

R. VOGIN

Proposition et justification de méthodes pratiques pour la détermination de la fiabilité de systèmes complexes

Revue de statistique appliquée, tome 26, n° 2 (1978), p. 73-84

http://www.numdam.org/item?id=RSA_1978__26_2_73_0

© Société française de statistique, 1978, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « *Revue de statistique appliquée* » (<http://www.sfds.asso.fr/publicat/rsa.htm>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

PROPOSITION ET JUSTIFICATION DE MÉTHODES PRATIQUES POUR LA DÉTERMINATION DE LA FIABILITÉ DE SYSTÈMES COMPLEXES

R. VOGIN

Docteur de spécialité en physique

Fiabiliste au département

Contrôle Qualité de la SEP Vernon

RESUME

L'article propose l'établissement de blocs diagrammes de fiabilité adaptés aux grands systèmes hétérogènes (mécanique + électronique) dont la configuration évolue au cours de la mission. L'introduction de la décomposition d'un organe en plusieurs blocs (pseudo-composants regroupant des états ou des modes de défaillance de l'organe réel) permet, grâce à l'utilisation de la notion de fonction de structure (2), le calcul de la fiabilité de tout le système à l'aide d'un seul diagramme pour une mission donnée.

Nous justifions les différentes décompositions que nous utilisons (en mode ou dans le temps) dans cette méthode qui permet ainsi de s'affranchir au mieux du problème de l'évolution de la configuration au cours du temps (série-parallèle), de tenir compte des cas où une partie des modes de défaillance d'un organe est en série dans le système alors que *simultanément* d'autres modes du même organe sont protégés (redondance partielle de deux diodes en série par exemple vis-à-vis d'une panne par court-circuit), de décorréler des modes de défaillance qui semblent corrélés a priori et d'éviter des erreurs dues à l'accomplissement simultané de plusieurs fonctions par un même organe (présence multiple du même composant dans le diagramme).

1. INTRODUCTION

La fiabilité d'un matériel est définie en théorie par une probabilité (de bon fonctionnement) et se présente donc a priori comme un chiffre.

En fait, la fiabilité ne doit pas être prise uniquement comme un chiffre mais doit être entendue comme *l'ensemble des méthodes permettant d'approcher le chiffre optimal* (et non maximum) qui peut, lui, être obtenu et imposé comme une spécification et sera déterminé à partir de critères multiples (coûts, délais, effet psychologique, sécurité. . .).

La fiabilité se construit tout au long du projet. Elle débute par le choix d'une configuration optimale de l'ensemble, d'une part, et de chacun des organes, d'autre part. Ceci s'établit respectivement par un diagramme de fiabilité et par l'analyse des modes de défaillance.

Ces deux étapes doivent être concrétisées par une évaluation prévisionnelle qui sert de guide pour la sélection des actions selon leur priorité (renforcement de contrôles, modifications. . .) afin de répartir au mieux la fiabilité.

Or, ce que nous trouvons le plus souvent dans la littérature, ce sont des théories permettant de calculer une valeur de fiabilité à partir de diagrammes ou de réseaux *que l'on suppose* représentatifs du système étudié.

En réalité, les diagrammes de départ sont en général fictifs ou bien choisis. Les éléments ne sont pas aussi simplement en série ou en parallèle que le laisse supposer un schéma de *fonctionnement*.

Tout calcul de probabilité, pour être réaliste, doit avant tout être basé sur une description des faits la plus juste possible. La détermination de la fiabilité des systèmes s'appuie généralement sur des diagrammes qui s'inspirent des diagrammes de fonctionnement mais ne doivent pas en être. Ce sont ces diagrammes qui décrivent les faits, et le fiabiliste est alors confronté à des problèmes concrets d'interdépendance, de fonctions multiples, d'évolution des diagrammes au cours de la mission etc. Lorsque l'on essaie de résoudre les problèmes au moment du calcul, de grosses difficultés interviennent, et les développements, les raisonnements et les équations se succèdent souvent au détriment de l'efficacité.

