
RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL



ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIÈS

Gm. 0243

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR DE CONCEPTION

TITRE ETUDE DE FIABILITE DE SYSTEMES
APPLICATION A UN PASSAGE A NIVEAU
AUTOMATIQUE _

DATE : MAI 1988

AUTEUR : NADJIROU SALL
DIRECTEUR : J. C. WARMUES
CO-DIRECTEUR : _

A mes parents bien-aimés

A ma famille toute entière

A mon amie Saft KANTE

Aux élèves ingénieurs de la 11^e promotion de
l'Ecole Polytechnique de THIES.

SOMMAIRE

Cette étude de fiabilité a été mise en application sur le système de passage à niveau automatique de la Régie des Chemins de Fer du Sénégal développé en collaboration avec l'École Polytechnique de Thies.

Les méthodes utilisées sont celles classiques d'évaluation de la fiabilité de systèmes markoviens.

Cette étude permet de mesurer le niveau de fiabilité atteint avec ce nouveau système et introduit des recommandations pour son amélioration.

TABLE DES MATIERES.

	<u>Pages</u>
- INTRODUCTION.	1
I DEFINITION DU PROBLEME.	3
II FIABILITE.	5
2.1 Définition	5
2.2 Fonction de probabilité	5
2.3 Variation de la fiabilité	6
2.4 Fonction de hasard	8
III REPRESENTATION DE LA LOGIQUE DU SYSTEME.	13
3.1 Description du système	15
3.2 Schéma logique du système	17
3.3 Alimentation	18
3.4 Détecteurs	19
3.5 Boite de contrôle	21
3.6 Feux clignotants et sonnerie	22
IV DONNEES DE FIABILITE ET CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT	23
4.1 Données de fiabilité	23
4.2 Conditions de fonctionnement	26
V ANALYSE QUALITATIVE	28
5.1 La F.M.E.A	28
5.2 L'arbre de défaillance.	34

	Pages
5.3 Le diagramme de fiabilité	40
5.4 Coupes minimales	46
<u>VI</u> ANALYSE QUANTITATIVE	50
6.1 Calcul des taux de défaillance équivalents	50
6.2 Calcul des probabilités de défaillance étude de la disponibilité	55
<u>VII</u> CONCLUSIONS ET RECOM- MANDATIONS:	70
7.1 Analyse des résultats	70
7.2 Recommandations	72
CONCLUSION	80
<u>VIII</u> ANNEXES	
A1 : Circuit detection	84
A2 : Boite de controle	85
A3 : Boite de controle: électronique	
A4 : Pédale de Liberation	87
A5 : Circuit du clignotant	88
Bibliographie	82

INTRODUCTION

INTRODUCTION.

Dès que l'homme eut inventé ses premiers outils, il devint dépendant de leur bon fonctionnement : le concept de fiabilité était né. L'étude de la fiabilité de système introduite dans ce projet de fin d'études est un thème d'actualité important pour deux raisons fondamentales :

- la première raison réside dans le caractère essentiel et vital du bon fonctionnement de certains matériels ou systèmes et de la nécessité absolue de remplir une mission donnée, par exemple lorsque sont en jeu des vies humaines dans les transports en commun, l'aviation, l'espace, ou la vie d'une société humaine en imaginant les conséquences inhérentes pour une banque à la perte totale de ses moyens de traitement.
- la seconde raison a un caractère essentiellement économique. Si on tient compte dans le choix d'un matériel de son coût total, on doit ajouter à son prix d'achat son coût d'exploitation. En exploitation, le coût des défaillances est souvent élevé non seulement à

cause du prix des pièces de rechange, mais aussi par la privation d'usage que l'on impose à l'utilisateur et ses conséquences. L'étude du compromis coût d'achat - coût d'exploitation fait apparaître un coût total minimal qui permet d'évaluer le niveau de fiabilité économiquement souhaitable. La première raison sera privilégiée dans ce projet qui est une étude de la fiabilité d'un passage à niveau automatique expérimenté par la Régie des Chemins de Fer du Sénégal.

DEFINITION
DU
PROBLEME

Une installation de ce type doit respecter certains principes fondamentaux de sécurité que voici :

a) Aucun défaut de l'installation ne doit avoir de résultats contraires à la sécurité. Ainsi toute panne doit provoquer la fermeture d'un signal ouvert, mais pas l'ouverture d'un signal qui doit être fermé : ce qui se dit en termes fiabilistes un «*bris sécuritaire*».

b) Tout élément du système devra respecter le principe ci-haut sinon être contrôlé par un autre élément.

c) L'installation doit impérativement jouer son rôle pour assurer la sécurité routière et ferroviaire.

Ces considérations primordiales pour le design montrent l'importance que revêt l'étude de la fiabilité d'un tel système. C'est pourquoi nous nous sommes proposés de l'analyser d'autant plus que sa conception est l'œuvre de Polytechniciens.

FIABILITE

probabilité que le système ait survécu au temps t :

$$\begin{aligned}R(t) &= \frac{N_s(t)}{N_T} \\ &= \frac{N_s(t)}{N_s(t) + N_f(t)} \\ &= 1 - \frac{N_f(t)}{N_T}\end{aligned}$$

2.3 Variation de la fiabilité:

$$\frac{dR(t)}{dt} = - \frac{1}{N_T} \frac{dN_f(t)}{dt}$$

$$\frac{dN_f(t)}{dt} = - N_T \frac{dR(t)}{dt}$$

en posant $r(t) = \frac{1}{N_s(t)} \frac{dN_f(t)}{dt}$

on a alors

$$r(t) = - \frac{N_T}{N_s(t)} \frac{dR(t)}{dt}$$

$$r(t) = - \frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}$$

$$r(t) dt = - \frac{dR(t)}{R(t)}$$

$$\int_0^t r(x) dx = - \int_0^t \frac{1}{R(x)} dR(x)$$

d'où

$$R(t) = e^{-\int_0^t r(x) dx}$$

$r(t)$ = fonction du taux de bris, fonction de hasard ou taux de hasard.

Si le système a une distribution de densité de bris $f(t)$, alors la distribution cumulative de bris est:

$F(t) = \int_0^t f(x) dx$ qui représente la non fiabilité.

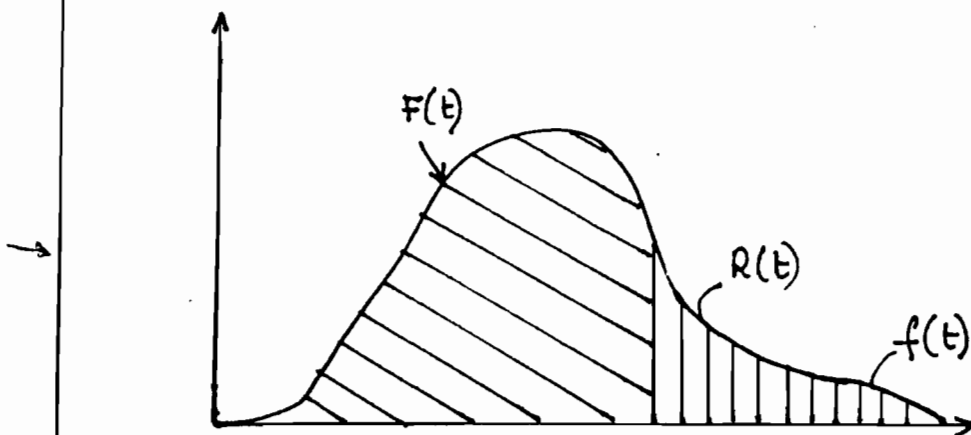
$$\begin{aligned} R(t) &= 1 - F(t) \\ &= e^{-\int_0^t r(x) dx} \end{aligned}$$

$$\text{Log} [1 - F(t)] = -\int_0^t r(x) dx$$

en dérivant on a

$$r(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$$

$$[1 - F(t)] r(t) dt = f(t) dt.$$

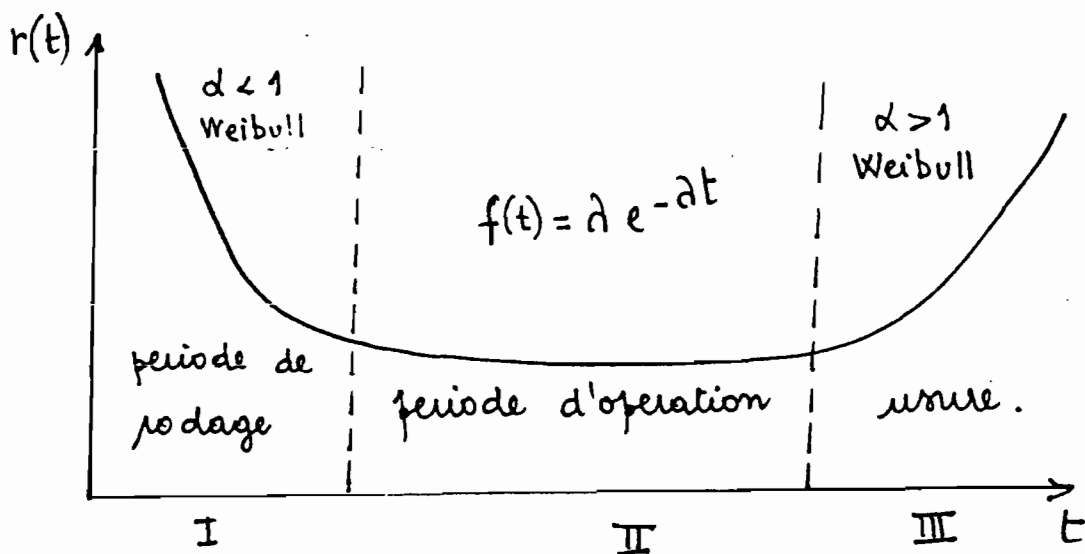


2.4 Fonction de hasard:

Elle est exprimée par $r(t)$ précédemment définie par:

$$r(t) = - \frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}$$

De nombreuses données expérimentales ont montré que pour de nombreux éléments la fonction $r(t)$ présente l'allure de la courbe ci dessous:



α caractérise la distribution de Weibull dont les différentes fonctions caractéristiques sont:

$$\begin{aligned} \text{densité} & f(t) = \lambda \alpha t^{\alpha-1} e^{-\lambda t^\alpha} \\ \text{fiabilité} & R(t) = e^{-\lambda t^\alpha} \\ \text{fonction de hasard} & r(t) = \lambda \alpha t^{\alpha-1} \end{aligned}$$

λ : taux de bris.

On distingue sur ce graphique trois (03) zones I, II, III.

Sur I, $r(t)$ prend des valeurs élevées; cette zone correspond généralement à la période de rodage où les éléments possédant des défauts cachés tombent rapidement en panne.

Sur II, $r(t)$ est pratiquement constante; cette zone correspond à la période de fonctionnement normal. Elle est caractérisée par une valeur relativement constante du risque de panne.

Sur III, $r(t)$ prend aussi des valeurs élevées; c'est la zone de vieillissement où le risque de panne augmente considérablement du à l'usure par des phénomènes physico-chimiques et autres.

Ces variations du risque de panne ne sont naturellement pas universelles mais sont vérifiables pour la plupart des éléments surtout les éléments (composants) électroniques. Nous adopterons d'ailleurs cette approximation pour ces derniers éléments, ce qui se traduira par $r(t) = cté$.

$r(t) = cté$ correspond à une distribution expo.

mentielle où l'entretien préventif n'est pas nécessaire, les causes de bris étant extérieures au système (survolage, défaut d'alimentation, bris physique etc...).

Les fonctions caractéristiques de la distribution exponentielle sont:

densité $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$

fiabilité $R(t) = e^{-\lambda t}$

fonction de hasard $r(t) = \lambda$

moyenne des temps de bon fonctionnement

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

La disponibilité sera la probabilité pour qu'un système soit non défaillant à l'instant t et noté $A(t)$

La maintenabilité $M(t)$ est le complément à 1 de la probabilité qu'un système ne soit pas réparable sur l'intervalle $[0, t]$ sachant qu'il est défaillant à $t=0$. Cette notion ne concerne que les systèmes réparables.

La disponibilité $A(t)$ est équivalente à la fiabilité dans le cas des systèmes non réparables ($R(t) = A(t)$).

En général la disponibilité d'un système réparable en fonctionnement permanent tend vers une limite non nulle lorsque t tend vers l'infini et que cette limite est égale à la proportion du temps pendant lequel le système est en état de fonctionner. Par contre la fiabilité et la maintenabilité de tous les systèmes tendent vers une même limite (0 pour la fiabilité et 1 pour la maintenabilité) lorsque t tend vers l'infini. Ce qui caractérise les systèmes est la manière avec laquelle ces limites sont atteintes. Cela nous amènera à définir certaines notions pour caractériser ces limites:

- MTTF : moyenne des durées avant défaillance c'est la durée moyenne de bon fonctionnement d'un système avant la première défaillance (Mean Time To Failure en anglais).

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

- MTTR : moyenne des temps de réparation c'est la durée moyenne des temps de réparation (Mean Time To Repair en anglais).

$$MTTR = \int_0^{\infty} [1 - M(t)] dt$$

Ces deux valeurs dépendent de l'état initial du système.

- MTBF : moyenne des temps entre deux défaillances d'un système réparable (Mean Time Between Failure en anglais).

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

- MUT : durée moyenne de bon fonctionnement après réparation (Mean Up Time en anglais).

MUT \neq MTTF car un système peut être remis en service sans que tous ses éléments défaillants aient été nécessairement réparés.

- MDT : durée moyenne de défaillance (Mean Down Time en anglais), cette durée moyenne comprend la détection de la panne, la durée d'intervention, la durée de la réparation et la durée de remise en service.

REPRESENTATION
DE LA
LOGIQUE DU
SYSTEME

III REPRESENTATION DE LA LOGIQUE DU SYSTEME :

Le premier problème rencontré par l'ingénieur fiabiliste dans l'étude de la fiabilité ou de la disponibilité d'un système est la description de ce système. On recherche la représentation la plus simple sans tenir compte de la méthode de calcul de la fiabilité et de la disponibilité.

Deux cas se posent :

1°: l'élément est normalement en marche et il a deux états possibles : état de marche et état de panne.

2°: l'élément est normalement à l'arrêt et ne démarre qu'en secours d'un élément principal (élément en redondance passive ou « stand by » dans la littérature anglo-saxonne).

Il y a alors quatre états possibles : en marche, en réparation, à l'arrêt en bon état, à l'arrêt en panne. Pour tenir compte de l'action extérieure sur le système (cataclysmes naturels, erreurs humaines), on introduit un certain nombre d'événements

que l'on considère comme les éléments du système. Ces éléments d'un type particulière prendront aussi en général un nombre fini d'états. Ainsi telle erreur humaine, a eu lieu ou n'a pas lieu etc...

