

# La Modélisation Hybride pour le Diagnostic et ses applications au niveau système dans des conceptions hiérarchisées.

*Michel Schieber*  
*SERIEM SA*  
*michel.schieber@seriem.fr*

**Résumé** - La Modélisation Hybride pour le Diagnostic (H.D.M. pour Hybride Diagnostic Modeling) est une extension de la modélisation de dépendance qui permet aux relations d'interdépendances entre les tests d'un système ou d'un dispositif, aux Fonctions et aux Modes de Défaillance d'être capturés dans une représentation unique (les approches de la modélisation de dépendance précédentes pouvaient représenter les relations entre les Tests et, ou bien des Fonctions ou bien des Modes de Défaillance). Avec la Modélisation Hybride pour le Diagnostic, le même modèle peut être utilisé pour évaluer très tôt les possibilités de diagnostic d'une conception, la création d'une AMDEC hiérarchisée, la prédiction de la performance du diagnostic et la génération de l'exécutable de Diagnostic. Sont abordées, les questions associées à l'application d'une H.D.M. aux systèmes hiérarchisés, les types d'inférence du diagnostic utilisés pour interpréter les relations entre Fonctions et Modes de Défaillance, la corrélation des données des taux de défaillance basés sur les Fonctions et sur les Modes de Défaillance, et l'évaluation du diagnostic utilisant des Modèles Hybride pour le Diagnostic.

## Introduction

La modélisation de dépendance a été développée en premier dans les années 50 pour répondre au besoin d'une méthode plus rigoureuse et formelle de développement du diagnostic pour les équipements et systèmes militaires. Dans les années 1970, la modélisation de dépendance était employée non seulement comme technique pour le développement du diagnostic, mais aussi comme méthode pour évaluer les capacités du diagnostic d'une conception pendant son développement. Dans leur première manifestation, les modèles de dépendance représentaient les relations entre les événements testables issus d'une conception et les fonctions responsables de ces événements. Une décennie plus tard, des approches alternatives à la modélisation de dépendance sont apparues dans lesquelles les tests étaient attachés à des Modes de Défaillance spécifiques, plutôt qu'à des Fonctions, raccourcissant effectivement l'écart entre les analyses AMDEC et l'exécutable de Diagnostic. Toutefois, parce que les modèles de dépendance basés sur les Modes de Défaillance ne peuvent être développés que relativement tard dans un processus de conception (quand les détails d'implantation de la conception deviennent accessibles), il s'avère qu'ils sont peu utiles à fournir des rétroactions itératives, très tôt dans ce processus, aux ingénieurs s'occupant du Diagnostic. Dans le milieu des années 1990, les analystes du diagnostic ont commencé à utiliser les deux types de modèle sur un même projet. Les modèles de dépendances fonctionnelles étaient créés dans les premières phases de développement et utilisés par itération pour évaluer et améliorer la conception proposée, pour le diagnostic. Puis, quand les détails d'implantation étaient disponibles, ce modèle fonctionnel était converti en modèle basé sur des défaillances et utilisé ensuite, pour prédire les performances de diagnostic, documenter les stratégies de diagnostic et, dans certains cas, générer l'exécutable de Diagnostic (orienté défaillance).

Un des inconvénients majeurs de cette double approche de la modélisation était le manque de traçabilité entre les deux modèles de dépendance. Bien que les analystes pouvaient se référer au modèle fonctionnel lors du développement du modèle en Modes de Défaillance, cette approche demandait toujours deux efforts de modélisation. De plus, parce qu'il n'y avait pas de lien direct entre eux, les deux modèles avaient besoin d'être mis à jour chaque fois que la conception changeait (incluant les changements des définitions des tests). De même, si le premier modèle venait à être abandonné après le développement du second, alors il existait un risque qu'il soit à redévelopper si, un temps plus tard, le système/dispositif était mis à jour ou refondu. Une autre limitation de la modélisation de dépendance conventionnelle (non hybride) était que, parce que tous les tests devaient être définis par rapport aux éléments constituant le modèle, la couverture des tests ne pouvait être définie qu'en termes de Fonctions ou de Modes de Défaillance, mais non des deux. Cela pouvait amener à quelques tortueuses définitions de test quand les diagnostics du système étaient constitués des deux, défaillances et tests orientés tests de fonctions (comme pour un système utilisant des diagnostics intégrés et des équipements de maintenance externes).

Les solutions utilisant des techniques de modélisation conventionnelles demandaient souvent à l'analyste d'assumer que la présence d'une fonction était équivalente à l'absence d'un jeu de Modes de Défaillance. Comme "Fonctionnalité" peut être dans ce cas interprété par "Absence de Défaillance", cette relation devient plus problématique quand les Modes de Défaillance peuvent altérer plus d'une Fonction d'un élément ou d'un dispositif.

