

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Supérieure de Management
Koléa



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

المدرسة الوطنية العليا للمناجنت
القلعة

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

En vue de l'obtention d'un Master en

« Management par la qualité »

La révision de l'AMDEC sur le processus de maintenance chez SNC-Lavalin

Elaboré par

ARHAB Yousra

Encadré par

Dr. NACER Loubna

Juin 2026

Résumé

La disponibilité et la fiabilité des équipements de production électrique constituent un enjeu stratégique critique, particulièrement dans un contexte où toute défaillance non anticipée entraîne des conséquences économiques et opérationnelles majeures. Ce mémoire, réalisé au sein de la Centrale Électrique de Hadjret Ennouss (wilaya de Tipasa), exploitée par SNC-Lavalin, porte sur la révision structurée de l'AMDEC Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité utilisée comme outil central de pilotage de la maintenance depuis la mise en service de la centrale en 2009.

Face à un document AMDEC devenu obsolète, marqué par des lacunes de mise à jour, une disparité des scores de criticité entre experts et une traçabilité insuffisante des retours d'expérience terrain, une démarche qualitative rigoureuse a été conduite, combinant analyse documentaire, observation participante, entretiens semi-directifs avec les experts techniques et sessions de brainstorming collectif.

Cette démarche a permis de recalibrer les scores d'Occurrence, de Gravité et de Détectabilité sur la base des historiques de maintenance accumulés depuis 2009, d'identifier les défaillances émergentes liées au vieillissement des équipements critiques, de construire des diagrammes Bow-Tie pour les actifs les plus exposés, et d'élaborer un plan d'action priorisé directement opérationnel pour les équipes terrain.

Ce travail livre un document de référence actualisé qui renforce la standardisation et la cohérence du processus AMDEC au sein de SNC-Lavalin, et contribue à une maintenance basée sur les risques plus rigoureuse, plus adaptée et plus durable dans le secteur de l'énergie électrique en Algérie.

Mots clés : AMDEC, Maintenance basée sur les risques (RBM), Centrale électrique, Indice de Priorité du Risque (IPR), Défaillance

Abstract

The availability and reliability of power generation equipment represent a critical strategic challenge, particularly in a context where any unanticipated failure can trigger major economic and operational consequences. This dissertation, conducted at the Hadjret Ennouss Power Plant (wilaya of tipaza) operated by SNC-Lavalin, focuses on the structured revision of the FMEA Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis which has served as the central maintenance management tool since the plant's commissioning in 2009.

With an FMEA document that had grown outdated, marked by update gaps, inconsistent criticality scores among experts, and insufficient traceability of field feedback, a rigorous qualitative approach was implemented, combining documentary analysis, participatory observation, semi-structured interviews with technical experts, and collective brainstorming sessions.

This process enabled the recalibration of Occurrence, Severity, and Detectability scores based on maintenance records accumulated since 2009, the identification of emerging failure modes linked to equipment aging, the development of Bow-Tie diagrams for the most exposed assets, and the creation of a prioritized action plan ready for immediate use by maintenance teams.

This work delivers an updated reference document that strengthens the standardization and consistency of the FMEA process within SNC-Lavalin, and contributes to more rigorous, better-adapted, and sustainable risk-based maintenance in Algeria's power sector.

Keywords: FMEA, Risk-Based Maintenance (RBM), Power plant, Risk Priority Number (RPN), Failure modes.

ملخص

تُمثل توافرية معدات توليد الكهرباء وموثوقيتها تحدياً استراتيجياً بالغ الأهمية، لا سيما في سياق تترتب فيه على أي عطل غير متوقع تبعات اقتصادية وتشغيلية جسيمة. تتناول هذه المذكرة، المنجزة داخل محطة توليد الكهرباء بحجرة النص في ولاية تيبازة التي تديرها شركة SNC-Lavalin ، مراجعة منهجية لأداة تحليل أنماط الإخفاق وتأثيراتها وحرّيتها (AMDEC) ، باعتبارها الركيزة الأساسية لتوجيه استراتيجية الصيانة منذ انطلاق تشغيل المحطة عام 2009.

أمام وثيقة AMDEC باتت متجاوزة، تعثرها ثغرات في التحديث وتباين في درجات الحرجية بين الخبراء وقصور في توثيق التغذية الراجعة الميدانية، اعتمدت مقارنة نوعية صارمة جمعت بين التحليل الوثائقي، والملاحظة الميدانية التشاركية، والمقابلات شبه الموجهة مع الخبراء التقنيين، وجلسات العصف الذهني الجماعي.

أتاحت هذه المقاربة إعادة معايرة درجات التكرار والخطورة والاكتشاف استناداً إلى سجلات الصيانة المتراكمة منذ 2009، وتحديد أنماط الإخفاق الناشئة المرتبطة بتقادم المعدات الحرجة، وبناء مخططات Bow-Tie للأصول الأكثر تعرضاً للخطر، وصياغة خطة عمل مُدرّجة حسب الأولويات جاهزة للتطبيق الميداني الفوري.

يُقدّم هذا العمل وثيقة مرجعية محدّثة تعزز توحيد مسار تقييم الـ AMDEC واتساقه داخل SNC-Lavalin ، وتساهم في ترسيخ صيانة قائمة على المخاطر أكثر صرامة وملاءمة واستدامة في قطاع الطاقة الكهربائية بالجزائر.

الكلمات المفتاحية: تحليل أنماط الإخفاق (AMDEC) ، الصيانة القائمة على المخاطر (RBM) ، مؤشر أولوية الخطر (IPR) ، أنماط الإخفاق.

Remerciements

En premier lieu, je rends grâce à Allah le Tout-Puissant pour m'avoir accordé la force, la patience et la volonté d'accomplir ce travail. *El Hamdoullah.*

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mes parents, piliers de ma vie, dont l'amour et le soutien indéfectibles ont été ma source d'énergie tout au long de ce parcours. À mes frères Anes, Lokman et Nadhir, merci d'avoir toujours été là pour moi.

Une pensée sincère à mes chères amies Selma, Thanaa, Lina et Roumaissa, ainsi qu'à toutes les personnes avec qui j'ai partagé de si beaux moments à la cité universitaire et tout particulièrement à Amina, pour ces souvenirs qui resteront gravés dans mon cœur.

Je remercie chaleureusement Monsieur Omar Berchiche, mon tuteur de stage, pour son encadrement, ses conseils précieux et sa disponibilité, ainsi que Madame Nacer Loubna, mon encadrante, pour son suivi et son accompagnement tout au long de ce travail.

À toute ma promotion, merci pour ces moments partagés, ces rires et cette solidarité qui ont rendu cette aventure humaine si belle, malgré la pression que nous avons tous su gérer ensemble.

Enfin, je me remercie moi-même pour tout ce que j'ai traversé, surmonté et enduré. Malgré les épreuves, j'ai tenu bon. Et j'ai réussi.

Table des matières

Résumé	2
Abstract	3
ملخص	4
Remerciements	5
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	12
CHAPITRE 1	17
CADRE THÉORIQUE	17
Section 1 : La revue de la littérature.....	18
1. Le management des risques industriels : fondements et évolution.....	18
2. La maintenance industrielle : d'une fonction technique à une discipline stratégique :	19
3. La méthode AMDEC : principes fondamentaux, types et limites	20
4. La révision de l'AMDEC : pourquoi, quand et comment	21
5. La maintenance et le management des risques dans le secteur de l'énergie électrique	22
Section 2 : Cadre conceptuel	23
1. Le management de la qualité :	23
1.1. La qualité :	23
1.2. Le management de la qualité.....	24
1.3. L'assurance qualité : définition, fondements et lien avec la gestion des risques.....	24
2. Définition des fondements du management des risques :	26
2.1. Définitions globales et cadres normatifs de référence :	26
2.2. Évolution du paradigme : du réactif au proactif :	27
2.3. Interconnexion entre risque, maintenance et AMDEC dans les industries critique : ..	27
3. La maintenance industrielle : vers une fonction stratégique :	27
3.1. La maintenance basée sur les risques (RBM) comme approche intégratrice :	28
4.2. Typologies d'AMDEC et leur application :	29
4.3. Limites méthodologiques et pistes d'amélioration :	30
5. Les spécificités du management des risque dans le secteur de l'énergie électrique :	30
5.1. Un secteur aux contrainte exceptionnelles :	30
5.2. Modes de défaillance des équipements électriques critiques :	31
5.3. L'AMDEC comme levier d'optimisation dans l'énergie électrique :	31
CHAPITRE 2	32
CADRE METHODOLOGIQUE et ORGANISATIONNEL	32
Section 01 : Cadre épistémologique & méthodologique	33
1. Cadrage du projet	33

2.	Positionnement épistémologique	34
3.	Approche de recherche	35
4.	Approche méthodologique	35
5.1.	L'analyse documentaire	36
5.2.	L'observation participante	37
5.3.	Les entretiens semi-directifs	37
5.4.	Le brainstorming et la validation collective	37
6.1.	Population cible et échantillon	38
6.2.	Lieux, calendrier et durée	38
6.3.	Déroulement concret des entretiens	39
7.	Outils d'analyse des données	39
7.1.	L'analyse de contenu thématique manuelle	39
7.2.	L'AMDEC révisée sous Excel	40
7.3.	Le diagramme Bow-Tie pour les défaillances critiques	41
7.5.	La méthode des 5 Pourquoi pour remonter à la cause racine	42
	Section 02 : présentation d'entreprise	42
1.	Emplacement :	42
1.1.	Description et Données techniques de la Centrale :	43
2.	Partenaires :	43
3.1.	SNC Lavalin Mondial :	43
3.3.	SNC Lavalin O&M Algérie :	44
	CHAPITRE 3 :	45
	RÉSULTATS ET DISCUSSION	45
	SECTION 01 : Résultats	46
	PHASE 1 : identification des risques :	46
1.1.	Processus d'identification des risques :	46
1.2.	Les nouveaux risques identifier :	48
2.	Phase 02 : Priorisation des risques	49
2.1.	Grille d'évaluation et priorisation des risques	49
3.	Phase 03 : traitement des risques	52
3.1.	L'analyse causale par le diagramme d'Ishikawa (5M)	52
3.2.	Remontée à la cause racine par la méthode es 5 Pourquoi :	55
3.3.	Plan d'action corrective et préventives :	57
4.	Phase 04 : Suivi des risques	58
4.1.	Cadre du suivi recommandé : synthèse des entretiens et recommandations opérationnelles	59

Section 02 : Discussion	63
1. Comparaison avec d'autres chercheurs.....	63
2. Limites rencontrées	64
3. Perspectives.....	65
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	66
LA BIBLIOGRAPHIE	71
LES ANNEXES	77

Liste des tableaux :

Tableau 1: Comparaison des approches de maintenance et leur lien avec l'AMDEC	28
Tableau 2: Cadrage du projet par méthode QQQQCP.....	33
Tableau 3: Les trois paradigmes épistémologiques	34
Tableau 4: Description du déroulement des entretiens	38
Tableau 5: Structure de l'AMDEC révisée sous Excel	40
Tableau 6: Structure du diagramme Bow-Tie et utilisation dans l'étude	41
Tableau 7: grille d'évaluation des risques selon le niveau de criticité	50
Tableau 8: Classification de l'acceptabilité des risques (Centrale HEN).....	51
Tableau 9: Analyse Ishikawa (5M) : Risque nv n1 / Indisponibilité GMAO Coswin.....	52
Tableau 10: Analyse Ishikawa (5M) : Risque nv n°2 / Indisponibilité matériel/services (étape 0609)	54
Tableau 11: Méthode des 5 Pourquoi : Risque n°1 NV/Indisponibilité GMAO Coswin.....	55
Tableau 12: Méthode des 5 Pourquoi : Risque NV n°2 /Indisponibilité matériel/services (étape 0609)	56
Tableau 13: Plan d'actions : Mesures correctives et préventives issues de l'AMDEC révisée.....	58

Liste des figures :

Figure 1: Processus d'identification des risques mis en œuvre à la Centrale de Hadjret Ennouss	
.....	47

Liste des abréviations :

5M : Méthode des 5 "familles" (cause root) : Matière, Méthode, Main-d'œuvre, Milieu, Matériel

5 Pourquoi : Méthode pour remonter à la cause racine (Root Cause)

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité

Bow-Tie : Diagramme "nœud papillon" (analyse risques : causes → événement redouté → conséquences)

D : Détectabilité (capacité à détecter avant impact)

DI : Demande d'Intervention

G : Gravité (sévérité des effets)

GMAO : Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur

GMAO Coswin / Coswin : Logiciel (système GMAO) utilisé par la centrale

IPR : Indice de Priorité du Risque

O : Occurrence (fréquence de la défaillance)

O&M : Operations & Maintenance

OT : Ordre de Travail

PMBOK : Project Management Body of Knowledge

PMI : Project Management Institute

QQOQCP : Qui, Quoi, Où, Quand, Comment, Pourquoi

RBM : Risk-Based Maintenance / Maintenance Basée sur les Risques

RETEX / REX : Retour d'Expérience

SKH : Société Kahraba Hadjret Ennous

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Dans un monde industriel en constante mutation, la maîtrise des risques opérationnels est devenue un impératif stratégique pour toute organisation soucieuse de garantir la continuité et la sécurité de ses activités. Le secteur de l'énergie électrique illustre particulièrement bien cette réalité : contrairement à d'autres industries où une interruption de production peut être absorbée par des stocks, la production et le transport d'électricité obéissent à une logique d'équilibre instantané entre l'offre et la demande. Toute défaillance non anticipée d'un équipement de puissance transformateur haute tension, disjoncteur ou turbine à gaz se traduit immédiatement par une rupture de service aux conséquences économiques, sécuritaires et contractuelles potentiellement graves. En Algérie, où la disponibilité des centrales électriques conditionne directement la capacité productive nationale et l'attractivité du territoire, cet enjeu revêt une dimension stratégique encore plus marquée. C'est dans ce contexte exigeant qu'opère la Centrale Électrique de Hadjret Ennouss (wilaya de Tipasa), exploitée par SNC-Lavalin, société d'ingénierie internationale dont l'expertise couvre l'ensemble du cycle de vie des grandes infrastructures énergétiques.

Face à des équipements vieillissants et à des exigences de disponibilité croissantes, les industriels doivent concevoir une approche de maintenance hiérarchisée, fondée sur une évaluation rigoureuse des risques. L'AMDEC Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité, normalisée par la norme IEC 60812, constitue à cet égard l'un des outils les plus reconnus en matière de sûreté de fonctionnement des systèmes industriels. Son principe repose sur l'identification systématique des modes de défaillance potentiels, de leurs causes et effets, et de leur niveau de criticité, synthétisé par l'Indice de Priorité du Risque (IPR), combinant occurrence, gravité et détectabilité. Outil vivant par nature, l'AMDEC n'atteint pleinement son potentiel que lorsqu'elle est régulièrement révisée et maintenue en cohérence avec les retours d'expérience terrain. C'est précisément l'objet de ce mémoire : réviser de manière structurée l'AMDEC de la Centrale de Hadjret Ennouss, afin de l'adapter à la réalité opérationnelle actuelle et de renforcer la maintenance basée sur les risques au sein de SNC-Lavalin.

