

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

17/80

وزارة التعليم والبحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

1ex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
المركز الوطني للتكنولوجيا  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT GENIE CHIMIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDES

(En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat)

### SUJET

**Etude de la fiabilité d'une  
installation de fabrication  
de l'acide nitrique**

Proposé par :

Mr D. DOUCHANOV

Etudié par :

HARROUCHE Abdelkamel

Dirigé par :

Mr D. DOUCHANOV

PROMOTION : JUIN 1986



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



وزارة التعليم والبحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
المعهد الوطني للتكنولوجيا  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT GENIE CHIMIQUE

## **PROJET DE FIN D'ETUDES**

(En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat)

### **SUJET**

**Etude de la fiabilité d'une  
installation de fabrication  
de l'acide nitrique**

Proposé par :

Mr D. DOUCHANOV

Etudié par :

HARROUCHE Abdelkamel

Dirigé par :

Mr D. DOUCHANOV

PROMOTION : JUIN 1986

- ° - MEMBRES DE JURY - ° -

Président : Mr . BENDJEMA , M . A . T

Examineurs :

Melle . YAICI , M . A . T

Mne . MEZIANI , M . A . T

Mr . VANTCHOURINE , M . C

Mr . DOUCHANOV , M . C

- ° - DEDICACES - ° -

المدسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

A ma mère et mon père

à mes frères et soeurs

et à tous ceux qui me sont chers

je dédie ce modeste travail

- ° - REMERCIEMENTS - ° -



Je remercie Mr .DOUCHANOV d'avoir proposé ce sujet ,et lui formule l'expression  
de ma profonde reconnaissance pour son aide précieuse durant la réalisation de ce  
Travail .

Je prie Mr .BENJAMA de croire à ma plus respectueuse reconnaissance pour  
m'avoir fait l'honneur de présider le jury .

J'exprime mes sincères remerciements à :

Melle .YAICI

Mme .MEZIANI

Mr .VANTCHOURINE

qui ont accepté d'être membres de jury et qu'ils trouvent ici le témoignage de  
ma profonde gratitude .

Enfin ,j'exprime toute ma gratitude à l'ensemble des enseignants qui ont  
contribué à ma formation !

-- TABLE DES MATIERES --

CHAP I. INTRODUCTION	1
CHAP II. CARACTERISTIQUES DES METHODES D'ANALYSE DE LA FIABILITE DU S-T-C	2
A .METHODE D'ANALYSE DE LA FIABILITE DU S-T-C A L'AIDE DE L'ARBRE DE REFUS	3
B .METHODE D'ESTIMATION QUANTITATIVE DE LA FIABILITE	6
C .METHODES D'OPTIMISATION DE LA FIABILITE DU S-T-C	10
D .ESTIMATION DE LA FIABILITE DANS LE CAS DE LA RESERVATION CONSTANTE A L'AIDE DE L'ARBRE DE REFUS	11
CHAP III .ANALYSE DE LA FIABILITE D'UNE INSTALLATION DE FABRICATION DE L'ACIDE NITRIQUE (58 - 60 % ,7,3 atm )	14
A .CARACTERISTIQUES DE LA FABRICATION DE L'ACIDE NITRIQUE	14
B .PREPARATION DE L'ACIDE NITRIQUE	16
C .COLLECTE ,SYSTEMATISATION ET DEVELOPPEMENT DES DONNEES EXPERIMENTALES	25
D . VERIFICATION DE L'EQUIVALENCE DE LA LOI DE DIFFUSION DU TEMPS DE BON FONCTIONNEMENT ET DU TEMPS DE REPARATION DE L'INSTALLATION	27
CHAP IV .ANALYSE DE LA FIABILITE DE L'INSTALLATION DE FABRICATION DE L'ACIDE NITRIQUE	30
A .ANALYSE DE LA FIABILITE DE L'INSTALLATION	30
B .BASES ESSENTIELLES POUR LE CHOIX DE L'ARBRE DE REFUS PRINCIPAL DE L'INSTALLATION	30
C .CONSTRUCTION DES ARBRES DE REFUS DES PRINCIPAUX APPAREILS ET DE TOUTE L'INSTALLATION	33
D .ELABORATION DU GRAMME DE CALCUL DES CARACTERISTIQUES DE LA FIABILITE	43
E .DESCRIPTION DES PARAMETRES DU PROGRAMME	45
CHAP V .RECOMMANDATIONS ORGANISATIONNELLES ET TECHNIQUES	48
CHAP VI . IMPACT ECONOMIQUE	50
CONCLUSION	52
ANNEXE	53

La construction de systèmes de la production chimique pose la question de la fiabilité. Le problème est que lors de la création de tels systèmes, deux tendances contradictoires se font jour. D'une part, en liaison avec l'accroissement de la puissance des unités technologiques et avec le passage à l'automatisation complexe, on relève continuellement les conditions exigées quant à la fiabilité des systèmes. Dans de telles conditions, une panne du système de commande prête à des conséquences économiques plus considérables.

D'autre part, on abaisse en pratique la fiabilité des systèmes de commande ainsi obtenue, du fait qu'on élargit sans cesse le champs des fonctions remplies par le système de commande: Il y'a croissance du nombre d'éléments. En outre, l'automatisation complexe conduit à une réduction du personnel de service, ce qui exige une fiabilité élevée.

Un système à haute fiabilité doit satisfaire aux conditions suivantes :

1. Le nombre des avaries d'éléments essentiels qui conduisent à une panne de l'ensemble du système doit être faible.
2. Il faut disposer d'un équipement qui permette, lorsque survient une avarie, ou bien de trouver rapidement l'endroit où elle s'est produite et de l'éliminer, ou bien d'avertir rapidement le personnel de service de l'existence d'une panne, avec indication du lieu où elle est apparue et des recommandations qui ont été mises au point pour y faire face.
3. Les différentes parties du système doivent être autonomes, afin d'en assurer une conduite commode.

Le développement de la théorie de la fiabilité se poursuit suivant deux directions :

- 1/ Le problème de la fiabilité globale des dispositifs complexes pour des éléments assemblés de facons différentes.
- 2/ La détermination de la fiabilité des éléments, lié à l'étude de leurs propriétés physiques.

## CHAPITRE II. CARACTERISTIQUES DES METHODES D'ANALYSE

### DE LA FIABILITE DU S-T-C

Présentons d'abord quelques notions fondamentales de la fiabilité du S-T-C .

1. Fiabilité du S-T-C : Probabilité de fonctionnement sans défaillance du S-T-C dans des conditions d'exploitation bien spécifiées et pendant une période de temps déterminés .

2. Refus d'élément du S-T-C : Le refus d'élément du S-T-C est un événement entraînant une perturbation dans le fonctionnement du S-T-C; on distingue deux types de refus :

- Refus caractérisé par une diminution de la production par rapport à celle planifiée ;

- Refus caractérisé par un arrêt de l'ensemble du système .

3. Fonctionnement sans arrêt : Qualité du S-T-C à maintenir sa capacité de fonctionnement pendant une période de temps déterminée; les caractéristiques du fonctionnement sans arrêt sont :

- le temps moyen de fonctionnement sans arrêt ;

- l'intensité de refus des éléments du S-T-C .

4. Temps moyen de bon fonctionnement ( $m_{tp}$ ) : Il peut être défini comme étant la moyenne arithmétique de tous les intervalles de temps pendant lesquels le fonctionnement du S-T-C est sans défaillance .

$$m_{tp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{n} \quad (h) \quad (1-1)$$

où :  $t_{pi}$  - le temps de fonctionnement du S-T-C entre les  $i$  et  $i+1$  ;

$n$  - le nombre de refus pendant le temps de surveillance .

5. Intensité de refus : Elle est défini comme le nombre de refus par unité de temps .

$$\lambda = \frac{1}{m_{tp}} \quad (h^{-1}) \quad (1-2)$$

Les données expérimentales statistiques concernant la variation de l'intensité de refus des éléments du S-T-C au cours de l'exploitation , permettent d'établir une

Nb : S-T-C = système de technologie chimique .

classification bien définie des différents types de refus (fig. 1.)

6. Aptitude de rétablissement du S-T-C : Aptitude des éléments du système à s'adapter à la prévention, la découverte et l'élimination du refus par réparation technique .

Les caractéristiques de l'aptitude du S-T-C sont définies par :

- le coefficient d'utilisation technique (  $K_{ut}$  ) ;
- le temps moyen de rétablissement du S-T-C .

7. Coefficient d'utilisation technique : Rapport du temps de bon fonctionnement pendant une période d'exploitation donnée à la somme de tous les temps .

$$K_{ut} = \frac{T_p}{T_p + T_r + T_{rép}} \quad (1-3)$$

où:  $T_p$ -le temps de bon fonctionnement du S-T-C pendant la période d'exploitation, ( h ) ;

$T_r$ -la durée d'un des réparations non planifiées, ( h ) ;

$T_{rép}$ - la durée des réparations planifiées pendant la même période d'exploitation, ( h ) .

8. Temps moyen de rétablissement du S-T-C ( $m_{tr}$ ) :

$$m_{tr} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ri}}{n} \quad (1-4)$$

où :  $t_{ri}$  -le temps de rétablissement de l'élément  $i$

$n$  - le nombre de refus pendant la période de surveillance .

9. Coefficient d'aptitude du S-T-C ( $K_{apt}$ ) : Le coefficient d'aptitude du S-T-C pour l'exploitation est un indice très important, caractérisant l'efficacité de fonctionnement ; il est défini par :

$$K_{apt} = \frac{m_{tp}}{m_{tp} + m_{tr}} \quad (1-5)$$

10. Coefficient d'utilisation de l'appareillage : Il est noté  $K_{ua}$ , et défini par :

$$K_{ua} = \frac{T_p}{T} \quad (1-6)$$

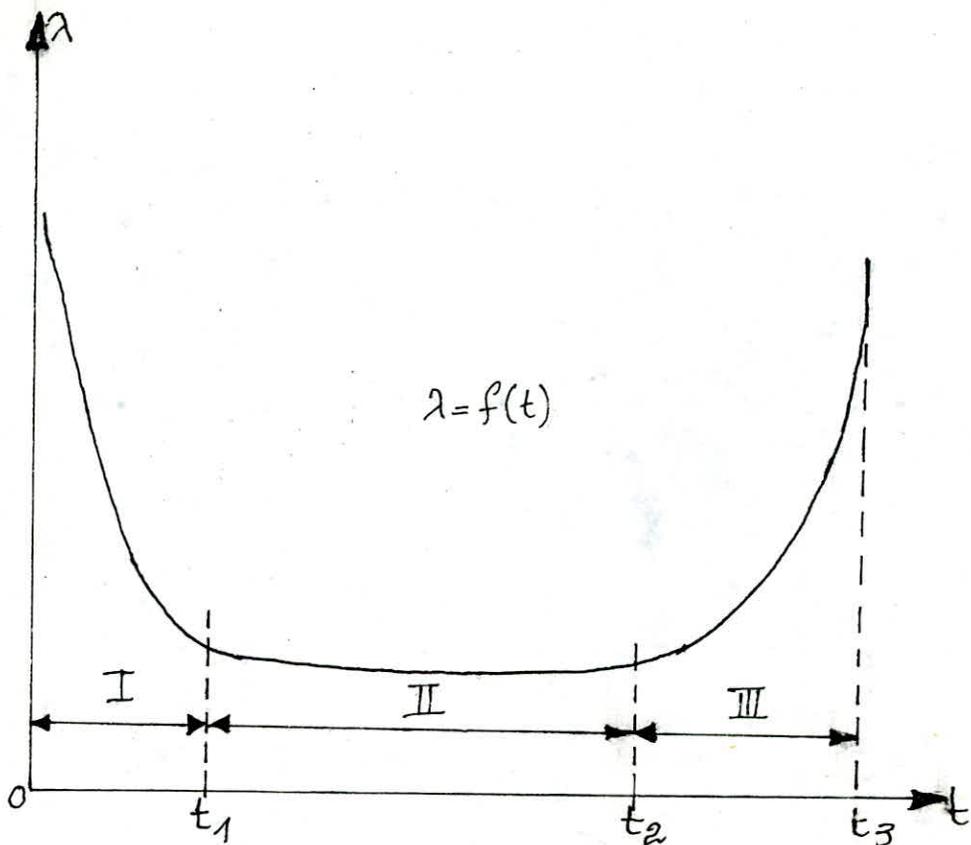


Fig. 1 Variation de l'intensité de refus en fonction du temps

Marche I : Période de mise en marche du S.T.C, elle est caractérisée au début par une grande intensité de refus, puis diminue progressivement jusqu'à  $t_1$

Marche II : Période d'exploitation normale, caractérisée par une constance de l'intensité de refus; cette dernière porte un caractère aléatoire.

Marche III : Période de vieillissement des éléments du S.T.C, caractérisée par une augmentation de l'intensité  $\lambda$  jusqu'à l'arrêt total du système ( $t_3$ )

où :  $i$  - T- le temps calendrier de surveillance, ( h ) .

