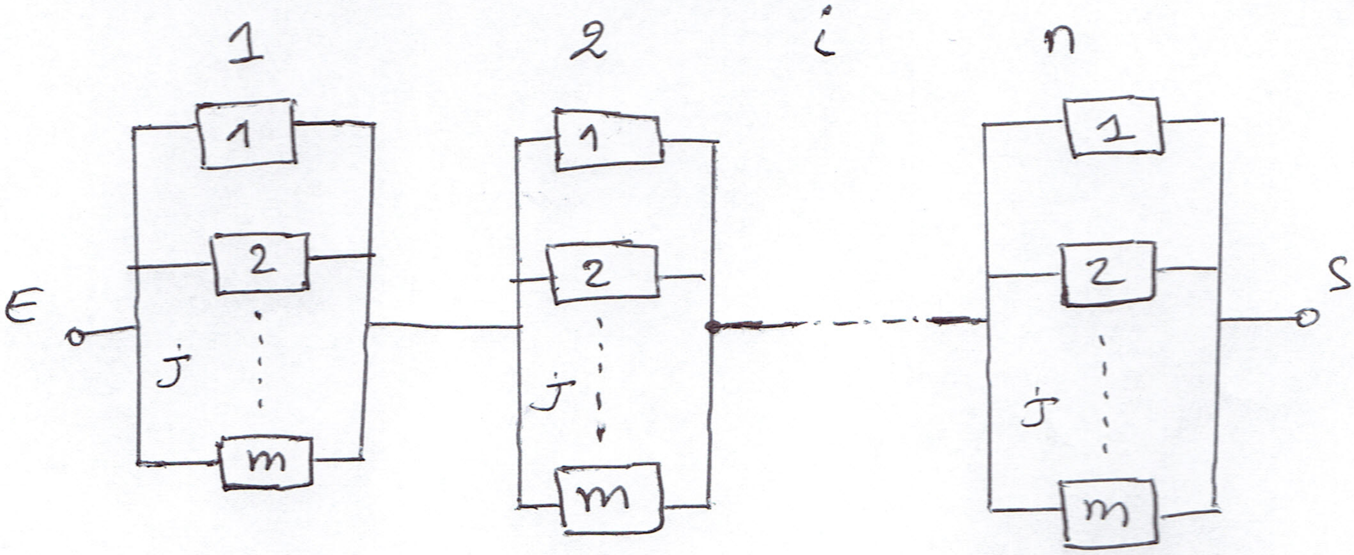
3.4/ Fiabilité des combinaisons séries et parallèles :

3.4.1/ système à configuration parallèle en série :

(configuration parallèle - série)

Supposons que nous ayions en série n groupements de m éléments en parallèle ;



La fiabilité d'un groupement parallèle est ;

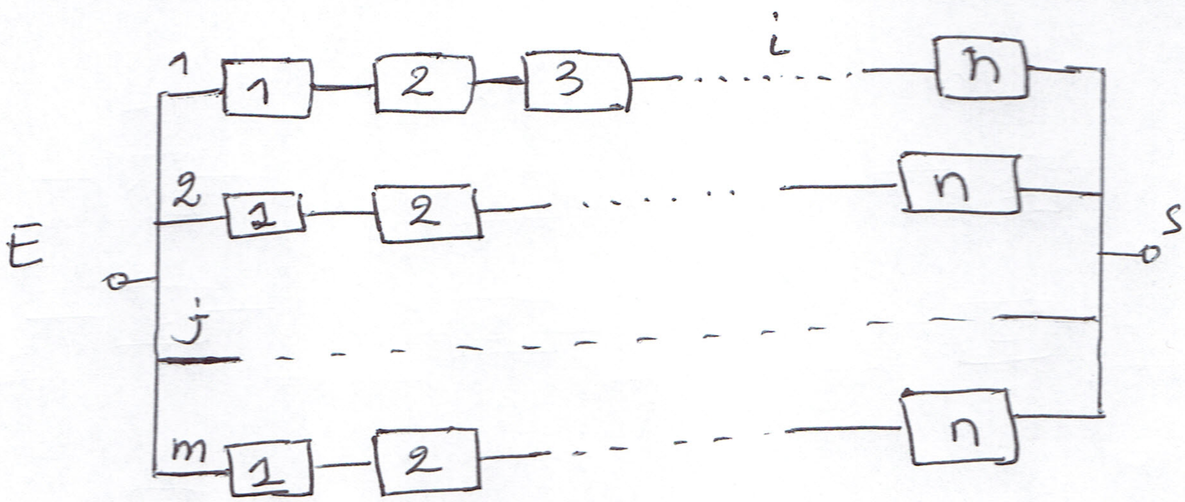
$$R_i = 1 - \prod_{j=1}^{m} (1 - R_j)$$

et la fiabilité du système est :