Contexte de l'étude :

SNC-Lavalin, à travers son exploitation de la Centrale Électrique de Hadjret Ennousse, gère un parc d'équipements critiques transformateurs de puissance, disjoncteurs haute tension, turbines à gaz dont certains sont en service continu depuis la mise en exploitation de la centrale en 2009. Au fil de ces années d'exploitation, ces équipements ont accumulé un historique de maintenance riche : incidents documentés, évolutions de comportement, interventions correctives et préventives, retours d'expérience terrain. Ce capital informationnel représente une ressource précieuse pour affiner l'évaluation des risques. Pourtant, malgré cette accumulation de données, l'AMDEC utilisée comme outil central de pilotage de la maintenance n'a pas fait l'objet d'une révision structurée et documentée depuis plusieurs années.

Cette situation génère un risque majeur, bien identifié par la littérature académique récente Aven, 2023 ; Papadopoulos & Christodoulou, (2024): une AMDEC non actualisée finit par décrire des risques qui n'existent plus, ou, plus dangereusement encore, par ignorer des défaillances émergentes que le vieillissement des équipements ou l'évolution des pratiques de maintenance ont progressivement fait apparaître. Le décalage entre la réalité opérationnelle et le document AMDEC de référence nuit directement à la qualité des décisions de maintenance, fausse la priorisation des interventions et compromet in fine la fiabilité et la sécurité du système dans son ensemble. Un outil d'analyse des risques qui ne reflète plus la réalité qu'il est censé décrire devient non seulement inutile, mais potentiellement trompeur.

La problématique de recherche

Des lacunes méthodologiques ont été relevées dans la pratique interne de SNC-Lavalin : disparité dans les scores de criticité attribués par différents experts pour des situations similaires, absence de traçabilité systématique des retours d'expérience dans le document AMDEC, et manque de standardisation des grilles d'évaluation entre les équipes de maintenance. Ces dysfonctionnements organisationnels, aussi préoccupants que les défaillances techniques elles-mêmes, révèlent la nécessité d'une démarche rigoureuse de révision et d'amélioration de l'AMDEC existante, fondée sur une approche à la fois académiquement étayée et profondément ancrée dans la réalité opérationnelle de la centrale.

C'est à partir de ce constat que se forge la question centrale de notre recherche :

« Comment se déroule le processus de révision de l'AMDEC chez SNC-Lavalin et comment cette révision s'intègre-t-elle dans le processus de maintenance de la Centrale Électrique de Hadjret Ennouss ? »

Cette question principale se décline en trois sous-questions opérationnelles qui structurent notre démarche :

- Quels sont les déclencheurs et les étapes méthodologiques du processus de révision de l'AMDEC dans le contexte spécifique de SNC-Lavalin ?
- Dans quelle mesure les retours d'expérience terrain et les données de maintenance accumulées depuis 2009 permettent-ils de recalibrer les scores de criticité (Occurrence, Gravité, OCCURENCE) et d'identifier les défaillances émergentes non couvertes par l'AMDEC existante ?
- Comment l'AMDEC révisée s'articule-t-elle avec le processus global de maintenance basée sur les risques (RBM) de la centrale, et quels outils complémentaires notamment le diagramme Bow-Tie et Excel permettent d'en renforcer l'opérationnalité dans les équipes de terrain ?

Les objectifs de la recherche

L'objectif principal de ce mémoire est de mener une révision rigoureuse et documentée de l'AMDEC de SNC-Lavalin, en la recalibrant à partir des données réelles de maintenance accumulées depuis 2009, et en la réintégrant pleinement dans le processus de gestion des risques de la centrale.

De manière plus spécifique, cette recherche vise à réaliser un audit critique de l'AMDEC existante afin d'identifier ses lacunes, ses incohérences et les défaillances non couvertes ; à recalibrer les scores de criticité (O, G, D) et l'Indice de Priorité du Risque (IPR) sur la base des retours d'expérience terrain et des historiques de maintenance ; à identifier les modes de défaillance émergents liés au vieillissement des équipements et aux évolutions du contexte opérationnel ; à proposer un plan d'action priorisé, validé par les experts techniques, pour améliorer concrètement la stratégie de maintenance basée sur les risques ; et enfin à renforcer la standardisation et la traçabilité du processus d'évaluation AMDEC au sein des équipes de SNC-Lavalin.

Structure du mémoire

Afin de répondre à cette problématique de manière structurée et progressive, ce mémoire est organisé en trois chapitres complémentaires.

Le **Chapitre I** pose les fondements académiques de notre travail à travers une revue de la littérature couvrant le management des risques industriels, la maintenance basée sur les risques, la méthode AMDEC et ses évolutions récentes, ainsi que les spécificités du secteur de l'énergie électrique. Il développe ensuite un cadre conceptuel opérationnel articulant ces notions autour de la problématique centrale de la révision de l'AMDEC.

Le **Chapitre II** expose le positionnement épistémologique adopté interprétatif et inductif ainsi que la démarche qualitative mise en œuvre : analyse documentaire, observation participante sur le terrain, entretiens semi-directifs avec les experts de la centrale, et sessions de brainstorming collectif. Il présente également l'organisme d'accueil, SNC-Lavalin, et la Centrale Électrique de Hadjret Ennouss dans leurs dimensions organisationnelles et techniques pertinentes pour la recherche.

Le **Chapitre III** constitue le cœur empirique du mémoire. Il présente les résultats concrets de la révision de l'AMDEC : recalibration des scores de criticité, identification des défaillances émergentes, construction des diagrammes Bow-Tie pour les équipements les plus critiques, et élaboration du plan d'action priorisé. Une discussion approfondie confronte ensuite ces résultats aux apports de la littérature et en tire les enseignements pratiques pour la maintenance chez SNC-Lavalin.

CHAPITRE 1

CADRE THÉORIQUE

La révision rigoureuse d'une méthode d'analyse des risques telle que l'AMDEC ne peut reposer sur la seule pratique terrain : elle exige au préalable une compréhension solide des concepts qui la fondent. C'est précisément l'objectif de ce premier chapitre, qui construit le cadre théorique et conceptuel du mémoire.

Ce chapitre s'articule en deux sections. La première propose une revue de la littérature couvrant le management des risques, la maintenance industrielle, la méthode AMDEC et les particularités du secteur de l'énergie électrique. La seconde développe le cadre conceptuel en définissant et en opérationnalisant les notions clés mobilisées tout au long de l'analyse.

Ces bases théoriques permettront d'ancrer la démarche empirique dans un cadre académique structuré et de justifier les choix méthodologiques retenus dans les chapitres suivants.

Section 1 : La revue de la littérature

Afin d'élaborer une démarche rigoureuse de révision de l'AMDEC adaptée au contexte de l'entreprise, une analyse approfondie de la littérature s'avère indispensable. Cette revue a pour objectif d'établir les fondements théoriques du présent mémoire en explorant les concepts clés liés au management des risques industriels, à la maintenance, à la méthode AMDEC dans ses dimensions classiques et évolutives, ainsi qu'aux spécificités du secteur de l'énergie électrique. Elle permet également d'identifier les travaux scientifiques les plus récents et pertinents qui alimenteront la démarche empirique.

1. Le management des risques industriels : fondements et évolution

Le management des risques industriels a connu, au cours des dernières décennies, une évolution significative de ses paradigmes fondateurs. Initialement perçu comme une activité essentiellement réactive consistant à intervenir après la survenue d'un accident et à en tirer des enseignements il s'est progressivement orienté vers une approche proactive, structurée et anticipative. Cette transformation s'explique notamment par l'impact des grandes catastrophes industrielles des années 1980 ainsi que par le développement d'un cadre académique et normatif de plus en plus élaborer.

Aven (2023) dans *Safety Science*, retrace cette évolution du concept de risque, qui est passé d'une approche purement probabiliste à une vision intégrant des dimensions organisationnelles, humaines et contextuelles. Il souligne, en particulier, l'écart persistant entre la définition théorique du risque et sa perception réelle sur le terrain, un enjeu majeur dans le secteur de

l'énergie électrique où une défaillance locale peut engendrer des effets en cascade à l'échelle d'un réseau.

Dans *Reliability Engineering & System Safety*, (Zio, 2009) actualisé dans des revues de 2022, explique que les méthodes actuelles de gestion des risques vont au-delà du technique pur pour inclure des facteurs comportementaux et systémiques. Ainsi, les choix de maintenance ne relèvent plus seulement des ingénieurs : ils émergent d'un écosystème sociotechnique mêlant équipements, humains, procédures et pressions organisationnelles. Cette idée est creusée par Hu et al(2022), dans le même journal (vol. 217, 108063), à travers le prisme du *Prognostics and Health Management*.

Sur le plan normatif, la norme (*ISO 31000:2018*) constitue un référentiel international central. Elle définit le risque tout simplement comme « l'effet de l'incertitude sur les objectifs » et propose un cadre structuré applicable à l'ensemble des niveaux organisationnels. Et c'est là que l'AMDEC met le doigt sur les pannes possibles et mesure à quel point elles peuvent faire mal, pour mieux les anticiper.

Enfin, Ayyub & Klir, (2006) dans leur bouquin *Uncertainty Modeling and Analysis in Engineering*, rappelant que le risque en maintenance repose sur trois axes clés : la gravité des conséquences, la probabilité d'occurrence et la capacité de détection. Ces dimensions correspondent directement aux paramètres fondamentaux de l'AMDEC : Occurrence, Gravité et Détectabilité (facultatif).

2. La maintenance industrielle : d'une fonction technique à une discipline stratégique :

Longtemps considérée comme une fonction secondaire, la maintenance industrielle a progressivement acquis un rôle stratégique au sein des organisations. Depuis les années 1980, elle est reconnue comme un levier essentiel de performance, influençant directement la compétitivité, la sécurité et la durabilité des systèmes industriels.

Ding & Kamaruddin, (2015), proposent une évolution conceptuelle majeure en recentrant la maintenance sur la notion de fonction. L'objectif ne se limite plus à réparer les défaillances, mais à garantir que chaque équipement remplisse durablement les fonctions attendues par ses utilisateurs. Cette évolution marque le passage d'une maintenance corrective à une approche proactive et orientée performance.

Peng et ses collègues(2022), dans un papier de *Reliability Engineering & System Safety*, montrent qu'une bonne maintenance ça commence par bien évaluer la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité des machines. Ils intègrent là-dedans la maintenance basée sur les risques (Risk-Based Maintenance). Dans lequel toute la planification des interventions repose sur l'analyse de criticité des équipements, notamment via l'AMDEC.

Par ailleurs, Les humains et l'organisation jouent un rôle important dans tout ça. Patriarca et ses collègues (2022), dans *Safety Science*, démontrent que, ce n'est jamais une seule cause d'accidents industriels, mais un alignement de pannes techniques, erreurs humaines et dysfonctionnements organisationnels. Donc pour garantir la pertinence des analyses AMDEC L'intégration de ces dimensions est importante.

De plus, Martínez-Galán Fernández et al., (2022), dans l'*International Journal of Production Economics*, confirme que dans les gros groupes industriels, les risques de maintenance couvrent la grande partie des risques d'organisation. La dispersion des équipes aux quatre coins du pays, le turn-over des experts techniques, la foule de sous-traitants, et la pression pour rogner les budgets, tout ça impacte directement la qualité des AMDEC et on peut même le mesurer.

3. La méthode AMDEC : principes fondamentaux, types et limites

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité), connue à l'international sous l'acronyme FMECA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*), est une méthode d'analyse préventive développée dans les années 1940, initialement par l'armée américaine, puis perfectionnée par la NASA. Elle est aujourd'hui largement normalisée par la norme(IEC 60812):2018.

Liu et al.(2013) , dans leur revue systématique de *Quality and Reliability Engineering International*, décrivent l'AMDEC classique comme ça : tu listes tous les modes de panne possibles pour chaque pièce ou fonction du système, tu creuses les causes et les conséquences, et tu calcules l'Indice de Priorité du Risque (IPR) avec la formule super simple :

$$IPR = Occurrence \times Gravité \times Détectabilité$$

Chacun des trois se note de 1 à 10 ce qui donne un IPR entre 1 et 1000.

Dans les bouquins, y a plein de versions d'AMDEC selon ce qu'on regarde. Genre, Shetwan et les autres (2025), dans le *Journal of Risk and Reliability* de SAGE, ils séparent bien l'AMDEC

Produit pour le design, l'AMDEC Processus qui check les risques des tâches de maintenance en soi, et l'AMDEC Équipement qui s'attaque direct aux pannes des machines

Huang & Xiao, (2021) dans *Computers & Industrial Engineering*, prouvent que même deux groupes d'experts sur le même cas avec la même fiche d'évaluation, sortent des IPR complètement différents tout dépend de leur vécu et de comment ils interprètent les scores. Ce flou entre experts Ça mine la crédibilité de l'outil si on n'impose pas des process et des ateliers pour aligner tout le monde.

Testik (2023) , dans *Quality and Reliability Engineering International*, ont bien montré que les grilles classiques d'AMDEC partent du principe que les experts ont une vue hyper précise sur l'Occurrence, la Gravité et la Détectabilité. Sauf que dans pas mal d'usines surtout avec les équipements électriques qui durent des plombes c'est une illusion totale. ils proposent d'injecter de la logique floue pour mieux coller à cette incertitude bien réelle.

Enfin, (Aven, 2023) dans *Safety Science*, insiste sur la nécessité d'une révision continue de l'AMDEC, soulignant qu'un document non actualisé peut devenir obsolète et induire un faux sentiment de maîtrise des risques.

4. La révision de l'AMDEC : pourquoi, quand et comment

La révision d'une AMDEC repose sur l'analyse critique d'un document existant enrichi par les retours d'expérience terrain. Chez des acteurs comme SNC-Lavalin, qui pilotent des parcs d'équipements sur des cycles de vie de plusieurs décennies, la question n'est plus de savoir *si* réviser l'AMDEC, mais *quand et comment* le faire avec rigueur et méthode.

Papadopoulos & Christodoulou (2024) dans *Reliability Engineering & System Safety*, identifient plusieurs déclencheurs d'une révision d'AMDEC comme l'évolution des équipements, accumulation de données de maintenance, les changements organisationnels et les incidents ou quasi-accidents. Ces facteurs s'appliquent parfaitement où chacun d'eux peut varier de manière continue et justifier une actualisation régulière.

Zhu et al. (2022) dans *Quality and Reliability Engineering International*, proposent un modèle structuré de révision d'AMDEC qui s'impose aujourd'hui comme référence : audit de l'existant, analyse des retours d'expérience terrain, mise à jour des seuils de criticité, identification des nouveaux risques, puis validation par les experts assortie d'un plan d'actions priorisé.

Cette approche est cohérente avec la norme ((IEC 60812, s. d.), qui insiste sur le caractère dynamique et évolutif de l'AMDEC.

Jakkula et ses camarades (2020), dans le *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, soulignent enfin trois conditions essentielles pour que la révision d'AMDEC porte ses fruits durablement dans les grandes structures d'ingénierie : la standardisation des grilles d'évaluation entre équipes et sites, la capitalisation des retours d'expérience au niveau organisationnel, et l'implication des acteurs terrain. Ces piliers guideront précisément notre approche de révision.

5. La maintenance et le management des risques dans le secteur de l'énergie électrique

Le secteur de l'énergie électrique occupe une place dans le management des risques industriels, avec ses spécificités bien marquées. Les équipements critiques transformateurs de puissance, disjoncteurs haute tension, lignes aériennes subissent des contraintes extrêmes : fluctuations de charge, dégradation des isolants, surtensions transitoires. Parallèlement, les contrats de concession imposent une disponibilité quasi absolue, ne laissant aucune place à l'improvisation.

