

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DE HADJ LAKHDAR BATNA



INSTITUT D'HYGIÈNE ET SÉCURITÉ INDUSTRIELLE
LABORATOIRE DE RECHERCHE EN PRÉVENTION INDUSTRIELLE (LRPI)

MÉMOIRE PRÉSENTÉ PAR

Hefaidh HADEF

INGÉNIEUR D'ETAT EN HYGIÈNE ET SÉCURITÉ INDUSTRIELLE
POUR L'OBTENTION LE GRADE DE

MAGISTER

EN HYGIÈNE ET SÉCURITÉ INDUSTRIELLE
OPTION : GESTION DES RISQUES

Contribution à l'évaluation de la fiabilité des produits en phase de conception

Mémoire soutenue publiquement le 12 /03 /2015 devant le jury ci-dessous:

Pr. BAHMED Lylia	Professeur à l'université de Batna	Président
Pr. DJEBABRA Mébarek	Professeur à l'université de Batna	Rapporteur
Pr. TAMRABET Abdellah	Professeur à l'université de Batna	Examineur
Dr. HAFAIFA Ahmed	Maître de conférences A à l'université de Djelfa	Examineur

2015

Dédicace

Permettez-moi de dédier ce modeste travail :

À mes chers et aimables parents, sans eux, rien ne serait possible ; sans oublier la contribution et les encouragements de tous les membres de ma famille.

Ainsi que mes amis, les meilleurs qui soient.

A tous ceux qui ont sacrifié leurs temps pour les recherches scientifiques, qui ont permis à la science d'atteindre le stade actuel, à l'ensemble des chercheurs qui utilisent la science pour le bien et la Prospérité de l'humanité.

... Hefaidh

Remerciements

Je remercie en premier lieu Dieu le Tout Puissant, le créateur de l'univers, de nous avoir imprégnés de la force et volonté pour réaliser ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à mon encadreur Mr. **Mébarek DJEBABRA**, Directeur du laboratoire LRPI et Professeur à l'Institut d'Hygiène et Sécurité Industrielle, pour ses précieux conseils et encouragements incessants durant toute la période de la réalisation de ce travail. Souhaitant que le créateur exauce les efforts consentis à mon égard, parmi les bienfaits et permettront de faire pencher la balance à son détriment.

Je remercie également Mme **Lylia BAHMED**, Professeur à l'Institut d'Hygiène et Sécurité Industrielle qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire, je lui exprime mon profond respect et mes vifs remerciements.

Mes remerciements vont aussi à Messieurs **Abdallah TAMRABET**, Professeur à l'Institut d'Hygiène et Sécurité Industrielle de l'Université de Batna, et **Ahmed HAFAIFA**, Maître de conférences (A) à l'Université de Djelfa, pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Je n'oublie pas, de remercier également toutes les personnes qui de près ou de loin m'ont apportées leurs soutiens et leurs encouragements.

Table des matières

Dédicace.....	ii
Remerciements.....	iii
Table des matières.....	iv
Liste des figures.....	vii
Liste des tableaux.....	ix
Acronymes et Abréviations.....	x
Introduction générale.....	1

Chapitre 1 : De la validation de la conception des produits à la gestion de la Connaissance

I.1- Introduction.....	4
I.2- A propos du cycle de vie des produits.....	5
I.2.1- Définition du cycle de vie d'un produit.....	5
I.2.2- Processus de développement du cycle de vie d'un produit.....	8
I.2.3- La place qu'occupe la conception dans le processus de développement du cycle de vie d'un produit.....	10
I.3- A propos des phases de la conception des produits.....	10
I.3.1- Elaboration du cahier de charges	12
I.3.2- Spécification des principes.....	13
I.3.3- Conception d'ensemble.....	13
I.3.4- Conception détaillée.....	13
I.4- Les différents types de la conception des produits	14
I.4.1- Conception créative.....	15
I.4.2- Conception innovante.....	16
I.4.3- Conception prédéfinie (routinière).....	17
I.5- De la conception des produits à sa validation.....	18
I.5.1- Les approches d'aide à la validation des produits.....	20
A-Approche basée sur l'ingénierie concurrente.....	20
B- Approche basée sur l'ingénierie collaborative (Co-conception).....	21
I.5.2-Place qu'occupe la gestion de la connaissance dans les deux approches d'aide à la conception des produits.....	22
I.6-Conclusion.....	23

Chapitre II : de la gestion de la connaissance à sa capitalisation

II.1- Introduction.....	25
II.2- Fondements de la gestion de la connaissance.....	25
II.2.1- Définition de la connaissance.....	25
II.2.2-Processus de création de la connaissance.....	28
A-Création de la connaissance à partir de la gestion de l'information.....	28
B-Modèle DIC.....	29
II.3- De la création de la connaissance à sa capitalisation.....	31
II.3.1- Démarche générale de la capitalisation des connaissances.....	32
II.3.2-Les modèles de la capitalisation de la connaissance.....	32
A- Modèle Grundstein.....	32
B-Modèle DIC.....	34
C-Synthèse des modèles de capitalisation de la connaissance.....	38
II. 4- Conclusion.....	39

Chapitre III : De la capitalisation de la connaissance axée sur la maîtrise des risques en conception

III.1- Introduction.....	40
III.2- Les approches de maîtrise des risques en conception.....	41
III.2.1- Approche basée sur les bonnes pratiques en conception.....	41
III.2.2- Approche basée sur la validation subjective.....	44
III.2.3- Approche basée sur la validation par essais.....	46
III.2.4- Synthèse des approches de maîtrise des risques en conception.....	48
III.3- Proposition d'une démarche axée sur l'anticipation des risques en conception.....	49
III.3.1- Etapes de la démarche proposée.....	49
A-Définition des acteurs impliqués dans la gestion de la connaissance relative à l'anticipation des risques en conception.....	49
B- Cycle de transfert de la connaissance axée sur l'anticipation des risques en conception.....	51
III.3.2- Méthodes associées à la démarche proposée.....	54
A-Analyse fonctionnelle par usage de la méthode de décomposition logico-temporelle du système.....	54

B- Analyse dysfonctionnelle par usage de la méthode d'analyse préliminaire des risques.....	56
C- Méthodes (modèles) relatives aux essais accélérés pour les risques priorisés.....	60
III.4- Conclusion.....	69
 Chapitre IV : Application de la méthodologie proposée au système photovoltaïque	
IV.1- Introduction.....	71
IV.2- Description du système étudié	72
IV.3- Application des méthodes et outils supports du modèle DIC pour l'anticipation des risques en conception du système TSP 2000.....	74
IV.3.1- Analyse fonctionnelle par usage de la méthode de décomposition logico- temporelle du système.....	75
IV.3.2- Analyse dysfonctionnelle du système TSP 2000.....	77
A- AMDEC du système TSP 2000.....	77
B- Arbre de Défaillances (AdD) du système TSP 2000.....	81
IV.4- Estimation de la fiabilité du système étudié par Essais accélérés de dégradation..	84
IV.4.1- Distribution de durées de vie.....	84
IV.4.2- Réalisation des essais accélérés.....	85
IV.4.3- Détermination des paramètres de la loi d'accélération.....	87
IV.4.4- Estimation de la fiabilité dans les conditions nominales d'utilisation.....	88
IV.5- Discussions des résultats.....	89
IV.6- Conclusion.....	90
Conclusion générale.....	91
Référence bibliographique.....	93
Annexe A.....	101
Annexe B.....	102
Annexe C.....	108
Résumé.....	114

Liste des figures

Chapitre I	P
Figure I.1 : Les différentes phases de cycle de vie d'un produit/service	5
Figure I.2 : Cycle en V	8
Figure I.3 : Activité de conception en tant que processus de résolution de problèmes.	11
Figure I.4 : Modèle séquentiel du processus de conception	12
Figure I.5 : Espace des solutions de conception routinière, innovante et créative	14
Figure I.6 : Types de conception et nature de produits	15
Figure I.7 : La conception créative	16
Figure I.8 : L'innovation au carrefour de l'opportunité technique et de la demande sociale	16
Figure I.9 : la conception routinière	18
Figure I.10 : Analyse fonctionnelle de la validation produit	19
Chapitre II	P
Figure II.1 : Connaissances explicites et tacites	27
Figure II.2 : Les modes de transformation des connaissances	28
Figure II.3 : Model DIC proposé par Boubaker	30
Figure II.4 : Modèle Grûndstein de la capitalisation de la connaissance	32
Figure II.5 : Articulation des processus DIC pour la capitalisation de la connaissance	35
Figure II.6 : Procédure de la capitalisation de la connaissance dans le modèle DIC	36
Figure II.7 : Procédure de mémorisation de la connaissance dans le modèle DIC	37
Chapitre III	P
Figure III.1 : Frontière d'un système et ses environnements les plus proches	42
Figure III.2 : Analyse fonctionnelle en cycle V	42
Figure III.3 : Analyse structurelle et fonctionnelle	43
Figure III.4 : Représentation d'une entité sous forme d'un bloc fonctionnel	44
Figure III.5 : Définition de la situation dangereuse	44
Figure III.6 : Définition du mode de défaillance	45
Figure III.7 : Séquence d'étude de SdF	46
Figure III.8 : Acteurs impliqués dans l'analyse des modes de défaillances selon le modèle DIC	49
Figure III.9 : Procédure de transformation de la connaissance entre les acteurs du DIC	50
Figure III.10 : Cycle du transfert de la connaissance issue du modèle DIC	51
Figure III.11 : Interactions DIC–Méthodes de fiabilité retenue dans cette étude	52
Figure III.12 : Structure d'un arbre de défaillance	59
Figure III.13 : Principe des essais accélérés	60
Figure III.14 : Représentations graphiques des chargements en fonction du temps	62
Figure III.15 : Représentations graphiques des chargements indépendamment de temps du temps	62
Figure III.16 : Représentation des modèles de vie accélérée	63
Figure III.17 : La fiabilité d'un composant en conditions nominal et en condition de test accéléré	65
Chapitre IV	P
Figure IV.1 : Schéma représentatif de système de pompage TSP gamme 2000	71
Figure IV.2 : Décomposition de système de pompage photovoltaïque en sous-	74

systemes.	
Figure IV.3 : Arbre de défaillance d'un module photovoltaïque	81
Figure IV.4 : Courbes des résultats	85
Figure IV.5 : Graphe représente les heures de défaillances pour les trois couples des contraintes.	85
Annexe A	P
Figure A.1 : Catalogue de module photovoltaïque	101
Annexe B	P
Figure B.1 : Le cœur d'une cellule photovoltaïque est constitué d'une jonction P-N	102
Figure B.2 : Description de l'effet photovoltaïque	103
Figure B.3 : Influence de la température sur la caractéristique I(V) et P(V) pour une irradiation solaire de 1000W/m ²	104
Figure B.4 : Caractéristique I(V) et P(V) d'un module pour différentes irradiation solaire à 25°C	105
Figure B.5 : Variation de résistance des couches de si exposé à des variations d'humidité	105
Figure B.6 : les différentes parties d'un module photovoltaïque soumis aux dégradations	106
Annexe C	P
Figure C.1 : Interface graphique de logiciel ; Saisissez les données et calculez-les paramètres de la distribution de Weibull à 2 paramètres	108
Figure C.2 : Interface graphique de logiciel ; paramètres spécifiques	108
Figure C.3 : Interface graphique de logiciel ; les heures de défaillances pour les trois couples des contraintes	109
Figure C.4 : Interface graphique de logiciel ; calcul de la fiabilité pour chaque couple (T, HR)	110
Figure C.5 : Interface graphique de logiciel ; configuration des actions de traitement pour afficher/paramétrer les options de calcul et de noms de feuilles	110
Figure C.6 : Interface graphique de logiciel ; configuration des actions de traitement couple N° 01 (100°Cet 90% HR) : A	110
Figure C.7 : Interface graphique de logiciel ; configuration des actions de traitement couple N° 02 (120°C et 90% HR) : B	111
Figure C. 8 : Interface graphique de logiciel ; configuration des actions de traitement couple N° 03 (120°Cet 80% HR) : C	111
Figure C. 9 : Interface graphique de logiciel ; calcul des paramètres de Weibul pour le couple N° 01 (100°Cet 90% HR) : A	112
Figure C.10 : Interface graphique de logiciel ; calcul des paramètres de Weibul pour le couple N° 02 (120°C et 90% HR) : B	113
Figure C. 11 : Interface graphique de logiciel ; calcul des paramètres de Weibul pour le couple N° 03 (120°Cet 80% HR) : C	113

Liste des tableaux

Chapitre I	P
Tableau I.1 : Extrait des définitions de la conception	10
Tableau I.2 : Extrait de définitions de la validation	18
Chapitre II	P
Tableau II.1 : Points de vue des interactions entre les éléments du modèle DIC	30
Tableau II.2. Concepts associés au modèle DIC	34
Chapitre III	P
Tableau III.1: Aspects de décomposition verticale	54
Tableau III.2 : Les différents types AMDEC	56
Tableau III.3 : Les différentes phases de l'AMDEC	57
Tableau III.4 : Tableau de présentation des résultats d'une AMDEC	58
Chapitre IV	P
Tableau IV.1 : Tableau d'analyse structuro- fonctionnelle	74
Tableau IV.2: Cotation pour l'étude AMDEC des systèmes photovoltaïques	77
Tableau IV.3 : AMDEC du système photovoltaïque étudié	77
Tableau IV.4 : Mode de défaillance en fonction des essais accélérée	82
Tableau IV.5 : Résultats des essais accélérés de dégradation	84
Tableau IV.6: Représentation des paramètres de la loi de Weibull pour les trois couples d'essais	85

Acronymes et abréviations

Symbole	Définition
DIC	Donné-Information- Connaissance.
SGBD	Systèmes de Gestion des Bases de Données
APR	Analyse Préliminaire des Risques
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité
AdD	Arbre de Défaillances
SdF	Surté de fonctionnement
QFD	Qualité-Function-Deployment
AdE	Arbres d'Evènements
FA	Facteur d'accélération
τ_i	La durée de vie sous la condition « i ».
SVA	Le modèle Standard de Vie Accélérée
R_{i0}(t)	La fiabilité sous le stress « i ».
S(t)	Stress à un instant « t »
V(s)	Durée de vie quelconque sous stress « S _i »
EVA	Ethylene Vinly Acetate

Introduction générale

1. Problématique

Confrontées à une économie fortement concurrentielle, les entreprises ont l'obligation de développer rapidement de nouveaux produits tout en étant soumises à des contraintes de coût, de délai et de qualité sans cesse plus fortes, ce qui explique que la conception soit devenue un champ important de recherches (Guatier, 2005). A cet effet, la gestion de la connaissance qui est née de la conjonction du besoin et de la technologie constitue une alternative prometteuse pour optimiser en permanence le triptyque Coût-Délai-Qualité.

L'évaluation de la performance¹ des produits est devenue un enjeu majeur en phase de conception pour remédier aux problèmes des produits le plus tôt possible. Car, plus les caractéristiques d'un produit (ou d'un système) sont appréhendées tôt dans son cycle de vie moins les risques financiers ou liés à la sûreté des installations dus à la non réalisation des performances attendues sont élevés. Conséquemment, il est impératif de vérifier le plus tôt possible que les performances des systèmes (ou produits) sont conformes aux cahiers des charges.

La fiabilité² est l'un des paramètres les plus importants de la sûreté de fonctionnement. Elle est abordée à chaque fois que l'on veut des systèmes fiables, disponibles et sûrs et elle est devenue un paramètre clé de la qualité et d'aide à la décision, dans l'étude de la plupart des composants, produits et processus (Tebbi, 2005; Lonny & Procaccia, 2006).

A ce propos, l'évaluation de la fiabilité des produits en phase de conception occupe une place de choix. C'est dans ce contexte que nous avons inspiré notre problématique qui

¹ En termes de clauses de sûreté de fonctionnement (fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité).

² « L'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant une durée donnée » (ISO9000, 2000)

consiste à répondre à la question clé suivante : Comment évaluer la fiabilité de produits en phase de conception afin de concevoir plus vite, moins cher et mieux ?

2. Objectif de l'étude

Le cœur de notre étude est l'évaluation de la fiabilité de produits en phase de conception en tant qu'indicateur de performance. Parce qu'elle est devenue un argument commercial important et elle n'en reste pas moins une préoccupation majeure des ingénieurs d'étude. En effet, outre son implication directe dans la sûreté de fonctionnement (notamment dans le cadre d'analyses de risque en cas de défaillances), il apparaît que la fiabilité est aujourd'hui une donnée importante dans l'impact économique du cycle de vie des produits. Justifiée depuis toujours par le bon sens populaire "plus l'équipement durera long temps, moins il me coûtera cher à amortir", cette notion se traduit dans l'industrie par des besoins d'évaluation de fiabilité de plus en plus importants, tant en quantité qu'en précision exigée.

Pour répondre à cet objectif, nous proposons une méthodologie introduisant, au plus tôt dans le processus de conception, une démarche d'anticipation des risque en conception afin d'évaluer et de pré-valider la fiabilité de produits en phase de conception en prenant en compte, le futur contexte d'exploitation du système (contrainte influençant le vieillissement de produits) qui s'articule autour d'un modèle de capitalisation de la connaissance DIC et des méthodes supports.

3. Organisation du mémoire

Pour atteindre cet objectif, ce manuscrit est composé de quatre chapitres :

- Le premier chapitre intitulé « De la validation de la conception des produits à la gestion de la connaissance », a pour but de définir ce qui constitue l'activité de conception et, où nous effectuerons un positionnement de l'activité de conception dans le cycle de vie d'un produit et nous présenterons le processus de conception, ses typologies et les différentes approches d'aide à la validation puis nous discuterons les interactions avec le domaine de la gestion des connaissances en tant qu'outil d'aide à la validation des produits.
- Le deuxième chapitre, intitulé « De la gestion de la connaissance à sa capitalisation », a pour but de rappeler les fondements et concepts de la gestion de la connaissance, leurs processus de création et les outils spécifiques de la capitalisation de ces connaissances.

- Le troisième chapitre, intitulé « De la capitalisation de la connaissance axée sur l'anticipation de risques en conception », présente dans un premier temps les différentes approches de maîtrise des risques en conception et, dans un second temps, notre proposition méthodologique d'anticipation des risques en conception basée sur la capitalisation des connaissances et qui s'articule autour de l'interaction entre le modèle DIC et des méthodes supports.

- Enfin, le quatrième et dernier chapitre, intitulé « Application de la méthodologie proposée aux systèmes photovoltaïques », est consacré à l'application des méthodes supports de notre démarche proposée dans le chapitre trois. Un système photovoltaïque fera l'objet de cette application.

Nous concluons notre travail par un bilan provisoire des apports de la méthodologie globale développé ainsi que les perspectives envisageables.

Enfin, certaines informations complémentaires et utiles à notre étude sont regroupées en annexes.

Chapitre I

De la validation de la conception des produits à la gestion de la connaissance

I.1- Introduction

L'activité de conception présente de multiples facettes. Nous nous intéressons dans ce chapitre à celles qui concernent la conception de produits industriels qui peuvent être eux aussi perçus et définis de diverses façons. En tant qu'ensemble de composants, ou alors dans leur finalité en tant que support de fonctions permettant de rendre des services à des utilisateurs, ces produits peuvent être des évolutions subtiles de produits déjà existants ou au contraire ils peuvent présenter des caractéristiques de nouveauté importante dans leurs : fonctions, technologies ou esthétique. Leur degré de nouveauté est, donc, variable mais quel que soit ce degré de nouveauté, il est le fruit d'un processus industriel¹ mettant en œuvre des méthodes, des outils, des relations humaines et des flux d'informations qui sont évolués au cours de ces dernières années et sont intimement liés aux problématiques organisationnelles, stratégiques et techniques de l'entreprise (Ouakki, 2011).

La validation de conception consiste à se focaliser sur les données de sortie d'un projet afin de s'assurer qu'elles satisfont aux exigences exprimées sous formes de données d'entrées. En d'autres termes, l'exploitation comparative des données d'un produit permet d'effectuer la validation de sa conception. Dans le domaine de la gestion de la connaissance, cette

¹Ce processus industriel est lui-même en interaction avec l'environnement de l'entreprise : celui des produits et des services, celui des technologies et des méthodes, celui des découvertes scientifiques et des évolutions de la pensée (ISO9000 : 2000).

exploitation des données de produits est cadrée par le vocable « capitalisation de la connaissance ». C'est dans ce contexte que s'intègre ce chapitre qui a pour objet de faire le point sur les fondements de la conception des produits ainsi que les grandes approches qui cadrent cette conception dans le but d'introduire la gestion de la connaissance et la place qu'elle occupe dans les grandes approches de conception de produits.

I.2- A propos du cycle de vie des produits

Pour répondre de manière efficace aux contraintes économiques et matérielles dues à la compétition entre "vendeurs", il est de plus en plus nécessaire de considérer le produit dans son ensemble; c'est-à-dire depuis sa naissance jusqu'à sa mort ou encore depuis l'idée de sa création jusqu'à sa destruction ou son recyclage. L'ensemble des étapes qui constituent cette "vie" du produit est appelé « Cycle de vie du produit ».

I.2.1- Définition du cycle de vie d'un produit

La notion de cycle de vie est une notion indispensable dans l'analyse d'un produit/service et dans la gestion du portefeuille. Ils se situent dans cinq catégories qui sont représentées en figure I.1 (Daskoo, 2007) : développement, lancement, croissance, maturité et déclin.

Dans la plupart des cas, le cycle de vie d'un produit se traduit par une courbe en S qui traduit la rentabilité du produit/service par rapport au temps depuis sa date de commercialisation. Au travers ces phases, il est possible de déterminer le chiffre d'affaire qui est plus ou moins important. Il s'agit de retarder la phase du déclin au maximum pour profiter au maximum d'un produit.

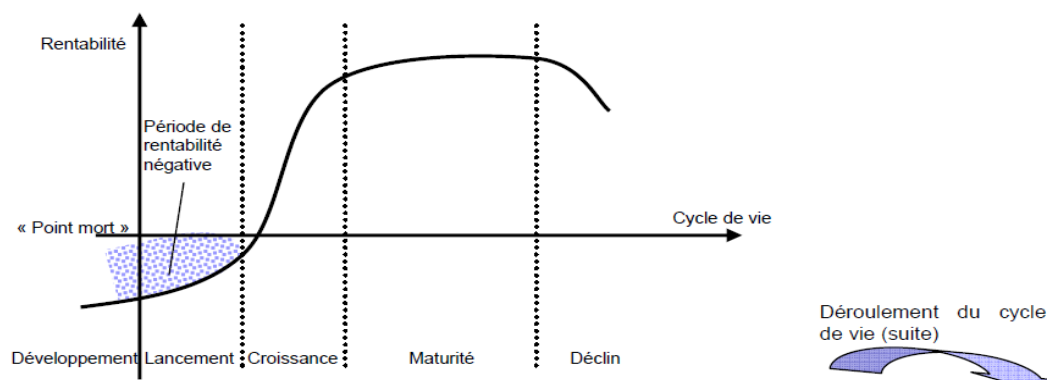


Figure I.1 : Les différentes phases de cycle de vie d'un produit/service d'après (Daskoo, 2007)

Les phases de cycle de vie d'un produit/service, présentées dans la figure I.1, sont détaillées ci-après.

- *La recherche et le développement du produit* : C'est la mise au point du produit (conception, test, étude de marché, ...). Cette phase génère des coûts importants tandis l'entreprise ne récupère pas de recettes. C'est seulement à la fin de cette phase que l'entreprise décide si elle commercialise, transforme ou abandonne le produit.
- *Le lancement* : C'est la phase où le produit pénètre sur le marché. Les ventes progressent lentement. En effet, plus le produit est vendu plus il est visible pour le client. Les premiers clients sont des pionniers et les concurrents sont peu nombreux. Les coûts sont élevés dus, entre autre, à des dépenses promotionnelles pour inciter le client à acheter le produit.
- *La croissance* : Cette phase est caractérisée par une forte augmentation des ventes et une diminution des coûts grâce à des économies d'échelle². A partir de cette phase que les bénéfices se concrétisent et le produit trouve sa place sur le marché et donc les clients deviennent fidèles au produit. Par ailleurs, durant cette phase que la concurrence se lance aussi sur le produit et l'entreprise doit, donc, investir et utiliser son expérience pour prendre le plus de parts de marché et pour maintenir un avantage concurrentiel.
- *La maturité* : Au cours de cette phase, la croissance des ventes se ralentit (l'atteinte du maximum). De même, les concurrents se multiplient et le prix du produit a tendance à baisser. C'est la phase la plus longue du cycle de vie où la rentabilité est maximale; car les coûts de développement sont amortis et de nombreuses variantes du produit voient alors le jour.
- *Le déclin* : Où les ventes diminuent et de nouveaux produits mieux adaptés à la demande du marché sont commercialisés. La rentabilité de l'entreprise diminue et elle doit faire un choix entre :
 - Relancer le produit en améliorant nettement le modèle,
 - Arrêter la production pour se positionner sur d'autres produits.

L'évolution du cycle de vie d'un produit doit être fondée sur l'implémentation d'un guide afin de s'assurer qu'il n'y a pas d'aspects qui sont omis en ce qui concerne la sécurité ainsi

² Une économie d'échelle correspond à la baisse du coût unitaire d'un produit qu'obtient une entreprise en accroissant la quantité de sa production.

que la qualité des produits et de mettre en valeur les activités entreprises dans ce domaine (Bahmed & al., 2005).

L'intérêt de l'étude du cycle de vie de produits est qu'il sert de base pour évaluer sa performance durant toutes les phases de son existence.

Pour rappel, la performance d'un produit, au sens large du terme, traduit sa qualité, Au sens stricte, il s'agit des indicateurs de performance tels que (Bahmed, 2006) : la serviabilité, la maintenabilité, la qualité, la fiabilité, la disponibilité, la sécurité et le respect de l'environnement.

Chapouille (1998) définit les cinq premiers concepts de la manière suivante:

- *La qualité* est le degré avec lequel un produit convient aux besoins du client. La qualité totale est fonction de la qualité du projet, qui mesure la valeur intrinsèque du projet par rapport aux besoins du client, et de la qualité de fabrication, qui mesure la fidélité avec laquelle le produit fabriqué est conforme au projet,
- *La fiabilité* est la caractéristique d'un dispositif mesurée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction requise dans des conditions données, pendant un temps donné,
- *La maintenabilité* est la caractéristique d'un système réparable mesurée par la probabilité qu'un système en panne soit remis en état dans un délai maximal donné, lorsque l'entretien et la réparation sont faits dans des conditions spécifiées,
- *La disponibilité* est la caractéristique d'un système réparable mesurée par la probabilité que le système fonctionne correctement à un instant quelconque, lorsqu'il est utilisé et entretenu dans les conditions spécifiées,
- *La serviabilité* est la caractéristique d'un système en service mesurée par la séquence des conditions de fonctionnement aux qu'elle est soumis le système (composants, dispositifs ou équipement). Il s'agit du cycle de fonctionnement exprimé par le facteur de service qui est le rapport de la durée de service d'une machine ou d'une installation (produit) à la durée totale de l'intervalle de temps considéré,
- *La sécurité* est l'absence du danger. Un produit est dit sécuritaire, lorsque son utilisation est sûre et ne porte pas préjudice à l'utilisateur. C'est, donc, la garantie de l'intégrité de l'être humain, la garantie de l'intégrité du système (produit) lui-même ou de ses fonctions et en fait de la fiabilité (Gerondeau& Lefranc, 1998),

- *Le respect de l'environnement* est la caractéristique d'un produit compatible avec l'environnement par la possibilité d'allongement de sa durée de vie, d'être facilement démontable et d'être facilement dégradable, dans le cadre de la recherche d'un développement durable (Butel- Bellini & Janin, 1999).

Dans notre contexte nous nous sommes intéressés par la fiabilité en tant qu'indicateur de performance d'un produit dès leur phase de conception grâce à l'importance de cette étape dans le processus de développement de produit.

I.2.2- Processus de développement du cycle de vie d'un produit

Le modèle de développement selon le cycle en V positionne les différentes phases de développement, depuis la spécification jusqu'à la validation produit (figure I.2).

Le cycle en V, se caractérise par un axe horizontal (qui représente le temps) et par un axe vertical (qui représente le niveau d'intégration du système). Le développement commence par le bloc de « Construction du système », la partie descendante du cycle en V, où le système est graduellement décomposé en ses divers sous-systèmes et modules jusqu'au niveau composant. La partie montante du cycle en V comprend le bloc de «Vérification & Validation (V & V) » du système où les composants, une fois réalisés, sont intégrés dans des ensembles et des sous-systèmes graduellement plus grands, jusqu'à ce que le système complet soit construit.

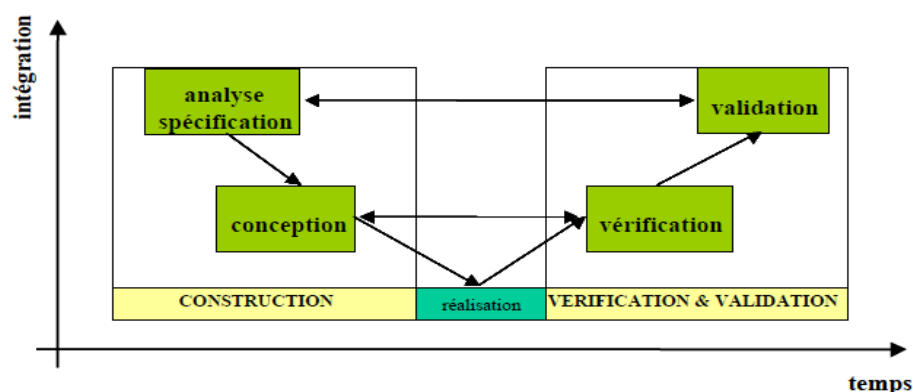


Figure I.2: Cycle en V d'après (Mihalache, 2007).

Les étapes du cycle en V sont détaillées ci-après.

- *Analyse/Spécification* : La première phase de développement d'un système consiste dans la réalisation de l'analyse des besoins et des spécifications. Cette phase propose la

définition des fonctionnalités, des interfaces, des contraintes et des exigences du système, la préparation du plan qualité, du plan de validation, de l'étude de faisabilité et, enfin, la définition du niveau de la fiabilité souhaité du système.

- *Conception* : Suite à l'analyse/spécification, la deuxième phase de développement d'un système est la conception, qui débute par la définition de l'architecture du système, puis des sous-systèmes et de leur fonctionnement, du plan de tests et d'essais et de l'analyse des risques.
- *Réalisation* : Cette phase de développement consiste à passer du résultat de la conception à un ensemble d'activités d'industrialisation permettant la fabrication et l'assemblage des composants.
- *Vérification* : Dans cette phase tous les modules ou sous-systèmes sont vérifiés, testés par rapport à la conception. La vérification est complémentaire avec l'assemblage des modules et des sous-systèmes jusqu'au système final.
- *Validation* : La deuxième phase de V&V est la validation du système final. Il s'agit d'une validation fonctionnelle, une phase importante, où sont constatés les fonctionnalités et le niveau de qualité par rapport aux spécification/analyse de besoins.

Lors du développement d'un système, le constructeur spécifie non seulement les fonctionnalités, mais aussi les objectifs à atteindre en termes de sûreté de fonctionnement. Ainsi, il est de plus en plus nécessaire d'intégrer la sûreté de fonctionnement dans l'approche système, très en amont dans les projets, dès la première phase du cycle de développement (DesJardin, 1996). Cette intégration conduit, non seulement, à démultiplier les études de fiabilité, de disponibilité, de maintenabilité et de sécurité, mais aussi à mettre en place une méthodologie transversale qui favorise leur prise en compte dans les projets et à travers les différents métiers liés au développement du système.

La spécification des objectifs de sûreté de fonctionnement est accompagnée d'une procédure de validation pour vérifier que ces objectifs ont été atteints. Tout au long du développement du produits/système, des méthodes et des techniques spécifiques de la sûreté de fonctionnement devront être appliquées pour atteindre les objectifs exigés.

1.2.3- La place qu'occupe la conception dans le processus de développement du cycle de vie d'un produit

Le contexte concurrentiel industriel actuel oblige les entreprises à réagir et anticiper d'avantage pour faire face : aux évolutions des attentes du client, des contraintes du marché et aux changements technologiques.

Ceci impose qu'elles maîtrisent la qualité, le coût, le délai de mise sur le marché de leurs produits mais aussi la flexibilité et la réactivité de leur organisation pour être performantes. Pour ce faire, les entreprises doivent en particulier porter leur attention sur l'optimisation de leurs méthodes de conception, de leurs technologies et de leurs procédés de fabrication (Tarondeau, 1993). Chaque entreprise doit également s'assurer de la maîtrise de chacune des phases de développement de ses produits et de leur intégration tout en garantissant son efficience globale. Dans ce contexte, la phase de conception revêt une influence particulière sur l'ensemble des phases en aval du cycle de vie du produit (Tichkiewitch et al, 1993). Donc, la phase de conception a un impact direct sur la performance globale de l'entreprise. Cette idée est exprimé par (Alcouffe et Corrége, 2004) : *« Les études de conception représentent en moyenne 5% du coût total d'un produit, ces activités déterminent environ 75% du coût total de ce même produit. C'est donc durant les premières phases de la conception qu'il est possible de réduire le coût total du produit et que les coûts d'étude des solutions alternatives et des modifications sont les plus faibles »*.

Ce constat nous incite à détailler dans ce qui suit le processus de conception et sa typologie.

1.3- A propos des phases de la conception des produits

La littérature spécialisée dans ce domaine est riche de définitions relatives au terme conception (tableau I.1).

Tableau I.1 : Extrait des définitions de la conception.

Source	Définition
(ISO 9000: 2000)	«Activité créatrice qui, partant des besoins exprimés et des connaissances existantes, aboutit à la définition d'un produit satisfaisant ces besoins et industriellement réalisable ». Les besoins proviennent du client ou du marketing.
(Marsot, 2002)	« Démarche de définition des tâches à accomplir et de résolution des

	problèmes dans le but de créer un produit ou un service destiné à satisfaire des besoins exprimés. Le terme « conception » désigne également le résultat des opérations précitées ».
(Bonnardel, 1992)	« Une activité essentiellement mentale,... orientée vers la réalisation d'objectifs,... focalisée sur les aspects pertinents du produit... ce qui laisse présager le rôle important de l'expertise... et la nécessité pour le concepteur de se construire (progressivement) une représentation précise du but de la conception »

Les définitions ci-dessus montrent que l'activité de conception est une activité complexe et les situations de conception sont généralement considérées comme des situations de résolution de problèmes (figure I.3).

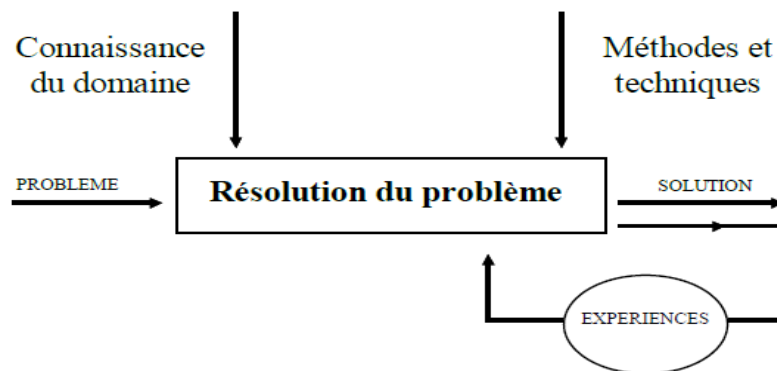


Figure I.3 : *Activité de conception en tant que processus de résolution de problèmes d'après (Bonnardel, 1992).*

Pour rappel, le modèle qui connaît le plus de succès dans la description du processus de conception est gouverné par l'approche systémique (Ouakki, 2011 ; Scara-vetti, 2004). Dans ce contexte, la description la plus retenue est celle proposée par (Pahl et al; 2007) sous forme d'un ensemble exhaustif de tâches génériques de conception. Cet ensemble est décomposé en quatre grandes phases où chaque phase est décomposée, à son tour, en plusieurs étapes de travail et des tâches spécifiques (figure I.4) :

- Elaboration du cahier de charges (La planification et la clarification des tâches),
- Formalisation et spécification des principes (La conception conceptuelle),
- Conception d'ensemble (La conception architecturale),
- Conception détaillée.

Les aspects itératifs et dynamiques du processus de conception montrent que le déroulement des différentes phases n'est pas totalement séquentiel (Pahl et al, 2007) mais

plutôt est une activité fortement itérative. Par exemple, pendant une phase avancée du processus de conception, une simple modification du besoin client peut remettre en cause certains choix et calculs déjà validés pendant la phase de spécification des principes. Le modèle de Pahl et Beitz (2007) présenté dans la figure 1.4 considère quatre phases successives du processus de conception qui sont détaillées ci-après.