Nous proposons de résoudre ces problèmes simplement lors de l'établissement des diagrammes, en utilisant une décomposition appropriée des organes (méthode que nous avons employée en février 1976 et qui répondait par avance aux questions posées dans un éditorial américain de juin 76 [1]). Il suffit alors de bien connaître le système et la séquence des ordres qu'on lui donne, et l'établissement d'un seul diagramme pour le système lors d'une mission permettra, à l'aide de la notion de fonction de structure, d'évaluer sans problème particulier de composition de probabilités, de dépendance de fonction ou autres difficultés, la fiabilité de l'ensemble. Nous nous affranchissons également des problèmes des courbes de survie, différentes dans les systèmes hétérogènes (évolution différente des taux de défaillance pour chacun des composants électriques ou mécaniques).

Les chiffres obtenus au départ d'un projet par une estimation de fiabilité ne correspondent pas nécessairement aux chiffres réels, ils en approchent l'ordre de grandeur et permettent surtout, à l'aide du diagramme, de déterminer les redondances (inutiles, nécessaires ou dangereuses : certaines redondances introduisent plus de probabilité de défaillance qu'elles n'en évitent), les points faibles (la criticité de l'ensemble peut n'être donnée que par un seul élément en série dans le système) etc.

Le réajustement des valeurs de fiabilité et le suivi de l'évolution de cette valeur au cours du temps permettent d'arriver au mieux vers une valeur plus représentative de la fiabilité de l'ensemble et permettent, à l'aide du diagramme, de déterminer à quels endroits on peut alléger les procédures ou les contrôles au profit d'un domaine plus critique. En effet, ce n'est pas parce qu'un élément

a une grande probabilité de défaillance par rapport au reste des éléments qu'il est nécessairement le plus critique, car il peut être en parallèle sur un ou plusieurs autres ou se situer dans une fonction secondaire par rapport à la mission (ex. : un bouchon de réservoir de voiture peut se bloquer en position fermée ; ce n'est pas critique si le temps de mission de la voiture est inférieur à l'autonomie de carburant contenu dans le réservoir, et c'est critique dans le cas contraire).

2. PRESENTATION

L'évaluation de la fiabilité d'un système complexe peut se faire à l'aide de plusieurs méthodes : blocs diagrammes de fiabilité, tables de vérité, arbres de défaillance etc.

Les deux dernières notions entraînent des combinaisons si gigantesques que, même avec des ordinateurs, nous n'arriverions pas aisément à résoudre les problèmes. Les blocs diagrammes de fiabilité sont souvent beaucoup plus accessibles et permettent des simplifications, mais de la façon dont ils sont généralement construits, ils ne représentent pas toujours bien la réalité.

Nous allons tout d'abord rappeler quelques notions de fiabilité en commençant par indiquer ce qu'est un bloc diagramme de fiabilité. Nous rappellerons ensuite la méthode dont nous nous sommes servis pour établir un diagramme de fiabilité plus réaliste et simple, puis nous justifierons les méthodes employées. Nous proposons enfin quelques exemples concrets et réels d'application.

Rappelons plusieurs problèmes que l'ensemble de cette méthode permet de résoudre :

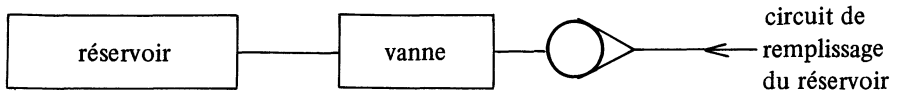
- certains composants en parallèle pour un mode de défaillances sont en série pour un autre mode ;
- changement de configuration en cours de mission ;
- corrélation de modes de défaillance (une vanne ne peut pas être simultanément bloquée ouverte et fermée) ;
- que faire lorsqu'un composant apparaît plusieurs fois dans le même diagramme ?