## La Modélisation Hybride pour le Diagnostic

Reconnaissant le besoin d'intégrer les deux types de test basés sur les Fonctions et sur les Modes de Défaillance dans un modèle unique, DSI International commença à développer des techniques de Modélisation Hybride pour le Diagnostic (H.D.M. ) fin des années 1990. En 2000, cette possibilité était disponible dans eXpress, l'outil de modélisation pour le Diagnostic de DSI - le premier outil de modélisation commercial intégrant la H.D.M. ( panneau de définition des Modes de Défaillance d'eXpress 5.9 en figure 1).

Vu qu'au cours des années, différentes tentatives aient été tentées par des analystes d'inclure les deux, fonctions et Modes de Défaillance dans un modèle unique, la H.D.M. ne représente pas seulement les relations entre Fonctions/Modes de Défaillance et les tests utilisés pendant les Diagnostics, mais aussi les inter-relations causales entre les Modes de Défaillance et leurs Fonctions affectées.

Dans un Modèle Hybride pour le Diagnostic, chaque définition de Mode de Défaillance renferme les données suivantes :

- Le nom du Mode de Défaillance
- Le pourcentage de Taux de Défaillance du composant (élément) associé au Mode de Défaillance
- Les Fonctions de ce composant touchées lors de l'apparition du Mode de Défaillance
- Le type de relation ("altère toujours " versus " altère parfois ") du Mode de Défaillance avec chaque fonction affectée.

	Failure Mode	Percent	Affected Functions
	Default sur Fctn D-Sortie 1	60.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Port Sortie 1</li> <li>Fctn D-Sortie 1</li> </ul>
	Default sur Fctn D-Sortie 2	15.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Port Sortie 2</li> <li>Fctn D-Sortie 2</li> </ul>
	Default alimentation 3	25.0	
*		[ 0.0 ]	

Figure 1. Le panneau de définition des Modes de Défaillance d'eXpress 5.9

Il faut souligner qu'en plus de lister les Fonctions affectées par chaque Mode de Défaillance, un Modèle Hybride pour le Diagnostic doit aussi spécifier les types de relation entre le Mode de Défaillance et chacune des Fonctions affectées. Un Mode de Défaillance peut "toujours altérer" un jeu de Fonctions (dans ce cas, l'existence du Mode de Défaillance peut toujours être déterminée par l'observation de n'importe laquelle de ces Fonctions), ou un autre Mode de Défaillance peut "parfois altérer" un jeu de Fonctions (dans ce cas, toutes les Fonctions doivent être observées avant que ce Mode de Défaillance puisse être écarté). La capacité à pouvoir spécifier qu'un Mode de Défaillance "altère parfois" une fonction est particulièrement utile dans des situations où les informations détaillées sur les lois physiques du Mode de Défaillance ne sont pas disponibles - comme une boîte noire ou un dispositif de type Composant sur Etagère (COTS) pour lesquels le pourcentage de la couverture du BIT est fourni, mais pas la matrice des relations BIT/Fonctionnalité.

Avec la H.D.M., les Tests peuvent être définis en termes de Fonctions, de Modes de Défaillance ou une combinaison des deux. C'est nécessaire lors du développement de conceptions hiérarchisées de systèmes où pour les premiers modèles, d'une approche précoce "Top Down" de la modélisation, les Tests sont presque toujours définis en termes de Fonctions (les données détaillées des Modes de Défaillance ne sont généralement disponibles que plus tard dans le processus de conception). Ces Modèles Fonctionnels peuvent être utilisés pour effectuer des évaluations itératives des possibilités de Diagnostic du système en cours de développement, de ce fait apportant une rétroaction utile sur la conception quand c'est encore possible et le plus avantageux. Au fur et à mesure que la conception se développe et que les détails d'implantation deviennent disponibles, les Modes de Défaillance peuvent être ajoutés à des modèles de niveaux hiérarchiques inférieurs et les Tests définis par rapport à ces Modes de Défaillance peuvent être hérités (du niveau inférieur) à des niveaux de conception supérieurs.

Une tâche pour laquelle la H.D.M. est particulièrement bien adaptée est le développement de tests au niveau système pour améliorer un BIT (Built-in Test) système. La plupart des systèmes complexes à large intégration développés aujourd'hui contiennent des autotests électroniques en grande quantité. Quand un système dans son ensemble est assemblé, quoi qu'il en soit, les capacités de test de l'électronique sont prévues de pourvoir à la plupart, mais pas à toutes, des possibilités de Diagnostic désirées. Des Tests additionnels doivent être développés pour prendre en compte les composantes (électroniques ou non) testées partiellement par le BIT Système. La H.D.M., en permettant à une description fonctionnelle complète du système d'être intégrée avec les définitions des tests BIT orientés défaillance, non seulement apporte une façon de déterminer les zones fonctionnelles du système qui restent non testées, mais aide aussi les analystes à identifier les points de test spécifiques qui sont les plus pertinents pour le développement de tests fonctionnels supplémentaires.