Ghazaly et ses collaborateurs (2024) dans *Acta Energetica*, dressent un inventaire actualisé des modes de défaillance les plus courants sur les transformateurs de distribution. Ils mettent en lumière leur caractère généralement progressif dégradation de l'isolation, contamination de l'huile diélectrique, usure des prises de réglage en charge ce qui les rend détectables par des techniques de surveillance avancées, notamment basées sur l'intelligence artificielle. Cette forte détectabilité milite clairement en faveur d'une maintenance conditionnelle, directement guidée par les priorités dégagées par l'AMDEC.

Vita (2023) dans *Electronics* (MDPI), démontrent que l'intégration d'une AMDEC à un système de maintenance basée sur la fiabilité et l'intelligence artificielle permet de réduire nettement les coûts globaux de maintenance dans le secteur électrique, tout en boostant la disponibilité des équipements. Cette optimisation repose sur une allocation plus intelligente des ressources, guidée par la criticité réelle des équipements telle que révélée par l'AMDEC

Shetwan (2025), dans le *Journal of Risk and Reliability*, rappellent que les normes sectorielles notamment la série IEC relative aux transformateurs de puissance ne sauraient être des recettes rigides à appliquer aveuglément. Elles constituent plutôt des cadres de référence devant être adaptés au contexte opérationnel propre à chaque organisation. C'est précisément cette logique d'adaptation contextuelle qui orientera notre démarche de révision de l'AMDEC

En conclusion, la revue de littérature mobilisée dans ce chapitre fournit un cadre conceptuel à la fois riche et opérationnel pour appréhender la révision de l'AMDEC dans le domaine de la gestion des risques de maintenance. Les travaux examinés ont permis de clarifier l'évolution du concept de risque industriel, de situer la maintenance basée sur les risques comme approche structurante, de mettre en évidence les limites intrinsèques de l'AMDEC classique, et d'identifier les conditions d'une révision méthodique et rigoureuse de cet outil. Les spécificités du secteur de l'énergie électrique ont également été prises en compte, soulignant la nécessité d'adapter les démarches analytiques aux contraintes propres aux installations industrielles critiques. L'ensemble de ces apports constitue un socle théorique solide qui orientera la démarche empirique développée dans les chapitres suivants.

Section 2 : Cadre conceptuel

Dans cette partie, on va clarifier les concepts clés qu'on utilise dans ce mémoire, pour bien définir leurs contours et comprendre ce qui se joue vraiment derrière. C'est crucial pour poser des bases solides à l'analyse, en s'appuyant sur la revue de littérature qu'on a vue juste avant. On va passer en revue, l'un après l'autre : le management de la qualité, l'assurance qualité, l'idée de risque industriel et comment elle a évolué, la maintenance stratégique basée sur les risques, la méthode AMDEC avec ses bases et ses faiblesses, la démarche pour réviser une AMDEC, et enfin les particularités de la gestion des risques dans l'énergie électrique.

1. Le management de la qualité :

Le management de la qualité constitue un pilier fondamental et stratégique pour assurer la cohérence, l'efficacité et l'amélioration continue au sein des organisations, en reposant sur des éléments constitutifs que nous allons expliciter :

1.1.La qualité :

la qualité est depuis longtemps une préoccupation majeure dans la gestion des firmes, elle a été toujours sollicitée, visualisée et abordée par les organisations et revendiquée par les consommateurs goetsch & Davis, (1994). d'après l'ouvrage de kamiske & brauer(1994), la qualité a été définie par de nombreux chercheurs, à savoir : « la qualité est le degré de satisfaction » w.edard deming, « c'est la conformité aux spécification » p.b.corsby, « c'est la conformité aux besoins », c.hersan « c'est la satisfaction des besoins appréciés par le client ou l'utilisateur », p.lyonnet « la qualité est l'aptitude à satisfaire le client », k.ishikawa « c'est l'aptitude à l'emploi », j.juran selon l'organisation internationale de standardisation iso (*ISO 9000*) , « la qualité est l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit, d'un processus

ou d'un service qui lui confère son aptitude à satisfaire des besoins implicites et explicites» *ISO 9000*, 2015). La qualité est regardée comme la satisfaction des objectifs opérationnels sous deux angles, la première c'est l'absence de dysfonctionnement dans la réalisation (qualité interne) et la deuxième c'est l'atteinte de la satisfaction des objectifs finaux (qualité externe). Par contre la non qualité est définie comme un écart entre l'offre et la satisfaction réelle. Selon la norme *iso 9000*, 2015 la non-qualité est une non-conformité. Le niveau de qualité exprime le degré de conformité entre le niveau de réalisation et l'objectif souhaité. Il est bien de respecter les objectifs de qualité visés dans le but de les atteindre. au sein d'une organisation, la qualité est 13 un état d'esprit et une éthique et psychologique d'une politique qualité qui rend tous les acteurs engagés pour assurer le concept qualité *Yvon Pesqueux Librairie Eyrolles* (2008).

1.2.Le management de la qualité

Le management de la qualité est une politique de gestion qui repose sur un ensemble de ressources, d'outils et de modes d'organisation coordonnés et mis en œuvre dans le but d'optimiser et maximiser la qualité des processus et des procédures de la production d'une entreprise, afin de satisfaire les attentes des clients et d'améliorer en continu les performances de l'organisation. Ce type de management s'adresse à tous les pôles de l'entreprise et à toutes les étapes de création et de commercialisation d'un bien ou d'un service. 1 Conformément à la norme *ISO 9001* (2015) un management de la qualité optimal, pertinent et exhaustif s'appuie sur 7 principes fondamentaux qui orientent les organisations vers l'excellence :

- 1) Orientation client : Viser la satisfaction durable des besoins des clients
- 2) Leadership : Aligner la stratégie et les ressources autour d'une vision partagée
- 3) Implication du personnel : Valoriser les compétences et l'engagement collectif
- 4) Approche processus : Optimiser l'efficacité par une gestion intégrée des processus
- 5) Amélioration continue : Chercher à progresser en continu
- 6) Prise de décision fondée sur des preuves concrètes et vérifiables
- 7) Management des relations avec les parties prenantes : Renforcer les partenariats visant à créer de la valeur sur le long terme.

1.3.L'assurance qualité : définition, fondements et lien avec la gestion des risques

L'assurance qualité constitue une dimension incontournable du management de la qualité, se distinguant du simple contrôle qualité par son orientation fondamentalement préventive et systémique. Elle ne se limite pas à la vérification des résultats obtenus, mais vise à garantir, de manière planifiée et documentée, que les processus mis en œuvre sont de nature à produire des résultats conformes aux exigences définies. Dans le contexte de la maintenance industrielle,

cette orientation préventive trouve une traduction directe dans l'AMDEC, qui constitue précisément un dispositif d'assurance qualité appliqué à la gestion des équipements.

Juran et Godfrey (1999), dans leur ouvrage de référence *Juran's Quality Handbook* (5e édition, McGraw-Hill), définissent l'assurance qualité comme l'ensemble des activités planifiées et systématiques mises en place pour donner confiance en ce qu'un produit ou un service satisfera aux exigences de qualité définies. Ils soulignent que cette démarche s'applique à l'ensemble du cycle de vie d'un équipement industriel, depuis sa conception jusqu'à sa mise hors service, ce qui en fait un cadre naturellement adapté à la gestion de longue durée des équipements électriques critiques.

Sur le plan normatif, la norme *ISO 9000* (2015) (Organisation Internationale de Normalisation) définit l'assurance qualité comme « la partie du management de la qualité visant à donner confiance en ce que les exigences relatives à la qualité seront satisfaites ». Cette définition met en évidence la notion de preuve objective : les documents AMDEC, lorsqu'ils sont régulièrement mis à jour et fondés sur des données d'exploitation fiables, constituent précisément ces preuves objectives de la maîtrise des risques de maintenance.

Dale et ses collaborateurs (2007) dans *Managing Quality* (5e édition, Blackwell Publishing), insistent sur la dimension systémique de l'assurance qualité, qui repose sur la mise en place de processus permettant de prévenir les erreurs avant qu'elles ne surviennent, plutôt que de les corriger après coup. Cette logique préventive est au cœur de la démarche AMDEC : en identifiant en amont les modes de défaillance potentiels, leurs causes et leurs effets, elle permet d'anticiper les risques et de définir des actions correctives avant que la défaillance ne se produise.

En définitive, l'assurance qualité et la gestion des risques de maintenance entretiennent une relation de complémentarité structurelle. L'assurance qualité fournit le cadre systémique et documentaire au sein duquel des outils comme l'AMDEC trouvent leur pleine efficacité. À ce titre, la révision régulière de l'AMDEC peut être considérée comme un acte d'assurance qualité à part entière : elle garantit que la connaissance des risques reste actualisée, que les pratiques d'évaluation restent cohérentes entre les équipes, et que les décisions de maintenance demeurent fondées sur des données fiables et vérifiables (Balaraju et al., 2019).

2. Définition des fondements du management des risques :

Avant d'analyser les pratiques de gestion des risques propres à SNC-Lavalin, il convient de poser les bases conceptuelles sur lesquelles repose toute démarche structurée de management des risques, en s'appuyant sur les définitions normatives, les évolutions paradigmatiques et l'articulation entre risque, maintenance et AMDEC.

2.1.Définitions globales et cadres normatifs de référence :

La norme *ISO 31000*(2018) est devenue la référence incontournable pour gérer les risques dans les entreprises industrielles, Elle définit le risque tout simple comme l'effet de l'incertitude sur les objectifs et propose une méthode claire qui marche à tous les niveaux de l'organisation. Cette définition met en évidence que le risque ne se limite pas à un événement indésirable, mais inclut également l'ensemble des incertitudes associées.

Aven (2023) propose une structuration du risque autour de trois dimensions : : la probabilité, l'impact et l'incertitude. Ces dimensions présentent une correspondance directe avec les paramètres de l'AMDEC : Occurrence(O), Gravité(G), Détectabilité(D) et c'est ça qui donne du sens à notre travail de révision

Tableau 1 : Les trois dimensions du risque industriel et leur correspondance AMDEC

Dimension du risque	Question fondamentale	Paramètre AMDEC	Échelle
Probabiliste	Quelle est la fréquence de la défaillance ?	Occurrence (O)	1 à 10
Impact	Quelles sont les conséquences sur le système et les parties prenantes ?	Gravité (G)	1 à 10
Épistémique	Dans quelle mesure la défaillance est-elle détectable avant d'agir ?	Détectabilité (D)	1 à 10

Source : Élaboré par l'auteur d'après Aven, 2023 et ISO 31000 :2018

2.2.Évolution du paradigme : du réactif au proactif :

Le management des risques industriels a connu une transformation majeure, passant d'une approche réactive, basée sur la correction des incidents, à une approche proactive centrée sur l'anticipation

Selon Zio (2009, révisé 2022), cette évolution a redéfini le rôle des équipes de maintenance, qui deviennent désormais des acteurs stratégiques dans la maîtrise des risques.

Cette évolution a également élargi le périmètre des facteurs de risque pris en compte. Hu et al., (2022) montrent que les systèmes de Pronostics and Health Management (PHM) qui combinent capteurs, données en temps réel et intelligence artificielle permettent désormais d'anticiper les défaillances bien avant qu'elles ne se manifestent. Dans ce contexte la révision régulière de l'AMDEC pour intégrer ces nouvelles données devient non seulement utile mais indispensable

2.3.Interconnexion entre risque, maintenance et AMDEC dans les industries critique :

Le lien entre le management des risques, la maintenance et l'AMDEC est étroit. La maintenance basée sur les risques (RBM) s'appuie sur l'AMDEC pour prioriser les interventions, en concentrant les ressources sur les éléments les plus critiques. En retour, les données issues de la maintenance enrichissent continuellement l'AMDEC. Ce mécanisme crée un cycle d'amélioration continue, particulièrement crucial dans les secteurs critiques (énergie, aéronautique, pétrochimie).

3. La maintenance industrielle : vers une fonction stratégique :

La maintenance industrielle regroupe l'ensemble des actions visant à maintenir ou à rétablir un équipement dans un état spécifié afin d'assurer sa fonction.

Selon la norme AFNOR X 60-010, elle comprend : la maintenance corrective et la maintenance préventive (systématique et conditionnelle).

Salonen et ses collaborateurs (2022) suggèrent une perspective plus audacieuse : la maintenance fonctionnelle dont l'objectif est de maintenir les fonctions attendues des équipements telles que définies par les utilisateurs, plutôt que leurs spécifications techniques nominales. Cette méthode met l'accent sur le besoin opérationnel lors de la prise de décisions en matière de maintenance, faisant de l'AMDEC un instrument naturel de traduction entre les exigences des opérateurs et les priorités d'intervention

Tableau 1: Comparaison des approches de maintenance et leur lien avec l'AMDEC

Type de maintenance	Déclencheur	Avantage principal	Rôle de l'AMDEC
Corrective	Défaillance constatée	Aucun investissement préventif	Analyse des causes après incident
Préventive systématique	Calendrier fixe (temps ou usage)	Planification simple	Définition des intervalles d'intervention
Préventive conditionnelle	État réel de l'équipement	Optimisation des coûts	Priorisation des paramètres à surveiller
Basée sur les risques (RBM)	Niveau de criticité (analyse des risques)	Allocation optimale des ressources	Outil central de hiérarchisation des risques

Source : Élaboré par nous-même d'après Salonen et al., 2022 ; Peng et al., 2022

3.1.La maintenance basée sur les risques (RBM) comme approche intégratrice :

L'entretien basé sur les risques (Risk-Based Maintenance (RBM)) est actuellement la méthode la plus sophistiquée pour améliorer les décisions de maintenance dans les secteurs industriels stratégiques.

Peng et al (2022) proposent une définition précise c'est une approche qui s'appuie sur l'analyse quantitative des risques afin de focaliser les actions de maintenance là où la diminution du risque sera la plus importante, en tenant compte des moyens à disposition.

Dans ce contexte, l'AMDEC est au cœur du système elle dresse la carte des risques qui guide toute la stratégie de maintenance. Si elle est dépassée ou mal ajustée les choix de maintenance partent en vrille direct.

Finalement, la révision régulière de l'AMDEC, ce n'est pas du luxe dans une approche RBM c'est carrément obligatoire pour que tout tienne la route.

3.2.Facteurs humains et organisationnels :

Les défaillances industrielles ne résultent généralement pas d'une seule cause technique.

Patriarca et al (2022) rappellent une vérité souvent négligée dans la pratique industrielle, les accidents et les défaillances majeures résultent rarement d'une seule cause technique. Ils émergent d'un alignement malheureux entre pannes techniques, erreurs humaines et failles organisationnelles. Cette vision systémique implique que toute AMDEC qui se limiterait à

l'analyse des défaillances purement mécaniques ou électriques produirait une image incomplète et potentiellement dangereuse du risque réel.

Martínez-Galán Fernández et al. (2022) vont encore plus loin en montrant, dans les grandes organisations industrielles comme SNC-Lavalin, que les risques de maintenance sont en grande partie des risques d'organisation : dispersion géographique des équipes, turnover des experts, multiplication des sous-traitants, pression sur les budgets. Tous ces facteurs influencent directement la qualité des AMDEC et doivent être intégrés dans toute démarche de révision sérieuse.