3. QUELQUES NOTIONS DE FIABILITE

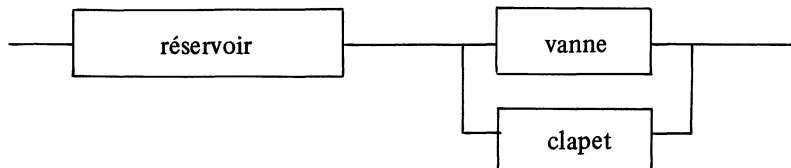
3.1. Blocs diagrammes de fiabilité

Nous rappelons ici la notion classique de diagramme de fiabilité. Nous proposerons plus loin les petites modifications qui rendent ce diagramme plus juste.

Un diagramme de fiabilité est construit à l'aide de petits blocs représentant des "organes". Ces organes se situent en série ou en parallèle selon le fonctionnement de l'ensemble, par exemple le circuit hydraulique suivant :



peut se représenter, du point de vue fiabilité, lorsque le réservoir est rempli et que la vanne est fermée, par :



En effet, si la vanne fuyait ou s'ouvrait, le clapet serait là pour secourir la vanne. Il est en parallèle sur la vanne du point de vue fiabilité (il y a redondance).

Cette représentation est très simple, le calcul à partir d'un tel diagramme est en général également simple. La difficulté vient, dans la majeure partie des cas, de l'établissement du diagramme correspondant ; celui représenté sur les figures précédentes n'est, comme nous le verrons plus loin, pas tout à fait exact.

3.2. Fonction de survie.

Si nous représentons la durée de vie d'un équipement par une variable aléatoire T , la fonction de survie d'un équipement est la probabilité pour que la durée de vie T de cet équipement soit supérieure à t :

$$v(t) = \text{pr}(T > t)$$

3.3. Hypothèses de travail

Nous présentons alors les 4 hypothèses suivantes :

a) Le système n'a que deux états possibles, ou bien il fonctionne ou bien il est défaillant.

b) Le système peut être décomposé en r composants de telle façon que :

– chaque composant soit, à un instant donné, soit en bon état, soit défaillant ;

– l'état du système ne dépende que de l'état de l'ensemble de ses composants.

c) Chacun des composants e_i du système ($i = 1, 2, \dots, r$) a une durée de vie T_i aléatoire ; il est en bon état dans l'intervalle $(0, T_i)$ et défaillant après l'instant T_i . Nous désignerons par $v_i(t)$ la fonction de survie du composant e_i .

En fait, un appareil n'est pas seulement soit en bon état, soit hors d'état, mais il peut également mal fonctionner.

Lorsque le système est réparable ou que l'on peut intervenir pour modifier la mission le "mauvais" fonctionnement n'est pas forcément critique. Ce genre de remarque ne facilite pas le travail du fiabiliste qui doit évaluer la probabilité de réussite d'une mission. Cet état intermédiaire doit faire l'objet d'une étude séparée pour mission dégradée [3]. En ce qui nous concerne et comme le fait la majorité des fiabilistes, nous sommes obligés d'émettre quelques hypothèses de travail, que nous justifions. En effet, nous nous plaçons dans les cas extrêmes de bon ou mauvais fonctionnement. Ces états seront définis par les tolérances acceptables pour une bonne réalisation de la mission : soit le composant, pour des entrées nominales données, répond à la fonction qu'il doit remplir à l'intérieur des tolérances permises, soit il n'y répond pas. On considèrera alors qu'il est soit en bon état, soit défaillant. Il suffit dans ces conditions de donner avec soin les tolérances acceptables permettant de définir le "bon état du composant".

La quatrième hypothèse est indispensable pour le calcul mais n'est pas toujours strictement vérifiée ; cependant, nous verrons plus loin comment on peut s'affranchir d'un grand nombre de problèmes, et c'est précisément pour approcher le plus possible cette 4^e hypothèse que l'exécution de blocs diagrammes doit être soignée :

d) les variables aléatoires T_i sont indépendantes.

