LES FACTEURS D'IMPORTANCE

1. Objectifs
2. Les mesures probabilistes et leur contexte d'application
3. Les mesures structurelles
4. Conclusion

Objectifs

Déterminer l'importance d'un composant dans une structure complexe en fonction du critère associé (fiabilité, structure, …)

Utilisé pour :

- Orienter les efforts d'amélioration des systèmes complexes en phase de conception (accroitre la fiabilité intrinsèque des composants les plus critiques, définir des redondances, réduire les effets de stress environnementaux, améliorer la maintenabilité du composant) et analyser les performances globales du système en termes de sensibilité (par exemple, par rapport à l'incertitude sur l'estimation des paramètres).
- Dans la phase d'exploitation, orienter les efforts de maintenance et de surveillance/inspection des composants les plus critiques

Les mesures les plus connues

Les mesures probabilistes

- **Le facteur de Birnbaum**
- **Le facteur d'amélioration**
- **Le « Risk Achievement Worth »**
- **Le « Risk Reduction Worth »**
- **Le facteur d'Importance critique**
- **Le facteur de Vesely-Fussel**

Les mesures structurelles

- **Indicateur structurel de Birnbaum**
- Indicateur de Barlow et Proschan
- Indicateur de Butler

Indicateur de Birnbaum

Définition : $I^B(i|t) = \frac{\partial h(\boldsymbol{p}(t))}{\partial p_i(t)}$ $pour\ i = 1, \dots, n$ avec $h(\boldsymbol{p}(t))$ la fiabilité du système et $p_i(t)$ la fiabilité du composant *i.*

Si $I^B(i|t)$ est grand, de faibles variations de la fiabilité du composant *i* entraineront de grandes variations de la fiabilité du système.

Autre formulation de la mesure d'importance de Birbaum :

- $I^B(i|t) = h(1_i, \boldsymbol{p}(t)) - h(0_i, \boldsymbol{p}(t))$ où $h(1_i, \boldsymbol{p}(t))$ est la probabilité conditionnelle de fonctionnement sachant que le composant *i* fonctionne
- $I^B(i|t)$ est la probabilité que le système soit dans un état pour lequel le composant *i* est critique pour le système (dans le sens où ce composant est inclus soit dans une coupe minimale d'ordre 1, soit l'ensemble des autres composants d'une même coupe minimale soient défaillants à *t*).

Exemple : Soit un système formé de 2 composants indépendants ayant des fiabilités $p_1$et p_2 avec $p_1 > p_2$. Classer l'importance des composants :

- Si la structure est en série
- Si la structure est en parallèle

Facteur d'amélioration

Définition : $I^{IP}(i|t) = h(1_i, \boldsymbol{p}(t)) - h(\boldsymbol{p}(t))\ pour\ i = 1, \dots, n$ avec $h(\boldsymbol{p}(t))$ la fiabilité du système.

En pratique, on ne peut pas garantir une fiabilité d'un composant = 1. On introduit alors le facteur d'amélioration crédible $I^{CIP}(i|t) = h\left(p_i^{(n)}(t), \boldsymbol{p}(t)\right) - h(\boldsymbol{p}(t))$ où $p_i^{(n)}(t)$ peut représenter une probabilité associée à un état de l'art pour ce type de composant.

Lien entre facteur d'amélioration crédible et mesure d'importance de Birnbaum

- $I^{CIP}(i|t) = I^B(i|t)\left(p_i^{(n)}(t) - p_i(t)\right)$

Exemple : Soit un système formé de 2 composants indépendants ayant des fiabilités p_1 et p_2 avec $p_1 > p_2$. Classer l'importance des composants en fonction du facteur d'amélioration :

- Si la structure est en série
- Si la structure est en parallèle

Risk Achievement Worth

Définition : $I^{RAW}(i|t) = \frac{\left(1-h(0_i, \boldsymbol{p}(t))\right) - \left(1-h(1_i, \boldsymbol{p}(t))\right)}{1-h(\boldsymbol{p}(t))} = \frac{\left(1-h(0_i, \boldsymbol{p}(t))\right)}{1-h(\boldsymbol{p}(t))} - 1 \; pour \; i = 1, \dots, n$

Remarque 1 :
On omet généralement le « moins 1 ».
Pour tout système cohérent, on a alors $I^{RAW}(i|t) \geq 1$ et quand $I^{RAW}(i|t) = 1$, le composant *i* n'a aucun effet.

Remarque 2 :
Le RAW est utile pour estimer l'importance du risque des composants qui sont retirés du système.