$$\boxed{R = \prod_{i=1}^{n} \left[1 - \prod_{j=1}^{m} (1 - R_j) \right]}$$

3.4.2/ Système à configuration séries en parallèle (configuration série - parallèle)

Considérons m branches en parallèle de n éléments en série :



La fiabilité d'une branche série est :

$$R_j = \prod_{i=1}^{n} R_i$$

et la fiabilité du système sera :

$$\boxed{R = 1 - \prod_{j=1}^{m} \left(1 - \prod_{i=1}^{n} R_i\right)}$$

3.5/ système à configuration complexe

Toutes les configurations possibles ne rentrent pas nécessairement dans les classes définies précédement (séries parallèles). On peut rencontrer d'autres configurations complexes.

Considérons le système dont la configuration est donnée par le DBF (Diagramme Bloc de Fiabilité) suivant :

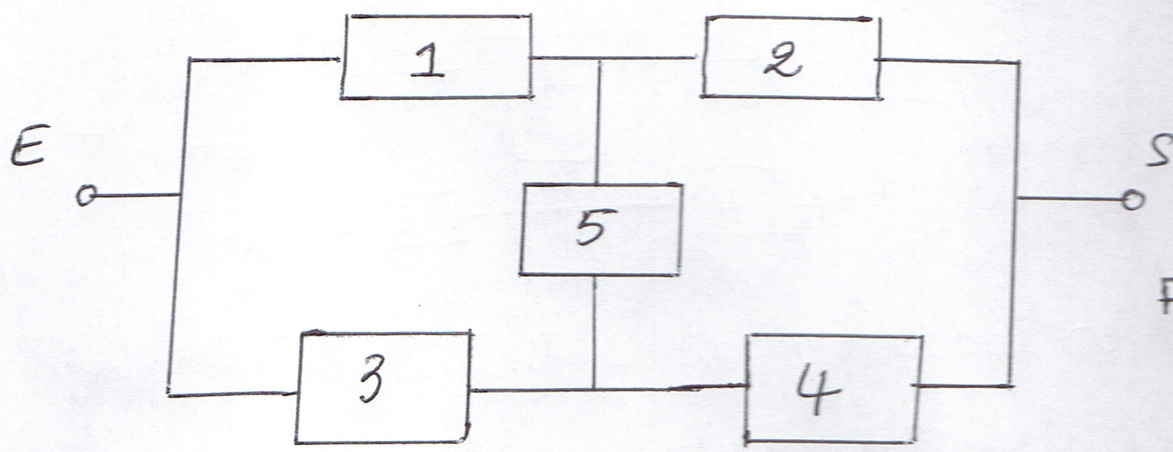


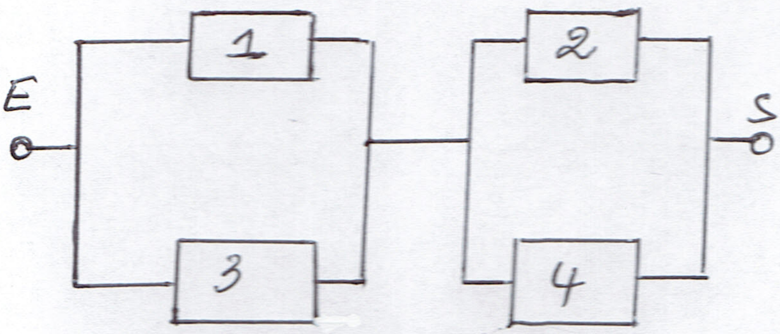
Figure 1

Une telle configuration ne peut pas se décomposer en une configuration séries parallèles. Elle est dite en pont ou complexe.

