du polysilicium (rouge) change la conductivité du semi-conducteur (vert) qu'il croise (voir l'illustration ci-dessous).

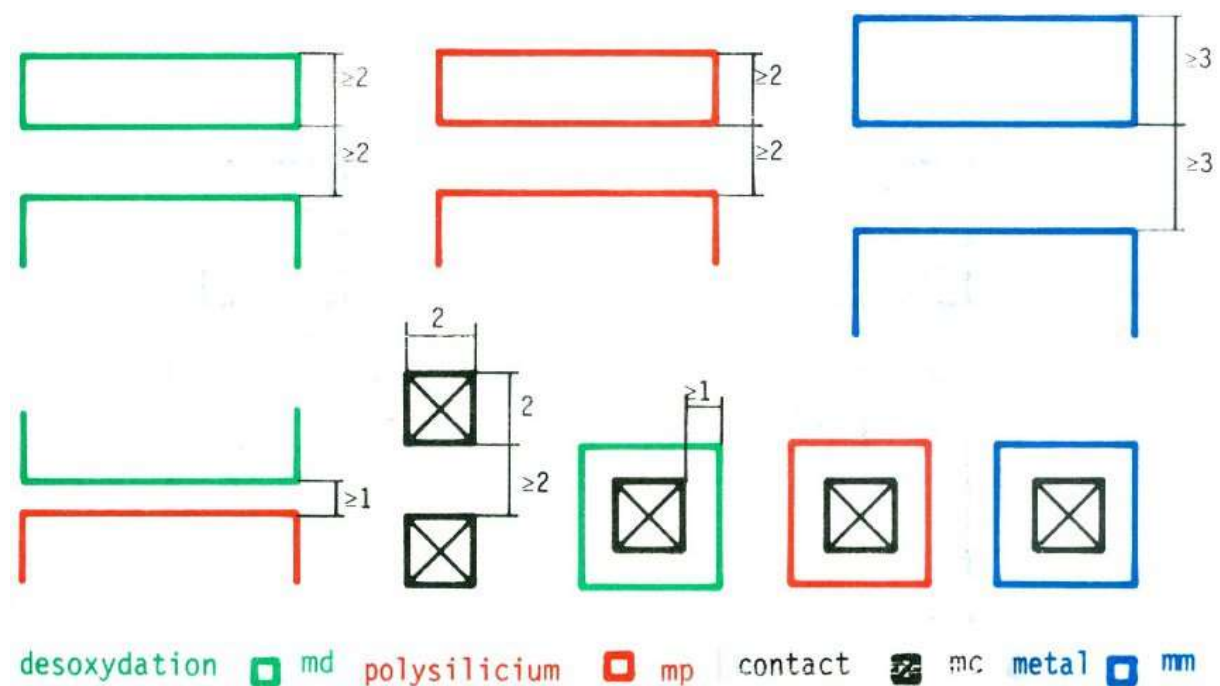


Illustration n°1 : schéma des règles simplifiées de dessin avec code des couleurs, tiré de Mead&Conway.

B/-Le langage de description

Le langage LUCIE (Langage Universitaire des Circuits Intégrés pour l'Enseignement), défini par [François Anceau](#) en 1980, est un langage à balises. Il décrit :

- des rectangles : REC (x, y, dx, dy, nn), où 2 lettres désignent le niveau md, mp, mc ou mm ;
- des opérateurs topologiques : translation, symétrie, rotation, répétition ;
- des figures, ou collections de rectangles, d'opérateurs ou de figures.

De ce point de vue, un circuit fini et une figure. Ensuite, ont été ajoutés des polygones représentant une surcouche purement cosmétique. Un logiciel fusionnait les rectangles adjacents pour afficher un polygone, ou décomposait un polygone en rectangles. Le plot de sortie du paragraphe suivant est affiché en polygone.

C/-Les outils informatiques

Le numériseur : les étudiants dessinaient d'abord au crayon de couleur une partie de leur projet sur feuille de papier quadrillé scotchée sur une tablette graphique. Puis, par niveau, ils pointaient un à un les coins opposés des rectangles. Le dessin apparaissait progressivement sur l'écran d'un terminal graphique [Tektronix 4014](#), mais en noir et blanc seulement.

L'éditeur graphique : sur l'écran de la TK4014 apparaissait simultanément le texte Lucie et le dessin correspondant. Quand le dispositif de pointage désignait un rectangle, le logiciel faisait correspondre sa ligne du texte Lucie. Il était alors possible de modifier au clavier les paramètres (position, taille) de ce rectangle dans le texte Lucie.

