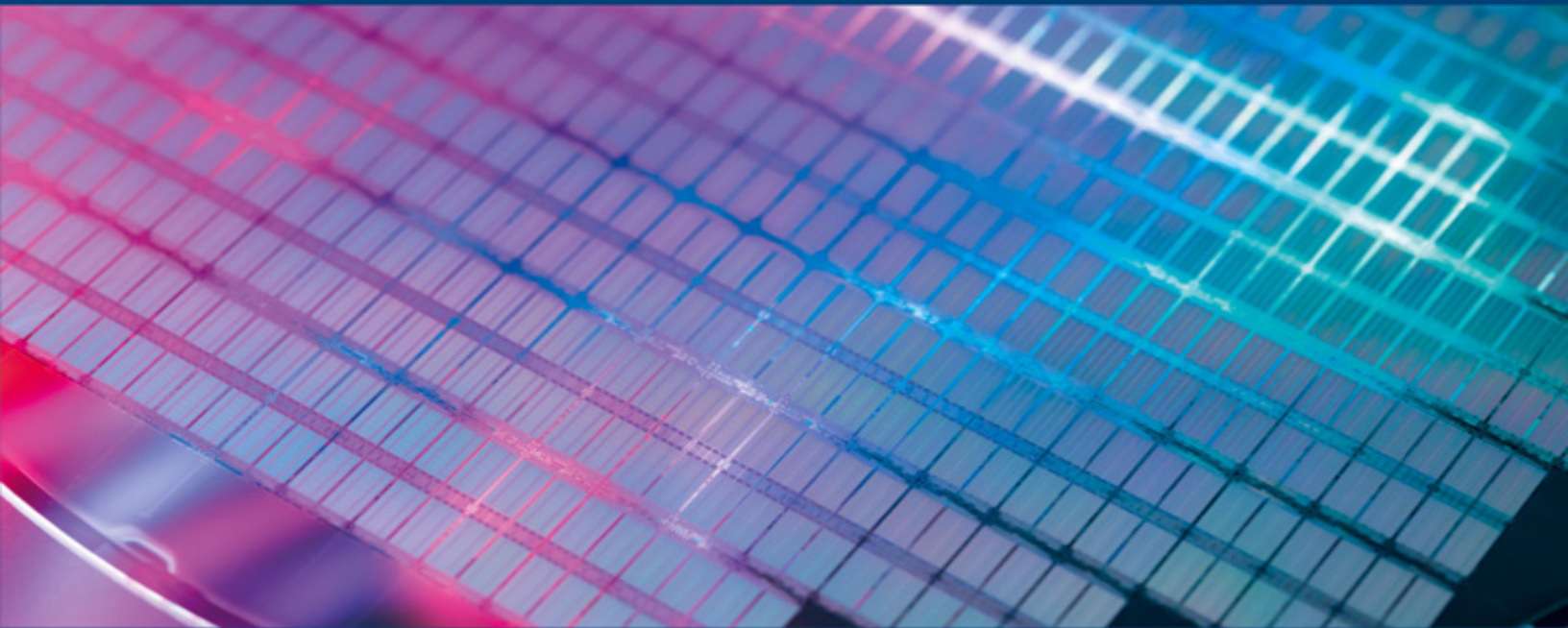


François Francis Bus



# À l'époque où les puces font leurs lois

Histoire des semiconducteurs vécue de  
chez Texas Instruments



## ***Du même auteur :***

- Communiquer et manager à distance

*Chotard et associés éditeurs*

-La stratégie du meilleur prix de revient-Le coût asymptote instantané

*Les Editions d'organisation*

-Propos de François Bus entrepreneur

*Les Editions d'organisation*

-Le dictionnaire de l'entreprise

*Editions Dunod*

-Via Julia - Histoire de la famille Bus

*Editions FFB*

-Histoire de La Roquebrussanne et des Roquiers en leurs temps

*Editions FFB*

-Histoire de Saint-Maximin-la-Sainte-Baume et des Saint-Maximinois en leur temps

*Editions FFB*

*La photo de couverture est celle d'un circuit Texas Instruments.*

(Publiée avec l'autorisation de Texas Instruments)