Finalement, comme chaque élément admet un nombre fini d'états, le système admet un nombre fini d'états.

Représenter la logique du système, c'est représenter l'ensemble des états de fonctionnement et de non fonctionnement du système et les liaisons entre les différents états.

Cette représentation peut se faire de plusieurs manières :

- par le diagramme de fiabilité
- par l'arbre de défaillance
- par les coupes minimales
- par le graphe des états ou graphe de Markov
- par d'autres représentations des états de marche.

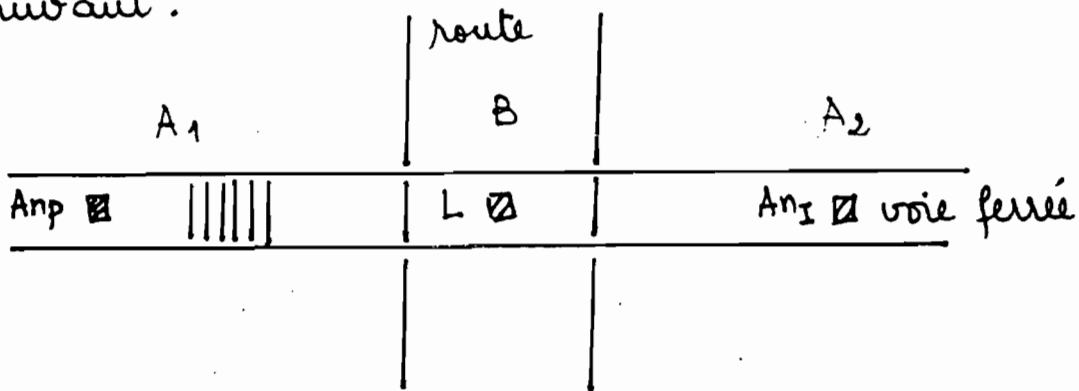
Certaines de ces représentations sont souvent proches du schéma fonctionnel du système à étudier. Ainsi avant de commencer à les

représenter, nous décrivons le fonctionnement de notre système et des éléments qui le composent.

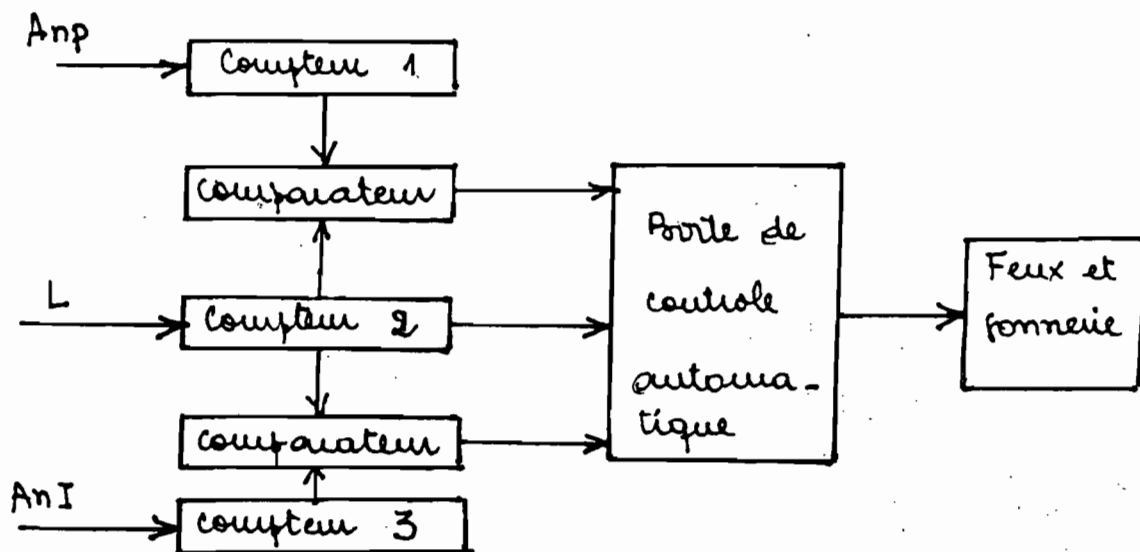
3.1 Description du système:

C'est un système de détection de trains sur voie unique. Son schéma général se trouve en annexe.

Pour les besoins d'explication du fonctionnement, nous réduirons ce schéma à celui suivant.



Anp, AnI, L : détecteurs



Supposons que le train roule de la gauche vers la droite :

- arrivé en A_1 , A_{np} est actionné et le compteur 1 enregistre le signal et l'envoie au comparateur. Ce même signal amplifié est transmis à la boîte de contrôle qui commande la signalisation.

- arrivé en B, L est actionné et le relais L de la boîte de contrôle arrête la signalisation par excitation du relais A_{np}

- arrivé en A_2 , A_{n2} est actionné le compteur 2 enregistre le signal et l'envoie au comparateur qui fait la comparaison entre le niveau du signal 1 et 2.

S'il y a égalité, le système est reinitialisé.

Nous avons là résumé le fonctionnement qualitatif de notre système qui sera divisé en sous-systèmes pour les besoins de l'analyse :

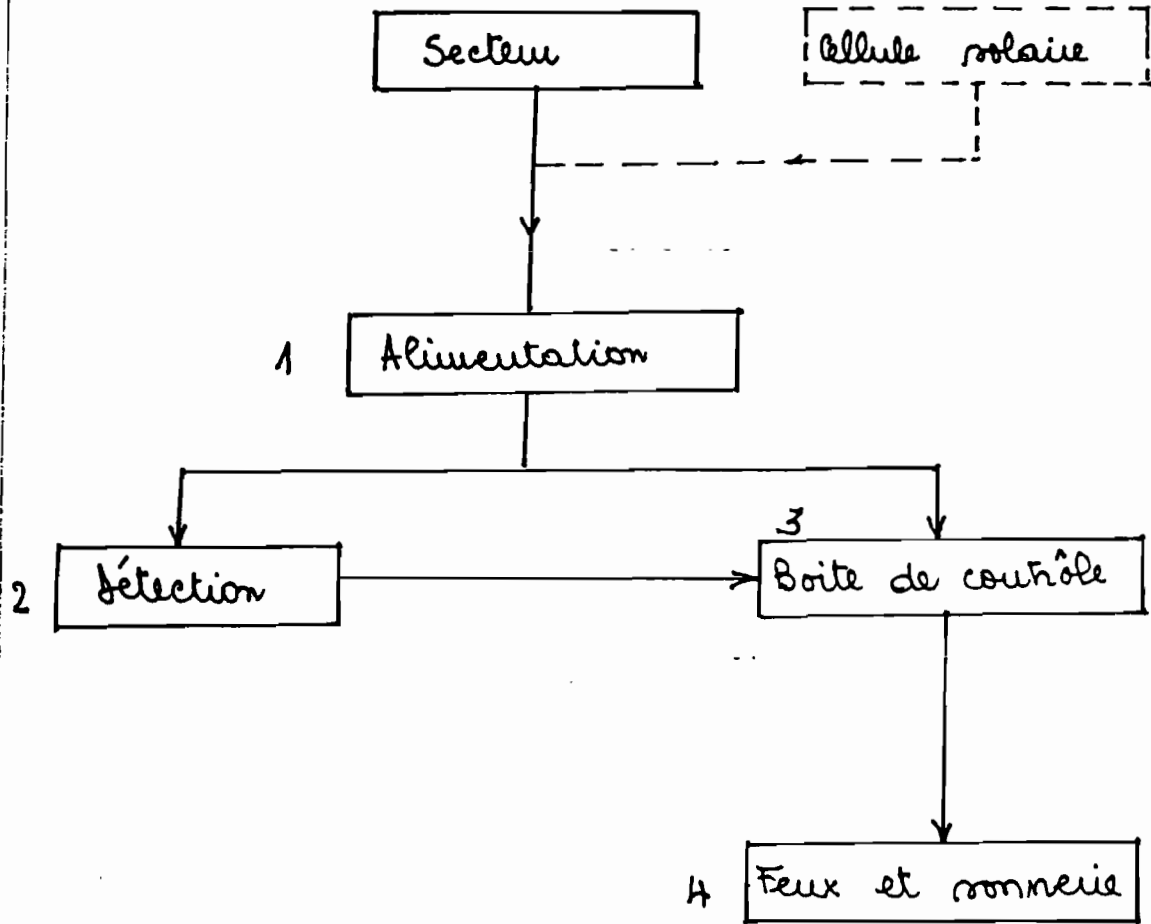
I L'Alimentation

II La Détection

III La Boîte de contrôle

IV Feux clignotants et la sonnerie.

3.2 Schéma logique du système :



--- variante.

3.3. L'ALIMENTATION

Elle se présente sous deux variantes :

- la première, consiste à redresser le courant délivré par le secteur SENELEC à l'aide d'un chargeur et de le délivrer sous une tension continue de 24 V, avec une batterie en redondance passive.

- la deuxième, consiste en une installation de photopiles transformant l'énergie solaire en énergie électrique sous la même tension de 24V continue et alimentant aussi une batterie.

Le sous système alimentation assure l'alimentation en électricité de tout le système.

La défaillance a pour conséquence la perte de la signalisation, de la détection et du contrôle du signal.

Tous ses modes de défaillance sont analysés dans l'analyse qualitative du système.

3.4 LES DETECTEURS :

Ils constituent les éléments fondamentaux de notre installation. Ce sont des détecteurs de proximité inductifs du type XSA-C10731 de Télémeccanique.

Ces détecteurs se composent d'un oscillateur dont les bobinages constituent la face sensible. A l'avant de celle-ci est créé un champ magnétique alternatif, et lorsqu'un écran métallique (roue de train dans notre cas) est placé dans ce champ, les courants induits constituent une charge additionnelle qui provoque l'arrêt des oscillations. Une fois l'arrêt des oscillations, on obtient un courant résiduel presque nul ($\leq 1,2 \text{ mA}$). Cette propriété est ainsi utilisée comme contact à ouverture (normalement fermé).

Signalons qu'on obtient le même résultat si un fil du détecteur est cassé (courant résiduel nul). La détection est aussi conçue unidirectionnelle temporisée. Le train venant dans un sens ne doit pas déclencher le système deux fois, c'est à dire une première fois en se faisant détecter lui-même et une deuxième fois en

franchissant l'autre détecteur installé pour les trains venant en sens inverse.

La partie comptage et comparaison fera partie du sous-système détection.

Le circuit complet de la détection se trouve à l'annexe.

La défaillance des détecteurs Anp et AnI a pour conséquence l'absence d'annonce des trains qui se préparent à dépasser le passage à niveau. La défaillance du détecteur de libération ne permet pas quant à elle d'arrêter la signalisation une fois le passage à niveau dépassé par le train et empêche aussi la réinitialisation des compteurs.

L'analyse qualitative du système que nous développerons dans le chapitre suivant traitera plus en détail des modes de défaillance de la détection.

3.5 LA BOITE DE CONTROLE

La boîte de contrôle est constituée de relais, de fusibles, diodes et d'organes de détection des défauts en ce qui concerne sa partie électromécanique et d'étages d'amplification du signal venant des détecteurs pour sa partie électronique. Elle constitue le noyau du traitement du signal détecté, de son contrôle et la transmission des ordres aux différents organes de signalisation. Sa défaillance entraîne la paralysie de tout le système.

Son schéma complet se trouve à l'annexe et ses modes de défaillance détaillés seront traités dans l'analyse qualitative.

3.6 FEUX CLIGNOTANTS ET SONNERIE:

C'est la partie opérative du système. Elle est constituée de lampes conventionnelles (lampes de voiture) montées sur boîtier et poteau et de klaxons, le tout alimenté à 12V continu. Ces éléments seront associés à un clignotant qui est essentiellement un circuit intégré monté en multivibrateur astable. Son schéma complet est en annexe.

La défaillance de ce sous système remet en question tout l'objectif du système qui est la signalisation visuelle et sonore de l'annonce des trains.

Ce sous-système complète la description de notre système. La constatation immédiate est que tout défaut majeur d'un sous-système entraîne un défaut de tout le système. Nous terminerons la description du système par le schéma logique du système qui n'est pas encore le diagramme de fiabilité.

DONNEES DE
FIABILITE ET
CONDITIONS DE
FONCTIONNEMENT

IV DONNEES DE FIABILITE ET CONDITIONS DE FONCTIONNE- MENT.

Outre l'analyse qualitative du système qui suppose la connaissance détaillée de chaque élément (constitution, fonction), l'analyse quantitative suppose la connaissance de deux types de données numériques:

- les données de fiabilité
- les conditions de fonctionnement.

4.1 Données de fiabilité:

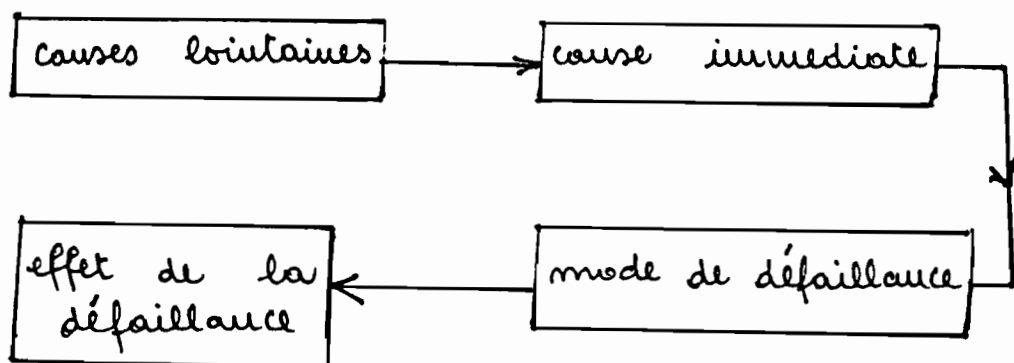
Comme précédemment expliqué dans le chapitre fiabilité, les éléments électroniques, comme beaucoup d'autres d'ailleurs se retrouvent dans la zone II de la représentation de la fonction de hasard versus le temps. Les taux de défaillance sont considérés, comme constants. Ils sont résumés dans le tableau suivant et tirés du " IEEE Guide To The Collection And Presentation Of Electrical, Electronic, Servicing Component, And Mechanical Equipment Reliability. "

Le taux de défaillance donné est un taux pour tous les modes possibles de défaillance.

On distingue en pratique trois modes de défaillance :

- catastrophique qui est une défaillance soudaine et complète
- progressif (degraded en anglais) qui est une défaillance graduelle et/ou partielle
- naissant (incipient en anglais) qui est un état ou une condition d'un élément de l'équipement ou de l'équipement lui-même lequel corrigé empêche une panne catastrophique ou graduelle.