La TK4014 disposait d'une excellente résolution de 4000x4000 pixels, mais ne permettait pas d'effacer individuellement les objets. Toute modification générait un effacement total, suivi d'un lent réaffichage de la figure modifiée. Le numériseur et l'éditeur graphique ont été écrits en Fortran par Ahmed Jerraya, un stagiaire plein d'avenir.

D/-La bibliothèque

La bibliothèque n'était riche que de neuf figures, consistant en des plots d'entrée ou de sortie provenant du Mead&Conway et numérisés en LUCIE. Un plot de sortie permet au circuit intégré de communiquer avec le monde extérieur. Un carré en pointillés représente une ouverture dans la passivation (couche d'email enrobant le circuit fini pour le protéger de la pollution). A travers ces ouvertures, un fil d'aluminium relié au boîtier est soudé sur le circuit intégré par la combinaison d'une pression et d'ultrasons.

E/-La fabrication du jeu de masques

Un masque est une plaque de verre sur laquelle est dessiné un niveau du circuit intégré (md, mp, mc ou mm). Il y a donc un masque par niveau, plus quelques autres

déduits par informatique. Le dessin du masque doit être extrêmement net et précis. La fabrication des masques est un métier pour lequel la société NanoMask a fonctionné entre 1983 et 2003, au Rousset, près d'Aix-en-Provence.

F/-La Gyrex de l'Université de Louvain-la-Neuve

La machine Gyrex est une photocomposeuse qui dessine des rectangles pleins sur une plaque photographique. Elle comporte une lampe à décharge, un diaphragme rectangulaire, un objectif et une table photographique mobile. Par un jeu de moteurs pas à pas, le support de la plaque photographique est déplacé pour insolation partielle par une lampe flash. L'image rectangulaire obtenue est alors transférée par photocontact sur une plaque de verre. On procède de la sorte pour chacun des niveaux de la technologie afin d'obtenir un jeu de masques complet pour fabriquer le circuit intégré.

La Gyrex lit ses commandes sur un [ruban de papier perforée](#). Cette machine présentait cependant quelques défauts :

- 1 – la dimension réduite du diaphragme, nécessitant de découper les grands rectangles en rectangles plus petits ;
- 2 – le déplacement mécanique de la table provoquait des défauts de raccord visibles au microscope (compensés par un léger recouvrement des rectangles) ;
- 3 – sa lenteur, minimisée par un traitement logiciel des commandes ;
- 4 – le transfert de Grenoble vers Louvain-la-Neuve se faisait par la poste (rubans perforés marqués au feutre sur l'amorce). Le réseau ARPANET reliant les universités américaines d'enseignement du VLSI permettait d'accéder à leurs projets.



*Illustration n° 2 : la Gyrex en chambre noire, avec son lecteur de ruban en bas.
L'opérateur est vraisemblablement Maurice Lobet, du laboratoire de
microélectronique de l'université de Louvain.*

La figure qui suit est issue d'une impression offset 5 couleurs obtenue par M. Iglesias, responsable du service reprographie de l'IMAG (et non par table traçante acquise en 1982). Ce circuit intégré CMP (Circuit Multi Projet) rassemble 3 projets d'étudiants, dont l'un seulement fut connecté au boîtier. Ce premier CMP était un coup d'essai, suivi d'un second regroupant 5 projets. Lors de l'élaboration du circuit intégré, les

images des masques 10x sont réduites optiquement à un dixième. Le jeu des masques 10x est conservé à ACONIT.