## **Avant-propos**

*Je développe dans ce livre l'histoire des puces et des principales familles de produits qu'elles ont permis de créer ainsi que des acteurs qui ont participé à cette épopée. Ceci conduit à raconter l'histoire de Texas Instruments qui est à l'origine de l'invention des puces et qui a longtemps été le numéro un mondial du secteur.*

*Lorsque cela le justifie je raconte l'histoire de Texas Instruments France où je travaillais à la même époque en me positionnant seulement pour que le lecteur sache d'où viennent les informations me permettant de raconter les anecdotes inédites d'ampleur internationale souvent surprenantes ou savoureuses que j'ai pu recueillir.*

*L'auteur*

## ***Avertissements aux lecteurs***

La société Texas Instruments Incorporated est dans la profession familièrement appelée par ses initiales « T » « I », écrit TI. Dans le texte, la désignation complète ou les simples initiales sont utilisées indifféremment. Par ailleurs comme en électronique, de nombreux acronymes sont utilisés, la première fois qu'une abréviation ou un acronyme l'est, il est suivi de sa définition littérale et de sa traduction en français. Néanmoins à la fin du livre il y a une table des acronymes, abréviations et sigles.

Dans la vie courante de Texas Instruments France de nombreux mots anglais étaient utilisés par les membres du personnel, d'où l'utilisation dans le livre des mots anglais usuellement utilisés pour que les lecteurs se retrouvent dans l'ambiance qu'ils soient anciens de TI ou pas avec néanmoins lors de la première utilisation la signification en français.

*Les phrases en italique dans le texte principal sont des citations.*

## ***Table des matières***

1. *La découverte du transistor*
2. *Création de Texas Instruments (TI)*
3. *Les composants électroniques*
4. *Création de Texas Instruments France (TIF)*
5. *Les circuits intégrés*
  - La première loi de Moore*
6. *Doubler la complexité à coût constant*
7. *Développement de TIF*
8. *La Solid Logic Technologie d'IBM*
9. *Les puces trouvent la mémoire*
10. *La calculatrice de poche*
11. *Le microprocesseur*
  - La deuxième loi de Moore*
12. *Le PC*
13. *Une histoire de Bus*
14. *La montre électronique*
15. *La carte à puce*
16. *Les Fabs indépendantes*
17. *Les puces et le téléphone*
18. *L'usine de TIF ne répond plus.*
19. *Les puces font- elles toujours la loi ?*
20. *Bibliographie*
21. *Abréviations, Acronymes, Sigles*

## ***1-La découverte du transistor***

En 1947, les Laboratoires Bell annoncent la découverte du transistor. Peu de temps après, Erik Jonsson vice-président de Texas Instruments Incorporated société de Dallas, Bob Olsen ingénieur en chef et Patrick Haggerty directeur du nouveau laboratoire de recherche, harcèlent Western Electric maison mère des Laboratoires Bell pour obtenir une licence, mais sans succès. A force d'insister, ils obtiennent comme réponse « *que ce n'était pas une affaire pour Texas Instruments et que les responsables de Western Electric pensaient que Texas Instruments ne serait pas capable de mettre en œuvre ce produit* ». Pressentiment grandement erroné car Texas Instruments deviendra rapidement le numéro un mondial de ce secteur. La raison de cette réponse était peut-être parce que T I nom familier de Texas Instruments ne faisait pas alors partie des fabricants de composants électroniques de l'époque, les tubes à vide ou les diodes à contact comme General Electric, Raytheon, RCA, CBS, Sylvania..... De toute évidence, Western Electric n'avait pas l'intention de donner de licence, dans tous les cas, pas à Texas Instruments.

Suite à une action anti-trust, menée probablement par une ou plusieurs des grandes entreprises d'électronique américaines de l'époque, la justice impose l'accès à cette découverte. Le ministère de la défense, alors que le pays est en pleine guerre de Corée et que les militaires considèrent cette découverte comme stratégique, donne son approbation, pour que « *les Laboratoires Bell accordent des licences sur le transistor à quiconque appartient à un pays membre de l'OTAN* ».

Les transistors, sont des composants électroniques très connus qui peuvent jouer des rôles divers dans les appareils

électroniques en remplaçant entre autre les lampes à vide utilisées précédemment. Un transistor possède trois broches, il y en a deux entre lesquelles circule un courant électrique et une troisième qui commande le courant. Le courant qui traverse les deux premières broches peut être modifié selon ce que l'on met comme courant sur la troisième. D'où le nom de semi-conducteur car le composant n'est conducteur que dans certaines conditions.

Pat Haggerty le directeur du laboratoire de recherche de la société Texas Instruments (TI), établit une stratégie pour profiter des nouvelles opportunités offertes par les développements des transistors. Il profite de l'offre de licence de fabrication non-exclusive pour 25.000 \$ du brevet du 25 septembre 1951 de William Shockley sur les transistors proposée par les Laboratoires Bell. Ces derniers, organisent en avril 1952, un symposium de huit jours dans leurs laboratoires à leur quartier général à Murray Hill dans le New Jersey, incluant une visite de l'usine de Western Electric à Allentown en Pennsylvanie, pour transférer le savoir-faire aux trente-cinq entreprises dont vingt-cinq américaines qui ont acquis la licence. Parmi les participants qui y assistent, des membres de Général Electric (GE), Radio Corporation of America (RCA), Westinghouse, IBM, Philco, Sylvania, Raythéon, Transistor Product,... Texas Instruments, et d'entreprises non-américaines dont Philips, Siemens,... Sony. Sony est une société créée en 1946 au Japon qui n'est pas un pays membre de l'OTAN, mais est sous contrôle américain depuis 1945, donc assimilé à un pays membre de l'OTAN.

Le savoir-faire en matière de semi-conducteurs prévu par la licence est celui développé sur la période allant de fin 1947, lorsque le transistor a été inventé jusqu'en 1952 date où les premières licences ont été accordées. Parmi les auditeurs du symposium, Patrick Haggerty, Bob Olsen, Mark Shepherd et Boyd Cornelison pour Texas Instruments mais

aussi un certain Jack Kilby qui travaille pour Centralab petite société d'électronique de Milwaukee dans le Wisconsin. Ils repartent comme les autres participants avec « *Transistors technology* » l'encyclopédie sur l'invention du transistor en deux gros volumes, qui seront qualifiés de « *Bible* » ou de « *Livre de cuisine de mère Bell* ». L'évènement est largement relaté par la presse et les participants sont mentionnés avec une certaine publicité. Les entreprises présentes sont citées par ordre décroissant de leur taille et il est donc précisé « *qu'il y a de grandes entreprises comme Général Electric, RCA, Westinghouse... et de petites entreprises dont certaines pratiquement inconnues comme... Texas Instruments* » !

Texas Instruments fabrique donc des transistors discrets au germanium à Dallas et quelques années après en fabriquera, à Villeneuve-Loubet près de Nice dans l'usine toute neuve de Texas Instruments France (TIF) inaugurée en 1964. Le principal client pour ces composants pour TIF est IBM France, suite à la décision d'IBM de fabriquer de gros ordinateurs dans la Communauté Européenne pour les six pays membres de l'époque, France, Allemagne de l'ouest, Belgique, Luxembourg, Pays-Bas, Italie. Les gros ordinateurs sont d'abord assemblés à Corbeil-Essonnes au sud de Paris, puis à Montpellier. Le fait que les composants électroniques soient fabriqués en France permet à IBM de les fabriquer à moindre coût que s'ils venaient des états Unis, en particulier en évitant les droits de douane de 21%.

L'unité TIF de production de Villeneuve-Loubet est totalement intégrée. Cela débute par l'affinage du germanium obtenu par le déplacement d'une zone en fusion le long d'un barreau de germanium coulé dans un creuset réfractaire. Les impuretés restant dans la zone en fusion se retrouvent au bout du barreau à la fin de l'opération. Le sciage du barreau permet d'obtenir des tranches de germanium, de quelques dixièmes de millimètre d'épaisseur, de forme presque carrée légèrement



trapézoïdale, (forme « en dépouille » imposée par la nécessité du démoulage du barreau) avec le côté haut dans le creuset légèrement bombé dû au ménisque fait par le germanium en fusion. De ces tranches de germanium peuvent être tirées les pastilles circulaires découpées par ultrasons qui seront alliées avec des billes d'indium pour former les jonctions des transistors alliés. Les tranches peuvent également être utilisées telles quelles pour réaliser des transistors au méso germanium.

La technologie du germanium allié est ainsi nommée car le cœur du transistor est réalisé en alliant à haute température une bille d'indium de 5 à 6 dixièmes de millimètre de diamètre au centre de chacune des faces d'une pastille de germanium de 2 à 3 millimètres de diamètre et de quelques dixièmes de millimètre d'épaisseur. La majorité des opérations d'assemblage, souvent très délicates sont réalisées manuellement par de très nombreuses opératrices qui effectuent les opérations sous microscope binoculaire.

Pour le type « Méso », sur une tranche de germanium sont réalisées les deux jonctions pour former le cœur d'un transistor, par dépôts successifs et terminé par gravure chimique de ceux-ci, ce qui laisse en relief deux petits plateaux, comme une petite table (mesa en espagnol). L'ensemble des deux plateaux ne couvre qu'une surface carrée de la tranche de germanium de moins d'un millimètre de côté, ce qui veut dire que sur une tranche de germanium il y a plus de cent cœurs de transistor. Pour les séparer, c'est la technique du diamant qui est utilisée : prédécoupe avec un diamant, puis casse, comme le fait un vitrier. Ceci permet donc d'obtenir des petits pavés de base presque carrée d'environ sept dixièmes de millimètre de côté et dont l'épaisseur est de l'ordre du demi-millimètre, mais dont les côtés découpés, ne sont pas parfaitement parallèles. Ceci n'a pas d'importance sur le plan électrique mais par contre rend la manipulation avec des petites pincettes (brucelles) difficile pour souder les pastilles sur

l'embase car en les serrant avec les pincettes parfois elles glissent se mettent de travers et sont projetées en l'air, ce qui fait que les opératrices les appellent « *des puces* » car elles sautent comme ces animaux, dont elles ont la taille. L'usine de Texas Instruments étant la seule en France à fabriquer ce type de composant le nom de puces vient donc exclusivement de là ce que très peu de personnes à part les opératrices et l'encadrement de la ligne de fabrication peuvent expliquer.

Les opérations d'assemblage et de connexion des pastilles de mesa germanium encore plus délicates que celles des transistors au germanium allié sont réalisées sous microscope binoculaire par de très nombreuses opératrices. Celles-ci utilisent leurs deux mains pour actionner chacune les commandes d'un micromanipulateur permettant de positionner à tour de rôle un fil d'or de très petit diamètre sur un des deux plateaux et le mini burin (chisel) qui presse sur le fil chauffé pour faire les microsoudures par thermo compression (chisel bonding). Elles utilisent également leurs pieds pour actionner le zoom du microscope binoculaire pour faire varier le champ visuel en fonction des différentes opérations et commander la soudure proprement dite.

Les cadres de TIF qui quittent l'entreprise pour travailler dans d'autres sociétés d'électronique amènent avec eux cette dénomination de « *puce* » qui se répand aux autres pastilles semi-conductrices en France qui est le seul pays qui leur donne ce nom. Ce qui en France est appelé « une puce », ailleurs est appelé « un chip ». Par la suite, ce sont en France, tous les pavés semi-conducteurs et plus particulièrement ceux des circuits intégrés qui seront appelées « *puces* ». C'est comme cela que l'on verra des annonces publicitaires qui parleront de « *puces Thomson* », il s'agit là de circuits intégrés au silicium fabriqués par Thomson Composants.

**Ce sont donc les opératrices de la ligne d'assemblage des transistors mesa germanium de**

## **Villeneuve Loubet chez Texas Instruments France qui sont à l'origine de cette dénomination de « *puce* » du pavé semi-conducteur.**

Pour les aider à mettre en place une activité basée sur le transistor, Patrick Haggerty directeur du laboratoire de recherche de Texas Instruments a convaincu en 1952, un des ingénieurs des Laboratoires Bell, Gordon Teal, de quitter sa société à Murray Hill dans le New Jersey et de venir dans son état natal travailler chez TI à Dallas en lui donnant la responsabilité de la recherche et de la mise en œuvre sur le transistor. « *Peu après mon arrivée chez Texas Instruments, je démarrais un programme sur la croissance des cristaux de silicium* » racontait-il. Le silicium raffiné est produit par tirage en tournant d'un monocristal à partir d'un bain de silicium en fusion ce qui donne un barreau cylindrique. A partir de ce barreau sont obtenues par sciage des tranches circulaires d'épaisseur de 0,7mm.

Gordon Teal, docteur en chimie physique, né au Texas, pense que les performances sont meilleures si l'on travaille avec un matériau monocristallin. Il travaille sur la mise au point d'un transistor au silicium et le 10 Mai 1954, Texas Instruments sort le premier transistor au silicium jamais fabriqué, ce qui donne lieu à un brevet. Jusque-là les transistors réalisés étaient au germanium suite à la découverte de l'effet transistor en 1947 par les chercheurs des Laboratoires Bell et qui reçoivent le prix Nobel de physique en 1956 pour cette découverte.

Pourquoi le passage du germanium au silicium ? Parce que les caractéristiques du silicium se maintiennent relativement même si la température varie ce qui n'est pas le cas pour le germanium. Par ailleurs la surface du silicium peut être passivée par oxydation, ce qui agit comme une protection. L'oxyde de silicium est un protecteur mécanique et chimique. Les pavés de silicium ne posent pas le même problème de découpe que ceux de germanium car les tranches

de silicium de taille plus grande peuvent être découpées à la scie diamantée ce qui donne des cotés plans et parallèles, donc ne se comportent pas comme des puces et donc ne justifient pas d'être nommées ainsi par les opératrices de production. De plus, contrairement au silicium, le germanium est un élément rare, sa teneur dans l'écorce terrestre est très faible, environ 0,00015 %. Il est récupéré comme sous-produit à partir de minerais de Zinc. La quasi-totalité du germanium est récupérée dans les fonderies de zinc, c'est un sous-produit de fusion, donc son coût de production est élevé et il est relativement rare alors que le silicium est l'élément le plus abondant dans la croûte terrestre après l'oxygène, environ 25% de sa masse. Le silicium n'existe pas dans la nature à l'état de corps simple, mais sous forme de composé : sous forme de dioxyde de silicium  $\text{SiO}_2$ . Il se trouve principalement sous forme de silice amorphe dans le sable, très répandu et facile d'accès.

Mark Shepherd ingénieur chez Texas Instruments y est nommé chef de projet du groupe technique des semi-conducteurs. Il installe un groupe de quinze ingénieurs. Un autre ingénieur que les membres de TI avaient croisé lors du symposium de huit jours organisé par les laboratoires Bell à leur quartier général à Murray Hill, Jack Kilby est embauché dans l'équipe de Mark Shepherd. Il s'attaque au problème posé par les équipements informatiques qui utilisent des circuits électroniques comportant depuis l'invention du transistor de plus en plus de composants. Les demandes des utilisateurs pour améliorer les performances nécessitent de rajouter un nombre de plus en plus important de composants mais les connexions deviennent de plus en plus difficiles à réaliser vu le nombre de points de soudure à effectuer et le volume occupé par les fils de connexion. J.A. Morton, vice-président des Laboratoires Bell invente pour ce problème l'expression « *tyrannie des nombres* », car c'est la quantité de composants qui tyrannise les fabricants

d'ordinateurs pour l'assemblage de ceux-ci. C'est néanmoins un très gros progrès par rapport aux générations des tubes à vide appelés « lampes » dans le langage courant.

Jack Kilby pense que pour régler ces difficultés de fabrication des calculateurs, *« la solution viendrait de la diminution de nombre de composants à connecter, s'il était possible de faire en sorte que chaque composant intègre l'équivalent de plusieurs composants discrets »*, c'est à dire un petit morceau du circuit d'où le nom de « *circuit intégré* ». Il expliquera plus tard en parlant des circuits intégrés : *« Une réflexion approfondie sur le problème m'a amené à la conclusion que les semi-conducteurs répondaient à ce dont nous avons besoin. Les résistances et les condensateurs en particulier pouvaient être fabriqués avec le même matériau que les transistors. J'ai ainsi réalisé que puisque tous les composants pouvaient être faits à partir d'un même matériau, ils pouvaient aussi être faits dans la masse, interconnectés pour réaliser un circuit complet »*. Jack Kilby arrive à réaliser un tel circuit sur une plaquette de germanium alors qu'il est tout seul dans le laboratoire à Dallas, presque tous les membres du personnel étant en congé, auquel, lui récemment embauché n'a pas droit. Ce circuit est un oscillateur composé d'un transistor au germanium et d'un réseau résistance-condensateur qu'il connecte avec des fils d'or. Le circuit fonctionne et il le présente l'année suivante à l'exposition de l'institut américain des ingénieurs Radio (IEEE, Institut of Electrical et Electronic Industry), sous le nom de « *solid state circuit made in germanium* » que l'on peut traduire en respectant sa pensée par circuit monolithique fait en germanium. Un brevet est déposé le 6 février 1959. **Cela lui vaudra en 2000, le prix Nobel de Physique.** Le prix Nobel, est attribué suivant la définition donné dans son testament par l'inventeur de la dynamite Alfred Nobel, pour avoir rendu de grands services à l'humanité, permettant

une amélioration ou un progrès considérable dans ce domaine. Il est vrai que sans les circuits intégrés, il faudrait réaliser tous les équipements en composants unitaires. Sans parler de problèmes de fiabilité dus aux très nombreuses connexions, les équipements ainsi conçus occuperaient de très gros volumes au minimum chiffrés en mètres cubes et pesant des centaines de kilogrammes, ceci en particulier exclut les appareils portables. La longueur des câbles influencerait négativement la vitesse de traitement. Les coûts de fabrication seraient très élevés. Tous ces points empêcheraient la diffusion au grand public.

La plaquette de germanium de Jack Kilby fonctionne en laboratoire. Il reste à développer l'industrialisation, ce qui n'est pas évident. Il faut améliorer le produit, mais aussi créer l'outil industriel

En fin 1964, je réponds à une annonce passée par Texas Instruments France qui recherche un ingénieur comme responsable du groupe de production des diodes. La réponse que je reçois est négative arguant du fait que je n'ai *pas le profil du candidat recherché qui entre autre doit avoir au moins cinq années d'expérience dans ce genre de fonction*, mais, on me propose un poste en production qui vient de se libérer. Les conditions générales d'embauche pour moi, (salaire, qualification,....) sont celles classiques d'embauche d'un ingénieur débutant.

C'est un poste d'assistant au chef d'atelier de test des transistors petits signaux en équipe du matin de 6h à 14h. L'atelier s'appelle « la ligne Final Test petits signaux ». Il y a 70 opératrices, il faut aider le chef d'atelier à les encadrer. Je suis embauché très rapidement. Quinze jours après, mon arrivée, le chef d'atelier de l'équipe du soir de 14 heures à 22 heures, équipe chargée des transistors de semi-puissance, est muté, je suis nommé , chef d'atelier de l'équipe du soir avec également 70 opératrices auxquelles il faut attribuer un poste de travail qu'il faut régler en fonction

du test à effectuer. Il faut organiser l'approvisionnement des postes de travail et réorienter les pièces testées. Chaque transistor pouvant être testé sur une dizaine de paramètres différents (tensions, courants, résistances, gains, capacités, temps de commutation,...) et pour plusieurs fourchettes de valeurs de chaque paramètre sur des appareils qui après réglages peuvent indiquer si le paramètre est ou non dans la fourchette recherchée. Parfois sur des tests particuliers demandés par un client, il est nécessaire de faire un montage comme dans un laboratoire. En fonction des résultats à un test, les transistors sont orientés vers d'autres tests pour finalement être catalogués comme d'un type précis correspondant soit à un produit catalogue, soit à un produit spécifique à un client. Chaque transistor peut subir entre dix et cinquante tests manuellement. Tous les transistors trouvés comme étant du même type sont regroupés pour des raisons de traçabilité dans un même lot s'ils ont été fabriqués pendant la même semaine et présentés au contrôle qualité le QA (assurance de la qualité) pour validation. Le contrôle QA est effectué par échantillonnage. Malheureusement un certain nombre de lots peuvent être refusés pour erreur de tri ou pour mélange de types différents. Il faut donc retrier tous les transistors du lot, parfois pour tous les paramètres. Le problème de cette ligne de production est qu'elle n'arrive pas à traiter la quantité de transistors produits par la ligne amont qui assemble les transistors et donc un important stock de transistors à tester s'est constitué entre les deux lignes et ne va qu'en augmentant.

Nous sommes fin décembre, il faut travailler à optimiser le plan de tri, à réaménager les postes de travail et à améliorer la productivité individuelle. Les ingénieurs du service méthodes très récemment créé, commencent à mettre en place le calcul des temps prédéterminés par la méthode «Work factor». Fin février, le nombre de test par transistor est pratiquement divisé par quatre en supprimant

les tests redondants, en n'ayant pratiquement plus de lots refusés par le contrôle qualité, donc pas de lots à retrier. Toutes ces améliorations rajoutées à l'augmentation de la productivité faite ont permis de tester tous les transistors qui constituaient le stock qui se trouvait en amont de la ligne. Le stock qui se trouvait entre la ligne d'assemblage et la ligne de test se trouve maintenant entre la ligne de test et la ligne de conditionnement qui fait le contrôle d'étanchéité à l'hélium, le marquage des composants par impression du type du composant et du numéro de la semaine de fabrication, un redressage des broches et l'emballage. Cette ligne comprend 40 opératrices et un agent de maîtrise par équipe. Le directeur de la production m'indique alors que « *Je suis nommé avec effet immédiat, responsable en plus de la ligne de test dont je m'occupe déjà, de la ligne de conditionnement de l'équipe du soir et responsable des 60 opérateurs de l'équipe de nuit qui travaillent sur les postes « bouchons » de toutes les lignes de l'entreprise, les opératrices n'étant pas légalement autorisées à travailler après 22 heures* ». Fin mars, la ligne de conditionnement aidée par les opératrices inoccupées de la ligne de test a traité tous les transistors arrivés à ce stade qui ont donc été livrés aux clients. En conséquence il n'y a plus assez de travail pour occuper l'ensemble des opératrices des deux lignes, la ligne d'assemblage ne produisant pas suffisamment pour les alimenter. Ce n'est pas un problème car d'autres lignes de production ont besoin de personnel supplémentaire.

Le jeudi premier avril 1965, une note de service indique « *ma nomination comme responsable du groupe de production des diodes* pour lequel quatre mois avant j'avais été considéré comme n'ayant pas le profil. Le groupe des diodes comprend également la fabrication des éléments indium-germanium pour les transistors au germanium allié. Cette décision s'applique instantanément puisque le seul