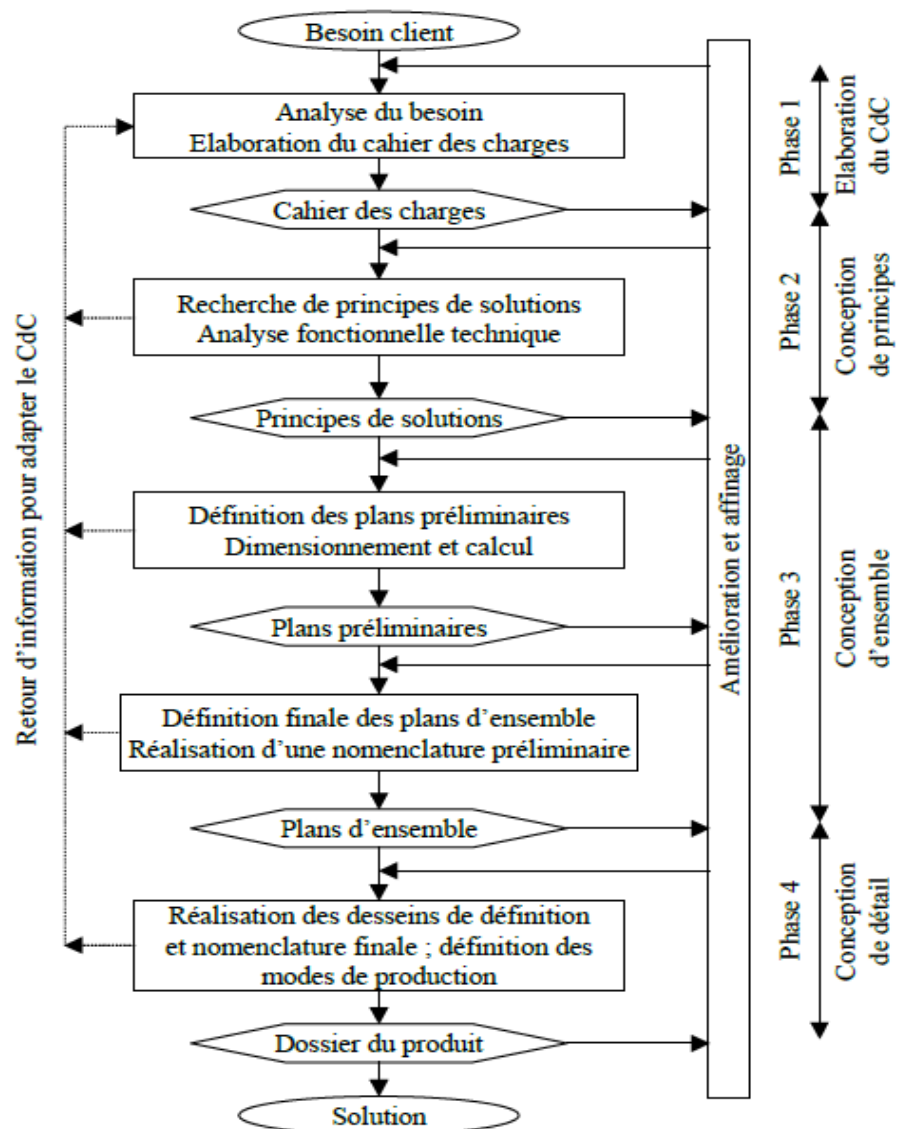


Figure I.4 : Modèle séquentiel du processus de conception d'après (Pahl & al. 2007).

I.3.1- Elaboration du cahier de charges

Il s'agit d'établir le cahier des charges fonctionnel du produit et de détailler les spécifications techniques et économiques. Cette phase aboutit à une spécification initiale du produit sous forme : d'une liste de fonctions et de caractéristiques que doit remplir le

produit, un ensemble de contraintes et éventuellement des objectifs coûts et délai de mise sur le marché. Cette phase correspond aux deux phases "identification du besoin" et "génération des spécifications" proposées par (Chandrasekaran, 1990) dans le cadre d'un processus de re-conception.

1.3.2- Spécification des principes

Les besoins fonctionnels du produit sont hiérarchisés, dans cette phase le concepteur va rechercher et évaluer des principes physiques envisageables et des pistes de solutions qui correspondent aux besoins fonctionnels identifiés auparavant. Ces principes de solutions correspondent, le plus souvent, à un ensemble de fonctions techniques ou à des schémas et concepts techniques. Au terme de cette phase que le choix d'un concept s'impose et qu'est accompagné des premières représentations graphiques et maquettes éventuelles associées. Egalement, durant cette phase que le concepteur propose et développe sa propre solution soit quand elle n'existe pas, soit pour des raisons d'innovation.

1.3.3- Conception d'ensemble

Une description technique complète du produit est élaborée, avec structure finale, formes, dimensions, caractéristiques du fonctionnement et l'agencement d'un ensemble de composants. La solution produit se raffine concrètement par des représentations et des vues géométriques d'ensemble de plus en plus évoluées, par une nomenclature de composants et par une évaluation des coûts.

Dans cette phase, plusieurs alternatives peuvent être explorées avant d'aboutir à une solution satisfaisante suivant des critères économiques et techniques.

1.3.4- Conception détaillée

Durant cette phase, le concepteur définit complètement et en détail chaque composant sélectionné et validé en spécifiant ses dimensions, ses caractéristiques physiques (matériaux), ses schémas et ses plans détaillés, son coût et une description de son processus d'industrialisation (fabrication, assemblage, distribution).

Au terme de cette phase, le produit est entièrement décrit de telle sorte que les informations générées puissent être exploitées par tous les acteurs. Sa définition finale comprend toutes

les informations relatives au produit (schémas d'ensemble, plans des composants et pièces, nomenclature détaillée, agencement des composants et évaluation économique) et celles qui décrivent ses modes d'industrialisation (technologie de fabrication, gammes et outils).

Au terme de cette phase, il s'agit d'élaborer les documents nécessaires à la fabrication et à la sous-traitance des composants et sous-ensembles du produit (Varret, 2012).

I.4- Les différents types de la conception des produits

Rappelons que dans la définition de la conception, telle qu'elle est définie par ISO³ (2000) la notion de connaissance en conception est importante. Car, elle permet de catégoriser par types les problématiques de conception. En effet, trois types de connaissances ont été identifiés par Brown et Chandrasekaran (1995) : la connaissance sur le domaine de l'objet à concevoir, la connaissance sur la démarche ou la manière de concevoir et la connaissance sur les besoins à l'origine du problème de conception).

Suivant le degré de complétude de ces trois types de connaissances, Brown et Chandrasekaran (1995) identifient la conception (figures I.5 et I.6) : routinière, innovante et créative. Cette classification est retenue par de nombreux auteurs (Kota & Ward, 1991 ; Gero, 1989).

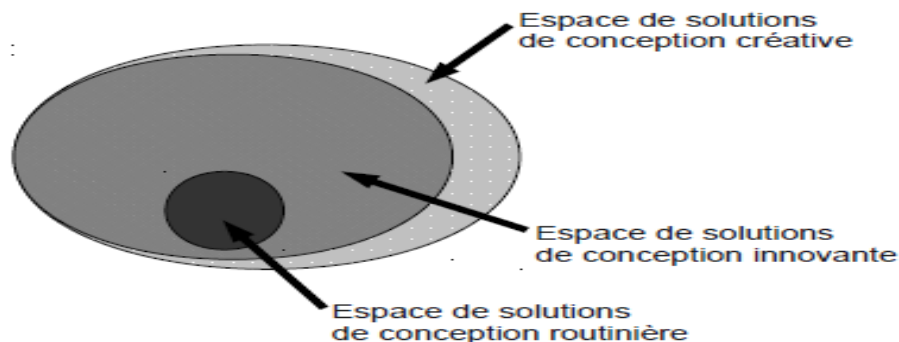


Figure I.5 : *Espace des solutions de conception routinière, innovante et créative d'après (Gero, 2001)*

³Activité créatrice qui, partant des besoins exprimés et des connaissances existantes, aboutit à la définition d'un produit satisfaisant ces besoins et industriellement réalisable.

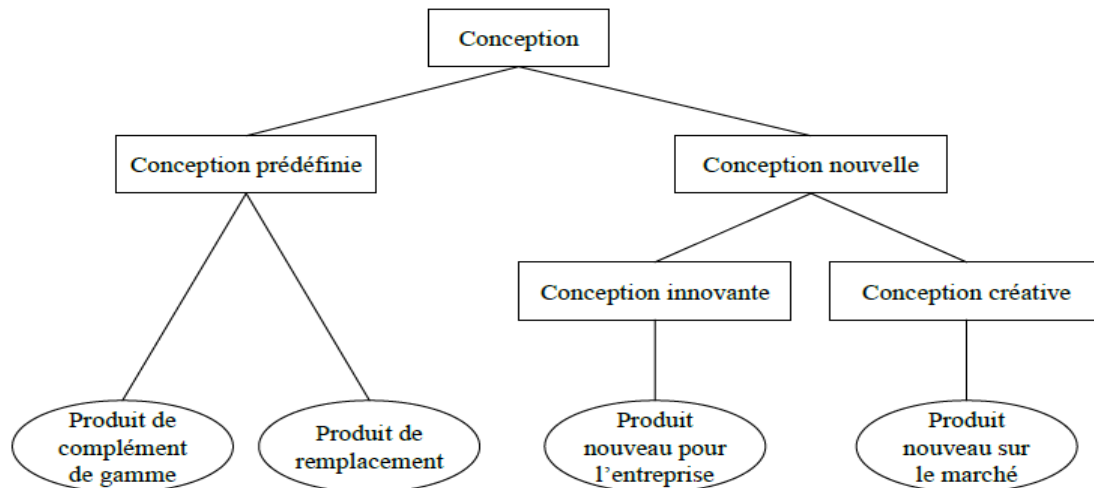


Figure I.6 : *Types de conception et nature de produits d'après (Gero, 2001)*

I.4.1- Conception créative

Dans le cas de cette conception, il s'agit de créer entièrement un nouveau concept de produit (sa structure et ses fonctions) à partir d'un objectif. Les connaissances technologiques et scientifiques nécessaires ne sont pas clairement identifiées ou maîtrisées.

De plus, les décisions vont porter essentiellement sur la création de situations de conception favorisant l'émergence de nouvelles idées plutôt que sur la prescription des tâches et des acteurs de la conception. La culture interne de l'entreprise peut devenir une contrainte à la créativité dans le sens où elle risque de standardiser les comportements des acteurs et de restreindre l'espace de solutions. Pour cela, le recours aux compétences extérieures (designers, chercheurs...) est souvent recherché par les décideurs.

Comme exemple de ce type de conception, citons le cas de voitures électriques qui nécessitent une nouvelle façon de décomposer les problèmes par rapport à la conception des véhicules traditionnels, d'une part, et des développements nouveaux dus à certaines technologies mal maîtrisées (accumulateur d'énergie), d'autre part (figure I.7).

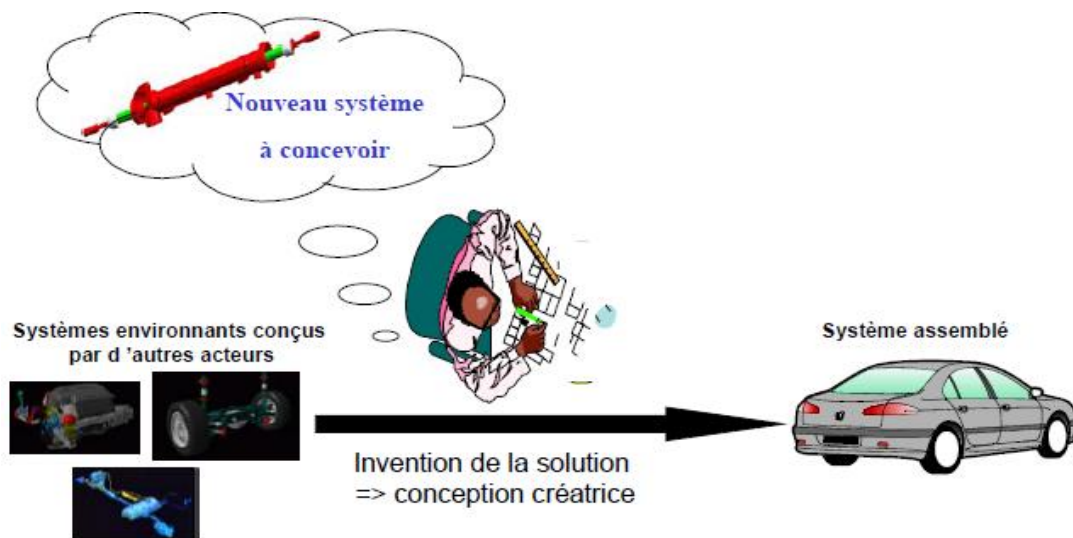


Figure 1.7: *La conception créative d'après (Menand, 2002).*

I.4.2- Conception innovante

Ce cas de conception porte sur un produit connu où la structure de décomposition est déterminée, mais, par contre, il peut être nécessaire d'utiliser certaines solutions techniques innovantes (solutions alternatives). L'innovation peut aussi porter sur le processus lorsque les connaissances qui vont être employées sont connues. En principe, l'innovation est planifiée et elle correspond à des projets dont les objectifs sont bien définis (figure I.8).

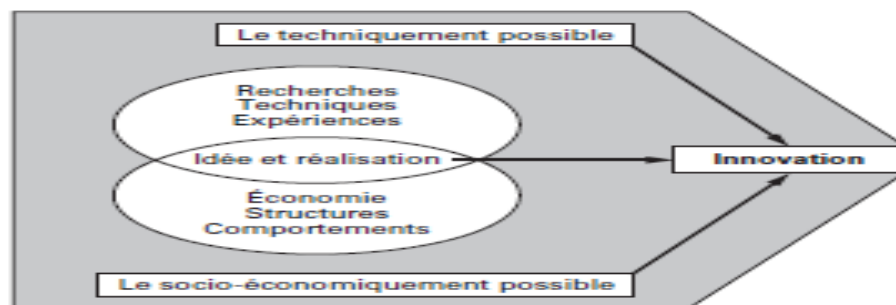


Figure I.8 : *L'innovation au carrefour de l'opportunité technique et de la demande sociale d'après (Girard, 2001).*

Les décisions de conduite devront favoriser la rencontre entre le techniquement possible et le socio économiquement attendu par une politique volontariste de recherche & développement, avec tous les risques financiers que cela suppose, ainsi que par des méthodes de veille et de prévision technologique. L'innovation est le lieu privilégié des consultations externes et de mise en concurrence des fournisseurs. Les sous-traitants connaissent bien cette situation, qui s'est accélérée ces dernières années, où on leur demande d'appréhender de nouvelles technologies et donc de prendre des risques. Parfois,

l'entreprise peut décider de faire appel à des bureaux d'études extérieurs ou à des centres techniques sur des points précis du produit dont elle n'a pas la maîtrise technologique. (Girard, 2001).

Par exemple intégrer le « Steer by wire » dans les véhicules pour assurer la fonction dirigeabilité de celui-ci). Cette activité est souvent réalisée dans des services de recherche avancée dont la mission est d'étudier les nouvelles technologies du marché afin de les maîtriser pour pouvoir les déployer et les industrialiser dans leur entreprise.

I.4.3- Conception prédéfinie (routinière)

Dans ce type de conception, la structure et les fonctions du produit sont connues au départ (figure I.9). Il s'agit, ici, de choisir parmi plusieurs concepts établis « sur étagères » puis de paramétrer (dimensionnement) celui retenu afin qu'il « réponde » à de nouvelles prestations objectives de départ et à de nouvelles contraintes.

Bien que le problème soit bien formalisé, sa résolution peut s'avérer complexe pour causes du nombre de solutions possibles ou bien des difficultés de mesurer toutes les conséquences d'une modification. Il est donc indispensable de pouvoir mesurer la pertinence des actions mise en œuvre au regard de la qualité de la solution finale.

Contrairement aux deux premiers types de conception, les décisions en conception routinière sont essentiellement d'ordre technologique.

La conception routinière⁴ représente environ 80 % des activités de conception mécanique (Sellini, 1999).

Les décisions de conduite portent sur la mise en place de standardisation des procédés de résolution c'est-à-dire la prescription des tâches. Très souvent, ce type de conception concerne des objets techniques non révolutionnaires ce qui justifie de décider de résoudre en interne à l'entreprise à des fins d'efficacité, de délais et de maîtrise des coûts.

Par exemple, pour chaque véhicule, le concepteur doit dimensionner le système de direction - concepts établis – afin que celui-ci « réponde » aux prestations objectives du cahier des charges).

⁴Appelée également re-conception.

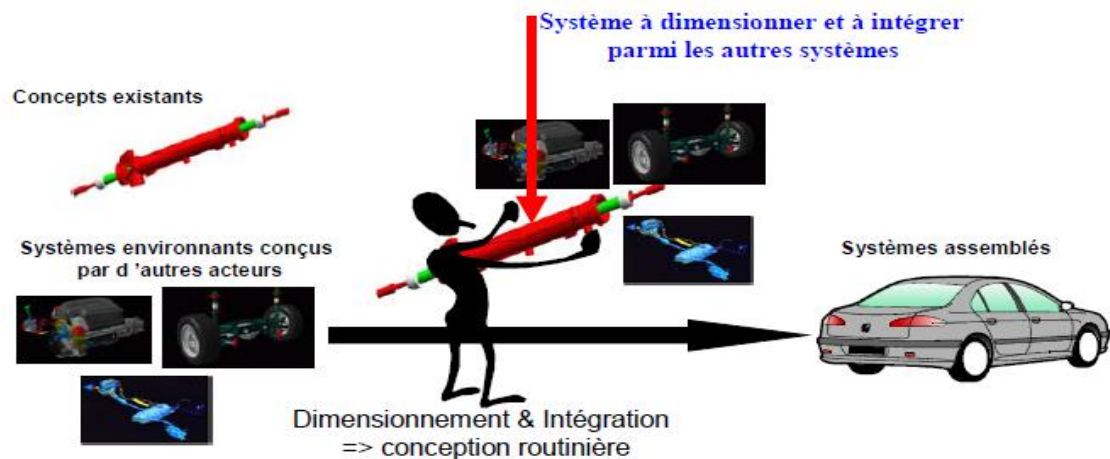


Figure I.9 : la conception routinière (Menand, 2002).

I.5- De la conception des produits à sa validation

Pour des raisons contractuelles, législatives ou de sécurité, l'entreprise doit vérifier, voire même faire la preuve, que la ou les solutions qu'elle propose répondent bien aux spécifications du cahier des charges, des normes et de toutes les exigences de mise en marché. (Zwingmann, 2005). Plusieurs définitions de la validation sont disponibles dans la littérature (tableau I.2).

Tableau I.2 : Extrait de définitions de la validation.

Source	Définition
(ISO9000; 2000)	« La confirmation par des preuves tangibles que les exigences pour une utilisation spécifique ou une application prévues ont été satisfaites » les conditions d'utilisation peuvent être réelles ou simulées.
(IEC 60300-3-4; 2007)	« La confirmation au moyen des dispositifs de démonstration d'atteindre des objectifs que les exigences pour une utilisation spécifique prévue ont bien été respectées ».

La validation de produit porte sur la conformité du produit aux exigences de qualité spécifiées ou implicites. La Figure I.10, qui présente une analyse fonctionnelle de la validation, définit l'intérêt de la validation de produit et les contraintes qui lui sont associées.

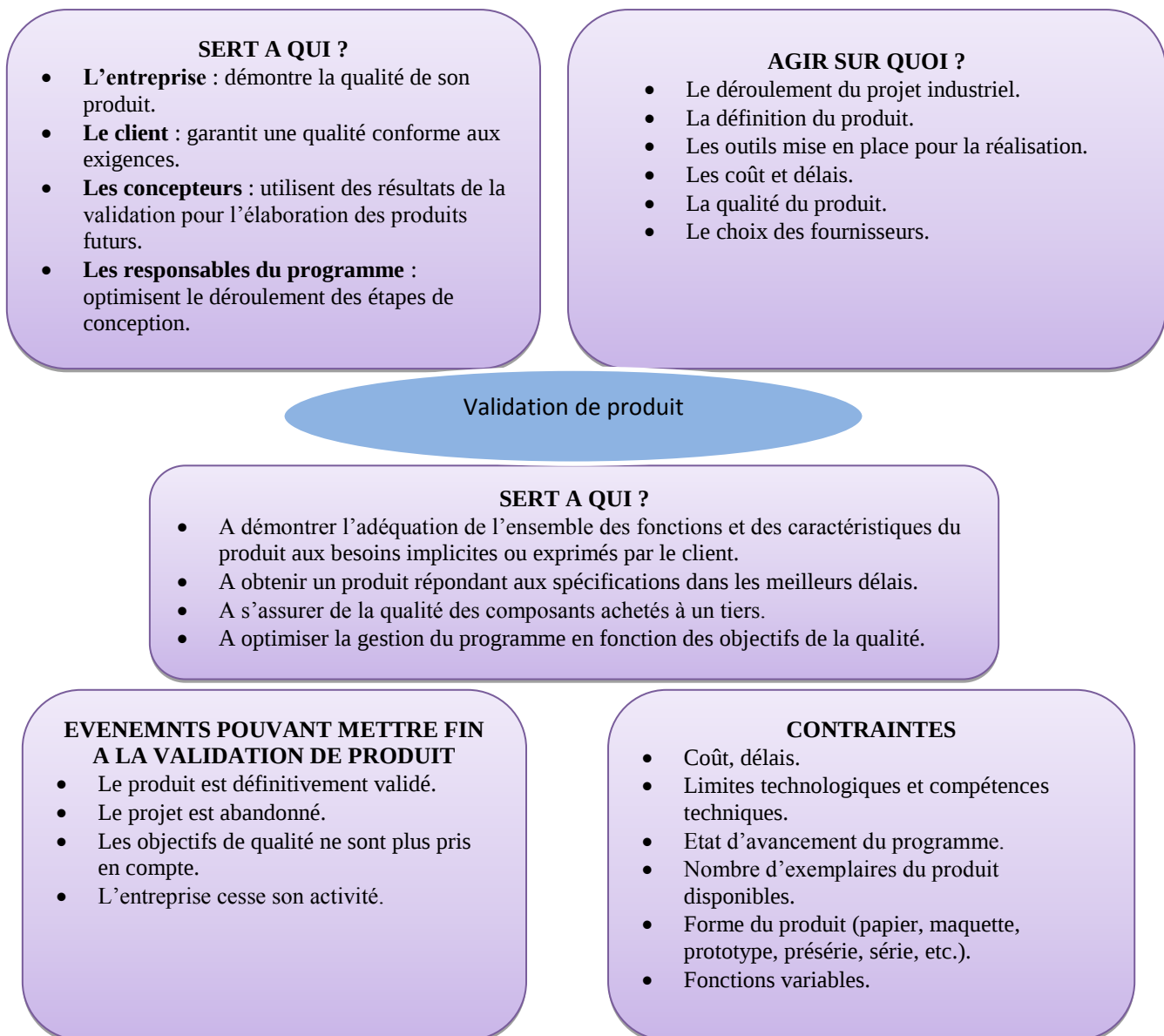


Figure I.10 : Analyse fonctionnelle de la validation produit d'après (Ferrari et al, 2000).

La caractéristique à valider peut être une performance ou une propriété facilement mesurable (à l'aide d'un instrument approprié). La validation peut aussi porter sur des comportements complexes (fiabilité et maintenabilité) dès la phase de conception car la non-conformité d'un système est découverte tardivement après la phase de conception. Pour illustrer nos propos, citons par exemple le cas des essais sur prototypes physiques après la phase de conception où les modifications sont souvent difficiles, longues à effectuer et coûteuses (Salomone, 1995). Pour éviter ces inconvénients, le produit doit être validé dès les premières étapes de sa phase de définition. Ainsi, au terme de chaque étape du processus de conception, une validation des exigences doit être effectuée. Ces validations successives sont appelées revues de conception (ISO9000:2000). Ainsi, nous

avons : une revue du concept, une revue de conception préliminaire et une revue de conception détaillée (Stapelberg, 2009). Les exigences vérifiées et la précision des résultats dépendent des données disponibles. Ainsi, lors de la revue conceptuelle, très peu d'exigences peuvent être vérifiées car les données disponibles sont très limitées et peu précises. Par contre, lors de la revue détaillée, la solution est déjà complètement définie, donc un grand nombre d'exigences peut être vérifié.

I.5.1- Les approches d'aide à la validation des produits

Deux approches d'aide à la validation des produits sont retenues : approche basée sur l'ingénierie concurrente et l'approche basée sur l'ingénierie collaborative.

Ces deux approches sont détaillées ci-après.

A-Approche basée sur l'ingénierie concurrente

L'ingénierie concurrente est apparue au milieu des années quatre-vingt par Jo et al. (1993) comme une nouvelle forme d'organisation en conception. Elle répond à un besoin d'amélioration de la compétitivité des entreprises, qui doivent développer leur produit et le système de production, toujours plus rapidement, moins cher et avec une assurance de qualité. Deux grands principes sont mis en œuvre (Zwingmann, 2005) :

- la simultanéité qui consiste à réaliser en même temps différentes activités concourant à la conception du produit et de son système de production,
- l'intégration qu'est caractérisée par l'établissement d'une interdépendance entre les différentes phases du projet, par la prise en compte, à chaque phase du développement, des considérations relatives à l'ensemble du cycle de vie du produit, depuis sa conception jusqu'à sa mise à disposition (coût, qualité, délai, besoins du consommateur...).

Cette approche est venue pallier les problèmes générés par la conception séquentielle⁵ (Syan & Menon, 1994). Ses principes sont :

- sélectionner au plus tôt, et avec soin, les membres de l'équipe,
- sélectionner les fournisseurs de composants et d'équipements assez tôt pour participer à tout le processus de conception,

⁵ Où tout projet de conception est décomposé en un ensemble d'activités dont l'exécution ne tient pas forcément compte des activités subséquentes. Elles s'exécutent d'une manière séquentielle et le résultat d'une activité est documenté puis transféré aux activités suivantes (Syan & Menon ; 1994).

- prioriser la qualité du produit final en jalonnant le développement de tout composant par des objectifs de qualité,
- impliquer les manufacturiers retenus pour le déploiement du produit dès la réalisation des prototypes pour fiabiliser la production,
- valider les nouveaux processus dès ce stade, en fabriquant des pré-séries,
- partager les informations issues du prototypage avec tous les intervenants, sans limiter la diffusion aux concepteurs,
- favoriser les attitudes personnelles de communication plutôt que les outils informatiques et recourir, si nécessaire, à des séances d'entraînement aux travaux de groupe.

B- Approche basée sur l'ingénierie collaborative (Co-Conception)

L'activité de collaboration durant le processus de conception peut être définie comme « une activité au cours de laquelle la tâche qui lui est assignée va être réalisée par une équipe ; tâche qui ne sera menée à bien seulement que par le fait d'un regroupement de ressources » (Lang et al. 2002). Dans un tel contexte, les concepteurs travaillent conjointement sur un projet de conception en partageant un but commun identique et l'atteinte de celui-ci passe par la contribution de chacun selon ses compétences spécifiques. Ceci correspond à ce que Darses et al, (1996) qualifient de « co-conception » : c'est une situation de conception collective de coopération forte. Ainsi, l'organisation du processus de conception se fait sur la base d'activités collaboratives regroupant des équipes trans-fonctionnelles, ce qui implique une dimension collective et humaine très forte (Garon, 1999). La conception de produit est vue à la croisée de deux principaux processus (Legardeur et al; 2003) : un processus technique dédié au développement du produit et un processus organisationnel concernant la gestion de projet.

Ces éléments permettent de prendre en compte la dimension collective du travail. Campagne et Sénéchal; (2002) insistent sur cette dimension et sur le fait que, quelle que soit la nature du processus étudié, les logiques d'interactions collectives répondent avant tout à un besoin de partage divers (partage d'objectifs et d'intérêts communs, partage de compétences et de points de vue, partage de ressources...). On retrouve ce souci de prendre en compte les différents éléments partagés chez Lang et al, (2002) qui indiquent que pour encourager la collaboration lors de la création du groupe de travail, le chef de projet doit prendre en considération les aspects suivants :

- l'engagement et la propriété intellectuelle de chacun,
- le partage d'espaces de conception,
- les stimulants organisationnels (esprit d'équipe, degrés de coopération, réputation),
- le rôle et les responsabilités de chaque membre.

C'est la combinaison de ces éléments qui, en termes de gestion du groupe de travail, favorisera la collaboration dans le groupe au cours du processus de conception. L'objectif est ici d'améliorer la coordination entre des acteurs ayant des rôles différents pour gagner en pertinence et en cohérence au niveau des solutions élaborées, des décisions prises, ainsi que sur la façon de les mettre en œuvre en intégrant par exemple la notion de prise de risque afin de préciser comment et pourquoi ces décisions sont prises (Gidel et al, 2000 ; Mikchevitch, 2004).

1.5.2- Place qu'occupe la gestion de la connaissance dans les deux approches d'aide à la conception des produits

Signalons d'abord que les approches évoquées ci-dessus ne sont pas antagonistes, mais complémentaires (Monticolo, 2008). De plus, l'approche collaborative a le mérite de mettre l'accent sur la notion de collaboration et de partage des informations en tant que partie intégrante du processus de conception. Dans ce contexte, Serrafero et al (2006) soulignent que cette dimension doit être complétée par une démarche de gestion des connaissances⁶, indispensable à la résolution productive de problèmes de conception routinière et au développement d'un environnement favorable à l'innovation.

Etant donné que les deux approches précédentes (concurrentes ou collaboratives) sont complémentaires, la connaissance occupe une place de choix dans ces deux approches. Car, le concepteur a besoin de cette connaissance dans toutes les phases et les étapes de la conception au travers des outils leur permettant d'être assistés dans les échanges d'informations. Cette connaissance lui sert à réaliser ses tâches de conception.

Par ailleurs, nous rappelons que la norme NF X 50-415 insiste sur le fait que l'ingénierie concourante permet de prendre en compte les connaissances des métiers avants, le plus en

⁶La gestion des connaissances (en anglais *Knowledge Management*) est l'ensemble des initiatives, des méthodes et des techniques permettant de percevoir, d'identifier, d'analyser, d'organiser, de mémoriser, et de partager des connaissances entre les membres des organisations, en particulier les savoirs créés par l'entreprise elle-même (par exemple marketing, recherche et développement) ou acquis de l'extérieur (par exemple intelligence économique) en vue d'atteindre l'objectif fixé (URL : fr.wikipedia.org/wiki/Gestion_des_connaissances).

amont possible. En d'autres termes, l'ingénierie concourante implique une participation des représentant de métiers aval dès les premières étapes de conception, ainsi qu'une participation des acteurs amonts jusqu'à la réalisation du produits (Marsot, 2002).

D'autre part, la mise en place d'une approche de gestion des connaissances en conception doit prendre en compte les facteurs d'origine hétérogène tels que les facteurs techniques (méthodes et outils différents selon les corps de métiers), les facteurs humains (savoir-faire et méthodes différentes), ... etc. Cette hétérogénéité d'informations et connaissances à traiter conduit à poser les questions suivantes (Monticolo, 2008) :

- Où et comment sont générés les données et les informations servant de support aux connaissances ?
- Comment formaliser les connaissances candidates et les valider en vue de leur réutilisation?
- Comment organiser et présenter les connaissances validées aux bons interlocuteurs pour assurer leur réutilisation ?

De plus, les connaissances pertinentes pour la réutilisation et l'aide au déroulement du processus de conception reposent sur un archivage systématique du contexte de conception c'est à-dire des activités des acteurs et de l'évolution des connaissances relatives aux produits, aux process, ... etc. Ces informations de suivi constituent un volume important qu'il faut stocker, gérer, exploiter, transformer, ... etc. Cette accumulation d'informations et des flux d'échange entre acteurs qui en découlent imposent de s'interroger sur la façon de les gérer au mieux : comment y accéder au moment opportun, véhiculent-elles une connaissance réutilisable?

Il s'agit là d'un enjeu essentiel pour la capitalisation des connaissances dans le cadre de projets d'ingénierie pluridisciplinaires. En effet, gérer les connaissances métier c'est savoir les identifier, les extraire à partir de l'information et du contexte, les stocker, les exploiter et les maintenir à jour⁷.

I.6-Conclusion

L'activité de conception correspond à une transformation de flux d'informations relatives à la fois à la connaissance du produit et au processus représentant l'évolution de cette connaissance. En effet, l'objectif de la conception est non seulement de définir le

⁷Ces activités sont détaillées dans le chapitre suivant.

produit mais également de trouver le meilleur chemin pour aboutir à cette définition. Trop souvent, les concepteurs consacrent une grande partie de leur énergie à trouver une solution avant même de s'interroger sur le bon chemin à suivre pour y arriver. Ainsi, certains outils ou méthodes ont été développés de façon à aider les acteurs de la conception à mieux appréhender les phases de conception. Dans un monde où la communication a tendance à brouiller l'information, met en évidence la complexité inhérente à la conception de produits et leurs validations et la place qu'occupe la gestion de la connaissance comme élément clé pour réussir dans ce contexte.

Dans ce contexte, ce chapitre nous a permis dans sa dernière partie de mettre en évidence l'intérêt de la gestion de la connaissance en conception. Cet intérêt peut être généralisé aux activités de l'entreprise et en ce sens, la gestion stratégique de la connaissance a pour objectif de construire un outil d'aide à la réflexion stratégique. L'enjeu de ce dernier serait de trouver les « bonnes » connaissances au « bon » moment ce qui donne l'avantage concurrentiel à l'entreprise par rapport à d'autres.

Le chapitre suivant fera l'objet d'une étude détaillée de la capitalisation des connaissances en tant qu'une nécessité pour les entreprises concurrentielles.

Chapitre II

De la gestion de la connaissance à sa capitalisation

II.1- Introduction

Ce chapitre a pour but de rappeler les fondements et concepts de la gestion de la connaissance. Plus précisément, l'intérêt sera porté sur la création de la connaissance et son exploitation. En d'autres termes, il s'agit de la capitalisation de la connaissance qui fait appel à des outils spécifiques qui feront également l'objet de ce chapitre.

II.2-Fondements de la gestion de la connaissance

II.2.1- Définition de la connaissance

La définition de la connaissance, nous conduit inévitablement à définir le triptyque « données – informations – connaissances ». En effet :

- Selon Davenport (1998), une donnée est un fait objectif qui relate un événement, comme une observation simple, une représentation symbolique d'un nombre, d'un fait ou d'une quantité. Par exemple '100' et 'L' sont des données...Elles peuvent désigner une mesure, un coût, ... etc.
- L'information est définie par Fichett (1999) comme une donnée (ou série de données) qui a du sens (c'est à- dire qui est placée dans un contexte précis). Les informations sont à la base d'une possible communication et sont donc formulées et explicitées. Par exemple 'L=200 mm'
- Enfin, la connaissance est l'interprétation d'une information par un humain, dans un contexte donné (Monticolo, 2008). La connaissance se construit, donc,

à partir de l'information qui est transformée et enrichie par l'expérience personnelle (Bender, 2000).

Ce bref survol de la définition des données, informations et connaissances montre la relation qui existe entre ce triptyque et sur lequel nous revenons, avec plus de détails, dans la suite de ce chapitre.

Pour le moment, focalisons-nous sur la connaissance qui peut être (Tsuchiya, 1993) :

- Explicites : formalisables sous forme de mots, de modèles...
- Tacites: qui ne peuvent s'exprimer dans un quelconque langage (issues de l'expérience, faites d'habiletés),
- Collectives ou individuelles,
- Déclaratives (concepts) ou procédurales (stratégies d'usage des concepts, méthodes, habiletés).

Afin d'offrir une vision plus détaillée sur la connaissance, La plupart des experts en gestion de la connaissance font une distinction entre la forme tacite et explicite de la connaissance, Cette distinction est aussi utilisée pour caractériser la connaissance tangible et la connaissance intangible (Grundstein, 2002).

En effet, la connaissance explicite peut être clairement formalisée, structurée et définie de façon systématique par le biais du langage, d'objets, de schémas, d'images etc. Pour cette raison, elle est facilement transférable à quelqu'un d'autre (Grundstein, 2000 ; Abdullah et al, 2002). De plus, la connaissance explicite possède deux dimensions : une dimension individuelle où les connaissances explicites sont des connaissances devenues conscientes et une dimension collective où la connaissance explicite est traduite sous la forme de règles, normes, codes, procédures écrites, etc. de façon à ce qu'elle puisse être facilement communiquée et diffusée (Tounkara, 2002).

Par contre, la connaissance tacite est un attribut personnel (Polanyi, 1966). C'est la connaissance produite par les expériences passées, les valeurs, les perspectives, l'intuition et d'autres éléments dans un contexte particulier et spécifique. Pour cette raison, elle est difficile à formaliser et partager. Ce type de connaissance est intimement lié à l'action et à la création de nouvelles connaissances (Cortes et al, 2004). Conséquemment, elle est d'une grande valeur pour l'entreprise.

La connaissance tacite inclut des composants de deux domaines :

- technique qui recouvre les habilités et aptitudes concrètes.
- cognitif qu'est de nature très personnelle. Celui-ci se révèle sous la forme (Grundstein, 2003) : d'un talent, des habilités, des « tours de main », de l'intuition, ... etc.

Mais selon Nonaka et Takeuchi (1997), le composant cognitif comprend aussi les « modèles mentaux » avec lesquels les êtres humains construisent des « *modèles de fonctionnement du monde et recourant à des analogies et en les manipulant dans leurs esprits* ». Ainsi, les modèles mentaux¹ aident les individus à percevoir et définir la réalité qui les entoure et en conséquence, à déterminer une façon très personnelle de la modifier.

La figure II.1 représente la différence entre les connaissances explicite et tacite.