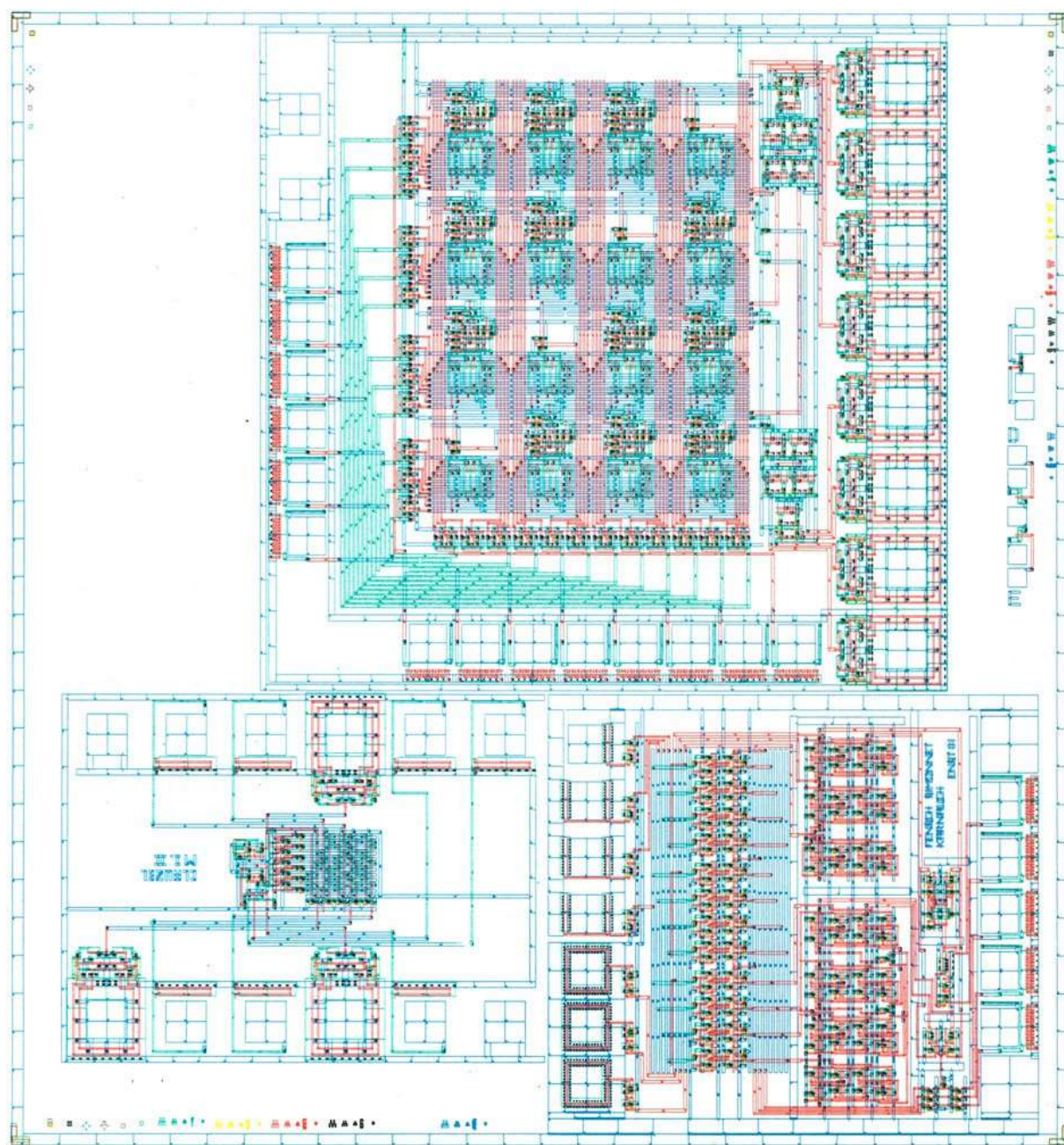


Illustration n°3 : impression offset en 5 couleurs d'un circuit intégré complet par M. Iglesias, à partir de projets d'étudiants (1981).

Réalisations et pérennité du projet

L'année 1981-1982 donna lieu à 27 projets. Les masques furent fabriqués par Micromask, en Californie, USA, après conversion de LUCIE en [GDS II](#) par l'ordinateur CALMA du CNET, à Meylan (devenu [Orange Labs](#)) (Patrice Senn, Jean-Louis Lardy et l'association GCIS -Groupement Circuit Intégré Silicium regroupant le CNRS, le CEA-[LETI](#) et le CENT). En 1982-1983, 25 projets étudiants et 23 de chercheurs (soit 48) furent confiés à Nanomask (Aix-en-Provence) grâce à la technologie du CNET à Meylan. A partir de 1984, LUCIE est progressivement abandonné, car les universités se sont dotées de logiciels commerciaux (Cadence, Compass, Mentor) et de stations de travail Sun ou Microvax. Le nombre de projets d'enseignement préalables à un passage en fonderie industrielle ([MHS](#) - Matra Harris Semiconductors) va culminer à 101 en 1993, puis décroître progressivement. En effet, les logiciels de conception sont devenus si performants que le circuit intégré se comporte exactement comme son modèle simulable.

Bibliographie

Charles Trullemans : *Histoires de mon laboratoire : Le laboratoire de microélectronique de l'UCL de 1958 à nos jours.*

François Anceau, Yvan Bonnassieux : *Conception des circuits VLSI - Du composant au système.*

Alain Guyot : *Le CMP 81 (rapport d'activité GCIS)*. Les transistors du CMP81 avaient une longueur de canal initiale de 8 microns. Cette dimension a vu son ordre de grandeur réduite de 3, c'est-à-dire qu'elle a été divisée environ par un facteur 1000 en l'espace de 40 ans.

* (Diplôme d'étude approfondi, devenu Master 2 Recherche en 2002)