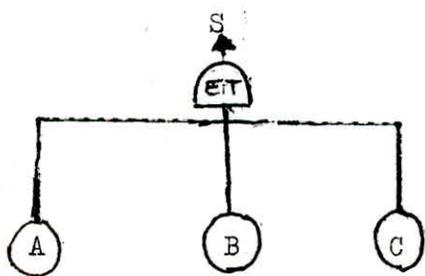
#### A. METHODE D'ANALYSE DE LA FIABILITE DU S-T-C A L'AIDE DE L'ABRE DE REFUS :

Cette méthode est basée sur la construction de l'arbre de refus qui représente la propagation des différentes pannes . L'analyse de l'arbre commence l'événement final et remonte aux événements initiaux .

L'avantage de cette méthode est due au fait que seuls les refus initiaux amenant à un refus considérable sont pris en compte ; Il est important de tenir compte de toutes les combinaisons des refus initiaux afin que tous les événements finaux soient considérés .

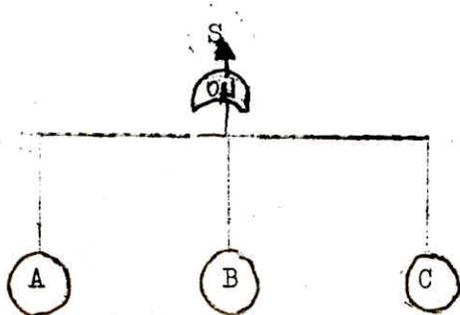
Les composantes principales de l'arbre de refus sont les opérateurs logiques "ET" et "OU" ( disjonctifs ) qui déterminent les conditions de la diffusion des refus dans la direction du refus principal ( refus de l'ensemble du système ) .

Pour le noeud "ET", l'événement de sortie n'aura lieu que dans le cas où tous les événements d'entrée ont lieu .



$$S = A \cap B \cap C$$

Pour le noeud "OU", l'événement de sortie se réalisera si au moins l'un des événements d'entrée est réalisé .



$$S = A \cup B \cup C$$

Dans l'arbre ,les refus primaires sont représentés par des cercles ,les refus secondaires par des rectangles et les refus non diffusés (qui n'ont pas de conséquences ) par des losanges .

Les principales informations nécessaires pour la construction de l'arbre de refus sont les suivantes :

- Informations sur l'appareillage ;
- Informations sur les courants ;
- Informations sur les chaines de regulation

## B. METHODE D'ESTIMATION QUANTITATIVE DE LA FIABILITE A L'AIDE DEL'ARBRE DE REFUS :

Les principales méthodes d'analyse quantitative de la fiabilité à l'aide de l'arbre de refus sont : -méthode d'estimation probabilistique d'estimation ,et-méthode d'estimation de l'intensité de refus .

### B.1. Méthode probabilistique d'estimation.

Cette méthode est utilisée pour la détermination de la probabilité d'apparition d'une suite de refus pouvant provoquer le refus principal, cependant, elle ne peut être appliquée que si l'on connaît la probabilité d'apparition de chaque refus .

Représentons le résultat de fonctionnement des opérateurs logiques .

#### B.1.1. Opérateurs logique "ET" ( probabilités totales ) :

La probabilité de ~~réalisation~~<sup>réalisation</sup> simultanée de deux événements ( pannes ) A et B est égale au produit de la probabilité de A par la probabilité de B , sachant que A s'est déjà produit .Les événements A et B sont donc compatibles .

$$P( A \cap B ) = P( A ) . P( B/A ) \quad ( 1-1 )$$

$$= P( B ) . P( A/B ) \quad ( 1-2 )$$

#### B.1.2. Opérateur logique "OU" ( probabilités composées ) :

Si A et B sont des événements compatibles, la probabilité de la réunion de ces deux événements est égale à la somme de leur probabilité, diminuée de la probabilité de leur intersection.

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad (1-3)$$

Si les deux événements sont indépendants de probabilité, la probabilité de leur intersection est égale au produit de leur probabilité.

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B) \quad (1-4)$$

L'équation (1-3), devient :

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A) \cdot P(B) \quad (1-5)$$

Si ~~l'équation~~ de plus, la probabilité de chaque événement est inférieure à 0,1, alors :

$$P(A) \cdot P(B) \leq P(A) + P(B)$$

D'où :

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) \quad (1-6)$$

Pour n événements à l'entrée de l'opérateur, on'aura :

$$P(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n) = P(A_1) \cdot P(A_2) \cdot \dots \cdot P(A_n) \quad (1-7)$$

$$P(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) = P(A_1) + P(A_2) \cdot \dots \cdot P(A_n) \quad (1-8)$$

### B.2? Méthode d'estimation de l'intensité de refus :

L'intensité de refus, pour un intervalle de temps (t, t+h) est défini comme la probabilité d'apparition du refus dans cet intervalle.

$$\lambda(t, t+h) = \frac{R(t) - R(t+h)}{h \cdot R(t)} \quad (1-9)$$

L'intensité instantanée de refus est défini par :

$$\lambda(t) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t+h)}{h R(t)} = - \frac{1}{R(t)} \frac{d}{dt} (R(t)) \quad (1-10)$$

De l'équation différentielle (1-10), on tire R(t) qui n'est autre que l'équation de la fiabilité.

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (1-11)$$

Notons que si l'on connaît la fonction de l'intensité de refus, on peut calculer la fiabilité,  $R(t)$ .

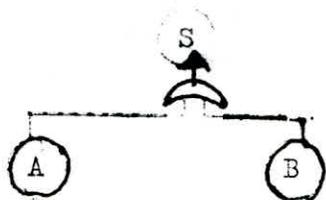
Selon la méthode d'estimation de l'intensité de refus, on peut représenter le résultat de fonctionnement de chaque opérateur.

### B.2.1. Opérateur logique "OU":

Soient deux événements indépendants, A ET B, la probabilité pour que l'événement A(ouB) soit réalisé dans l'intervalle de temps  $(0, t)$ , est :

$$P(A) = F_A(t)$$

$$P(B) = F_B(t)$$



La probabilité de la réunion de ces deux événements dans l'intervalle de temps  $(0, t)$ , est :

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A) \cdot P(B)$$

SI  $R(t) = 1 - F_G(t)$ , on'aura :

$$R_G(t) = 1 - F_A(t) - F_B(t) + F_A(t) \cdot F_B(t)$$

$$R_G(t) = (1 - F_A(t))(1 - F_B(t)) \quad (1-12)$$

Si l'intensité de refus de chaque événement est constante, alors :

$$R_A(t) = e^{-\lambda_A(t)}$$

$$R_B(t) = e^{-\lambda_B(t)}$$

Alors :

$$R_G(t) = e^{-\lambda_A(t)} \cdot e^{-\lambda_B(t)} = e^{-(\lambda_A + \lambda_B)}$$

Ou bien :

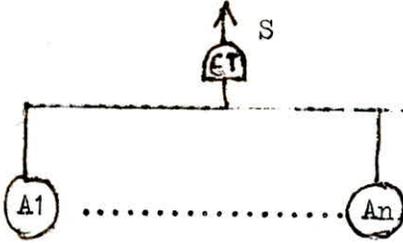
$$\lambda_G = \lambda_A + \lambda_B \quad (1-13)$$

De la même manière on peut montrer, que dans le cas de  $n$  événements à l'entrée de l'opérateur "OU" dont les intensités sont constantes, on'a :

$$\lambda_G = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (1-14)$$

B.2...2. Opérateur logique ET :

Soient n événements indépendants à l'entrée de l'opérateur ; A1, A2, ..., An .



La probabilité pour qu'il y'aura refus de A1 (ou A2 , ..., ou An ) dans l'intervalle de temps ( 0, t ) , est :

$$P( A1 ) = F1 ( t )$$

$$P( A2 ) = F2 ( t )$$

⋮

$$P( An ) = Fn(t)$$

Or :  $P(A1 \cap A2 \cap \dots \cap An) = P(A1) \cdot P(A2) \cdot \dots \cdot P(An)$

D'où :  $P(A1 \cap A2 \dots \cap An) = F_G(t) = F1(t) \cdot F2(t) \dots Fn(t)$

$$R_G(t) = 1 - F_G(t)$$

$$R_G(t) = 1 - F1(t) \cdot F2(t) \dots Fn(t) \tag{1-15}$$

D'après l'équation ( 1-10 ) et (1-5 ) , on déduit que :

$$F_i(t) = 1 - e^{-\lambda_i t}$$

Après quelques transformations , on obtient :

$$\lambda_G(t) = \frac{\lambda_1(\alpha_1 - 1) + \lambda_2(\alpha_2 - 1) + \dots + \lambda_n(\alpha_n - 1)}{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \dots \cdot \alpha_n - 1} \tag{1-16}$$

Avec :  $\alpha_i = (1 - e^{-\lambda_i t})$   $i = 1, 2, \dots, n$

Ou bien : 
$$\lambda_G(t) = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i (\alpha_i - 1)}{(\prod_{i=1}^n \alpha_i) - 1} \tag{1-17}$$

## C. METHODES D'OPTIMISATION DE LA FIABILITE DU S-T-C :

L'optimisation de la fiabilité du S-T-C s'obtient par plusieurs méthodes . .

### C.1. Optimisation de la fiabilité de la construction mécanique :

On peut augmenter le niveau de la fiabilité de la construction mécanique par utilisation de pièces et de noeuds perfectionnés , par protection de l'appareillage contre la corrosion et par utilisation de matériaux de haute qualité .

### C.2. Optimisation de la fiabilité de l'appareillage :

Le niveau de la fiabilité de l'appareillage peut être augmenté par élaboration des méthodes rationnelles pour la conservation de l'appareillage avant sa mise en marche, des instructions pour le montage et mise en exploitation et par la réparation des éléments du S-T-C .

### C.3. Optimisation de la fiabilité de la topologie technologique du système :

Le niveau de la fiabilité de la topologie technologique détermine le caractère des liaisons entre les éléments du système , c'est la raison pour laquelle son niveau peut être augmenté par simple modification de la structure des liaisons technologiques .

### C.4. Optimisation de la fiabilité de la section automatisée :

L'optimisation de la fiabilité de la section automatisée s'obtient par le choix optimal des paramètres de régulation et par l'utilisation d'appareils de contrôle et de mesure dont l'efficacité est meilleure .

### C.5. Optimisation de la fiabilité par réservation du système :

Cette méthode d'optimisation s'effectue par branchement des éléments de réserve avec les éléments de base . Il y'a trois types de branchement :

- branchement de base ;
- branchement de réserve ;
- branchement mixte .

Le branchement de base est un branchement pour lequel le refus de n'importe quel élément provoque le refus de tout le système .

Une fois que l'appareillage de réserve est ajouté au système ,le refus principal n'aura lieu que dans le <sup>cas</sup> du refus de tous les éléments ,y compris ceux de réserve .Notons que le branchement mixte s'obtient par combinaison des deux branchements précédents .

On distingue quatre types de réservation pour l'optimisation de la fiabilité :

- réservation totale ;
- réservation individuelle ;
- réservation constante ;
- réservation par substitution .

Dans le cas de la réservation individuelle on'a un gain de fiabilité qui est plus grand que celui de la réservation totale .Ceci est dû au fait que dans ce dernier cas, le refus principal du système s'obtient uniquement par le refus d'un seul élément ; par contre dans le cas de la réservation individuelle ,le refus principal ne se réalise qu'au cas du refus de tous les éléments .

A l'inverse de la réservation constante qui est caractérisée par le branchement des éléments de réserve avec les éléments de base pendant toute la période d'exploitation , la réservation par substitution est caractérisée par le remplacement automatique des éléments de base par les éléments de réserve au cas du refus des premiers .

#### E. ESTIMATION DE LA FIABILITE DANS LE CAS DE LA RESERVATION CONSTANTE A L'AIDE DE L'ARBRE DE REFUS :

Les éléments identiques du S-T-C qui fonctionnent en parallèle sont représentés par des branches parallèles reliées en un sommet adéquat au refus de ces éléments .La di-

ffusion des refus à travers l'ensemble du système n'est possible qu'au cas du refus des éléments identiques et par conséquent l'opérateur sera du type "ET".

Supposons par exemple que l'élément a une intensité constante, l'équation (1-16)

s'écrira :

$$\lambda_G(t) = \frac{2 \lambda}{\alpha + 1} \quad (1-18)$$

Pour trois éléments identiques :

$$\lambda_G(t) = \frac{3 \lambda}{\alpha^2 + \alpha + 1} \quad (1-19)$$

Pour quatre éléments identiques :

$$\lambda_G(t) = \frac{4 \lambda}{\alpha^3 + \alpha^2 + \alpha + 1} \quad (1-20)$$

Pour n éléments identiques :

$$\lambda_G(t) = \frac{n \lambda}{\alpha^{n-1} + \alpha^{n-2} + \dots + \alpha + 1} \quad (1-21)$$

avec :  $\alpha = \frac{1}{1 - e^{-\lambda \cdot t}}$

Quand  $t \rightarrow 0$ ,  $\alpha \rightarrow \infty$ , d'où :  $\lambda_G = 0$

Quand  $t \rightarrow \infty$ ,  $\alpha \rightarrow 1$ , d'où :  $\lambda_G = \lambda$

L'investigation concernant la réservation constante qui est utilisée comme méthode d'augmentation du niveau de la fiabilité montre qu'elle est effective pendant un intervalle de temps qui ne dépasse pas les 20 000 heures fig. 1', par contre la réservation coordonnée dont le service de réparations est périodique, est effective pendant une longue période d'exploitation du S-T-C.