## "Diagnostic Reasoning" utilisant la H.D.M.

Pour être utilisé en conception hiérarchisée de système, un outil permettant d'élaborer un diagnostic par le raisonnement (appelons le "*diagnostic reasoner*") doit être capable de corrélérer - à de multiples niveaux de la conception du système - les conclusions du Diagnostic associées à un ou plusieurs tests. Cependant, afin d'être compatible avec la H.D.M., le "*diagnostic reasoner*" doit aussi être capable d'effectuer des **déductions entre les Fonctions apparentées et les Modes de Défaillance**. Au fur et à mesure que le "*reasoner*" écarte l'existence de certaines défaillances, il peut conclure au bon état des Fonctions non concernées par ces défaillances. Réciproquement, si une Fonction est disculpée (déterminé "être dans un état bon ") pendant les Diagnostics, la connaissance correspondante sur les Modes de Défaillance associés peut être acquise.

### Inférences Hybrides de Diagnostic

Il existe cinq types de règles d'inférence de Diagnostic spécifiques à la H.D.M. Bien que chaque règle soit relativement simple par elle-même, elles sont assez puissantes si elles sont employées toutes ensemble dans un moteur d'inférence de Diagnostic hiérarchique. Ces règles peuvent être regroupées en deux catégories - inférences des Modes de Défaillance et inférences des Fonctions.

Nous allons étudier chacune des règles d'inférence de la H.D.M. individuellement, en utilisant l'exemple suivant:

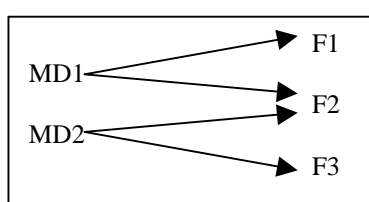


Figure 2. Exemple d'une composante de H.D.M.

Chacun des deux Modes de Défaillance (MD1 et MD2) de cet élément altère deux des trois Fonctions (F1, F2, F3) de celui-ci. Le type de flèche (pleine ou pointillée) indique le type de relation entre le Mode de Défaillance et les Fonctions affectées. Ici, MD1 "altère toujours" (flèche pleine) les Fonctions F1 et F2, et MD2 "altère parfois" (flèche pointillée) F2 et F3.

### Inférences H.D.M. des Modes de Défaillance.

Quand les résultats de test obtenus en Diagnostics sont un ou plusieurs Modes de Défaillance, inculpé(s) ou disculpé(s), un *Diagnostic Reasoner* compatible avec la H.D.M. se doit de déterminer le statut de toutes les Fonctions qui sont directement associées avec ce/ces Mode(s) de Défaillance. Il existe deux règles d'inférence, basées sur la connaissance des Modes de Défaillance, qui peuvent être utilisées pour tirer des conclusions sur les Fonctions.

#### Règle # 1 d'Inférence H.D.M.

*Quand un Mode de Défaillance est inculpé, toutes les Fonctions non prouvées qui sont directement altérées par ce Mode de Défaillance devront aussi être inculpées.*

Cette règle d'inférence établit qu'une fonction qui n'a pas encore été prouvée "être dans un état bon" doit être considérée suspectée chaque fois qu'un des Modes de Défaillance qui altère directement cette Fonction est appelé en tant que suspect.

La règle peut être appliquée à l'exemple de la Figure 2.

MD2 est inculpé -> F2 et F3 sont inculpées

MD1 est inculpé -> F1 et F2 sont inculpées

### **Règle # 2 d'Inférence d'une H.D.M.**

*Quand tous les Modes de Défaillance qui altèrent directement une Fonction sont disculpés pendant les Diagnostics, alors la Fonction devra être inférée " être dans un état bon".*

Cette règle établit qu'une Fonction peut être inférée " être dans un état bon" une fois que tous les Modes de Défaillance qui peuvent directement altérer cette Fonction ont été éliminés des suspects. Cet axiome est "Vrai" sans avoir à prendre en compte les types de relations (toujours affectée, parfois affectée) entre la Fonction et ses causes de Mode de Défaillance.

Les inférences suivantes sont possibles pour l'exemple:

MD1 est disculpé -> F1 est inférée ("être dans un état bon")

MD2 est disculpé -> F3 est inférée ("être dans un état bon")

MD1 et MD2 sont disculpés -> F1, F2, et F3 sont inférées ("être dans un état bon")

### **Inférences H.D.M. des Fonctions.**

Il y a trois règles d'inférence qu'un "Diagnostic Reasoner" compatible avec la H.D.M., doit utiliser pour tirer des conclusions sur les statuts des Modes de Défaillance à partir de la connaissance des statuts fonctionnels.