3.4. Fiabilité

A partir des données précédentes, nous pouvons dire que la fiabilité d'un système vérifiant les 4 hypothèses ci-dessus est la probabilité pour qu'il soit *constamment* en bon état dans *l'intervalle* de temps $(0, t)$ où t est un instant fixé.

Il y a souvent confusion entre fiabilité et valeur de la fonction de survie à un instant donné (probabilité *d'être* en bon fonctionnement à un instant donné). Ces deux entités ne sont, dans le cas le plus général, pas équivalentes.

La probabilité pour que la durée de vie du système soit supérieure à une durée limitée à un temps t n'est pas égale, en général, à la probabilité pour qu'il reste en bon état pendant l'intervalle de temps $(0, t)$.

Par exemple, pour un lanceur, la probabilité de réussite de la mission est supérieure à la fiabilité du lanceur à partir du dernier contrôle. Si par contre nous considérons l'instant zéro comme l'instant du décollage de la fusée, fiabilité et fonction de survie se confondent. Il est clair, en effet, que, tant que nous pouvons intervenir sur le lanceur, il existe des pannes réparables qui ne sont pas catastrophiques. Après le décollage, aucune intervention n'étant possible, la probabilité pour que le lanceur ait une durée de vie nominale est égale à la probabilité de bon fonctionnement pendant ce temps nominal.

3.5. Fonction de structure

Le problème de l'évaluation de la fiabilité à partir d'un bloc diagramme de fiabilité semble simple a priori, mais il existe des pièges que nous pouvons lever

grâce à l'utilisation de la fonction de structure. En particulier, lorsqu'un composant intervient à plusieurs endroits dans le diagramme, la fiabilité du système global n'est pas simplement égale au produit des fiabilités des sous-systèmes.

L'écriture de la fonction de structure n'est en fait que la modélisation mathématique du diagramme de fiabilité représentant le système.

3.5.1. Définition

A chaque composant e_i du système ($i = 1, 2, \dots, r$) nous associons une variable aléatoire x_i telle que :

$$\begin{aligned} x_i &= 1 \text{ si } e_i \text{ est en bon état} \\ x_i &= 0 \text{ si } e_i \text{ est défaillant.} \end{aligned}$$

Un état du système se représente par un r -uple $(x_1, x_2, \dots, x_r) = (x)$ (il existe bien sûr 2^r r -uples possibles).

La variable aléatoire y correspondant au système est telle que :

$$\begin{aligned} y &= 1 \text{ si le système fonctionne} \\ y &= 0 \text{ si le système est défaillant} \\ \text{et } y &= \varphi(x) = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_r). \end{aligned}$$

A chaque r -uple correspond une valeur de y .

$\varphi(x)$ est appelée FONCTION DE STRUCTURE du système. Nous ne considérons que des fonctions de structure monotones, c'est-à-dire des fonctions que l'on peut obtenir à partir de structures série ou parallèle.

3.5.2. Structure série

La fonction de structure série correspond à un système qui ne peut fonctionner que si tous les composants sont en bon état : tous les x_i doivent être égaux à 1 :

$$\begin{aligned} y &= \varphi(x_1, x_2, \dots, x_r) \\ &= x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_r \\ &= \prod_{i=1}^r x_i \end{aligned}$$

3.5.3. Structure parallèle

Cette fonction correspond à un système qui fonctionne à la condition qu'au moins un de ses composants e_i soit en bon état : un x_i doit être égal à 1.

$$\begin{aligned} y &= \varphi(x_1, x_2, \dots, x_r) \\ &= 1 - (1 - x_1)(1 - x_2) \dots (1 - x_r) \\ &= 1 - \prod_{i=1}^r (1 - x_i) \end{aligned}$$

3.5.4. La fonction de fiabilité

Si p_i est la probabilité pour que $x_i = 1$ et $1 - p_i = \text{pr}(x_i = 0)$, l'espérance mathématique de x_i est :

$$E(x_i) = 1 \cdot p_i + 0 \cdot (1 - p_i) = p_i$$

De même pour la fonction de structure $\varphi(x)$:

$$\begin{aligned} E(\varphi(x)) &= 1 \cdot \text{pr}(\varphi(x) = 1) + 0 \cdot \text{pr}(\varphi(x) = 0) \\ &= \text{pr}(\varphi(x) = 1) \end{aligned}$$

Nous appelons fonction de fiabilité du système la fonction :

$$h(p_1, p_2, \dots, p_r) = E(\varphi(x))$$

$E(\varphi(x))$ est bien sûr fonction des fiabilités p_i des composants.