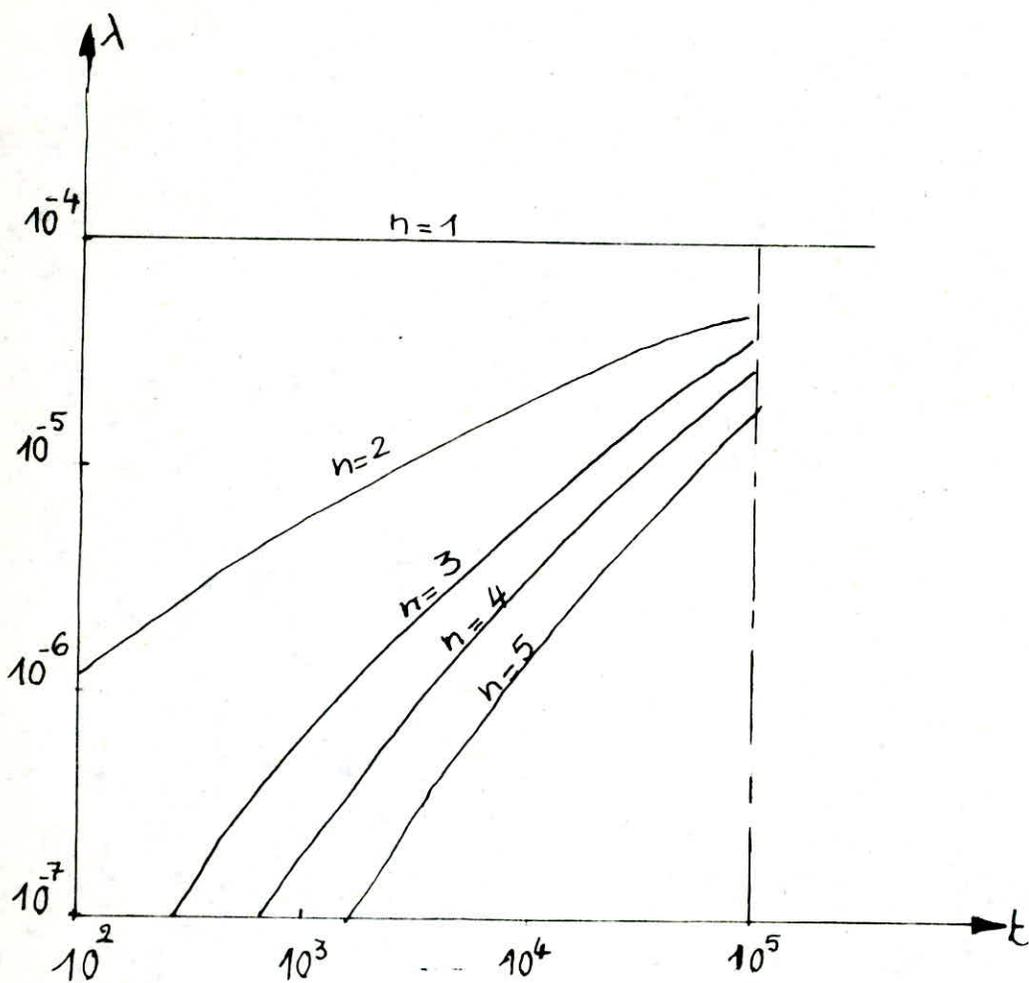


Fig. 1'. Variation de l'intensité de refus en fonction du temps, du système contenant 2, 3, 4 ou 5 éléments <sup>identiques</sup> qui fonctionnent en parallèle (chaque élément a une intensité de refus constante, égale à  $10^{-4}$   $\left[ \frac{\text{refus}}{\text{heure}} \right]$  ).

## CHAPITRE III. ANALYSE DE LA FIABILITE D'UNE INSTALLATION DE FABRICATION

### DE L'ACIDE NITRIQUE (58 - 60%, 7,3 atm) :

#### A. CARACTERISTIQUES DE LA FABRICATION INDUSTRIELLE DE L'ACIDE NITRIQUE :

##### A.1. Procédé utilisé .

Trois procédés différents sont utilisés pour la fabrication de l'acide nitrique au départ de l'ammoniaque :

- combustion de l'ammoniaque et absorption des vapeurs nitreuses à pression ambiante ;

- combustion et absorption à pression élevée ;

- combustion à pression <sup>atmosphérique</sup> et absorption sous pression .

Le second procédé est celui qui est utilisé dans l'installation qu'on veut analyser sa fiabilité .

##### A.2. Données physiques de l'acide nitrique :

- Densité :

$$d = 1,3 \text{ (T/m}^3\text{)} \quad \text{à } 15^\circ\text{C et } 5,5\% \text{ en poids}$$

- Viscosité :

$$\mu = 1,964 \text{ (cpo)} \quad \text{à } 20^\circ\text{C et } 58\% \text{ en poids}$$

- Chaleur spécifique :

$$c_p = 0,648 \text{ (cal/g } ^\circ\text{C)} \quad \text{à } 20^\circ\text{C}$$

$$c_p = 0,665 \text{ (cal/g } ^\circ\text{C)} \quad \text{à } 40^\circ\text{C}$$

- Conductance :

$$K = 5\,200 \cdot 10^{-4} \text{ (cm}^{-1} \Omega^{-1}\text{)} \quad \text{à } 15^\circ\text{C et } 58\% \text{ en poids}$$

- Conductivité thermique :

$$\lambda = 0,368 \text{ (Kcal/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)} \quad \text{à } 20^\circ\text{C et } 58\% \text{ en poids}$$

### A.3. Caractéristiques des réactifs :

- Ammoniaque liquide : Produit de haute qualité ,non explosif mais toxique .Son pourcentage en poids est égal à 99,95 .

- Purification de l'eau :L'élimination des sels se fait par chimique .

- Gaz naturel :Trés riche en méthane ,environ 92% en poids .

~~Ammoniac~~ :



- Azote en phase gazeuse :Le pourcentage volumique dans les conditions normales est égal à 97 .

- Vapeur surchauffée :

$$P = 16 \text{atm}$$

- Catalyseurs utilisés :

- Platine

- palladium

-Rhodium

### A.4. Utilisation de l'acide nitrique :

L'acide nitrique est l'un des produits les plus importants dans l'industrie chimique .Il est utilisé pour la préparation des engrais azotés , la production des colorants et sert d'oxydant dans la fabrication de l'acide sulfurique ainsi qu'a la préparation d'explosifs .

REMARQUE :L'installation de fabrication de l'acide nitrique est composée

de six (6) chaines technologiques .

## B. PREPARATION DE L'ACIDE NITRIQUE :

L'air atmosphérique rentrant dans le filtre (position 1) avec un débit de 75 300 (Nm<sup>3</sup>/h) , à 20°C et 760 mmHg , ressort sans les poussières , lesquelles sont dangereuses pour l'activité du contact .Une fois ~~l'air~~ purifié , l'air se dirige vers le compresseur , I<sup>er</sup> degré (position 5) qui est incorporé dans l'agrégat-A , ce dernier qui a pour rôle d'assurer la compression de l'air et la récupération de l'énergie des gaz de sortie , comprend :

- le compresseur principal et la turbine
- la soufflante
- le générateur électromoteur qui assure la mise en marche de la chaîne technologique
- le réfrigérant à eau
- le brûleur incorporé dans le compresseur d'air (position 5) , possédant 16 degrés de compression .L'air entrant dans ce dernier se comprime jusqu'à 3,53 atm et sa température augmente jusqu'à 165°C .Une fois comprimé , il passe à travers un réfrigérant à eau avant de se diriger vers le compresseur à air (position 9) .

A sa sortie de l'élément (9) et avant d'atteindre le cycle technologique , l'air prend trois directions , l'une vers l'échangeur de chaleur (position 15) , l'autre vers la colonne d'absorption (position 21) et une dernière vers l'installation de purification

Le principal de ces trois courants étant celui qui entre dans l'évaporateur .Dans cet élément , l'air va être chauffé par les gaz qui passent à équicourant jusqu'à une température de 250°C .

L'ammoniaque liquide est vaporisé sous pression de 10 à 12 atm (position 16) , et mélangé ensuite à l'air comprimé (position 14) .Les deux composés sont réunis à l'aide d'un système automatique .le mélange est filtré immédiatement à travers un filtre (position 13) , pour retenir les particules solides qui pourraient être dangereuses pour le catalyseur . [4-5]

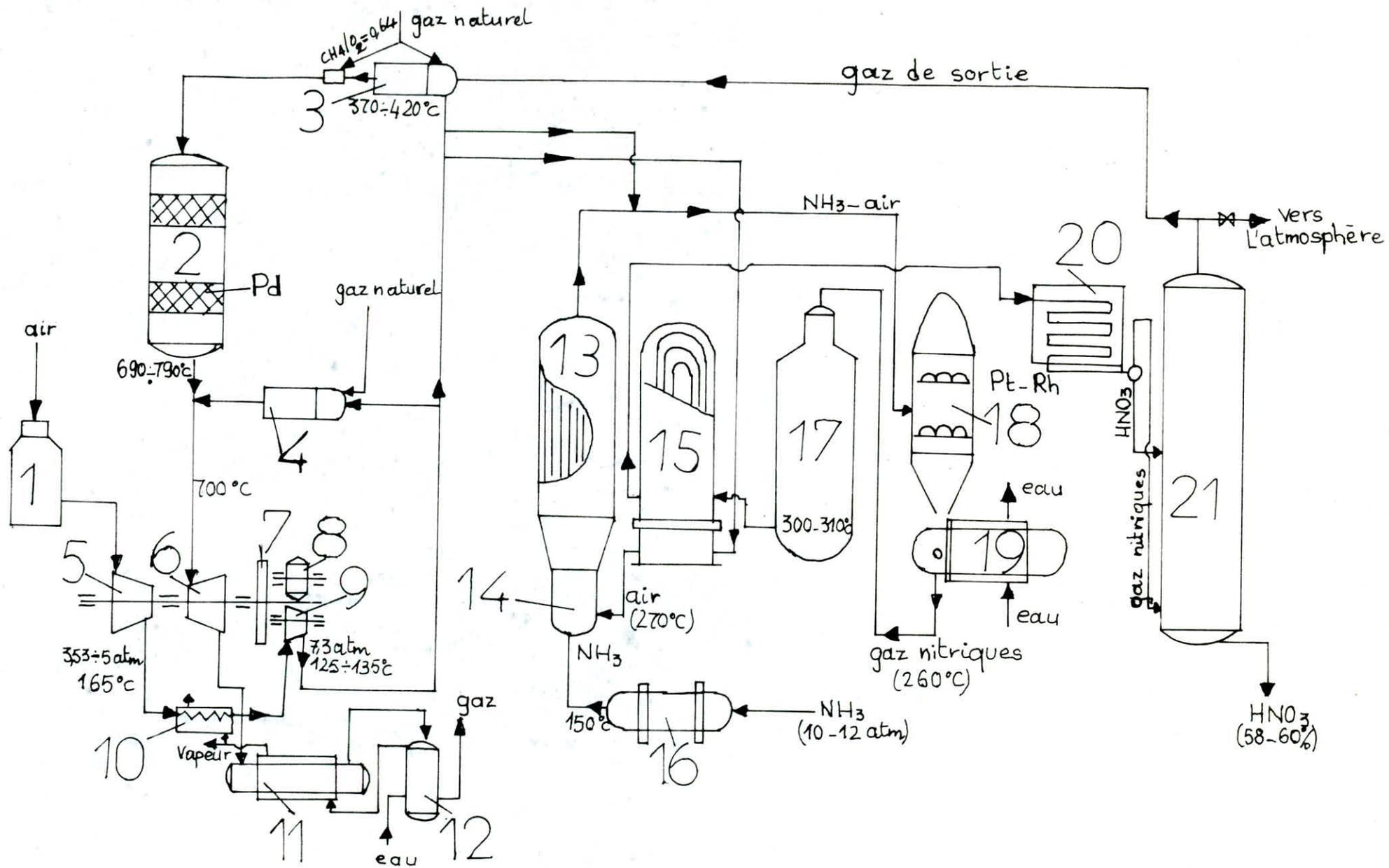
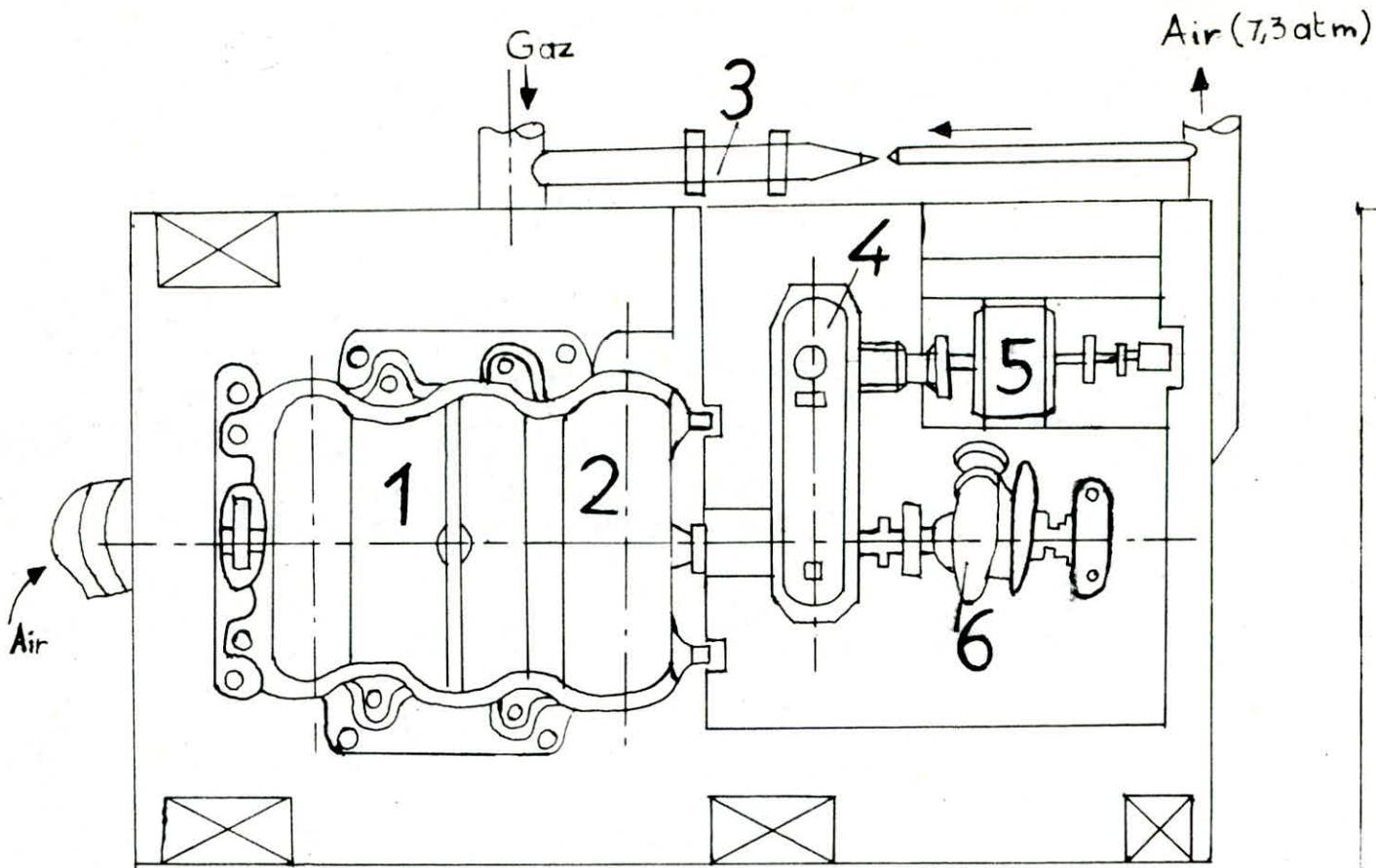