Dans cet ordre d'idée, le mécanisme de défaillance (Failure mechanism en anglais) peut être schématisé comme suit :



Les taux de défaillance donnés seront ceux relatifs à tous les modes (catastrophique, graduel et naissant).

Tableau 01 : Taux de défaillances

Elements	$\lambda / 10^6 h$			C _v	C _T	C _H
	min	rec	max			
Chargeur (24V)	-	1,4	-	1,3	1,5	1,2
Batterie	0,03	4,24	12,7	1,2	1,5	1,1
Relais	0,06	0,07	2,70	-	1,34	1,98
Bijoncteur	0,25	0,59	3,60	-	2,34	1,20
Klaxon	1	4,5	33	-	1,5	1
Amplificateur	0,9	4,49	225	-	3,5	1,25
Decteur	5,97	29,85	1500	-	2	1,25
Cables (signaux)	2	20,83	200	-	1,75	2
* Cables (puissance)	0	0,04	6,97	-	1,75	2
Resistance	0,17	0,67	2,18	-	-	-
Capacité	2,38	23,8	2380	-	-	-
Batterie (Cd/Ni)	0,15	0,25	0,28	-	-	-
Ampoules	3	4,5	7	1,48	1	1,5
Interrupteur	0,1	1	10	-	-	-
Potentiometre	0,04	2,07	9,65	-	-	-
Transistor	0,1	10 ⁻⁸	10,0	-	-	-
Diode	0,1	10	100	-	-	-
Fusible	0,3	10	30	-	-	-

Définition des variables du Tableau:

C_v : coefficient de correction à haute vibration

C_H : " " " " humidité

C_T : " " " " température

* λ est défini par $\lambda / 10^6$ cycles.

$\lambda_{rec} = \lambda$ recommandé

4.2 Conditions de fonctionnement:

Le système est considéré fonctionnel, dans la majeure partie du temps, dans des conditions d'humidité et de température normales. Les facteurs de correction C_H et C_T ne seront pas appliqués.

La tenue aux vibrations du capteur XSA.

C10731 est $25g$, $\pm 2ms$; $55Hz$

La distance moyenne entre deux roues de train étant de $2m$ et avec une vitesse maximale de $100 km/h$, la période des vibrations auxquelles est soumis le détecteur est

$$T = \frac{d}{v_{max}}$$

$$= \frac{2}{100} \times 3,6 = 0,072s$$

$$\Rightarrow f \approx 14Hz$$

Cette fréquence est bien inférieure à celle

admissible par le détecteur (55 Hz) - Le facteur de correction C_v de tenue aux hautes vibrations ne sera pas lui aussi appliqué?

Le facteur humain sera inexistant dans notre analyse dans la mesure où le système est supposé entièrement automatique une fois mis en exploitation.

Les détecteurs de défauts fonctionnent en marge du système et ne sont pas considérés comme des éléments induisant la défaillance du système. Par contre ils influent sur les temps de réparation lorsqu'ils sont défaillants.

L'alimentation en énergie électrique est assurée par le secteur SENELEC.

Le système est supposé fonctionner pendant 25 s qui constituent le délai minimum requis pour que le train franchisse le passage à niveau. Il doit être opérable à tout instant.

Cependant la fiabilité sera examinée sur la période d'un mois constituant l'intervalle de temps entre deux inspections du système

soit: $30 \times 24 \text{ h} = 720 \text{ heures}$

ANALYSE
QUALITATIVE

V ANALYSE QUALITATIVE

Cette analyse est un complément indispensable à celle quantitative. Elle suppose que tous les éléments ont été convenablement dimensionnés à partir des règles en usage et que les vérifications, essais et contrôles de fabrication ont été correctement effectués. Les défaillances prises en compte sont supposées de tout mode et de nature aléatoire.

5.1 LA F.M.E.A (Failure Modes and Effects analysis)

Elle consiste à recenser, pour chaque composant du système, tous les modes de défaillance et à examiner pour chacun de ces modes, les effets possibles sur le système.

Pour cela et pour organiser l'analyse de façon à essayer de la rendre la plus complète possible, on peut utiliser des tableaux comportant un certain nombre de colonnes qui sont:

- identification du composant
- fonction, états
- modes de défaillance
- causes possibles d'une défaillance (causes internes, externes): cette colonne a une grande

utilité dans la recherche des causes possibles de défaillance en mode commun (l'erreur humaine par exemple).

- effets sur le système.

- moyens de détection: si une défaillance n'a pas un effet immédiat sur le risque d'apparition de l'événement indésirable (pas de signalisation), il est important de savoir que l'opérateur humain a un moyen de détecter cette défaillance et d'agir alors en conséquence. Dans ce cas l'opérateur humain intervient dans la fiabilité (ou la disponibilité) du système.

- fréquence des inspections

Tableau 02: Alimentation.

Identification du composant	Fonction, états	Modes de défaillance	Causes possibles	Effets sur le système	Moyens de détection	Fréquence des inspections
1 Alimentation électrique	alimente les détecteurs la boîte de contrôle les feux et la sonnerie	perte de l'alimentation	perte du réseau. disjonction rupture d'un câble interne Panne du chargeur Panne de la batterie Relais	détection, contrôle et signalisation inexistante	constatation visuelle et sonore. voyant	} ? manuelle.



Tableau 03: Détection

Identification du composant	Fonctions Etats	Modes de défaillance	Causes possibles	Effets sur le système	Moyens de détection	Fréquence des inspections
2 Détection	annonce l'arrivée des trains libère la voie à la fin des trains	perte de l'alimentation signal non transmis signal permanent	système d'alimentation défaillant cable coupé détecteur défaillant circuit de comptage, de comparaison et d'amplification défaillant.	signalisation inexistante ou permanente. détection bidirectionnelle	voyants	manuelle

Tableau 04: Boîte de contrôle:

Identification du composant	Fonctions états	modes de défaillance	Causes possibles	Effets sur le système	Moyens de détection	Fréquences des inspect.
3 Boîte de contrôle	traite le signal issu de la détection commande la signalisation sur compte des défauts	perte de l'alimentation signalisation inexis. tante ou interuptive.	alimentation défaut détection défaillance Boîte défaut câble de-faillance	non déclenchement de la signalisation. signalisation des défauts inexistante	voyants inexistence de la signalisation sonore et visuelle.	manuelle

Tableau 05: Feux et sonnerie.

Identification du composant	Fonctions états	Modes de défaillance	Causes possibles	Effets sur le système	Moyens de détection	Fréquence des inspections
4 Feux et sonnerie	annonce la signalisation visuelle et sonore	perte de l'alimentation feux éteints sonnerie muette à sonnerie faible pas de clignotement	alimentation défaillante cable faillait boîte de contrôle défaillante klaxon défaillant multi- brateur défaillant ampoules grillées.	signalisation visuelle et sonore inexistante ou insuffisante	visuel sonore	manuelle

5.2 L'ARBRE DE DEFAILLANCE :

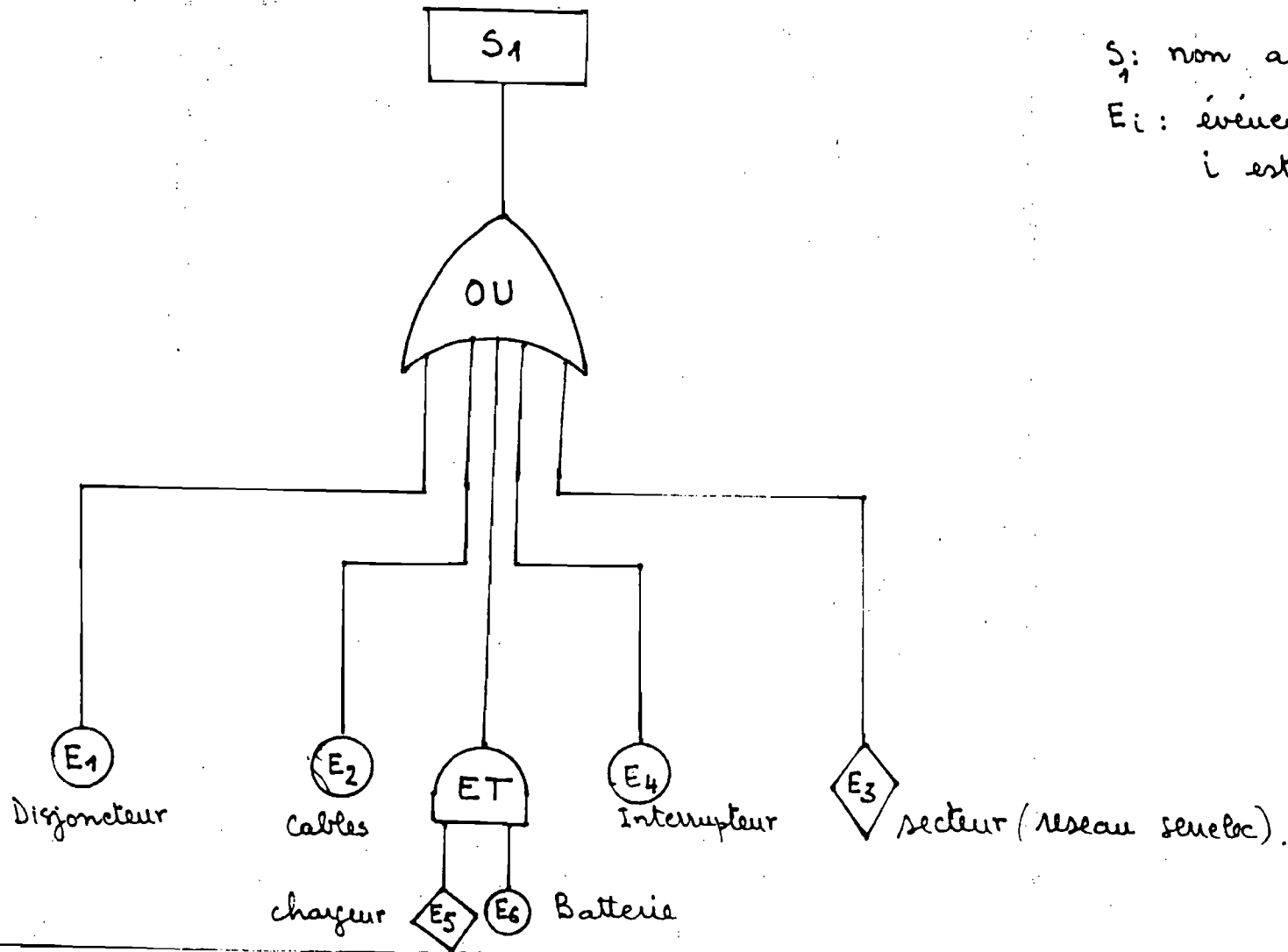
L'arbre de défaillance est la représentation graphique des diverses combinaisons possibles d'événements qui peuvent réaliser l'événement indésirable : inexistence de la signalisation.

Il est formé de niveaux successifs tels que chaque événement soit généré à partir des événements du niveau inférieur par l'intermédiaire de divers opérateurs (ou portes) logiques. Ce processus est poursuivi jusqu'à ce que l'on parvienne à des événements de base indépendants entre eux et probabilisables. Ces événements de base peuvent être des pannes, des erreurs humaines, des conditions extérieures etc...

Pour faciliter la représentation de notre système par son arbre de défaillance, nous allons l'analyser à travers ses différents sous-systèmes :

- Alimentation
- Détection
- Contrôle-commande
- Feux et sonnerie.

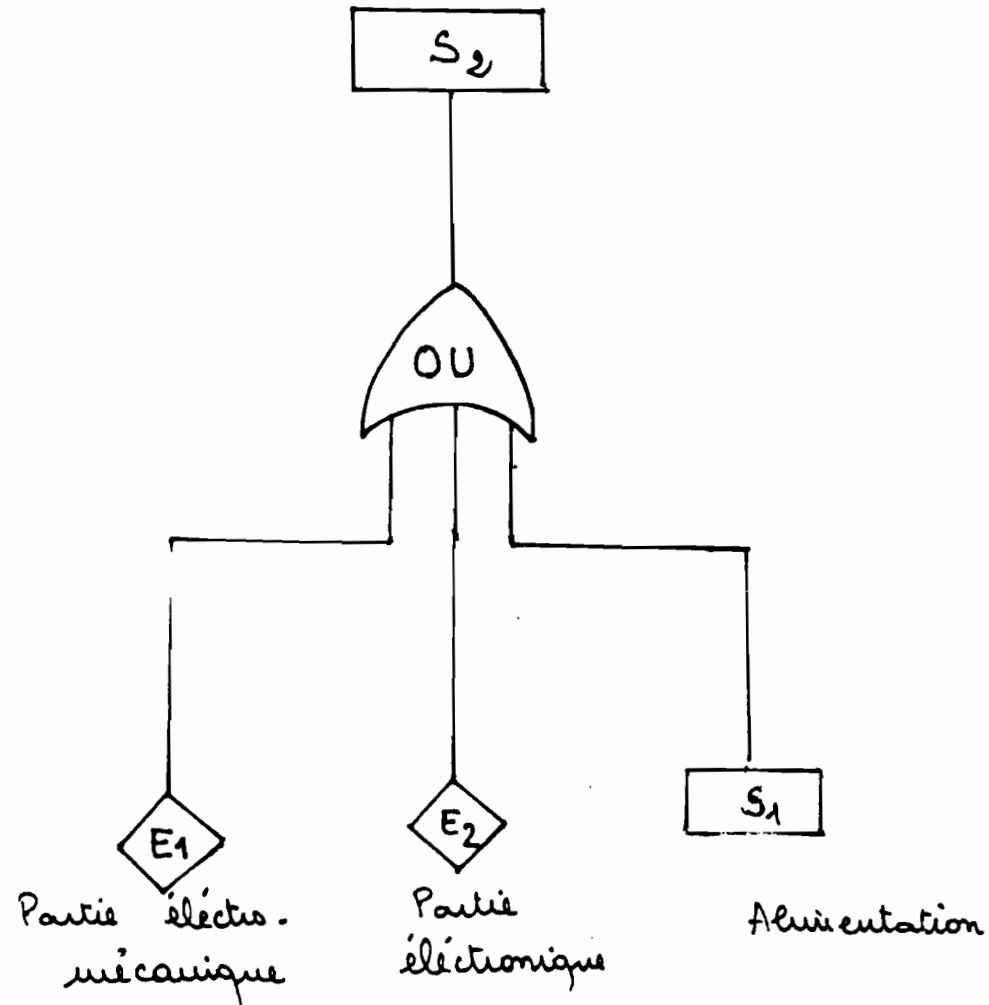
Arbre de défaillance de l'alimentation:



S_1 : non alimentation

E_i : événement l'élément i est en panne

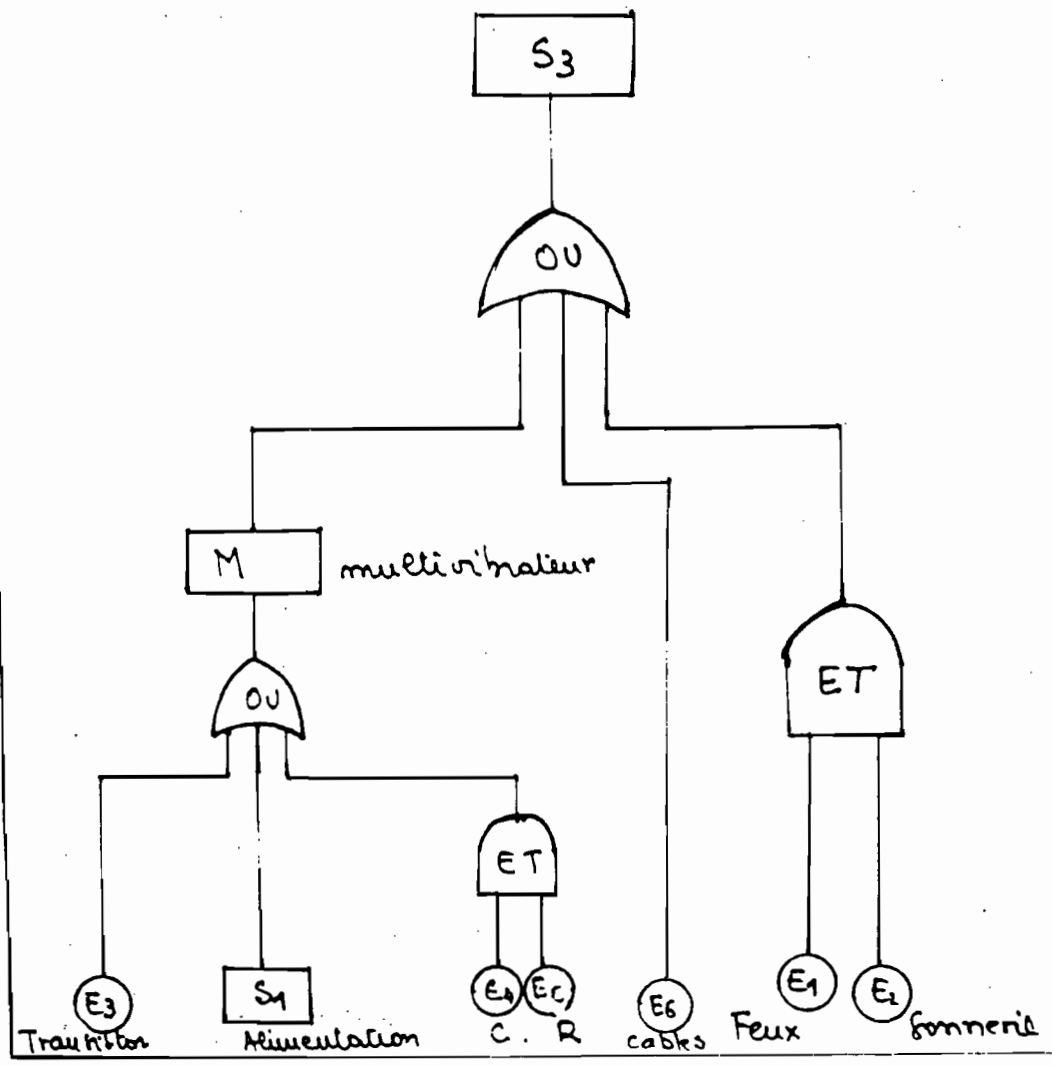
Arbre de défaillance de la boîte de contrôle:



S_i : boîte de contrôle défaillante
 E_i : la partie i est en panne.

Arbre de défaillance des feux et sonnerie.

S₃ : signalisation visuelle et sonore défaillante
 E_i : idem
 M : multi vibreur en panne.

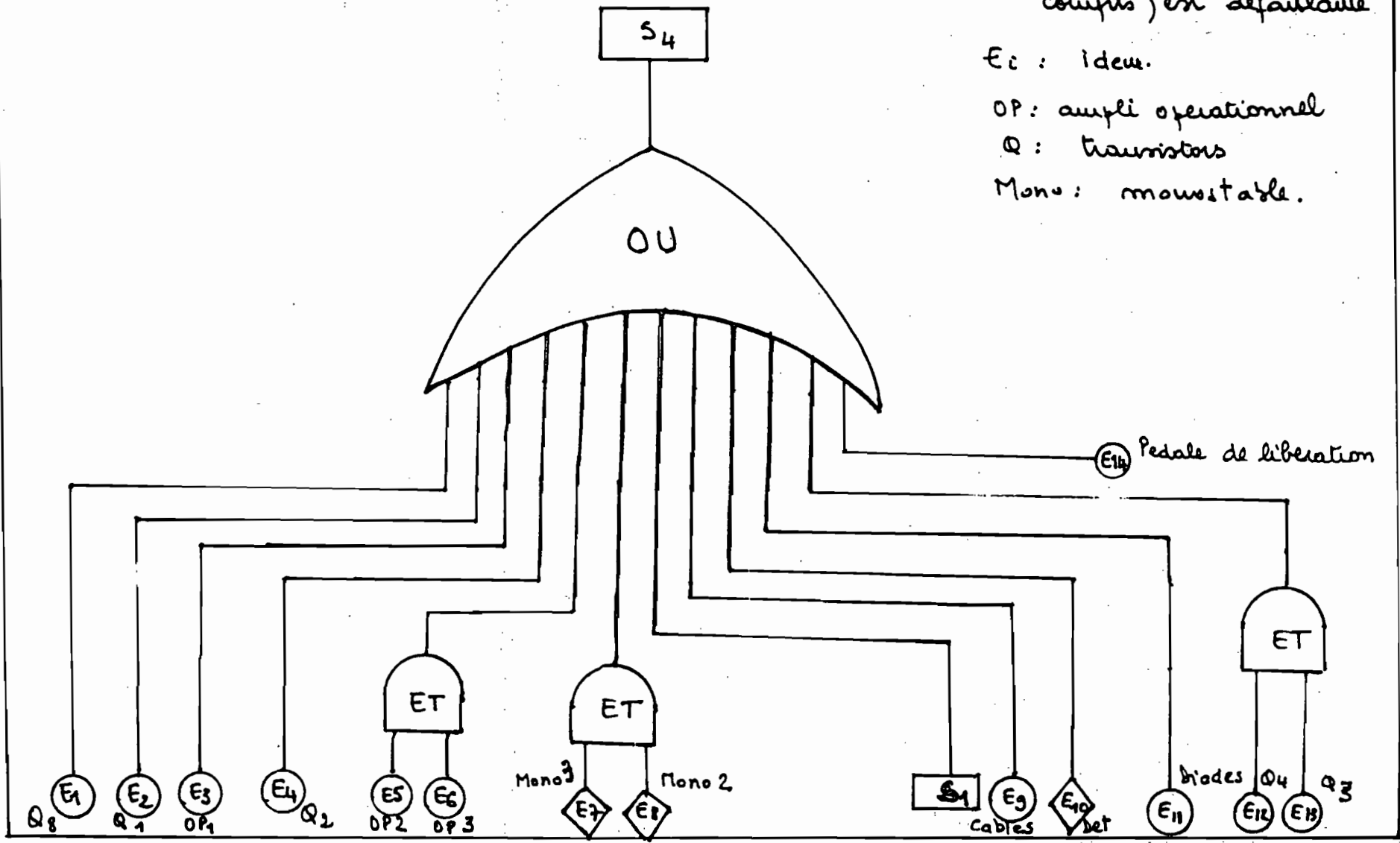


37

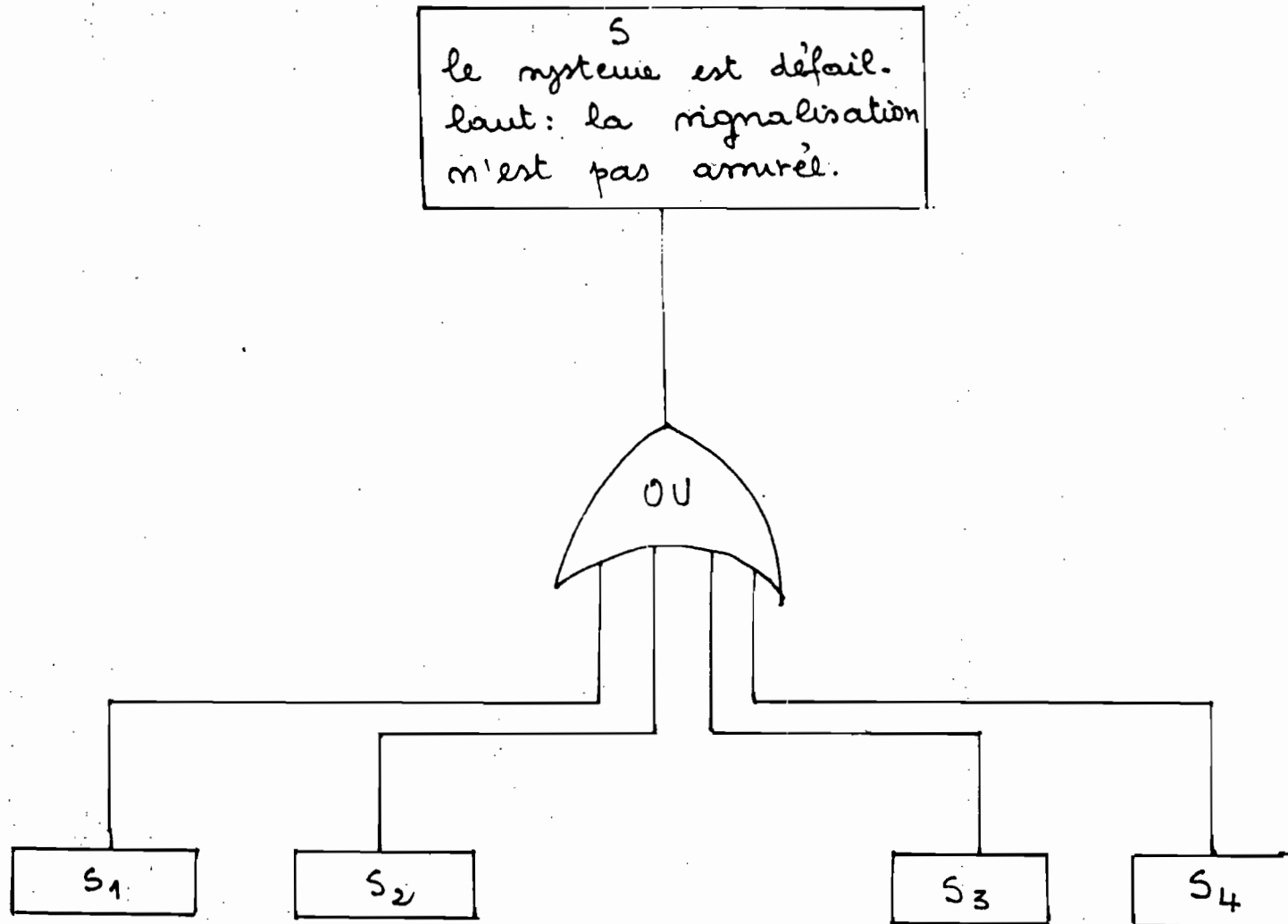
↑
5

Arbre de défaillance de la detection:

S_4 : la detection (comptage coups) est defaillante
 E_c : idem.
 OP: ampli operationnel
 Q: transistors
 Mono: monostable.



Arbre de défaillance du système:



5.3 LE DIAGRAMME DE FIABILITE:

C'est la représentation la plus naturelle de la logique de fonctionnement de notre système, car la plus proche de notre schéma fonctionnel. Il représente les états de bon fonctionnement du système; c'est un graphe nous, circuit admettant une entrée et une sortie des les sommets (appelés blocs) représentent les éléments du système et dont les arcs traduisent les relations entre les différents éléments.

Nous disons que notre système fonctionne s'il existe un chemin de succès (successful path en anglais) entre l'entrée et la sortie du diagramme de fiabilité (Reliability Block Diagram en anglais). La liste des chemins de succès permet donc de représenter l'ensemble des états de marche du système.

Les blocs représentant des éléments (matériels ou événements) ou des fonctions dont la défaillance entraîne la défaillance du système sont placés en série, ceux dont la défaillance ne provoquent pas la défaillance du système qu'en combinaison avec d'autres blocs sont disposés en parallèle sur ces derniers.