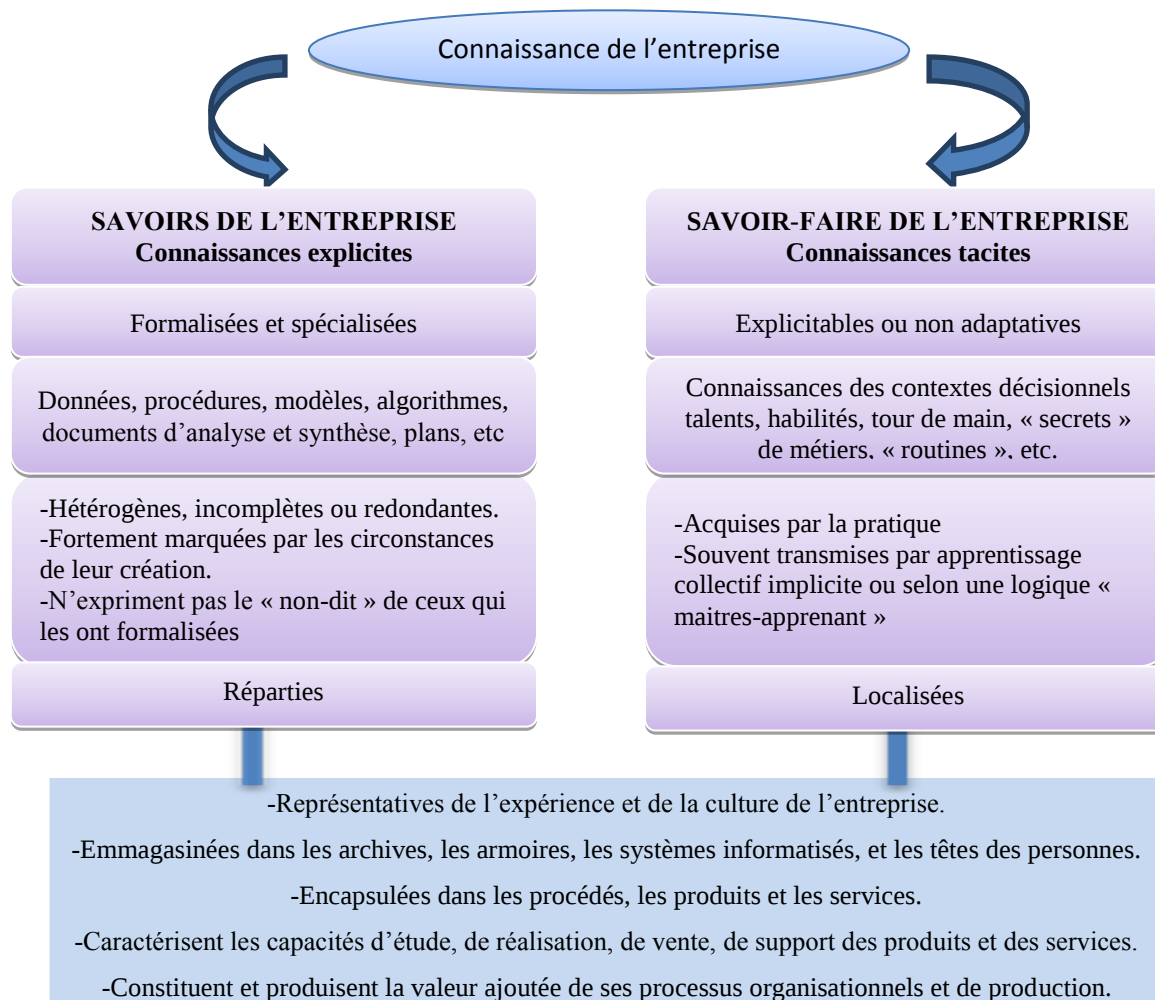


Figure II.1 : Connaissances explicites et tacites d'après (Grundstein, 2000).

¹Comme les schémas, paradigmes, perspectives, croyances, points de vue, intuitions, imagination, ... etc.

Dans l'interaction entre ces deux types de connaissances, se trouve l'essence de la création de connaissances. En effet, les connaissances tacites, ou implicites, qu'elles soient individuelles ou collectives, caractérisant les capacités d'action, d'adaptation et d'évolution (Boubaker, 2012). Elles comprennent des routines, des logiques d'action individuelles et collectives, des connaissances de l'historique, des contextes décisionnels et des connaissances de conception du produit. Ces connaissances concernent les savoir-faire représentatifs de l'expérience et de la culture de l'entreprise qui résident dans la tête des employés sous forme d'éléments immatériels.

II.2.2-Processus de création de la connaissance

A- Création de la connaissance à partir de la gestion de l'information (pré-connaissance)

Selon Nonaka & Takeuchi (1997), la création de connaissances organisationnelles, «est la capacité d'une entreprise dans son ensemble à créer de nouvelles connaissances, à les diffuser en son sein et à les incorporer dans ses produits, services et systèmes».

Cette approche développée par Nonaka & Takeuchi (1997) permet d'expliquer le processus d'innovation de manière différente dans le sens où ils exposent un processus très différent au simple traitement d'un flux d'information provenant de l'environnement extérieur de l'organisation vers l'intérieur. De ce fait, les organisations confrontées à des environnements incertains sont amenées à établir avec ceux-ci des relations actives plutôt que passives et que par le biais de ces processus que ces organisations se transforment.

Pour expliquer l'innovation, cette théorie repose sur les dimensions épistémologiques (tacites, explicites) et ontologiques (niveau individuel, groupe, organisation et inter-organisationnelle) dans lesquelles se situe une spirale de création de connaissances. Une spirale émerge quand l'interaction entre connaissances tacites et explicites est élevée de façon dynamique d'un niveau ontologique inférieur vers les niveaux supérieurs (figure II.2). Ceci est possible au travers quatre modes de conversion de connaissances qui sont créés quand les connaissances tacites et explicites interagissent. Ces quatre modes (socialisation, extériorisation, combinaison et intériorisation) constituent le moteur du processus de création de connaissances (Nonaka & Takeuchi, 1997).

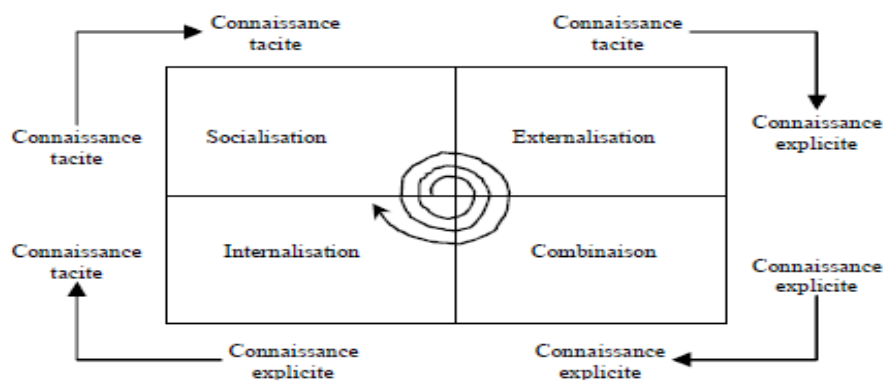


Figure II.2 : Les modes de transformation des connaissances d'après (Nonaka &Takeuchi, 1997).

Dans la figure ci-dessus, la socialisation est le processus qui permet la création d'une connaissance tacite grâce au partage d'expérience des individus, créant ainsi des croyances, qui ne peuvent être exprimé clairement, ainsi qu'un savoir-faire. Dans sa dimension technique, l'apprentissage est une forme de socialisation qui nécessite une interaction entre les acteurs.

L'internalisation est le processus qui permet la transformation d'une connaissance tacite en un savoir explicite sous forme de : concepts, diagrammes, métaphores, analogies...etc. C'est à travers le dialogue des acteurs de l'entreprise que ce processus est enclenché.

La combinaison est un processus d'assemblage de connaissances explicites en une connaissance systématique telle qu'un ensemble de spécification pour élaborer un produit ou encore la rédaction d'une procédure.

Enfin, l'externalisation est le processus qui permet de s'appropriier une connaissance explicite, qui devient alors un savoir tacite. Ce processus est enclenché par accumulation d'expérience dans la réalisation d'une tâche, à partir de documents divers ou encore à partir de simulation effectuées sur ordinateur.

Au cours des différentes étapes du processus de conversion de la connaissance, ce processus en spirale évolue selon un axe ontologique, partant des connaissances individuelles pour se cristalliser à des niveaux d'agrégation plus élevés tels que groupes, organisations et même jusqu'à au niveau inter-organisationnel. C'est l'effet d'amplification de la connaissance créée par les individus (Louis-Sidney, 2011).

B-Modèle DIC

Le modèle DIC, développé par Boubaker (2012) est basé sur le triptyque « données – informations – connaissances » et où la connaissance peut être créée à partir d'une donnée, d'une information ou d'une autre connaissance (figure II.3).

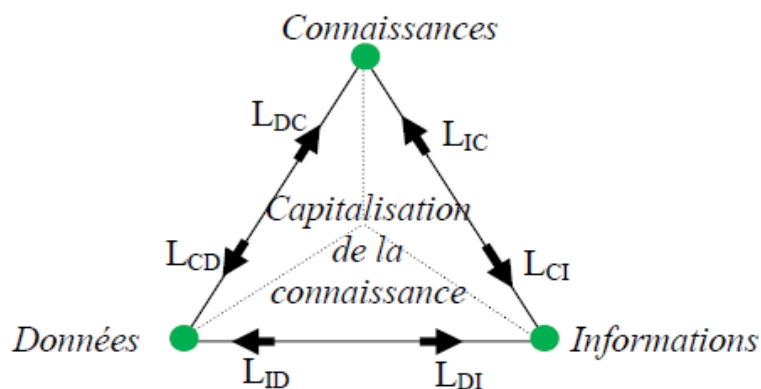


Figure II.3.: Model DIC proposé par (Boubaker, 2012).

Dans la figure précédente, le modèle DIC est représenté par un graphe orienté composé d'un ensemble de nœuds et d'un ensemble d'arcs. Ce mode de représentation remet en cause la modélisation classique couramment rencontrée dans certains documents qui stipule que l'interaction entre les éléments du triptyque « Donnée – Information – Connaissance » est du type séquentiel et que l'information constitue le trait d'union entre Donnée, considérée comme élément de départ, et Connaissance, considérée comme élément final de cette séquence (Boubaker, 2012).

Dans ce modèle, chaque nœud représente un des éléments du triptyque « Donnée – Information – Connaissance ». Mieux encore, il peut constituer un point de départ (*nœud source*) et peut être en même temps un point d'arrivée (*nœud cible*). Ainsi, chaque nœud de ce modèle se présente comme point singulier : les données sont d'abord à la base du savoir et se trouvent au niveau inférieur de l'organisation, l'information précède logiquement la connaissance et enfin la connaissance qui trouve sa matière nécessaire dans l'information. Cette connaissance peut être tacite ou explicite (Bertanes & Said; 2006).

Enfin, les arcs liant les différents nœuds du graphe correspondent aux différents points de vue associés au modèle DIC (tableau II.1).

Tableau II.1 : *Points de vue des interactions entre les éléments du modèle DIC d'après (Boubaker, 2012).*

<i>Label d'interaction dans le modèle</i>	<i>Phase de la capitalisation de la connaissance</i>	<i>Point de vue correspondant</i>
L _{DC}	Création de la connaissance	Base de connaissances élaborée à partir des données objectives (issues de l'expérimentation et des mesures effectives sur le terrain) et/ou subjectives (issues du retour d'expérience et/ou détenues par les experts)
L _{DI}		Structuration des données sous forme informationnelle
L _{IC}		Base de connaissances formalisée à partir des informations
L _{CD}	Exploitation de la connaissance	Transmission de la connaissance sous forme d'une communication
L _{CI}		Mise en œuvre de la connaissance sous forme d'une action qui donne lieu à de nouvelles données
L _{ID}		Retour d'informations
		Demande d'un complement d'informations

Le tableau précédent montre que les trois premiers arcs (L_{DC} , L_{DI} , L_{IC}) présente l'étape de création de connaissance. Ce qui apparaît à partir de ces différents points de vue de ces trois arcs c'est que l'élaboration des bases de connaissance s'effectue sur la base de données objectives ou subjectives et leur formalisation à partir des informations ainsi que la structuration des données ce fait sous forme informationnelles.

II.3-De la création de la connaissance à sa capitalisation

Rappelons que le but de la création de la connaissance est de la rendre utilisable dans des situations similaires. Il s'agit de sa capitalisation (Boubaker, 2012).

La problématique de la capitalisation de la connaissance dans une entreprise n'est pas nouvelle. D'après (Grundstein, 2002), « *c'est un souci implicite permanent qui a toujours préoccupé les responsables chargés du fonctionnement de l'entreprise et du bon déroulement de ses processus* ». Aujourd'hui, la capitalisation des connaissances a pris une importance concurrentielle considérable pour les entreprises qui doivent pouvoir générer, développer, maîtriser et exploiter les connaissances capables d'assurer sa productivité et son rendement.

La capitalisation de la connaissance est au cœur de la gestion de la connaissance. Mieux encore, la gestion de la connaissance couvre toutes les actions managériales visant à

répondre à la problématique de capitalisation des connaissances dans son ensemble (Boubaker, 2012).

II.3.1- Démarche générale de la capitalisation des connaissances

La capitalisation des connaissances est une démarche spécifique à chaque entreprise dont ses principales étapes sont : la création et l'exploitation de la connaissance.

La création de la connaissance englobe également les actions suivantes : l'éventuelle mise à jour des connaissances à partir du retour d'expérience en particulier et la formalisation de la connaissance (explicite). Tandis que son exploitation concerne sa mémorisation (pour éviter sa perte) et sa diffusion (usage) selon la nature de la connaissance.

La capitalisation de la connaissance, dans une entreprise, s'effectue soit en continue ou bien en discontinue selon les capacités de l'entreprise. En discontinue, la capitalisation s'effectue dans le cadre d'un plan défini dans l'entreprise.

Lors de la capitalisation de la connaissance, souvent une entreprise déploie à des méthodes (ou modèles) spécifiques comme outils supports à la démarche de capitalisation. Les plus connues dans la littérature sont MASK (Méthode d'ingénierie des connaissances) et KADS (Knowledge acquisition and Documentation Structuring).

D'autres modèles ont fait également l'objet de développements récents. Il s'agit notamment des modèles Gründsteiïn et DIC que nous détaillerons ci-après.

II.3.2-Les modèles de la capitalisation de la connaissance

A- Modèle Grundsteiïn

Rappelons que le modèle Grundsteiïn est axé sur la localisation de la connaissance cruciale de l'entreprise (figure II.4).

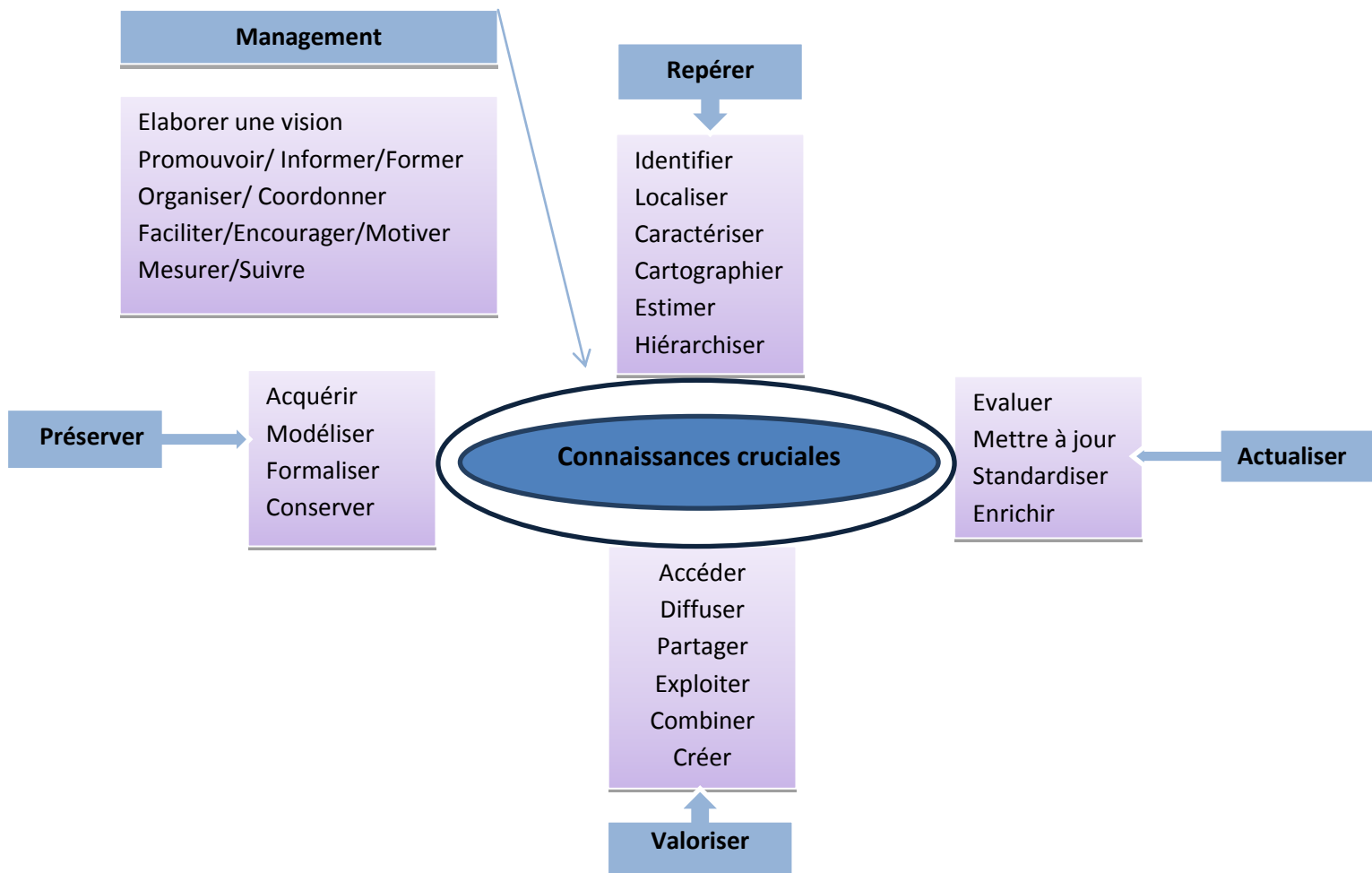


Figure II.4: *Modèle Grûndstein de la capitalisation de la connaissance (Grundstein, 2000)*

Dans la figure ci-dessus, la localisation de la connaissance cruciale s’effectue selon quatre mécanismes génériques de création (facettes) :

- La première facette concerne le repérage des connaissances cruciales, c’est-à-dire les savoirs (connaissances explicites) et les savoir-faire (connaissances tacites) qui sont nécessaires aux processus de décision et au déroulement des processus essentiels qui constituent le cœur des activités de l’entreprise : il faut les identifier, les localiser, les caractériser, en faire des cartographies, estimer leur valeur économique et les hiérarchiser.
- La deuxième facette est celle de la préservation des connaissances : lorsque les connaissances sont explicitables, il faut les acquérir auprès des porteurs de connaissances, les mobiliser, les formaliser et les conserver ; lorsque les connaissances ne sont pas explicitables, il faut encourager le transfert de connaissances de type « maitre-apprenti » et les réseaux de communication entre les personnes.

- La troisième facette porte sur la valorisation des connaissances : il faut les mettre au service du développement et de l'expansion de l'entreprise c'est-à-dire les rendre accessibles selon certaines règles de confidentialité et de sécurité, les diffuser, les partager, les exploiter, les combiner et créer des connaissances nouvelles. Cette facette lie la problématique de capitalisation des connaissances à la problématique d'innovation et de mise en place de dispositifs organisationnels physiques ou virtuels favorisant les interactions entre les personnes.
- La quatrième facette matérialise l'actualisation des connaissances : il faut les évaluer, les mettre à jour, les standardiser et les enrichir au fur à mesure des retours d'expériences, de la création de connaissances nouvelles et de l'apport de connaissances externes. C'est là que s'insèrent les problèmes liés à l'intelligence économique.
- La cinquième facette concerne les interactions entre les différentes facettes précédentes. C'est là que se positionne le management des activités et des processus destinés à amplifier l'utilisation et la création de connaissances dans l'entreprise.

Pour que le processus de capitalisation soit pérenne, les quatre phases doivent être réalisées dans cet ordre de façon continue. Une fois que ces connaissances stratégiques ont été capitalisées, elles peuvent être enrichies par interaction avec d'autres connaissances déjà présentes dans l'entreprise.

Un examen du modèle Gründstein montre que les étapes de la démarche générale de la capitalisation de la connaissance ont été affinées autour d'une connaissance cruciale.

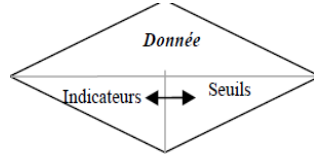
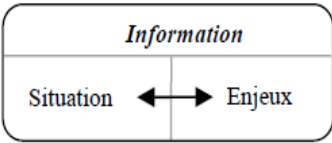
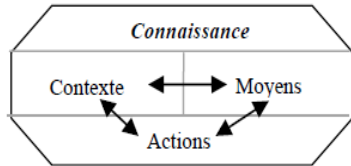
B-Modèle DIC

Rappelons qu'une première présentation du modèle DIC est déjà fournie dans ce chapitre dans le volet création de la connaissance. Cependant, la finalité de ce modèle est la capitalisation de la connaissance (figure II.3 et tableau II.1) moyennant un processus fondé sur trois niveaux d'abstraction (Boubaker, 2012) que nous détaillerons ci-après.

B.1-Niveau conceptuel du modèle DIC

Le niveau conceptuel du modèle DIC a pour objet de définir les principaux concepts associés aux différents pôles du modèle DIC (tableau II.2).

Tableau II.2. Concepts associés au modèle DIC d'après (Boubaker, 2012)

<i>Pôles</i>	<i>Concepts</i>	<i>Formalisation</i>
Donnés	- <i>Les indicateurs</i> qui reflètent un état des lieux. Ils peuvent être statiques ou dynamiques - <i>Les seuils</i> qui sont des valeurs limites pour lesquelles on dispose des connaissances sur l'état des lieux. Le respect de ces seuils permet d'atteindre les objectifs de performances assignés.	
Informations	- La situation résume l'information dont on dispose sur un état des lieux à un instant donnée - Les enjeux sont des éléments cibles qui dépendent d'un état des lieux et de sa vulnérabilité.	
Connaissances	- <i>Les actions</i> sont intimement liées à la connaissance. Elles sont définies pour faire face à la dégradation de la situation. Elles sont une durée d'exécution et nécessitent la disponibilité des moyens humains et matériels pour pouvoir être effectuées. - <i>Les moyens humains</i> sont des ressources humaines nécessaires pour la conduite des actions - <i>Les moyens matériels</i> sont des ressources matérielles nécessaires pour la réalisation des actions - <i>Le contexte</i> concerne le domaine de mise en œuvre de l'action.	

L'examen du tableau précédent montre que chaque pôle du modèle DIC est caractérisé par deux types de concepts : l'un est explicatif du pôle et l'autre étant un référentiel permettant de cadrer le premier.

B.2-Niveau opérationnel du modèle DIC

Ce niveau permet de définir les principaux processus de capitalisation de la connaissance qui permettent l'articulation de l'ensemble des concepts précédents. Trois principaux processus sont retenus dans le modèle DIC : processus de création de la connaissance, processus de mémorisation de la connaissance et processus de mobilisation des acteurs potentiels du DIC. L'adjonction entre ces processus est représentée par la figure II.5.

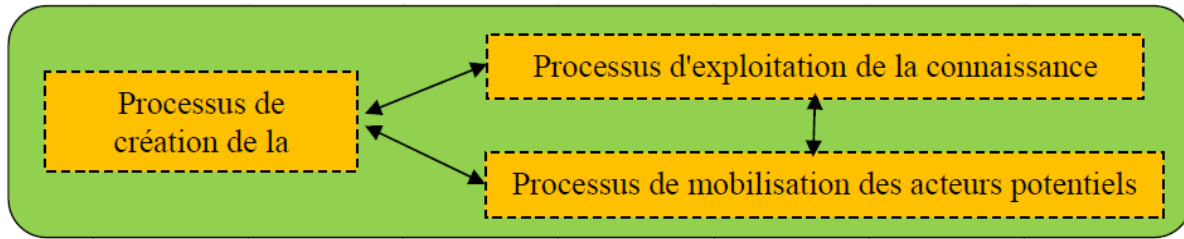


Figure II.5: Articulation des processus DIC pour la capitalisation de la connaissance d'après (Boubaker, 2012).

La figure II.5 représente une vision macroscopique du niveau opérationnel du modèle DIC dont le fonctionnement est basé sur l'occurrence d'un événement déclencheur (figure II.6).

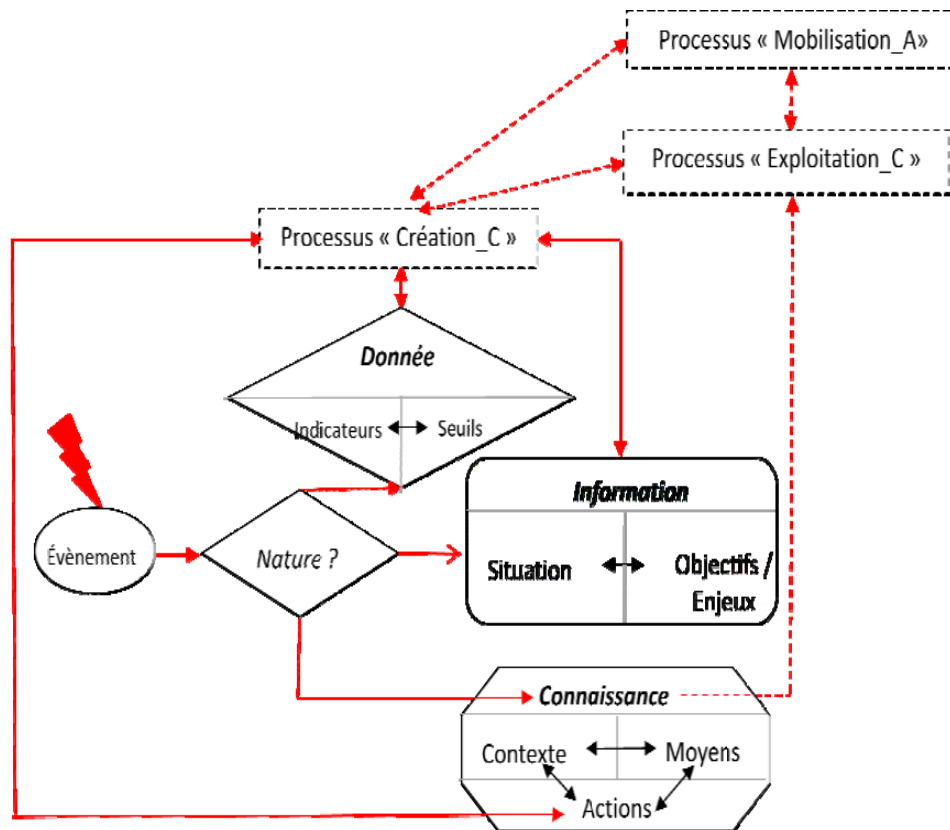


Figure II.6 : Procédure de la capitalisation de la connaissance dans le modèle DIC d'après (Boubaker, 2012)

L'examen de la figure II.6 montre que le fonctionnement du modèle DIC dépend de la nature de l'évènement déclencheur; car chaque pôle de ce modèle peut constituer un point de départ dans la capitalisation de la connaissance. Donc, la nature de l'évènement déclencheur permet de sélectionner le processus en cours pour la capitalisation de la connaissance. Deux cas se présentent : si cet événement correspond à une donnée (ou information), alors c'est le processus de la création de la connaissance qu'est en cours sinon, c'est le processus d'exploitation de la connaissance qu'est en cours (figure II.7). Ces

deux processus sont, évidemment, supportés par le processus de mobilisation des acteurs potentiels du modèle DIC.

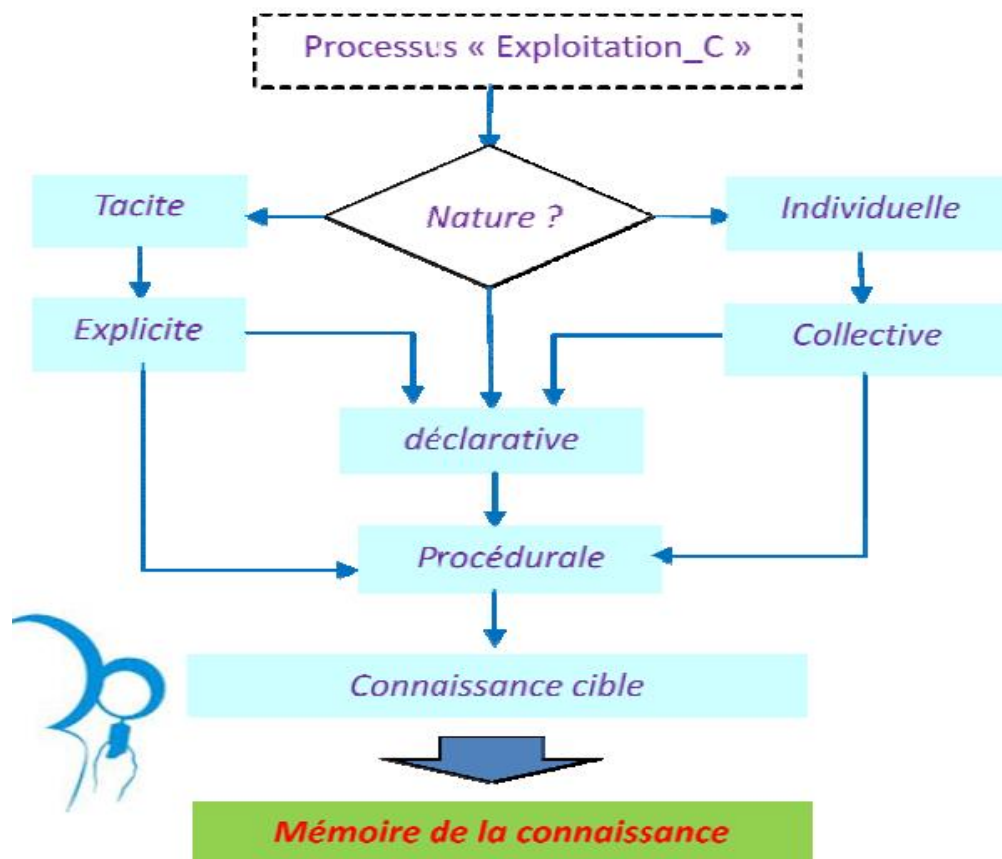


Figure II.7 : *Procédure de mémorisation de la connaissance dans le modèle DIC d'après (Boubaker, 2012).*

Dans la figure II.7, le déclenchement du processus d'exploitation de la connaissance dépend de la nature elle-même de la connaissance (tangible ou intangible, tacite ou explicite, individuelle ou collective). La transformation de cette connaissance est conditionnée par sa nature et cette transformation est directement suivie par sa valorisation dans le cas où elle est du type déclarative.

Cette valorisation s'effectue en deux temps : dans un premier temps, sous forme d'une connaissance procédurale et, dans un second temps, sous forme d'une mémoire de connaissance.

B.3-Niveau organisationnel du modèle DIC

Le transfert de connaissances évoqué ci-dessus ne peut être accompli que par l'implication des employés « porteurs de connaissances » qui se retrouvent les prémices de

création, d'utilisation et de partage de la connaissance. De ce fait, le niveau organisationnel du modèle DIC consiste à lui associer les acteurs potentiels et leur mobilisation pour la capitalisation de la connaissance.

Trois types d'acteurs potentiels sont retenus dans le modèle DIC :

- L'**Expert** qui détient les données;
- L'**Analyste** qui synthétise les données disponibles (Arc L_{DI} dans la figure II.3) ou qui enrichit ces données par retour d'informations (Arc L_{ID} dans la figure II.3);
- Le **Décideur** qui est celui qui exploite la connaissance sur la base des informations de synthèse fournies par l'analyste (Arc L_{ID} dans la figure II.3) ou bien directement suite aux appréciations fournies par les experts (Arc L_{DC} dans la figure II.3).

C-Synthèse des modèles de capitalisation de la connaissance

Un examen rapide du modèle DIC montre que son avantage réside, à notre avis, à deux niveaux :

- au niveau de la capitalisation de la connaissance qu'est axée sur un événement cible (événement déclencheur) sachant que cet événement peut être la connaissance cruciale (modèle de Gründstein),
- au niveau des acteurs qu'il faut mobiliser pour capitaliser la connaissance.

Les modèles de la capitalisation de la connaissance, à l'image des modèles DIC et Gründstein, constituent un lien entre les usagers de la connaissance et l'activité de travail dans une entreprise. Car, la connaissance est liée à l'action (Boubaker, 2012) et par voie de conséquences, l'activité de travail qui représente l'action évolue, donc, avec l'apport de nouvelles connaissances (création de la connaissance). De même, les modèles de la capitalisation de la connaissance permettent la promotion de données en informations et/ou connaissances. En effet, une donnée ne devient information que si elle peut être intégrée à une activité mentale dans un but de décision, d'action ou d'acquisition de connaissances.

Un autre intérêt des modèles de la capitalisation de la connaissance est qu'ils constituent une aide pour cette capitalisation notamment dans les petites et moyennes entreprises où la gestion de la connaissance n'est pas prioritaire et relève des individus (ingénieurs en particulier). Ces modèles constituent un support incontournable pour la capitalisation de la connaissance.

Pour les entreprises qui gèrent leurs connaissances, cette gestion est confiée aux acteurs bien déterminés. Dans ce contexte, les modèles de la capitalisation de la connaissance ont un rôle à jouer dans le sens de la détermination des tâches de ces différents acteurs ainsi que dans leur mobilisation quant à la capitalisation de la connaissance.

Les apports des modèles de la capitalisation de la connaissance sont, donc, évidents et ne se limitent pas à la construction et à l'exploitation de la connaissance mais également à leur possibilité d'intégration des :

- méthodes spécifiques de construction de la connaissance, telle que l'AMDEC informationnelle qui permette de cadrer le transfert des savoirs de l'oral à l'écrit et de l'individuel au collectif afin d'éviter la perte de la connaissance,
- outils techniques permettant l'archivage des données, informations et connaissances en les classant par catégories,
- outils technologiques tels que les : Systèmes de Gestion des Bases de Données (SGBD), logiciels de textmining, ... etc.

Enfin, il est important de rappeler que quels que soit les apports de ces modèles, l'apport humain en matière de la capitalisation de la connaissance demeure le plus consistant surtout en termes de la gestion des compétences, d'expertises et d'évaluation de l'information. Et la réussite de la capitalisation de la connaissance n'est possible que par une alliance forte entre l'humain et la technique.

II. 4- Conclusion

Ce survol de la capitalisation de la connaissance montre que c'est une activité stratégique pour les entreprises car elle fait partie intégrante de la valeur réelle de l'entreprise. Par ailleurs et pour ce qu'est des deux modèles explorés le long de ce chapitre (modèles de Grüdstein et DIC), notre constat montre que les deux modèles partagent un aspect commun qu'est celui de la localisation de la connaissance cruciale ou cible pour débiter l'exploitation d'une connaissance.

Un avantage du modèle DIC est son intégration des acteurs de la capitalisation de la connaissance. C'est cet avantage qui nous incite à retenir le modèle DIC dans la suite de notre travail en tant qu'outil support de la démarche d'anticipation des risques en conception.

Chapitre III

De la capitalisation de la connaissance axée sur la maîtrise des risques en conception

III.1- Introduction

La complexité croissante des systèmes industriels accentués par les contraintes économiques, les exigences contractuelles et réglementaires et la prise de conscience accrue des risques ont généré un besoin de maîtriser les risques dès la phase de conception des systèmes. L'enjeu est donc de donner un niveau de confiance justifié aux usagers de ces systèmes qui répond à leurs attentes et clauses notamment ceux de Sûreté de Fonctionnement (SdF) qui, au sens large du terme, est la séquence des défaillances des systèmes (Villemeur, 1988).

Ainsi et grâce à la SdF, le concepteur dispose de nombreuses méthodes d'analyse (préliminaire ou détaillée) des risques dont les plus utilisées sont : l'APR, l'AMDEC et l'AdD. Ces méthodes sont, logiquement, précédées par une analyse fonctionnelle des systèmes qui consiste à décrire la logique du fonctionnement du système et sa structure. A partir de cette analyse fonctionnelle que les méthodes précitées peuvent être déduites (Saadi, 1997).

Ce chapitre a pour but de présenter l'intérêt de la capitalisation de la connaissance axée sur la maîtrise des risques en conception. En effet, le déploiement de ces méthodes de SdF en

phase de conception permet d'évaluer la performance globale du système afin d'optimiser la conception et de fournir tous les éléments nécessaires à l'élaboration d'un plan de maintenance approprié.

III.2- Les approches de maîtrise des risques en conception

III.2.1- Approche basée sur les bonnes pratiques en conception

Cette approche est gouvernée par l'analyse fonctionnelle des systèmes qui vise à concevoir suivant le principe « *du bon du premier coup* » (Ozouf, 2009). En effet, l'analyse fonctionnelle du système permet de répondre à la question suivante : Comment le système fonctionne ? La réponse à cette question permet de répondre aisément à la question : Pourquoi le système ne fonctionne pas ?

Conséquemment, les méthodes cadrées par l'approche basée sur les bonnes pratiques en conception sont d'une grande utilité pour les concepteurs.

Un autre avantage de cette approche est que ses méthodes sont nombreuses et facile à mettre en œuvre par les concepteurs. Parmi ces méthodes, citons à titre de rappel : Diagrammes-blocs-fonctionnels (Saadi, 1997), Qualité-Function-Deployment (Bahmed, 2006), conception robuste (Pillet, 2008) et Design for Manufacturing and Desing for Assembly (Stienstra, 2014).

Dans cette section, nous nous limitons à l'analyse fonctionnelle dans les principales étapes sont (Djebabra & Saadi, 1999a) :

- Délimitation des frontières du système ;
- Décomposition du système suivant des aspects : structurels, fonctionnels et temporels ;
- Modélisation des fonctions du système moyennant.

A- Délimitation des frontières du système

Le but de cette étape est de délimiter le système dans l'espace en spécifiant ce qui fait partie du système de ce qui fait partie de ses environnements les plus proches (environnements actif et passif).

La figure III.1 illustre cette délimitation du système.

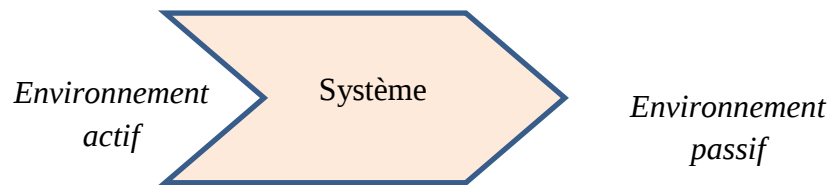


Figure III.1 : *Frontière d'un système et ses environnements les plus proches.*

B- Décomposition du système

Lors de cette étape, on procède à la décomposition d'un système en sous-systèmes selon un modèle en V (figure III.2).