### **Règle # 3 d'Inférence d'une H.D.M.**

*Quand une Fonction est inculpée, tous les Modes de Défaillance non prouvés qui altèrent directement cette Fonction doivent aussi être inculpés.*

En accord avec cette règle d'inférence, un Mode de Défaillance qui n'a pas encore été éliminé de la liste des suspects doit être considéré suspecté chaque fois qu'une des Fonctions lui étant affectée est mise en cause.

Les inférences alternatives suivantes sont possibles pour l'exemple de la Figure 2 :

F2 est inculpée -> MD1 et MD2 sont inculpés

F1 est inculpée -> MD1 est inculpé

F3 est inculpée -> MD2 est inculpé

### **Règle # 4 d'Inférence d'une H.D.M.**

*Quand une Fonction est déterminée "être dans un état bon" pendant les Diagnostics, tous les Modes de Défaillance qui "altèrent toujours " cette Fonction doivent être éliminés de la liste des suspects.*

Cette règle d'inférence définit que l'existence d'un Mode de Défaillance peut être disculpée quand une Fonction qui est "toujours affectée" par ce Mode de Défaillance est ou bien prouvée ou bien déduite "être dans un état bon" pendant les Diagnostics.

Cette règle peut être appliquée comme suit :

F1 est prouvée "être dans un état bon" -> MD1 est disculpé

F2 est prouvée "être dans un état bon" -> MD1 est disculpé

A noter que l'on ne peut inférer que MD2 soit "être absent" quand F2 est prouvée "être dans un état bon" (puisque MD2 n'altère pas toujours F2). Pour la même raison, cette règle d'inférence ne s'applique pas quand F3 est prouvée "être dans un état bon" (puisque son Mode de Défaillance apparenté altère parfois cette Fonction).

### **Règle # 5 d'Inférence d'une H.D.M.**

*Quand toutes les Fonctions qui sont "parfois affectées" par un Mode de Défaillance sont déterminées " être dans un état bon" pendant les Diagnostics, alors ce Mode de Défaillance doit être éliminé de la liste des suspects.*

Cette règle définit qu'un Mode de Défaillance peut être disculpé si toutes les fonctions qui sont "parfois affectées" par ce Mode de Défaillance ont été ou bien prouvées ou inférées " être dans un état bon" pendant les Diagnostics.

L'inférence suivante est possible :

F2 et F3 sont prouvées "être dans un état bon" -> MD2 est disculpé.

## Inférences H.D.M. chaînées.

Pour certaines conceptions, l'ajout de Modes de Défaillance sur un modèle fonctionnel peut donner lieu à des différences dans *la liste des Tests utilisés* par les Diagnostics. Des Tests utilisés initialement pour la détection de défaut, par exemple, peuvent ne plus être utilisés du tout (même si les définitions des Tests n'ont pas été modifiées). Ce phénomène -qui peut laisser perplexes des analystes non familiers avec le *raisonnement du Diagnostic* de la H.D.M.- est dû aux inférences chaînées.

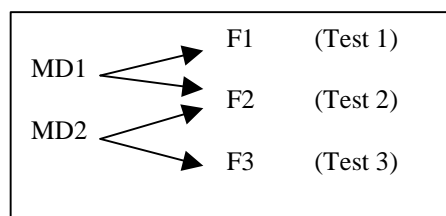


Figure 3 : Inférences Hybride chaînées

Considérons l'élément ci dessus en Figure 3. Avant d'ajouter des Modes de Défaillance, cet élément avait besoin de trois tests pour faire un diagnostic complet de toutes les défaillances possibles (Un test par Fonction F1, F2, F3). Une fois les deux Modes de Défaillance (MD1, MD2) ajoutés au modèle, quoi qu'il arrive, les Diagnostics n'ont plus besoin des trois tests. Si le Test 1 est bon, par exemple, les Diagnostics peuvent déterminer que F1 est bon et inférer (Règle #4 d'inférence) que MD1 n'a pas apparue. Si le Test 3 était exécuté à la suite, les Diagnostics apprendraient que F3 est dans un état "bon" et disculpe MD2. A ce point, puisque les deux Modes de Défaillance ont été disculpés, le "Diagnostic Reasoner" déduit que F2 n'a pas besoin d'être testée (Règle #2). Test 2 précédemment utilisé n'est donc plus nécessaire. Si, d'un autre côté, les Diagnostics avaient commencé par le Test 2 et que ce test était déclaré "bon", les deux Modes de Défaillance seraient disculpés (Règle #2) et les deux autres tests ne seraient plus nécessaires à la détection de défaut (Bien qu'ils puissent toujours être utiles en isolation de panne quand le Test 2 est en défaut).