Fig.2 .- UNITE DE FABRICATION DE L'ACIDE NITRIQUE.

## LEGENDE

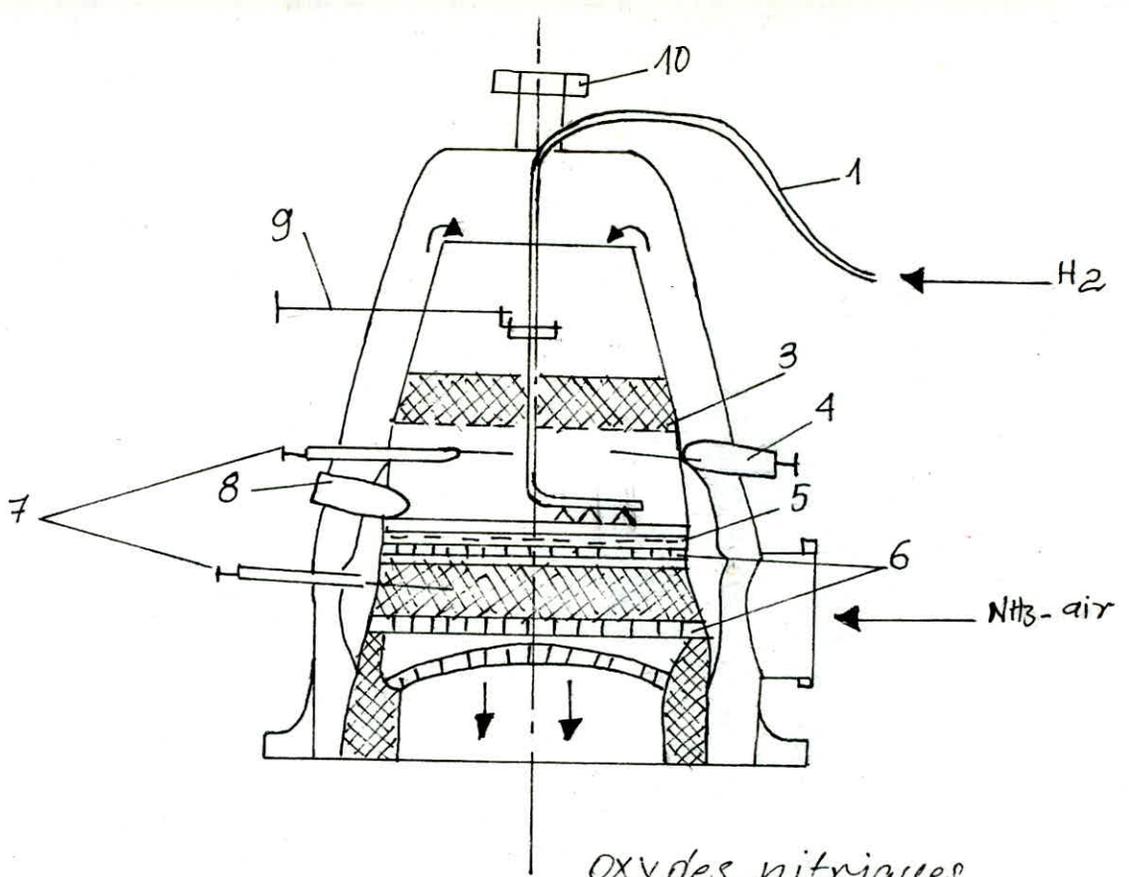
- 1 -filtre d'air
- 2 -réacteur
- 3,4-chambres de combustion
- 5 -compresseur d'air (1<sup>er</sup> degré )
- 6 -turbine à gaz
- 7 -soufflante
- 8 -génératrice
- 9 -compresseur d'air (2<sup>ème</sup> degré )
- 10 -réfrigérant à eau
- 11,12-chaudières de récupération
- 13 -filtre
- 14 -mélangeur
- 15 -réchauffeur d'air
- 16 -évaporateur de l'ammoniaque
- 17 -appareil d'oxydation
- 18 -convertisseur
- 19 -réfrigérant à eau
- 20 -réfrigérant des gaz
- 21 -colonne d'absorption



### LEGENDE

- 1 - Compresseur d'air (I<sup>er</sup> degré)
- 2 - Turbine à gaz
- 3 - chambre de combustion
- 4 - Soufflante
- 5 - Génératrice
- 6 - Compresseur d'air (II<sup>ème</sup> degré)

Fig.3 ..AGREGAT\_A.



oxydes nitriques

Fig-4- CONVERTISSEUR

LEGENDE

- 1 - Conduite d'hydrogène
- 2 - Masse de contact
- 3 - Tôle perforée
- 4 - Prise d'analyse
- 5 - Réseau de Pt-Rh
- 6 - Four
- 7 - Thermocouple
- 8 - Fenêtre
- 9 - Transmetteur de mouvement
- 10 - Cheminée

Le mélange ammoniac-air est mis en réaction dans le convertisseur (position 18), dont les dimensions de ce dernier sont :

Diamètre = 2 200 mm , hauteur = 7090 mm , nombre de tôles en platine = 12 et diamètre d'une tôle = 1.000 mm .

Les réactions qui ont lieu dans le convertisseur , sont les suivantes :



La première réaction est dite réaction fondamentale .Le monoxyde d'azote est obtenu avec un très bon rendement (94 - 96%). On notera que l'azote et N<sub>2</sub>O sont des composés indésirables .

Les gaz venant du convertisseur traversent d'abord une chaudière de récupération qui fournit la vapeur nécessaire au mélange et passent ensuite dans la chambre d'oxydation (position 17) ,là où le monoxyde d'azote s'oxyde pour donner naissance au dioxyde d'azote ,la chaleur dégagée sera utilisée pour le chauffage de l'air dans l'échangeur (position 15) ; Les gaz nitriques se refroidissent jusqu'à une température de 175°C et celle de l'air passe de 110°C à 270°C .

Après un nouveau refroidissement (position 20) ,une grande partie de l'eau se dépose sous forme de HNO<sub>3</sub> à 48-52 % .



L'acide ainsi obtenu entre dans la colonne d'absorption à mi-hauteur en se dirigeant

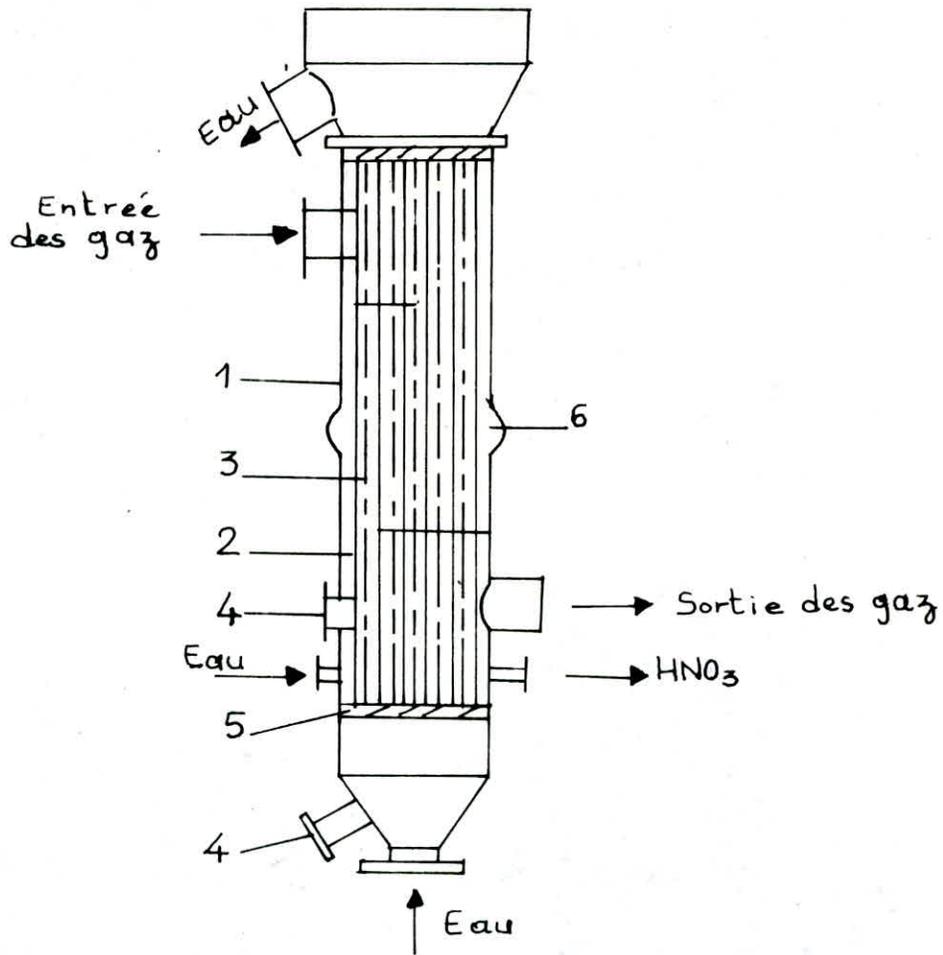


Fig.5. -REFRIGERANT DES GAZ.

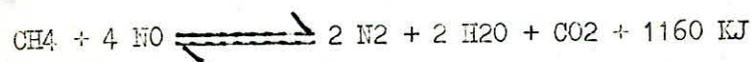
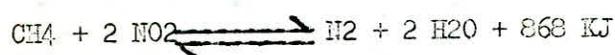
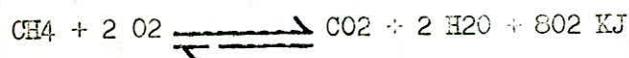
LEGENDE

- 1- isolation
- 2- circulation des gaz
- 3- échangeur tubulaire
- 4- fenêtre
- 5- support des tubes
- 6- balayage des gaz

vers le bas ,tandis que les gaz nitriques prennent une direction opposée après leur pénétration par le bas de la colonne .Ces derniers vont être absorbés par l'acide nitrique dont la concentration de sortie est de 58-60% .