Diagramme de fiabilité de l'alimentation:

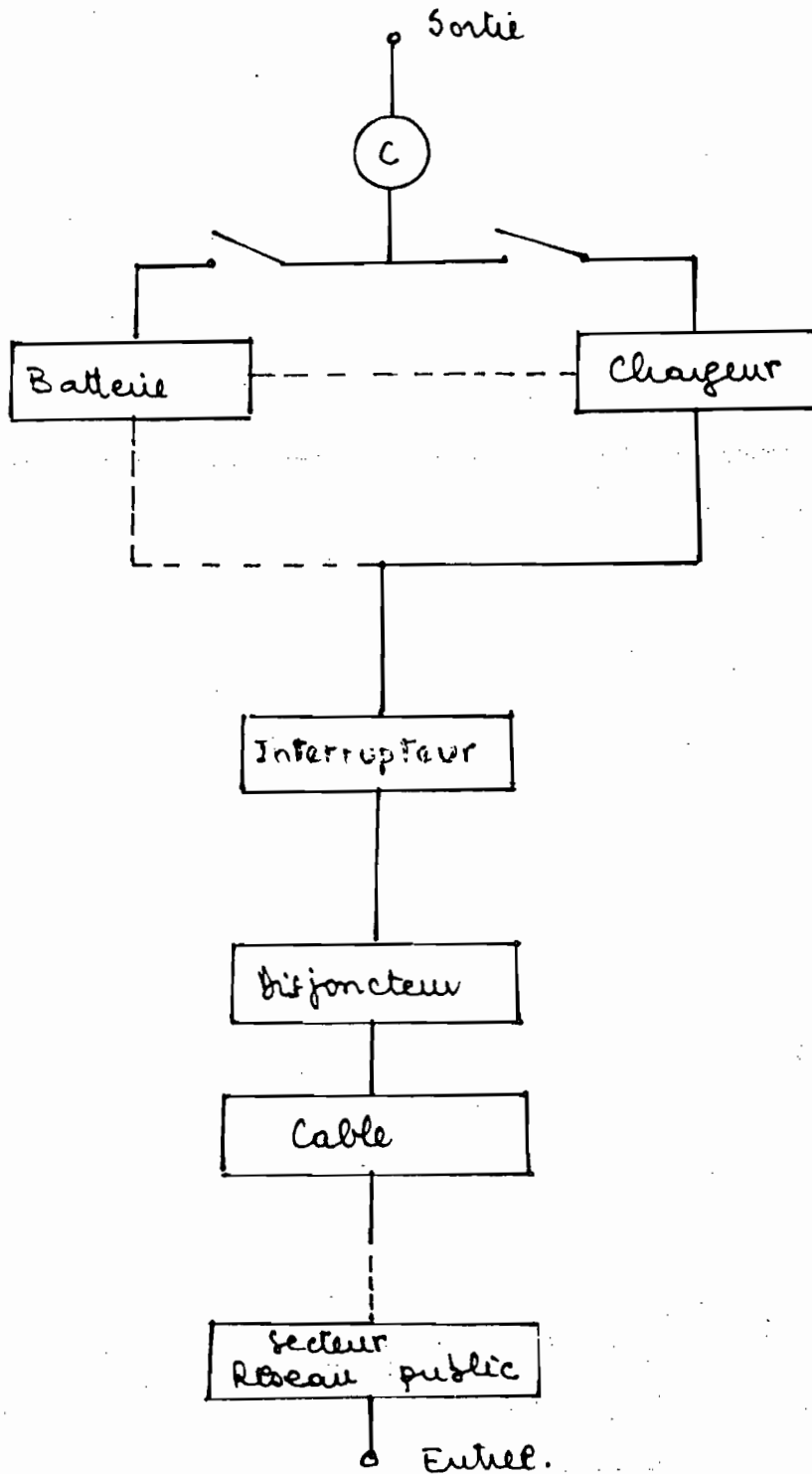
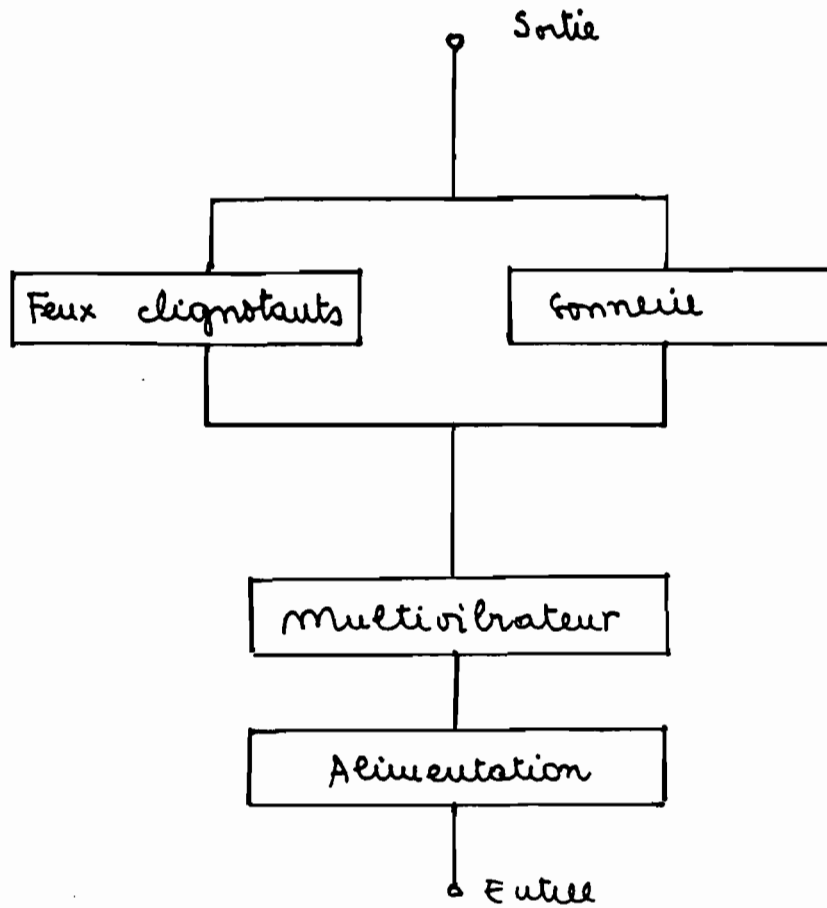
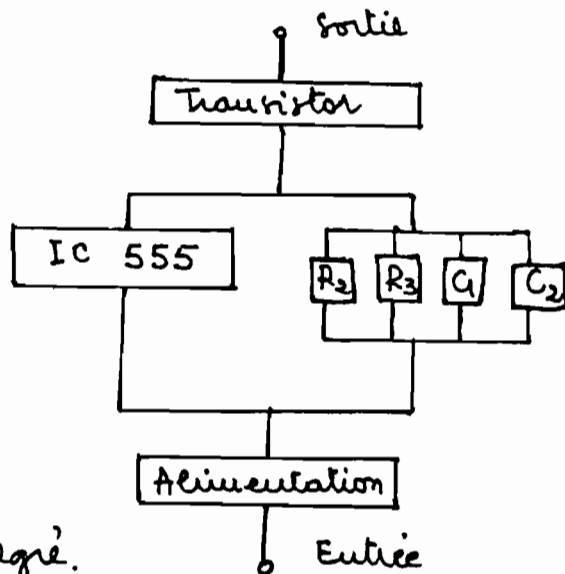


Diagramme de fiabilité: feux et sonnerie:



Détails du multivibrateur:

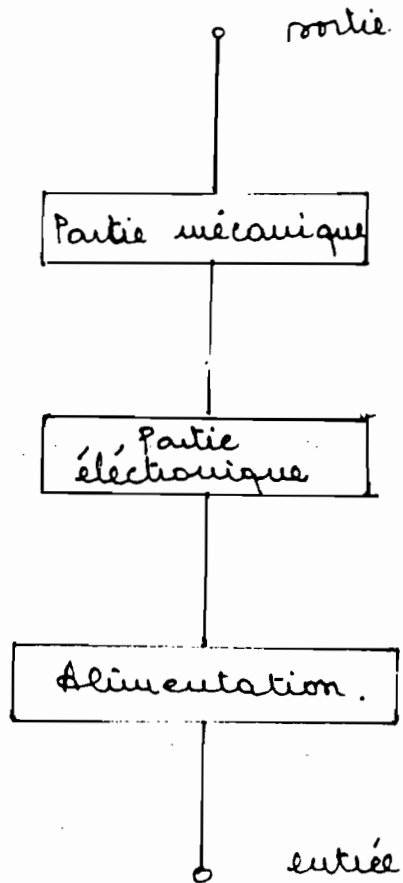


R: résistance

C: capacité.

I.C: circuit intégré.

Diagramme de fiabilité : boîte de contrôle



Partie électronique: 7 transistors, 7 diodes, 14R, 7C

Partie électromécanique: 5 relais, 6 diodes
cables

Diagramme de fiabilité: detection

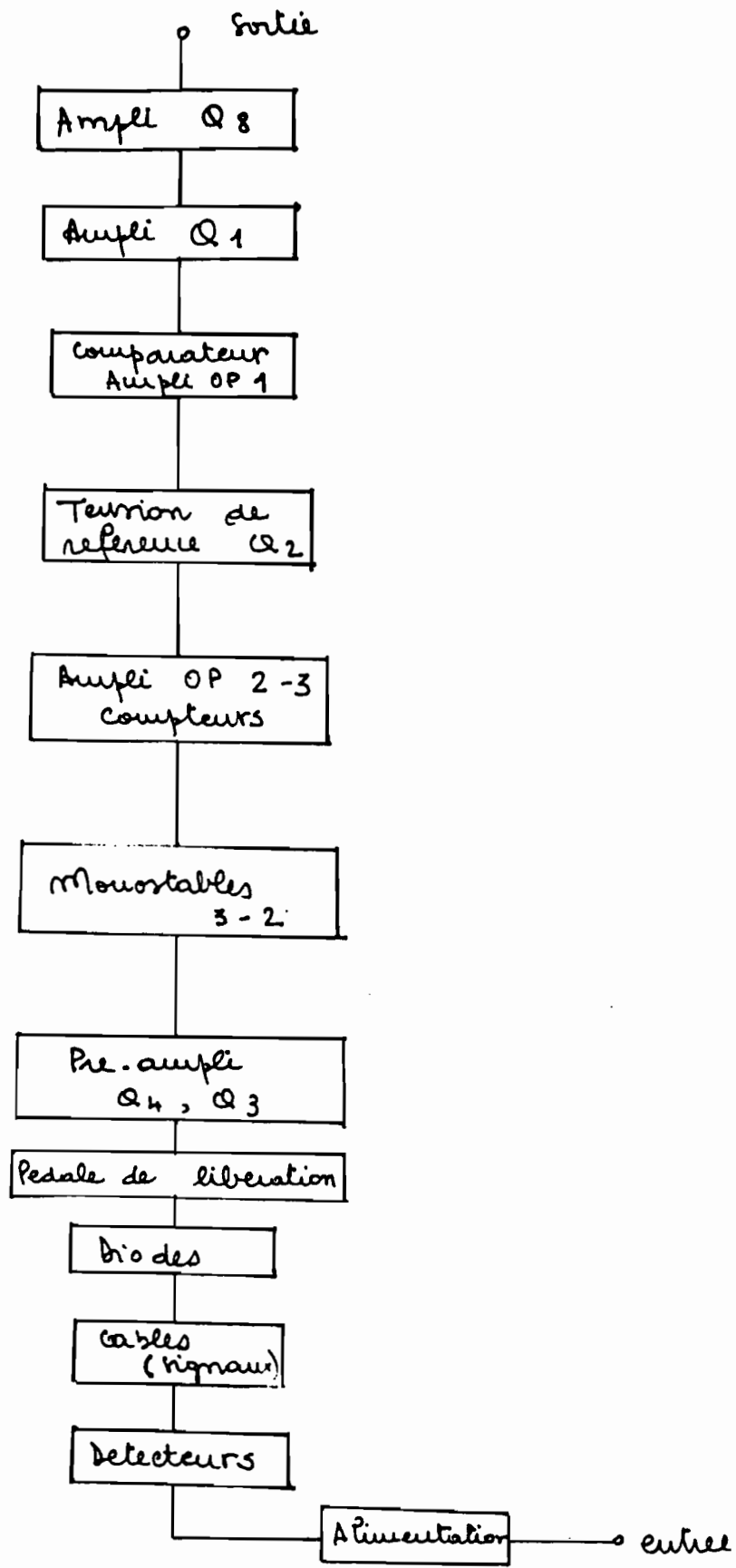
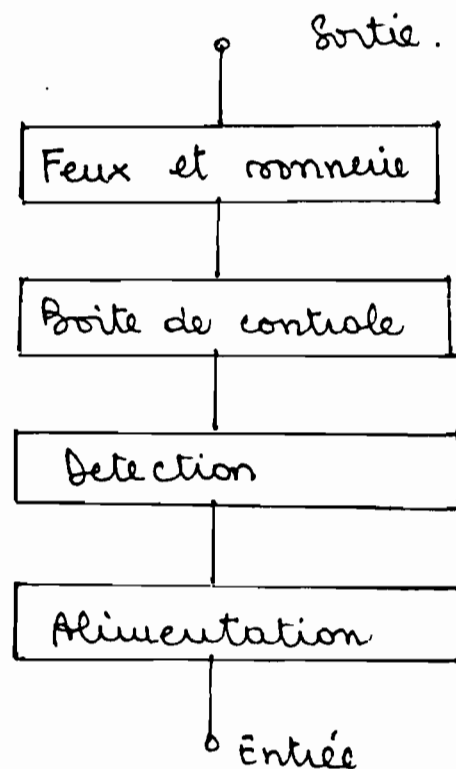


Diagramme de fiabilité du système:

Nous avons tenu à représenter dans les détails les diagrammes de fiabilité des sous-systèmes. Ce mode de représentation détaillé ne sera pas possible pour tout le système pour des besoins d'espaces.

Le diagramme de fiabilité du système ci-dessous est la combinaison en série des diagrammes de fiabilité des sous-systèmes.



L'analyse qualitative à travers ces différentes représentations fait ressortir trois aspects importants :

1° L'analyse préliminaire des modes de défaillance et de leurs effets plus connue sous le vocable de FMEA (Failures mode and effects analysis) est essentielle. Elle permet grâce à son caractère exhaustif de fournir la représentation du diagramme de fiabilité. On ne peut s'en passer si on veut être sûr d'avoir examiné toutes les possibilités de mauvais fonctionnement des éléments du système à étudier.

2° Le diagramme de fiabilité et l'arbre de défaillance précisent la configuration de notre système - série, parallèle ou mixte - et déterminent la méthode de calcul à utiliser dans l'analyse quantitative de la fiabilité.

3° Le résultat fondamental de l'analyse qualitative est qu'il permet de déterminer les coupes minimales de notre système - que nous allons analyser.

5.4 COUPES MINIMALES :

Les coupes minimales sont le résultat des trois représentations déjà développées.

Une coupe (cut set en anglais) est un ensemble d'éléments dont la panne entraîne la panne du système. Une coupe minimale

(minimal cut set) est une coupe ne contenant aucune autre coupe.

La recherche de ces coupes est d'un intérêt fondamental dans l'étude de la fiabilité et de la disponibilité de notre système. En effet, chaque coupe minimale correspond à une combinaison significative de pannes au niveau du système.

L'interprétation de ces coupes minimales donne donc un certain nombre de résultats qualitatifs comme les points faibles de notre système, les fausses redondances, l'influence d'un élément donné sur le système.

Les coupes minimales seront aussi essentielles pour le calcul de la disponibilité et de la fiabilité du système. Elles se déduiront du diagramme de fiabilité ou de l'arbre de défaillance.

5.41 Liaison avec l'arbre de défaillance:

La recherche des coupes minimales se fera à partir d'une transformation de l'arbre de défaillance en une expression booléenne:

- à chaque événement de base est associée une variable booléenne.

- on associe à l'événement de sortie d'une porte ET une variable booléenne égale au produit des variables booléennes des événements d'entrée.

- on associe à l'événement de sortie d'une porte OU une variable égale à la somme (booléenne) des variables booléennes des événements d'entrée.

- la porte r/n (redondance) se ramène à une combinaison des deux cas précédents en remarquant qu'elle est équivalente à une porte OU affectée de $\frac{n!}{(n-r)! r!}$ entrées dont chacune est la sortie d'une porte ET à r entrées.

Finalement on obtiendra une expression booléenne pour l'événement final indésirable (signalisation défectueuse) en fonction des variables booléennes associées à chaque événement de base.

Cette expression, pour un système coherent, est :

$$F = C_1 + C_2 + \dots + C_m$$

où C_i est l'intersection de n_i événements de base: $C_i = B_{i_1} \dots B_{i_{n_i}}$

5.42 Liaison avec le diagramme de fiabilité:

Pour le diagramme de fiabilité, une coupe est un ensemble d'éléments qui coupent tous les chemins entre l'entrée et la sortie du diagramme.