Pour déterminer la fiabilité d'un tel système, on procède de la manière suivante :

Le schéma initial (figure 1) est décomposé en deux schémas :

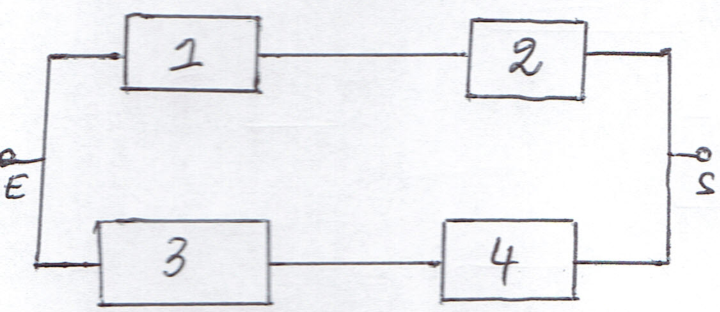
schéma (a)



C_5 : composant 5 fonctionne

ce schéma correspond au fonctionnement du composant 5. Dans le DBF, pour indiquer le fonctionnement du composant 5, nous avons remplacé ce composant par une liaison (voir schéma (a))

schéma (b)



$\overline{C_5}$: composant 5 défaillant

Ce schéma correspond au non fonctionnement du composant 5 (le composant 5 est défaillant). Dans le DBF, pour indiquer la défaillance du composant 5, nous avons supprimé complètement ce composant (voir schéma (b))

La fiabilité R_s du système relative au DBF de la figure 1 s'écrit alors :

$$R_s = P(S/C_5) \cdot R_5 + P(S/\overline{C}_5) \cdot (1-R_5) \quad (1)$$

- $P(S/C_5)$: Probabilité de fonctionnement du système S sachant que le composant 5 fonctionne

- $P(S/\overline{C_5})$: Probabilité de fonctionnement du système S sachant que le composant 5 est défaillant.

<u>Calcul des probabilités $P(S/C_5)$ et $P(S/\overline{C_5})$:</u>

- du schéma (a), on calcul $P(S/C_5)$:

$$P(S/C_5) = \left[1-(1-R_1)(1-R_3)\right]\left[1-(1-R_2)(1-R_4)\right] \quad (2)$$

- du schéma (b), on calcul $P(S/\overline{C_5})$:

$$P(S/\overline{C_5}) = 1-(1-R_1R_2)(1-R_3R_4) \quad (3)$$

En substituant les relations (2) et (3) dans la relation (1), on trouve :

$$R_S = \left[1-(1-R_1)(1-R_3)\right]\left[1-(1-R_2)(1-R_3)\right] \times R_5 + \left[1-(1-R_1R_2)(1-R_3R_4)\right] \times (1-R_5).$$

avec : R_5 : fiabilité du composant 5.

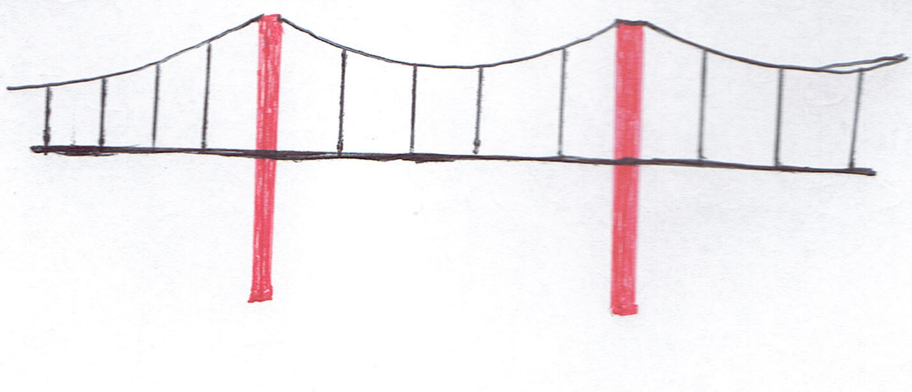
Dans cet exemple, il a suffit d'une seule décomposition pour obtenir le résultat.
Pour les DBF plus complexes, il est parfois nécessaire de faire de nombreuses décompositions pour aboutir au résultat et éviter les erreurs.

3.6/ Redondance des systèmes

On désigne sous le terme de redondance, l'emploi de plusieurs moyens pour remplir une fonction donnée alors que celle-ci aurait pu être remplie par un seul dispositif. Cette surabondance de dispositifs doit permettre d'obtenir une fiabilité de l'ensemble (système) plus grande que celle du dispositif seul.