4. La méthode AMDEC :

4.1.Principes fondamentaux :

L'AMDEC c'est une méthode inductive et préventive pour analyser les risques. Le principe est simple, pour chaque pièce ou sous-système d'un équipement on liste tous les modes de défaillance possibles, on identifie leurs causes, leurs effets sur l'ensemble du système et on calcule leur criticité avec l'Indice de Priorité du Risque (IPR).

D'après Liu et al.(2013), la formule c'est $IPR = O \times G \times D$ où O c'est l'Occurrence (la probabilité que ça arrive), G la Gravité (la violence des conséquences) et D la Détectabilité (la facilité à la repérer avant le drame)(facultative). Plus le score est haut, plus il faut prioriser les actions pour éviter cette défaillance.

La norme *IEC 60812*,(2018), qui régit l'AMDEC à l'international aujourd'hui, insiste bien sur le fait que c'est un outil vivant et il faut l'appliquer de façon itérative en continu, pas comme un one-shot qu'on archive.

4.2.Typologies d'AMDEC et leur application :

La littérature distingue plusieurs types d'AMDEC selon l'objet d'analyse.

Shetwan et al. (2025) proposent une classification opérationnelle qui distingue l'AMDEC Produit (analyse lors de la conception d'un nouveau produit), l'AMDEC Processus (analyse des risques liés aux procédures de maintenance elles-mêmes) et l'AMDEC Équipement (analyse des modes de défaillance des machines en service).

Dans le contexte de SNC-Lavalin, ce sont principalement l'AMDEC Processus et l'AMDEC Équipement qui sont mobilisées. L'AMDEC Équipement permet d'identifier et de hiérarchiser les pannes potentielles des transformateurs, disjoncteurs et autres équipements critiques.

L'AMDEC Processus permet d'analyser les risques liés aux tâches de maintenance elles-mêmes, afin d'éviter que les interventions ne génèrent de nouvelles défaillances

4.3.Limites méthodologiques et pistes d'amélioration :

La validité des AMDEC repose sur la cohérence des experts qui les renseignent et la qualité des données d'entrée. Huang & Xiao, (2021) montrent que la subjectivité dans l'attribution des scores est l'une des faiblesses les plus documentées de la méthode.

Seiti et al. (2022) identifient une limite mathématique intrinsèque, des combinaisons de paramètres très différentes peuvent aboutir au même IPR, masquant des situations de risque fondamentalement distinctes. Ces travaux plaident pour l'adoption de méthodes complémentaires, telles que la logique floue préconisée par (Testik - 2023) ou l'intégration des données GMAO décrite par Filz et al. (2021).

5. Les spécificités du management des risque dans le secteur de l'énergie électrique :

Le secteur de l'énergie électrique présente des exigences de fiabilité et de continuité de service qui en font l'un des environnements les plus exigeants en matière de management des risques. Les équipements qui le composent sont soumis à des contraintes techniques et opérationnelles particulières, dont la maîtrise nécessite des approches méthodologiques adaptées et rigoureuses, au premier rang desquelles figure l'AMDEC.

5.1.Un secteur aux contrainte exceptionnelles :

Le secteur de l'énergie électrique se démarque vraiment des autres industries côté gestion des risques. Les équipements critiques transformateurs de puissance, disjoncteurs haute tension, câbles d'énergie encaissent des contraintes de dingue : variations de charge, climat hostile,

Usure des isolants, surtensions soudaines. Et en plus, les contrats de concession exigent une disponibilité quasi parfaite sans aucune place pour l'improvisation.

Bertling et al. (2005), dans un article de référence publié dans *IEEE Transactions on Power Systèmes*, confirme que la disponibilité des équipements électriques critiques est directement conditionnée par la qualité de la stratégie de maintenance adoptée. Il démontre qu'une approche basée sur l'analyse de la fiabilité et la priorisation des interventions selon la criticité des équipements permet de réduire significativement le risque de défaillance non planifiée tout en optimisant l'allocation des ressources de maintenance.

5.2. Modes de défaillance des équipements électriques critiques :

(Ghazaly et ses collaborateurs, (2024) dressent une cartographie actualisée des modes de défaillance les plus courants sur les transformateurs de distribution. Ces défaillances présentent un caractère majoritairement progressif : dégradation de l'isolation solide ou liquide, contamination de l'huile diélectrique, usure mécanique des prises de réglage en charge.

Ce caractère progressif constitue à la fois un risque ces défaillances sont difficiles à percevoir avant un stade avancé et une opportunité elles sont détectables par des techniques de surveillance adaptées. Cela plaide directement en faveur d'une maintenance conditionnelle bien ciblée, dont les priorités doivent être définies par une AMDEC rigoureuse.

5.3. L'AMDEC comme levier d'optimisation dans l'énergie électrique :

Vita et al. (2023) démontrent que l'intégration d'une AMDEC à un système de maintenance basée sur la fiabilité enrichie par des outils d'intelligence artificielle permet de réduire significativement les coûts globaux de maintenance dans le secteur électrique, tout en améliorant la disponibilité des équipements. Shetwan et al. (2025) rappellent enfin que les normes sectorielles doivent être adaptées au contexte opérationnel spécifique de chaque organisation. SNC-Lavalin, avec ses caractéristiques propres, requiert précisément cette démarche d'adaptation contextuelle, que la révision de l'AMDEC permettra de concrétiser.

Ce cadre conceptuel repose sur quatre piliers : Le risque industriel, La maintenance basée sur les risques, L'AMDEC et La démarche de révision. Ces éléments fournissent une base solide pour l'analyse réalisée dans ce mémoire.

En conclusion, ce chapitre pose les bases solides pour aborder la révision de l'AMDEC chez SNC-Lavalin. En reliant les concepts de risque industriel, la maintenance basée sur les risques, la méthode AMDEC avec ses points forts et ses faiblesses, et une démarche claire de révision, on comprend non seulement ce qu'est une bonne AMDEC, mais surtout pourquoi et comment la mettre à jour efficacement.

Ce cadre colle parfaitement au secteur de l'énergie électrique, où la technique est complexe, la continuité de service cruciale, et les risques multiples. Ça impose une approche analytique bien structurée, régulièrement actualisée et ancrée dans le réel opérationnel. Les chapitres suivants s'appuieront là-dessus pour décrire et appliquer concrètement la révision de l'AMDEC chez SNC-Lavalin.

CHAPITRE 2

CADRE METHODOLOGIQUE et
ORGANISATIONNEL

Dans ce chapitre, nous présentons la démarche que nous avons adoptée pour conduire cette recherche. Maintenant que les bases théoriques et conceptuelles sont posées, il s'agit d'expliquer concrètement comment nous avons procédé : comment nous avons construit le savoir, choisi nos méthodes, collecté et analysé les données. Ce chapitre comprend également la présentation de l'organisme d'accueil dans lequel s'est déroulée l'étude.

Section 01 : Cadre épistémologique & méthodologique

1. Cadrage du projet

Avant d'entrer dans les détails méthodologiques, nous avons commencé par poser clairement le problème que nous cherchons à résoudre. Pour cela, nous avons utilisé la méthode QQQQCP un outil simple mais efficace qui permet de structurer les faits autour d'une problématique et d'éviter de partir dans tous les sens (Gillet-Goinard & Seno, 2019).

Tableau 2: Cadrage du projet par méthode QQQQCP

Question	Réponse
Quoi ?	Réviser l'AMDEC existante de SNC-Lavalin : recalibrer les scores de criticité (O, G, D), identifier les défaillances émergentes non couvertes, et renforcer la pertinence opérationnelle du document avec Excel comme support structurant et le Bow-Tie pour approfondir les cas critiques.
Qui ?	Nous-mêmes (stagiaires), le Responsable Qualité, le Responsable Maintenance, le Responsable Technique
Où ?	SNC-Lavalin Algérie Centrale Électrique de Hadjret Ennousse (Wilaya de Tipasa). Départements Qualité et Maintenance.
Quand ?	Pendant la période de stage. L'analyse s'appuie sur les historiques de maintenance accumulés depuis la mise en service de la centrale en 2009.
Comment ?	Approche qualitative inductive : analyse documentaire, observation participante sur le terrain, entretiens semi-directifs avec les experts, sessions de brainstorming collectif pour valider les modifications,

Question	Réponse
	recalibration des scores via Excel, et construction de diagrammes Bow-Tie pour les défaillances critiques.
Pourquoi ?	L'AMDEC actuelle n'a pas été révisée depuis plusieurs années malgré le vieillissement des équipements et l'accumulation de retours d'expérience. Une AMDEC non mise à jour finit par décrire un risque qui n'existe plus, ou pire, ignorer des risques nouveaux (Aven, 2023).

Source : Élaboré par moi même

2. Positionnement épistémologique

Choisir un positionnement épistémologique, c'est répondre à une question fondamentale : de quelle manière veut-on construire le savoir ? Est-ce qu'on cherche à mesurer une réalité indépendante des acteurs, à la construire avec eux, ou à comprendre comment ils la perçoivent ? Ce choix oriente toute la démarche de recherche. La littérature distingue trois paradigmes principaux :

Tableau 3: Les trois paradigmes épistémologiques

Positiviste	Interprétativiste	Constructiviste
La réalité est unique et indépendante des acteurs. On cherche à expliquer et prédire. Approche quantitative.	La réalité est perçue par les acteurs. On cherche à comprendre le sens que les acteurs donnent à leur vécu. Approche qualitative.	La réalité est construite avec les acteurs. On cherche à co-produire des connaissances. Approche qualitative ou mixte.

Source : Élaboré par moi même

Dans le cadre de cette étude, nous nous positionnons dans le paradigme interprétativiste. Ce choix se justifie par la nature même de notre objet d'étude : nous ne cherchons pas à tester des hypothèses statistiques ou à dégager des lois généralisables. Ce que nous cherchons, c'est à comprendre comment les techniciens et responsables de SNC-Lavalin perçoivent les limites de l'AMDEC existante, et ce qu'ils savent souvent de façon tacite des équipements qu'ils côtoient depuis des années.

Ce savoir ne se retrouve dans aucune base de données. La seule façon de l'atteindre, c'est d'aller sur le terrain, d'observer, d'écouter et de poser des questions ouvertes. C'est exactement ce que préconisent Balaraju et al. (2019) et Papadopoulos & Christodoulou, (2024) pour ce type de révision d'AMDEC : sans l'expertise des acteurs terrain, la révision reste superficielle. Ce positionnement s'appuie également sur les travaux de Simon (2018), qui montre que l'approche interprétativiste est la plus adaptée pour étudier des pratiques organisationnelles complexes.

3. Approche de recherche

Notre approche est inductive : nous partons du terrain pour aller vers la théorie, et non l'inverse. Concrètement, cela signifie que nous avons d'abord observé et écouté les acteurs de SNC-Lavalin, puis confronté ce que nous avons trouvé aux cadres théoriques issus de la revue de littérature, notamment le modèle de révision structurée de Liu et al., (2019) et les recommandations de Balaraju et al. (2019).

Cette logique inductive est cohérente avec le paradigme interprétativiste choisi : on ne plaque pas une grille d'analyse préconçue sur la réalité terrain, on laisse les données parler et on construit l'analyse à partir de ce qu'elles révèlent. C'est aussi une démarche de recherche-action, dans la mesure où nous n'étions pas là uniquement pour observer nous avons participé activement au travail des équipes, assisté aux réunions techniques, et contribué directement à la construction de l'AMDEC révisée Chevalier & Buckles, (2019).

4. Approche méthodologique

Pour cette étude, nous avons opté pour une méthode qualitative. Ce choix découle directement de la nature du problème posé. Comme le formulent Morgan et Smircich (1980) cités dans Chevalier et al., (2022) :

« La recherche qualitative est une approche dont le caractère approprié découle de la nature des phénomènes sociaux à explorer ».

Qu'entend-on par approche qualitative ? Contrairement aux approches quantitatives qui cherchent à mesurer et à généraliser à partir de données chiffrées et d'échantillons larges, l'approche qualitative vise à comprendre en profondeur des phénomènes complexes, souvent en nombre limité de cas en s'intéressant au sens que les acteurs donnent à leurs expériences (Creswell & Poth, 2018). Elle repose sur des techniques de collecte souples entretiens, observations, analyse de documents qui permettent de capter la richesse du contexte et la singularité des situations. Les données produites sont narratives et interprétatives non pas

statistiques. Comme le soulignent Denzin et Lincoln (2018), la recherche qualitative est une activité située qui met le chercheur en contact direct avec le monde qu'il étudie, ce qui la rend particulièrement adaptée aux terrains où le savoir tacite et l'expertise humaine sont au cœur de la problématique comme c'est le cas dans notre étude sur la révision de l'AMDEC à la Centrale de Hadjret Ennouss.

Trois raisons concrètes justifient ce choix :

- Notre revue de littérature le confirme : les études les plus solides sur la révision d'AMDEC (Zhu et al., 2022 ; Balaraju et al., 2023 ; Papadopoulos et al., 2023) mobilisent toutes des démarches qualitatives pour capter le savoir tacite des experts terrain ce savoir qu'aucune donnée chiffrée ne peut remplacer.
- Réviser une AMDEC, c'est par nature une démarche interprétative. Il faut confronter le document existant à la réalité vécue par les opérateurs, identifier les écarts, comprendre pourquoi certaines défaillances ont été mal évaluées. Cette confrontation ne peut pas se faire avec un questionnaire fermé.
- Le fait de croiser plusieurs sources documents internes, observations directes, entretiens avec des profils variés est caractéristique des approches qualitatives multi-méthodes, dont la triangulation renforce significativement la crédibilité des résultats (Kalika et al., 2023).

5. Outils de collecte de données

Nous avons utilisé quatre techniques complémentaires, choisies en fonction de ce que nous cherchions à comprendre et des contraintes du terrain.

5.1.L'analyse documentaire

Avant de rencontrer qui que ce soit, nous avons commencé par analyser l'ensemble des documents internes disponibles. Prévost et Roy (2015) rappellent qu'il y a de l'information documentaire sur à peu près tout encore faut-il savoir quoi retenir et comment le lire de façon critique.

Les documents analysés comprennent notamment :

- L'AMDEC existante de la centrale le document central que nous cherchons à réviser
- Les historiques de maintenance et de pannes enregistrés dans la GMAO Coswin
- Les rapports d'inspection et d'audit technique
- Les procédures de maintenance préventive et corrective

- La politique qualité et le manuel de management
- Les fiches de non-conformité et comptes-rendus d'incidents
- La fiche processus maintenance

Cette lecture préalable a servi à deux choses : identifier les premiers écarts entre ce que l'AMDEC actuelle décrit et ce que les documents opérationnels révèlent comme réalité terrain et préparer des entretiens ciblés sur les points de friction déjà repérés.

5.2.L'observation participante

L'observation, dans la recherche qualitative, est une méthode à part entière qui demande de s'immerger dans le milieu étudié (Gaudet & Robert, 2018). J'ai opté pour l'observation participante la forme la plus immersive, où le chercheur prend part aux activités du groupe observé (Groleau, 2003 ; Journée, 2018 ; Kalika et al., 2023).

Pendant notre stage, nous étions physiquement présents sur le site de la centrale, nous participions aux réunions techniques et aux échanges informels entre collègues. Cette immersion permet de capter ce qu'aucun rapport officiel ne mentionnera les habitudes prises depuis des années, les défaillances connues de tous mais jamais formalisées, les tensions entre services. C'est souvent là que se trouve l'information la plus précieuse pour réviser une AMDEC.

5.3.Les entretiens semi-directifs

Les entretiens constituent le cœur de notre collecte, Ils sont définis comme l'une des méthodes les plus utilisées en recherche qualitative, une discussion structurée entre le chercheur et un interlocuteur, visant à recueillir des données riches et situées. Nous avons opté pour des entretiens semi-directifs le meilleur équilibre entre structure (un guide de questions pour garder le fil) et liberté (l'interlocuteur développe les points qui lui semblent importants).

Notre guide d'entretien était structuré autour de trois thèmes principaux :

- L'état perçu de l'AMDEC actuelle et ses lacunes
- Les défaillances récentes mal couvertes ou non anticipées
- Les facteurs humains et organisationnels qui influencent la maintenance

5.4.Le brainstorming et la validation collective

En complément des entretiens individuels, nous avons organisé des sessions de brainstorming collectif à des moments clés du processus. Ces sessions réunissaient plusieurs experts simultanément maintenance, technique, qualité pour trois objectifs précis : identifier les modes

de défaillance non couverts par la version existante, discuter et valider les nouvelles cotations O, G, D, et prioriser les actions correctives.

Quand quatre experts discutent ensemble et doivent justifier leurs positions, les scores qui en ressortent sont beaucoup plus solides que ceux d'une évaluation individuelle c'est précisément ce que recommandent Huang et al. (2022) pour contrer la subjectivité inter-experts.

6. Description du déroulement des enquêtes

6.1.Population cible et échantillon

La population cible de cette étude est constituée de l'ensemble des acteurs directement impliqués dans la gestion et l'utilisation de l'AMDEC au sein de la Centrale de Hadjret Ennouss: responsables de département (Qualité, Maintenance, Technique) et techniciens terrains seniors. Ces profils ont été choisis de manière raisonnée non pas pour leur représentativité statistique, mais pour leur expertise directe et leur rôle opérationnel dans la maintenance des équipements critiques. Ce type d'échantillonnage intentionnel est standard dans les études qualitatives (Kalika et al., 2023).

6.2.Lieux, calendrier et durée

L'ensemble de l'enquête s'est déroulé sur le site de la Centrale Électrique de Hadjret Ennouss, au sein des locaux de SNC-Lavalin Algérie, pendant la période de stage. Les entretiens ont eu lieu en face à face, dans les bureaux des interlocuteurs concernés, à l'exception des techniciens terrain qui ont été rencontrés directement dans les ateliers de maintenance.

Tableau 4: Description du déroulement des entretiens

Interlocuteur	Lieu	Date / Durée	Mode
Responsable Qualité	Bureau Centrale Hadjret Ennouss	120 min	Face à face
Responsable Maintenance	Bureau Centrale Hadjret Ennouss	75 min	Face à face
Responsable Technique	Bureau Centrale Hadjret Ennouss	60 min	Face à face
Technicien terrain senior 1	Atelier maintenance	45 min	Face à face

Interlocuteur	Lieu	Date / Durée	Mode
Technicien terrain senior 2		45 min	Face à face

Source : Élaboré par nous même

Les sessions de brainstorming collectif se sont déroulées en salle de réunion sur le même site. Chaque session a réuni entre trois et cinq participants simultanément, pour une durée d'environ 1h30 à 2h.

6.3.Déroulement concret des entretiens

Chaque entretien a suivi le même protocole au début la présentation de l'objectif de la recherche et garantie de confidentialité, puis questions ouvertes suivant le guide d'entretien, et enfin espace libre pour que l'interlocuteur puisse ajouter ce qu'il jugeait important. Les entretiens ont ensuite été retranscrits intégralement et analysés manuellement par analyse thématique.

7. Outils d'analyse des données

Notre analyse des données s'organise en trois niveaux complémentaires.

7.1.L'analyse de contenu thématique manuelle

Les données issues des entretiens et des observations ont été analysées par analyse de contenu thématique (Chevalier et al., 2022 ; Lannoy, 2012). Concrètement, le processus s'est déroulé en quatre étapes :

- Relecture complète de l'ensemble des retranscriptions d'entretiens
- Codage manuel des passages significatifs : attribution de mots-clés ou de courtes expressions à chaque unité de sens
- Regroupement des codes en catégories thématiques plus larges
- Analyse transversale pour comparer les discours des différents interlocuteurs et identifier convergences et divergences

Quatre grands thèmes ont structuré mon analyse : l'état perçu de l'AMDEC actuelle et ses lacunes, les défaillances récentes non anticipées, les facteurs organisationnels qui pèsent sur la maintenance, et les conditions pour qu'une révision tienne dans le temps.

Nous avons opté pour une analyse manuelle plutôt que pour un logiciel comme Nivo. Ce choix est cohérent avec le volume d'entretiens réalisés (cinq entretiens individuels et trois sessions de brainstorming) et avec les recommandations pour les études qualitatives à échantillon limité

(Kalika et al., 2023) : pour moins d'une dizaine d'entretiens, le codage manuel reste la méthode la plus adaptée et la plus transparente. Elle permet en outre de maintenir un contact direct et continu avec le matériau empirique, ce qui favorise la finesse de l'interprétation.

7.2.L'AMDEC révisée sous Excel

L'AMDEC révisée constitue l'outil central d'analyse et de structuration des résultats. Conformément au modèle proposé par Zhu et al. (2022) et aux exigences de la norme IEC 60812 :2018, nous avons utilisé Microsoft Excel comme support. Ce choix n'est pas anodin c'est un outil maîtrisé par tous chez SNC-Lavalin, ce qui garantit que l'AMDEC révisée pourra continuer à être utilisée et mise à jour après notre stage.

Tableau 5: Structure de l'AMDEC révisée sous Excel

Étape	Ce qu'on fait dans Excel	D'où viennent les données
1. Inventaire	Liste des composants critiques avec identifiant et fonction principale	Documents internes, GMAO Coswin, observation terrain
2. Modes de défaillance	Pour chaque équipement : pannes possibles, causes et conséquences sur le système	AMDEC existante, entretiens, historiques de pannes
3. Cotation O, G, D	Score de 1 à 5 pour Occurrence, Gravité et Détectabilité avec justification écrite de chaque note	Grilles harmonisées validées avec experts. Données GMAO pour calibrer l'Occurrence
4. Calcul IPR	$IPR = O \times G \times D$, automatique. Code couleur : rouge, orange, vert.	Formules Excel. Seuils définis en concertation avec les experts.
5. Plan d'actions	Classement par IPR décroissant. Bow-Tie pour les cas critiques + actions correctives priorisées.	Validation lors des sessions de brainstorming avec les équipes.

Source : Élaboré par l'auteur d'après Zhu et al. (2022) ; IEC 60812 :2018

7.3. Le diagramme Bow-Tie pour les défaillances critiques

En complément de l'AMDEC, nous utilisons le diagramme Bow-Tie ou « nœud papillon » pour les défaillances dont l'IPR dépasse le seuil critique. Cet outil d'analyse des risques et largement utilisé dans les industries à hauts risques (Duijm, 2015 ; Aneziris et al., 2020), place au centre l'événement redouté et cartographie simultanément ses causes (côté gauche) et ses conséquences (côté droit), avec les barrières de prévention et de récupération.

Dans cette étude, les deux outils travaillent en tandem : l'AMDEC identifie et classe toutes les défaillances, le Bow-Tie approfondit les plus critiques. C'est l'articulation recommandée par Aneziris et al. (2020) pour les industries énergétiques.

Tableau 6: Structure du diagramme Bow-Tie et utilisation dans l'étude

Élément	Ce que ça représente	Utilisation dans l'étude
Côté gauche	Causes et menaces pouvant déclencher la défaillance.	Croisées avec les REX des techniciens et les données GMAO.
Centre	L'événement redouté central la défaillance à IPR élevé issue de l'AMDEC.	Chaque Bow-Tie part directement d'une ligne AMDEC critique.
Côté droit	Conséquences opérationnelles, sécuritaires ou économiques.	Validées avec les responsables lors des entretiens.
Barrières	Dispositifs de prévention (gauche) et de récupération (droite).	Base du plan d'actions : quelles barrières renforcer en priorité.

Source : Élaboré par l'auteur d'après Duijm (2015) ; Khakzad et al. (2012)

7.4. Le diagramme d'Ishikawa (5M) pour l'analyse des causes racines

En complément de l'AMDEC, du Bow-Tie et de l'analyse thématique, nous mobilisons le diagramme d'Ishikawa également appelé diagramme cause-effet ou « arête de poisson » pour approfondir l'analyse des causes racines des défaillances identifiées comme critiques. Cet outil, développé par Kaoru Ishikawa (1962) et largement utilisé dans les démarches qualité et de

maintenance industrielle (Gillet-Goinard & Seno, 2019), structure les causes potentielles d'une défaillance en cinq familles, connues sous l'acronyme des 5M.

Dans cette étude, le diagramme d'Ishikawa est mobilisé en complément du Bow-Tie là où le Bow-Tie cartographie les causes et les conséquences d'une défaillance de façon linéaire, l'Ishikawa permet de structurer visuellement l'ensemble des facteurs contributifs selon les 5M et d'identifier les familles de causes les plus représentées. Cette double lecture renforce la robustesse du diagnostic et facilite la priorisation des actions correctives présentées dans l'AMDEC révisée.

7.5.La méthode des 5 Pourquoi pour remonter à la cause racine

En complément du diagramme d'Ishikawa, nous recourons à la méthode des 5 Pourquoi développée par Sakichi Toyoda dans le cadre du Toyota Production System et aujourd'hui largement adoptée dans les démarches de maintenance industrielle et de gestion de la qualité (Liker, 2004 ; Gillet-Goinard & Seno, 2019). Son principe est simple, face à une défaillance on se demande « Pourquoi ? » de façon répétée généralement cinq fois jusqu'à remonter à la véritable cause racine, celle sur laquelle une action corrective durable est possible.

L'intérêt de cette méthode dans le cadre de notre étude est double. D'une part, elle s'appuie directement sur le savoir tacite des experts ce sont eux qui à chaque « Pourquoi » apportent la réponse ancrée dans leur expérience vécue. D'autre part, elle évite l'écueil classique d'une AMDEC qui traite les symptômes sans s'attaquer aux causes profondes. Appliquée aux défaillances à IPR élevé, la méthode des 5 Pourquoi garantit que les actions correctives proposées dans l'AMDEC révisée sont véritablement ancrées dans la réalité opérationnelle du site.

Section 02 : présentation d'entreprise

1. Emplacement :

La centrale Électrique à cycle combiné 1227MW de Hadjret En Nouss est située dans la Wilaya de Tipasa, à environ 80 km à l'ouest d'Alger. Le site est à environ 12 km à l'ouest de Cherchell et à 4 km de la ville de Sidi Ghiles. Il est limité au sud par la route nationale n°11, entre les oueds Arbal et Mokada Nazizi, et au nord par la mer Méditerranée.

1.1.Description et Données techniques de la Centrale :

- La centrale comprend trois unités de production d'électricité en cycle combiné générant 409 MW chacune, soit un total de 1227 MW.
- Chaque unité comprend une turbine à combustion, une chaudière de récupération de chaleur, une génératrice, une turbine à vapeur et un condenseur de vapeur.
- Les turbines à gaz General Electric 9FB brûlent en premier lieu du gaz naturel et, comme alternative, du gasoil.
- Les chaudières de récupération de chaleur sont de type circulation naturelle, offrant de la vapeur à trois pressions et dotées de réchaud. La vapeur produite (trois pressions) est acheminée à la turbine à vapeur.
- Chaque turbine à vapeur décharge sa vapeur usée dans un condenseur. L'eau de refroidissement est l'eau de mer.

Pour chaque tranche, deux pompes alimentent le condenseur en eau de mer. De plus, la génératrice est refroidie par un circuit fermé eau/gaz (H2). Un circuit d'eau de mer/eau fraîche est également utilisé pour divers besoins.

L'eau fraîche nécessaire à l'exploitation de la centrale sera produite par la désalinisation de l'eau de mer. Deux unités de déminéralisation de 100 % chacune produira l'eau déminéralisée consommée par les équipements.

2. Partenaires :

Huit partenaires sont engagés dans le montage contractuel de ce projet et sont, en même temps, actionnaires dans la Société Kahraba Hadjret Ennous (SKH, Spa). Il s'agit de Sonatrach (10 %), Sonelgaz (10 %) et Algerian Energy Company (AEC - société mixte Sonatrach / Sonelgaz qui détient 29 % dans SKH) pour la partie algérienne, ainsi que SNC Lavalin et Mubadala pour la partie étrangère.

SNC Lavalin (Canada) et Mubadala (Émirats Arabes Unis), regroupés au sein de la société mixte dénommée Algerian Utilities International Limited (AUIL), détiennent 51 % de SKH.

3. Présentation SNC Lavalin

3.1.SNC Lavalin Mondial :

SNC-Lavalin Inc. est l'un des plus importants groupes d'ingénierie et de construction au monde, et un acteur majeur en matière de propriété d'infrastructures et de services d'exploitation et d'entretien.

SNC-Lavalin a des bureaux dans tout le Canada et dans plus de 35 autres pays, et travaille actuellement dans une centaine de pays. Son siège social est à Montréal, Canada. Par le nombre d'employés, elle se classe parmi les 10 plus grandes firmes du genre au monde. SNC Lavalin, créée en 1911, emploie plus de 45 000 employés à travers le monde.

3.2.SNC Lavalin O&M :

L'unité d'exploitation Opérations et Maintenance de SNC-Lavalin regroupe plus de 1300 professionnels de haut niveau. Notre équipe, présente à l'échelle mondiale, offre toute la gamme des services d'exploitation et d'entretien pour un large éventail d'actifs, allant des plus traditionnels aux infrastructures de haute technologie.

Nous œuvrons au sein de toutes les industries et de tous les secteurs d'activités, incluant notamment les autoroutes et les ponts, les transports collectifs et ferroviaires, les bâtiments et installations, la défense et la logistique ainsi que les opérations industrielles.

Nous gérons le cycle de vie des actifs, de la conception et construction jusqu'au démantèlement, et nous créons de la valeur pour nos clients à travers l'innovation, les technologies de pointe et les solutions numériques.

3.3.SNC Lavalin O&M Algérie :

SNC Lavalin O&M Algérie est chargée de l'exploitation et maintenance de trois unités de production :

- Centrale Thermique de Skikda sise Zone industrielle de Skikda (2005-2022)
- Centrale Thermique de Hadjret Ennouss sise RN 11, Commune de Hadjret Ennouss, Daïra de Cherchell (depuis 2009)
- Usine de dessalement d'eau de mer sise à Fouka, près d'Alger (depuis 2011)

Pour conclure, Ce deuxième chapitre a constitué le socle opérationnel de notre démarche de recherche. En définissant avec rigueur notre positionnement épistémologique interprétativiste et notre approche inductive, nous avons explicité la logique qui a guidé l'ensemble de notre travail de terrain à partir de la réalité vécue par les acteurs de SNC-Lavalin pour construire une connaissance ancrée, contextualisée et directement exploitable.

CHAPITRE 3 :

RÉSULTATS ET DISCUSSION

SECTION 01 : Résultats

Dans cette partie, nous présentons les résultats issus du traitement et de l'analyse des données recueillies au cours de notre étude. Ce chapitre est structuré autour des quatre phases fondamentales d'une démarche de maîtrise des risques telles que définies dans notre cadre méthodologique : l'identification des risques, leur priorisation, leur traitement, et enfin leur suivi. Ces quatre phases constituent ensemble la colonne vertébrale de l'AMDEC révisée que nous proposons à SNC-Lavalin Algérie.

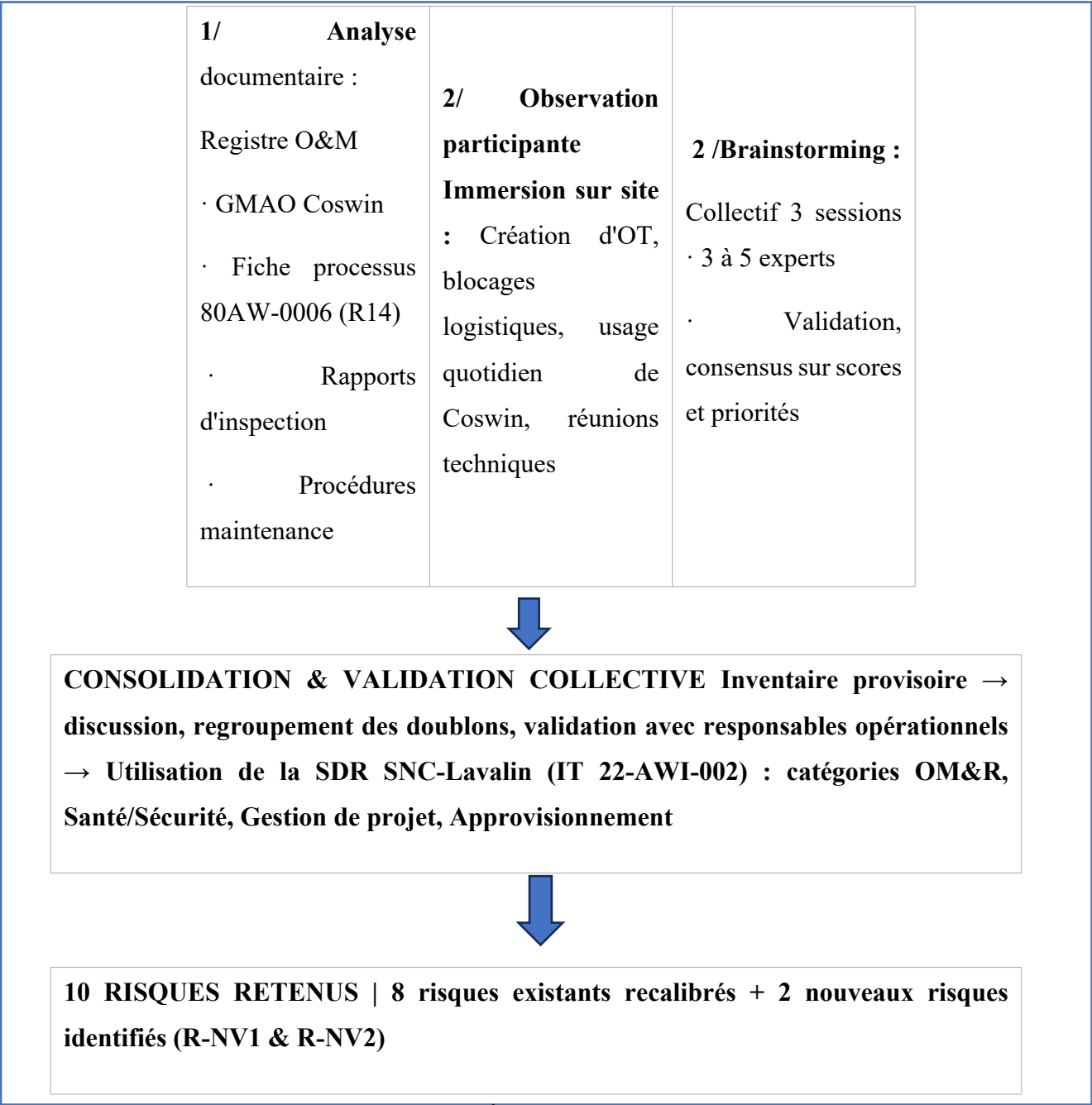
PHASE 1 : identification des risques :

Dans cette étude, la première identification des risques a reposé sur une démarche exploratoire structurée, conduite en plusieurs étapes complémentaires et successives. Conformément à la définition du risque adoptée par SNC-Lavalin, nous avons cherché à recenser tous les événements potentiels qui, s'ils se produisent, entraîneraient une déviation négative par rapport aux objectifs définis de coûts, d'échéancier et de performance technique de la maintenance de la centrale de Hadjret Ennouss.

1.1.Processus d'identification des risques :

Conformément aux exigences de l'instruction de travail de l'entreprise (IT 22-AWI-002), l'identification des risques est un processus continu et itératif qui se poursuit tout au long du cycle de vie du projet et qui comprend la revue des domaines fonctionnels et des processus critiques. Nous avons appliqué ce principe en mobilisant quatre sources complémentaires de manière successive, illustrées dans la figure ci-après.

Figure 1: Processus d'identification des risques mis en œuvre à la Centrale de Hadjret Ennousse



Source : Élaboré par nous même

La première source mobilisée a été l'analyse documentaire. Avant de rencontrer qui que ce soit sur le terrain, nous avons procédé à une lecture critique de l'ensemble des documents internes : l'AMDEC de maintenance existante, les historiques de pannes et d'interventions enregistrés dans la GMAO Coswin, les rapports d'inspection, les procédures de maintenance préventive et corrective, et surtout la fiche processus 80AW-0006 (révision 14, juin 2024) qui décrit pas à pas le flux d'exécution d'un ordre de travail de la demande d'intervention (DI) jusqu'à la clôture

de l'OT. Cette lecture préalable a servi à identifier les premiers écarts entre ce que l'AMDEC actuelle décrit et ce que les données opérationnelles réelles révèlent.

La deuxième source a été l'observation participante. Immérgé dans les activités quotidiennes de maintenance pendant notre stage, nous avons pu observer directement la façon dont les OT sont créés dans Coswin, les blocages logistiques récurrents lors de la préparation des interventions, et les ajustements informels auxquels les techniciens recourent lorsque Coswin est indisponible. Ces réalités invisibles dans les documents officiels, se sont révélées déterminantes pour identifier deux risques que le registre O&M ne couvrait pas.

La troisième source a été le brainstorming collectif. Trois sessions ont réuni entre trois et cinq experts simultanément maintenance, technique, qualité. L'IT 22-AWI-002 recommande d'ailleurs explicitement cette approche pour éviter le « syndrome de la page blanche » et garantir que les participants viennent à l'atelier avec une liste de risques crédibles préparée en amont. C'est précisément ce que nous avons fait : les entretiens individuels ont pré-peuplé le registre, et les sessions de brainstorming ont servi à valider, corriger et compléter.

La synthèse de ces trois approches a abouti à un inventaire de risques consolidé, validé en discussion avec les responsables opérationnels concernés. Au terme de ce processus collaboratif, dix risques ont été retenus huit risques existants recalibrés et deux nouveaux risques identifiés structurés selon la Structure de Découpage des Risques (SDR) de SNC-Lavalin (IT 22-AWI-002, tableau 5.1). Les catégories les plus mobilisées dans notre contexte sont : OM et R (Opérations / Maintenance), Santé et Sécurité, Approvisionnement (Équipements et fournitures) et Gestion de projet (Ressources, Contrôles de projet).

1.2. Les nouveaux risques identifier :

L'apport le plus original de cette phase d'identification est la mise en lumière de deux risques structurels absents du registre Maintenance transmis par la direction technique. Ces deux risques ne portent pas sur un équipement physique défaillant ils portent sur le processus organisationnel d'exécution de la maintenance lui-même, tel qu'il est décrit dans la fiche 80AW-0006 (R14).

Le premier nouveau risque, concerne le dysfonctionnement ou l'indisponibilité du système GMAO Coswin lors de la création, du suivi ou de la clôture de travail (OT). Le registre O&M existant aborde la fiabilité des instruments et l'obsolescence des logiciels de supervision (SCADA), mais reste muet sur Coswin lui-même alors que Coswin est explicitement cité

comme outil central dans la fiche processus 80AW-0006 aux étapes 0606, 0608, 0612 et 0614. Si Coswin est indisponible au moment où un technicien doit créer un OT, documenter un refus de DI ou clôturer une intervention, l'ensemble du processus de maintenance normalisé est paralysé. La perte de traçabilité qui en résulte compromet directement la fonction de contrôle de la qualité de l'intervention (étape 0614). En termes de classification SNC-Lavalin (document interne), ce risque relève simultanément des types FIN (Financier), SCHDL (Échéancier) et BC (Continuité des affaires).

Le second nouveau risque, concerne le retard ou l'indisponibilité du matériel et des services lors de la préparation des conditions de l'OT (étape 0609 de la fiche 80AW-0006). Lorsque le matériel nécessaire n'est pas disponible à l'heure prévue, l'ordonnancement de l'OT (étape 0612) est bloqué, l'intervention est reportée, et l'équipement critique reste indisponible plus longtemps que prévu. L'analyse par la méthode des 5 Pourquoi (développée en Phase 03) a permis d'identifier la cause racine précise : l'absence d'intégration fonctionnelle entre le module de planification des OT et le module Achats de Coswin le système ne génère pas automatiquement de demande d'achat lors de la création d'un OT nécessitant du matériel externe. Ce risque relève des types FIN, SCHDL et COM (Communauté/Client) de la classification SNC-Lavalin.

Ces deux risques ont en commun une caractéristique importante : leur caractère transversal. Contrairement à un risque de corrosion qui affecte un équipement précis, l'indisponibilité de Coswin ou le blocage logistique d'un OT peuvent simultanément paralyser plusieurs interventions en cours, démultipliant leur impact sur la disponibilité globale de la centrale.

2. Phase 02 : Priorisation des risques

Dans cette deuxième phase, centrée sur la priorisation, l'objectif a été de hiérarchiser les dix risques précédemment identifiés afin de guider de manière rationnelle les actions à entreprendre. Pour ce faire, les causes associées à chaque risque ont été préalablement examinées lors des sessions de brainstorming, ce qui a permis de mieux en cerner les mécanismes de survenue avant de procéder à leur cotation.

2.1. Grille d'évaluation et priorisation des risques

La criticité (C) a été calculée selon la formule $C = F \times G$, en retenant uniquement la fréquence d'occurrence (F) et la gravité (G), conformément à la procédure interne de gestion des risques de projet (document 22-AWI-003), qui structure l'évaluation autour de ces deux paramètres fondamentaux sans intégrer la détectabilité comme critère distinct.

Ce choix est scientifiquement fondé : la norme ISO 31000 :2018 et le PMI PMBOK® 6e édition, basent toutes deux l'évaluation du risque sur la vraisemblance et les conséquences

uniquement. Par ailleurs, plusieurs auteurs dont Pujawan et Geraldin (2009) ont démontré que ces deux dimensions suffisent à capturer l'essentiel de l'exposition au risque dans un contexte projet, la détectabilité étant davantage adaptée aux environnements industriels de fabrication où les mécanismes de détection sont objectivement mesurables.

Les intervalles de criticité associés aux combinaisons de scores sont présentés dans le tableau suivant adaptée au contexte industriel de la maintenance électrique, a été appliquée de manière systématique en collaboration avec les responsables. Elle constitue la base indispensable pour organiser les priorités d'action et anticiper les mesures de réduction à déployer.

Tableau 7: grille d'évaluation des risques selon le niveau de criticité

Intervalle C	Niveau du risque	Acceptabilité & action attendue	Fréquence de revue	Risques HEN
$1 \leq C \leq 4$	Risque acceptable (Faible)	Acceptable sans action particulière /surveillance continue uniquement	Tous les 3 mois	R-NV1
$5 \leq C \leq 9$	Risque modéré (Moyen)	Tolérable nécessite des actions préventives planifiées	Tous les 2 mois	R2 R4 R5 R6 R7 R8 R-NV2
$10 \leq C \leq 16$	Risque élevé (Indésirable)	Non acceptable/ mesures correctives prioritaires requises	Mensuelle	R1 R3
$17 \leq C \leq 25$	Risque inacceptable (Intolérable)	Non acceptable /intervention immédiate impérative	Hebdomadaire	Aucun

Source : Élaboré par nous-même et IT 22-AWI-003 SNC-Lavalin (2020)

Cette classification a été appliquée à l'ensemble des dix risques retenus. La répartition obtenue est présentée dans le tableau ci-dessous et constitue la base de référence pour la phase de traitement.

Tableau 8: Classification de l'acceptabilité des risques (Centrale HEN)

Intervalle C	Niveau	Nb risques HEN	Risques concernés
$1 \leq C \leq 4$	Acceptable	2	R-NV1 (c=4), R-NV2 (C=4)
$5 \leq C \leq 9$	Modéré	5	R2 (C=8), R5 (C=8), R6 (C=9), R7 (C=6), R8 (C=5)
$10 \leq C \leq 16$	Élevé / Indésirable	3	R1 (C=12), R3 (C=15), R4 (C=10)
$17 \leq C \leq 25$	Inacceptable	0	Aucun dans cette étude

Source : Élaboré par nous-même d'après l'AMDEC révisée

L'analyse de cette classification appelle plusieurs observations. En premier lieu, aucun risque n'atteint le seuil inacceptable ($C > 17$), ce qui témoigne d'une organisation de maintenance qui, malgré ses lacunes documentées, dispose de barrières élémentaires fonctionnelles. En second lieu, trois risques sur dix se situent dans la zone élevée ($10 \leq C \leq 16$) : R1 ($C = 12$), R3 ($C = 15$) et R4 ($C = 10$), ce qui signifie que ces défaillances exigent des mesures correctives prioritaires et ne peuvent pas être simplement surveillées. Cinq risques se trouvent en zone modérée ($5 \leq C \leq 9$) : R2 ($C = 8$), R5 ($C = 8$), R6 ($C = 9$), R7 ($C = 6$) et R8 ($C = 5$) nécessitant des actions préventives planifiées. Enfin, deux risques seulement atteignent la zone acceptable : R-NV1 et R-NV2 ($C = 4$ chacun), confirmant qu'ils requièrent uniquement une surveillance continue.

Il est important de souligner les deux risques les plus significatifs issus de l'analyse. Le risque R3 (manquement dans la gestion des routines préventives, $C = 15$) présente le score le plus élevé de tous les risques analysés. Ce résultat confirme que le non-alignement du plan préventif avec les préconisations fournisseurs et l'absence d'audit périodique des OT génèrent un niveau de criticité critique, non reflété dans l'AMDEC d'origine. Le risque R1 (défaillance et indisponibilité des équipements critiques, $C = 12$) illustre quant à lui l'impact direct du manque

d'entretien préventif et de l'absence de liste d'équipements critiques, dont les conséquences se traduisent par des pertes de production et une insatisfaction client documentée.

3. Phase 03 : traitement des risques

Au cours de cette troisième phase, axée sur l'élaboration des mesures de maîtrise, nous avons collaboré étroitement avec les responsables opérationnels et les experts impliqués afin de formuler, pour chaque risque priorisé, les mesures de traitement les plus adaptées. Conformément à la définition de l'instruction SNC-Lavalin, le traitement des risques désigne toutes les mesures ou actions qu'une organisation peut prendre afin de modifier l'issue d'un risque, soit en limitant sa conséquence ou son impact, soit en réduisant sa probabilité d'occurrence, ou les deux.

Dans ce cadre, une analyse approfondie des causes a été réalisée en mobilisant le diagramme d'Ishikawa (5M), complété par la méthode des 5 Pourquoi. Cette démarche a servi de base pour proposer des actions correctives et préventives pertinentes, cohérentes avec le contexte opérationnel et directement applicables au sein du processus de maintenance.

3.1. L'analyse causale par le diagramme d'Ishikawa (5M)

Pour chacun des deux risques identifiés, nous avons appliqué le diagramme d'Ishikawa, en structurant les causes potentielles selon les cinq familles des 5M. Chaque cause a été ancrée dans les dispositions des documents internes du site, garantissant la cohérence avec le référentiel en vigueur et la faisabilité opérationnelle des actions correctives qui en découlent.

- **Risque NV n°1 : Dysfonctionnement ou indisponibilité du système GMAO (Coswin) :**

Tableau 9: Analyse Ishikawa (5M) : Risque nv n1 / Indisponibilité GMAO Coswin

Famille (5M)	Cause identifiée	Manifestation dans le processus 80AW-0006
Matière	Infrastructure matérielle vétuste : serveurs et postes dédiés à Coswin présentant un état de vieillissement avancé, sans plan de renouvellement formalisé.	Le processus 80AW-0006 ne classe pas les équipements informatiques comme équipements critiques. Une panne de cette infrastructure rend impossible la création ou la

Famille (5M)	Cause identifiée	Manifestation dans le processus 80AW-0006
		fermeture d'OT aux étapes 0606 et 0614.
Méthode	Absence de procédure de fonctionnement dégradé : aucun mode opératoire papier n'est prévu en cas d'indisponibilité de Coswin.	La totalité du processus 80AW-0006 repose sur Coswin (étapes 0603, 0606, 0614). Aucune alternative n'est documentée, ce qui bloque l'ensemble du flux de travail.
Main-d'œuvre	Concentration des compétences Coswin sur un nombre restreint d'utilisateurs, sans transfert formalisé ni polyvalence organisée.	En l'absence du référent GMAO, le processus est bloqué. Le document interne 1-RM-APO-001 identifie ce type de vulnérabilité comme un risque organisationnel à traiter.
Milieu	Conditions climatiques du site (chaleur, humidité côtière, fluctuations électriques) accélérant la dégradation des équipements hébergeant Coswin.	La salle serveur ne dispose pas d'onduleurs adaptés ni de climatisation dédiée une lacune identifiée lors de l'observation participante sur site, non couverte dans le registre existant (22-AWI-003).
Matériel (logiciel)	Logiciel Coswin non mis à jour de façon systématique ; abonnement de maintenance annuel non renouvelé régulièrement ; risques d'incompatibilité logicielle.	Les dysfonctionnements logiciels génèrent des bugs non corrigés affectant la fiabilité de la GMAO en tant que support central du processus de maintenance

Source : Élaboré par nous-même d'après Ishikawa (1962), Gillet-Goïnard & Seno (2019) et les documents internes SNC-Lavalin

- **Risque NV n°2 : Retard ou indisponibilité du matériel et des services (étape 0609) :**

Tableau 10: Analyse Ishikawa (5M) : Risque nv n°2 / Indisponibilité matériel/services (étape 0609)

Famille (5M)	Cause identifiée	Manifestation dans le processus 80AW-0006
Matière	Pièces de rechange (PDR) critiques absentes du stock au moment de la demande d'intervention ; consommables non réapprovisionnés.	Aucun stock minimum de sécurité n'est défini dans Coswin pour les équipements critiques. Les commandes sont passées au besoin, sans anticipation du planning (80AW-0006, étape 0610).
Méthode	Processus d'approvisionnement (80AW-0010) non synchronisé avec le planning de maintenance ; délais de commande incompatibles avec l'urgence des interventions.	L'étape 0609 (préparation des conditions de l'OT) est bloquée en attente de livraison, empêchant le déclenchement de l'ordonnancement à l'étape 0612.
Main-d'œuvre	Le responsable approvisionnement n'est pas impliqué en amont dans la lecture des OT planifiés ; communication tardive entre planification maintenance et service achats.	L'absence d'un propriétaire de risque clairement désigné pour cette interface est contraire aux exigences de la politique interne 1-RM-APO-001 (§6), validée lors des entretiens semi-directifs.
Milieu	Fournisseurs uniques pour certaines PDR critiques ; marché local limité ; délais d'importation longs, notamment depuis l'étranger.	Rupture prolongée en cas de défaillance du fournisseur unique, sans alternative référencée. Ce risque correspond à la catégorie 7 (Approvisionnement) de la SDR (22-AWI-002, Tableau 5.1).

Famille (5M)	Cause identifiée	Manifestation dans le processus 80AW-0006
Matériel	Outillage spécialisé indisponible ou hors service au moment de l'intervention ; matériel de levage ou de mesure absent du site.	Report de l'intervention faute d'outillage adapté (étape 0610). Recours non planifié à la sous-traitance, générant des surcoûts — classé à gravité élevée selon la matrice 5×5 (22-AWI-003, §5.4).

Source : Élaboré par nous-même d'après Ishikawa (1962), Gillet-Goinard & Seno (2019) et les documents internes SNC-Lavalin

3.2.Remontée à la cause racine par la méthode es 5 Pourquoi :

À partir des familles de causes structurées par l'Ishikawa, nous avons appliqué la méthode des 5 Pourquoi pour remonter à la cause fondamentale de chaque risque celle sur laquelle une action corrective durable est possible. Conformément à la démarche décrite par Liker (2004) et mobilisée dans ma méthodologie, chaque niveau de réponse a été validé en lien avec les prescriptions des documents internes, transformant ainsi l'analyse causale en levier d'action directement opérationnel.

- **Risque NV n°1 : Dysfonctionnement ou indisponibilité du système GMAO (Coswin) :**

Tableau 11: Méthode des 5 Pourquoi : Risque n°1 NV/Indisponibilité GMAO Coswin

Étape	Question posée	Réponse obtenue / ancrage documentaire
Pourquoi 1	Pourquoi Coswin est-il indisponible lors de la création ou de la fermeture des OT ?	Parce que le serveur local hébergeant Coswin tombe en panne de façon non anticipée.
Pourquoi 2	Pourquoi le serveur tombe-t-il en panne sans que cela soit anticipé ?	Parce qu'aucune maintenance préventive du matériel informatique n'est planifiée dans le plan de maintenance annuel du site.

Pourquoi 3	Pourquoi la maintenance de ce matériel informatique n'est-elle pas planifiée ?	Parce que le processus 80AW-0006 ne prévoit pas les infrastructures SI comme équipements critiques devant faire l'objet d'OT préventifs.
Pourquoi 4	Pourquoi ces infrastructures sont-elles absentes du périmètre de maintenance critique ?	Parce qu'aucun propriétaire de risque n'est désigné pour ce domaine dans la matrice RACI, contrairement aux exigences de 1-RM-APO-001 (§6).
Pourquoi 5	Pourquoi n'y a-t-il pas de propriétaire de risque désigné pour les infrastructures SI ?	Parce que ce risque n'a pas été identifié lors de l'élaboration initiale de l'AMDEC, bien que l'instruction 22-AWI-002 prescrive une identification exhaustive de tous les risques touchant les processus critiques.
Cause racine		Absence d'identification du risque GMAO dans l'AMDEC initiale → absence de propriétaire de risque SI désigné → absence de toute action préventive planifiée, en contradiction avec l'instruction 22-AWI-002.

Source : Élaboré nous-même d'après Liker (2004), Gillet-Goinard & Seno (2019) et les documents internes SNC-Lavalin

- **Risque NV n°2 : Retard ou indisponibilité du matériel et des services (étape**

Tableau 12: Méthode des 5 Pourquoi : Risque NV n°2 /Indisponibilité matériel/services (étape 0609)

Étape	Question posée	Réponse obtenue / ancrage documentaire
Pourquoi 1	Pourquoi les matériaux et services sont-ils indisponibles lors de la préparation de l'OT (étape 0609) ?	Parce que les PDR critiques ne sont pas disponibles en stock au moment de la demande d'intervention.
Pourquoi 2	Pourquoi les PDR ne sont-elles pas disponibles en stock ?	Parce qu'aucun stock minimum de sécurité n'est défini dans Coswin pour

		les équipements critiques (80AW-0006, étape 0610).
Pourquoi 3	Pourquoi le stock minimum de sécurité n'est-il pas défini ?	Parce que le plan de maintenance annuel n'est pas transmis au service achats (80AW-0010) pour permettre l'anticipation des besoins.
Pourquoi 4	Pourquoi le plan de maintenance n'est-il pas transmis au service achats ?	Parce que l'interface entre les processus 80AW-0006 (maintenance) et 80AW-0010 (achats) n'est pas formalisée dans les procédures internes.
Pourquoi 5	Pourquoi cette interface n'est-elle pas formalisée ?	Parce que ce risque de rupture de coordination inter-processus n'a pas été identifié lors de l'élaboration initiale de l'AMDEC, bien que l'instruction 22-AWI-002 (§5.2) prescrive l'identification des risques couvrant les interdépendances entre processus.
Cause racine		Absence d'interface formalisée entre maintenance et achats → rupture de coordination systématique → indisponibilité des PDR lors des interventions, non couverte par l'AMDEC initiale, en contradiction avec l'instruction 22-AWI-002.

Source : Élaboré par nous-même d'après Liker (2004), Gillet-Goinard & Seno (2019) et les documents internes SNC-Lavalin

3.3. Plan d'action corrective et préventives :

Sur la base des analyses d'Ishikawa et des 5 Pourquoi, dix actions correctives et préventives ont été définies (annexe). Chaque action est associée à un responsable désigné, Ce plan constitue la traduction opérationnelle de l'AMDEC révisée.

Tableau 13: Plan d'actions : Mesures correctives et préventives issues de l'AMDEC révisée

Risque ciblé	Action corrective / préventive	Responsable
Risque - NV1	Adaptation de nombre de poste selon le volume de travail Suivi mise à jour, avec renouvellement de l'abonnement annuellement, Assurer l'adéquation des paramètres système des postes de travail aux versions de logicielle	Responsable maintenance Responsable. IT
Risque- NV2	Revue de Plan de maintenance annuel intégrer dans l'outil Planification des interventions selon condition d'exploitation (Etablissement de convention avec les fournisseurs de la PDR essentielle	Responsable. Maintenance+ GMAO Responsable approvisionnement

Source : Elaborer par moi-même

Les actions correctives proposées dans le tableau ci-dessus ne résultent pas uniquement d'une démarche théorique. Elles ont été construites et validées à partir de deux sources de données opérationnelles extraites directement des systèmes de gestion de maintenance informatisée (GMAO) de la centrale de Hadjret Ennousse, à savoir COSWIN et le module de planification de la GMAO (Annex)

4. Phase 04 : Suivi des risques

La quatrième phase d'une démarche AMDEC est consacrée au suivi des actions correctives et préventives définies lors de la phase précédente, ainsi qu'à la réévaluation périodique de la criticité des risques après leur mise en œuvre. Cette phase est celle qui transforme le travail analytique accompli en amélioration concrète et mesurable : sans elle, l'AMDEC révisée risquerait de connaître le même destin que son prédécesseur, celui d'un document produit avec soin puis progressivement abandonné au profit de pratiques informelles.

Dans le cadre de ce mémoire, la contrainte de la durée de stage n'a pas permis de conduire cette phase à long terme. Les trois premières phases ont été menées à terme avec rigueur

(identification des modes de défaillance, calcul de la criticité selon la formule $C = F \times G$ conformément au référentiel interne SNC-Lavalin (22-AWI-003), et élaboration du plan d'actions) mais le temps disponible n'a pas été suffisant pour observer la mise en application effective des mesures définies, ni pour recueillir les données nécessaires à une réévaluation des scores de Fréquence et de Gravité. La présente phase expose donc, de manière structurée, la démarche de suivi qui devra être conduite par les équipes de SNC-Lavalin Algérie une fois les actions du plan engagées.

4.1.Cadre du suivi recommandé : synthèse des entretiens et recommandations opérationnelles

Les entretiens semi-directifs conduits avec les acteurs clés (Directeur Maintenance, Coordonnateur QA/QC, Responsable Technique et Techniciens Terrain Seniors) ont permis de dégager quatre axes de suivi prioritaires, directement ancrés dans la réalité opérationnelle de la centrale.

a) Dynamisation de l'outil et fréquence de révision

Le premier constat qui ressort de l'ensemble des entretiens est unanime : l'AMDEC est perçue, à tous les niveaux de la centrale, comme un document statique déconnecté de l'activité quotidienne. Le Directeur Maintenance est explicite à ce sujet : « *L'AMDEC actuelle est plutôt considérée comme un document de référence. Elle est consultée ponctuellement lors des analyses ou des audits, mais reste peu utilisée comme un outil opérationnel au quotidien* ». Le Coordonnateur QA/QC confirme ce constat en précisant que « *son intégration dans les activités journalières (maintenance, exploitation) reste limitée* ». Le Responsable Technique ajoute que « *les équipes terrain s'appuient plus sur leur expérience et les historiques de maintenance que sur l'AMDEC* ».

Pour rompre avec cette inertie, il est recommandé d'instaurer une révision annuelle minimale, doublée de mises à jour déclenchées par des événements critiques tels qu'un incident majeur, une modification d'équipement ou un changement organisationnel. Cette orientation est directement fondée sur la position du Coordonnateur QA/QC : « *une revue annuelle minimum est nécessaire, avec des mises à jour ponctuelles en cas d'événements significatifs* ». Tout écart constaté entre les scores de Fréquence ou de Gravité initialement attribués et la réalité observée sur le terrain doit entraîner une recotation collective et documentée, dans le respect de la grille $C = F \times G$ validée avec les experts.

b) Digitalisation et exploitation systématique des données GMAO

Le deuxième axe porte sur la déconnexion documentée entre l'AMDEC et le système de gestion de maintenance informatisée Coswin. Le Coordonnateur QA/QC est particulièrement précis sur ce point : « *Le croisement entre les données GMAO et les cotations de l'AMDEC n'est pas systématique. Les principaux obstacles sont l'absence d'un processus formalisé, des difficultés d'exploitation des données GMAO et le manque de temps et d'outils analytiques adaptés* ». Il déplore également « *l'absence de lien avec les données réelles de la GMAO* » comme l'une des lacunes les plus persistantes du document.

Cette déconnexion est d'autant plus préoccupante que le vieillissement des équipements depuis 2009 génère des modes de défaillance nouveaux que seules les données historiques de Coswin permettent de documenter objectivement. Le Responsable Technique l'atteste : « *Le vieillissement a introduit des phénomènes tels que la fatigue des matériaux, la corrosion accrue ou encore des dégradations progressives des performances, qui n'étaient pas pleinement intégrés dans l'analyse initiale* ». Le Directeur Maintenance confirme que « *le vieillissement a généré de nouveaux modes de défaillance tels que la fatigue des composants, l'usure accélérée et l'obsolescence de certains équipements, qui n'étaient pas initialement pris en compte* ».