La récupération d'énergie dans les gaz restants joue un rôle décisif dans l'économie de l'absorption .Pour quelle soit favorable que possible ,il faut que la perte de charge dans l'installation d'absorption soit maintenue à un taux très faible .

Les gaz de sortie qui contiennent 0,1 à 0,3% en poids de NO et NO2 ,sont tout d'abord réchauffés par le gaz naturel entrant dans la chambre de combustion (position 3 ) jusqu'à une température de 370-420°C, ensuite réduits dans le réacteur (position 2) ,et la concentration des vapeurs nitreuses (NO,NO2) passe à 0,00-0,004%.Les réactions qui ont eu lieu sont :



Les gaz sont ensuite détendus dans la turbine accouplée aux compresseurs (position 6) .

La turbine est utilisée pour la commande de la soufflante à air et pour fournir l'énergie en excès à l'aide d'une génératrice placée sur le même axe .

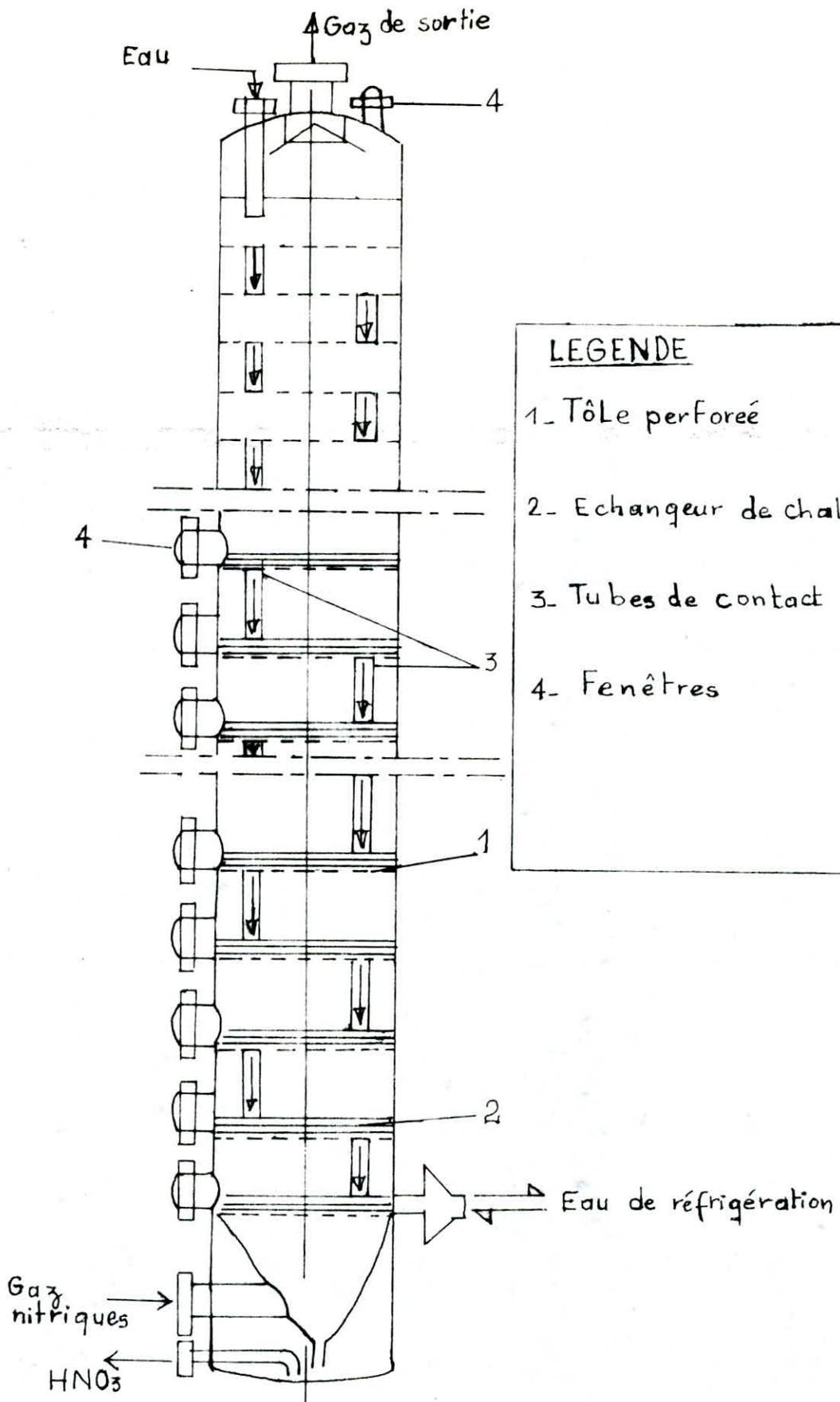


Fig. 6. - COLONNE D'ABSORPTION.

C. COLLECTE ,SYSTEMATISATION ET DEVELOPPEMENT DES DONNEES EXPERIMENTALES :

L'analyse complète de la fiabilité de l'installation de l'acide nitrique n'est possible que si l'on dispose d'informations suffisantes concernant le refus des éléments et des conditions dans lesquelles ils apparaissent .

D'abord ,on collecte au cours de l'exploitation toutes les données concernant le refus des éléments ,après on fait une systématisation à ces dernières ,tout en utilisant un système de codage pour les différents états de fonctionnement .

Le système de codage des différents états de fonctionnement est le suivant :

- 1 :Mise en marche
- 2 :Fonctionnement normal
- 3 :Usure
- 4 :Refus
- 5 :Réparation .

Les données ainsi systématisées seront représentées dans une matrice (F) ,voir Annexe ,dans les dimensions sont : ( (1.5) , ( 1.K) ).

Où :K-le nombre de changements d'état pendant la durée de surveillance .

L'exemple d'une matrice ,est représenté dans le tableau suivant .

N°	Année	Mois	Date	Heure	Code
1	1983	3	19	0	1
2	1983	3	22	17	3
3	1983	3	23	1	1
⋮					
114	1985	4	18	16	4
115	1985	4	17	21	1

TAB. 1 CARACTERISTIQUES DE LA FIABILITÉ DES PRINCIPAUX ELEMENTS  
DE L'INSTALLATION DE FABRICATION DE L'ACIDE NITRIQUE  
(Pour deux chaînes technologiques (1) et (2))

N°	CARACTERISTIQUES DE LA FIABILITÉ	Grandeurs	ELEMENT DE L'INSTALLATION					
			Agrégat-A (1)	Agrégat-A (2)	Convertisseur (1)	Convertisseur (2)	Colonne d'absorpt (1)	Colonne d'absorpt (2)
1	Temps de calendrier de surveillance	h	4960	5143	5238	5145	9440	5725
2	Nombre de refus	-	13	24	11	5	0	0
3	Nombre de réparations planifiées	-	4	2	5	8	5	4
4	Temps total de fonctionnement	h	2887	3107	2934	2773	5271	3628
5	Temps d'arrêts	h	1287	1480	1169	929	1672	1813
6	Temps des réparations planifiées	h	316	17	821	1347	2497	584
7	Temps moyen de fonctionnement sans arrêt	h	103,1	94,2	108	86,7	87	76
8	Temps moyen de fonctionnement sans refus	h	222,1	129,4	226,7	554,6	4281	4680
9	Temps moyen de réparation	h	36,2	24,5	28,5	19,2	8	0
10	Coefficient d'utilisation technique	-	0,786	0,837	0,721	0,658	0,680	0,860
11	Coefficient d'utilisation de l'appareillage	-	0,582	0,604	0,860	0,539	0,560	0,630
12	Coefficient d'aptitude de l'installation	-	0,860	0,841	0,903	0,966	1,0	1,0
13	Intensité de refus	h <sup>-1</sup>	0,145 · 10 <sup>-2</sup>	0,171 · 10 <sup>-2</sup>	0,127 · 10 <sup>-2</sup>	0,118 · 10 <sup>-2</sup>	0,12 · 10 <sup>-3</sup>	0,12 · 10 <sup>-3</sup>

Les données statistiques représentées dans la matrice (F) seront utilisées pour le calcul des valeurs des caractéristiques de la fiabilité de l'unité, pour la détermination des lois de diffusion du temps de fonctionnement sans refus, et celui de la réparation des éléments de l'installation.

La forme et les paramètres des lois de diffusion permettent de prévoir les moments pendant lesquels les refus d'éléments apparaissent, ainsi que le temps nécessaire pour le rétablissement de chaque appareil, donc ça permettra de savoir l'ensemble des mesures qu'il faut prendre pour empêcher l'apparition ou la propagation d'une ou de plusieurs pannes (réparations prophylactiques).

#### D. VERIFICATION DE L'EQUIVALENCE DE LA LOI DE DIFFUSION DU TEMPS DE BON FONCTIONNEMENT ET DU TEMPS DE REPARATION DE L'INSTALLATION :

Le pronostic des temps d'apparition des refus, qui sont des valeurs aléatoires ainsi que l'estimation des temps nécessaires pour le rétablissement des éléments de l'installation, nécessitent la connaissance des lois de diffusion de ces variables.

Deux méthodes seront utilisées pour la détermination de la loi de diffusion.

- Méthode analytique ;
- Méthode graphique .

La méthode analytique consiste à déterminer les coefficients  $\beta_1$  et  $\beta_2$  qui permettent de connaître les paramètres et la loi de diffusion.

$$\beta_1 = \frac{m_1}{D^3}$$

$$\beta_2 = \frac{m_2}{D^2}$$

Où :

$$m_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N-V} (t_i - \bar{t})^3}{N - V}$$

$$m_2 = \frac{\sum_{i=1}^{N-V} (t_i - \bar{t})^4}{\sum_{i=1}^{N-V} (t_i - \bar{t})^2}$$

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{N-V} (t_i - \bar{t})^2}{N - V}$$

$\bar{t}$  - moyenne arithmétique des valeurs aléatoires ( $m_{tb}$  ou  $m_{tp}$ ) .

$t_i = t_{pi}$  ou  $t_{bi}$  selon le cas .

$N$  - Nombre de surveillance

$V$  - <sup>Nombre de</sup> Valeurs extrêmes de  $t$  .

TAB.2 COMPARAISON ENTRE LES PARAMETRES DES LOIS DISTRIBUTION DU TEMPS DE FONCTIONNEMENT SANS REFUS ET CEUX DU TEMPS DE REPARATION POUR LES ANNEES 1984 et 1983 A L'AIDE DES COEFFICIENTS  $\beta_1$  et  $\beta_2$

Année	ELEMENT DE L'INSTALLATION	chaîne technologique	Coefficients			
			pour mtp		pour mtb	
			$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_1$	$\beta_2$
1983	Convertisseur	1	6,99	10,20	0,53	2,53
		2	1,70	3,70	1,03	3,40
	Agrégat-A	1	1,01	2,60	0,76	2,68
		2	1,44	3,90	0,78	2,78
1984	Agrégat A	2	1,81	2,95	1,02	3,36
		1	0,98	2,24	2,53	4,05
	Convertisseur	1	0,47	2,19	0,43	1,70
		2	0,29	1,73	0,25	1,83

## CHAPITRE III. ANALYSE DE LA FIABILITE DE L'INSTALLATION

### DE L'ACIDE NITRIQUE

En comparant les différentes méthodes d'analyse de la fiabilité de systèmes de technologie <sup>chimique</sup>, citées au chapitre I, on peut choisir comme méthode principale celle qui est basée sur la construction de l'arbre de refus.

En respectant toutes les dispositions, données dans le chapitre II, on'a élaboré un programme permettant l'analyse de la fiabilité de l'installation de fabrication de l'acide nitrique.

#### A. ANALYSE DE LA FIABILITE DE L'INSTALLATION DE L'ACIDE NITRIQUE :

L'analyse des données statistiques concernant le refus des différents appareils de l'installation est accompagnée d'une analyse systématique de la topologie technologique et d'une identification de la suite des événements qui provoquent le refus d'un élément donné, d'un nœud ou d'un de l'ensemble de l'installation. Une telle information ainsi que la connaissance de la technologie en présence, permettant d'avoir des indications sur les différents mises en marche et arrêts de l'installation.

L'analyse qualitative de la fiabilité ne peut être effectuée qu'une fois la construction de l'arbre achevée.

#### B. BASES ESSENTIELLES POUR LE CHOIX DE L'ARBRE DE REFUS PRINCIPAL DE L'INSTALLATION :

En pratique on abaisse la fiabilité des systèmes, du fait qu'on élargit sans cesse le champs des fonctions confiées par le système de commande : Il y'a croissance du nombre d'éléments qui a pour but une utilisation plus rationnelle d'énergie et des produits secondaires.

Dans l'unité de fabrication de l'acide nitrique le refus de n'importe quel élément provoque le refus de toute l'installation, à l'exception de ceux du nœud de la purification catalytique et des chaudières de récupération.