Exemple :

- Les nombreux câbles d'un pont suspendu sont une forme de redondance



- Les deux reins de l'être-humain est aussi une forme de redondance.
- L'existence de 4 réacteurs dans un avion est une forme de redondance.

Bien que séduisante théoriquement, la redondance nécessite une analyse détaillée dans son application. Il n'existe pas de règle générales. En particulier le type de redondance à utiliser dépend principalement des types de défauts que peuvent présenter les dispositifs considérés. Dans certain cas, la redondance conduit à utiliser des dispositifs supplémentaires (tels que des organes de commutation et de décision), il faudra alors s'assurer que ceux-ci ne diminuent pas la fiabilité de l'ensemble (système) au point de rendre défavorable la redondance par rapport à l'emploi d'un seul dispositif.

On distingue plusieurs types de redondances. La classification adoptée varie beaucoup selon les auteurs, nous avons choisi la suivante :

1) La redondance simple totale :

Elle est aussi appelée « active totale ».

Tous les dispositifs fonctionnent en permanence et simultanément. Le système sera considéré comme défaillant lorsque tous les composants seront défaillants. Il n'y a aucun dispositif auxiliaire associé au système. Le diagramme de fiabilité est donc un diagramme parallèle.

Exemple : Deux éléments en parallèle :

Si la loi d'apparition des défaillances en fonction du temps est exponentielle, nous aurons pour loi de défaillance du système :

$$R_s(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^2$$
$$= 2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}$$

(les 2 éléments sont identiques)

La $MTTF_s$ de l'ensemble sera :

$$MTTF_s = \int_0^{\infty} R_s(t)\, dt = \frac{3}{2\lambda}$$

Nous remarquons ici que la $MTTF_s$ est augmentée de 50% par rapport à celle d'un seul composant ($1/\lambda$)

2) Redondance simple partielle

Tous les dispositifs fonctionnent en permanence et simultanément. Le système fonctionne si au moins k dispositifs parmi n fonctionnent. Le diagramme de fiabilité est celui de la configuration MooN (M out-of N).

La probabilité d'avoir k dispositifs bons parmi n dispositifs est donnée par la loi binomiale de paramètre (n, p)

$$R_S = \sum_{i=k}^{n} C_n^i \, p^i (1-p)^{n-i} \quad , \quad C_n^i = \frac{n!}{i!\,(n-i)!}$$

où P : probabilité de bon fonctionnement d'un seul dispositif.

Exemple : (Trois dispositifs identiques en parallèle).

Nous supposons que l'ensemble soit encore bon lorsque seulement deux dispositifs parmi trois fonctionnent. Nous obtiendrons :