D'une manière générale, les coupes seront énoncées par ordre d'importance. Les trois premières coupes étant fondamentales, ce sont les éléments entrant dans ces coupes qui peuvent être les points faibles du système.

Ainsi les coupes minimales de notre système découlant du diagramme de fiabilité et/ou de l'arbre de défaillance sont les suivantes:

- ordre 1: S_1
- S_2
- S_3
- S_4

L'événement indésirable sera réalisé lorsqu'un des événements S_1, S_2, S_3 ou S_4 sera réalisé:

$S_i = 1$ état défaillant

$S_i = 0$ en bon fonctionnement

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 \quad \text{avec} \quad 1+1=1$$

$$1+0=1$$

$$0+1=1$$

$$0+0=0$$

ANALYSE
QUANTITATIVE

VI ANALYSE QUANTITATIVE

A partir des résultats de l'analyse qualitative, il s'agit à présent de calculer la probabilité qu'il n'y ait pas la signalisation et que la sécurité routière comme ferroviaire soit compromise.

Il nous faudra pour cela établir les taux de défaillance équivalents des sous systèmes, puis calculer les probabilités.

6.1 CALCUL DES TAUX DE DEFAILLANCE

EQUIVALENTS:

Le premier résultat théorique qu'on utilisera est que si un appareil électromécanique, constitué de m_1 composants ayant un taux de défaillance λ_1 , m_2 composants ayant un taux de défaillance λ_2 , ..., m_p composants ayant un taux de défaillance λ_p , est tel que un défaut sur un composant entraîne un défaut sur l'appareil, cet appareil a alors un taux de défaillance λ_0 tel que:

$$\lambda_0 = m_1 \lambda_1 + m_2 \lambda_2 + \dots + m_p \lambda_p$$

Ce théorème est valable si les composants ($m_p \lambda_p$) sont indépendants en terme de probabilité de défaillance.

a) sous système alimentation:

<u>Composants</u>	<u>nombre n_i</u>	<u>$\lambda_i / 10^6 h$</u>
disjoncteur	1	0,59
cable	1	0,04
batterie	1	4,24
interrupteur	1	1
chargeur	1	1,4
recteur	1	464

$$\lambda_1 = (0,59 + 0,04 + 4,24 + 1 + 1,4 + 4,64) \cdot 10^{-6} = 4,7 \cdot 10^{-4}/h$$

b) sous-système feu et sonnerie:

multivibrateur:

transistors	3	1
circuit intégré	1	4,49
capacités	2	23,8
résistances	2	0,67
feu	4	4,5
sonnerie	2	4,5
cables	2	0,04
funbles	4	1

$$\begin{aligned} \lambda_2 &= \sum u_i \lambda_i \\ &= 8,75 \cdot 10^{-5}/h \end{aligned}$$

c) sous-système boîte de contrôle:

<u>Composants</u>	<u>n_i</u>	<u>$\lambda_i / 10^6 h$</u>
Partie électromécanique:		
relais	5	0,07
diodes	6	1
Partie électronique		
transistors	7	1
diodes	7	1
résistances	14	0,67
Alimentation:		
funibles	3	1
cables	2	0,04

$$\lambda_3 = \sum n_i \lambda_i = (5 \times 0,07) + (6 \times 1) + (7 \times 2) + (14 \times 0,67) + (3 \times 1) + (2 \times 0,04) = 3,28 \cdot 10^{-5} / h$$

d) sous-système détection:

<u>Composants</u>	<u>n_i</u>	<u>$\lambda_i / 10^6 h$</u>
Ampli Q8		
transistor	1	1
résistances	1	0,67

<u>Composants</u>	<u>m_i</u>	<u>$\alpha_i / 10^6 \text{ e.}$</u>
Ampli Q_1 :		
transistor	1	1
resistances	2	0,67
Comparateur:		
ampli operationnel	1	4,49
resistances	2	0,67
Tension de reference Q_2 :		
transistor	1	1
resistances	2	0,67
Compteurs:		
amplificateurs OP	2	4,49
Monostables :		
transistors	2	1
resistances	4	0,67
capacites	3	23,8
Preamplis :		
transistors	2	1
resistances	2	0,67
Pedale de liberation:		
transistors	5	1
resistances	5	0,67
capacites	3	23,8
diodes	2	1

<u>Composants</u>	n_i	$\lambda / 10^{-6} / h$
diodes	6	1
cables	2	0,04
détecteurs	6	29,85
fusibles	3	1

$$\lambda_4 = \sum n_i \lambda_i = 3,7 \cdot 10^{-4} / h$$

Résumé:

$$\lambda_{\text{alimentation}} = 4,7 \cdot 10^{-4} / h$$

$$\lambda_{\text{boite de contrôle}} = 3,28 \cdot 10^{-5} / h$$

$$\lambda_{\text{détection}} = 3,70 \cdot 10^{-4} / h$$

$$\lambda_{\text{feux et sonnerie}} = 8,75 \cdot 10^{-5} / h$$

La configuration série du système implique un taux de défaillance global du système égal à :

$$\lambda_0 = \sum_{i=1}^4 n_i \lambda_i$$

$$= 3,28 \cdot 10^{-5} + 8,75 \cdot 10^{-5} + 3,70 \cdot 10^{-4} + 4,7 \cdot 10^{-4}$$

$$= 9,6 \cdot 10^{-4} / h$$

6.2 CALCUL DES PROBABILITES DE DEFAILLANCE: ETUDE DE LA DISPONIBILITE.

6.21 Graphe des états ou de MARKOV.

a) Processus Markovien:

Etant donné un ensemble d'indices T et un espace probabilitisé (Ω, \mathcal{A}, P) on appelle processus stochastique une application de T dans l'ensemble des variables aléatoires définies sur (Ω, \mathcal{A}, P) . C'est une collection de variables aléatoires. Les ensembles T et Ω peuvent être discrets ou continus.

Soit un processus stochastique X_t ($t \in T$) tel que pour toute suite finie $t_1 < t_2 < \dots < t_n < t$ d'éléments de T et pour toute suite finie A_1, A_2, \dots, A_n d'éléments de \mathcal{A} on ait

$$P[X_t \in A / X_{t_n} \in A_n, X_{t_{n-1}} \in A_{n-1}, \dots, X_{t_1} \in A_1]$$

égale

$P[X_t \in A / X_{t_n} \in A_n]$ alors le processus est dit Markovien. La connaissance de l'état à l'instant t_n renferme toute l'histoire du système. Lorsque l'ensemble Ω des états est discret, ce processus est appelé chaîne de Markov (à paramètre discret ou continu suivant T).

b) Élément markovien:

Supposons qu'à un instant t un élément de notre système soit en marche; si t_0 est l'instant de sa dernière remise en marche, la probabilité pour qu'il tombe en panne entre t et $t + \Delta t$ ($\Delta t \geq 0$) est égale à $\lambda(t - t_0)\Delta t + o(\Delta t)$ λ étant le taux de défaillance constant de notre élément.

Si le taux de réparation μ est aussi considéré comme constant (hypothèse admissible dans notre cas), l'état de l'élément à un instant donné est suffisant pour connaître toute sa vie future:

$$\lambda(t - t_0) \Delta t = \lambda \Delta t$$

L'élément est markovien.

De même si l'élément est en panne à l'instant t , la probabilité pour que la fin de la réparation ait lieu entre t et $t + \Delta t$ vaut $\mu \Delta t + o(\Delta t)$.

La disponibilité d'un tel élément s'écrit

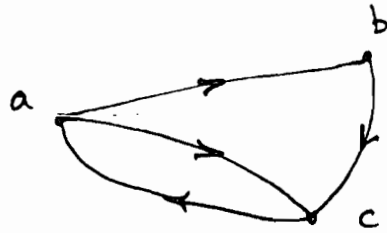
$$A(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} - \frac{\mu[1 - A(0)] - \lambda A(0)}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}$$

$$A(0) = 1 \quad \Rightarrow \quad A(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}$$

g) Graphe des états ou de Markov:

Un graphe est un ensemble de points (nœuds) reliés par branches orientées (arcs).

Exemple:



Dans notre cas les nœuds correspondront aux différents états du système et les arcs aux transitions entre états.

Pour un système markovien, les taux de transition λ et μ entre les états étant constants, le graphe sera appelé graphe de Markov. Il permet, comme représentation, d'établir facilement les équations nécessaires pour trouver la fiabilité ou la disponibilité.

6.22 Fiabilité des systèmes réparables:

Configuration série:

La défaillance d'un élément entraînant la défaillance de l'ensemble, la fiabilité d'un système réparable de ce type est la même que celle d'un système non réparable lorsque tous les éléments sont indépendants.

$$R(t) = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \int_0^t \lambda_i(u) du\right)$$

$$A(t) = \prod_{i=1}^n A_i(t)$$

λ_i, μ_i étant constants et $A(0) = 1$, on a

$$A(t) = \prod_{i=1}^n \left(\frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i} + \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} e^{-(\lambda_i + \mu_i)t} \right)$$

$$A_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{1 + \lambda_i \tau_i}$$

$$\tau_i = \frac{1}{\mu_i}$$

$$\text{si } \lambda_i \tau_i \ll 1 \Rightarrow A_\infty \cong 1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i \tau_i$$

$$\bullet R(t) = e^{-(\sum \lambda_i)t}$$

configuration parallele:

Lorsque la redondance est du type le système est disponible si l'un au moins des éléments est disponible.

$$A(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - A_i(t))$$

$$A_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t)$$

$$= 1 - \prod_{i=1}^n \frac{\lambda_i \tau_i}{1 + \lambda_i \tau_i}$$

$\lambda_i \tau_i \ll 1$ ou aura

$$A_{\infty} \approx 1 - \prod_{i=1}^n \lambda_i \tau_i$$

Pour la fiabilité, considérons deux éléments identiques en redondance active. Le système en question possèdera alors 3 états :

- état 2 : les deux éléments fonctionnent
- état 1 : un seul élément fonctionne, l'autre est en panne.
- état 0 : les deux éléments sont en panne

Soit $P_i(t)$ la probabilité de se trouver dans l'état i ($i = 0, 1, 2$) à l'instant t , le système n'étant jamais passé par l'état 0.

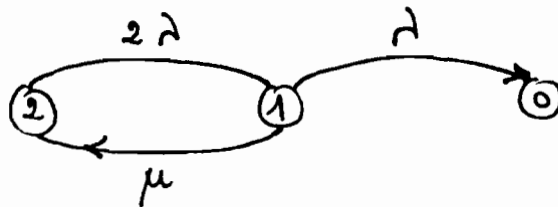
$$\text{alors } R(t) = P_2(t) + P_1(t)$$

$$\text{en supposant } P_2(0) = 1$$

Pour que le système ne puisse pas se réparer par les états 1 et 2 après être tombé en panne, ou rester l'état 0 absorbant : il n'y a pas de transition de cet état vers

les états 1 ou 2.

Le graphe de Markov associé pour λ et μ constants est:



$$P_2(t + \Delta t) = P_2(t) [1 - 2\lambda \Delta t + o(\Delta t)] + P_1(t) [\mu \Delta t + o(\Delta t)]$$

$$P_1(t + \Delta t) = P_1(t) [1 - (\lambda + \mu) \Delta t + o(\Delta t)] + P_2(t) [2\lambda \Delta t + o(\Delta t)]$$

en divisant par Δt et faisant tendre $\Delta t \rightarrow 0$
on obtient

$$\frac{dP_2(t)}{dt} = -2\lambda P_2(t) - \mu P_1(t)$$

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = 2\lambda P_2(t) - (\mu + \lambda) P_1(t)$$

La résolution de ce système d'équation par la transformation de Laplace avec les conditions $P_2(0) = 1$ et $P_1(0) = 0$ donne pour un temps moyen de fonctionnement d'un élément grand devant le temps moyen de réparation ($\lambda \ll \mu$)

$$R(t) \approx \left[1 + 2 \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^2 \right] e^{-\frac{2\lambda^2}{\mu + 3\lambda} t} - 2 \left(\frac{\lambda}{\mu} \right) \times \exp[-(3\lambda + \mu)t]$$

$R(t)$ peut être également approximé par:

$$R(t) \approx e^{-\frac{2\lambda^2}{\mu + 3\lambda} t}$$
$$\approx e^{-\left(\frac{t}{MTTF}\right)}$$

Tous ces résultats supposent l'indépendance des éléments en termes probabilistes et l'existence d'un seul réparateur μ . De même on suppose avoir l'information instantanée sur l'état d'un élément (voyants lumineux).

6.23 Calcul des probabilités de défaillance:

On se rappelle que la probabilité de défaillance est donnée par:

$$P(t) = 1 - R(t).$$

$$\text{ic } R(t) = 1 - P(t)$$

a) sous-système alimentation:

La batterie étant en stand by avec le chargeur, le calcul de la fiabilité de ce sous-système se fera comme suit:

Taux de défaillance des éléments autres que le chargeur et la batterie:

$$\lambda = 4,65 \cdot 10^{-4} / h$$

$$\begin{aligned}
 R_1(t) &= e^{-\lambda t} \\
 &= e^{-4,65 \cdot 10^{-4} \times 720} \\
 &= 0,71
 \end{aligned}$$

Probabilité que la batterie et le chargeur soient défectueux au temps t .

$$\begin{aligned}
 P_2(t) &= (1 - e^{-\lambda_1 t})(1 - e^{-\lambda_2 t}) \\
 &= (1 - e^{-4,24 \times 720 \cdot 10^{-6}})(1 - e^{-1,4 \times 720 \cdot 10^{-6}}) \\
 &= 3,07 \cdot 10^{-6}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_2(t) &= 1 - P_2(t) \\
 &= 9,99 \cdot 10^{-1}
 \end{aligned}$$

$R(t)$ la fiabilité du sous-système alimentation est donc:

$$\begin{aligned}
 R(t) &= R_2(t) R_1(t) \\
 &= 0,71
 \end{aligned}$$

$$1 - R(t) = 0,29$$

b) sous-système boîte de contrôle:

$$\lambda = 3,28 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$$

$$t = 720 \text{ h}$$

$$\begin{aligned}
 R(t) &= e^{-3,28 \cdot 10^{-5} \times 720} \\
 &= 0,98
 \end{aligned}$$

$$1 - R(t) = 0,02$$

d) sous-système feux et sonnerie:

$$\lambda = 8,75 \cdot 10^{-5} / h$$

$$t = 720 h$$

$$R(t) = e^{-720 \times 8,75 \cdot 10^{-5}}$$

$$= 0,94$$

$$1 - R(t) = 0,23$$

d) sous-système détection:

$$\lambda = 3,70 \cdot 10^{-4} / h$$

$$t = 720$$

$$R(t) = e^{-3,70 \cdot 10^{-4} \times 720}$$

$$= 0,77$$

$$1 - R(t) = 0,23.$$

Resumé:

Sous-système	Taux de défaillance	$R(t)$	$1 - R(t)$
Alimentation	$4,7 \cdot 10^{-4}$	0,71	0,29
Boite de contrôle	$3,28 \cdot 10^{-5}$	0,98	0,02
Feux et sonnerie	$8,75 \cdot 10^{-5}$	0,94	0,06
Détection	$3,7 \cdot 10^{-4}$	0,77	0,23

$$\Sigma = 9,6 \cdot 10^{-4} \quad \Pi = 0,50$$

La fiabilité du système est la fiabilité résultante des 4 sous-systèmes en série.