Les informations citées ci-dessus ,avec d'autres informations complémentaires (données statistiques des différents refus )sont les bases essentielles pour la construction de l'arbre de toute l'installation .

D'abord ,il faut construire l'arbre de refus pour chaque appareil du système en prenant en considération l'influence mutuelle entre les différents pannes et l'influence de l'environnement sur le fonctionnement .

Les causes de refus du système d-ûes à ceux des ateliers qui l'entourent ,sont : Variation de la pression dans la canalisation du gaz naturel,débranchement du courant électrique ,coupure du courant de l'ammoniacque liquide .

La production peut être interrompue à cause d'une mauvaise organisation :Retard dans la fourniture de pièces de rechange ,insuffisance de la capacité de stockage du produit fini (HNO<sub>3</sub> ) ;Parfois l'agrégat est mis en marche sans branchement des éléments de filtration ,et ceci provoque la contamination du catalyseur dans le convertisseur .

La construction de l'arbre de refus pour chaque app-areil à pannes fréquentes , sera faite en prenant en considération tout ce qui a été dit ci-dessus .Par contre , les appareils pour lesquels on'a pas observé de pannes entre les réparations planifiées ne nécessitent pas une analyse de fiabilité .

L'arbre de refus du convertisseur et de l'agrégat-A sont représentés respectivement par :Fig.8.et.9. ;alors que leur tableau de correspondance entre les sommets et les causes de refus sont respectivement représentés par :T-AB.3.et.4.

En tenant compte de l'influence des pannes des différents appareils sur l'apparition du refus principal ,on'a construit l'arbre de refus de toute l'installation;

Ce dernier permet d'estimer tous les chemins possibles amenant au refus principal ainsi que la région de la propagation de chaque panne avant de planifier une éventuelle élimination ; d'autre part, il permet de connaître les événements causant l'apparition des refus secondaires. [6,7]

Etant donné l'élevation de la pression, la complexité de la structure des nœuds principaux ainsi que l'utilisation de produits toxiques et explosifs, plusieurs systèmes de blocage ont été utilisés afin d'éviter la propagation d'une éventuelle panne.

Par exemple, pour l'agrégat-A, pour le convertisseur et pour le mélangeur on'a utilisé respectivement dix, deux et trois systèmes de blocage.

On peut conclure que dans le cas de l'installation de fabrication de l'acide nitrique où apparaissent des refus provoquant l'arrêt de la production, la diminution de la qualité de  $HNO_3$  n'est due qu'aux fréquents arrêts et mises en marche du système, rencontrés. C'est pour cette raison qu'on choisira comme refus principal, celui qui provoque l'arrêt de la production. Dans ce cas on doit obéir aux exigences nécessaires pour le choix du refus principal et de ceux qui le précèdent.

## C. CONSTRUCTION DES ARBRES DE REFUS DES PRINCIPAUX APPAREILS ET DE TOUTE

### L'INSTALLATION :

Conformément à la description de la méthode de construction de l'arbre de refus, donnée dans le chapitre I, on collecte toutes les informations nécessaires pour la construction de l'arbre de refus de toute l'installation.

#### C.1. Informations sur l'armement :

L'étude du procédé utilisé montre que les refus principaux, fréquemment rencontrés, sont ceux du convertisseur et de l'agrégat-A.

C.2. Informations sur la topologie technologique et le bon fonctionnement de l'installation : Caractéristiques principales des courants ; pression, température, rendement ...

Les tableaux des caractéristiques principales des courants, correspondants au régime normal de fonctionnement de l'installation, sont données ci-après.

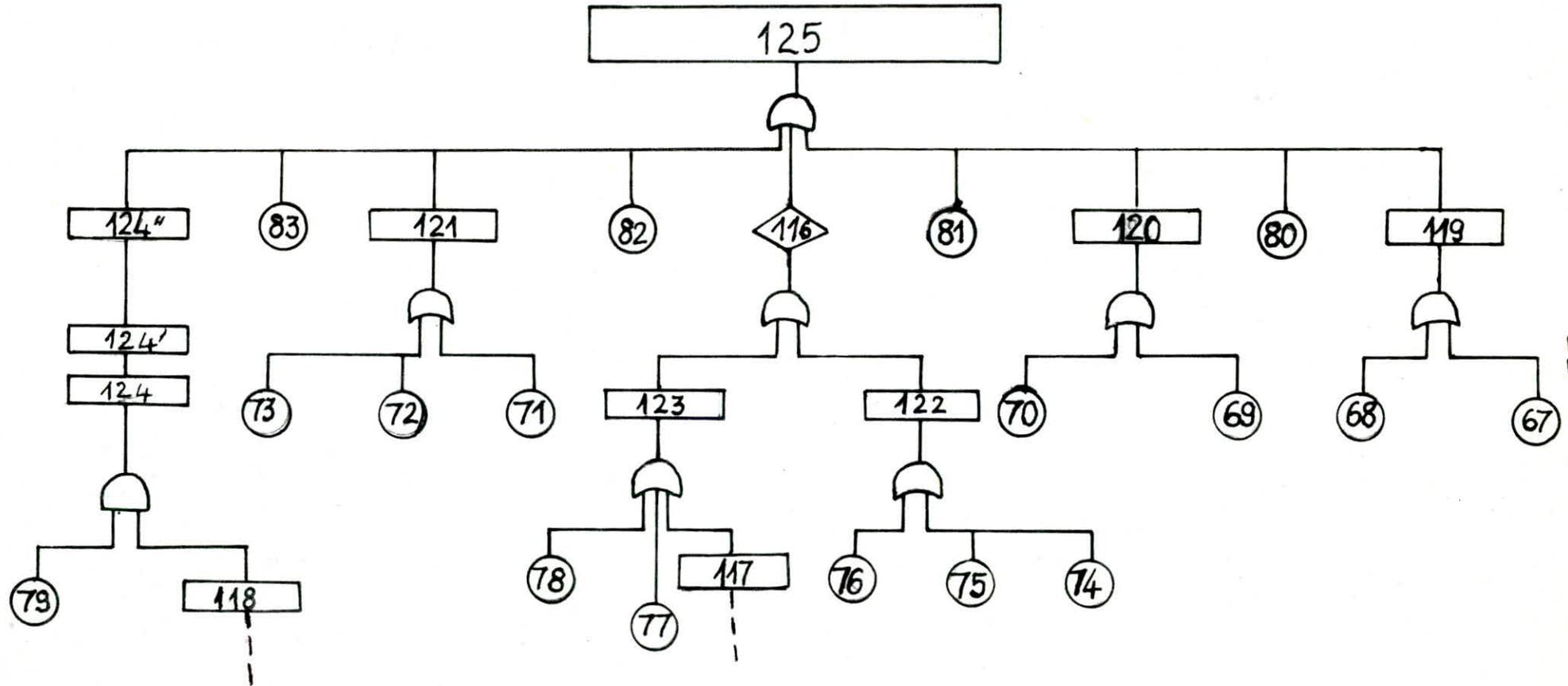
C.2.1. Rendement :

	Rendement de l'ammoniaque (en %)
à la sortie de l'appareil d'oxydation	96
à la sortie de la colonne d'absorption	99
total	95

C.2.2. Température :

	Température
d'ébullition de l'ammoniaque	50°C
à la sortie de l'échangeur	135 - 250° C
à la sortie de l'évaporateur de l'ammoniaque	100 - 110°C
du mélange NH <sub>3</sub> -air, dans le convertisseur	890 - 900°C
du mélange à l'entrée du convertisseur	190 - 250°C
des gaz nitriques à la sortie de l'appareil d'oxydation	335 °C
des gaz de sortie	50°C
à l'entrée de la turbine	700°C
à la sortie du réacteur	730°C
à l'entrée du réacteur	390°C

Fig. 9. ARBRE DE REFUS  
DU CONVERTISSEUR.



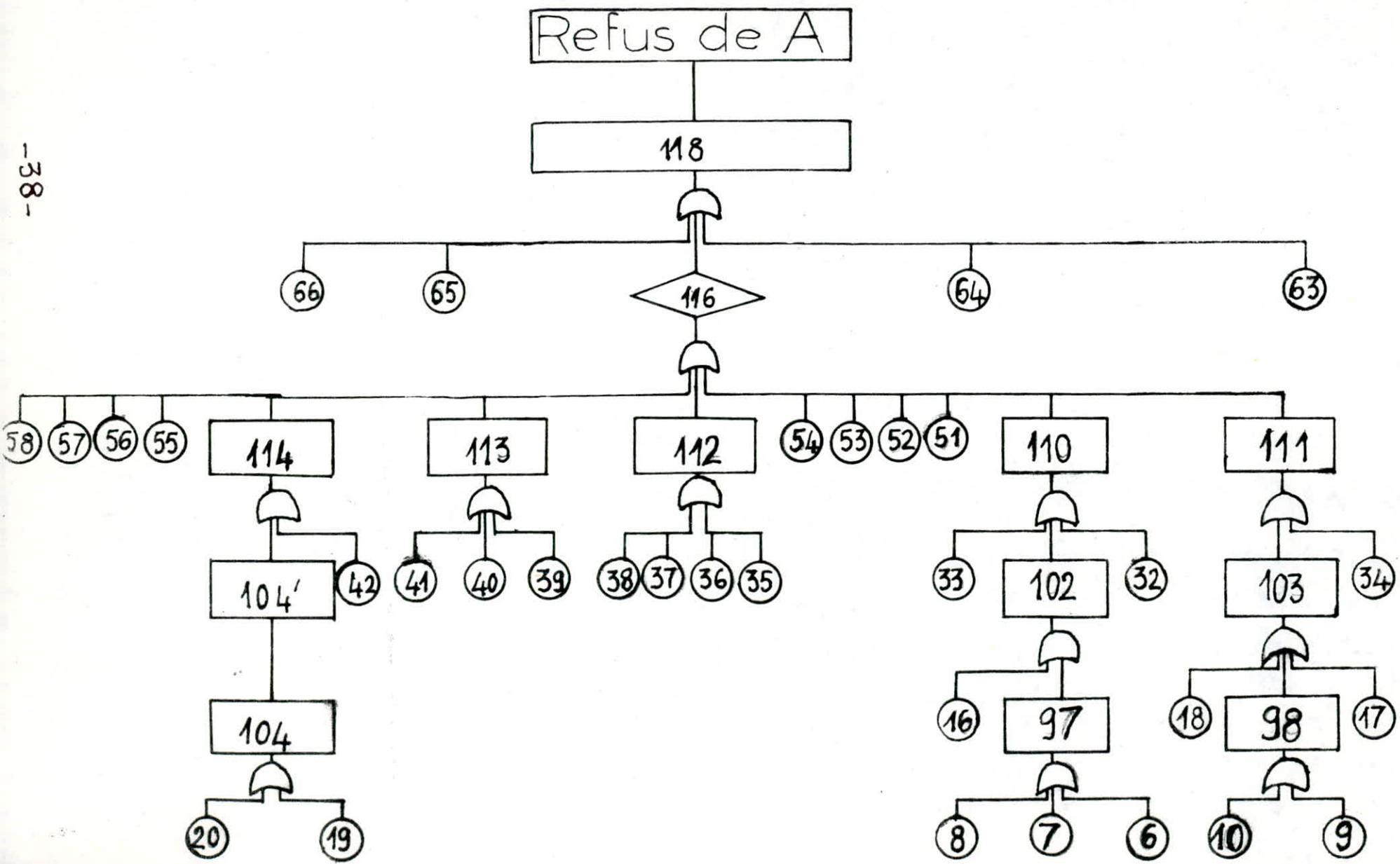
TAB . 3 . Correspondance entre les sommets de l'arbre et les causes de refus du convertisseur

Numéro du sommet de l'arbre	Causes de refus du convertisseur
79	Vanne d'air bloquée
118	Refus de la turbine à gaz de l'agrégat-A
77	Refus de l'évaporateur de l'ammoniaque
78	Refus du régulateur de mélange (NH <sub>3</sub> /air)
117	Refus de l'agrégat-A
76	Elévation de température à l'entrée du convertisseur
75	Augmentation du pourcentage de l'ammoniaque dans le mélangeur
74	Refus du thermocouple
119	Encombrement dans les tubes du filtre de mélange
67	Branchement du convertisseur sans branchement des éléments de filtration dans le mélangeur
73	Refus de l'échangeur de chaleur (Position 15)
72	Apparition de l'ammoniaque liquide dans le convertisseur
71	Diminution de la pression de l'ammoniaque gazeux
83	Arrêt manuel du convertisseur à cause d'une vanne bloquée
80	Refus du mélangeur
82	Coupure du courant de l'hydrogène
124	Entraînement du catalyseur avec le courant du gaz
124	Perforation des tôiles du catalyseur
124	Allumage du mélange NH <sub>3</sub> -air

123	Changement de la proportion de débits ( $\text{NH}_3$ /air)
122	Elévation de la température au niveau des toiles du catalyseur
119	Blocage de la vanne de la canalisation du mélange
76	Elévation de température dans le mélangeur
125	Refus du convertisseur

---

Fig. 8.\_ ARBRE DE REFUS DE L'AGREGAT-A.