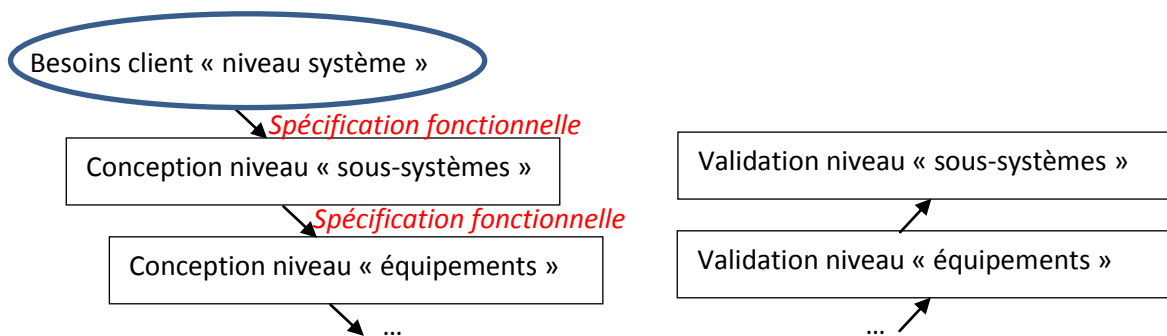


Figure III.2 : *Analyse fonctionnelle en cycle V.*

Dans la figure ci-dessus, les spécifications fonctionnelles s'effectuent selon les niveaux de décomposition du système. Généralement, trois niveaux de décompositions sont d'usage courant (Saadi, 1997). Ils sont synthétisés par la figure III.3 où les arcs en pointillés représentent les validations et les arcs pleins représentent les spécifications fonctionnelles et structurelles.

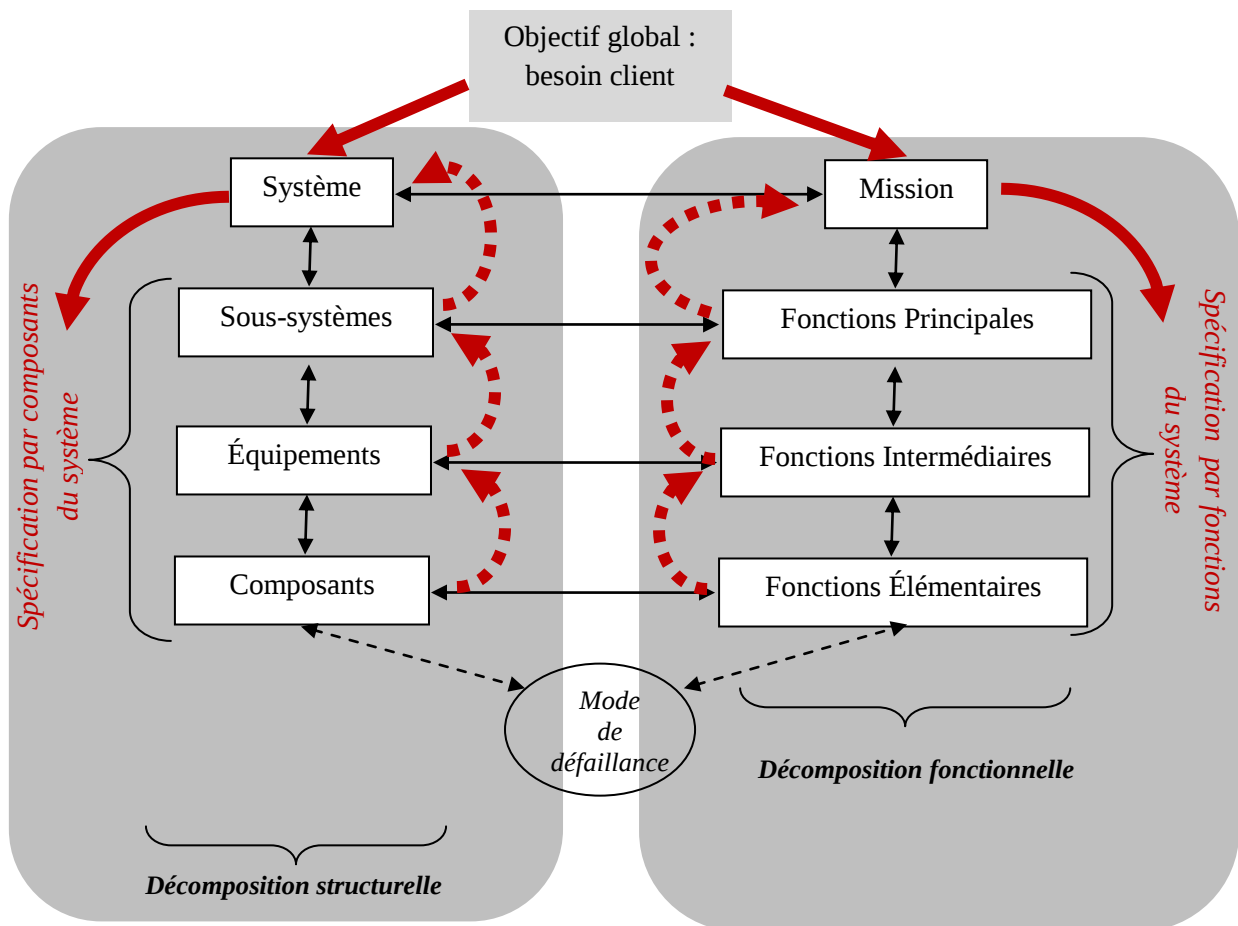


Figure III.3 : Analyse structurelle et fonctionnelle d'après (Djebabra & Saadi, 1999a).

Un examen rapide de la figure ci-dessus montre que le mode de défaillance est directement associé à un composant et que sa description est directement déduite de la fonction qu'est supportée par ce composant. Conséquemment, un mode de défaillance peut être (Villemeur, 1988) : une absence de fonction à la sollicitation (pas de fonction au démarrage du composant), un arrêt de la fonction (pas de fonction en phase de fonctionnement du composant), une dégradation de la fonction (perte de la fonction), une fonction intempestive et une fonction intermittente.

C- Modélisation fonctionnelle du système

Lors de cette modélisation, chaque entité (système, sous-système, équipement ou composant) est représentée sous forme d'un Bloc fonctionnel (figure III.4) où le flux d'entrée est une fonction supportée par une autre entité « j » et le flux de sortie est la fonction supportée par l'entité « i ».

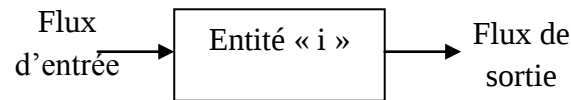


Figure III.4 : Représentation d'une entité sous forme d'un bloc fonctionnel.

Dans la figure III.4, les entités « i » et « j » sont du même niveau de décomposition et les blocs fonctionnels des différentes entités d'un niveau de décomposition donné constituent un diagramme bloc fonctionnel. Ces différents blocs peuvent être alignés ou disposés en parallèle (Saadi, 1997).

III.2.2- Approche basée sur la validation subjective

Les méthodes les plus utilisées dans cette approche sont : l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) et l'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de Leurs Criticité (AMDEC).

Le point commun entre ces deux méthodes est leur formalisme de représentation sous forme de tableaux ainsi que le mode de raisonnement qui correspond à une analyse du type « causes-effets ». Conséquemment, ces deux méthodes sont du type inductif.

La différence entre l'APR et l'AMDEC est la première analyse les causes/effets d'une situation dangereuse (figure III.5) tandis que la seconde s'intéresse aux causes/effets d'un mode de défaillance (III.6).

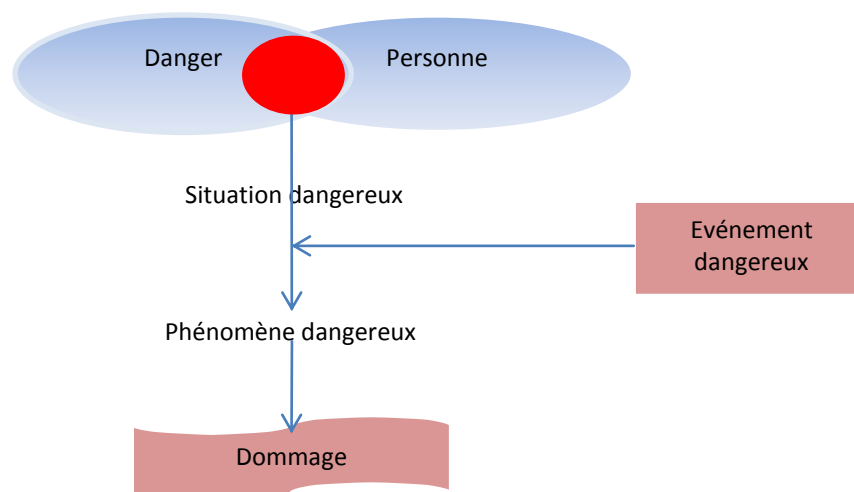


Figure III.5 : Définition de la situation dangereuse d'après (INERIS, 2002).

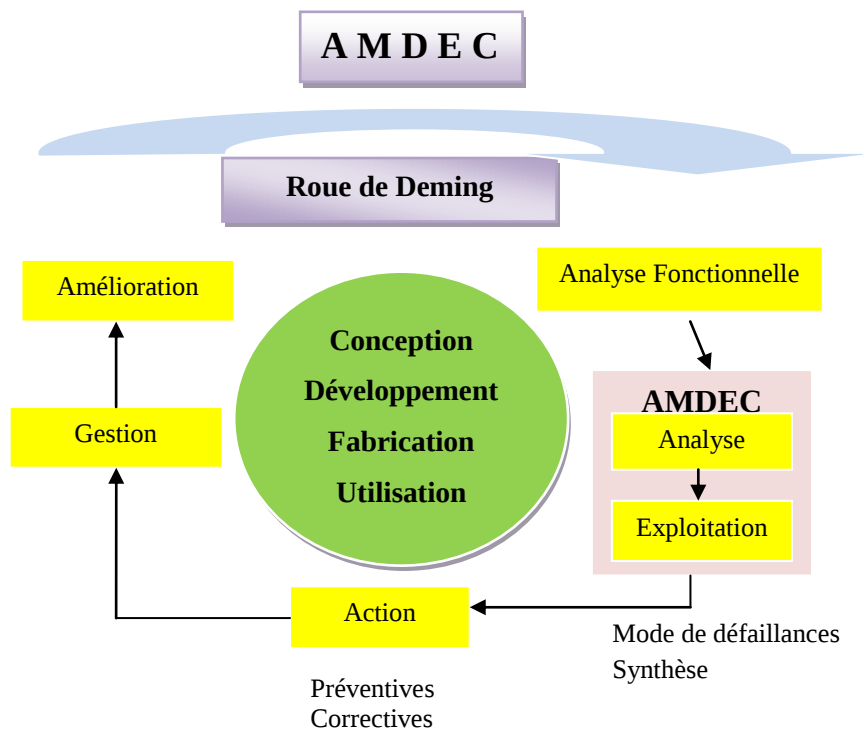


Figure III.6 : Définition du mode de défaillance d'après (ESQSE, 2014).

L'examen des figures ci-dessus montre que l'AMDEC est plus détaillée du point de vue analyse des défaillances des systèmes. De même, la figure 3.6 montre que l'AMDEC peut être déduite d'une analyse fonctionnelle. Cette déduction est d'ailleurs illustrée dans la figure III.3.

Rappelons également que l'AMDEC se présente sous plusieurs formes (Villemeur, 1988) : AMDEC système, AMDEC procédés et AMDEC produits. Cependant, sa principale limite est le temps d'analyse qu'est trop prohibitif. C'est pour cette raison que l'AMDEC est souvent approchée par une APR qu'est une analyse préliminaire des principaux risques.

Il est important de signaler que malgré que l'APR est l'AMDEC procède à l'analyse des risques en termes de « causes/effets » cependant leur finalité n'est pas l'identification exhaustive des causes ni de conséquences mais plutôt la hiérarchisation des risques analysés sur la base de leurs criticités respectifs (Djebabra et Saadi, 1999b).

D'autres méthodes de SdF sont, donc, nécessaires pour la recherche des causes et des conséquences. Il s'agit, respectivement, de l'Arbre de Défaillances (AdD) et Arbres d'Evènements (AdE) qui sont d'usage courant (Villemeur, 1988).

Une synthèse des méthodes cadrées par cette approche montre l'intérêt de l'analyse fonctionnelle et le séquençement qu'il faut déployer pour un usage progressif des méthodes de SdF (figure III.7).

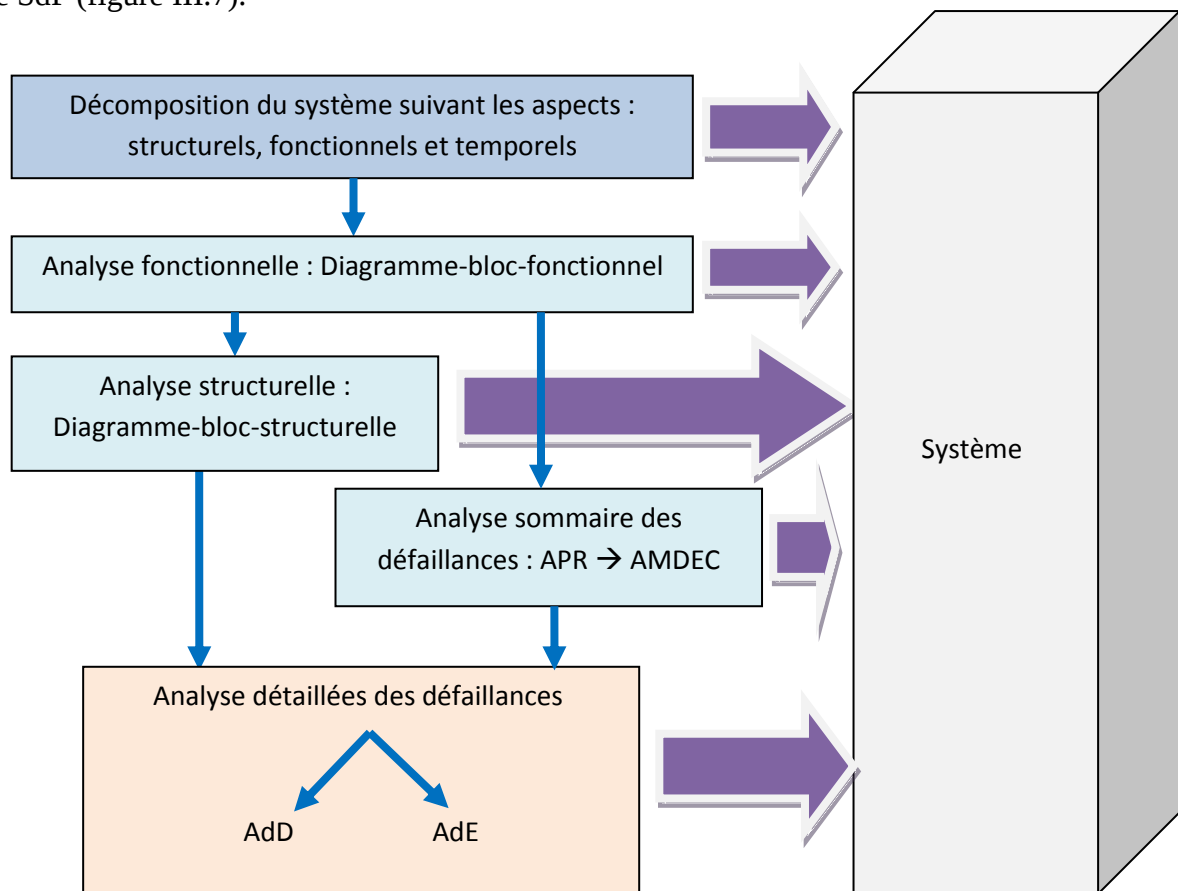


Figure III.7 : Séquence d'étude de SdF d'après (Saadi, 1997).

III.2.3- Approche basée sur la validation par essais

Cette troisième et dernière approche de maîtrise des risques en conception est supportée par plusieurs méthodes telles que : plans d'expérience par la méthode Taguchi (Benoist et Tourbier, 1994), validation par simulation numérique (Dépardeux, 2004) et tests ou essais de fiabilité accélérés (Tebbi, 2005).

A- Construction des plans d'expérience par la méthode Taguchi

Un plan d'expérience, comme son nom l'indique, est une série d'essais organisée pour déterminer en un minimum d'essais et avec un maximum de précision l'influence de multiples paramètres sur une ou plusieurs réponses. Ses étapes sont les suivantes : formalisation du problème, sélection des paramètres à étudier, construction du plan en fonction des tables de Taguchi, réalisation des essais et analyse des résultats, réglage du paramètre en fonction des résultats obtenus et essai de confirmation.

La table de Taguchi est une méthode statistique pour réaliser un plan d'expériences. Elle est souvent représentée sous forme (Preseir, 2003) : « Table $L_g(m^f)$ ».

Avec : **g** le nombre de lignes, **m** le nombre de modalités (niveau des facteurs) pour l'ensemble des facteurs et **f** le nombre de colonnes (nombre de facteurs + nombre d'interactions).

B- Validation par la simulation numérique

La simulation numérique est un moyen performant d'analyse et de compréhension des phénomènes physiques (Farge & Colonna, 1986). Son usage est d'autant nécessaire si les modèles de description des phénomènes étudiés ne présentent pas des solutions analytiques (Mohammadi & Saiac, 2003). Dans ce contexte, la simulation numérique consiste à reproduire par le calcul le fonctionnement d'un système, préalablement décrit par un ensemble de modèles. Elle s'appuie sur des méthodes mathématiques et informatiques spécifiques.

En simulation numérique, deux méthodes sont d'usage courant :

- méthodes déterministes appelées également méthodes de volumes finis qui regroupent les cas particuliers de méthodes dites éléments finis et différences finies (Amara, 2013),
- méthodes probabilistes appelées également Monte Carlo dont le principe est basé sur l'exploitation des tirages aléatoires (Bouleau, 1986).

Pour rappel, la simulation numérique est une approche approximative. Conséquemment, ses deux grandes catégories de méthodes sont supportées par de nombreuses études mathématiques qui s'attachent à préciser la convergence de ces méthodes (Mohammadi & Saiac, 2003).

Enfin, la simulation numérique est supportée par un bon nombre de logiciels informatiques : FLUENT, CATIA, CAO, ADAMS, ANSYS, COBRA, SIMULO, ...

C- Essais de fiabilité accélérés

Les essais accélérés sont des essais de fiabilité pour lesquels les matériels testés sont soumis à des conditions d'environnement ou d'utilisation sévères par rapport à celles de leur vie opérationnelle. L'objectif est double : réduire la durée des essais et apprécier la fiabilité selon les conditions d'utilisation du matériel.

Dans les conditions accélérées, le fonctionnement du matériel doit être conforme aux conditions normales de son utilisation.

Plusieurs modèles d'essais accélérés ont fait l'objet de développement. Ils sont représentés par le modèle Standard de Vie Accélérée (Cab Innovation, 2003) que nous détaillerons dans la dernière partie de ce chapitre.

III.2.4- Synthèse des approches de maîtrise des risques en conception

Les trois approches détaillées ci-dessus (approches basées sur : les bonnes pratiques, la validation subjective et la validation par des essais) ont pour finalité l'anticipation des risques en phase de conception. De plus, ces approches ont comme un point commun la localisation d'une connaissance et son exploitation en vue de la maîtrise des risques identifiés. En effet, l'approche basée sur les bonnes pratiques procède à la définition puis à la caractérisation des fonctions élémentaires des composants où les modes de défaillances peuvent être déduits de ces fonctions. Conséquemment, la connaissance est traduite sous forme de modes de défaillances dont son exploitation (approche basée sur la validation subjective) consiste, dans un premier temps, en une hiérarchisation des risques en termes de criticité et, dans un second temps, en une action sur les risques non acceptables. Enfin, l'approche basée sur la validation par essais permet de localiser la connaissance suite aux essais accélérés et sur la base de cette connaissance que des réajustements sont mises en œuvre et sont, ensuite, validés par des essais de confirmation.

Ces trois approches montrent que la capitalisation de la connaissance (construction puis exploitation) est leur principal objectif. En conséquence, la gestion de la connaissance est le principal point commun de ces trois approches. D'où l'utilité de la gestion de la connaissance en tant que démarche de maîtrise des risques en phase de conception. S'intégrant dans cette logique de raisonnement, nous proposons dans ce qui suit une démarche d'anticipation des risques basée sur la capitalisation de la connaissance en phase de conception.

III.3- Proposition d'une démarche axée sur l'anticipation des risques en conception

III.3.1- Etapes de la démarche proposée

A- Définition des acteurs impliqués dans la gestion de la connaissance relative à l'anticipation des risques en conception

Le modèle DIC, présenté dans le chapitre précédent, montre qu'à ce triptyque sont associés des acteurs suivants (figure III.8) :

- l'*Obervateur* qui récolte les données qui influent sur l'occurrence des défaillances des pièces,
- l'*Analyste* qui synthétise les données disponibles (arc L_{DI} dans la figure III.8) ou qui enrichit ces données par retour d'informations (arc L_{ID} dans la figure III.8),
- l'*Expert* qui détienne la connaissance et l'exploite dans notre cas sous forme d'une action de maîtrise des défaillances des pièces. Cette action est prise sur la base des informations de synthèse fournies par l'analyste (arc L_{IC} dans la figure III.8) ou bien directement suite aux appréciations fournies par les observateurs (arc L_{DC} dans la figure III.8).

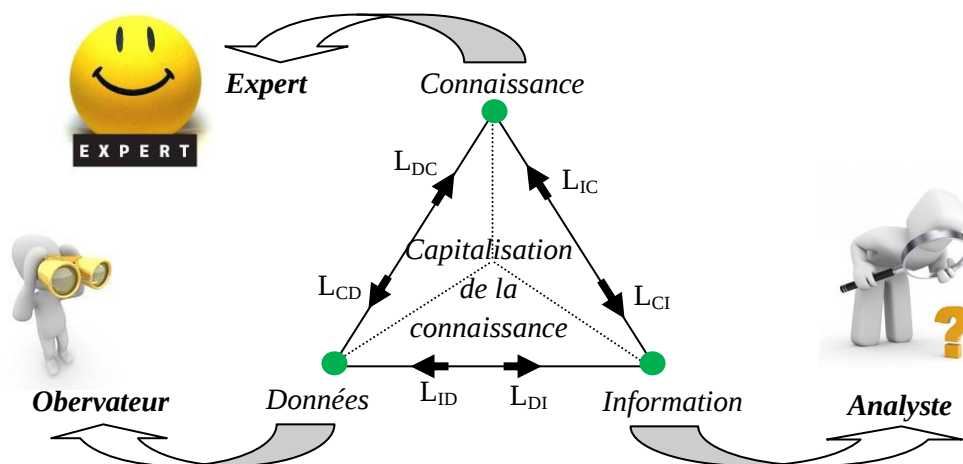


Figure III.8 : Acteurs impliqués dans l'analyse des modes de défaillances selon le modèle DIC

Il est important de signaler qu'en gestion de la connaissance, ces actions constituent le point de départ du *transfert de la connaissance* (Prax, 2007) entre les acteurs du DIC et le Décideur (figure III.9).

En effet, dans la figure III.9, l'observateur et l'analyste sont eux qui conduisent la procédure d'anticipation. L'observateur a pour rôle de collecter les données nécessaires pour l'anticipation et de les synthétiser par l'analyste pour fournir des informations nécessaires pour l'aide à la décision. Tandis que l'expert est celui qui détient la connaissance et qui possède l'aptitude à anticiper des mécanismes de défaillances. Enfin, le décideur est celui qui, à partir des données et/ou informations de synthèse fournies par l'observateur et/ou l'analyste, prend une décision. Ce premier cas est une décision prise sur la base d'une pré-connaissance (Boubaker, 2012). Le second cas est celui où le décideur déclenche une action sur la base d'une connaissance fournie par un expert. Ce deuxième cas, matérialise le lien qui existe entre une connaissance et une action qu'est indissociable (Boubaker, 2012).

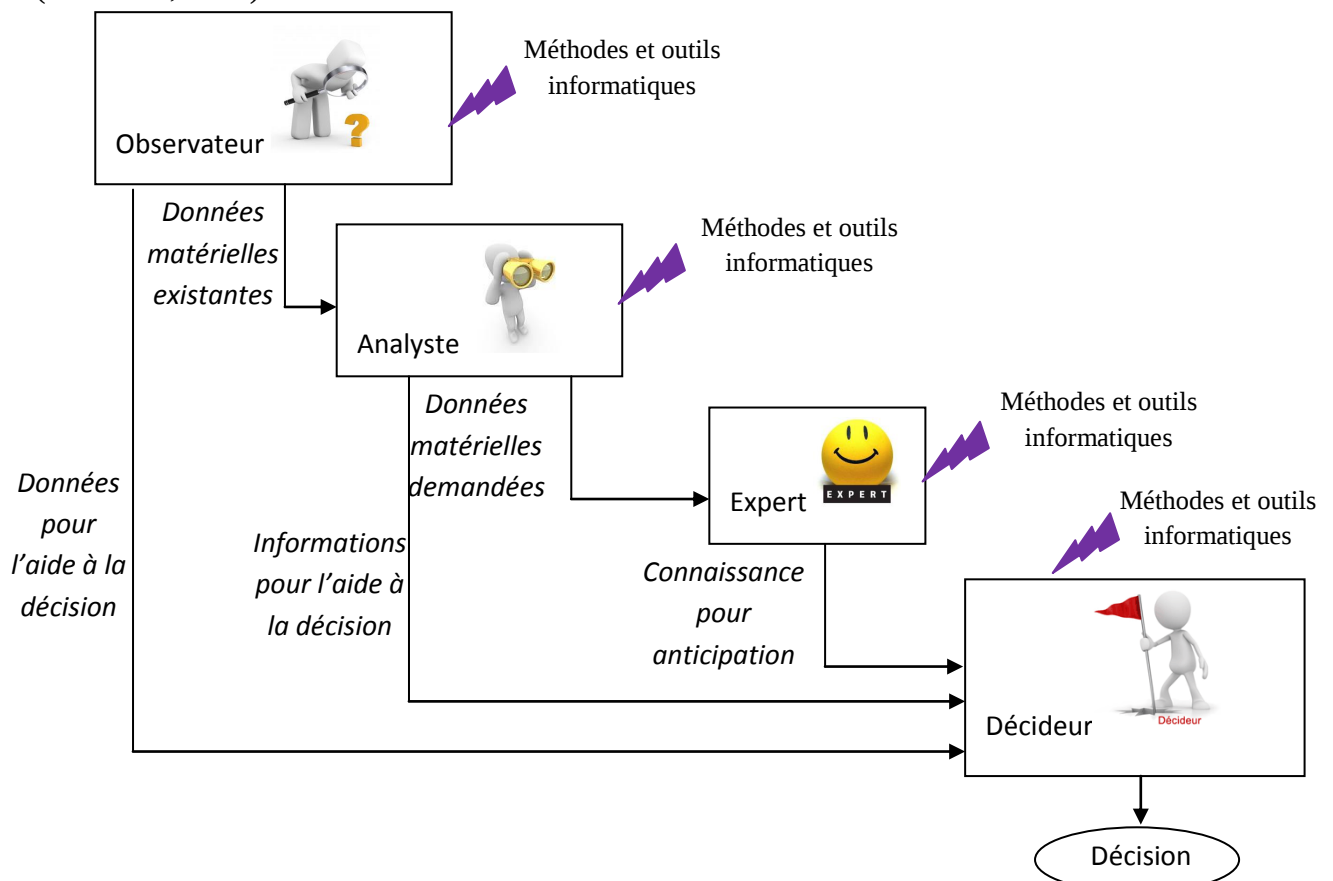


Figure III.9 : Procédure de transformation de la connaissance entre les acteurs du DIC

Il est important de signaler que la mise en œuvre d'une décision s'effectue dans un cadre d'un processus décisionnel axé sur des solutions optimales qui sont bien souvent des compromis (Bouziane et al, 2005).

B- Cycle de transfert de la connaissance axée sur l'anticipation des risques en conception

Les acteurs (ou intervenants) de l'anticipation des défaillances en conception étant identifiés, l'étape suivante consiste en une identification des événements sources de défaillances afin d'évaluer les risques qu'ils présentent et de mettre en œuvre les mesures d'actions nécessaires pour y faire face (figure III.10).

La localisation des événements cibles ainsi que l'identification des défaillances qui leurs sont associées peuvent être effectuées en se référant : aux cahiers de charge, aux fiches techniques des matériaux utilisés, aux fiches de contrôle-réception, aux fiches de fabrication et aux procédures diverses (assemblage, montage, traitement de surface ou de finition, ...).

Le rôle de l'analyste est aussi important et a pour but de trier et de synthétiser toute la documentation contenant ces données pour extraire un document de travail qui constitue le support de base pour l'interprétation de ces données sous forme d'informations techniques permettant d'élaborer les scénarios les plus probables de la défaillance. Pour cela, l'analyste procède à des analyses complémentaires du type : contrôle non destructif, contrôle météorologique, fractographie, ...

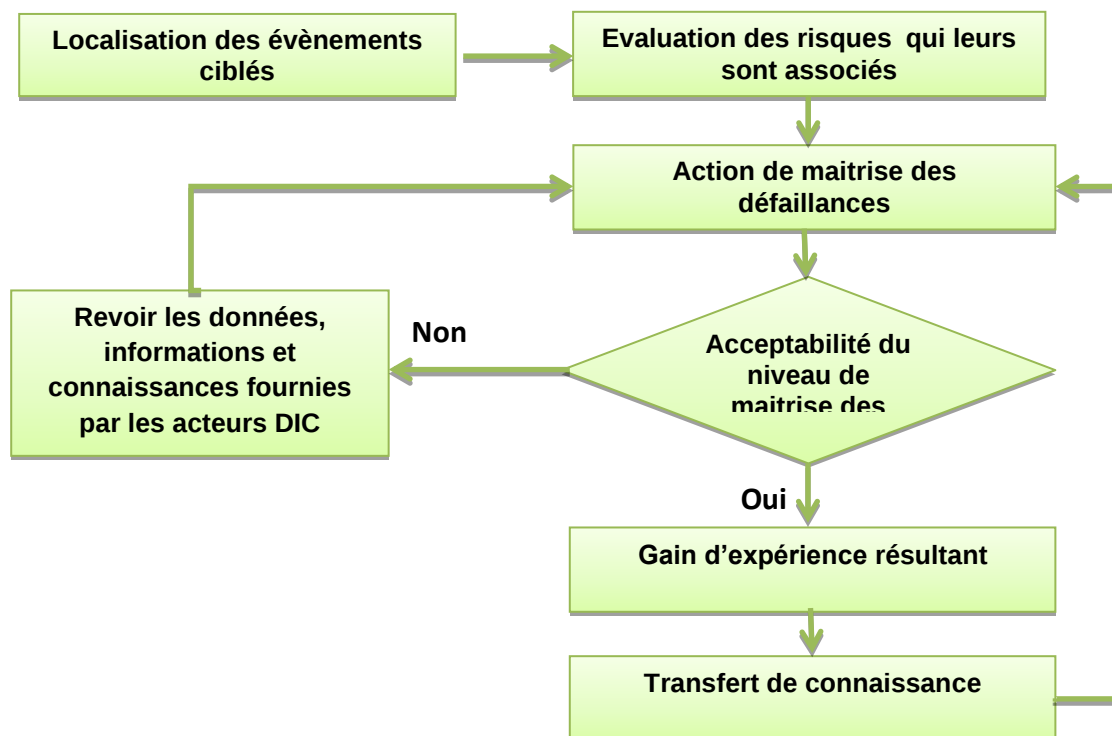


Figure III.10 : Cycle du transfert de la connaissance issue du modèle DIC.

La figure ci-dessus présente, en plus du cycle du transfert de la connaissance, le processus de gestion des risques. L'interaction entre les deux processus de gestion des risques et de gestion de la connaissance (par DIC) est synthétisée par la figure III.11 de la page suivante.

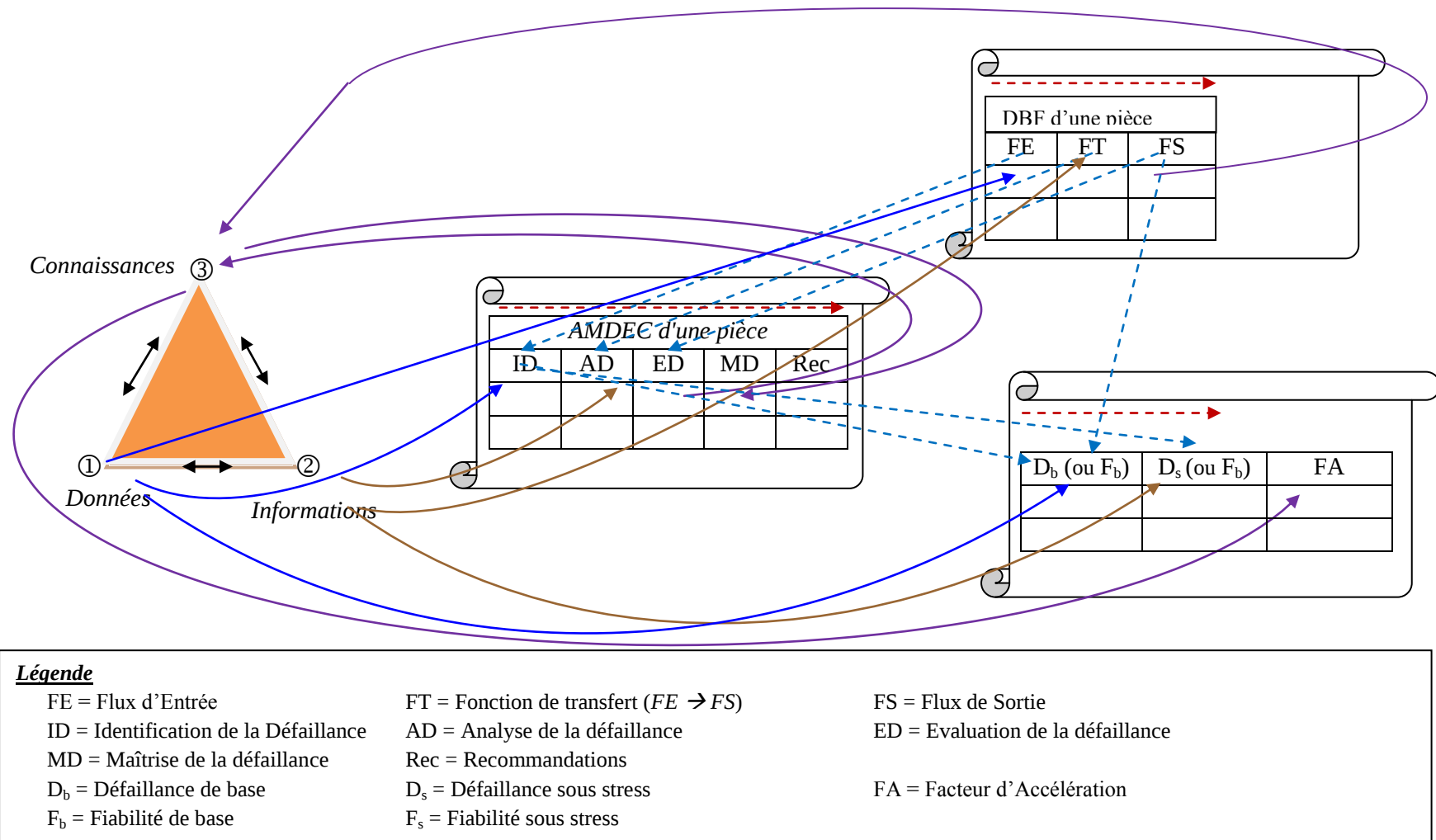


Figure III.11 : Interactions DIC–Méthodes de fiabilité retenue dans cette étude.

L'intérêt que présente cette figure est que la capitalisation de la connaissance issue des analyses fonctionnelle/dysfonctionnelle/essais accélérés ne doit pas se limiter à un transfert de connaissance pour un éventuel retour d'expérience mais également à une communication de cette connaissance aux analystes et aux experts participants dans cette étude. Ceci peut être fait au moyen d'un document qui résume les résultats de cette capitalisation. La partie droite de la figure III.11 illustre la forme que peut avoir ce document.

III.3.2- Méthodes associées à la démarche proposée

Dans la section précédente, nous avons illustré l'interaction DIC – AMDEC. Cette illustration a pour but de mettre en évidence l'articulation DIC et méthodes supports telle que l'AMDEC. Dans cette section, l'intérêt sera porté sur ces méthodes fonctionnelles et dysfonctionnelles en tant qu'outils supports au modèle DIC.

A- Analyse fonctionnelle par usage de la méthode de décomposition logico-temporelle du système

Cette méthode permet de parvenir à une optimisation du produit du point de vue de la satisfaction de son utilisation. Le produit se situe dans un environnement avec lequel il interagit, et il est alors considéré comme un système. L'analyse fonctionnelle considère alors ce système d'un point de vue de sa finalité, et met en évidence la qualité d'un produit par l'expression de son usage.

Pour assurer une décomposition adéquate du système, il faut définir clairement la ou les fonctions de chacun des constituants du système (Bertini. 1986 ; Djebabra & Saadi, 1999a). Cette identification des fonctions du système permet, en réalité, d'effectuer une décomposition verticale (ou descendante) du système. Le tableau suivant synthétise cette décomposition verticale du système en se référant à la figure III.3.

Tableau III.1: *Aspects de décomposition verticale*

<i>Niveau</i>	<i>Décomposition verticale suivant l'aspect structurel</i>	<i>Décomposition verticale suivant l'aspect fonctionnel</i>
Niveau principal	Le système (S) est décomposé en un ensemble de sous-systèmes.	La mission du système est décomposée en un ensemble de fonctions principales.
Niveau intermédiaire	Chaque sous-système (SS) est décomposé en un ensemble d'équipements.	Chaque fonction Principale (FP) est décomposée en un ensemble de fonctions intermédiaires.
Niveau élémentaire	Chaque équipement (E) est décomposé en un ensemble de composants. Un composant (C) est la plus petite entité physique utilisée dans la décomposition du système.	Chaque fonction intermédiaire (FI) est décomposée en un ensemble de fonctions élémentaires. La fonction élémentaire (FE) est la fonction du plus bas niveau réalisé par le système.