Elle s'écrit :

$$\begin{aligned} R(t) &= \prod_{i=1}^4 R_i(t) \\ &= e^{-\sum_{i=1}^4 \lambda_i t} \\ &= 0,50 \end{aligned}$$

$$1 - R(t) = 0,50$$

Nous obtenons une fiabilité de 50%, résultat que nous allons analyser dans la partie suivante intitulée conclusions et recommandations. Mais avant cela voyons la contribution des différents sous-systèmes à la défaillance du système :

$$\frac{\lambda_{\text{alimentation}}}{\lambda_{\text{système}}} = \frac{4,7}{9,6} = 49\%$$

$$\frac{\lambda_{\text{secteur}}}{\lambda_{\text{système}}} = \frac{4,6}{9,6} = 48\%$$

$$\frac{\lambda_{\text{Feux + sonnerie}}}{\lambda_{\text{système}}} = \frac{8,75}{96} = 9\%$$

$$\frac{\lambda_{\text{detection}}}{\lambda_{\text{système}}} = \frac{3,7}{9,6} = 38\%$$

$$\frac{\lambda \text{ boîte de contrôle}}{\lambda \text{ système}} = \frac{3,28 \cdot 10^{-5}}{9,6 \cdot 10^{-4}} = 3\%$$

$$\frac{\lambda \text{ détection} + \lambda \text{ alimentation}}{\lambda \text{ système}} = 87\%$$

$$\frac{\lambda \text{ détecteurs}}{\lambda \text{ détection}} = \frac{6 \times 29,85}{370} = 48\%$$

6.24 Etude de la disponibilité :

Dans le cas des systèmes non réparables, la disponibilité est équivalente à la fiabilité. Par contre dans les systèmes réparables, la réparation augmente la fiabilité et la disponibilité pour un système parallèle ou en stand by, mais est relativement inefficace pour un système série. Notre système devient non réparable durant le passage du train seulement mais peut être amélioré en termes de disponibilité lorsque la défaillance survient en période d'opération.

La disponibilité d'un système réparable est donnée en régime permanent par :

système série :

$$A_{\infty} = 1 - \prod_{i=1}^n \frac{\lambda_i \tau_i}{1 + \lambda_i \tau_i}$$

$$\tau_i = \frac{1}{\mu_i}$$

au cas où $\lambda_i \tau_i \ll 1$

$$A_{\infty} \approx 1 - \prod_{i=1}^n \lambda_i \tau_i$$

A_{∞} , nous le voyons dépend des taux de défaillance mais aussi du taux (ou du temps) de réparation.

Le système est encore à l'étape expérimentale et n'a aucun historique de pannes exhaustif. De même le département d'entretien n'a pas encore des statistiques significatives sur les temps de réparation des pannes déjà survenues sur le système.

Les guides de données de fiabilité donnent des taux de réparation sur seulement quelques composants de notre système. Ces taux sont d'ailleurs relatifs à des systèmes de maintenance très développés comme dans l'industrie nucléaire par exemple.

Ces difficultés réunies font qu'on abordera la disponibilité de manière qualitative.

Nous avons vu que la disponibilité d'un élément markovien s'écrit en régime permanent :

$$A_{\infty} = \frac{\mu}{\mu + \lambda}$$

Pour un système markovien réuni, elle s'écrit

$$A_{\infty} = \frac{n}{\prod_{i=1}^n} \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i}$$

$$A_{\infty} = \prod_{i=1}^n \frac{MTBF_i}{MTBF_i + MTTR_i}$$

On remarque de cette expression que:

- si on augmente le nombre de réparateurs, le MTTR diminue et ainsi on augmente la disponibilité.
- si on augmente le MTBF par des redondances, on augmente également la disponibilité.

Ces deux remarques induisent chacune une politique de maintenance. La première nous semble difficile à adopter pour notre système, car il n'est pas du tout pratique ni efficace d'intervenir à plusieurs sur une carte électronique de faible volume. Elle n'est pas aussi économiquement rentable.

La deuxième semble plus efficace pour notre système en faisant cependant attention au type de redondance à utiliser. En effet la redondance active est impossible à utiliser car elle modifie les caractéristiques (surtout électriques) de notre système. Ainsi la redondance passive sera utilisée pour les éléments qui le méritent.

Toutes ces remarques qui améliorent la disponibilité et la fiabilité ainsi seront des bases

des recommandations que nous formulons
dans le chapitre suivant.

CONCLUSIONS
ET
RECOMMANDATIONS

VII CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

7.1 Analyse des résultats:

Le niveau de fiabilité trouvé est de 50%. Ce résultat est relativement faible, mais est tout à fait logique pour les raisons suivantes :

1^o) Le taux de défaillance du secteur SENELEC est très élevé et contribue à 48% à la défaillance du système. C'est une donnée externe à notre système que nous ne maîtrisons^{pas}. La redondance passive obtenue grâce à la batterie devient ainsi une fausse redondance tant que le réseau public aura un taux de défaillance très élevé, surtout en raison de fuites. Notons que si ce taux était amélioré jusqu'à $10^{-6}/h$, soit le taux moyen des systèmes de distribution fiables, la fiabilité de notre système serait de 70% soit une augmentation relative de 40%; celle de l'alimentation serait de 99% soit une augmentation relative de 40% aussi. L'alimentation devra donc être bien examinée dans les recommandations.

2°) La détection contribue elle aussi à 38% à la défaillance. Comme précédemment remarqué, elle constitue le tendon d'Achille de notre système. Les détecteurs sont soumis à un environnement difficile et contribuent à 48% à la défaillance de la détection.

3°) Les taux de défaillance utilisés dans les calculs sont relatifs aux modes catastrophique, progressif et maîtrisé; ils sont supérieurs aux taux de défaillance de ces modes pris individuellement et contribuent à rendre notre fiabilité pessimiste.

4°) Le système a une configuration série. Sa fiabilité dépend dans une très large mesure de la plus petite fiabilité obtenue des sous-systèmes.

5°) Le système est considéré comme défaillant non seulement quand il ne fonctionne pas, mais aussi quand il fonctionne continuellement. Ainsi tous les composants participent en général au calcul de la fiabilité.

7.2 Recommandations:

7.22 Amélioration de fiabilité:

a) Réduction des taux de bris:

Il s'agit de sélectionner des composants fiables sur le marché en premier lieu puis d'éliminer les composants de faibles fiabilités ou de réduire leur taux de bris par une amélioration de la technologie.

Ainsi nous proposons le remplacement des détecteurs de proximité par d'autres de déplacement pour deux raisons:

- rendre la détection indépendante de son environnement humain et matériel. En effet des jeunes intrigués par le système font passer ou laissent du métal sur le détecteur et déclenchent la signalisation en permanence. Le gardien du passage s'il en existe est ainsi obligé de faire 500 à 1000 m pour dégager le détecteur s'il ne coupe pas la signalisation en croyant avoir affaire à une marche intensive.

Cet état de fait est aussi dangereux pour l'usager de la route qui peut penser que le système n'est pas bon et qu'il n'y a

en général pas de train lorsqu'il est déclenché.
 - la deuxième raison réside dans le fait que certains de ces détecteurs, comme celui du SILEC appelé DEMO s'installent hors de vue et d'atteinte du public. Ils sont constitués de boucles magnétiques enfouies dans la voie en saignée ou en rigole. Les détecteurs actuellement utilisés sont visibles et leurs supports sont soumis à des contraintes durant le passage du train; ils peuvent se déplacer dans le temps et même être brisés. De plus ils s'encrassent sur leur face sensible à cause des frottes d'huile et graisse des trains. Enfin le détecteur de déplacement a un taux de défaillance de $2,83 \cdot 10^{-6}/h$; avec le remplacement des 6 détecteurs actuels, la fiabilité du sous-système détection deviendrait:

$$R(t) = e^{\lambda t}$$

$$\lambda = 2,07 \cdot 10^{-4}$$

$$R(t) = e^{-2,07 \cdot 10^{-4} \cdot 110}$$

$$= 86\% \text{ (au lieu de } 77\%)$$

La fiabilité du système augmente quant à elle à 0,56 soit 56%.

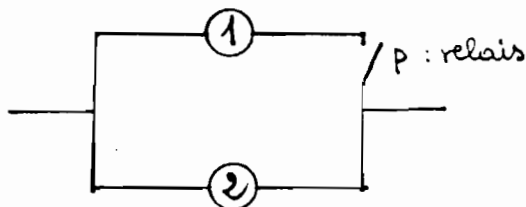
Il s'agit donc de faire une étude sur l'investissement à effectuer et l'adaptabilité de ce

type de détection à notre logique de commande.

b) Introduction de la redondance:

Comme précédemment expliqué la redondance active, à cause du système électronique, modifie les caractéristiques électriques de notre système. Il s'agit donc de préconiser la redondance passive. Comment est-ce qu'elle augmente la fiabilité de notre système ?

Considérons par exemple le circuit imprimé de la détection qui est un des points faibles de notre système. Mettons en deux en stand by comme suit:



p : probabilité de bon fonctionnement du relais

λ : taux de défaillance d'un circuit

Les cas favorables à la marche de notre système sont:

- ① fonctionne durant le temps t considéré
- ① fonctionne durant $t' < t$ et ② fonctionne durant $(t - t')$

on a alors:

$$R(t) = R_1(t) + p \int_0^t R_1(t') \lambda R_2(t-t') dt'$$

pour une distribution exponentielle

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} + p \int_0^t e^{-\lambda t'} \lambda e^{-\lambda(t-t')} dt'$$

$$= e^{-\lambda t} + p \int_0^t e^{-\lambda t'} \lambda e^{-\lambda t} e^{\lambda t'} dt'$$

$$= e^{-\lambda t} + p \int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt'$$

$$= e^{-\lambda t} + p \lambda e^{-\lambda t} [t']_0^t$$

$$= e^{-\lambda t} [1 + p \lambda t]$$

pour $\lambda = 1,91 \cdot 10^{-4} / h$

$$p = e^{-720 \times 0,07 \cdot 10^{-5}} = 0,999$$

$$R(t) = e^{-720 \times 1,91 \cdot 10^{-4}} \left(1 + 0,999 \times 720 \times 1,91 \cdot 10^{-4} \right)$$

$$= 0,99$$

La fiabilité d'une carte seule est de

$$R(t) = e^{-720 \times 1,91 \cdot 10^{-4}}$$

$$= 0,87$$

Nous voyons la nécessité de la redondance.

parvoie qui permet une augmentation relative de 13% de la fiabilité. Nous notons qu'elle augmente aussi la disponibilité du système une carte étant réparable pendant que l'autre est en marche.

La redondance parvoie est aussi utilisée dans l'alimentation mais est pratiquement faussée par le taux élevé de défaillance du réseau public dont le temps moyen de réparation dépasse très souvent 6 heures. Nous préconisons l'emploi de batterie à haute autonomie au moins égale à 10 heures.

L'alimentation peut aussi se faire en antenne ou en redondance parvoie sur deux lignes différentes du réseau public à proximité du passage à niveau lorsqu'elles existent (c'est souvent le cas).

La redondance parvoie peut être aussi introduite partout où le système est organisé en carte électronique (pedale de liberation, partie électronique de la boîte de coulole etc...). Il s'agira à chaque fois de comparer le gain en fiabilité au coût et à la complexité de configuration qu'elle induit.

Notons seulement que l'introduction d'une autre carte en stand by pour la détection, de nouveaux détecteurs de déplacement et d'une fiabilité de l'alimentation pratiquement égale à celle des batteries amène notre fiabilité à :

$$R(t) = e^{-4,24 \cdot 10^{-6} \times 720} \times 0,98 \times 0,94 \times 0,98 \times e^{-2,07 \cdot 10^{-4} \times 720}$$

$$= 0,77$$

7.23 Maintenance du système:

Les pannes coûtent cher. On se souviendra du récent accident entre deux rames de la Régie des Chemins de Fer du Sénégal qui a détruit pratiquement un investissement de plus d'un milliard de francs sans parler des pertes de vies humaines. Le fonctionnement normal d'un passage à niveau préserve les investissements et les vies humaines. Il faut en assurer la disponibilité en mettant en place des moyens et des méthodes permettant de trouver les causes de défaillance par :

- des détecteurs de défauts.
- des inspections régulières des installations
- des rapports précis d'intervention sur les

systèmes en vue d'une banque de données.

Notre installation possède déjà des voyants lumineux pour détecter les défauts. Il s'agit de les vérifier lors des inspections mensuelles.

→ Pour notre système $r(t)$ correspond à une distribution exponentielle où l'entretien préventif n'est pas nécessaire, les causes de bris étant en général extérieures au système (survoltagage, défaut d'alimentation, bris physique etc...).

Cependant l'organisation de nos sous-systèmes en cartes les décompose en éléments maintenables.

Ils pourront être visités ou changés régulièrement. La périodicité de ces visites ou changements s'établit par l'étude des lois de durée de vie surtout pour les éléments électromécaniques.

La pratique de cette maintenance se fera à travers :

- le remplacement des éléments soumis à la fatigue thermique (ampoules électriques, condensateurs)
- le réglage de l'impédance des circuits, des potentiomètres
- le contrôle de la valeur des résistances, des condensateurs et de certains points du circuit.

- le contrôle rigoureux de l'alimentation. Il faudra faire ^{marcher} la batterie pendant une certaine durée (durant par exemple toute l'inspection) pour s'assurer qu'elle remplira son rôle de stand by.
- le contrôle des détecteurs et de leurs supports pour éventuellement les reajuster et nettoyer la face sensible du détecteur.
- le contrôle des éléments mécaniques du système quand on sait que leurs taux de déperdition sont légèrement croissants durant la période de maturité (zone II de la courbe en baignoire de $r(t)$).