-38-

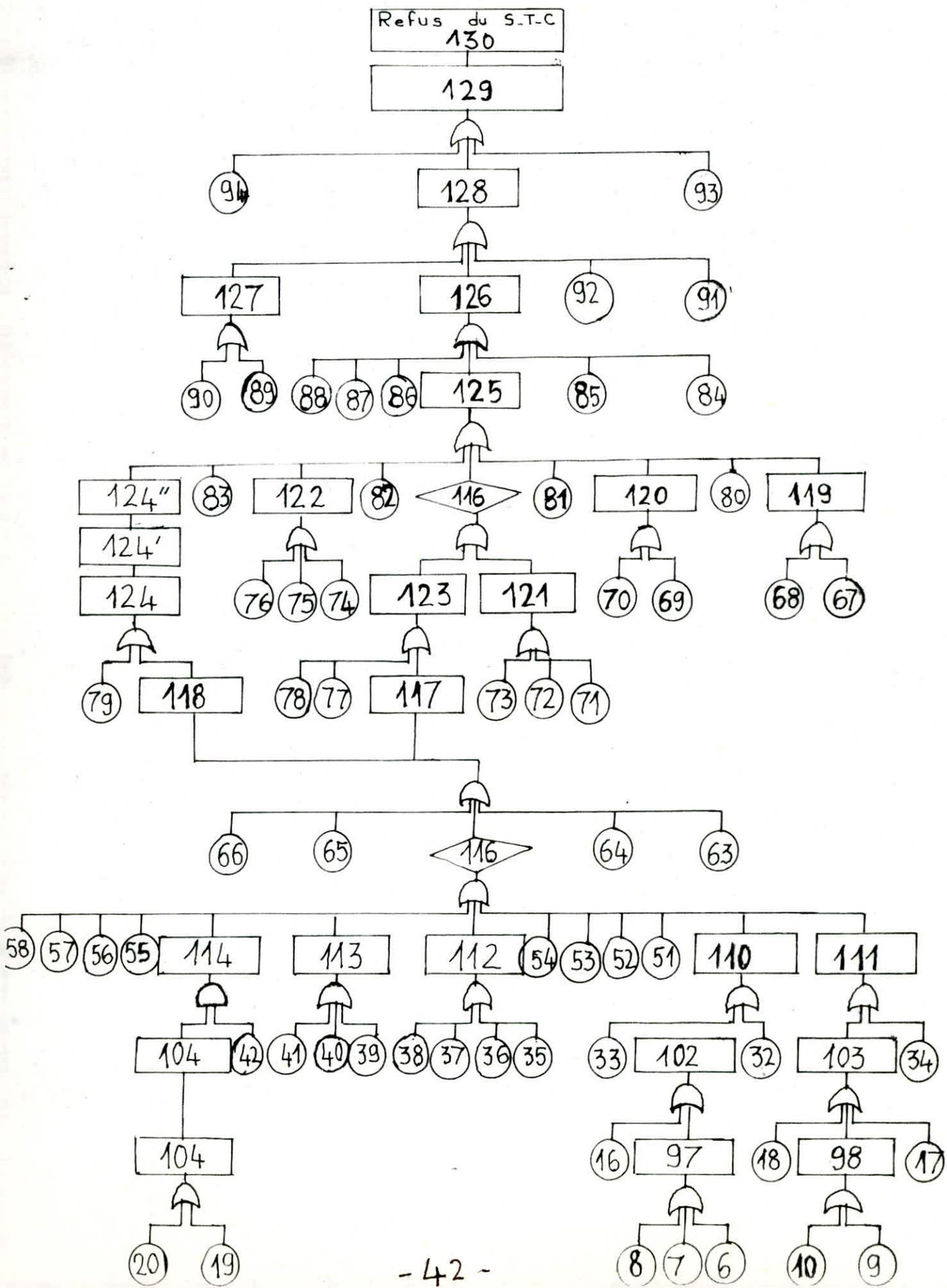
TAB. 4. Correspondance entre les sommets de l'arbre et les causes principales du refus de l'agrégat-A

Numéro du sommet de l'arbre	Causes de refus de l'agrégat-A
118	Manque d'air
66	Apparition de fissures dans la carrosserie de l'agrégat-A
65	Refus du système de blocage de l'agrégat-A
63	Réparations planifiées
64	Ordonnance du chef d'atelier
56	Autres causes d'automatisation
55	Refus de la chambre de combustion de la turbine
113	Extinction de la flamme de la chambre de combustion de la turbine
52	Refus de la chambre de combustion du réacteur
54	Echappement du gaz au niveau de la chambre de combustion du réacteur
53	Augmentation de la température de l'huile dans le système de blocage
57	Changement de la proportion de débits (ME3-air)
51	Augmentation de la température au niveau des roulements de l'agrégat-A
41	Diminution de la pression du gaz naturel
40	Echappement du gaz naturel à travers les vannes
39	Extinction de la flamme de la chambre de combustion à cause de la présence d'une <sup>grande</sup> quantité (débit) dans la zone de flamme

58	Coupure d'eau dans le réfrigérant à eau de l'agrégat-A
114	Déplacement axial de la turbine
112	Extinction de la flamme de la chambre de combustion du réacteur
104	Augmentation du nombre de tours de la turbine
72	Vibration de l'agrégat-A
38	Apparition d'une grande quantité (débit) de gaz de sortie
37	Diminution de la pression dans la conduite du gaz naturel
36	Refus du système de régulation de la chambre de combus- tion du réacteur
35	Inflammation du gaz naturel
104	Coupure du courant fluide nécessaire pour le pompage de la turbine
20	Refus de la chaîne de régulation de pression de la canali- tion DU gaz purifiée
19	Corrosion de la chambre de combustion du réacteur
110	Température à l'entrée de la turbine supérieure à 705°C
111	Diminution de la température du gaz à la sortie de la chambre de combustion de la turbine
102	Elévation de la température des gaz restants à la sortie du réacteur
32	Echappement du gaz au niveau de la chambre de combustion du réacteur
34	COUpure d'eau de réfrigération dans l'installation
103	Permutation des phases (branchement par défaut )

97	Augmentation de la concentration d'oxygène dans les gaz résiduaire à la sortie de la colonne d'absorption
16	Augmentation du débit de gaz naturel à l'entrée du réacteur
18	Coupure DU courant électrique
98	Court-circuit entre le fil conducteur et la terre
17	Irrégularité dans la mise en marche de l'installation
7	Diminution du degré de conversion de l'ammoniac
6	Diminution du pourcentage en ammoniac dans le mélange NH <sub>3</sub> -air
9	Défaillance de l'isolation thermique
10	Court-circuit (contact par défaut)
8	Refus de la chaîne de régulation de débit de l'air

g. 10. - ARBRE DE REFUS DE L'ENSEMBLE DU S-T-S.



. Correspondance entre les sommets de l'arbre et les causes principales de la colonne d'absorption .

Numéro du sommet  
de l'arbre

---

Causes de refus de la co-lonne d'absorption

88	Refus de l'appareillage de mesure et de contrôle
87	Refus de la chaîne de régulation de niveau
86	Branchement du système de blocage (augmentation de la température dans dans le convertisseur )
125	Refus du convertisseur
85	Cou <sup>x</sup> pure du courant d'eau
84	Ecom <sup>n</sup> lement dans les tubes du con vertisseur
126	Coupure du courant de la vapeur d'eau
90	Coupure d'eau de réfrigération
89	coupure d'eau d'arrosage
127	Elévation de température dans la colonne d'absorption
91	Augmentation du niveau d'eau dans la colonne
92	manque d'air
94	Diminution de la température de l'acide nitrique
128	REfus de la colonne d'absorption
93	Refus de la de régulation de niveau dans la colonne d'absorption
129	Refus de la colonne de purific-ation
130	Refus de toute l'installation

#### D. ELABORATION DU PROGRAMME DE CALCUL DES CARACTERISTIQUES DE LA FIABILITE:

La réalisation d'une analyse quantitative de la fiabilité à l'aide de l'arbre de refus déjà élaboré, nécessite au préalable une estimation quantitative des refus primaires des différents éléments. Pour cela, on'a élaboré et utilisé un programme permettant le calcul des caractéristiques de la fiabilité. [8,9]

L'essentiel de cette approche se résume au codage de chaque refus dépendant de la cause qui l'a provoquée.

La figure . 11. montre en détails les différents changements d'état d'un élément quelconque de l'installation.

1- Détermination du temps d'apparition du refus primaire (4-1)

2 -Somme des temps de fonctionnement sans refus ( $\sum_{i=1}^n t_{pi}$ )

3-Vérification de l'égalité du code du refus secondaire avec celui du refus primaire.

4- Dans le cas où l'égalité n'est pas vérifiée, on effectue la somme des  $t_{pi}$  mise à part le temps pendant lequel l'élément se trouve dans l'état de type 2,3,5.

5- Par contre si l'égalité est vérifiée, alors :

$$\sum_{i=1}^n t_{pi} = t_3$$

où  $t_3$  est le temps de fonctionnement sans refus selon la cause

-47-

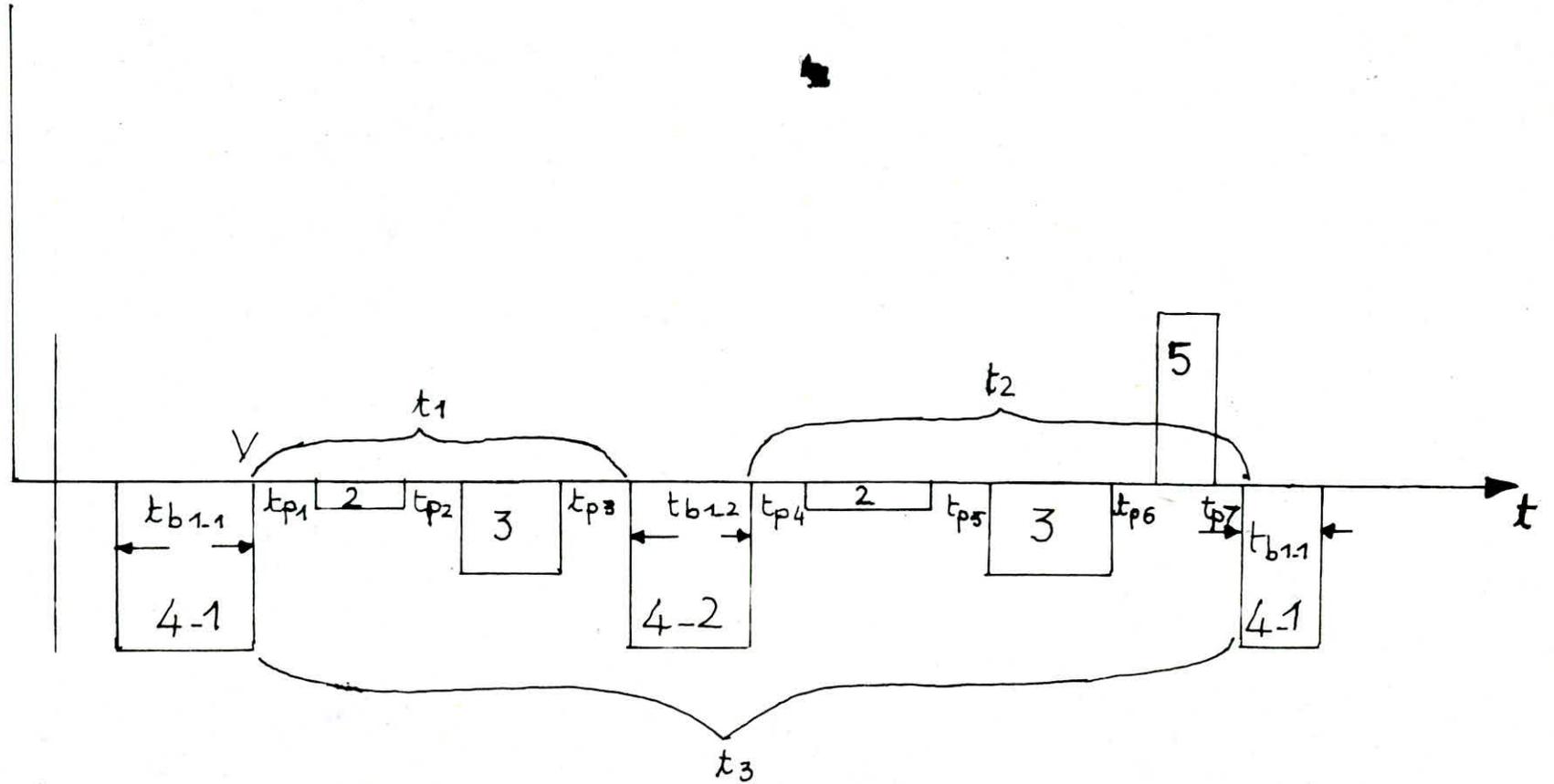


Fig.11. DIAGRAMME DES DIFFERENTS CHANGEMENTS D'ETAT D'UN ELEMENT QUELCONQUE DU S.T.C.

E. DESCRIPTION DES PARAMETRES DU PROGRAMME :

V -temps de bon fonctionnement de l'installation

U1 -temps de réparations

U2 -temps de fonctionnement sans refus

F( 1:K ,1;5 ) -matrice de changement d'état

CF( 1:1 ) -Code des refus primaires

M -Code maximum

R -M + 1

NR = Somme de tous les états

XR = Somme desx temps de passage dans les différents états

K = Nombre de changement d'états pendant la période de surveillance

L = Nombre de refus

NC = Nombre de causes de refus

D' = Temps moyen de réparation

D1' = Temps moyen de fonctionnement sans refus

D = Intensité des réparations

D1 = Intensité de refus

T = Compteur de refus

M = identificateur du de réparations

G = Identificateur du de fonctionnement

Q , V = Compteurs

\* Informations d'entrée :

1 -Coefficients K ,L,NC ,R

2 - Coefficients  $F, Z, CF$

3 - Fautes dans l'information

4 - Sortie :  $D, L$  et  $J, T$

5 - Matrice initiale  $F$  avec :  $N(M), X(M), T, X(R), J, K$

6 - Sortie des résultats :

-  $N(4)$  = Nombre de refus des éléments de l'installation pendant la période  
de surveillance

-  $G$  = Nombre de réparations planifiées

-  $X(1)$  = Temps total de fonctionnement (h)

-  $X(3)$  = Temps d'arrêt (h)

-  $G'$  = Temps de réparations planifiées (h)

-  $S(1)$  = Temps moyen de fonctionnement sans arrêt (h)

-  $S(2)$  = Temps moyen de réparations (h)

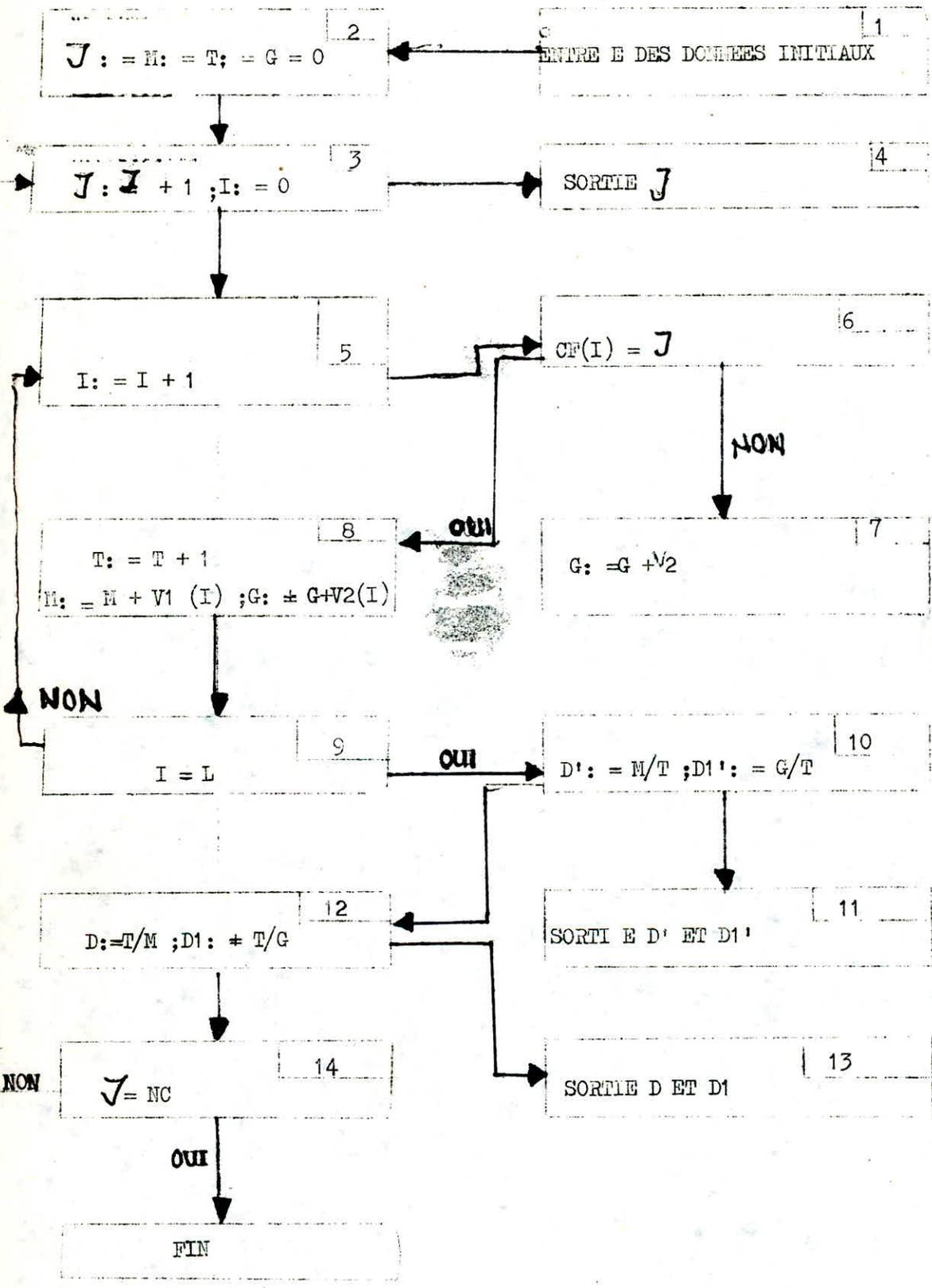
-  $S(5)$  = Coefficient d'utilisation technique

-  $S(8)$  = Coefficient d'utilisation de l'appareillage

-  $S(6)$  = Coefficient d'aptitude de l'appareillage

-  $S(7)$  = Intensité de refus des éléments de l'installation :

Fig. 12. SCHEMA BLOC DU PROGRAMME



## CHAPITRE V .RECOMMANDATIONS ORGANISATIONNELLES ET TECHNIQUES .

L'étape finale de l'étude de la fiabilité consiste à l'élaboration des recommandations organisationnelles pour l'augmentation du niveau de la fiabilité ,c'est à dire assurer une diminution du nombre de pannes ,ce qui signifie encore une ~~augmentation~~ de la production de l'acide nitrique .

En analysant la fiabilité de l'installation on'a constaté que l'agrégat-A avait la plus grande intensité de refus .Les refus principaux de ce dernier sont :L'extinction de la flamme dans la chambre de combustion de la turbine (23 refus pendant le temps de surveillance ) et l'arrêt de la turbine à gaz .Les causes de l'apparition de ces refus sont : L'instabilité de la pression du gaz naturel qui rentre dans la chambre de combustion de la turbine et celle de la température et de la pression des gaz résiduaux rentrant dans la même chambre .

La fiabilité des systèmes dépend étroitement de l'organisation des réparations préventives ,ces dernières prolongent la durée de vie de l'appareillage utilisé physiquement et augmentent le délai de son fonctionnement .

L'analyse des différents changements des caractéristiques de la fiabilité montre une irrégularité dans les réparations ;ceci est dû au fait qu'elles ne réalisent pas dans les délais prévus ,et c'est pour cette raison qu'on élabore un système de périodicité pour les réparations planifiées préventives (RPP) :

- a/ Période entre deux réparations courantes -4 320heures ;durée de réparation -120 heures
- b/ Période entre deux réparations générales -69 120 heures ;durée de réparation -600heures
- c/Période entre deux réparations moyennes -8 640heures ;durée de réparation -360 heures .

La réparation qui n'est pas réalisée dans les délais voulus (manque de pièces de rechange par exemple ) ,est souvent l'une des raisons principales de l'arrêt du fonctionnement de l'installation .Ce dernier est souvent le résultat :

-D'une irrégularité dans l'importation des filtres (fig 2 ,position 13)

-D'un manque de toiles de platine (fig 2 ,position 18 )

Dans le but d'éliminer ces causes ,on doit assurer une décharge régulière de l'acide nitrique produite ,respecter les normes technologiques qui assurent un bon fonctionnement et éviter le retard dans la fourniture des pièces de rechange .

L'implantation des recommandations citées ci-avant permettra de minimiser le temps d'arrêt de l'agrégat-A et du convertisseur ,respectivement à 300 et 250 heures.

Pour la chaine N<sup>o</sup>1 ,le temps des arrêts non planifiés pour l'année 1984 sera diminué de 934 à 400 heures .D'où l'augmentation du niveau de la fiabilité .

#### CHAPITRE IV .IMPACT ECONOMIQUE .

L'etude de la fiabilité de l'installation de l'acide nitrique pour la période allant de Janvier 1983 à Décembre 1984 ,montre que pour cette dernière année ; 15 % de la production planifiée n'était pas réalisée ,durant cette période la chaine technologique N° 1 été arrêtée 30 fois ,le temps d'arrêts était de 700 heures et ~~pour une~~ même réparation planifiée préventive s'associent neuf autres non planifiées .

La recommandation pour l'augmentation du niveau de la fiabilité ,proposée dans le présent projet permettra d'augmenter la productivité de 7 % .

L'augmentation du volume de la production provoquera la diminution du prix de revient de la production ,et par conséquent une baisse des dépenses conditionnelles constantes .

Les dépenses conditionnelles constantes dans le cas étudié représentent 20 % du prix de revient .Pour cette raison la diminution du prix de revient sera de :

$$\frac{7 \cdot 20}{100 + 20} = \frac{140}{120} = 1,16 \%$$

Le prix de revient de l'acide nitrique (prix unitaire )est égale à 33,6 \$ ; et la diminution sera de :  $\Delta C = 0,42 \$$  !

La collecte et le traitement de l'information ,la construction des arbres de refus et l'élaboration des recommandations organisationnelles de l'installation nécessitent uniquement la présence de deux ingénieurs spécialisés ,ce qui représente une somme d'environ 10 000 \$/année pour le compte de la recherche scientifique .

Le calcul du facteur économique annuel des recommandations proposées pour l'augmentation du niveau de la fiabilité se fait à partir de la formule suivante

$$E = \Delta C.M - C.K$$

où : M -capacité de l'installation (190 000 t / h)

K-investissement ( capital )

C-coefficient (0,12)

$$E = 0,42 \times 190\ 000 - 0,12.4800 = 79\ 222 \$ .$$

- - CONCLUSION - -

L'accroissement de la puissance des unités technologiques et le passage à l'automatisation pose la question de la fiabilité .

Actuellement on utilise tous les moyens pour optimiser le niveau de la fiabilité et par conséquent diminuer le prix de revient de la production .

Dans l'étude de la fiabilité de l'installation de l'acide nitrique ,on'a collecté les informations concernant les <sup>refus</sup> des éléments ,pour la période allant de Janvier 1983 à Décembre 1984 et à partir de ces dernières ,on'a pu construire les arbres de refus pour les principaux éléments de l'installatiion et par suite élaborer le programme permettant le calcul des caractéristiques de la fiabilité.

L'analyse des résultats obtenus à l'aide du programme montre que les conséquences économiques des arrêts de fonctionnement sont plus grandes pour l'agrégat-A et le convertisseur ,pour éviter cela on'a prévu des réparations planifiées .

Les recommandations organisationnelles et techniques ont permis de minimiser le temps d'arrêt de 50 % et d'obtenir un effet économique de 80 000 \$/ année pour une chaîne technologique ,soit 240 000 \$/ année pour l'ensemble de l'installation qui en compte six .

- BIBLIOGRAPHIE -

- [ 1 ] D .Douchanov "Modélisation des systèmes complexes de technologie chimique à l'aide des calculateurs électroniques " .Les problèmes contemporains de l'industrie chimique ,Pub .N 36 ,pp 3-23 ,Moscou ,1976 .
- [ 2 ] D.Douchanov ,S.E.Chitour ,F.Hannane ,2 nd Méditerranian congress of chemical engineering "The use of topological method for the energy optimisation " , 25-27 Novembre ,Barcelona ,1981 .
- [ 3 ] D.Douchanov ,V.Kafarov ,Journal "Chimie et industrie " ,XIV ,vol N 2 6 , Sofia 1973 .
- [ 4 ] B .Atrochenko ,C .Kargin "Technologie de l'acide nitrique" ,pp.207'-219 , Moscou,1970 .
- [ 5 ] K .Winnacker ,L .Kuchler ,"Technologie minérale ,pp .313-346 ,Ed Eyrolles , Paris ,1970 .
- [ 6 ] G .Powers ,F .Tomkins ,"In fault tree synthesis for chemical processis " , Aiche journal ,1974 ,20 ;N 2 ,pp.376-387 .
- [ 7 ] R.G.Bennetts ,"On the analysis of fault trees " ,IEEE Trans on reliability , vol ,2-24 ,N 3 ,August 1975 .
- [ 8 ] T .Gelev ,G.Boiadjiew "The problem of the optimum synthesis of heat exchanger systems " ,Hyngarian journal of industrial chimestry ,vol .12,pp.15 - 21 (1984) ,Vesprem .
- [ 9 ] R .Faure ,précis de recherche opérationnelle ,pp.133-164 ,Ed Dunod ,Paris,1979.