Les Inférences hybrides chaînées peuvent être difficiles à identifier dans les systèmes fortement hiérarchisés, là où le "Diagnostic Reasoner" est performant pour les deux inférences, hybrides et hiérarchiques. Une fonction prouvée "être dans un état bon" à un niveau relativement haut de la conception entraînera que l'on peut en déduire qu'une fonction "de relation enfant" à un niveau inférieur, doit être inférée "être dans un état bon" également, ce qui en retour peut permettre d'écarter des Modes de Défaillance et d'en déduire que d'autres Fonctions sont dans un état "bon", pour en fin de compte arriver à la conclusion que d'autres fonctions du niveau supérieur, qui semblent sans relation avec la fonction initialement prouvée, sont également "dans un état bon". Cet enchaînement d'inférence du Diagnostic tend à apparaître dans des conceptions où les Modes de Défaillance sont de type "altèrent toujours" les Fonctions, puisque seule la règle #4 s'applique à cette situation. Quand les Modes de Défaillance sont de type "altèrent parfois" les Fonctions, la règle d'inférence # 5 moins absolue, est utilisée.

## La Corrélation des Taux de Défaillance rapportés aux Fonctions et aux Modes de Défaillance.

Comme un moteur de diagnostic compatible avec la H.D.M. tire sa connaissance, du statut des Fonctions individuelles et/ou des Modes de Défaillance, l'objectif est de recalculer la part de taux de défaillance impliquée pour refléter cette connaissance.

Si, par exemple, il est déterminé qu'un Mode de Défaillance n'existe pas (n'est pas apparu), l'objectif est de recalculer le taux de défaillance de toutes les Fonctions directement altérées par ce Mode de Défaillance (et qui n'ont pas encore été déduites "être dans un état bon") est mis à jour pour refléter la probabilité réduite d'avoir failli. Réciproquement, si une fonction est prouvée dans un état bon pendant les Diagnostics, le taux de défaillance des Modes de Défaillance qui altèrent cette Fonction (et qui non pas été éliminés de la liste des suspects) doit être mis à jour pour refléter la probabilité réduite d'être apparus.

Les modèles hybrides pour le Diagnostic (particulièrement ceux qui représentent des conceptions hiérarchiques) contiennent fréquemment des données de fiabilité séparées pour les Fonctions et les Modes de Défaillance. Les taux de défaillance des Fonctions ont été dérivés des répartitions de taux de défaillance de composants locaux ou de niveaux supérieurs, ou de la remontés de taux de défaillance de composants (éléments) de niveaux inférieurs. Les valeurs de fiabilité des Modes de Défaillance, d'un autre côté, sont typiquement calculées comme des pourcentages de taux de défaillance d'élément (composant). Parce que les deux groupes de données de fiabilité proviennent de sources différentes, il est possible de rencontrer certains conflits.

Considérons cet exemple :

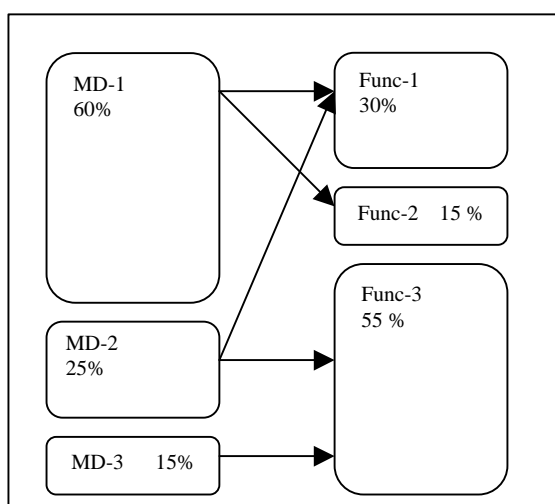


Figure 4 Données de Fiabilité en conflit.

A noter que, pour cet élément, le Mode de Défaillance MD-1 représente 60% du taux de défaillance de l'élément, mais, les deux Fonctions (Func-1 et Func-2) affectées par ce Mode de Défaillance collectivement ne représentent que 45% du taux de défaillance de l'élément. De plus, MD-1 est seulement responsable d'une partie du taux de défaillance de Func-1, puisque MD-2 affecte aussi cette Fonction. Avant que des Diagnostics basés sur la H.D.M. puissent mettre à jour les probabilités de panne de ce composant, ils doivent posséder une méthode de corréler les données de fiabilité en conflit. En utilisant le logiciel de DSI, eXpress, l'analyste a le choix pour les régler entre trois méthodes de corrélation des taux de Mode de Défaillance et fonctionnels. Ces trois méthodes, Failure Mode Apportionment - Failure Mode Precedence - Functional Precedence, sont représentatives des différentes façons qu'un "raisonner" compatible H.D.M. a de corréler les données de fiabilité entre Mode de Défaillance et Fonctionnalité.