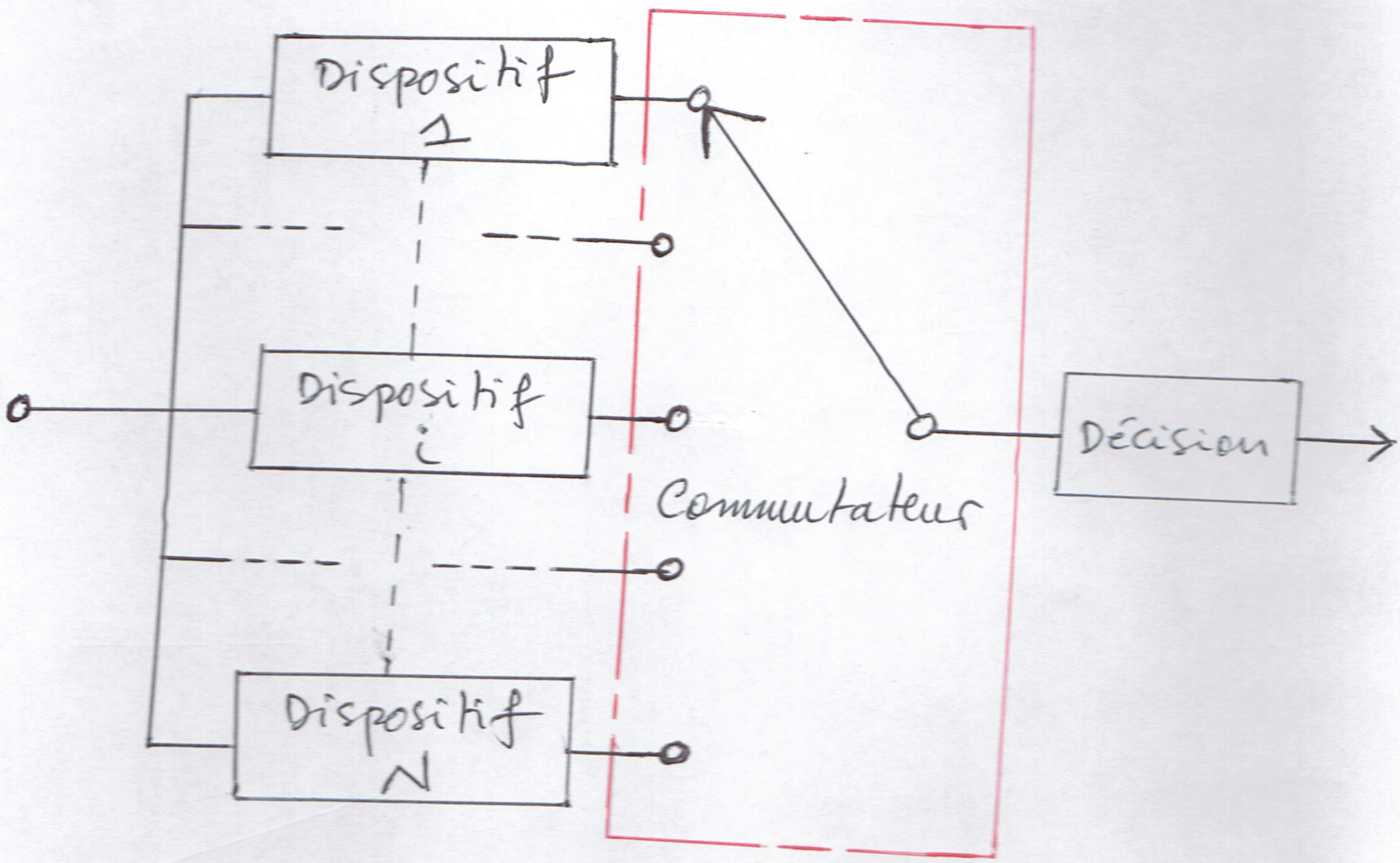
$$R_S = \sum_{i=2}^{3} C_3^i \, p^i (1-p)^{3-i} = \sum_{i=2}^{3} \frac{3!}{i!\,(3-i)!} \, p^i (1-p)^{3-i}$$

$$= 3p^2 - 2p^3$$

3) Redondance à commutation

Un ensemble redondant d'ordre n avec décision et commutation (redondance D.C.) se compose de n dispositifs commutables.

Le schéma d'une telle redondance est donné par la figure suivante :



Au temps t = 0, un seul dispositif est en ligne. Lorsque ce dispositif défaille, un organe spéciale détecte la défaillance et agit sur le commutateur qui met en ligne le second dispositif après avoir déconnecté le premier.

L'ensemble (le système) est défaillant lorsque le dernier dispositif survivant défaille.

Deux classes de redondance de ce type sont utilisées :

a) Tous les dispositifs fonctionne en permanence.

b) Les dispositifs fonctionnent séquentiellement. Ils sont mis en service par l'organe de décision commutation l'un après l'autre.

Un des aspects très important de la redondance est la fiabilité de l'organe de décision D.C. et commutation.

Un organe de décision défectueux donne :

- soit un signal de commutation alors que le dispositif en ligne n'est pas défectueux.

- soit aucun signal de commutation lors de la défaillance du dispositif en ligne.

Le premier type de défaut n'entraîne pas obligatoirement la défaillance du système mais le second entraîne toujours la défaillance du système.

Un organe de commutation défectueux est celui qui reste :

– branché quel que soit l'ordre reçu.
– ouvert quel que soit l'ordre reçu.

L'ensemble sera défaillant dans le premier cas lors de la défaillance du dispositif en ligne et immédiatement dans le second cas.

La fiabilité de l'ensemble peut être considéré comme égale au produit de la fiabilité de l'ensemble des n éléments commutables par celle de l'organe D.C. (ils sont effectivement en série au sens des événements).