L'avantage de la fonction de structure réside dans sa simplicité.

Lorsque l'on développe la fonction de structure sous forme *simple*, on peut remplacer les x_i^n par x_i et n'obtenir qu'une *somme* de termes (du premier degré par rapport à chaque variable) du genre :

$$k \cdot x_{i_1} \cdot x_{i_2} \cdot \dots \cdot x_{i_r} \text{ où } 1 \leq r$$

Les variables x_i étant (hypothèse 4) indépendantes, on a :

$$\begin{aligned} E(k \cdot x_{i_1} \cdot \dots \cdot x_{i_r}) &= k \cdot E(x_{i_1}) \cdot E(x_{i_2}) \cdot \dots \cdot E(x_{i_r}) \\ &= k \cdot p_{i_1} \cdot p_{i_2} \cdot \dots \cdot p_{i_r} \end{aligned}$$

c'est-à-dire que :

$$h(p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_r) = \varphi(p_1, p_2, \dots, p_r)$$

La fonction de fiabilité s'obtient donc très simplement en remplaçant, dans la fonction de structure développée et *simplifiée* ($x_i^n = x_i$), les variables aléatoires x_i par les p_i .

Dans le cas où la fonction de structure est monotone (toute défaillance est irréversible), la fiabilité p_i du composant e_i dans un intervalle $(0, t)$ est la valeur $v_i(t)$ de la fonction de survie à l'instant t . Dans ces conditions nous obtenons la fonction de survie du système :

$$h(v_1(t), v_2(t), \dots, v_r(t))$$

4. METHODES D'APPLICATION AUX BLOCS DIAGRAMMES DE FIABILITE

4.1. Définition du bloc

4.1.1. Décomposition en mode

Comme nous l'avons dit, un bloc représente, classiquement, un organe dans son ensemble (vanne, clapet, réservoir – exemple de la figure 1). En réalité, ceci n'est pas correct, et le diagramme de la figure 2 n'est pas exact. En effet, dans le

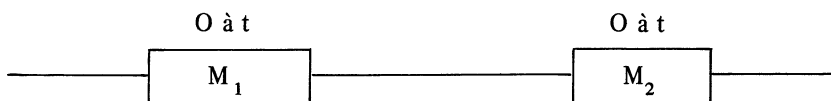
cas d'une fuite externe de la vanne, le clapet ne pourra pas la contenir, il n'est donc pas en redondance totale avec la vanne. Nous sommes donc amenés à décomposer la vanne en modes de défaillance, et ne seront redondés par le clapet que les modes réellement redondés.

Cette décomposition en modes de défaillance se justifie par le calcul à partir des propriétés de linéarité de l'intégrale.

Considérons la vanne dans son ensemble —vanne— fonctionnant pendant un temps t . Le taux de défaillance global est $\lambda(t)$, et sa fonction de survie :

$$v(t) = \exp \left\{ -\int_0^t \lambda(u) du \right\}.$$

On peut supposer que les modes de défaillance par fuite interne et par fuite externe sont indépendants. Dans ces conditions, on peut établir le diagramme suivant :



où chacun des blocs représente un ensemble de modes de défaillance dont les taux sont respectivement $\lambda_1(t)$ et $\lambda_2(t)$ avec bien sûr :

$$\lambda_1(t) + \lambda_2(t) = \lambda(t)$$

Nous reportant à la fonction de structure et à ses propriétés, nous avons directement (configuration série) :

$$\begin{aligned} v(t) &= \prod_{i=1}^2 v_i(t) = \exp \left\{ -\int_0^t \lambda_1(u) du \right\} \cdot \exp \left\{ -\int_0^t \lambda_2(u) du \right\} \\ &= \exp \left\{ -\int_0^t \lambda_1(u) + \lambda_2(u) du \right\} \end{aligned}$$

$$\text{d'où } v(t) = \exp \left\{ -\int_0^t \lambda(u) du \right\},$$

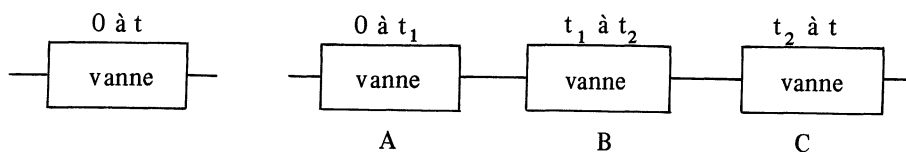
ce qui est bien la fonction de survie de la vanne.

Nous venons de justifier une des méthodes que nous préconisons, permettant de construire un diagramme de fiabilité plus adapté à la réalité.

4.1.2. Décomposition dans le temps

Le propre d'un diagramme classique de fiabilité est de représenter un système dans un "état" de configuration donné. L'évolution du système au cours du temps entraîne une évolution du diagramme, et il devient nécessaire de considérer des "phases" de la mission où la configuration est figée.

Nous sommes là encore amenés à décomposer un organe dans le temps en des organes indépendants :



Il faut alors considérer que les 3 blocs A, B et C sont des “composants” indépendants, fonctionnant chacun en mode actif pendant un temps différent des autres et étant inutile pendant le temps de fonctionnement des autres blocs. On justifie également ceci par les propriétés de linéarité de l’intégrale. La fonction de survie du système A, B, C devient :

$$v(t) = \prod_{i=1}^3 v_i(t)$$

$$v(t) = \exp \left\{ - \int_0^{t_1} \lambda(u) du \right\} \cdot \exp \left\{ - \int_{t_1}^{t_2} \lambda(u) du \right\} \cdot \exp \left\{ - \int_{t_2}^t \lambda(u) du \right\}$$

$$= \exp \left\{ - \int_0^t \lambda(u) du \right\}$$

ce qui est bien la fonction de survie de la vanne pendant tout l’intervalle de temps.

4.1.3. Décorrélation de modes. Etat d’un organe

Un des gros problèmes en fiabilité est le respect de la condition 4 citée plus haut : indépendance des organes. Il est clair que la décomposition en modes met en valeur ce problème car deux modes de défaillance totalement corrélés sont courants – exemple : blocage ouvert et blocage fermé d’une vanne impossibles simultanément.

La notion de “composant” (ou pseudo-composant), correspondant en fait à un ensemble de modes de défaillance ou à un organe pendant un temps donné, nous permet alors de résoudre le problème en considérant comme bloc un organe dans un “état” donné. En effet, si nous considérons une vanne dans l’état ouvert, nous n’avons plus à conserver des modes de défaillance correspondant à l’état fermé, ceci est un autre bloc et qui, de plus, se trouve décalé dans le temps car il ne fonctionne pas en même temps que le premier.

La décorrélation devient évidente car nous ne pouvons bien sûr pas attribuer les modes de défaillance d’un composant à un autre composant.

Nous remarquons également que cette décomposition d’organes en blocs indépendants et en série correspond à la description donnée dans l’article [4] (page 24), où la fiabilité d’un module est égale au produit des fiabilités cumulées du module vis-à-vis des pannes retard et avance dans l’état repos (0) ou excité (1). Le simple fait de dessiner ces blocs en série correspond à faire le calcul présenté dans l’article et ceci permet également de traiter indépendamment chaque ensemble de modes, que les composants soient mécaniques ou non. La figure (2) devrait donc s’écrire :

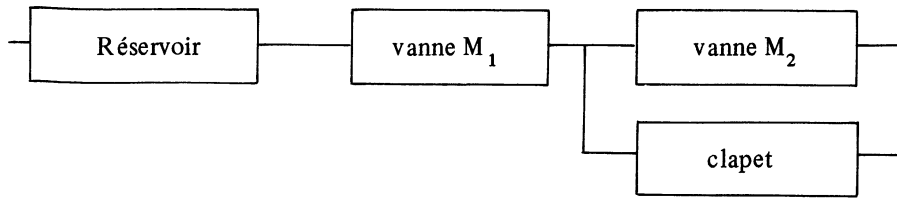
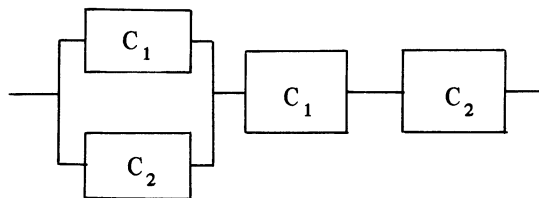


Figure -2 bis

M_1 : regroupe les pannes telles que les fuites externes (non protégées par le clapet),
 M_2 : ensemble des pannes telles que fuite interne, ouverture intempestive, dont la gravité est limitée par le clapet.

4.1.4. Composant à fonctions multiples

Lorsqu'un même composant assure *simultanément* des fonctions différentes, il peut se retrouver à plusieurs endroits dans le diagramme de fiabilité. L'utilisation de la fonction de structure évite l'introduction d'erreurs d'estimation dues à ces fonctions multiples. Nous allons le montrer sur un exemple simple. Soit le diagramme suivant :



où les 2 repères C_1 représentent le même "composant" (et non 2 composants identiques) dans un seul et même intervalle de temps.

Les composants C_1 et C_2 en série pour une certaine fonction sont simultanément en parallèle pour une autre.

Si nous traitons le problème par les probabilités de bon fonctionnement, nous avons :

$$p = (p_1 + p_2 - p_1 p_2) p_1 p_2 = p_1^2 p_2 + p_1 p_2^2 - p_1^2 p_2^2$$

en admettant pour simplifier que $p_1 = p_2 = 0,5$ par exemple, ceci reviendra à :

$$p = 0,25 \times 0,5 + 0,25 \times 0,5 - 0,25 \times 0,25 = 0,1875$$

A l'aide de la fonction de structure, nous avons, si x_1 est la variable aléatoire associée à C_1 et x_2 à C_2

$$y = \{ 1 - (1 - x_1)(1 - x_2) \} x_1 x_2$$

En développant et en simplifiant ($x_i^n = x_i$), on obtient :

$$y = x_1 x_2.$$

D'après ce que nous avons vu, nous obtenons la fiabilité en remplaçant simplement les variables aléatoires par leur fiabilité $=p_1 p_2 = 0,25$

Nous voyons que le résultat initial était erroné. En effet, il est clair que, dans notre schéma, le système fonctionnera si les deux composants fonctionnent, et cela suffit. Ce n'est pas parce que le composant intervient plusieurs fois que sa probabilité de bon fonctionnement va varier pour une mission donnée. De plus, nous mettons l'accent sur la rapidité de la méthode d'une part et sa simplicité d'autre part. Nous n'avons plus à nous poser le problème de la composition des probabilités.

On peut également représenter un système pour lequel dans une première phase les composants C_1 et C_2 sont en parallèle et dans une deuxième phase en série (fig. 4) :

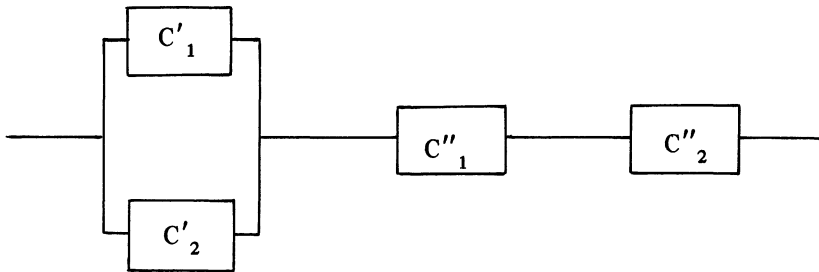
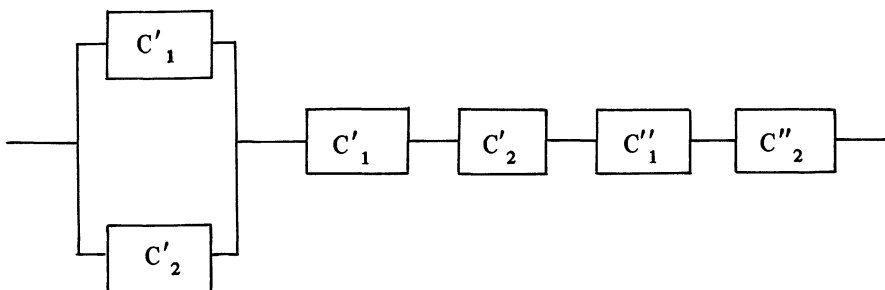


Figure 4 – où les indices ' sont associés à la première phase et les indices '' à la seconde.

Ce genre de problème demande, pour une résolution exacte, un développement particulier. Nous le résumerons en disant simplement que, si le composant doit fonctionner dans la 2^e phase, il a dû être en bon état dans la phase antérieure et on le remplacera par son développement dans le temps.

En conséquence, chaque fois que le problème se présente de retrouver *exactement le même "composant"* dans des phases différentes, on le représente dans les phases ultérieures par sa décomposition dans le temps (§IV. 1. 2.) en fonction des phases antérieures. Dans l'exemple de la figure 4, on aura donc :



La fonction de structure sera :

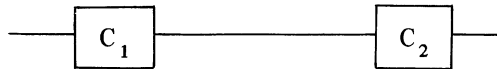
$$y = [1 - (1 - x'_1)(1 - x'_2)] x'_1 x'_2 x''_1 x''_2$$

$$= (x'_1 + x'_2 - x'_1 x'_2) x'_1 x'_2 x''_1 x''_2$$

Après simplification :

$$y = x'_1 x'_2 x''_1 x''_2$$

Or, ceci est aussi égal à $y = x_1 x_2$ dont le diagramme sera :



pour l'ensemble des deux phases car $x'_1 x''_1$ est bien équivalent à x_1 d'après le § IV. 1. 2.

5. CONCLUSION

Nous venons de présenter brièvement des procédés permettant d'établir des blocs diagrammes de fiabilité représentatifs d'un système en fonctionnement et débouchant sur un calcul prévisionnel simplifié et rapide. Nous résolvons les problèmes d'organes, dont les défaillances ne sont pas toutes traitées de la même manière dans le schéma, et les problèmes d'évolution du diagramme au cours du temps (selon les différentes phases de la mission). L'utilisation de la fonction de structure pour le modèle mathématique du diagramme simplifie considérablement le calcul et évite des erreurs introduites par les composants à fonctions multiples. L'essentiel des problèmes est donc résolu dès le départ lors de l'établissement du schéma, et le traitement du calcul à l'aide des probabilités, et non pas des taux de défaillance, permet de calculer la fiabilité des systèmes hétérogènes (électrique et mécanique).

REFERENCES

- [1] IEEE transactions Journal (éditorial), juin 1976.
- [2] CRUON R., KAUFMANN A., GROUCHKO D., — Modèles mathématiques pour l'étude de la fiabilité des systèmes. Masson, 1975.
- [3] CORAZZA — Fiabilité des systèmes à fonctions multiples, Conférence du III^e Congrès de fiabilité de Perros Guirec, septembre 1976.
- [4] RINGLER J. — Modélisation mathématique de la fiabilité des systèmes d'ordre séquentiels. Revue de Stat. appliq. 25.13 (1977).