Nous dirons en conclusion pour cette partie que :

- le design du système est très bon tout en étant améliorable au niveau de la détection.
- la fiabilité du système dépend dans une large mesure de l'alimentation qui doit tendre vers l'autonomie tel qu'expliqué.
- le système doit être entretenu ou vérifié selon les recommandations ci-haut surtout qu'il est encore à l'étape expérimentale.

CONCLUSION

Les objectifs de l'analyse de fiabilité des systèmes sont :

- la détermination des performances des systèmes en termes de bon fonctionnement ou non, étant entendu que la fiabilité n'est qu'un des aspects importants du système à étudier.
- l'évaluation des alternatives de design
- l'évaluation et/ou la contribution au développement d'un système de maintenance, tests ou processus opératoires.

Il s'agit donc de toujours privilégier selon le système et sa fonction un objectif par rapport à un autre.

Les chiffres obtenus dans cette analyse font l'hypothèse réaliste que les défaillances qui peuvent se produire sont indépendantes et aléatoires, et donc ne prennent pas en compte les défaillances éventuelles de mode commun ; une défaillance en mode commun est une défaillance qui peut affecter simultanément ou en cascade

plusieurs composants. Il est difficile de faire intervenir quantitativement ce type de défaillance mais toute étude de fiabilité devra être complétée par un examen des possibilités de défaillance en mode commun. Notons que cet examen n'a pas d'intérêt pour notre système à configuration série où la panne d'un composant implique la panne du système.

La méthode exposée et utilisée dans cette étude s'avère insuffisante pour l'étude de grands systèmes. On évalue la fiabilité de ces systèmes par d'autres méthodes telles que celle des états de marche critique ou par le traitement statistique des données de fiabilité qui introduit la possibilité d'informatiser les calculs de fiabilité.

En définitive une bonne étude de fiabilité doit tenir compte des objectifs recherchés, de la taille et la complexité du système à étudier et des conditions de fonctionnement sans perdre vue l'optimum économique.

BIBLIOGRAPHIE :

Volumes:

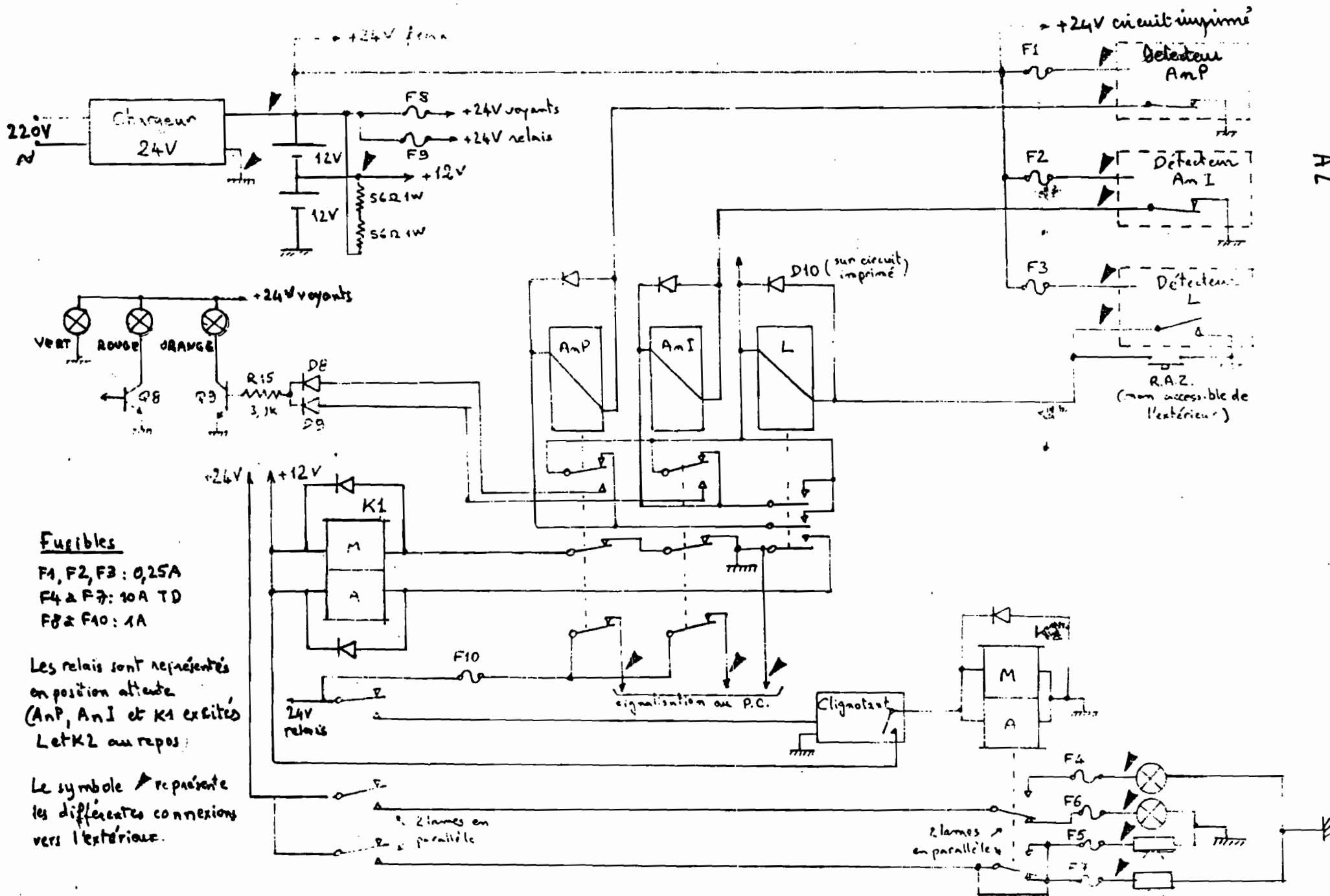
- A. PAGES - M. GONDRAN " Fiabilité des systèmes " Edition EYROLLES 1980
- A. KAUFMANN " Méthodes et modèles de la recherche opérationnelle " Tomes I et II. Editeur DUNOD
- IEEE : Guide to the Collection and Presentation of Electrical, Electronic, Sensing component, and Mechanical Equipment Reliability Data For Nuclear Power Generating Stations. Sponsor : Nuclear Power Engineering Committee of the IEEE Power Engineering Society . IEEE Std 500-1984
- W. VERLEYEN " Electronique et électrotechnique " L'outil informatique 5. Delagrave 1984
- Projets de fin d'études. EPT
 - . Abdou. S. BA Juin 82
 - . Amadou A. POUYE Juin 83
 - . Alassane SY Juin 78
- Notes de cours
 - . Electronique. Automatismes
 - . Recherche opérationnelle.

- ERNEST J. HENLEY " Reliability and
engineering and risk assessment "

HIROMITSU KUMAMOTO.

1981 by Prentice Hall Inc.

ANNEXES



A2

85

Fusibles

- F1, F2, F3 : 0,25A
- F4 & F7 : 10A TD
- F6 & F10 : 1A

Les relais sont représentés en position attente (AnP, AnI et K1 excités Let K2 au repos)

Le symbole ▲ représente les différentes connexions vers l'extérieur.

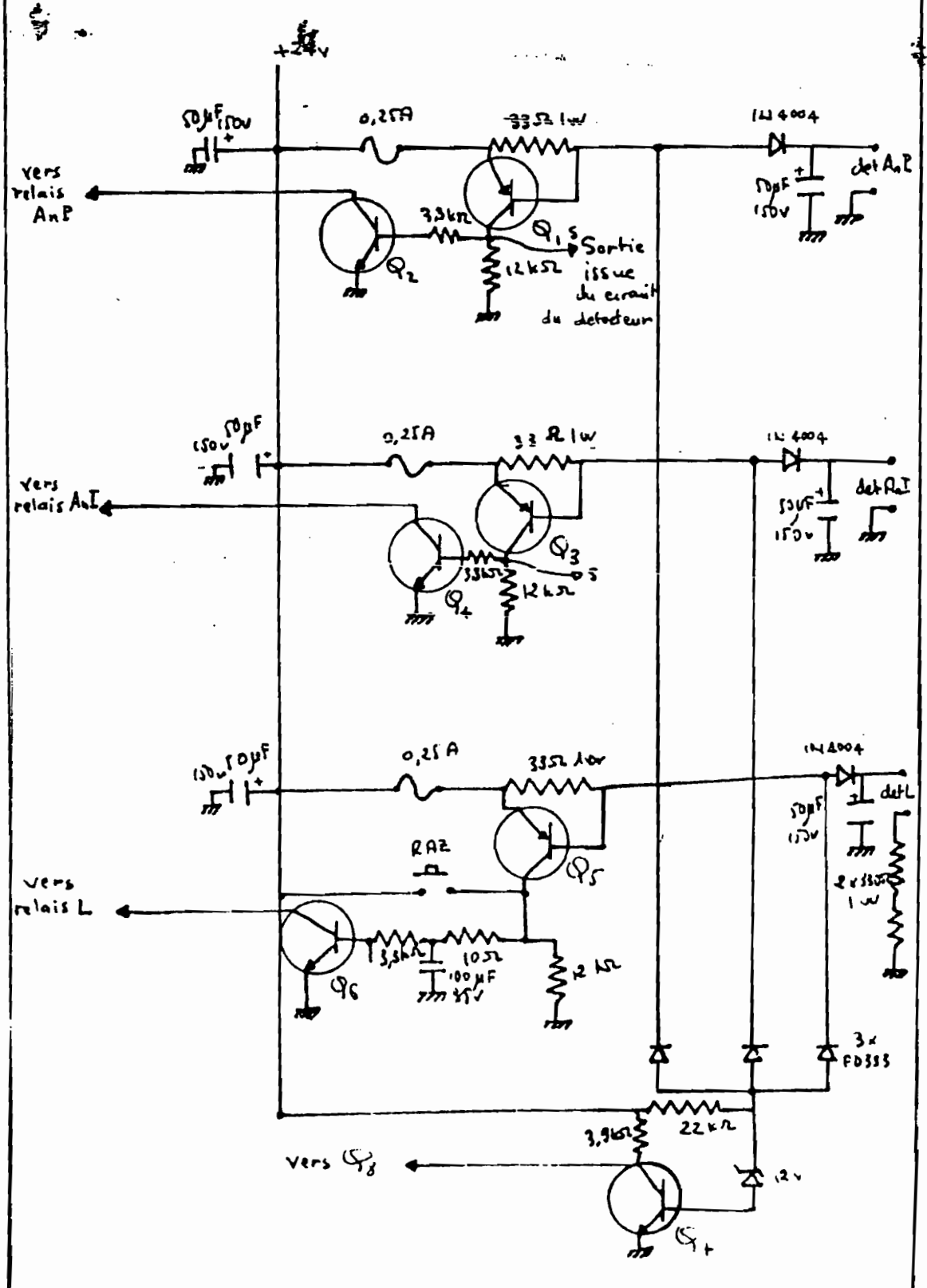
2 lames en parallèle

2 lames en parallèle

Boîte de Contrôle électromécanique.

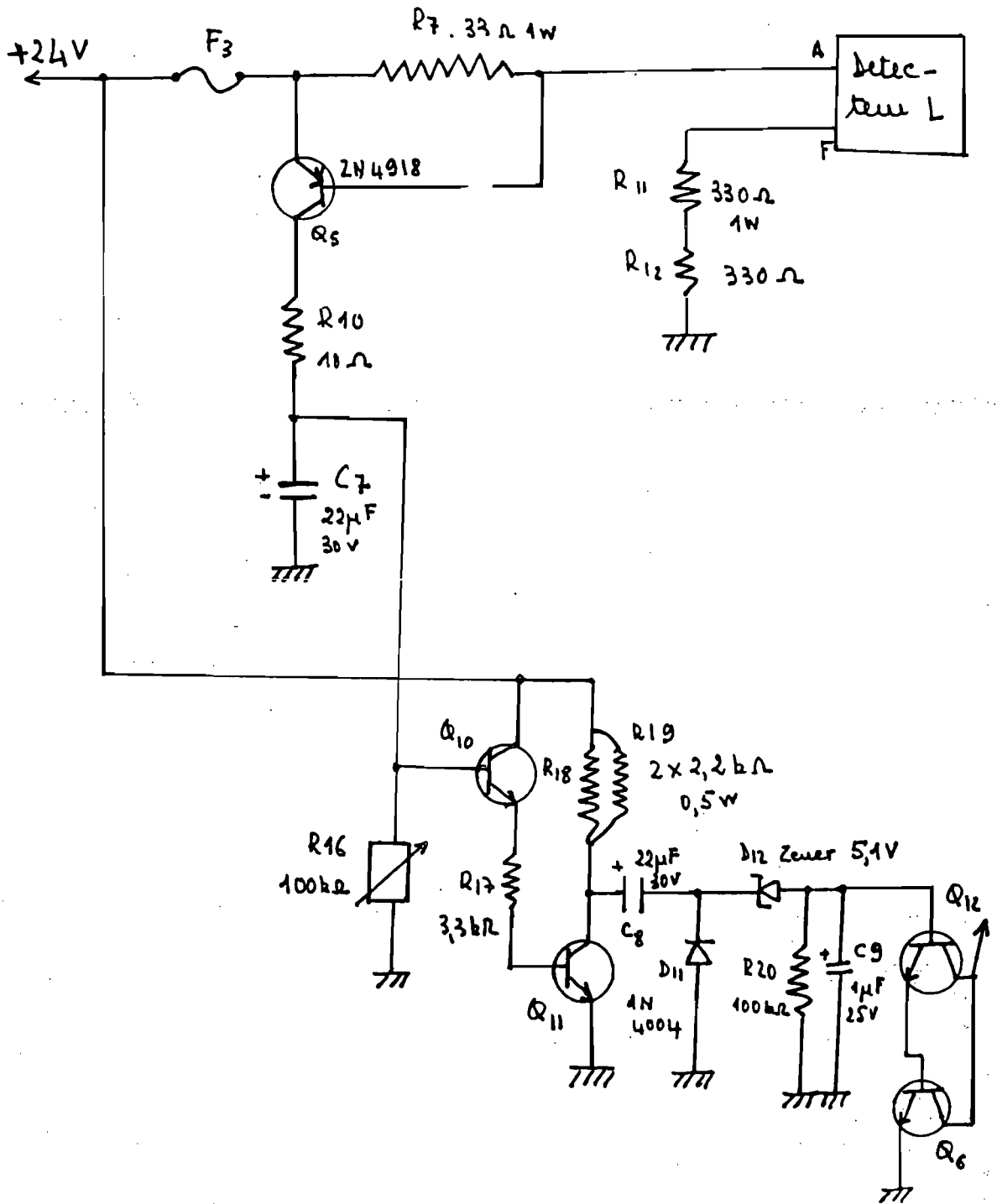
A3

Boite de controle : Partie Electronique



A4

Pédale de libération:



A5

Circuit du clignotant:

