

SERVICES D'ELECTRONIQUE DE SACLAY

Juin 1975

SECTION DE GESTION DU MATERIEL ELECTRONIQUE

Objectif : 01410

INCVA 75. Journées de la maintenance. Paris,
9-13 juin 1975

FR7600466

MAINTENANCE DES APPAREILS ELECTRONIQUES AU CENTRE D'ETUDES

NUCLEAIRES DE SACLAY

par

Armand CHICHEPORTICHE

Norbert RAOULT

SES/INT/SGM/75-136

MAINTENANCE DES APPAREILS ELECTRONIQUES AU CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES DE SACLAY.

RESUME

Le Groupe ESSAIS-DEPANNAGE des Services d'Electronique de SACLAY a une mission :

Assurer la maintenance des appareils électroniques dont disposent les utilisateurs du site de SACLAY.

L'emploi de plus en plus fréquent de la microélectronique dans ces appareils accroît la densité des opérateurs électroniques et rend mal aisée la compréhension du fonctionnement et du cheminement des informations.

Il en résulte une complication dans la mise au point, le contrôle et le dépannage.

Les méthodes et des moyens sont recherchés pour faciliter la maintenance en réduisant la durée d'immobilisation du matériel et le coût d'une intervention.

Les services électroniques de SACLAY ont mis au point une méthode d'élaboration systématique des séquences d'essais et de diagnostic de pannes reposant sur les propriétés de l'analyse binaire.

Cette méthode est utilisée par un fournisseur du CEA qui a réalisé l'équipement d'essais correspondant. Les programmes de test établis pour chacune des parties constitutives d'un appareil permettent par exemple de localiser sur une carte comportant plus de 100 circuits intégrés l'élément défaillant et son remplacement dans un temps n'excédent pas 10 minutes.

MAINTENANCE DES APPAREILS ELECTRONIQUES AU CENTRE D'ETUDES

NUCLEAIRES DE SACLAY

A. CHICHEPORTICHE et N. RAULT

Ingénieurs aux Services d'Electronique de Saclay.

INTRODUCTION

Le Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay est le plus important Centre de Recherches du Commissariat à l'Énergie Atomique. C'est un Centre pluridisciplinaire très étendu qui s'intéresse à la recherche fondamentale dans les domaines de la physique, de la chimie, de la métallurgie, de la technologie, de la géophysique etc...

Par les activités concernées, et les techniques avancées étudiées, on y trouve concentrés de très importants moyens expérimentaux nécessitant un équipement électronique considérable dont la valeur d'achat, gros calculateurs exclus, est supérieure à 300 millions.

Les problèmes posés par la survie et la disponibilité de ce parc sont à la mesure de son importance et les solutions utilisées pour sa maintenance avec leurs avantages et leurs inconvénients ont fait l'objet de nombreuses publications(1). Depuis leur parution, ce parc s'est accru notamment dans le domaine des minicalculateurs et des systèmes numériques.

L'emploi de plus en plus important de la microélectronique dans leur conception a accru la densité des opérateurs électroniques et, leurs circuits plus complexes, donc moins aisés à réparer, conduisent à des temps de dépannage plus longs et à des coûts d'entretien plus élevés.

Préoccupés par ce double aspect, les Services Electroniques de Saclay ont étudié et développent actuellement une méthode d'élaboration systématique des séquences d'essais et de diagnostics des pannes propres à un ensemble ou à des sous-ensembles donnés.

Dans le cadre d'INOVA-75 il paraît intéressant d'exposer cette méthode originale et de la comparer aux méthodes existantes et développées pour le même objectif.

Auparavant, nous rappelons brièvement le rôle du groupe essais-dépannage des Services Electroniques de SACLAY, son objectif, son domaine d'activité et ses caractéristiques opérationnelles.

ROLE

Accroître la disponibilité des Equipements Electroniques en intervenant rapidement et efficacement en cas de pannes, et, si possible, en évitant ces dernières par une maintenance préventive soigneusement agencée. La maintenance requiert une organisation d'autant plus complexe qu'elle s'applique à un parc d'appareils plus étendu ou plus diversifié.

Deux types de maintenance sont pratiqués par le groupe Essais-Dépannage de Saclay :

- Une maintenance corrective, dont l'efficacité conditionne directement la disponibilité du matériel ou des installations, et pour laquelle il importe de disposer d'un personnel qualifié, d'une documentation technique complète, de pièces de rechange diverses, de dispositifs de mesure et d'essais.

- Une maintenance préventive qui nécessite des programmes appropriés définissant la nature et la fréquence des interventions à effectuer sur les appareils, ainsi que les moyens à mettre en oeuvre.

L'organisation et la mise en place des moyens propres à l'exercice de ces activités peuvent à priori sembler coûteuses mais elles se révèlent rapidement rentables si elles s'appuient sur des données objectives concernant les défauts constatés et si le parc des appareils concernés est suffisant pour assurer convenablement l'amortissement des dépenses engagées.

OBJECTIF

Le Groupe Essais-Dépannage a par vocation les deux objectifs essentiels suivants :

- Assurer en priorité la maintenance corrective et préventive des appareils relevant des techniques électroniques, électromécaniques et du vide utilisés dans les centres de recherches du CEA ou extérieurs à celui-ci.

- Etudier l'organisation de l'entretien prévoyant par exemple les moyens à mettre en oeuvre pour assurer avec une probabilité donnée la disponibilité des matériels d'un parc déterminé.

Il assure par ailleurs l'assistance technique pour la mise en service, la transformation ou l'étude d'appareils particuliers, procède au réétalonnage d'appareils dans les domaines continu-alternatif ou fréquentiel.

Recette des appareils neufs ou révisés chez les industriels et recueille les éléments nécessaires aux études de fiabilité et de maintenabilité des appareils. De plus il participe à l'évaluation et à la qualification d'appareils objet d'une proposition de normalisation.

DOMAINE D'ACTIVITE

Le Groupe s'occupe en priorité des appareils normalisés au CEA, c'est-à-dire ceux qui, suite à une proposition des Groupes de Travail mis en place à cet effet figurent dans les catalogues d'Electronique, à savoir :

Instrumentation d'électronique nucléaire pour la recherche, la radioprotection et la radioprospection.

Systemes d'acquisition et de traitement des données numériques ou analogiques avec ou sans miniordinateurs, périphériques associés.

Appareils électroniques de mesure et générateurs des grandeurs physiques (courant, tension, puissance, temps, fréquence etc...)

Appareillage et technique du vide (mécanique ou électronique);

Appareillage électromécanique.

Télévision industrielle.

Le Tableau-1 donne une indication sur les activités générales du groupe et les coûts de maintenance suivant celles-ci.

CARACTERISTIQUES OPERATIONNELLES

Délais de remise en état :

URGENCE 1 (sur demande formulée à l'avance pour certains appareils particuliers) :

- . Intervention immédiate pendant les heures ouvrables,
- . Possibilités d'interventions en dehors des heures ouvrables.

URGENCE 2 (cas général)

- . Intervention sur place ou dans les locaux du groupe.
- . Délai moyen de remise en état de l'ordre de 3 jours calendaires dans 90% des cas.

URGENCE 3 (Matériels moins pressés, réparations spéciales ou révision en atelier) :

- . Délai moyen de remise en état de l'ordre de 21 jours calendaires dans 90% des cas.

Le Tableau-2 donne pour 1974 les délais moyens de remise en état cumulés pour toutes causes d'immobilisation.

75 agents placés sous l'autorité d'ingénieurs responsables assurent le service. Le groupe dispose dans ses laboratoires à SACLAY (2) ou dans ceux de ses fournisseurs ou contractants de tous les moyens matériels en appareils de mesure, d'étalonnage et en pièces et composants de rechange.

L'accroissement rapide du parc de miniordinateurs et de leurs périphériques (doublement du nombre d'appareils en service en 1973 et en 1974) implique pour leur maintenance la mise en oeuvre de méthodes et de moyens appropriés. Ces méthodes doivent être basées sur la connaissance approfondie et complète des matériels pour réduire les délais d'immobilisation et les coûts d'entretien c'est ce double aspect technique et économique qui a conduit le groupe Essais-Dépannage des SES à mettre en oeuvre des méthodes permettant de résoudre les difficiles problèmes de recherches automatiques des défaillances, soit au niveau du circuit intégré (MSI et LSI) soit au niveau de la carte imprimée pouvant contenir une centaine ou plus de ces circuits.

Certaines approches ont donné lieu à des réalisations pratiques, d'autres sont restées de pures spéculations théoriques.

On peut retenir quatre philosophies principales parmi les procédures qui ont été développées pour les appareils commercialisés dans ce but.

METHODE DE COMPARAISON

Cette méthode consiste à mettre en parallèle les entrées de deux cartes et à comparer les signaux de sortie. L'une des deux cartes est bonne et sert de témoin tandis que l'autre est à contrôler.

Développée par "FLUKE-TRENDAR" la méthode permet de détecter une panne à partir des sorties délivrant des signaux non conformes sur deux broches homologues.

De proche en proche on localise l'élément défectueux en progressant vers l'entrée. Cette auscultation est effectuée au moyen d'une sonde. L'idée de base étant que toute erreur en aval laisse une trace en amont. La méthode implique de disposer d'une carte en bonne état de fonctionnement, et de générateurs de signaux spécifiques. Cette dernière condition est remplie par des groupes de générateurs délivrant des signaux en code pseudo-gray, en code 1/N, des signaux pseudo-aléatoires, horloge 8 phases etc..

METHODE DE LA TABLE DE VERITE

GENERAL RADIO utilise cette méthode basée sur le développement de la table de vérité d'une fonction logique. Tous les cas de figure sont sensés être analysés de manière exhaustive. Tous les circuits contenus sur la carte ainsi que leurs interconnexions doivent être déclarés. Une bibliothèque contenant la table de vérité des circuits utilisés est sollicitée par logiciel pour engendrer les signaux qui exciteront les circuits. Connaissant les niveaux logiques que l'on doit obtenir en sortie, il est possible en principe à l'aide d'un sous-programme de localiser le sous-ensemble défaillant. Ce système fait appel à un logiciel assez lourd nécessitant un appareillage important.

METHODE DE SIMULATION

C'est la procédure appliquée par la Société MEMBRAIN. Elle consiste à simuler le fonctionnement logique du système à l'aide d'un programme.

La recherche et la localisation des éléments défectueux sont effectués au moyen d'une sonde guidée par un dictionnaire des causes préalables de pannes fourni par un listing.

La préparation des programmes de simulation et du dictionnaire de pannes peut être effectuée sur minicalculateurs chez l'utilisateur, "en service bureau" par MEMBRAIN ou en "temps partagé". La méthode implique nécessairement que les programmes de test soient élaborés pendant la conception du système. Elle fait également appel à un logiciel assez lourd.

METHODE DE L'ANALYSE BINAIRE

C'est la méthode de tests automatiques et de détection des pannes que nous proposons.

Elle est basée sur les équations logiques obtenues au moyen de l'analyse binaire des circuits (2 à 10) que l'on distingue en circuits combinatoires et en circuits séquentiels pour lesquels les algorithmes peuvent être différents. L'élaboration des séquences de test des fonctions combinatoires repose sur l'existence de l'élément neutre et de l'élément absorbant qui caractérisent certaines propriétés des deux opérations (produit et produit) dont est munie la structure logique binaire. Soit deux variables binaires $a, b \in E_2$

Considérons le produit :

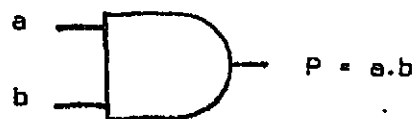
$$P = a . b$$

qui a pour élément absorbant "0" et pour élément neutre "1"

$$\text{Si. } \left. \begin{array}{l} a = 0, b = 1 \\ a = 1, b = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow P = 0$$

$$\text{Si } a = 1, b = 1 \Rightarrow P = 1$$

Le produit est réalisé en pratique par la fonction logique ET



Pour contrôler un tel opérateur, 3 combinaisons sur 4 sont significatives. Ce sont les combinaisons 1 - 2 - 3 du tableau ci-dessous. Un test est significatif pour une fonction produit ; si et seulement si :

- a) - tous les facteurs du produit sont égaux à "1" (valeur neutre du produit), ce qui entraîne $P = 1$,
- b) - l'un quelconque des facteurs $X_i = 0$ (valeur absorbante du produit) ce qui entraîne $P = 0$

	a	b	P	
0	0	0	0	
1	0	1	0	Collage à "0" de la variable "a"
2	1	0	0	Collage à "0" de la variable "b"
3	1	1	1	Collage à "1" des variables "a,b"

Considérons le produit :

$$\Pi = \begin{vmatrix} a \\ b \end{vmatrix} = 1 - (1-a)(1-b) \quad \text{xx}$$

avec $1 - a = \bar{a}$ et $1 - b = \bar{b}$

x ces deux opérations sont associatives, commutatives, réciproquement distributives ; elles possèdent la propriété d'idempotence.

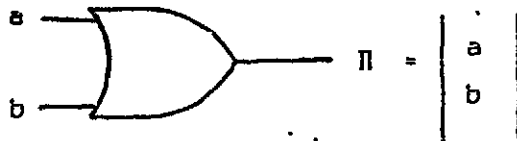
xx Les signes + et - sont pris avec le sens large tel qu'il est défini en Algèbre classique.

qui a pour élément absorbant "1" et pour élément neutre "0"

$$\text{si , } \left. \begin{array}{l} a = 1, b = 0 \\ a = 0, b = 1 \end{array} \right\} \Rightarrow \Pi = 1$$

$$\text{si , } a = 0, b = 0 \Rightarrow \Pi = 0$$

Le produit est réalisé en pratique par la fonction logique "OU"



Pour contrôler un tel opérateur, trois combinaisons sur quatre sont significatives. Ce sont les combinaisons 0 - 1 - 2 du tableau ci-dessous. Un test est significatif pour une fonction produelle, si et seulement si :

- a) tous les facteurs duals sont égaux à "0" (valeur neutre du produit) ce qui entraîne $\Pi = 0$.
- b) l'un quelconque des facteurs duals $X_j = 1$ (valeur absorbante du produit) ce qui entraîne $\Pi = 1$.

	a	b	Π
0	0	0	0
1	0	1	1
2	1	0	1
3	1	1	1

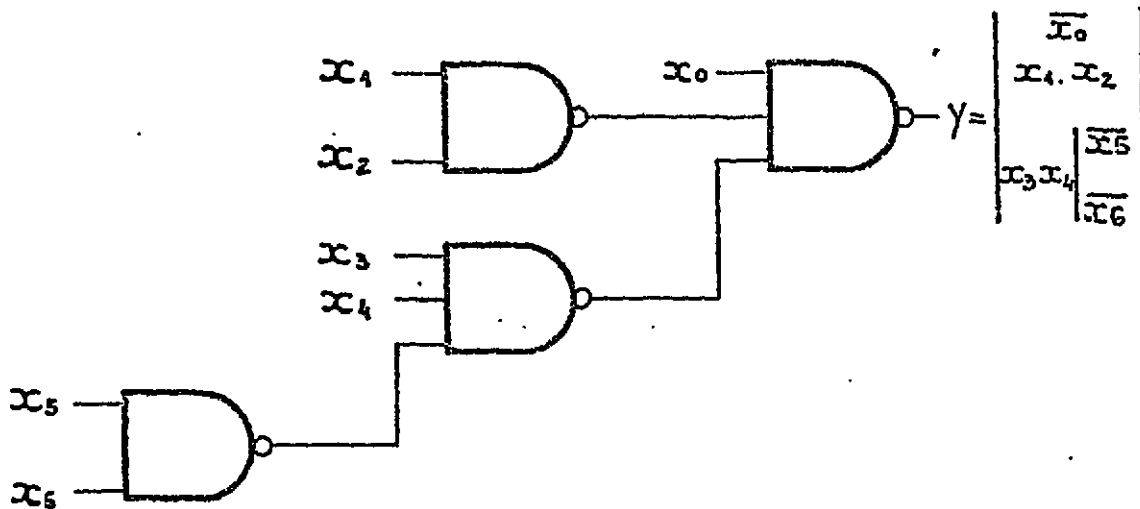
Collage à "0" des variables "a,b"

Collage à "1" de la variable "b"

Collage à "1" de la variable "a"

CIRCUIT COMBINATOIRE

Nous pouvons généraliser les règles précédentes à la fonction combinatoire suivante :



Pour contrôler une telle fonction, il est indispensable que l'équation soit représentative du circuit c'est-à-dire que la relation d'équivalence entre la topologie du circuit et la forme de l'équation soit respectée. Toute simplification mathématique est donc interdite.

Les configurations d'entrée des 7 variables de la fonction précédente sont représentées par 2^7 combinaisons parmi lesquelles 10 seulement sont significatives pour le contrôle de ce circuit.

Partant des considérations ci-dessus on peut établir l'organigramme de test qui détermine les 10 séquences qui permettent d'écrire le programme connaissant les assignations des variables pour chaque test.

$$\begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 00 & 1 \\ & 1 \end{vmatrix} = 0$$

(1)

$$\begin{vmatrix} & 1 \\ 0 & 0 \\ 00 & 1 \\ & 1 \end{vmatrix} = 1$$

(2)

$$\begin{vmatrix} & 0 \\ 0 & 1 \\ 00 & 1 \\ & 1 \end{vmatrix} = 0$$

(3)

$$\begin{vmatrix} & 0 \\ 1 & 1 \\ 00 & 1 \\ & 1 \end{vmatrix} = 1$$

(4)

$$\begin{array}{c} \left| \begin{array}{cc} & 0 \\ 1 & 0 \\ 00 & \begin{array}{c} 1 \\ 1 \end{array} \end{array} \right| = 0 \\ (5) \end{array} \quad \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cc} & 0 \\ 0 & 0 \\ 11 & \begin{array}{c} 1 \\ 0 \end{array} \end{array} \right| = 1 \\ (6) \end{array} \quad \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cc} & 0 \\ 0 & 0 \\ 11 & \begin{array}{c} 0 \\ 0 \end{array} \end{array} \right| = 0 \\ (7) \end{array} \quad \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cc} & 0 \\ 0 & 0 \\ 10 & \begin{array}{c} 1 \\ 0 \end{array} \end{array} \right| = 0 \\ (8) \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \left| \begin{array}{cc} & 0 \\ 0 & 0 \\ 11 & \begin{array}{c} 0 \\ 1 \end{array} \end{array} \right| = 1 \\ (9) \end{array} \quad \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cc} & 0 \\ 0 & 0 \\ 01 & \begin{array}{c} 0 \\ 1 \end{array} \end{array} \right| = 0 \\ (10) \end{array}$$

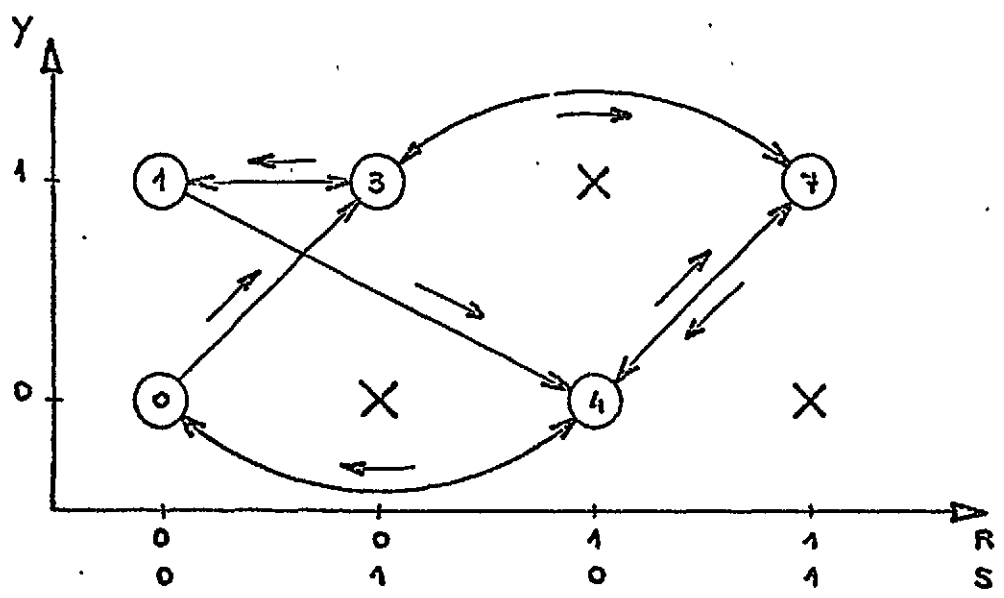
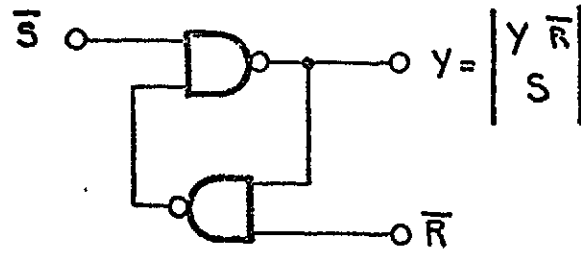
La construction de cet organigramme est basée sur le principe qui consiste à remplacer les variables par des "0" ou des "1" en gardant la même forme à l'équation. Chaque produit correspondant à une ligne est traité isolément en annulant tous les autres. On applique au produit ou au produit considéré la propriété fondamentale de l'élément absorbant en respectant la règle d'adjacence ; ce qui permet de localiser le chemin de propagation de l'information et de prévoir un diagnostic pour chaque séquence de test. Si pendant le déroulement du programme un contrôle se révèle mauvais, un message est édité en clair, signalant le nom de la procédure en cours, le numéro du test ainsi que le ou les opérateurs en cause, repérés par la broche d'entrée suivi d'une référence alpha-numérique.

A la lumière de ce qui vient d'être dit, il est aisé de constater que l'élaboration des séquences de test d'un système combinatoire relève d'une procédure systématique.

CIRCUIT SEQUENTIEL

La connaissance des équations logiques d'un système séquentiel serait suffisante pour établir les séquences de tests. Cependant, le graphe cartésien correspondant est d'un grand secours pour minimiser le nombre de vecteurs à tester afin de couvrir toutes les commutations du système dès lors qu'on en connaît tous les états stables possibles. Puis les vecteurs choisis sont enchaînés pour former une séquence de test, sur laquelle est appliquée la condition d'adjacence.

Considérons la fonction mémoire à S prioritaire et son graphe d'états correspondant :



Pour contrôler une telle fonction, les deux séquences suivantes permettent de tester toutes les transitions de la fonction mémoire en passant une seule fois sur chaque vecteur représentant une commutation. En initialisant la fonction dans l'état (3) c'est-à-dire en faisant $R = 0, S = 1 \Rightarrow Y = 1$ on obtient :

- 1ère séquence (5) → (1) → (4) → (0) → (3)
- 2ème séquence (3) → (7) → (4) → (7)

Ces deux séquences permettant de construire l'organigramme à l'aide duquel il est possible d'écrire le programme de tests.

$$\begin{array}{ccccc} \begin{array}{c} \nearrow 1 \\ \left| \begin{array}{cc} x & 1 \\ 1 & \end{array} \right| = 1 & \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cc} 1 & 1 \\ 0 & \end{array} \right| = 1 & \begin{array}{c} \nearrow 0 \\ \left| \begin{array}{cc} 1 & 0 \\ 0 & \end{array} \right| = 0 & \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cc} 0 & 1 \\ 0 & \end{array} \right| = 0 & \begin{array}{c} \nearrow 1 \\ \left| \begin{array}{cc} 0 & 1 \\ 1 & \end{array} \right| = 1 \end{array} \end{array}$$

(3) (1) (4) (0) (3)

1 2 3 4 5

$$\begin{array}{ccc} \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cc} 1 & 0 \\ 1 & \end{array} \right| = 1 & \begin{array}{c} \nearrow 0 \\ \left| \begin{array}{cc} 1 & 0 \\ 0 & \end{array} \right| = 0 & \begin{array}{c} \nearrow 1 \\ \left| \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 1 & \end{array} \right| = 1 \end{array} \end{array}$$

(7) (4) (7)

6 7 8

Ainsi, on contrôle de manière exhaustive une fonction mémoire moyennant 8 tests.

Cette méthode permet de vérifier le bon fonctionnement de n'importe quel automate numérique, aussi compliqué soit-il, à condition d'en connaître le graphe cartésien. Ce dernier permet de décrire de manière claire l'évolution d'un circuit séquentiel grâce à la représentation, dans un système d'axes en coordonnées cartésiennes, des états de commutation et des états stables, associés à l'expression sagittale des transitions. La lecture des graphes cartésiens est largement facilitée par la séparation des variables et des fonctions et leurs commodités d'utilisation sont très appréciées de tous ceux qui utilisent l'analyse binaire.

La méthode que nous proposons permet de minimiser le nombre de tests nécessaires par l'utilisation des seules combinaisons significatives. Le temps machine et les points mémoire ainsi que l'écriture du programme pour chaque carte, sont réduits au minimum. La grande souplesse de la méthode donne à l'utilisateur une autonomie totale et le langage mnémonique utilisé est des plus élémentaire et très facile à apprendre. De plus, l'écriture du programme peut s'effectuer soit à la conception du système soit ultérieurement puisqu'il s'agit d'une analyse purement logique.

L'élaboration des séquences de tests pour la recherche et la localisation des pannes à l'aide de l'analyse binaire a été appliquée avec succès lors d'un contrat de collaboration entre les services d'Electronique de Saclay et la Société d'Electronique et d'Instrumentation Nucléaire (SEIN). Le banc de tests à structure de calculateur, développé et commercialisé par cette Société, a été conçu exclusivement pour le contrôle et le dépannage de cartes et de circuits imprimés. La précision du diagnostic permet le dépannage d'une carte comportant une centaine de circuits intégrés, dans un temps qui n'excède pas 10 minutes.

BIBLIOGRAPHIE

- L'entretien du parc d'appareils électroniques en service au Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay (C. GUYOT, B. JOUVE).
- Politique de maintenance cas concret du Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay (C. GUYOT).
- VALLEE R.L.
Analyse binaire
(Tomes I et II) Ed. Masson.
- CHICHEPORTICHE A., VALLEE R.L., VERGEZ P.
Appareil d'échantillonnage d'impulsions aléatoires.
Brevet C.E.A. n° 6922984 du 7 juillet 1969.
- BLANCHARD A.
Elément de commutation générale.
Ed. Eyrolles.
- VERGEZ P.
Analyse du fonctionnement logique de la bascule TTL 5472
Note C.E.A. N-1237, 1970.
- CHICHEPORTICHE A., VALLEE R.L.
Etude et utilisation de bascules logiques à seuils contrôlés.
Note C.E.A. N-961, 1968.
- CHICHEPORTICHE A.
Etude d'un circuit de détection de coïncidences aléatoires à l'aide de la méthode des graphes séquentiels.
Rapport C.E.A. R-4166.
- VERGEZ P., BONNEMAY A.
L'analyse binaire et les algèbres de Boole.
Automatisme Tome XVI - n° 10 - octobre 1971.
- CHICHEPORTICHE A.
Analyse et synthèse d'un circuit logique d'asservissement par les méthodes de l'analyse binaire.
Rapport C.E.A. - R-4588.
- CHICHEPORTICHE A.
Analyse du fonctionnement logique des circuits TTL
SN 5476 - SN 54 H 76 - SN 54 S 112
par les méthodes de l'analyse binaire
Rapport CEA - R - 4677.

NATURE ET COUTS DE MAINTIENANCE DES MATERIELS

NATURE DES APPAREILS	NOMBRE D'APPAREILS ESTIME	NOMBRE D'INTERVENTIONS	VALEUR DU PARC	COUT DIRECT DES INTERVENTIONS	COUT MOYEN D'UNE INTERVENTION	COUT DE L'INTERVENTION DE LA VALEUR D'ACHAT DES APPAREILS
Systemes d'acquisition et de traitement de données analogiques et numériques	2350	1050	47,5 MF	815 KF	775 F	1,7%
Instrumentation d'électronique nucléaire NIM - CAMAC RENAISSANCE	4000	1750	20 MF	700 KF	400 F	3,5%
Périphériques télégraphiques	815	730	8,75MF	281 KF	385 F	3,2%
Mini-Calculateurs et périphériques d'enregistrement magnétique	140 dont 71 calculateurs	135	7,6 MF	350 KF	2.800 F	4,6%
Appareils de mesure U. I. R. Z. P. F	2125	1100	10 MF	265 KF	240 F	2,85%
Générateur U.I.F	735	800	5 MF	181 KF	270 F	3,2%
Oscilloscopes et tiroirs	6600	2060	53 MF	1257 KF	620 F	2,35%
Enregistreurs	3550	2860	32 MF	1000 KF	360 F	3,1 %
Appareils de radioprotection	1220	850	11,6 MF	306 KF	402 F	2,65%
Appareils Electroniques non Standard	2000	1450	15 MF	1439 KF	992 F	9,6%
Appareils et installations de vide	880	600	15 MF	639 KF	708 F	7%
TOTAL	24418	13185	227 MF	7213 KF	705 F	3,3%

TABLEAU - 1