### Répartition par Mode de Défaillance (Failure Mode Apportionment).

Quand les taux de défaillance sont corrélés en utilisant la *répartition par Mode de Défaillance*, les valeurs de fiabilité fonctionnelle sont recalculées en répartissant les ratios de Mode de Défaillance en parts égales entre toutes les Fonctions affectées. (Les ratios de Mode de Défaillance ne sont pas modifiés). Bien que ce soit la plus simple des trois approches, la donnée d'origine de fiabilité fonctionnelle est complètement ignorée - les probabilités ajustées des Fonctions sont entièrement dérivées des Modes de Défaillance qui les affectent. La Figure 5 présente les pourcentages relatifs qui résulteraient si les taux de défaillance de l'élément en Figure 4 étaient ajustés selon la *répartition par Mode de Défaillance*.

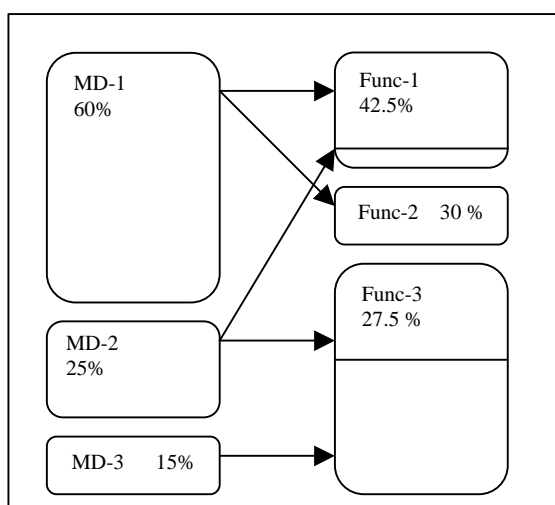


Figure 5. "Répartition par Mode de Défaillance"

Dans cet exemple, les ratios de Mode de Défaillance ont été répartis également entre les Fonctions affectées. D'où, Func-1 est maintenant alloué de 42.5% du taux de défaillance de l'élément (30% de MD-1 et 12.5% de MD-2). Les

lignes en pointillés donnent la proportion du taux de défaillance fonctionnel pour laquelle contribue chaque Mode de Défaillance.

Cette approche est particulièrement utile pour le niveau hiérarchique inférieur des modèles Hybrides dans lesquels les données de fiabilité fonctionnelle n'ont pas encore été développées. Si, toutefois, un modèle contient des probabilités de panne fonctionnelles (incluant celles remontées du niveau inférieur dans une architecture hiérarchisée), alors l'analyste peut souhaiter employer une des deux autres méthodes, chacune d'elle prenant en considération les deux, taux de défaillance attribués aux Modes de Défaillance et taux de défaillance Fonctionnel.

### Priorité au Mode de Défaillance (Failure Mode Précédence).

Quand la méthode "*Priorité au Mode de Défaillance*" est utilisée pour corrélérer les taux de défaillance, les taux des Modes de Défaillance ne sont pas modifiés, alors que les valeurs de fiabilité fonctionnelles sont ajustées pour qu'elles puissent être distribuées aux probabilités des Modes de Défaillance qui les affectent.

Bien que les ratios entre les valeurs de fiabilité fonctionnelles soient pris en considération, la donnée de fiabilité des Modes de Défaillance reste prioritaire. La Figure 6 présente les pourcentages relatifs qui résulteraient si les taux de défaillance de l'élément en Figure 4 étaient ajustés selon la "*Priorité au Mode de Défaillance*".

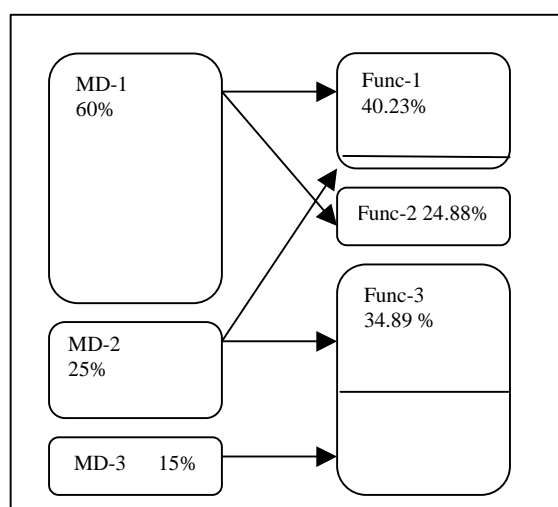


Figure 6. "*Priorité au Mode de Défaillance*"

Avec cette méthode, une plus grande proportion du taux de défaillance a été allouée à la Func-3 qu'avec "*Répartition par Mode de Défaillance*" (34.89%, contre 27.5% Figure 5). "*Priorité au Mode de Défaillance*" prend en compte les ratios d'origine lors de l'ajustement des taux de défaillance des Fonctions (Func-3 avait d'alloué à l'origine 55% du taux de défaillance de l'élément). Réciproquement, Func-2 (qui à l'origine ne représentait que 15% du taux de défaillance) a été ajusté à 24.88% (plutôt que 30% en "*Répartition par Mode de Défaillance*" Figure 5).