Evidemment, dans la décomposition verticale du système le concepteur doit veiller quant aux interactions entre les fonctions et constituants des différents niveaux de décomposition (figure III.3). En effet, ces interactions entre les aspects structurels et fonctionnels permettent d'indiquer l'implication et l'antécédence entre une entité (un équipement par exemple) et les fonctions réalisées par cette entité (fonction intermédiaires) et vice-versa.

Donc, un sous-système quelconque, du niveau principal, permet de réaliser une (ou plusieurs) fonction(s) principale(s). De même, un équipement donné du niveau intermédiaire permet de réaliser une (ou plusieurs) fonction(s) intermédiaire(s). Enfin, un composant du niveau élémentaire permet de réaliser une (ou plusieurs) fonction (s) élémentaire(s).

De la même façon et à chaque fonction principale, on peut associer un (ou plusieurs) sous-système(s). A chaque fonction intermédiaire, on peut associer un (ou plusieurs) équipement(s). Enfin, à chaque fonction élémentaire, on peut associer un (ou plusieurs) composant(s).

B- Analyse dysfonctionnelle par usage de la méthode d'analyse préliminaire des risques

L'analyse fonctionnelle sert comme un support de base pour une analyse dysfonctionnelle qui a but de se focaliser sur les défaillances du système ainsi que leurs causes et conséquences dans le but d'hiérarchiser ces défaillances et d'agir, par voie de conséquences, sur leurs causes (actions de prévention ou sécurité primaire) et sur leurs conséquences (actions de protection ou sécurité secondaire).

Dans cette méthodologie, nous retenons les méthodes AMDEC¹ et Add² qui sont d'usage courant en SdF (Villemeur, 1988).

B.1- La méthode AMDEC

L'AMDEC est une méthode ancienne (sa création remonte au début des années 50) et qui reste très utilisée en SdF. Son point de départ consiste en une identification des modes de défaillances des composants du système (3.6). Conséquemment, une analyse fonctionnelle du système est d'une grande utilité pour cette identification (figure III.3).

Le processus AMDEC est une analyse « causes-effets » des différents modes de défaillances ainsi identifiés.

Les intérêts de l'AMDEC sont multiples : en plus de sa simplicité de mise en œuvre, son usage est une aide à "pré-voir" pour ne pas être obligé de "re-voir". En effet, l'usage de l'AMDEC dès la phase de la conception d'un système permet d'apporter des modifications à un stade précoce. De ce fait, l'AMDEC constitue le premier pas de l'analyste fiabiliste (Lonny et Procaccia, 2006).

Pour compléter la liste des avantages que présente l'AMDEC, nous rappelons que cette méthode permet d'évaluer les risques et de les hiérarchiser en vue de spécifier et d'optimiser les actions d'atténuation³ de ces risques.

Un dernier avantage de l'AMDEC concerne ses différentes versions qui permettent d'étudier tous les produits (Cloarec et Riout, 2000).

Le tableau suivant résume les versions les plus connues de l'AMDEC.

¹ Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité

² Arbre de Défaillances

³ La tolérance des risques (principe ALARPE) fait partie du principe d'atténuation (réduction) des risques.

Tableau III.2 : Les différentes types AMDEC d'après (Ouakki, 2011).

<i>Types</i>	<i>Description</i>
<i>AMDEC produit</i> <i>Ou</i> <i>AMDEC conception</i>	Identifier, corriger les modes de défaillance et valider les paramètres de conception choisis pour une exigence de performance fonctionnelle spécifiée. L'AMDEC conception est une approche systématique visant à réduire la criticité et les risques, c'est un outil utile pour établir les priorités pour améliorer la fiabilité au cours de la phase de conception préliminaire.
<i>AMDEC procédé</i>	Permet d'identifier les défaillances du procédé de fabrication d'un produit dont les effets agissent directement sur la qualité du produit fabriqué, sur le respect des spécifications attendues du produit.
<i>AMDEC processus</i>	Permet d'identifier les défaillances du processus de fabrication dont les effets agissent directement sur l'atteinte des objectifs qui lui sont alloués.
<i>AMDEC service</i>	Permet d'identifier les défaillances lors de la réalisation du service,

L'examen de ce tableau montre que l'AMDEC peut être utilisée pour toutes les phases du cycle de vie d'un produit. Mais les avantages d'exécution de l'AMDEC au niveau de la conception sont multiples :

- possibilité d'inclure l'identification des modes de conception potentiels liés à l'échec du système et qui peuvent compromettre la fiabilité,
- l'identification des caractéristiques importantes d'une conception donnée ainsi que les points faibles du système et y apporté des remèdes,
- la documentation de la justification des changements de conception pour guider le développement des conceptions futures et par de conséquences, de se prémunir de certaines défaillances potentielles,
- l'aide à l'évaluation des objectifs de la conception, des alternatives de conception au cours des phases préliminaires et les détails du processus de conception technique,
- l'optimisation du plan de contrôle et une aide éclairée à l'élaboration de plans d'essais,
- l'optimisation des tests (choix judicieux de test) pour solliciter toutes les fonctions du système et prise des décisions de « rétro-conception ».

Le déploiement de l'AMDEC s'effectue en plusieurs phases résumées par le tableau suivant.

Tableau III.3 : Les différentes phases de l'AMDEC d'après (Ozouf, 2009).

<i>Phase</i>	<i>Etape</i>	<i>Description</i>
1	Définition du système, de ses fonctions et de ses composants	Définir le système à étudier et ses fonctions. Les divers états de fonctionnement du système doivent être établis. Notons que le système peut avoir plusieurs positions dans son cycle de vie et donc des environnements et des fonctions différentes.
2	Analyse qualitative des dysfonctionnements	Identifier les mécanismes de défaillance de manière exhaustive pour chaque élément du système : les modes de défaillance potentiels ou réels, les causes possibles, les effets sur le système et sur l'utilisateur et les moyens de détection.
3	Evaluation de la criticité	Affecter un niveau de criticité à chaque défaillance afin de déterminer les défaillances critiques. Deux ou trois critères peuvent définir cette criticité : - F : la fréquence d'apparition de la défaillance, - G : la gravité des effets de la défaillance, - D : la probabilité de non-détection de la défaillance.
4	Proposition d'actions correctives	Diminuer de la criticité des défaillances en agissant sur un ou plusieurs des critères (F, G, et D). Il faut alors rechercher les actions à engager (prévention de la défaillance, détection de la cause et du mode, réduction des effets) et évaluer la nouvelle criticité.
5	Synthèse de l'étude/ Décisions	Effectuer un bilan et de lancer les actions à effectuer (choisir les actions à engager, fixer les délais et désigner les responsables).

La réalisation de ces différentes étapes requiert le recours à des compétences multiples de l'engineering (ingénieurs process, maintenance, sécurité, production, ...). Conséquemment, l'AMDEC, comme pour toutes les autres méthodes d'analyse des risques, s'effectue dans un cadre collectif (groupe de travail). De ce cadre, le groupe doit être animé par un chef d'équipe et assisté par un spécialiste AMDEC qui joue le rôle du

garant de la méthode AMDEC. Le travail de l'équipe AMDEC se consolide par une présentation des résultats de l'étude dans un formalisme typique à l'AMDEC (Laroude, 2011).

Tableau III.4 : *Tableau de présentation des résultats d'une AMDEC.*

N°	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effets sur système et/ou sous-système	O	G	D	C	Remarque

B.2- La méthode AdD

L'Arbre de Défaillances (*Fault Tree* ou « FT » en anglais) est un outil graphique très utilisé en SdF. Il permet de représenter graphiquement les combinaisons possibles des causes qui permettent la réalisation d'un événement indésirable prédéfini. L'AdD est ainsi formé de niveaux successifs d'événements qui s'articulent par l'intermédiaire de portes logiques.

L'AdD est, donc, une méthode déductive (Mihalache, 2007) qui peut être utilisé comme un outil d'évaluation de la conception. Dans ce contexte, l'AdD permet d'identifier les scénarios conduisant à des accidents dans les phases amont du cycle de vie d'un système et d'éviter des changements de conception d'autant plus coûteux qu'ils sont tardifs. L'AdD peut aussi être utilisé comme un outil de diagnostic prévoyant la ou les défaillances des composants la ou les plus probables lors de la défaillance d'un système.

Pour mener à bien une analyse par AdD, il est préférable de se référer aux résultats issus de l'AMDEC notamment pour ce qu'est de l'identification des événements de l'AdD : de l'évènement non souhaité aux événements qui lui sont associés (Pagès et Gondran, 1980).

La construction de l'AdD est la phase la plus cruciale de la méthode (Djebabra & Saadi, 2009b). Conséquemment, cette construction est effectuée comme suit (Zwingmann, 2005) :

- définir l'évènement indésirable et rechercher ses causes immédiates (ou directes),
- classer les événements intermédiaires en trois classes (événements de base, défauts de conception et défauts de système),
- analyser les défauts des composants : chercher la défaillance première puis la défaillance seconde,
- réitérer la méthode précédente jusqu'à obtention des événements d'origine.

La figure suivante présente le formalisme AdD.

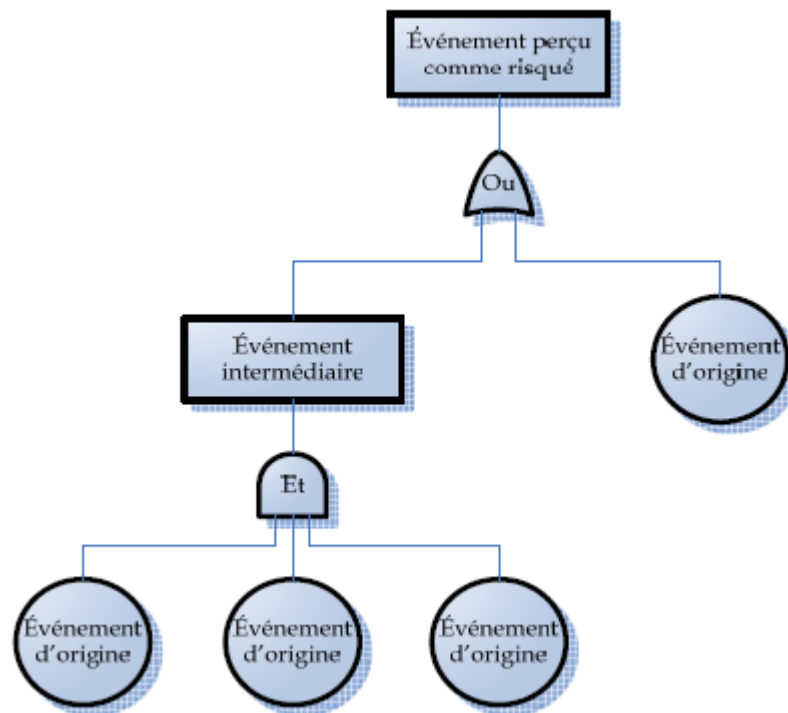


Figure III.12 : *Structure d'un arbre de défaillance (Zwingmann. 2005).*

La construction de l'AdD est suivie de trois grandes étapes :

- une analyse qualitative qui a pour objectif de réduire l'AdD jusqu'à l'obtention des coupes minimales,
- une analyse quantitative qui a pour finalité le calcul de la probabilité d'occurrence de l'évènement sommet de l'AdD,
- une analyse complémentaire qui a pour vocation d'évaluer l'importance (ou l'influence) des événements de base ou des parties de l'AdD par rapport (ou sur) l'évènement sommet de l'arbre.

C- Méthodes (modèles) relatives aux essais accélérés pour les risques priorités

Le but de cette section est double : rappeler, dans un premier temps, la définition et les caractéristiques des essais accélérés et, dans un second temps, présenter les modèles les plus connus de ces essais.

C.1- Définition et caractérisation des essais accélérés pour les risques priorités

Les essais accélérés sont utilisées en particulier pour estimer la fiabilité des systèmes de haute fiabilité. Elles deviennent de plus en plus populaires grâce à leurs deux avantages fondamentaux (Tebbi. 2005) : un gain de temps et une réduction des coûts.

Les essais accélérés (figure III.13) consistent à soumettre le système à des sollicitations d'utilisation ou d'environnement amplifiées par rapport aux valeurs attendues en utilisation opérationnelle afin d'estimer des caractéristiques comportementales (loi de fiabilité, performances opérationnelles, ...) du système dans les conditions normales d'utilisation à partir des conditions accélérées d'utilisation et cela dans des délais compatibles avec les contraintes calendaires associées à la phase de développement. Les conditions accélérées modifient la durée de vie d'un système. Le passage s'effectue à l'aide d'une loi dite d'accélération (Mihalache. 2007 ; CET.2005).

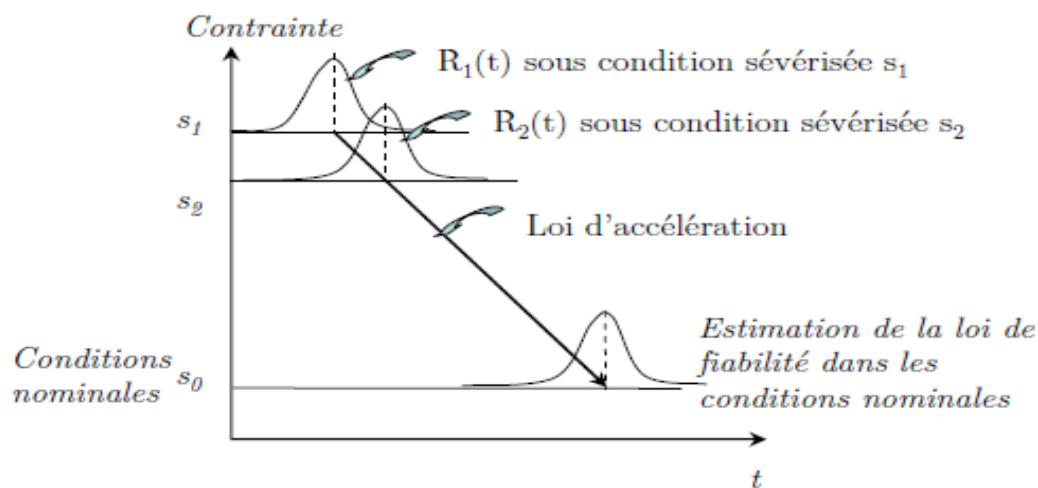


Figure III.13 : Principe des essais accélérés d'après (Laroude., 2011).

Un examen de la figure ci-dessus montre que pour réaliser un essai accéléré, il faut vérifier les hypothèses suivantes (Tebbi. 2005):

- le fonctionnement du produit dans les conditions accélérées doit faire intervenir les mêmes phénomènes de dégradation que dans les conditions normales d'utilisation,
- les contraintes augmentées devront être celles qui conduisent à la même défaillance majeure que celle constatée en fonctionnement réel,
- les phénomènes d'interaction doivent être pris en compte,

- la distribution des durées de vie en conditions accélérées devra avoir la même forme que celle constatée en conditions normales (même loi de fiabilité mais de paramètres d'échelles différents).

Par ailleurs, les essais accélérés sont matérialisés par un plan d'essais dont la conception (quels essais faut-il faire pour montrer que le système est fiable ?) peut intervenir dès le début de la conception d'un produit ou d'un système, dès que les fonctions requises (le cahier des charges) sont connues (Laroude. 2011). La définition de ce plan dépend de plusieurs paramètres qu'il faut déterminer pour guider la réalisation des essais : stress ou contrainte⁴ accélérés et limites opérationnelles, modes et mécanismes de défaillance, nombre de dispositifs et enfin un modèle de vie accélérée.

C.1.1- Types de stress appliqués

Les essais accélérés peuvent s'appliquer à toutes les catégories de matériels en employant différents types de contraintes (mécaniques⁵, électroniques⁶, climatiques⁷ et contraintes spécifiques au matériel les plus adaptées vis-à-vis des modes de défaillance attendus sur ces matériels. Les contraintes généralement mises en œuvre, soit *seules*, soit en *combinaison* (Zwingman, 2005).

C.1.2- Types de chargement

Les contraintes choisies dans la réalisation des essais accélérés, peuvent être augmentées de différentes manières selon l'application de la contrainte dans le temps (figures III.14 et III.15) : chargement fonction du temps (échelonnée, progressive, cyclique ou aléatoire, ... etc) et chargement indépendant du temps (constante).

Le choix du profil de stress dépend des conditions d'utilisation du produit et de ses limitations technologiques.

⁴ L'ensemble des conditions et facteurs susceptibles d'affecter le bon fonctionnement d'un produit.

⁵ La fatigue, torsion, flexion.....

⁶ Tension, l'intensité du courant.....

⁷ Température, humidité.....

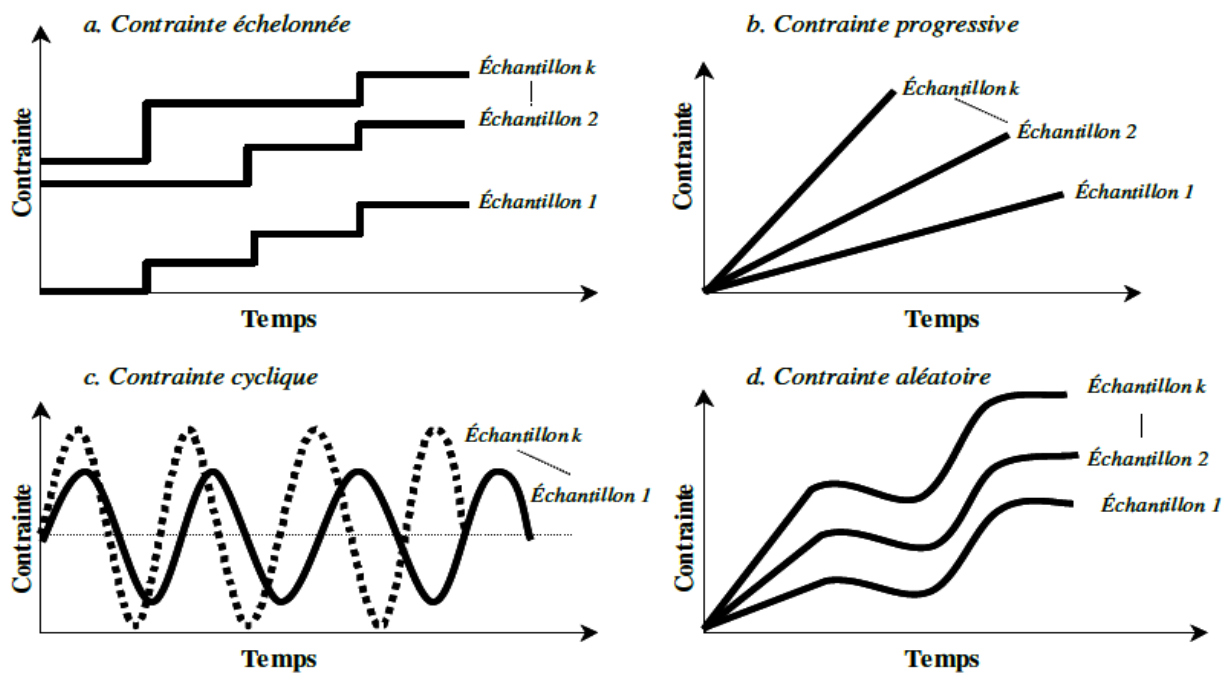


Figure III.14 : Représentations graphiques des chargements en fonction du temps
d'après (Tebbi, 2005)

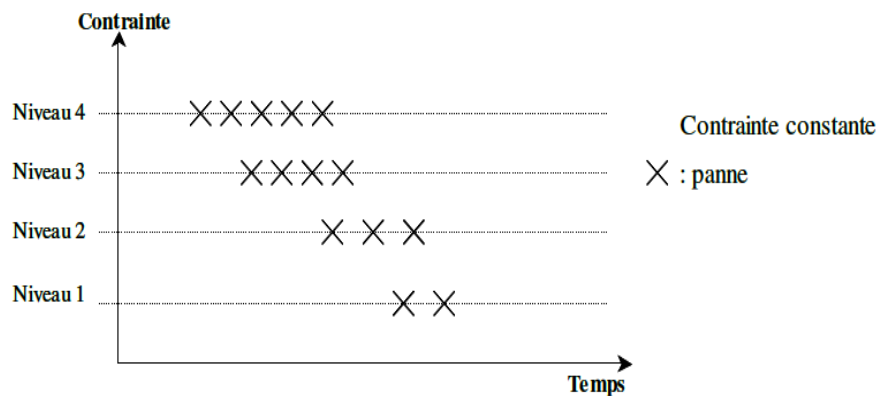


Figure III.15 : Représentations graphiques des chargements indépendamment de temps
du temps d'après (Tebbi, 2005).

C.1.3- Mode et mécanisme de défaillance

L'analyse des contraintes appliquées et des conséquences qu'elles peuvent entraîner (telle qu'une dégradation d'une caractéristique, déformation, rupture, ... etc.) est l'une des tâches à laquelle on est confronté lors de la réalisation des essais accélérés. Donc, il faut savoir le mécanisme de défaillance (processus physique, chimique ou autre) ayant entraîné une défaillance qui peut être mis en évidence par une analyse physique ou chimique.

Un essai accéléré ne doit engendrer aucun mode de défaillance supplémentaire et ne doit pas modifier les mécanismes de base des défaillances.

C.2- Modèles de vie accélérée

Pour obtenir la loi de fiabilité dans les conditions nominales, il est nécessaire d'utiliser *un modèle de vie accélérée* permettant de l'estimer à partir des résultats d'essais accélérés. Il existe différentes classes de modèles de vie accélérée (figure III.16) :

- *Les modèles expérimentaux*, déterminés par des plans d'expériences permettant d'étudier les effets des variables (facteurs), de leurs combinaisons et de leurs interactions sur la performance du système (Phadke, 1999).
- *Les modèles physiques*, définis à partir de ceux de dégradations chimique, mécanique ou autres (Guérin et al. 2001; Lalanne, 1999 ; Meeker & Escobar, 1993).
- *Les modèles statistiques* caractérisés par des approches d'estimation paramétriques, semi-paramétriques et non paramétriques (Bagdonavicius & Nikulin, 1995a).

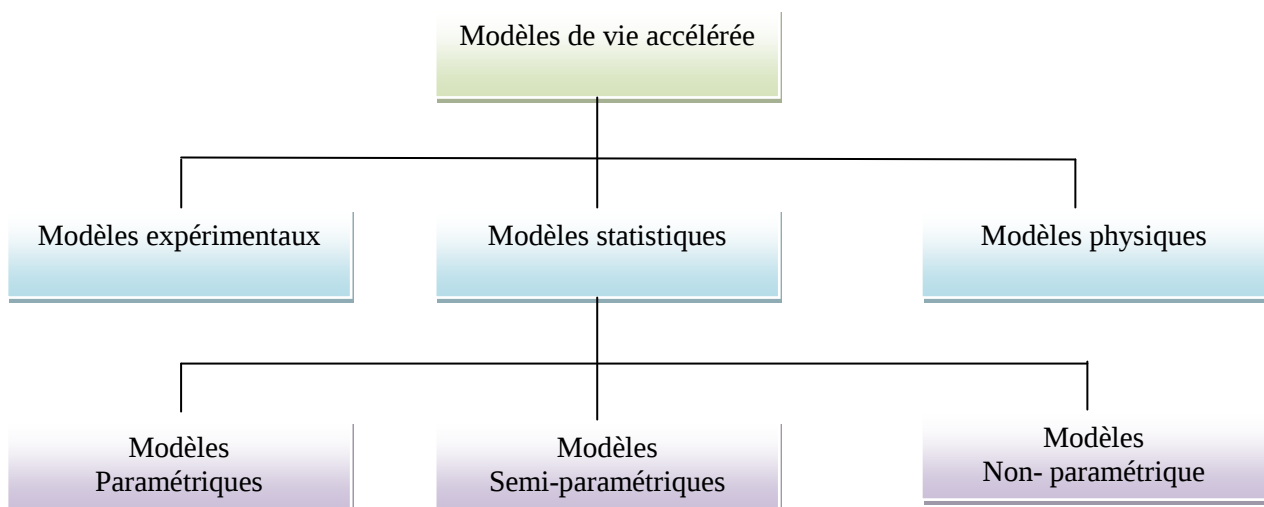


Figure III.16: Représentation des modèles de vie accélérée d'après (Tebbi. 2005).

Dans notre travail, l'intérêt s'est porté sur les modèles statistiques de vie accélérée qui sont généralement utilisés quand la relation exacte entre les contraintes appliquées et le temps de défaillance du composant est difficile à déterminer selon des principes physico-chimiques (Larounde., 2011). Dans ce cas, les composants sont soumis à différents niveaux de contraintes et les temps de défaillance sont utilisés pour ajuster une distribution de vie la

plus adéquate. Les temps de défaillance ont le même type de loi à chaque niveau de contrainte, en particuliers dans les conditions normales de fonctionnement.

Les modèles Statistiques de Vie Accélérée peuvent s'appliquer à plusieurs domaines comme celui du vivant (sciences médicales), de l'électronique et de la mécanique. Ce qui différencie les diverses applications ce sont les lois de fiabilité utilisées, les stress employés pour sévérer les essais et la nature des lois d'accélération.

La littérature spécialisée dans ce types de modèles est riche de définitions relatives aux modèles Statistiques de Vie Accélérée (Nelson, 1990; Bagdonavicius & Nikulin, 1995b; Hoang, 2003).

En général, ces modèles sont constitués de deux composantes principales (Tebbi. 2005; Nelson. 1990; Lewis.1994; Nikulin. & al, 2007) :

- *Un modèle analytique "Durée de vie-stress" appelée aussi équation d'accélération ou modèle d'accélération*, traduisant la durée de vie « nominale » du produit soumis à l'essai en fonction des niveaux de contraintes appliquées. Cette durée de vie « nominale » est représentée par une caractéristique de loi de fiabilité telle que la moyenne, la médiane, l'écart type , un quantile ou un quelconque paramètre de la loi. Parfois le modèle analytique est défini par ce qu'on appelle une *loi d'accélération* qui traduit la vitesse de dégradation d'un système en fonction des stress. D'autre part, la durée de vie « nominale » du produit est inversement proportionnelle à sa vitesse de dégradation (Nelson, 1990).
- *Une distribution statistique des durées de vie* où à chaque niveau de contrainte (stress), le système a une distribution statistique de vie. D'où la combinaison : équation d'accélération et distribution de vie de base.

Aussi, on peut définir un *Facteur d'Accélération* entre la durée de vie « nominale » τ_1 du produit sous les conditions nominales et la durée de vie « nominale » τ_2 sous les conditions accélérées :

$$FA = \frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{\tau_{\text{normale}}}{\tau_{\text{accélérée}}} \quad (\text{III.1})$$

Cette valeur signifie que la durée de vie « nominale » τ_1 est " *FA* fois" plus grande que la durée de vie « nominale » τ_2 .

Dans la suite de cette étude, nous utilisons le modèle Standard de Vie Accélérée (SVA) qui recouvre la majorité des modèles de vie accélérée utilisés dans le monde du vivant, de l'électronique ou de la mécanique (Bagdonavicius & al. 2000). Il envisage la combinaison de plusieurs stress et leur évolution dans le temps.

Le principe dudit modèle est le suivant :

Soit $R_{s0}(t)$ la fiabilité d'un composant *subissant un stress* en conditions nominales s_0 et $R_s(t)$ la fiabilité de ce même composant en conditions s de test accéléré.

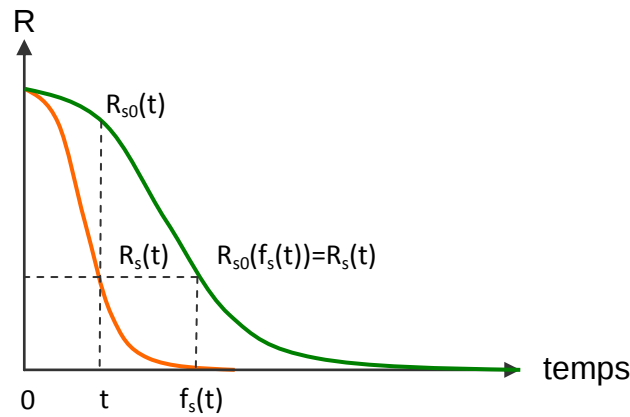


Figure III.17: La fiabilité d'un composant en conditions nominal et en condition de test accéléré d'après (Bagdonavicius & al. 2000).

Nous appelons « ressource utilisée sous le stress s jusqu'à l'instant t », la fonction $f_s(t)$ permettant de passer d'une durée quelconque t , sous condition de test, à celle équivalente en condition opérationnelle, c'est-à-dire celle qui correspond à la même valeur de fiabilité. Ce qui caractérise le modèle SVA est que la vitesse d'utilisation de la ressource (ou vitesse de dégradation) à l'instant t ne dépend que de la valeur du stress $s(t)$ appliqué à l'instant t .

Soit :

$$\frac{d}{dt}f_s(t) = V(s(t)) \quad (III.2)$$

Où :

$$R_s(t) = R_{s0}(f_s(t)) = R_{s0}\left(\int_0^t V(s(\tau)) d\tau\right) \quad (III.3)$$

Si le stress est constant entre 0 et t on obtient :

$$R_s(t) = R_{s0}(V(s) \times t) \quad (III.4)$$

Avec :

$$V(s_0) = 1 \quad (\text{III.5})$$

Le stress ne change alors que l'échelle de la courbe de fiabilité ($t \rightarrow kt$). Aussi, le SVA peut facilement s'appliquer à diverses lois (Weibull, Log normale, lois non paramétriques, ... etc.).

En considérant deux conditions de stress s_1 et s_2 , on peut écrire :

$$R_{s_2}(t) = R_{s_0}(V(s_2) \times t) = R_{s_0}(V(s_1) \times \frac{V(s_2)}{V(s_1)} \times t) = R_{s_1}(\frac{V(s_2)}{V(s_1)} \times t) \quad (\text{III.6})$$

Le Facteur d'Accélération $FA(s_1, s_2) = \frac{V(s_2)}{V(s_1)}$ correspond au rapport entre une durée quelconque sous stress s_1 et celle équivalente sous stress s_2 donnant la même fiabilité. Il correspond également au rapport des durées de vie moyenne sous ces deux niveaux de stress.

Si l'on considère un stress évolutif s , on peut calculer la dérivée du facteur d'accélération FA par rapport à s :

$$FA' = \frac{\frac{V(s+\Delta s)}{V(s)} - \frac{V(s)}{V(s)}}{\Delta s} = \frac{V(s+\Delta s) - V(s)}{\Delta s V(s)} = \frac{V(s)'}{V(s)} = \ln(r(s))' \quad (\text{III.7})$$

D'où :

$$V(s) = \exp\left(\int_{s_1}^{s_2} FA(v) dv\right) \quad (\text{III.8})$$

Supposons que FA' soit proportionnelle à une fonction connue $u(s)$ du stress :

$$FA' = \beta_1 u(s) \quad (\text{III.9})$$

Avec $\beta_1 > 0$

Donc $V(s)$ est une fonction de la forme :

$$V(s) = e^{\beta_0 + \beta_1 z(s)} \quad (\text{III.10})$$

Où $z(s)$ est une fonction connue, β_0 et β_1 sont des paramètres inconnus à estimer.

En présence de stress multiples combinés, $V(s)$ s'écrit :

$$V(s) = e^{\beta_0 + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k \beta_{ij} z_{ij}(s)} \quad (\text{III.11})$$

Dans le cas des stress à profil constants⁸, nous sommes en présence de cas particulier de modèles d'accélération :

- i- Modèle d'Arrhénius qu'est utilisé lorsque le mécanisme d'endommagement est sensible à la température :

$$V(s) = e^{\beta_0 + \beta_1 / s} \quad (\text{III.12})$$

Avec : $\beta_1 < 0$:

D'où :

$$V = A e^{\frac{-E_a}{kT}} \quad (\text{III.13})$$

$$FA = e^{\frac{E_a}{K} (\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2})} \quad (\text{III.14})$$

Avec :

- A est la constante propre à l'essai
- T est la température absolue en ° Kelvin (°K = °C + 273,15)
- E_a est l'énergie d'activation en eV (dépend du matériau et de ses mécanismes d'endommagement, varie entre 0,2 et 1,1 eV)
- K est la constante de Boltzmann (8,617385 10⁻⁵ eV/°K).

- ii- Modèle de puissance inverse qu'est utilisé lorsque le mécanisme d'endommagement est sensible au voltage ou bien à la charge thermique :

$$V(s) = e^{\beta_0 + \beta_1 \ln(s)} \quad (\text{III.15})$$

Avec $\beta_1 < 0$

$$V = \frac{A}{v^B} \quad (\text{III.16})$$

$$FA = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^B \quad (\text{III.17})$$

Avec : A et B sont des constantes propres à la défaillance et à l'essai

⁸ La durée de vie « nominale » est représentée par la moyenne.

v qui représente la valeur du stress.

iii- Modèle logarithmique qu'est utilisé pour les phénomènes de fatigue de composants électroniques :

$$V(s) = e^{\beta_0 + \beta_1 s} \quad (\text{III.18})$$

Avec $\beta_1 > 0$

$$V = A e^{\beta s} \quad (\text{III.19})$$

$$FA = e^{B(s_2 - s_1)} \quad (\text{III.20})$$

iv- Modèle d'Eyring qui intègre la contrainte thermique (T) avec d'autres contraintes ($s_1, s_2, \dots$) telles que la tension, le courant ou l'humidité.

$$V = AT^\alpha e^{\left(\frac{-B}{kT} + \left(C + \frac{D}{T}\right)s_1 + \left(C + \frac{D}{T}\right)s_2 + \dots\right)} \quad (\text{III.21})$$

v- Modèle de Peck qui combine les modèles de puissance et d'Arrhénius. Il est utilisé lorsque le mécanisme d'endommagement est sensible à la température et l'humidité.

$$V = AH^m e^{\frac{-E_a}{kT}} \quad (\text{III.22})$$

$$FA = \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^m e^{\frac{E_a}{K} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)} \quad (\text{III.23})$$

Avec : H est le niveau d'humidité et m une constante propre à la défaillance et à l'essai.

III.4- Conclusion

La présentation des différentes approches d'anticipation des risques en conception montre que la gestion des connaissances est le principal point commun de ces approches. En se basant sur ce constat, nous avons présenté dans la deuxième partie de ce chapitre une démarche d'anticipation du risque en conception basée sur la capitalisation des connaissances et qui s'articule autour de l'interaction entre le modèle DIC et méthodes supports.

Pour ce qu'est de ces méthodes, la présentation est axée essentiellement sur : la décomposition logico-fonctionnelle du système (analyse fonctionnelle), l'analyse par AMDEC complétée par AdD (analyse dysfonctionnelle pour la priorisation des risques) et les essais accélérés pour les risques priorisés qui permettent notamment de valider la durée de vie d'un système dans un temps d'essais relativement optimisé, en s'appuyant sur une interprétation statistique détaillée.

Afin de valider cette démarche, dans le chapitre suivant, nous appliquons l'ensemble de ces méthodes à un système photovoltaïque.

Chapitre IV

Application de la méthodologie proposée au système photovoltaïque

IV.1- Introduction

La nécessité de trouver une source d'énergie alternative est devenue une question cruciale de nos jours. Beaucoup de recherches scientifiques ont été menées, non seulement, dans le domaine de la production d'énergie nucléaire, mais également dans le secteur des sources d'énergie « illimitées » telle que la production d'électricité par le vent et la transformation d'énergie solaire. Dans ce dernier cas, la conception, l'optimisation et la réalisation des systèmes photovoltaïques sont des problèmes d'actualité pour une meilleure exploitation de l'énergie solaire. L'exploitation extérieure de ceux-ci regroupe une combinaison complexe de facteurs qui influencent directement ou indirectement sur le vieillissement de ce système comme par exemple : la chaleur, l'humidité, l'ensoleillement, le vent, la pluie, la neige ... etc.

Afin de mieux appréhender ces dégradations, des tests dits accélérés permettent de reproduire le vieillissement des panneaux photovoltaïques pour mesurer des comportements ou des indicateurs de performances de ce système.

L'objectif de ce dernier chapitre est l'évaluation de la fiabilité en tant qu'indicateur de performance grâce à ces essais accélérés dans le cadre de l'application de notre démarche d'anticipation des risques proposée dans le chapitre trois.

Notons que dans cette application, nous nous focalisons sur les méthodes et outils informatiques supports associés aux modèles DIC (cf. figure III.9).

IV.2- Description du système étudié

Le système retenu dans cette application est celui de pompage TSP de la gamme 2000 conçu pour fonctionner à partir de forages ou de puits, de façon entièrement autonome.

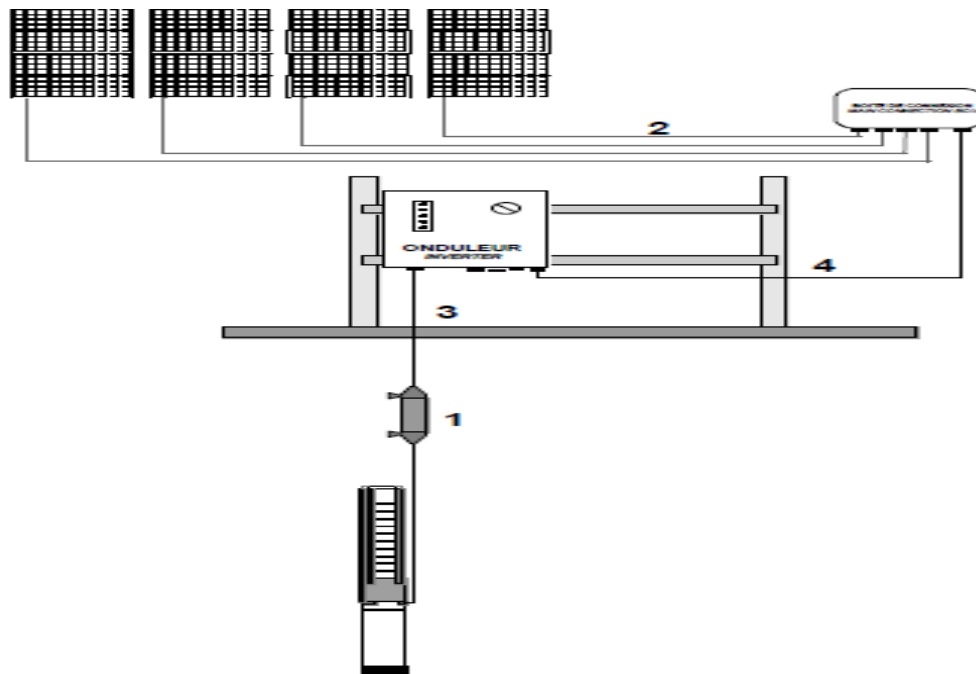


Figure IV.1: Schéma représentatif de système de pompage TSP gamme 2000.