Exemple : Soit un système formé de 2 composants indépendants ayant des fiabilités p_1 et p_2 avec $p_1 > p_2$. Classer l'importance des composants en fonction du RAW :

- Si la structure est en série
- Si la structure est en parallèle

Risk Reduction Worth

Définition : $I^{RRW}(i|t) = \frac{1-h(\boldsymbol{p}(t))}{\left(1-h(1_i,\boldsymbol{p}(t))\right)}$ $pour\ i = 1, \ldots, n$

Remarque 1 :
Le risque est ici réduit par rapport à la meilleure situation vis-à-vis du composant *i.*

Lien entre le RRW et d'autres facteurs d'importance :

- $I^{RRW}(i|t) = \left(1 - \frac{I^{IP}(i|t)}{\left(1-h(\boldsymbol{p}(t))\right)}\right)^{-1} = \left(1 - \frac{I^{B}(i|t)\left(1-p_i\ (t)\right)}{\left(1-h(\boldsymbol{p}(t))\right)}\right)^{-1}$

Remarque 2 :
Le RRW est utile pour borner les gains en termes de risque en fonction des améliorations.

Exemple : Soit un système formé de 2 composants indépendants ayant des fiabilités $p_1$et p_2 avec $p_1 > p_2$. Classer l'importance des composants en fonction du RRW :

- Si la structure est en série
- Si la structure est en parallèle

Définition : $I^{CI}(i|t) = \frac{I^B(i|t)\left(1-p_i\ (t)\right)}{\left(1-h(\boldsymbol{p}(t))\right)} pour\ i = 1, \dots, n$

En d'autres mots, le $I^{CI}(i|t)$ est la probabilité que le composant *i* soit la cause de la défaillance du système, sachant celui est défaillant à l'instant *t.*

Lien entre le CI et d'autres facteurs d'importance :

- $I^{CI}(i|t) = 1 - \frac{1}{I^{RRW}(i|t)}$

Remarque :
Le composant *i* est critique. Quand le composant est réparé, le système fonctionne à nouveau. C'est la raison pour laquelle le CI peut être utilisé pour prioriser les actions de maintenance dans un système complexe.

Exemple : Soit un système formé de 2 composants indépendants ayant des fiabilités $p_1$et p_2 avec $p_1 > p_2$. Classer l'importance des composants en fonction du RRW :

- Si la structure est en série
- Si la structure est en parallèle

La mesure de Vesely-Fussel

Définition : $I^{FV}(i|t)$ est la probabilité qu'au moins une des coupes minimales contenant *i* est défaillante à *t*, sachant le système défaillant à *t*.

$$I^{FV}(i|t) \approx \frac{1 - \prod_{j=1}^{m_i}\left(1 - \breve{Q}^i{}_j\ (t)\right)}{Q_0(t)} \approx \frac{\sum_{j=1}^{m_i} \breve{Q}^i{}_j\ (t)}{Q_0(t)}$$

Avec $\breve{Q}^i{}_j\ (t)$ la probabilité que la coupe minimale *j* parmi celle contenant *i* soit défaillante à *t*.

Lien entre le FV et d'autres facteurs d'importance :

- Le FV donne les mêmes résultats que le CI.

Le calcul de $I^{FV}(i|t)$ peut se calculer facilement « à la main ».

Exemple : Considérons une structure de type pont formée de 5 composants indépendants avec des fiabilités p_i. Déterminez $I^{FV}(3)$.

Classification des facteurs d'importance probabilistes

Facteurs d'importance pour la détection d'événements *significatifs pour la sûreté (=fiabilité)* :

- Birnbaum, RAW et CI

Facteurs d'importance pour la détection d'événements *significatifs pour le risque (=sûreté)* :

- RRW et VF

Aide au diagnostic de panne

- RRW et VF

Aide à la maintenance

- CI

La mesure de Birnbaum de l'importance structurelle

Définition : $B_\phi(i) = \frac{\eta_\phi(i)}{2^{n-1}}$ où $\eta_\phi(i)$ est le nombre de chemins critiques pour le composant *i.*

Définition : Un chemin critique pour *i* est un vecteur d'état $(1_i, \boldsymbol{x})$ tel que $\phi(1_i, \boldsymbol{x}) = 1$.
Le nombre de chemin critique est donné par $\eta_\phi(i) = \sum_{(\cdot,\boldsymbol{x})}[\phi(1_i, \boldsymbol{x}) - \phi(0_i, \boldsymbol{x})]$

Exemple : Considérons une structure de type 2-sur-3. Pour le composant 1, on a :

$(\cdot, x_2, x_3)$	$\phi(1, x_2, x_3) - \phi(0, x_2, x_3)$	$C(1, x_2, x_3)$
(.00)	0	
(.01)	1	{1,3}
(.10)	1	{1,2}
(.11)	0	

$$\eta_\phi(1) = 2; B_\phi(1) = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$$

Pour des raisons de symétrie, on a $B_\phi(1) = B_\phi(2) = B_\phi(3)$

Conclusion : modes d'application

Possibles règles d'application des FI pour :

- La maintenance :
  - Si CI très élevé, amélioration de la maintenance préventive
  - Si FAR très élevé, privilégier la surveillance à la maintenance préventive
  - Si CI et FAR sont faibles, maintenance corrective uniquement
- L'aide à la conception
  - Définition des « barrières de sûreté » : efficaces, minimales et indépendantes.

Quelques limites :

- Indicateurs relatifs à une valeur de risque de référence
- Importance d'un composant relative aux valeurs des autres
- Validité des indicateurs liée à la taille des études (limite physique des ordinateurs)