Notons aussi les différents pourcentages de taux de défaillance des Fonctions contribués par chaque Mode de Défaillance. (Lignes pointillées). MD-2, par exemple, ne contribue que d'une partie infime au taux de défaillance de Func-1. Il y a deux raisons à cela. La première, MD-2 constitue une petite partie du taux de défaillance général en comparaison à MD-1, l'autre contribution à Func-1. En deuxième, la majorité du taux de défaillance de MD-2 est allouée à Func-3, qui avait un ratio de défaillance initial plus élevé (55%) que Func-1 (30%).

Cette répartition peut être exécutée en utilisant les étapes suivantes :

1. Calculer, si nécessaire, le taux de défaillance brut pour chaque fonction et mode de défaillance.
2. Calculer le taux de défaillance distribué en partageant le taux de défaillance brut fonctionnel entre les Modes de Défaillance qui les affectent. (en utilisant le taux de défaillance total de chaque Mode de Défaillance pour déterminer les proportions).
3. Calculer les taux de défaillance partiels en répartissant les taux de défaillance distribués (pour toutes les Fonctions affectées par un Mode de Défaillance donné) pour qu'ils s'additionnent au taux de défaillance de ce Mode de Défaillance.
4. Calculer le taux de défaillance fonctionnel ajusté en additionnant tous les taux de défaillance partiels associés à cette Fonction.

Si on définit, pour simplifier l'exemple, que l'élément en question a un taux de défaillance de 100.0 (100 pannes par million heures), les taux bruts, fonctionnels et de Modes de défaillance peuvent être facilement calculés. Les taux de défaillance fonctionnels sont ensuite distribués aux Modes de Défaillance qui les affectent, en utilisant le taux de défaillance de chaque Mode de Défaillance pour déterminer la proportion.

Fonctions (w/taux de défaillance)	M.D. affectant la Fonction (w/taux de défaillance)	Pourcentages relatifs	Taux de défaillance distribués
Func-1 30.0	MD-1 60.0	70.59 %	21.1765
	MD-2 25.0	29.41 %	8.8235
Func-2 15.0	MD-1 60.0	100 %	15.0000
Func-3 55.0	MD-2 25.0	62.5 %	34.3750
	MD-3 15.0	37.5 %	20.6250

Table 1: "Priorité au Mode de Défaillance" étapes 1-2

Basé sur le ratio entre les taux de défaillance de MD-1 et MD-2 (les deux Modes de Défaillance qui affectent Func-1), 70.59% du taux de défaillance de Func-1 est distribué à MD-1, quand 29.41% est distribué à MD-2. L'étape suivante (étape 3) est de repondérer le taux de défaillance distribué pour que les valeurs de chaque Mode de Défaillance s'additionnent au taux de défaillance de ce Mode de Défaillance. Les résultats sont représentés en Table 2.

Modes de Défaillance (w/taux de défaillance)	Fonctions affectées	Taux de défaillance distribués	Taux de défaillance partiels
MD-1 60.0	Func-1	21.1765	35.1220
	Func-2	15.0000	24.8780
MD-2 25.0	Func-1	8.8235	5.1064
	Func-3	34.3750	19.8936
MD-3 15.0	Func-3	20.6250	15.0000

Table 2: "Priorité au Mode de Défaillance" étape 3

Les taux de défaillance distribués de MD-1 (21.1765 et 15.000) ont été repondérés, gardant les mêmes proportions, pour qu'ils s'additionnent au taux de défaillance de ce Mode de Défaillance (35.1220+24.8780=60.0). L'étape finale est d'additionner les taux de défaillance partiels pour obtenir le taux de défaillance fonctionnel ajusté (Table 3).

Fonctions	M.D. affectant la Fonction	Taux de défaillance partiels	Taux de défaillance ajustés
Func-1	MD-1	35.1220	40.2284
	MD-2	5.1064	
Func-2	MD-1	24.8780	24.8780
Func-3	MD-2	19.8939	34.8936
	MD-3	15.0000	

Table 3: "Priorité au Mode de Défaillance" étape 4

"Priorité au Mode de Défaillance" devrait être utilisé quand l'analyste désire considérer que les ratios des Modes de Défaillance sont plus exacts que les Taux de défaillance fonctionnels de la conception, mais ne souhaite pas perdre toute la connaissance incluse dans le modèle, de la fiabilité relative des différentes Fonctions.

Si on préfère les données de fiabilité fonctionnelles aux ratios des Modes de Défaillance, la troisième corrélation devra être utilisée - "Priorité au Fonctionnel".

## Priorité au Fonctionnel (*Functional precedence*)

"*Priorité au Fonctionnel*", au contraire des deux autres approches de corrélation du taux de défaillance, ne modifie pas les taux de défaillance fonctionnels. Cette méthode ajuste les valeurs de fiabilité des Modes de Défaillance, pour permettre de les rattacher aux probabilités des Fonctions affectées. Bien que la donnée de fiabilité du Mode de Défaillance soit prise en compte, les taux de défaillance fonctionnels sont prioritaires.

La Figure 7 présente l'utilisation de la "*Priorité au Fonctionnel*" pour ajuster les taux de défaillance de l'élément décrit en Figure 4.

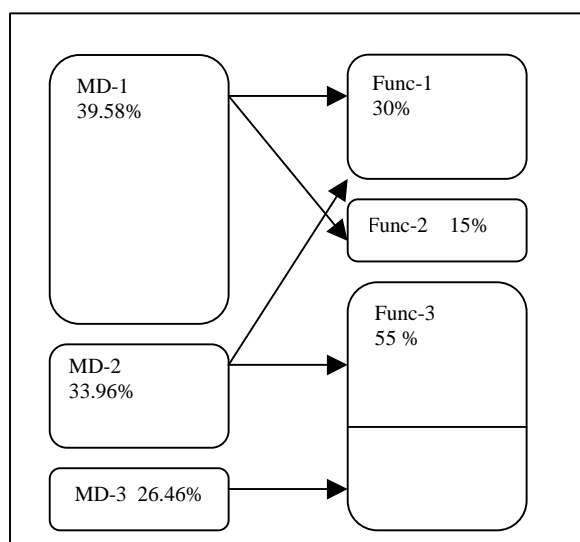


Figure 7. "*Priorité au Fonctionnel*".

Cette répartition peut être exécutée en utilisant les étapes suivantes :

1. Calculer, si nécessaire, le taux de défaillance brut pour chaque Fonction et Mode de Défaillance.
2. Calculer les taux de défaillance distribués en partageant le taux de défaillance brut des Modes de Défaillance entre les Fonctions affectées. (en utilisant le taux de défaillance total de chaque Fonction pour déterminer les proportions).
3. Calculer les taux de défaillance partiels en répartissant les taux de défaillance distribués (pour tous les Modes de Défaillance qui peuvent affecter une Fonction donnée) pour qu'ils s'additionnent au taux de défaillance fonctionnel.
4. Calculer le taux de défaillance ajusté en additionnant tous les taux de défaillance partiels associés avec ce Mode de Défaillance.

Modes de Défaillance	Pourcentage du Taux de défaillance du M.D.	Fonctions affectées	Pourcentage du Taux de défaillance de la Fonction affectée	Total par M.D.	Pourcentages relatifs	Taux de défaillance distribués	Taux de défaillance distribués
MD 1	60	Func 1	30	45	0.666666667	40	40
		Func 2	15		0.333333333	20	20
MD 2	25	Func 1	30	85	0.352941176	8.823529412	8.823529412
		Func 3	55		0.647058824	16.17647059	16.17647059
MD 3	15	Func 3	55	55	1	15	15

Table 4.

Fonctions affectées	Pourcentage du Taux de défaillance de la Fonction affectée	Modes de Défaillance	Pourcentages relatifs	Taux de défaillance distribués	Total par Fonction	Répartition	Taux de défaillance partiels
Func 1	30	MD 1	0.666666667	40	48.82352941	0.819277108	24.57831325
		MD 2	0.352941176	8.82352941		0.180722892	5.421686747
Func 2	15	MD 1	0.333333333	20	20	1	15
Func 3	55	MD 2	0.647058824	16.1764706	31.17647059	0.518867925	28.53773585
		MD 3	1	15		0.481132075	26.46226415

Table 5

Modes de Défaillance	Fonctions affectées	Taux de défaillance partiels	Taux de défaillance ajustés
MD 1	Func 1	24.578313	39.57831325
	Func 2	15	
MD 2	Func 1	5.4216867	33.9594226
	Func 3	28.537736	
MD 3	Func 3	26.462264	26.46226415

Table 6.

SERIEM SA  
 Parc d'affaires Silic  
 Bâtiment Cères - Porte 303  
 Rue du Petit Albi  
 95800 Cergy Saint Christophe  
 B.P. 8277 - 95802 CERGY-PONTOISE Cedex - FRANCE  
 Téléphone : 01 30 30 22 10  
 Fax : 01 34 22 03 82  
 Internet : [www.seriem.fr](http://www.seriem.fr)

Michel Schieber  
 Tél: 01 30 30 67 61  
 Fax: 01 34 22 03 82