L'avantage de ce type de systèmes est que leur fiabilité, leur entretien réduit et leur facilité d'installation les rendent tout à fait adaptés pour une utilisation en site isolé, notamment pour l'adduction en eau, les besoins domestiques et l'élevage.

Les systèmes TSP fonctionnent "au fil du soleil", c'est-à-dire sans stockage de l'énergie sur batterie : plus l'ensoleillement est important, plus le courant fourni est fort, et plus le débit d'eau est important.

IV.2.1- Générateur photovoltaïque¹

Le générateur photovoltaïque est composé de cellules photovoltaïques qui servent à convertir l'énergie lumineuse du soleil en énergie électrique. Ces cellules produisent de l'électricité du moment qu'elles sont exposées au rayonnement solaire et ne nécessitent pratiquement aucun entretien; elles ne polluent pas et ne produisent aucun bruit. Les

¹ Pour plus de détails concernant les caractéristiques des modules photovoltaïques, voire l'annexe A

cellules photovoltaïques sont donc la façon la plus sûre et la plus écologique de produire de l'énergie.

Les pompes TSP utilisent des séries de 8 modules multi-cristallins de type *PWX 500 (50 Watts Crête 12 Volts/ Multi-cristallin, série bi-verre/ Taille cellules : 101.25 x 101.25 mm)*, assemblés en panneaux de 4 et installés sur une structure de support entièrement réalisée en aluminium. L'inclinaison des panneaux est réglable de 10 à 60 degrés.

Les modules photovoltaïques convertissent directement le rayonnement solaire en courant continu. La puissance du générateur est calculée en fonction du débit d'eau demandé, de la hauteur manométrique de l'installation, et des caractéristiques géographique du site.

IV.2.2- Onduleur à fréquence variable (TSP2000)

Pour le bon fonctionnement au fil du soleil en assurant l'adaptation aux points de fonctionnement optimaux et utilisant des moteurs optimisés en rendement, cet onduleur s'adapte précisément aux systèmes de pompage photovoltaïques. Il délivre des signaux d'amplitude crête constante, mais de fréquence variable proportionnelle à la puissance délivrée par le générateur photovoltaïque. La tension crête des impulsions est fixée par le circuit de contrôle de l'onduleur. Ce dernier est de la marque « TOTAL ENERGIE » (dans notre système) qui convertit le courant continu généré par les modules en courant alternatif triphasé, de façon à alimenter le moteur de la pompe. Sa fréquence de fonctionnement, et donc la vitesse de rotation du moteur, varient avec l'ensoleillement. Ceci permet d'absorber instantanément toute la puissance fournie par le générateur photovoltaïque. L'onduleur impose aussi une tension de fonctionnement fixe sur le générateur qui correspond à son maximum de puissance. De même, il assure la protection contre des surintensités, des court-circuit, le dénoyage de la pompe et le trop-plein du réservoir (interrupteur à flotteur en option).

IV.2.3- Groupe électropompe

La pompe centrifuge² multicellulaire de 4", dont le type et le nombre d'étages sont déterminés par TOTAL ENERGIE en fonction des paramètres hydrauliques de l'installation (débit requis et hauteur de pompage). Elle nécessite une énergie mécanique en

² Le mouvement du liquide est rigoureusement normal à l'axe, car il pénètre au centre de la roue et est projeté vers l'extérieur par l'action combinée de la force centrifuge et des aubes du rotor. La volute du corps transforme la vitesse acquise par le liquide en pression.

entrée pour fonctionner. Cette énergie mécanique est fournie dans la plupart des cas par un moteur asynchrone triphasé.

Le moteur immergé 4" à courant alternatif (asynchrones) triphasé 80V, en acier inoxydable, alimenté par le générateur photovoltaïque au travers de l'onduleur est directement couplé à la pompe. L'avantage de ce type de moteur par rapport aux autres types de moteur³ est son entretien très réduit de fait de l'absence complète de pièces en frottement.

Le groupe motopompe est installé dans le forage puis connecté à l'onduleur.

IV.2.4- Les accessoires de système

A- Les câbles électriques et connexion

On doit se préoccuper du câblage afin d'assurer la cohérence de l'ensemble. Les chutes de tension dans les câbles peuvent être très pénalisantes. Il est important également de vérifier que les diamètres de câbles choisis sont compatibles avec les borniers des composants retenus : modules et régulateur surtout. Il arrive qu'ils n'acceptent pas la section de câble que l'on souhaite y mettre ; il faut alors une boîte de jonction intermédiaire ou un bornier supplémentaire pour y remédier.

B- les tuyauteries et les vannes

Afin d'assurer une bonne circulation d'eau dans le système, Il faut s'assurer d'un dimensionnement adapté de l'ensemble de système pour éviter les pertes et les sous pressions.

IV.3- Application des méthodes et outils supports du modèle DIC pour l'anticipation des risques en conception du système TSP 2000

Dans le cadre de l'application de notre démarche d'anticipation des risques en conception développée dans le chapitre précédent, nous allons capitaliser des connaissances sur le système de pompage photovoltaïque par l'application des méthodes et outils supports du modèle DIC présenté dans le chapitre trois.

³ Les moteurs à courant continu sans balais et à commutation électronique (Brushless permanent magnet DC motors).

IV.3.1- Analyse fonctionnelle par usage de la méthode de décomposition logico-temporelle du système

Dans une première partie nous allons décomposer notre système en sous-systèmes (figure IV.2) où chaque sous-système est scindé en équipements qui sont décomposés, à leurs tours, en composants (tableau IV.1).

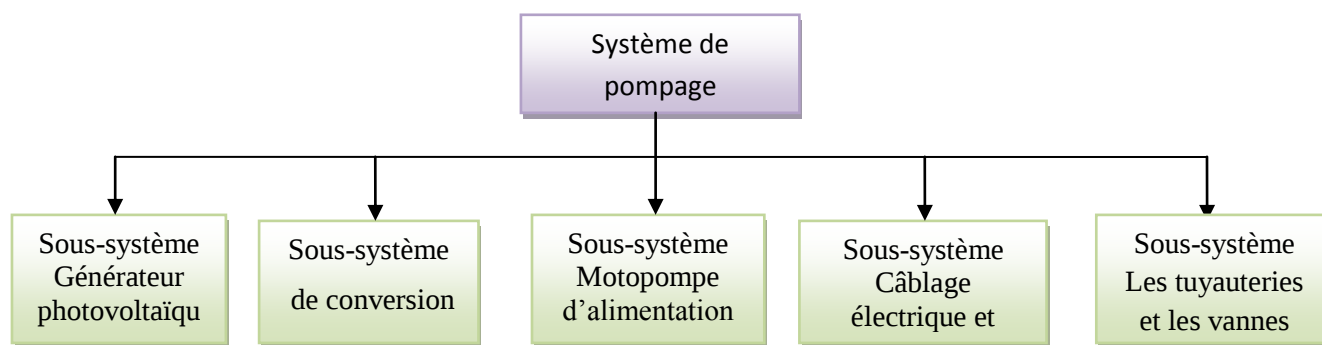


Figure IV.2 : Décomposition de système de pompage photovoltaïque en sous-systèmes.

Tableau IV.1 : Tableau d'analyse structuro- fonctionnelle.

Sous-système [Fonctions Principales]	Equipment [Fonctions Intermédiaires]	Composant [Fonctions Élémentaires]
Générateur photovoltaïque [Produire une puissance requise]	Modules photovoltaïques [Transformation de l'énergie rayonnante en énergie électrique (courant continu)]	Cellules photovoltaïques [Transformer l'énergie lumineuse en énergie électrique]
		Le verre [Transmission optique]
		L'EVA (Ethylene Vinly Acetate) [Transmission optique + Protection contre l'humidité]
		Le mylar [Isoler électriquement les connexions de sortie de la face arrière des cellules].
		Le tedlar [Assurer la protection de surface, résiste particulièrement bien aux agressions extérieures (UV, variations de température, atmosphères corrosives, ...)].
		Le cadre en aluminium [Résisté contre l'humidité ainsi qu'aux chocs mécaniques].
		Ruban de bus
		Boîte de jonction [assurer la connexion entre les différents composants + assurer la protection par diode de by-pass et diode anti-retour]
	Boîte de dérivation [Effectuer les connexions entre les modules pour]	Diodes schotcky séries [empêchent aux batteries de se décharger dans les panneaux.]
		Fusibles de protections [Empêcheront aux batteries de se décharger dans les modules en cas de

	obtenir une puissance optimale en sortie]	destruction des diodes antiparallèles]
		Diodes lumineuses [Contrôler individuellement chaque branche de modules]
		Une protection parafoudre (Transil ou VDR) [Protection contre les foudres].
Sous-système de conversion [Conversion du courant continu en courant alternatif]	Onduleur [Convertir le courant continu en courant alternatif + Protéger les circuits de distribution DC et les intervenants des risques électriques et atmosphériques + Transformer la basse tension en moyenne tension + Générer un courant alternatif de qualité]	Les commutateurs (transistor ou thyristor) [Hacher la tension continue d'entrée]
		Circuit génère des signaux triphasés en modulation de largeur d'impulsion (PWM) [le transfert optimal de puissance du générateur vers le group moto- pompe]
		Circuit d'alimentation [Sert à l'alimentation des différents circuits électroniques du convertisseur]
		Circuit de régulation et de protection [la régulation de la fréquence et la protection du groupe moto-pompe contre les surcharges et le manque d'eau]
Sous-système Motopompe d'alimentation [Transformer l'énergie électrique en énergie hydraulique afin d'alimenter le laboratoire en eau]	Moteur asynchrone [Transformation de l'énergie électrique (courant alternatif) en énergie mécanique]	Le stator/Inducteur [Le passage de courant dans les trois enroulements crée un champ magnétique tournant]
		Le rotor/Induit [Transmission de la puissance mécanique grâce au champ magnétique qui crée par le rotor]
	Pompe centrifuge [Conversion de l'énergie mécanique en énergie hydraulique]	Un distributeur fixe [Donne au fluide une vitesse et une direction convenables, et conduisant ce dernier depuis la section d'entrée de la machine jusqu'à l'entrée de la roue]
		Impulseur (rotor mobile) [Transformer l'énergie mécanique appliquée à l'arbre en énergie hydrodynamique (énergie de pression et énergie cinétique)].
		Un diffuseur fixe [Transforme l'énergie cinétique du fluide à la sortie de la roue en énergie de pression (énergie potentielle)].
Sous-système Câblage électrique et connexion [Raccorder les chaînes de	Câble DC [Transporter le courant continu entre les modules photovoltaïque et l'onduleur]	Matériau conducteur [Canalisation du flux électrique]
		Enveloppe isolante (Couche de polymère, plastique ou élastomère) [Isoler des contacts externes]
	Câble AC [Transporter le courant	Matériau conducteur [Canalisation du flux électrique]

panneaux entre elles + Protéger les chaînes de panneaux et les intervenants des risques électriques et atmosphériques + Assurer l'acheminement du courant produit vers les postes de conversion]	alternatif entre l'onduleur et le motopompe]	Enveloppe isolante (Couche de polymère, plastique ou élastomère) [Isoler des contacts externes]
Sous-système les tuyauteries et les vannes [Assurer la bonne circulation d'eau]	les tuyauteries [Canalisation d'eau]	
	les vannes [Canalisation d'eau]	

La décomposition du système étudié ainsi que sa description fonctionnelle nous permet d'effectuer aisément une analyse dysfonctionnelle de ce système notamment dans la formulation des modes de défaillances qui sont la formalisation inverse des fonctions déduites dans le tableau ci-dessus.

IV.3.2- Analyse dysfonctionnelle du système TSP 2000

Cette étude dysfonctionnelle s'effectue en deux temps :

- Une analyse préliminaire des risques par usage de la méthode AMDEC dans le but d'hierarchiser les risques en fonction de leurs criticités respectives.
- Une analyse détaillée des risques critiques considérés comme étant des évènements non souhaités. D'où le choix de la méthode Arbre de Défaillances qui a pour objet de déceler les causes qui sont à l'origine de l'occurrence de ces évènements.

A- AMDEC du système TSP 2000

Pour effectuer une analyse AMDEC du système étudié, nous avons retenu les échelles de cotation synthétisées par le tableau suivant (Laroude, 2011).

Tableau IV.2: Cotation pour l'étude AMDEC des systèmes photovoltaïques

	Echelle d'occurrence (O)	Echelle de gravité (G)	Echelle de non-détection (D)
1	Défaillance peu probable	Aucun influence- le client ne s'en aperçoit pas	Détection certaine de la défaillance lors des contrôles.
2	Défaillance très rare	Baisse de rendement- le client peut le voir	Probabilité forte de détecter la défaillance lors des contrôles.
3	Défaillance occasionnelle	Légère altération du système- le client se plaint	Probabilité modérée de détecter la défaillance lors des contrôles.
4	Défaillance répétitive	Arrêt du système- le client se plaint	Probabilité faible de détecter la défaillance lors des contrôles.
5	Défaillance inévitable	Mise en danger de la machine et de l'opérateur	Impossible de détecter la défaillance lors des contrôles.

En fonction des appréciations effectuées, les résultats de l'AMDEC sont regroupés dans le tableau IV.3.

Tableau IV.3 : AMDEC du système photovoltaïque étudié

EI^{ent}	Fonction	Modes de défaillances	Causes	Effets	O	G	D	C
Module PV	Transformer l'énergie solaire en énergie électrique	Le module PV ne délivre pas d'énergie électrique	Points chauds	Le système ne produit pas d'énergie électrique	3	4	3	36
			Défaillance de la boîte de jonction		3	3	4	36
			Vitrage cassée		2	4	2	16
			Défaillance de la diode by-pass du module		3	4	2	24
			Déamination		2	4	3	24
		Le module PV délivre une puissance dégradée inférieure à la puissance maximale	Cellules cassées/ micro cracks	Le système produit moins ou pas d'énergie électrique	4	2	3	24
			Défaillance de la soudure des rubans		3	3	4	36
			Interconnexions cassées		3	4	3	36
			Décoloration de l'encapsulant		4	4	3	48
			Corrosion		3	4	4	48
Câble DC	Transporter le courant continu des modules PV à l'onduleur	L'énergie électrique n'est pas transmise à l'onduleur	Câble coupé	Le système ne produit pas d'énergie électrique	2	4	1	8
			Fonte des câbles (UV, feu...)		2	4	2	16

		L'énergie électrique transmise à l'onduleur est inférieure à l'énergie fournie par les modules	Corrosion des connectiques	Le système produit moins ou pas d'énergie électrique	3	3	3	27
Onduleur	Transformer l'énergie électrique continue en énergie électrique alternative	L'onduleur ne délivre pas d'énergie électrique alternative	Défaillance de l'EEPROM	Le système ne produit pas d'énergie électrique	2	3	4	24
			Défaillance de la protection		2	3	4	24
			Dysfonctionnement de communication interne		3	2	3	18
			Erreur interne de communication		3	4	3	36
			Panne des relais de sortie		2	3	4	24
			Tension continu Du BUS trop élevé		2	3	4	24
			Echec de l'Autotest		3	3	4	36
			Défaillance du MPPT		3	3	4	36
Câble AC	Transporter le courant alternatif de l'onduleur à la Motopompe	L'énergie électrique n'est pas transmise à la motopompe	Fonte des câbles (UV, feu...)	Le système ne produit pas d'énergie électrique	2	4	1	8
			Fonte des câbles (UV, feu...)		1	4	2	8
		L'énergie électrique transmise à l'onduleur est inférieure à l'énergie fournie par l'onduleur	Corrosion des connectiques	Le système produit moins ou pas d'énergie électrique	2	3	3	18
Moteur asynchrone.	Actionner la pompe électrique	Pas de rotation	Manocontact défectueux	La pompe ne fonctionne pas	3	1	4	16
			Fusible du démarreur déclenché		4	1	4	16
			Pas d'alimentation électrique		2	1	4	8
			Manque de graissage		4	1	2	8

		Rotation inverse	Fluctuation de tension		2	2	4	16
			La gamme de pression de mancontact électrique est déréglée		4	1	4	16
			Erreur de câblage		2	2	4	16
		Usure de rotor/stator	Variation du jeu entre le rotor bobine et stator (calcaire causé par l'eau)	-Diminution d'énergie mécanique produit par le rotor. -Usure de stator/ rotor	2	4	3	24
		Court-circuit (Spire à spire et phase à phase au niveau de stator).	- Surchauffe excessive provoquée par une surcharge. - Défaut d'isolement	-Déséquilibre des courants de phases. -Fusion des conducteurs d'alimentation et/ou à la disjonction. -Echauffement de bobine	2	3	3	18
Pompe Centrifrique.	Produit de l'énergie mécanique.	Grippage	Calcaire causé par l'eau)	-Diminution de débit de refoulement. -Pas de débit.	3	3	2	12
		Fuite	La garniture d'étanchéité de la pompe électrique est usée.	Diminution de débit de refoulement.	4	2	4	32
			Joint de couvercle de la vanne endommagé	Diminution de débit de refoulement.	4	1	4	16
Vanne (manuel).	Réglage de débit.	Fuite	- Usure des joints - Corrosion	Perte d'eau	2	2	3	12
		Coincement dans la position d'ouverture ou fermeture	- Cisaillement - Corrosion - Perte d'élasticité du ressort	- Le coincement dans la position de fermeture conduit à suppression de tout le système. - Le coincement dans la position d'ouverture conduit perte d'eau.	2	4	3	24
Tuyauterie.	Assure la distribution (circuits d'eau)	Fuite	- Vieillessement - Corrosion - Suppression - Dimensions non adéquates - Mauvaise qualité de la tuyauterie	- Corrosion des composants. - Sous pression. - Perte de l'eau.	2	3	4	24

			- Dimensions non adéquates des accessoires de la tuyauterie (coude, écrou...) - choc mécanique					
		-Bouchée	- Eau non circulée. - Dimensions non adéquate de tuyauterie	- Corrosion des Composants. - Sous pression. - Perte de l'eau.	2	3	4	24

L'examen des résultats présentés dans le tableau IV.3, nous a permis de constater que le mode de défaillance le plus critique est « *le module PV délivre une puissance dégradée inférieure à la puissance maximale* »⁴ qui est principalement due à la décoloration de l'encapsulant et la corrosion, alors que le module photovoltaïque est le composant le plus critique dans le système photovoltaïque. Conséquemment, ce mode de défaillance du module photovoltaïque doit être étudiée de façon plus détaillée moyennant la méthode Arbre Des Défaillances (AdD) afin de déceler toutes la combinaison des causes qui sont à l'origine de la perte de puissance à une valeur inférieure à la puissance maximale et de sélectionner les paramètres influençant.

B- Arbre de Défaillances (AdD) du système TSP 2000

Comme mentionné ci-dessus, l'évènement non souhaité de l'AdD est le suivant : « Puissance délivrée inférieure à la valeur critique (à la puissance maximale) ». L'AdD relatif à cet ENS est celui représenté par la figure suivante.

⁴ Un onduleur ne fonctionne que lorsque qu'il reçoit, en entrée, une puissance comprise dans un intervalle défini par le constructeur, si la puissance en entrée est supérieure à la puissance maximale autorisée, le module ne transforme que l'électricité maximale qu'il peut produire. A l'inverse, dans le cas où la puissance en entrée est inférieure à la puissance minimale de l'intervalle de puissance d'entrée, l'onduleur se met en veille et ne produit pas d'électricité.

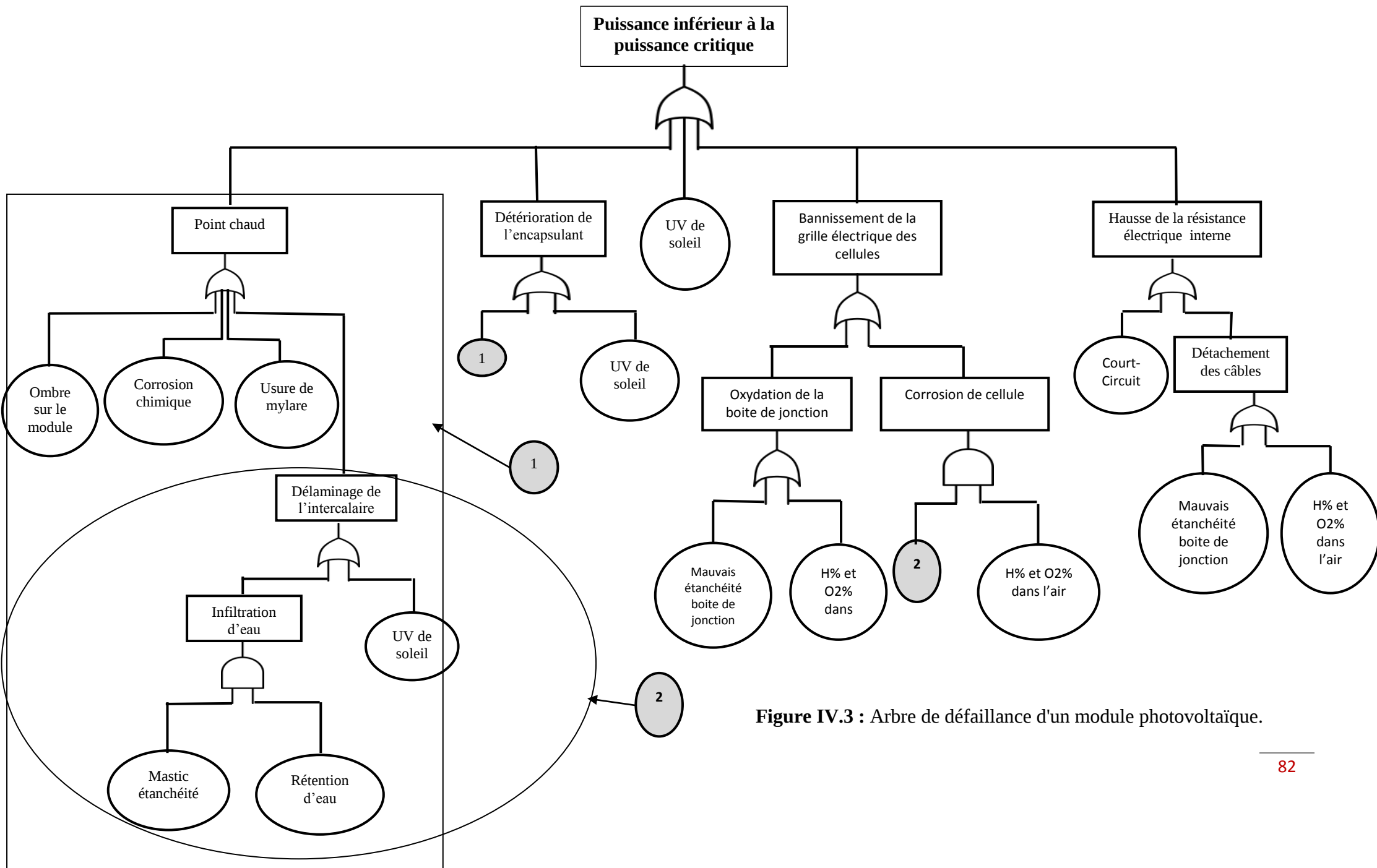


Figure IV.3 : Arbre de défaillance d'un module photovoltaïque.

L'examen de l'AdD de la page précédente montre que les principales causes de l'ENS sont : la corrosion, l'échauffement des composants et le point chaud au niveau de cellules. Ces dysfonctionnements sont principalement dus aux effets : de la température, de l'humidité et des radiations ultraviolettes sur le module photovoltaïque (voir l'annexe B).

Pour la réalisation des essais accélérés sur ces dysfonctionnements, il est impératif de connaître les modes de défaillances dominants ainsi que leurs paramètres influençant pour bien choisir le type des essais accélérés à réaliser.

Dans ce contexte, Wohlgemuth et Kurtz (2011) a synthétisé les modes de défaillances qui sont apparus en fonction du type d'essais accélérés réalisés lors de la qualification des produits selon les normes CEI 61215, CEI 61646 et CEI 61730. Le tableau IV.4 présente les essais accélérés avec les modes de défaillance qui engendrent une perte de production.

Tableau IV.4 : Mode de défaillance en fonction des essais accélérés.

<i>Essai accéléré</i>	<i>Mode de défaillance</i>
Essai de cycle thermique	Casse d'interconnexions Casse de cellules Défaillance de la soudure des rubans
Essai de chaleur humide	Corrosion Délamination Défaillance de la boîte de jonction
Essai humidité-gel	Délamination Défaillance de la boîte de jonction
Exposition UV	Délamination Décoloration de l'encapsulant
Essai de charge mécanique	Casse des interconnexions Casse des cellules Casse du vitrage Défaillance de la soudure des rubans
Essai diélectrique	Délamination
Essai de courant de fuite en milieu humide	Délamination
Tenue à l'échauffement localisé	Point chaud
Essai à la grêle	Casse des cellules Casse du vitrage
Essai thermique de la diode bypass	Défaillance de la diode bypass

La revue de la littérature (Gaiddon., 2010; Quintana & al. 2002; Realini, 2003; Vazquez & al, 2007; Wohlgemuth & al, 2005; Wohlgemuth & Kurtz., 2011) complétée par l'AMDEC du système photovoltaïque (section IV.3.1) et AdD (Section IV.3.2) nous a permis d'affirmer que les modes de défaillances prédominants engendrant une dégradation du module photovoltaïque sont : la corrosion et la décoloration de l'encapsulant.

Pour valider notre démarche et en se basant sur les analyses fonctionnelle et dysfonctionnelle complétées par le tableau IV.4, nous choisissons, donc, de mettre en œuvre l'essai de chaleur humide afin de reproduire la dégradation due principalement à la corrosion.

Un test de corrosion accélérée est généralement défini comme étant une méthode qui évalue la performance de métaux et de revêtements et dont les résultats sont obtenus après une période de temps plus courte qu'avec une exposition naturelle (Ouaziz, 2011).

IV.4- Estimation de la fiabilité du système étudié par Essais accélérés de dégradation

IV.4.1- Distribution de durées de vie

La loi de Weibull est la plus utilisée pour traduire la distribution des durées de vie (Boussaid, 2012). En effet, elle peut être utilisée aussi bien en électronique qu'en mécanique (Nelson., 1990). Elle caractérise le comportement du produit dans les trois phases de vie (Tebbi, 2005; Larounde, 2011) : période de jeunesse, période de vie utile et période d'usure ou vieillissement

Dans cette étude, nous considérons que la distribution des durées de vie des modules photovoltaïques est suivre une loi de Weibull (Guérin & al, 2003) dont la fonction de survie s'exprime :

$$R(t) = e^{-(t/\eta)^\beta} \quad (IV.1)$$

Avec : η le paramètre d'échelle et β le paramètre de forme de la loi de Weibull.

Cette fonction de survie correspond à la probabilité de survivre au moins un certain temps t à compter du début de l'utilisation du produit.

IV.4.2- Réalisation des essais accélérés

Trois essais accélérés ont été réalisés pour des couples de températures et d'humidités (100°C, 90% ; 120°C, 90% ; 120°C, 80%) afin de reproduire la dégradation due à la corrosion. Ces valeurs de température et d'humidité relatives ont été déterminées pour accélérer le plus possible la dégradation des modules photovoltaïques (l'accélération au maximum). Les valeurs en température sont limitées étant donné que les modules photovoltaïques ont une limite opérationnelle à 90°C et une limite de destruction à 120°C (Kern, 1999)⁵.

Par ailleurs et pour ce qu'est de la loi d'accélération, nous utilisons la loi de Peck (voir dernière partie du chapitre trois) parce que le mécanisme d'endommagement (la corrosion) est sensible à la température et à l'humidité (Voiculescu & al, 2009).

Le tableau IV.5 présente les temps de pseudo-défaillance⁶ (dégradation de 20% de la puissance maximal de module photovoltaïque - la valeur critique de dégradation) estimés lors d'essais ALT (*Acceleration Life Testing*) pour les trois couples en température et humidité relative réalisé par Larounde & al (2010).

Nous signalons que dans le contexte de notre étude, nous avons pris ces résultats parce que nous n'avons pas pu réaliser ce genre des essais pour causes de moyens plus particulièrement les laboratoires spécialisés pour ce type d'essais. Par contre, les résultats de ces essais ont été exploités sous forme de traitement statistique moyennant le logiciel Weibull++Version8 (tableau IV.5 et figure IV.4).

Tableau IV.5 : Résultats des essais accélérés de dégradation (Larounde & al, 2010)

I	Instant de défaillance (h) à 100°C et 90% HR	Instant de défaillance (h) à 120°C et 90% HR	Instant de défaillance (h) à 120°C et 80% HR
1	14360	10050	12560
2	20620	14430	18040
3	25190	17640	22040
4	29160	20410	25520
5	32890	23030	28780
6	36610	25630	32030

⁵ La limite opérationnelle qui, en cas de dépassement, engendre une altération du produit réversible si le niveau de sévrisation revient en dessous de ce seuil et d'autre part, La limite technologique qui, en cas de dépassement, engendre une défaillance irréversible du produit.

⁶ Lorsque la dégradation dépasse un seuil critique de dégradation, le produit est dit Pseudo-défaillant.

7	40510	28360	25450
8	44880	31410	39270
9	50270	35190	43980
10	58600	41020	51270

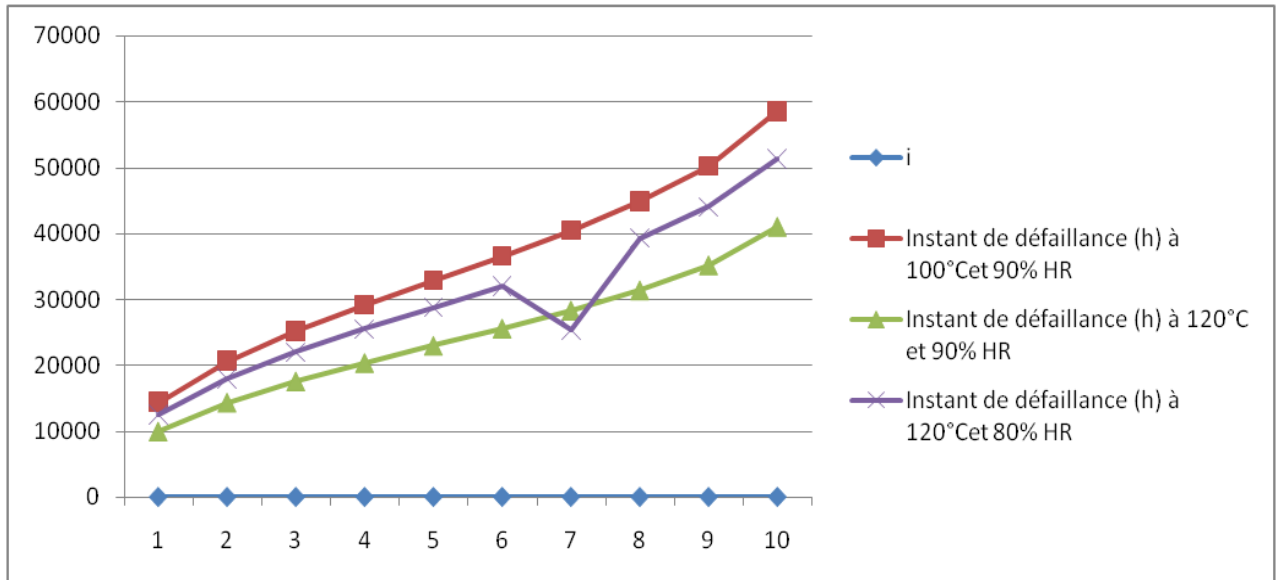


Figure IV.4 : Courbes des résultats

la figure suivante représente le graphe relatif aux heures de défaillances pour les trois couples des contraintes.

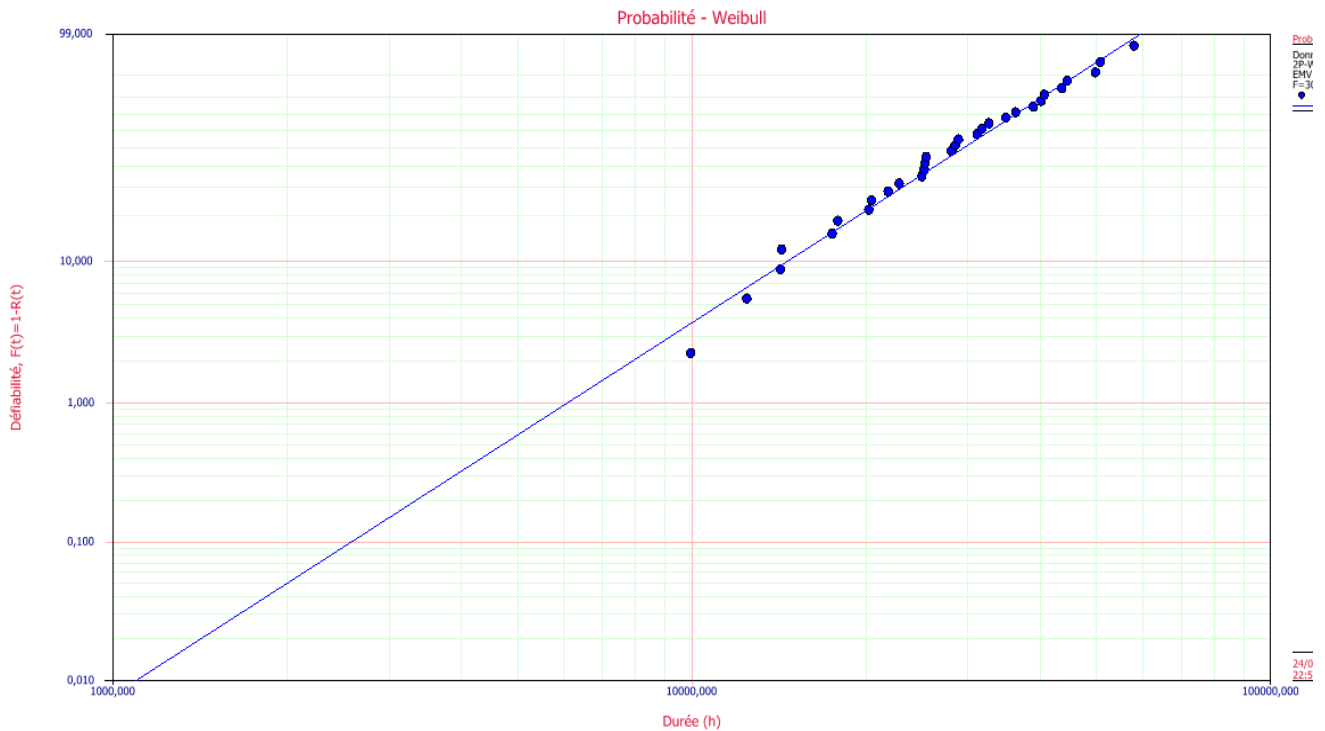


Figure IV.5 : Graphe représente les heures de défaillances pour les trois couples des contraintes.

À partir ce graphique nous avons remarqué que les instants de défaillance restent élevés presque sept ans.

Ces résultats servent comme support de base pour la détermination des paramètres de la loi d'accélération, objet de la section suivante.

IV.4.3- Détermination des paramètres de la loi d'accélération

La détermination des paramètres de loi d'accélération est précédée, logiquement, par la détermination de la valeur du facteur de forme β et la valeur du facteur d'échelle η de la distribution de durée de vie (loi de Weibull) pour chaque niveau sévéré à partir des résultats présenté dans le tableau IV.5. Pour cela, nous avons utilisé le logiciel Weibull++ Version8.

Les résultats obtenus sont fournis par le tableau suivant.

Tableau IV.6: Représentation des paramètres de la loi de Weibull pour les trios couples d'essais.

	Couple N° 01 100°C et 90% HR	Couple N° 02 120°C et 90% HR	Couple N° 03 120°C et 80% HR
Le paramètre de forme β	2,608399	2,608102	2,662937
Le facteur d'échelle $\eta(h)$	39990,17211	27994,28507	33709,7171

L'examen des résultats ci-dessus montrent que le paramètre de forme β (constant quel que soit le couple : T , HR) vaut 2,6. Ce résultat confirme celui présenté par le modèle de vie accélérée (dernière partie du chapitre trois, sections C.2) : « *Le stress ne change que l'échelle de la courbe de fiabilité* ». (Les interfaces représentées les étapes de calcul par Weibull++ sont mentionné en annexe C)

Pour le paramètre d'échelle, ses valeurs pour les trois couples sont les suivantes :

- η (100°C/90%HR) = 39990,17211 h
- η (120°C/90%HR) = 27994,28507 h
- η (120°C/80%HR) = 33709,7171h.

(IV.2)

Rappelons que modèle de Peck définit la durée de vie τ d'un module photovoltaïque en fonction de la température T et l'humidité relative HR . Cette durée de vie est exprimée par (Nelson, 1990) :

$$\tau = e^{\gamma_0 + \gamma_1 \ln(HR) + \gamma_2/T} \quad (IV.3)$$

Cette durée de vie τ coïncide avec le paramètre d'échelle η de la distribution de Weibull (Rémi & al, 2010) $\eta = \tau$ (si l'on veut *in fine* considérer l'influence de la température et de l'humidité sur la fonction de survie des modules).

Ceci nous permet de compléter la seconde étape relative à la déduction des paramètres du modèle de Peck γ_0 , γ_1 et γ_2 qui sont déterminés par le biais d'essais accélérés à trois niveaux du couple (T, HR) :

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_1 = \eta_1 = e^{\gamma_0 + \gamma_1 \ln HR_1 + \gamma_2/T_1} \\ \tau_2 = \eta_2 = e^{\gamma_0 + \gamma_1 \ln HR_2 + \gamma_2/T_2} \\ \tau_3 = \eta_3 = e^{\gamma_0 + \gamma_1 \ln HR_3 + \gamma_2/T_3} \end{array} \right. \quad (IV.4)$$

A partir de ce système d'équations et en se référant aux résultats du tableau IV.6, nous obtenons :

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma_0 = 3,42242 \\ \gamma_1 = -1,57735 \\ \gamma_2 = 2613,90175 \end{array} \right. \quad (IV.5)$$

IV.4.4- Estimation de la fiabilité dans les conditions nominales d'utilisation

Finalement, les différents paramètres de la loi de Peck permettent de calculer la durée de vie moyenne du module photovoltaïque par la relation (IV.3) sous les conditions nominales de température et d'humidité qui sont pour la ville de Batna : la température maximale est de 38.4°C et l'Humidité Relative Moyenne en (%) (Année 2009) est de 59.7 % (Site officiel de wilaya de Batna, 2009).

L'usage de l'équation (IV.3) nous permet de déduire la durée de vie moyenne estimée (MTTF) qu'est de l'ordre de 34,88855 ans.

L'ensemble des paramètres de l'équation (IV.1) étant déterminés à partir des essais accélérés, il est possible maintenant de déterminer la fiabilité des modules photovoltaïques sous conditions nominales de température et d'humidité relative.

Compte tenu des formulations des paramètres de la loi de Weibull, la relation (IV.1) devient alors :

$$R(t) = \exp \left\{ - \left(t \exp \{ \gamma_0 + \gamma_1 \ln(HR) + \gamma_2/T \} \right)^\beta \right\} \quad (IV.6)$$

Cette dernière expression de la fiabilité nous permet d'obtenir le résultat numérique suivant :

- $R(20 \text{ ans}) = 79,03014\%$
- $R(25 \text{ ans}) = 65,67713\%$.

IV.5- Discussions des résultats

Généralement, les fabricants des modules photovoltaïques offrent une garantie de 20 ou 25 ans de la puissance de leurs modules photovoltaïques : selon le constructeur, la puissance délivrée par les modules photovoltaïques doit être supérieure à 80% de la puissance initiale au bout de 20 ou 25 ans (Boussaid, 2012; Larounde, 2011; Doumane, 2011).

En effet, les modules photovoltaïques utilisés dans le système de pompage photovoltaïque retenu dans cette étude et qu'est du type *PWX 500* a une garantie de 25 ans (voir le catalogue des modules en annexe A). De plus, la comparaison de cette donnée avec les résultats obtenus dans la (section IV.4.4) montre que les résultats que nous avons trouvés ($MTTF = 34,88855 \text{ ans}$ et la fiabilité à 25 ans est de $R(25 \text{ ans}) = 65,67713\%$) sont pas proches. La différence de ces résultats avec ceux fournis par le concepteur s'explique par deux faits marquants : un fait technique où les incertitudes dus à la faible taille d'échantillon simulé, un fait économique où chaque fabricant décide du risque qu'il prend pour un retour sous garantie des modules. Ce qui explique le caractère pessimiste des concepteurs comparativement aux résultats que nous avons obtenus.

Conséquemment, le recours aux essais accélérés de dégradation est nécessaire pour affiner la démarche d'anticipation des risques proposée dans le chapitre trois du présent mémoire. Mieux encore, ces essais accélérés permettent d'obtenir une meilleure estimation de la

courbe de fiabilité et de la durée de vie ce qui permet aux concepteurs de mieux estimer la fiabilité du produit à longue durée de vie afin de réduire les coûts (engager les modifications à un stade précoce) et la délais (réduire le cycle de conception de produit en utilisant ces résultats comme des connaissances) et augmenter la qualité des produits (améliorer la performance des produit → connaissance d'action évoquée dans le chapitre deux du présent mémoire).

Notons enfin que dans l'estimation de la fiabilité du module photovoltaïque, la variation de la température et de l'humidité relative ont une grande influence sur cette fiabilité (cf. Equation IV.6). Toutes fois, il est important de signaler que ces résultats sont relatifs à la taille d'échantillon réduit qu'est de taille égale à 10.

IV.6- Conclusion

Dans ce dernier chapitre, l'intérêt s'est porté sur l'usage des méthodes et logiciel supports à notre démarche d'anticipation des risques que nous avons appliqués sur un système photovoltaïque.

Dans ce contexte, nous avons effectué, dans un premier temps, une description fonctionnelle du système retenu qu'est suivi, dans un second temps, par deux analyses dysfonctionnelles : une analyse préliminaire par AMDEC qui a pour but de retenir l'élément du système le plus critique qui serve comme support de base pour une analyse plus détaillée moyennant l'arbre de défaillances.

Cette analyse dysfonctionnelle a mis en évidence l'élément le plus critique du système qu'est le « Le module photovoltaïque ».

Enfin, cet élément a fait l'objet d'essais accélérés où nous avons choisi la corrosion comme un mode de dégradation le plus probable à entrainer la réalisation de l'événement redouté qui est due principalement à la température et l'humidité relative. Lors de ces essais accélérés, les niveaux de stress subis par le produit sont augmentés au maximum pour obtenir de manière rapide les données de vie. Enfin, le traitement statistique moyennant le logiciel Weibull++, version 8 nous a permis d'estimer dans les conditions normales d'utilisation la fiabilité du module photovoltaïque qui corresponde à celle fournie par le concepteur.

Conclusion générale

La problématique de la fiabilité en conception reste toujours très complexe à traiter, cela est dû au manque de données disponibles à ce stade du développement et à l'imprécision des variables et paramètres de conception. Afin d'approcher cette problématique, une démarche de prise en compte de la fiabilité en conception qui cadre l'anticipation des défaillances a fait l'objet du présent mémoire de magister.

Dans une première partie de notre travail, une revue bibliographique nous a permis de présenter les fondements théoriques de notre champ de recherche « l'activité de conception » où nous avons constaté que cette activité correspond à une transformation de flux d'informations relatives à la fois à la connaissance du produit et au processus représentant l'évolution de cette connaissance. Cette dernière a fait l'objet d'exploration dans le deuxième chapitre axé sur la création de la connaissance et sa capitalisation moyennant des modèles spécifiques tel est le cas du modèle DIC que nous avons retenu dans la suite de notre étude.

Le choix de ce modèle est initié par les multiples avantages qu'il offre notamment l'intégration des acteurs de la capitalisation de la connaissance et leur mobilisation pour la mise en œuvre de la connaissance d'action.

Les interactions entre les pôles du modèle DIC et les méthodes et outils supports qui lui sont associés ont fait l'objet d'une présentation dans le chapitre trois qu'est réservé à la présentation d'une démarche d'anticipation des risques en conception que nous avons préconisé et dans laquelle le modèle DIC occupe une place de choix.

Enfin, le chapitre quatre est dédié à l'application de cette démarche sur un système photovoltaïque où l'intérêt s'est porté exclusivement aux méthodes et outils supports du modèle DIC qui constitue l'ossature de base pour la démarche d'anticipation des risques en conception.

A ce propos et pour ce qu'est des méthodes supports, nous avons déployé de manière séquentielle : une méthode fonctionnelle permettant la description du système retenu suivi

d'une analyse préliminaire du système (par la méthode AMDEC) complétée par une analyse détaillée (par la méthode AdD). Ce séquençement de méthodes est capital pour notre étude car il nous permet de mieux introduire la méthode des essais accélérés que nous avons utilisé et qu'est complétée par un traitement statistique moyennant l'usage d'un logiciel professionnel (Weibull++).

La connaissance acquise à partir de ces essais est capitale car elle permet de consolider les données fournies par le concepteur en termes de durée de vie utile du module photovoltaïque du système étudié.

Le travail développé dans le cadre de ce mémoire est très bénéfique pour nous car il nous a permis de pratiquer autant de méthodes de sûreté de fonctionnement dans le cadre de la démarche d'anticipation des risques de conception. Ce séquençement de méthodes nous a permis de confirmer la nécessité de parcourir le modèle DIC de *manière itérative* ($D \rightarrow I \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow I \rightarrow \dots$) et continue jusqu'à l'obtention d'une connaissance d'action (estimation de la fiabilité prévisionnelle du module photovoltaïque).

Conséquemment, nous projetons comme une perspective de notre travail l'élaboration d'un réseau DIC pour la capitalisation de la connaissance relative à la conception de produits. Dans le cadre de cette perspective, nous envisageons également de prendre en compte d'autres paramètres comme les radiations UV pour réduire le temps des essais.

Références bibliographiques

A

- Abdullah M S., Benest I., Evans A. & Kimble C., 2002, « *Knowledge Modelling Techniques for Developing Knowledge Management Systems* », 3rd European conference on Knowledge Management, Dublin, Ireland.
- Alcouffe C. & Corrége N., 2004, « *Structures de gouvernance dans l'entreprise étendue : l'exemple d'Airbus* », Rapport technique 393, Lihre-Unité mixte de recherche CNRS/UT1.
- Amara L., 2013, « *Modélisation et simulation numérique des écoulements transitoires en charge par la méthode des volumes finis* ». Mémoire de magister soutenu à l'université de Biskra, Algérie.

B

- Bagdonavicius V., Gerville-Réache L., Nikoulina N. & Nikulin M., 2000, « *Expériences accélérées : analyse statistique du modèle standard accéléré* », Revue de statistique appliquée, tome 48, n°3 (2000) page 5-38
- Bagdonavicius V. & Nikulin M., 1995a, « *Semi-parametrics Models in Accelerated Life Testing* », Queen's University.
- Bagdonavicius V. & Nikulin M., 1995b, « *On accelerated testing of systems* ». European Journal of Diagnosis and Safety in Automation, vol. 5 n°3:307–316.
- Bahmed L., Boukhalfa A. & Djebabra M., 2005, « *Eco-conception in the Industrial Firms : Methodological Proposition* », Journal Management of Environmental Quality : An International Journal, Emerald Group Publishing, may 2005, Issue 5, Volume 16, pp. 530-547.
- Bahmed L., 2006, « *Contribution aux approches d'intégration des concepts Qualité, Sécurité et Environnement dans la conception des produits en Algérie* », Thèse doctorat à l'Université El Hadj Lakhdar- Batna, Algérie.
- Bender S., 2000, « *the transfer of knowledge and the retention of expertise: the continuing need for global assignments* ». Journal of Knowledge, Vol 4, N°2, pp125-137
- Benoist D., & Tourbier Y., 1994, « *Plans d'expériences : construction et analyse* ». Edition Technique & Documentation – Lavoisier, Paris.
- Bertanes D. & Said A., 2006, « *Intelligence économique et management des connaissance deux facettes complémentaires d'une même problématique* ». Colloque en route vers Lisbonne, France.
- Bertini M T., 1986, « *la normalisation du logiciel* », Gd. MC. Graw-Hill, Paris.
- Bonnardel N., 1992, « *Le rôle de l'évaluation dans les activités de conception* », Thèse de Doctorat en Psychologie Cognitive, Université d'Aix en Provence, Aix en Provence.
- Boubaker L., 2012, « *Contribution à l'intégration d'une politique environnementale dans les activités des entreprises algériennes en vue d'une amélioration de leurs performances environnementales* », Thèse de doctorat à l'Université Hadj-Lakhdar,

Batna.

Bouleau N., 1986, « *Probabilités de l'ingénieur* », Edition Hermann.

Boussaid M., 2012, « *Modélisation des phénomènes de vieillissement des modules Photovoltaïques* », Thèse de magister à l'Université Abou-Bakr Belkaïd–Tlemcen.

Bouzaïne L., Bocquet J-C., Peres F., Billy F., Haïk P., & Lannoy A., 2005, « *Mécanismes et outils pour une approche d'anticipation des défaillances potentielles dues au vieillissement d'un système ou d'un composant* ». Séminaire Qualita, Bordeaux-France.

Brown D., Chandrasekaran B., 1995, « *Expert system for a class of mechanical design activity* ».

Bureau Expertise et Conseil CYTHELIA:

URL : <http://www.cythelia.fr> Conseil et formation en énergie photovoltaïque.

Butel-Bellini B. & Janin M., 1999, « *Eco-conception : état de l'art des outils disponibles* » techniques de l'Ingénieur, Traité Environnement G6010, Paris, France.

C

Cab Innovation, 2003, « *TP SdF n° 21 : les essais accélérés* », Page consulté le 15/06/2014. Disponible à l'adresse URL : <http://cabinnovation.drupalgardens.com/sites/cabinnovation.drupalgardens.com/files/fichiers/TP%2021.pdf>

Campagne J-P. & Sénéchal O., 2002, « *Les nouvelles exigences de coopération* », dans *Coopération et connaissance dans les systèmes industriels. Une approche interdisciplinaire* », coordonnée par R. Soënen et J. Perrin.

CET., 2005, « *le management de la fiabilité dans les projets : un enjeu stratégique, préface de guy planchette président de l'IMDR SDF* », ISBN 2-85400-655-0.

Chandrasekaran B., 1990, « *Design problem solving: a task analysis* ». In *Artificial Intelligence Magazine*, volume 11, pages 59–71.

Chapouille P., 1998, « *Maintenabilité- Maintenance* », Techniques de l'Ingénieur, Traité l'Entreprise Industrielle T4300, Paris, France.

Cloarec J M. & Riout J., 2000. Tutoriel de la colloque $\lambda\mu 12$, Montpellier, 2000.

Cortes R., Negny S. & LeLann J M., 2004, « *Knowledge Management and TRIZ: A Model for Knowledge Capitalization and Innovation* », the European TRIZ Association world Conference: TRIZ Future 2004, Florence, It.

D

Darses F. & Falzon P., 1996, « *La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive* », dans « *Coopération et Conception* », G. de Terssac, E. Friedberg (Eds.), Toulouse, Octarès.

Daskoo, 2007, « *Stratégie, pilotage et système d'information* », Dernière version du 17.05.2007 12h51, visite le 15/04/2014, Disponible à l'adresse URL: <http://www.daskoo.org/247-strategie-pilotage-et-systeme-d-information.cours>

Davenport T., 1998, « *How organizations manage what they know* », Harvard Business Scholl Press.

- Dépardeux L., 2004, « *Simulation numérique du soudage : Acier 316L. Validation sur cas-test de complexité croissante* ». Thèse de doctorat soutenue à l'Institut National de Lyon – France.
- DesJardin L., 1996, « *A day in the life of mechatronic engineers 10 years from now* », In SAE International Congress and Exposition, number SAE96C038, Detroit/Michigan, USA.
- Djebabra M., & Saadi S., 1999a, « *Méthodologie d'étude de sûreté de fonctionnement des systèmes : analyse fonctionnelle* ». *Phoebus la revue de la sûreté de fonctionnement*. N°10 pp. 27-34.
- Djebabra M., & Saadi S., 1999b, « *Méthodologie d'étude de sûreté de fonctionnement des systèmes : analyse des défaillances* ». *Phoebus la revue de la sûreté de fonctionnement*. N°12 (1999), pp. 24-32.
- Doumane., R, 2011, « *Modélisation du vieillissement d'un module photovoltaïque* », Thèse de magister soutenue à l'Université de M'hamed GOUGARA, Boumerdes.

E

- ESQSE, 2014, ESQSE Conseil & Formation, *L'AMDEC*. Page consulté le 15/04/2014.
 Disponible à l'adresse URL:
http://esqse.fr/WP_FR/actualites-esqse-developpement-durable/lamdec-analyse-des-modes-de-defaillance-de-leurs-effets-et-de-leur-criticite-61

F

- Farge M., & Colonna J-F., 1986, « *L'expérimentation numérique par ordinateur* », La Recherche, n° 187. pp. 444-457
- Ferrari T., Galley P. & Souris G., 2000, « *Validation produit* », *Phoebus : la revue de la Sûreté de Fonctionnement*.
- Fichett J., 1999, « *Managing your organization's key asset: knowledge*. In Heath», forum Journal.A. A. Meeting.Atlanta.

G

- Gaiddon B., 2010, « *Installations photovoltaïques - Sécurité électrique et durée de vie* ». Sep. 2010.
- Garon M., 1999, « *Une expérience de conception coopérative et simultanée via l'outil informatique: Le jeu des Cmaoistes* », mémoire d'ingénieur CNAM, Nancy.
- Gautier R., 2005, « *Qualité en conception de produits nouveaux : "Proposition d'une méthode de fiabilisation du processus de management de l'information"* », thèse de Doctorat à Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Centre de Paris, France.
- Gero J., 1989, « *A locus for knowledge-based systems in caad education* », In CAAD futures Digital Proceedings, pages 49–60.
- Gero J S., 2001, « *Mass customisation of creative designs* », International Conference on Engineering Design ICED'01, Glasgow.
- Gerondeau C. & Lefranc J., 1998, « *Une méthodologie de la sécurité du produit* » Techniques de l'Ingénieur, Traité l'Entreprise industrielle T3210, Paris, France.

- Gidel T., Gautier R. & Christofol H., 2000, « *La maîtrise du risque dans les projets innovants par la conduite effective du processus décisionnel* », Actes du 12ième colloque National de Sûreté de fonctionnement, p 481- 489, Montpellier, mars 2000.
- Girard P., 2001, « *Analyse des décisions en conception* », Techniques de l'Ingénieur, traité L'entreprise industrielle AG 2 220.
- Grundstein M., 2000, « *Repérer et mettre en valeur les connaissances cruciales pour l'entreprise* », Actes du 10ème Congrès International de l'AFAV, Paris, novembre, 2000.
- Grundstein M., 2002, « *De la capitalisation des connaissances au renforcement des compétences dans l'entreprise étendue. Actes du 1 er colloque du groupe de travail gestion des compétences et des connaissances en génie industriel : vers l'articulation entre compétences et connaissances* ». 12-13 décembre, Nantes, France, en ligne, <http://michel.grundstein.pagesperso-orange.fr/News/GCCGINantes0212v2.PDF> (consulté le 28 Juillet 2011)
- Grundstein M., 2003, « *De la Capitalisation des Connaissances au Management des Connaissances dans l'Entreprise, les Fondamentaux du Knowledge Management* », 2003, dans le site web www.mgconseil.fr
- Guerin F., Dumon B. & Hambli R., 2001a, « *Determining the shape parameter of a Weibull distribution from mechanical damage models*», In *IEEE International Conference on Reliability and Maintainability*, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- Guérin F., Lantieri P., & Dumon B., 2003, « *Applying accelerated life models to halt testing*», 9th ISSAT International Conference on Reliability and Quality Design.

H

- Hoang P., 2003, « *Handbook of reliability engineering*». Editions springer.

I

- IEC 60300-3-4, 2007, « *Dependability management- Part 3-4: Application guide- Guide to the specification of dependability requirements*», International Standard, International Electrotechnical Commission, IEC, Geneva, 2007.
- INERIS, 2002, *Guide de management SSE. Annexe 1: Méthodologie d'identification des risques pour la SST*, Date de dernière mise à jour : Décembre 2011. Consulté le 20 avril 2014. Disponible à l'adresse URL:
http://www.ineris.fr/guide-sse/guide/fiches/fiche_2/Fiche_02_a1.htm
- ISO 9000:2000. 2000, « *Quality management systems-fundamentals and vocabulary* », Organisation Internationale de Normalisation (ISO), Geneva, 2000.

J

- Jo H; Parsaei R. & Sullivan G., 1993, « *Principles of concurrent engineering* ». Chapman and Hall, London

K

- Kemmouche L., 2002, « *Modèle de fonctionnement d'une station solaire photovoltaïque, en Prévision de panne* », Mémoire de magistère, Université de Constantine.

Kern G., 1999, SunSine™300: *Manufacture of an AC Photovoltaic Module*; Final Report Phases I & II, NREL.

Kota S & Ward A., 1991, « *Functions structures and constraints in conceptual design.* », Ward, A.C, University of Michigan.

L

Lalanne C., 1999, « *Dommage par fatigue - tome 4* ». Hermes Science Publications.

Lang S Y T., Dickinson J. & Buchal R O., 2002, « *Cognitive factors in distributed design* », computers in Industries, Vol. 48, n°1, pp. 89-98.

Laronde R., 2011, « *Fiabilité et durabilité d'un système complexe dédié aux énergies Renouvelables Application à un système photovoltaïque* », thèse de doctorat, Université d'Angers.

Laronde R., Charki A., & Bigaud. D., 2010, « *Life-time estimation of a photovoltaic module submitted to stochastic conditions*», ALT'2010.

Legardeur J., Merlo C., Franchistéguy I. & Bareigts C., 2003, « *Coordination et coopération dans les processus de conception* », Colloque AIP Priméca, La Plagne.

Lewis E., 1994, « *Introduction to reliability engineering*», John Wiley & son.

Lonny A & Procaccia H., 2006, « *Evaluation de la fiabilité prévisionnelle : outil Décisionnel pour la conception et le cycle de vie d'un bien industriel* », Lavoisier, 2006, paris. France.

Louis-Sidney L., 2011, « *Modèles et outils de capitalisation des connaissances en conception : contribution au management et à l'ingénierie des connaissances chez Renault – DCT* », Thèse de doctorat à l'Ecole Centrale Paris, France.

LUXOL photovoltaïque, 2014, « *L'énergie photovoltaïque* », consulté le 15/07/2015, disponible à l'adresse URL:
<http://www.luxol.fr/projet-toiture-solaire/14-effet-photovoltaïque.html>

M

Marsot J., 2002, « *Conception et ergonomie : Méthodes et outils pour intégrer l'ergonomie dans le cycle de conception des outils à mains* », notice scientifique et technique n°219, département ingénierie des équipements de travail, centre lorraine de l'INERIS, Vandoeuvre.

Meeker W-Q., Escobar L-A., 1993, « *A review of recent research and current issues in accelerated testing*». International statistical review, vol 61, n°1: 147-168

Menand S., 2002, « *Modélisation pour la réutilisation du processus de conception multi acteurs de produits industriels application a la conception fonctionnelle des systèmes de direction automobile* », Thèse de doctorat à l'Institut National Polytechnique de Grenoble.

Mihalache A.G., 2007, « *Modélisation et évaluation de la fiabilité des systèmes mécatroniques : application sur système embarqué* », Thèse de doctorat à l'école doctorale d'ANGERS.

Mikchevitch A., 2004, « *Méthodologie de simulation d'assemblage ou désassemblage de*

composants flexibles : Application à la simulation de pièces de type « poutres flexibles » dans un environnement de réalité virtuelle ». Thèse de doctorat, INPG, Grenoble France.

Mohammadi B., & Saiac J-H., 2003, « *Pratique de la simulation numérique* », Collection Technique et Ingénierie, Dunod /Industries et Technologie. France.

Monticolo D., 2008, « *Une approche organisationnelle pour la conception d'un système de gestion des connaissances fondé sur le paradigme agent* », Thèse de doctorat à : l'Université de Technologie de Belfort Montbéliard & l'Université de Franche Comté, France.

N

Nelson W., 1990, « *Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans and Data Analysis* ». Ed, Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics.

Nikulin M., Gerville-Réache L. & Coualier V., 2007, « Statistique des essais accéléré », Broché.

Nonaka I. & Takeuchi H., 1997, « *La connaissance créatrice. La dynamique de l'entreprise apprenante* », traduit par De Boeck Université.

O

Ouakki W., 2011, « *Prise en compte de la fiabilité en conception* », thèse pour un grade de Maîtrises sciences (M.Se.).

Ouaziz G., 2011, « *Test accéléré de corrosion alternatif au brouillard salin selon la norme astm b117* », Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de maîtrise des sciences appliquées (génie métallurgique) à Université de Montréal.

Ozouf V., 2009, « *Concevoir sûr de fonctionnement* », Thèse de Doctorat d'État soutenue à l'Université Chambéry de Savoie, France.

P

Pagès, A. & Gondran, M. 1980, « *Fiabilité des systèmes* », Eyrolles, Paris.

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote K. 2007, « *Engineering design: a systematic approach* ». Springer, 3th edition.

Phadke, M. S., 1999, « *Quality engineering using robust design* ». Ed Prentice- Hall.

Pillet E., 2008, « *Méthodologie d'aide à la décision en conception robuste* », Thèse de Doctorat d'État soutenue à l'UFR des sciences et techniques de l'Université de France-Comté, France.

Polanyi M., 1966, « *The Tacit Dimension* », Routledge & Kegan Paul Ltd, London.

Prax J-Y., 2007, « *Le manuel du Knowledge management* ». POLIA Editions Dunod.

Preseir J L., 2003, « *Construction des plans d'expériences réduits par la méthode Taguchi* », Science de l'Ingénieur.

URL: http://www.si.ens-cachan.fr/accueil_V2.php?page=affiche_ressource&id=53

Q

Quintana M, King D, McMahon T et Osterwald C, “*Commonly observed degradation in field-aged photovoltaic modules*”. Proc. 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pp. 1436–1439, 2002

R

Realini A., 2003, « *Mean Time before Failure of Photovoltaic modules Final Report, 1982-2003 (MTBF Project)* », Tech. Rep. BBW 99.0579, Federal Office for Education and Science, 2003.

S

Saadi S., 1997, « *Méthodologie d'intervention pour l'étude de la sûreté de fonctionnement des ouvrages d'épuration et de la sécurité de l'environnement* ». Mémoire de Magister soutenu à l'Institut IUH&S de l'Université de Batna, Algérie.

Salamone T., 1995, « *What Every Engineer Should Know about Concurrent Engineering*». M. Dekker, New York.

Scaravetti D., 2004 « *Formalisation préalable d'un problème de conception pour l'aide à la décision en conception préliminaire* ». Thèse de doctorat, ENSAM, Bordeaux France.

Sellini F., 1999, « *Contribution à la représentation et à la vérification des modèles de connaissances en ingénierie d'ensembles mécaniques* », Thèse Ecole Centrale de Paris, France, 1999.

Serrafero P., Gomes S., Bonnivard D. & Jézéquel L., 2006, « *De la mémoire projet à la compétence métier : vers la synthèse de connaissances métier en ingénierie robuste des produits/process* », Conférence Internationale IDMME.

Site officiel de wilaya de Batna, 2009, le climat, consulté le 10/07/2015, disponible à l'adresse URL:

<http://www.wilaya-batna.gov.dz/fr/content/le-climat>.

Stapelberg F., 2009, « *Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and Safety in Engineering Design*», limited. Springer, London.

Stienstra D., 2014, « *Introduction to design for assembly and manufacturing*».

URL: <http://me.gatech.edu/files/capstone/L071ME4182DFA>

Syan C S. & Menon U., 1994, « *Concurrent engineering: concepts, implementation and practice* ». Chapman & Hall, London.

T

Tarondeau J C., 1993, « *Stratégie Industrielle* », Vuibert, Paris, 1993

Tebbi O., 2005, « *Estimation des lois de fiabilité en mécanique par les essais accélérés* ». Thèse de doctorat soutenue à l'Université d'Angers – France.

Tichkiewitch S., Tiger H. & Jeantet A., 1993, « *Ingénierie simultanée dans la conception de produits* », Université d'été Pôle Productique Rhône Alpes sur la modélisation en entreprise, Modane, France, 1993.

- Tounkara T., 2002, « *Gestion des connaissances et Veille : vers un guide méthodologique pour améliorer la collecte d'informations* », Thèse de doctorat à l'Université Paris IX.
- Tsuchiya S., 1993, « *Improving Knowledge Creation Ability through Organizational Learning* », ISMICK'93 Proceedings, International Symposium on the Management of Industrial and Corporate Knowledge, UTC, Compiègne.

V

- Varret. A., 2012, « *De la conception collaborative à l'ingénierie performante de produits optimisés à base de connaissances métier* », Thèse de doctorat à Université de Technologie de Belfort Montbéliard – UTBM.
- Vázquez M., Algora C., Rey-Stolle I., & Gonzalez J., 2007, « *III-V concentrator solar cell reliability prediction based on quantitative LED reliability data* », Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol. 15, No. 6, pp. 477, 491.
- Villemeur A., 1988, « *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels : fiabilité, facteurs humains, informatisation* ». Eyrolles, Paris.
- Voiculescu S., Guérin F., Barreau M., & Charki A., 2009, « *Bayesian estimation in accelerated life testing* ». International journal of product development 7 (3-4), pp 246-260.

W

- Wohlgemuth J., Cunningham D., Nguyen A M., & Miller J., 2005, « *Long Term Reliability of PV Modules* », Proc. 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, pp. 1942{1946, Barcelona, Spain.
- Wohlgemuth J., & Kurtz S., 2011, « *Reliability testing beyond qualification as a key component in photovoltaic's progress toward grid parity* ». Proc. IEEE International Reliability Physics Symposium, Monterey, CA, USA, April 10-14,

Z

- Zarour L., 2005, « *Etude et simulation d'un système de pompage photovoltaïque, optimisation de la conversion d'énergie* », Mémoire de magister en électrotechnique, Université Mentouri de Constantine.
- Zerhouni F., & al. 2000, « *Approche dans la modélisation d'un générateur photovoltaïque* », ICEL, 13-15 Novembre, U.S.T. Oran, Algérie.
- Zwingmann X., 2005, « *Modèle d'évaluation de la fiabilité et de la maintenabilité au stade de la conception* », Thèse de doctorat, Université LAVAL, QUÉBEC.

Annexe A

Catalogue de module photovoltaïque

TOTAL ENERGIE

Modules photovoltaïques

PWX 500

Module photovoltaïque
50 Watts Crête 12 Volts,
Multicristalin, série bi-verre
Taille cellules : 101,25 x 101,25 mm

Le module PWX 500 utilise la technologie des cellules multicristallines. L'encapsulation des cellules entre deux plaques de verre trempé à haut coefficient de transmission lumineuse garantit l'excellente solidité et fiabilité du module. La technologie d'utilisation d'un verre en face arrière (bi-verre) assure un comportement optimal à celui-ci dans les conditions climatologiques extrêmes (température, humidité) auxquelles il peut être soumis. Le bi-verre bénéficie donc de garanties de l'excellent comportement mécanique et d'isolement électrique du verre à la fois à l'avant et à l'arrière du module. De plus le verre assure une dissipation thermique maximum. Le cadre auto-porteur en aluminium anodisé a été étudié pour permettre une facilité de fixation tant par l'avant que par l'arrière.

Module		PWX 500	
Code TE : 10000		M	XL
Encapsulation		Verre / Verre	
Taille des cellules	mm	101,25 x 101,25	
Nombre de cellules	pcs	36 / 4 x 9	
Puissance maximale ⁽¹⁾	Wc	47,5	57
Tension nominale	V	12	
Tension à puissance max.	V	17,00	17,30
Intensité à puissance max.	A	2,80	3,10
Tension de circuit ouvert	V	21,60	22,00
Intensité de court-circuit	A	3,10	3,35
Connexion		Boîte de jonction	
Tension fonct. maxi. par syst.	V	600	
Diodes de protection		2 by-pass en option	
Poids net	kg	9,2	
Temp. utilisation et stockage	°C	- 40 / + 85	
Humidité relative		0 à 100%	
Garantie	Ans	25*	

(*) 10 ans en environnement marin et tropical selon spécifications @ STC: Sinus 1.000W/m², AM 1,5, Cell T 25°C
⁽¹⁾ Wc (Watt crête) = Puissance utile
 (Pc minimum = 42,1, 47,5, 52,1 Watts)
 *Batteries : Module certifié ISO 91215

APPLICATIONS :

- Télécommunication
- Protection cathodique
- Pompage
- Signalisation
- Electrification rurale
- Résidences privées

TOTAL ENERGIE
 12 - 14 allée du levant
 69690 LA TOUR DE SALVAGNY (France)

Tel : 33 (0) 4 78 48 88 50
 Fax : 33 (0) 4 78 19 44 83
 Web : www.total-energie.com
 Email : total-energie@total-energie.fr

Figure A.1 : catalogue de module photovoltaïque

Annexe B

Généralité sur les systèmes photovoltaïques

B.1- Concepts de base : (LUXOL photovoltaïque, 2014)

B.1.1- Définition de l'effet photovoltaïque

Le terme « photovoltaïque » est composé du mot de grec ancien « photos » (lumière) et du nom du physicien italien Alessandro Volta, inventeur de la pile électrique, qui donna son nom au Volt (unité de mesure de la tension électrique).

L'effet photovoltaïque désigne la capacité qu'ont certains matériaux, tels que le silicium, à convertir l'énergie contenue dans le rayonnement solaire en électricité. Cet effet a été découvert en 1839 par le français Alexandre Edmond Becquerel.

B.1.2- Energie photovoltaïque : la technique

Une cellule photovoltaïque génère de l'électricité lorsqu'elle est exposée à la lumière. L'électricité produite est fonction de l'intensité de l'éclairement. La cellule photovoltaïque produit un courant continu. Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium.

Les cellules sont souvent réunies dans des modules solaires photovoltaïques ou panneaux solaires.

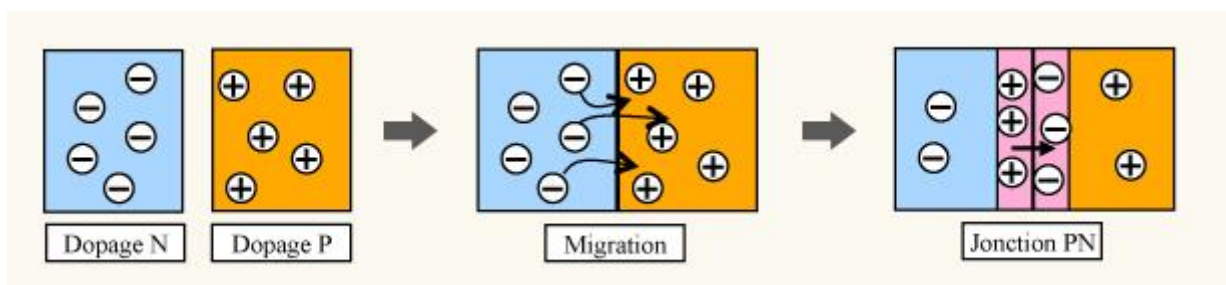


Figure B.1 : Le cœur d'une cellule photovoltaïque est constitué d'une jonction P-N

Une jonction P-N résulte de la mise en contact de deux matériaux semi-conducteurs, l'un dopé N dans lequel les électrons sont excédentaires, l'autre dopé P où les trous sont excédentaires.

À l'interface entre le matériau dopé N et le matériau dopé P, il y a migration d'une partie des électrons excédentaires de la zone N vers la zone P.

La recombinaison locale des charges entraîne la formation d'une différence de potentiel au niveau de l'interface qui bloque la suite du phénomène de migration des électrons. Une jonction P-N a été réalisée.

B.1.3- L'effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés semi-conducteurs qui produisent de l'électricité lorsqu'ils sont exposés à la lumière.

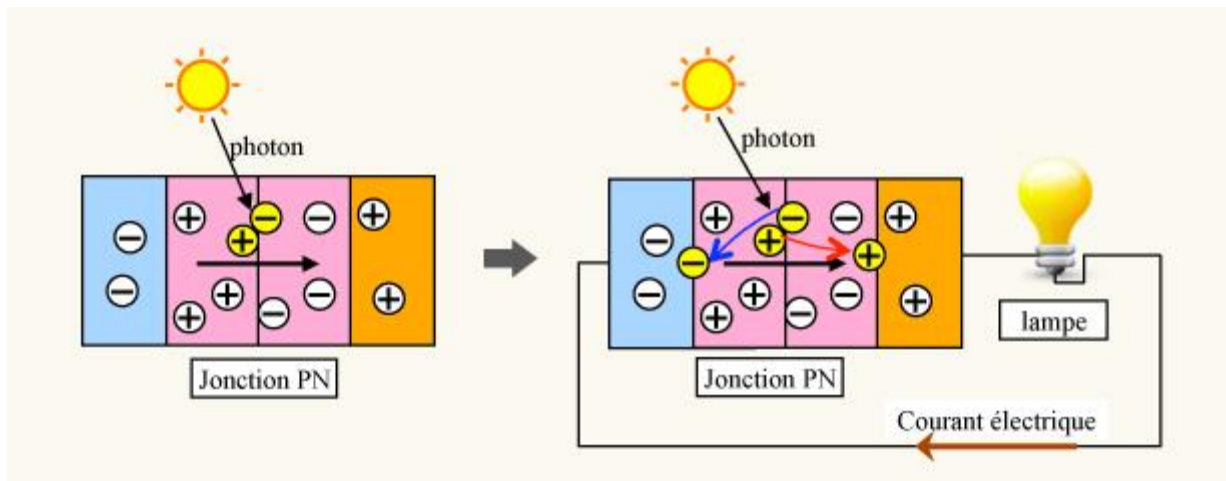


Figure B.2 : Description de l'effet photovoltaïque.

L'absorption d'un photon (grain de lumière) dans le matériau semi-conducteur entraîne la formation d'une paire électron-trou.

L'électron et le trou sont séparés sous l'effet de la différence de potentiel dans la jonction. Si on ferme le circuit par une charge (ampoule, etc...), un courant électrique circule.

La tension électrique fournie par une cellule en silicium cristallin est de l'ordre de 0,5 Volts. Pour obtenir des tensions plus élevées, on dispose plusieurs cellules en série.

B.2- Facteurs influençant le fonctionnement d'une cellule Photovoltaïque

Nous voulons dans ce paragraphe étudier l'influence de certains paramètres météorologiques (la température de l'atmosphère, le pourcentage de l'humidité, l'irradiation solaire, ..) sur les performances d'un module PV (les caractéristiques électriques, la puissance nominale, le rendement, ...).

B.2.1- Influence de la température

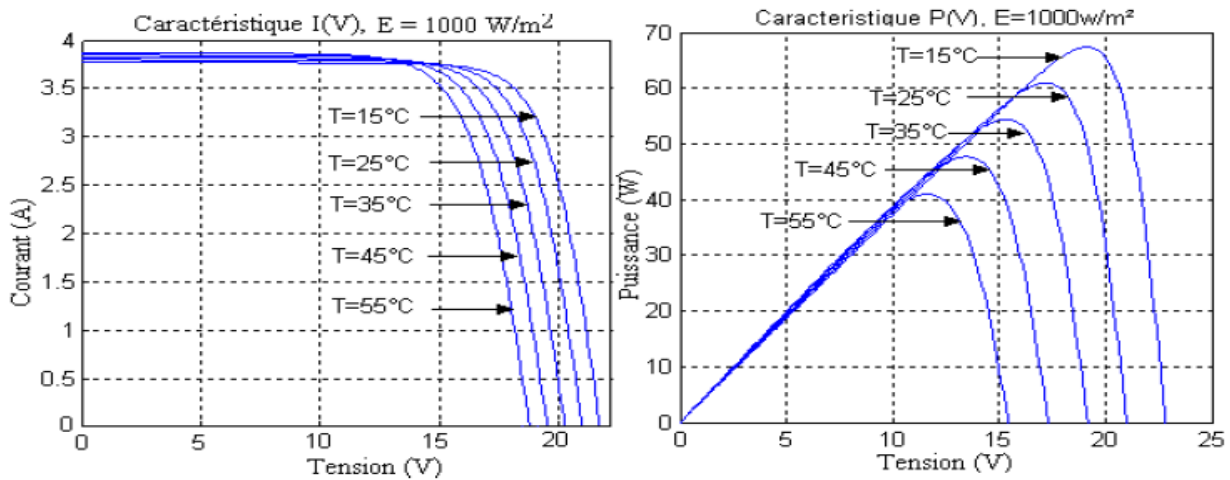


Figure B.3 : Influence de la température sur la caractéristique $I(V)$ et $P(V)$ pour une irradiation solaire de $1000W/m^2$

La température est un paramètre très important dans le fonctionnement des cellules photovoltaïques parce que les propriétés électriques d'un semi-conducteur sont très sensibles à la température. La figure (A.3) représente la caractéristique I-V et P-V d'un module (PV) solaire en fonction de la température, sous un éclairage constant (Kemouche, 2005). la caractéristique I-V en fonction de la température montre qu'elle ne se varie que légèrement quand la température se varie, ce que veut dire que la température a un effet en longue durée de fonctionnement.

B.2.2- Influence de l'ensoleillement ou irradiation

D'après la figure (A.4) les caractéristiques d'une cellule photovoltaïque changent avec l'éclairement pour une température donnée. Quand l'ensoleillement augmente, l'intensité du courant photovoltaïque se croît. Les courbes I-V se décalent vers les valeurs croissantes permettant au module de produire une puissance électrique plus importante ce qu'implique que les irradiations solaires n'ont pas des effets négatifs (Zerhouni, 2000). Pratiquement, les irradiations énergétiques (électron, neutron, rayon cosmique...) sont les seuls responsables de la dégradation.

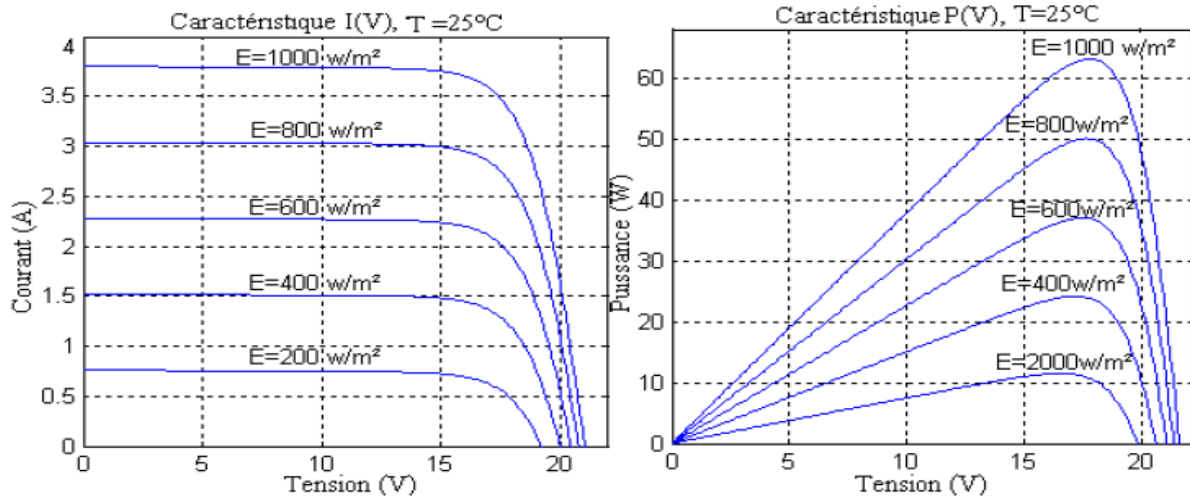


Figure B.4 : Caractéristique $I(V)$ et $P(V)$ d'un module pour différentes irradiation solaire à 25°C.

B.2.3- Effet de l'humidité :

Des couches de Si d'un substrat dopé (n+), sont exposées à des variations d'humidité (de 0 à 80%). Sur la figure (A.5) sont représentées la variation de masse et de la résistance de la couche absorbant de l'humidité (Zarour, 2005). Nous observons la croissance rapide de la résistance quand l'humidité augmente, ce qui implique la décroissance de la puissance maximal dans les caractéristiques des modules PV.

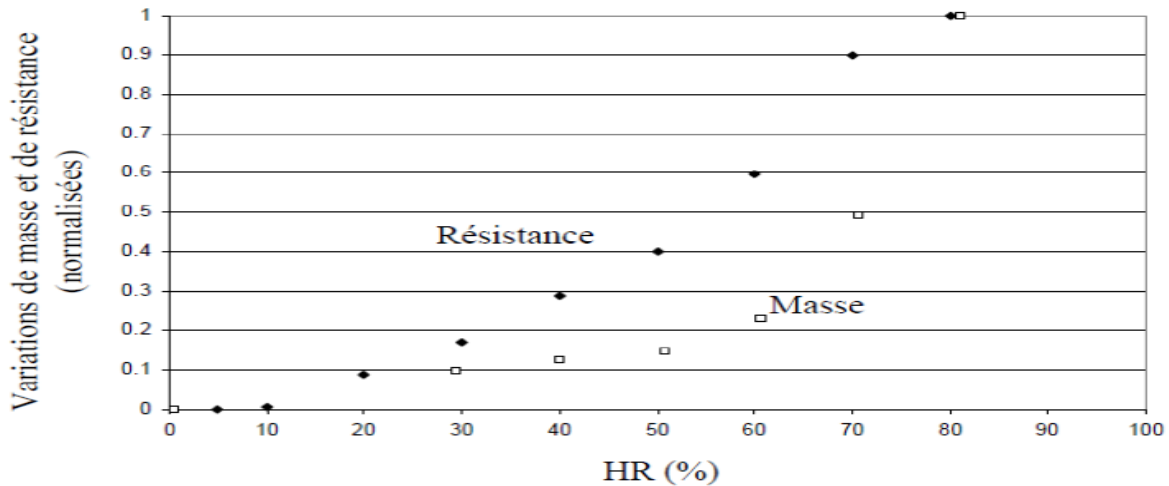


Figure B.5 : Variation de résistance des couches de si exposé à des variations d'humidité.

B.3-La dégradation dans le temps : (Doumane, 2011).

Le phénomène de vieillissement se produit pour des systèmes hors équilibre qui évoluent au cours du temps pour atteindre leurs états d'équilibre, plus stables. Le

vieillissement se caractérise par un ralentissement de la dynamique interne du système au cours du temps.

Il est possible d'avoir une idée de l'évolution des matériaux constituant les modules photovoltaïque (PV) à l'aide des tests de vieillissement accélérés dont certaines permettent de certifier les panneaux PV. Des lois de comportement pour différents facteurs peuvent être établies.

Le vieillissement des modules photovoltaïques par différentes dégradations. Ces dégradations touchent les différentes parties constitutives d'un panneau PV illustrées figure A.6. Ces différentes parties sont : le verre, les matériaux d'encapsulation (EVA, thermoplastique), la cellule en silicium, les matériaux réflecteurs à l'arrière de la cellule (aluminium et Tedlar par exemple), les collecteurs de charges et la feuille en polymère résistant à l'arrière. Notons également la présence de colle.

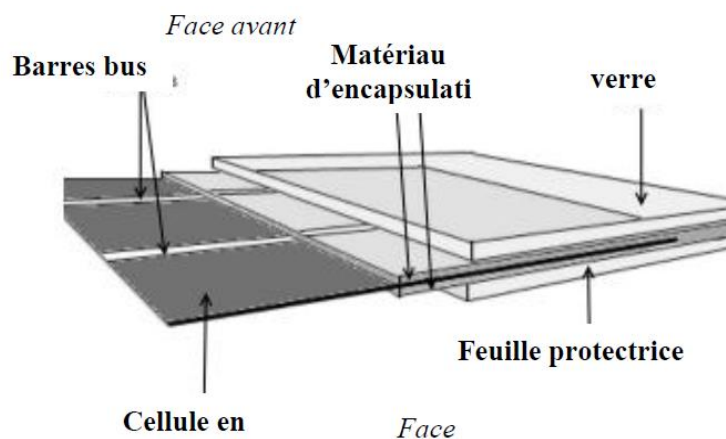


Figure B.6 : les différentes parties d'un module photovoltaïque soumis aux dégradations.

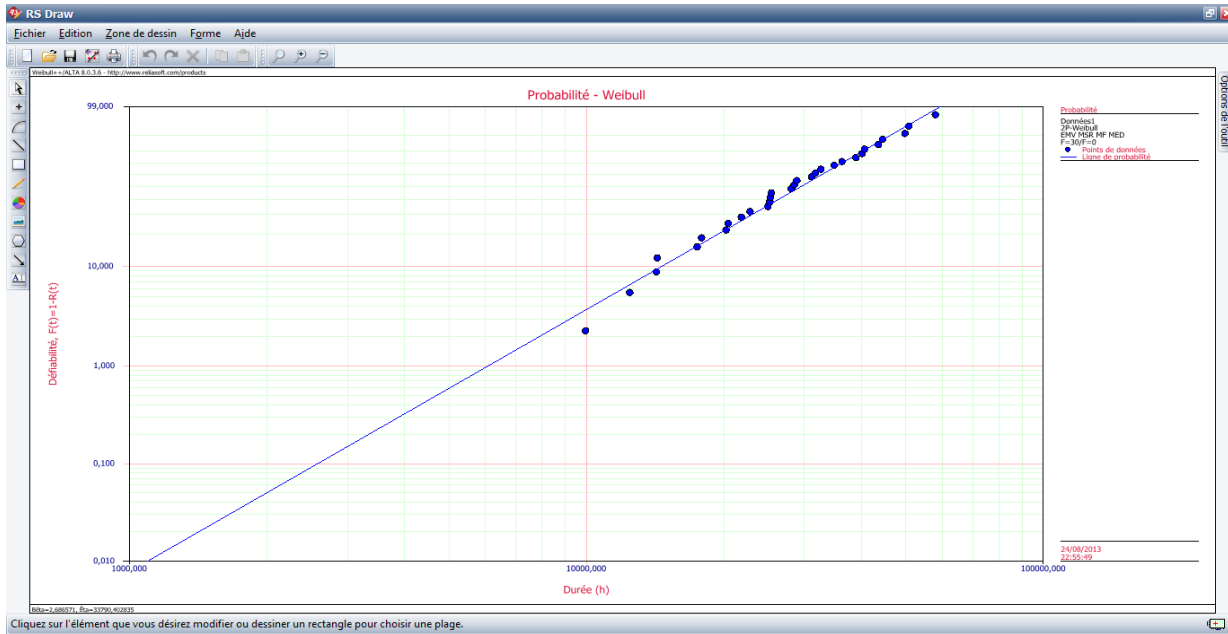
Ces dégradations sont dues à différents facteurs :

- *L'absorption* d'humidité conduit à un obscurcissement du verre dans sa partie inférieure en contact avec le matériau d'encapsulation ;
- *Le brunissement* du matériau d'encapsulation qui apparaît avec le temps. Il est favorisé par l'absorption de la chaleur. Celle-ci devient d'autant plus importante que l'absorptivité du matériau dans le domaine spectral du bleu devient grande avec le brunissement. Cet échauffement peut engendrer d'autres dégradations comme l'apparition de bulles ou des décollements car les forces d'adhésion entre les différentes parties collées (verre-cellule-face arrière) deviennent moins importantes :

- *La corrosion* due à la présence d'agents oxydants comme le dioxygène, l'humidité ou encore les acides présents dans l'atmosphère. Les connecteurs métalliques sont particulièrement vulnérables à la corrosion ;
- *L'ombrage* apparait lorsqu'il y a de la corrosion au niveau du matériau d'encapsulation entraînant la présence de points chauds qui peuvent favoriser l'apparition de bulles ou des décollements ;
- *La dissolution de la colle* surtout au niveau de l'électrode arrière.

Figure C.2 : Interface graphique de logiciel ; paramètres spécifiques

- Le graphe représente les heures de défaillances pour les trois couples des contraintes.

**Figure C.3 : Interface graphique de logiciel ; les heures de défaillances pour les trois couples des contraintes.**

2. La deuxième étape consiste à calculer la fiabilité pour chaque couple (T, HR) :

Cliquez Sélectionner Tous les ID> pour appliquer le processus Batch Auto Run aux trois ID de sous-ensemble de l'ensemble de données. La fenêtre affichera les données suivantes.

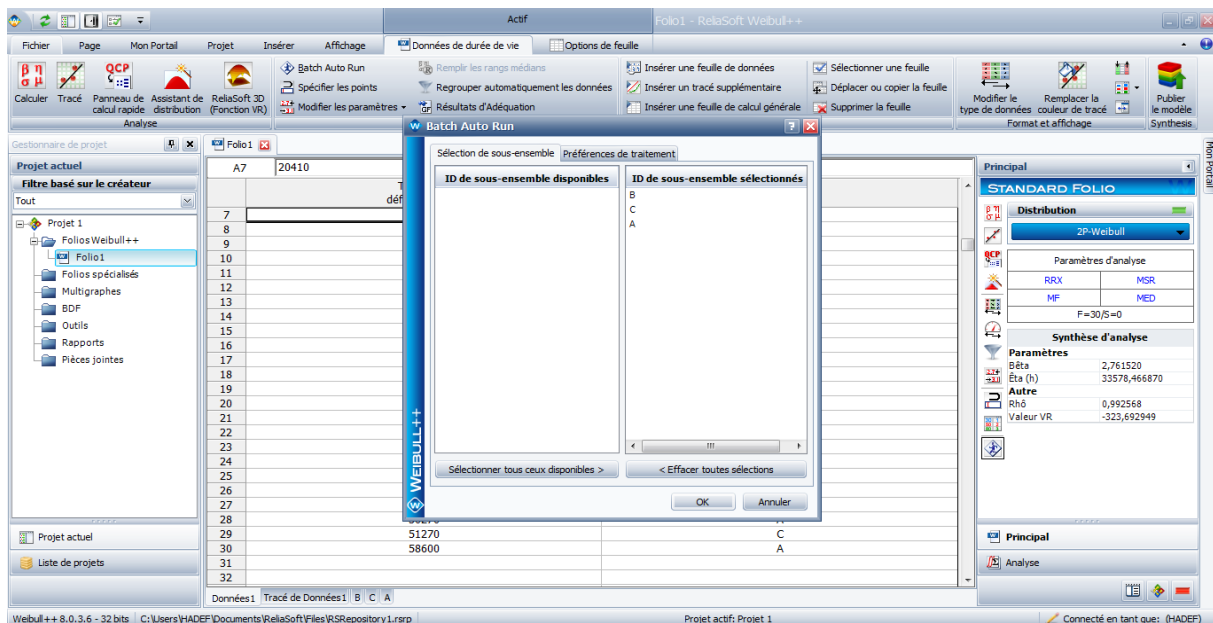


Figure C.4 : Interface graphique de logiciel ; calcul de la fiabilité pour chaque couple (T, HR)

Cliquez sur l'onglet **Configurer les actions de traitement** pour afficher/paramétrer les options de calcul et de noms de feuilles. Pour cette étude, seule l'option de **Calculer les Paramètres pour les Sous-ensembles Sélectionnés** doit être sélectionnée, comme indiqué ci-dessous. Cette option indique que les paramètres seront calculés automatiquement pour chaque ensemble de données extraits.

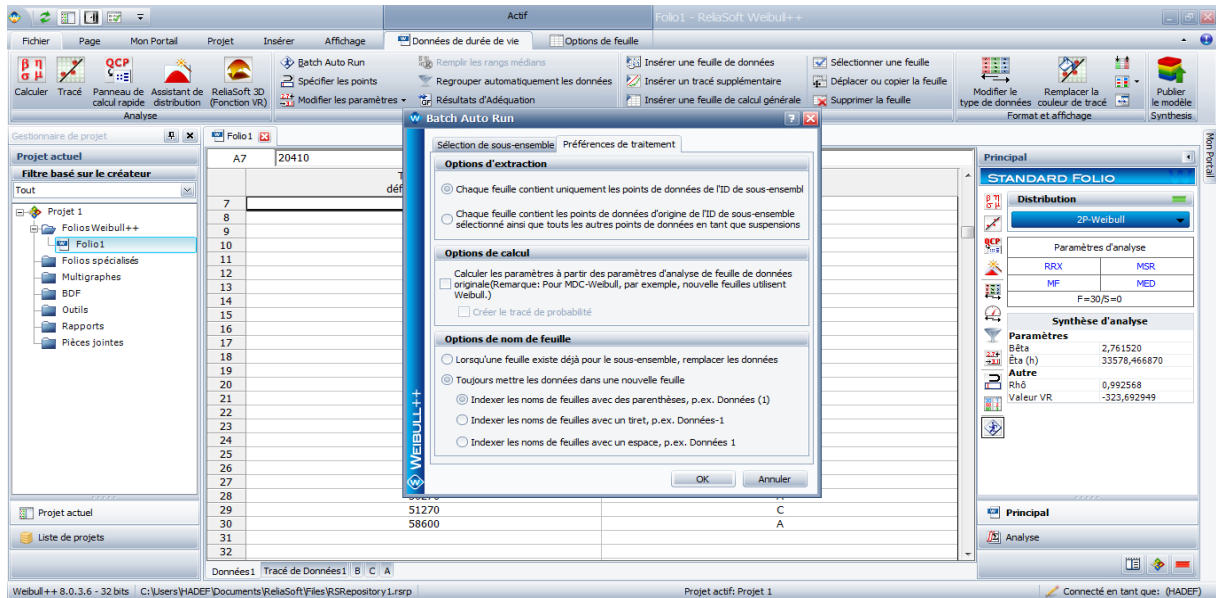


Figure C.5 : Interface graphique de logiciel ; Configuration des actions de traitement

- Cliquez **OK** pour lancer le processus Batch Auto Run.
- Lorsque le processus est terminé, le Folio contiendra les données suivantes.

❖ **Couple N° 01 (100°Cet 90% HR) : A**

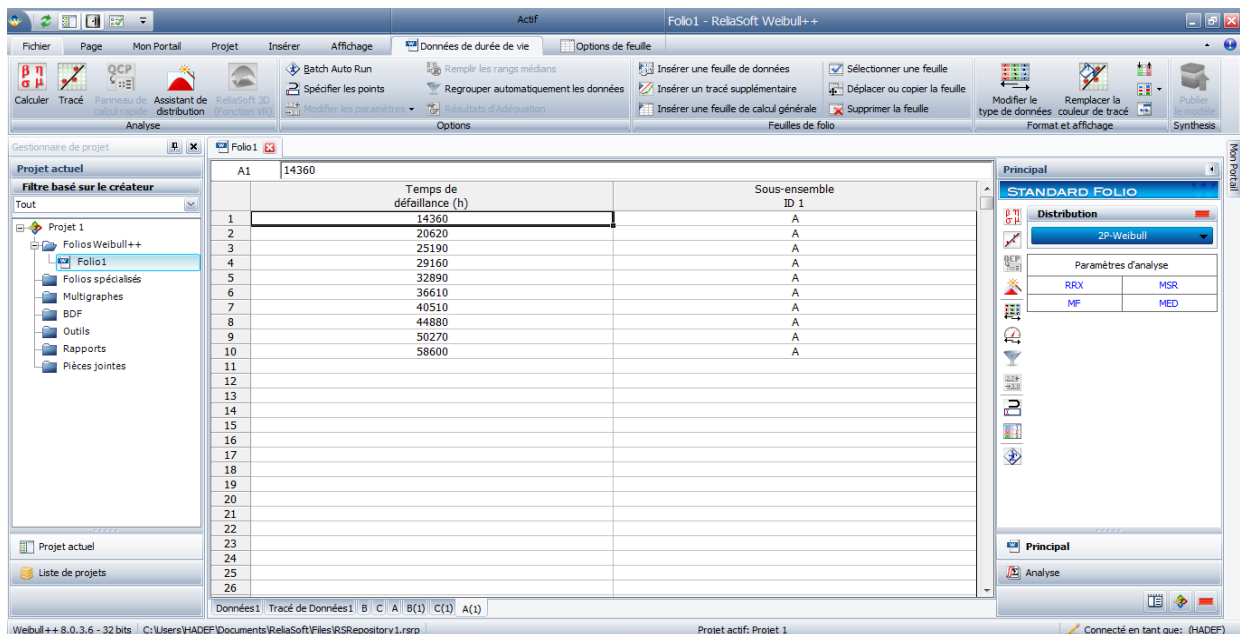


Figure C.6 : Interface graphique de logiciel ; configuration des actions de traitement couple N° 01 (100°Cet 90% HR) : A

❖ Couple N° 02 (120°C et 90% HR) : B

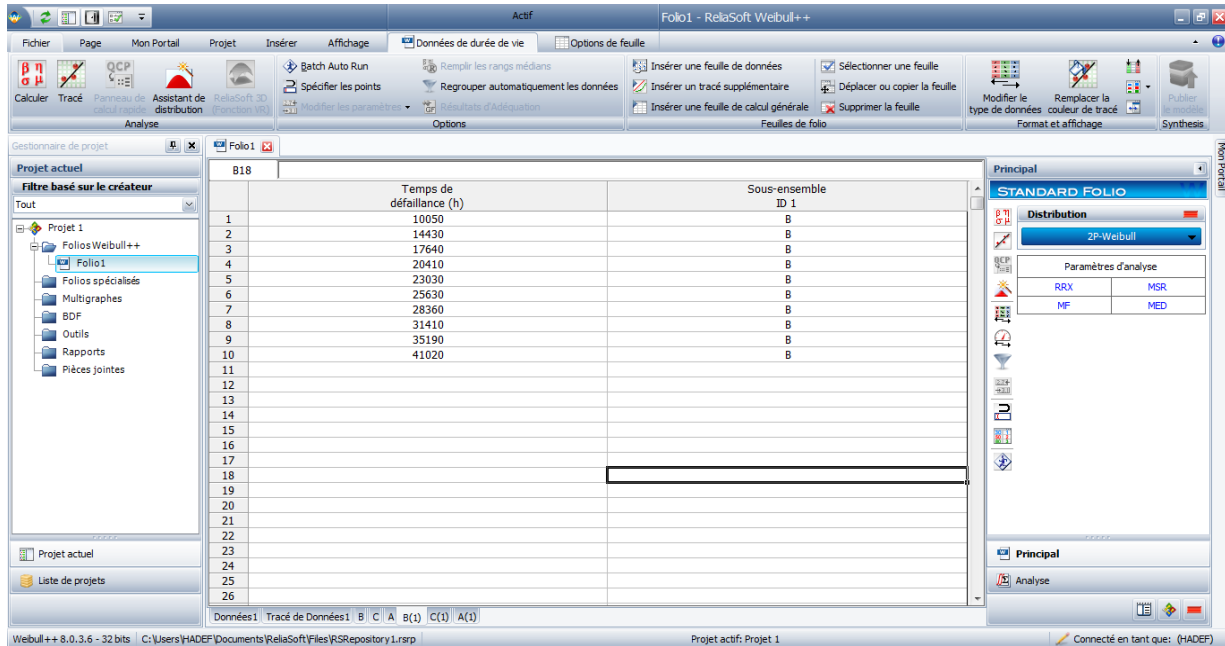


Figure C.7 : Interface graphique de logiciel ; configuration des actions de traitement couple N° 02 (120°C et 90% HR) : B

❖ Couple N° 03 (120°Cet 80% HR) : C

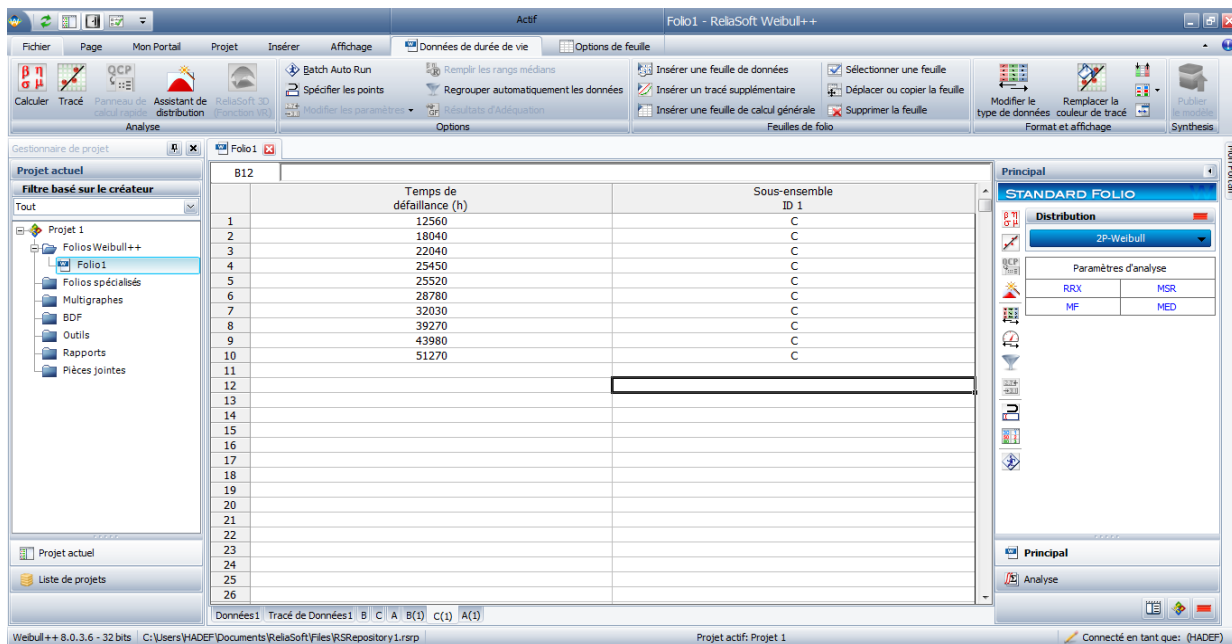


Figure C. 8: Interface graphique de logiciel ; configuration des actions de traitement couple N° 03 (120°Cet 80% HR) : C

Vous remarquerez que 3 nouvelles feuilles de données intitulées A, B et C qui sont des notations pour les trois couples de contraintes qui sont respectivement Couple N° 01 (100°Cet 90% HR), Couple N° 02 (120°C et 90% HR) et Couple N° 03 (120°Cet 80% HR), seront insérées dans le Folio. Chaque feuille de données contient les données extraites pour l’ID de sous-ensemble spécifié (c.-à-d. le niveau de contrainte). Vous pouvez cliquer sur chaque onglet pour accéder aux nouvelles feuilles de données. Veuillez noter que les paramètres ont déjà été calculés pour chaque niveau de contrainte.

❖ *Couple N° 01 (100°Cet 90% HR) : A*

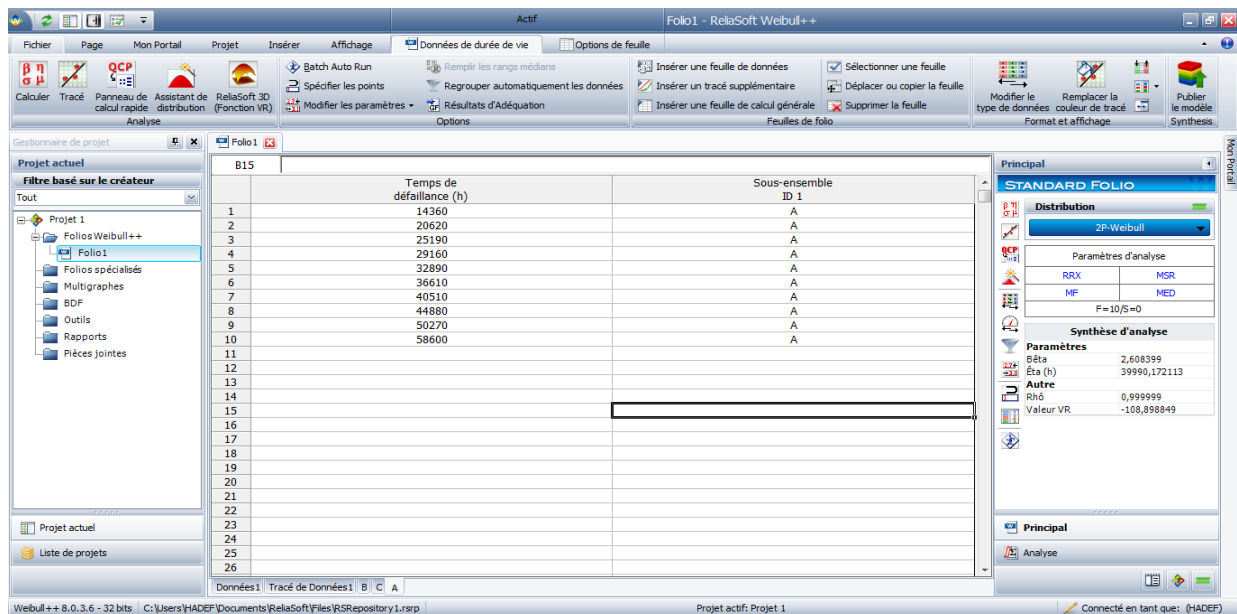


Figure C. 9: Interface graphique de logiciel ; calcul des paramètres de Weibul pour le couple N° 01 (100°Cet 90% HR) : A

❖ *Couple N° 02 (120°C et 90% HR) : B*

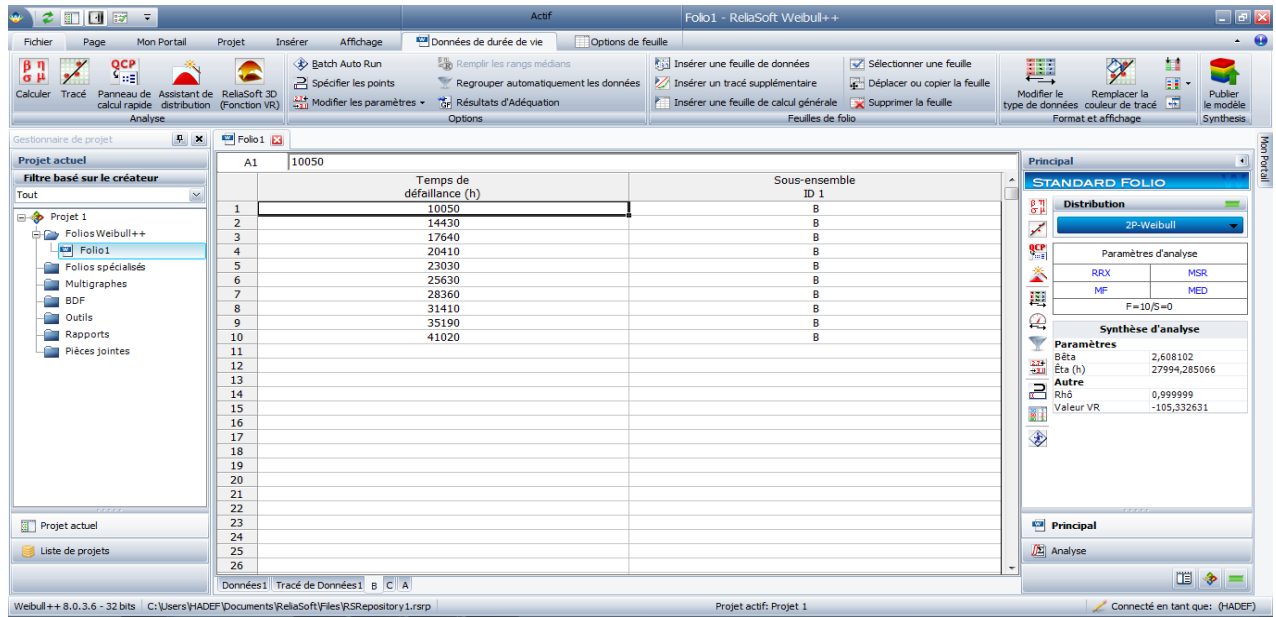


Figure C.10: Interface graphique de logiciel ; calcul des paramètres de Weibul pour le couple N° 02 (120°C et 90% HR) : B

❖ Couple N° 03 (120°C et 80% HR) : C

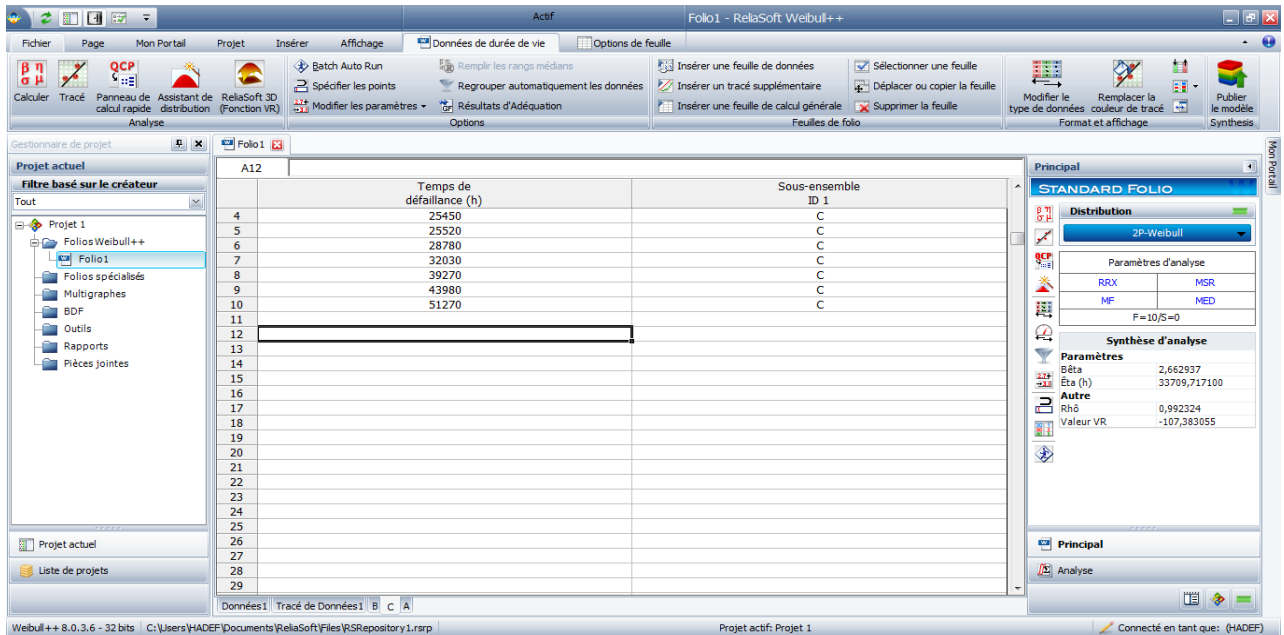


Figure C. 11: Interface graphique de logiciel ; calcul des paramètres de Weibul pour le couple N° 03 (120°C et 80% HR) : C

Résumé

La fiabilité figure parmi les objectifs les plus importants pour les fabricants en tant qu'indicateur de performance et en plus, elle est devenue un argument commercial important dans l'impact économique du cycle de vie et un paramètre clé de la qualité et d'aide à la décision dans l'étude de la plus part des composants, produits et processus. A ce propos, l'évaluation de la fiabilité des produits en phase de conception occupe une place de choix.

Dans ce mémoire nous avons proposé une démarche d'anticipation des risques en conception qui s'articulent principalement autour du modèle DIC « outil de gestion de la connaissance » et leurs méthodes supports « outils SDF ». Cette méthodologie permet au concepteur de comprendre la conservation d'une valeur opérationnelle dans le temps qui est cependant associée à un risque ou une probabilité de défaillance qu'il faut tenir compte dès la phase de conception du produit. A cet effet nous avons procédé à des essais accélérés afin de capitaliser des connaissances sur ces risques potentiels.

Mots-clés : Conception, fiabilité, capitalisation de la connaissance, anticipation des risques, essais accéléré, système photovoltaïque, dégradation.

ملخص

الموثوقية هي واحدة من أكثر الأهداف الهامة للمصنعين كمؤشر أداء و أكثر من ذلك فقد أصبحت حجة تجارية رئيسية من خلال اثرها الاقتصادي في دورة حياة المنتجات وعامل مفتاح في الجودة والمساعدة على اتخاذ القرار في دراسة معظم المكونات والمنتجات والعمليات. في هذا الصدد، تقييم الموثوقية يحتل مكانا خاصا في مرحلة تصميم المنتجات.

اقترحنا في هذه المذكرة منهج استباقي (تقديمي) لتقييم الاخطار في مرحلة التصميم و الذي يتمحور اساسا حول نموذج « DIC » (معطى - معلومة - معرفة) كأداة لتسيير المعارف وطرقه التي يعتمد عليها (ادوات الامان الوظيفي). هذه المنهجية تسمح للمصممين فهم ان المحافظة على قيمة وظيفية خلال زمن مرتبط بخطر او احتمال عطل والذي يجب ان نأخذه بعين الاعتبار في مرحلة تصميم المنتج. لهذا أجرينا تجارب متسارعة من أجل تجميع معلومات حول هذه المخاطر المحتملة.

كلمات دلالية: تصميم ، موثوقية، تجميع المعارف (رسمة المعرفة)، توقع المخاطر ، تجارب متسارعة، نظام الطاقة الشمسية، تدهور.