Il est donc recommandé que chaque révision des scores de Fréquence s'appuie systématiquement sur les historiques de pannes extraits de Coswin plutôt que sur le seul jugement expert. Comme le suggère le Responsable Technique : « *l'intégration des données historiques de maintenance et la digitalisation de l'AMDEC pour en faire un outil dynamique sont des éléments clés pour assurer son efficacité* ».

c) Formalisation du transfert de connaissances et des retours d'expérience

Le troisième axe concerne la perte de savoirs tacites, identifiée comme un risque organisationnel majeur par l'ensemble des interlocuteurs. Le Technicien Terrain Senior est sans ambiguïté : « *Le transfert reste limité et souvent informel. Il dépend de la bonne volonté des individus et manque de structuration formelle* ». Le Directeur Maintenance reconnaît lui-même cette fragilité : « *Le transfert se fait principalement par compagnonnage et échanges informels. Toutefois, il manque une formalisation structurée, ce qui entraîne un risque de perte de connaissances* ». Le Coordonnateur QA/QC ajoute qu'« *il manque une capitalisation structurée de type RETEX* », et le Responsable Technique confirme que « *le transfert de connaissances reste perfectible. Il repose souvent sur des périodes de recouvrement et des échanges informels, sans formalisation systématique ni capitalisation efficace des savoirs* ».

Le suivi de l'AMDEC doit donc inclure la mise en place de fiches de Retour d'Expérience (RETEX) pour chaque défaillance survenant sur un équipement couvert. Ces fiches permettent d'alimenter les scores de Fréquence avec des données réelles et de documenter l'évolution des modes de défaillance dans le temps. Le Coordonnateur QA/QC formule à cet égard plusieurs pistes concrètes : *« formaliser un processus clair de mise à jour, digitaliser l'AMDEC et la connecter à la GMAO, impliquer davantage le terrain, mettre en place des indicateurs de suivi et assurer une animation continue de la démarche »*.

d) Implication continue des acteurs de terrain

Le quatrième et dernier axe porte sur la participation des techniciens terrain aux processus de révision et de suivi de l'AMDEC. Les entretiens révèlent un décalage structurel entre l'importance reconnue de leur expertise et leur degré réel d'implication. Le Technicien Terrain Senior est explicite : *« Les techniciens terrain, les ingénieurs maintenance et les responsables exploitation devraient être impliqués. Actuellement, les techniciens ne sont pas suffisamment consultés »*. Il souligne également que *« les retours terrain sont parfois informels et ne sont pas systématiquement intégrés dans les documents officiels »*. Le Directeur Maintenance partage ce constat : *« Les techniciens terrain sont parfois insuffisamment impliqués malgré leur expertise essentielle »*. Le Responsable Technique abonde dans ce sens : *« Les techniciens terrain sont parfois insuffisamment impliqués alors qu'ils disposent d'un retour d'expérience essentiel »*.

Cette sous-implication a des conséquences directes sur la qualité des cotations. Des défaillances récurrentes, bien connues sur le terrain mais absentes de l'AMDEC, en sont la manifestation la plus tangible : le Technicien Terrain Senior cite notamment *« des problèmes liés aux capteurs, aux vannes de régulation et à certains systèmes auxiliaires »*.

Les sessions de validation collective doivent donc être institutionnalisées avec la participation obligatoire des techniciens seniors, pour que chaque révision des scores de Fréquence et de Gravité soit à la fois rigoureuse et enracinée dans la réalité du site. Le Technicien Terrain Senior formule à cet égard une recommandation centrale : *« l'importance de digitaliser les retours terrain et de mettre en place un système structuré de mise à jour continue de l'AMDEC afin de refléter fidèlement la réalité opérationnelle »*.

Bien que cette quatrième phase n'ait pas pu être conduite empiriquement dans le cadre de ce mémoire, sa description méthodologique nourrie par les témoignages directs des cadres et techniciens de la centrale et ancrée dans le référentiel interne de l'entreprise constitue un apport concret à la démarche engagée. Le cadre de suivi décrit ici, fondé sur la révision périodique des

scores de Fréquence et de Gravité, l'exploitation systématique des données Coswin, la formalisation des RETEX et l'implication structurée des techniciens terrain, est le maillon qui transformera ce travail en amélioration réelle et durable.

Les résultats obtenus au terme des trois phases empiriques conduites permettent de dresser plusieurs constats structurants.

La phase d'identification a révélé que sur les dix risques retenus dans le registre révisé, deux n'existaient pas dans la version initiale de l'AMDEC : le risque d'indisponibilité du système GMAO Coswin (R-NV1) et le risque de retard ou d'indisponibilité du matériel lors de la préparation des ordres de travail (R-NV2). Ces deux risques présentent un caractère transversal particulièrement préoccupant : contrairement à une défaillance localisée sur un équipement précis, leur survenue est susceptible de paralyser simultanément plusieurs interventions en cours, démultipliant leur impact sur la disponibilité globale de la centrale. Leur identification constitue l'apport empirique le plus original de cette étude.

La phase de priorisation a établi qu'aucun des dix risques n'atteignait le seuil inacceptable ($C > 17$), témoignant d'une organisation de maintenance qui, malgré ses lacunes documentées, dispose de barrières élémentaires fonctionnelles. Trois risques se situent cependant en zone élevée ($10 \leq C \leq 16$) : le risque R3 (manquement dans la gestion des routines préventives) présente le score le plus élevé ($C = 15$), résultat qui confirme que le non-alignement du plan préventif avec les préconisations fournisseurs constitue la vulnérabilité la plus critique du dispositif actuel. Le risque R1 (défaillance et indisponibilité des équipements critiques) obtient un score $C = 12$, illustrant l'impact direct du manque d'entretien préventif sur la continuité de service.

La phase de traitement a permis, grâce à la combinaison du diagramme d'Ishikawa (5M) et de la méthode des 5 Pourquoi, de remonter aux causes racines de chaque risque. Pour R-NV1, la cause racine identifiée est l'absence de désignation d'un propriétaire de risque pour les infrastructures du système d'information, en contradiction avec l'instruction interne 22-AWI-002. Pour R-NV2, c'est l'absence d'interface formalisée entre le processus de maintenance (80AW-0006) et le processus achats (80AW-0010) qui génère une rupture de coordination systématique. Ces causes racines organisationnelles, invisibles dans la version initiale de l'AMDEC, ne pouvaient être identifiées que par une démarche qualitative immersive combinant entretiens semi-directifs, observation participante et brainstorming collectif.

Section 02 : Discussion

Ce mémoire avait pour objectif principal de réviser l'AMDEC de maintenance de la Centrale Électrique de Hadjret Ennouss, exploitée par SNC-Lavalin Algérie, afin de recalibrer les scores de criticité existants, d'identifier les défaillances émergentes non couvertes, et de renforcer la pertinence opérationnelle de cet outil dans une logique de maintenance basée sur les risques. Cette révision s'inscrit dans un contexte de vieillissement des équipements depuis 2009 et d'accumulation de retours d'expérience terrain insuffisamment capitalisés dans la version initiale du document.

1. Comparaison avec d'autres chercheurs

Les résultats obtenus confirment plusieurs conclusions issues de la littérature académique récente, tout en apportant des nuances contextuelles propres au secteur de l'énergie électrique en Algérie.

La prédominance des causes organisationnelles dans les défaillances identifiées rejoint directement les conclusions de Patriarca et al. (2022), qui démontrent dans *Safety Science* que les accidents et défaillances majeures résultent rarement d'une seule cause technique, mais d'un alignement entre pannes mécaniques, erreurs humaines et dysfonctionnements organisationnels. Notre étude confirme empiriquement ce constat : les deux nouveaux risques identifiés (R-NV1 et R-NV2) sont exclusivement d'ordre organisationnel et processuel, non technique.

La déconnexion entre l'AMDEC et les outils opérationnels quotidiens, notamment la GMAO, corrobore les travaux de Filz et al. (2021), qui préconisent précisément l'intégration des données GMAO dans la démarche AMDEC pour en renforcer la robustesse. La présente étude offre un exemple concret de cette déconnexion : Coswin est l'outil central du processus de maintenance (fiche 80AW-0006), mais n'apparaît à aucun endroit dans l'AMDEC initiale comme équipement ou processus à risque. Ce constat rejoint également l'alerte d'Aven (2023), qui souligne qu'un document AMDEC non actualisé peut induire un faux sentiment de maîtrise des risques, c'est précisément l'état dans lequel se trouvait l'AMDEC de la centrale avant cette révision.

La subjectivité inter-experts dans l'attribution des scores, documentée empiriquement par Huang et al. (2021) dans *Computers & Industrial Engineering*, a été observée dans notre contexte lors des premières sessions de brainstorming, où les évaluations de Fréquence et de Gravité pour un même risque variaient significativement selon les interlocuteurs (maintenance, qualité, terrain). L'adoption d'une grille harmonisée et la conduite de sessions collectives de

validation ont permis de réduire cette dispersion, conformément aux recommandations de ces auteurs.

En revanche, notre étude diverge partiellement du modèle de Liu et al. (2019), qui préconise une AMDEC fondée sur trois paramètres (O, G, D). Conformément au référentiel interne SNC-Lavalin (document 22-AWI-003), nous avons retenu une formule binaire $C = F \times G$, excluant la détectabilité comme critère distinct. Ce choix, justifié par l'alignement sur les pratiques de l'organisation, constitue une adaptation contextuelle cohérente avec les recommandations de Shetwan et al. (2025), qui rappellent que les normes sectorielles doivent être adaptées au contexte opérationnel propre à chaque organisation.

2. Limites rencontrées

Cette étude comporte plusieurs limites qu'il convient d'énoncer avec honnêteté pour garantir la rigueur scientifique des conclusions avancées.

La première est temporelle. La durée du stage n'a pas permis de conduire empiriquement la quatrième phase du suivi des actions correctives et la réévaluation des scores après mise en œuvre du plan d'actions. Le caractère "vivant" de l'AMDEC, préconisé par la norme *IEC 60812*, :2018) et par Aven(2023), n'a donc pas pu être expérimenté sur la durée. Les scores de Fréquence et de Gravité révisés restent des estimations fondées sur les entretiens et les données GMAO disponibles, non sur des observations longitudinales.

La deuxième est liée à la taille de l'échantillon. Cinq entretiens individuels et trois sessions de brainstorming constituent un corpus suffisant pour une étude qualitative à visée inductive (la saturation thématique ayant été atteinte dès le quatrième entretien), mais ne permettent pas de généralisation statistique. Les résultats sont représentatifs de la centrale de Hadjret Ennouss, pas nécessairement de l'ensemble du parc SNC-Lavalin Algérie ou du secteur de l'énergie électrique en Algérie.

Enfin, la logique floue préconisée par Testik (2023) pour mieux traiter l'incertitude dans l'attribution des scores n'a pas été intégrée à cette étude, par souci de compatibilité avec les outils et pratiques en vigueur chez SNC-Lavalin. Son adoption constituerait un enrichissement méthodologique pertinent pour les révisions futures.

3. Perspectives

À partir des résultats obtenus et des limites identifiées, plusieurs recommandations peuvent être formulées à l'attention des équipes de SNC-Lavalin Algérie et, plus généralement, à l'attention de tout praticien ou chercheur souhaitant s'engager dans une démarche similaire.

La conduite empirique de la phase de suivi, une fois les actions correctives du plan d'actions engagées par les équipes de SNC-Lavalin Algérie, permettra de valider ou d'ajuster les scores de Fréquence et de Gravité attribués dans cette révision. La confrontation entre les prévisions de l'AMDEC révisée et les défaillances effectivement observées sur une période de douze à vingt-quatre mois constitue la suite logique et nécessaire de ce travail.

L'adoption de la logique floue Testik(2023) ou de méthodes multicritères complémentaires Seiti et al. (2021) pour traiter l'incertitude épistémique dans l'attribution des scores constituerait un enrichissement méthodologique important, particulièrement pertinent pour les équipements dont l'historique de défaillances est insuffisamment documenté dans Coswin.

La démarche de révision conduite à la Centrale de Hadjret Ennouss a permis de produire un registre de risques substantiellement plus fidèle à la réalité opérationnelle que l'AMDEC initiale de 2009. Les quatre phases menées successivement ont démontré que l'écart entre le document existant et les conditions réelles d'exploitation était significatif : des scores de criticité sous-estimés, des modes de défaillance non couverts, et deux risques organisationnels majeurs totalement absents de la version initiale. La triangulation des sources (analyse documentaire, historiques GMAO, entretiens semi-directifs et observation participante) a constitué la force méthodologique centrale de cette révision, en permettant de faire remonter un savoir tacite que quinze ans d'exploitation avaient accumulé mais jamais formalisé. La confrontation des résultats avec la littérature scientifique a confirmé la robustesse de la démarche adoptée, tout en soulignant que la durabilité de l'AMDEC révisée dépend moins de la qualité du document produit que de la mise en place d'un dispositif institutionnalisé

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif central des entreprises du secteur de l'énergie électrique est d'assurer une disponibilité maximale de leurs équipements tout en garantissant la sécurité des installations et la satisfaction de l'ensemble des parties prenantes. Pour y parvenir, elles doivent s'appuyer sur des outils d'analyse des risques fiables, régulièrement mis à jour et pleinement intégrés dans leur stratégie de maintenance. L'AMDEC Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité constitue précisément cet outil central. Encore faut-il que ce document vivant soit réellement maintenu en vie, c'est-à-dire révisé périodiquement, ancré dans la réalité opérationnelle et partagé entre les équipes qui en font usage au quotidien.

C'est dans cette perspective que ce travail de fin d'études s'est intéressé au cas de SNC-Lavalin Algérie et à la Centrale Électrique de Hadjret Ennouss, cherchant à comprendre dans quelle mesure le processus de révision de l'AMDEC y est effectivement structuré et de quelle manière il s'articule avec les pratiques de maintenance en place. La démarche adoptée a été structurée en trois chapitres complémentaires, chacun apportant une contribution spécifique à la construction de la réponse.

Le premier chapitre a posé les bases théoriques et conceptuelles indispensables à toute démarche de révision d'AMDEC. À travers une revue de littérature approfondie, il a été établi que la révision de l'AMDEC n'est pas un acte ponctuel mais un processus structuré, cyclique et conditionné par des déclencheurs précis : vieillissement des équipements, accumulation de données de maintenance, incidents terrain et évolutions organisationnelles. Le cadre conceptuel développé a permis d'articuler de manière cohérente les notions de risque industriel, de maintenance basée sur les risques, de méthode AMDEC dans ses dimensions classiques et évolutives, dans un cadre ancré dans les spécificités du secteur électrique.

Le deuxième chapitre a exposé le positionnement épistémologique interprétatif et inductif retenu pour cette recherche, ainsi que la démarche qualitative déployée. L'approche multiméthodes analyse documentaire, observation participante, entretiens semi-directifs avec les experts techniques des Départements Qualité et Maintenance, et sessions de brainstorming collectif a permis de collecter des données riches et contextualisées, directement issues de la réalité opérationnelle de la centrale. Ce chapitre a également mis en évidence les caractéristiques propres de SNC-Lavalin vieillissement du parc, dispersion des équipes, pression sur les budgets de maintenance qui ont justifié et orienté la démarche de révision adoptée.

Le troisième chapitre a constitué le cœur empirique de ce mémoire. La révision de l'AMDEC existante a été conduite en plusieurs étapes successives : audit critique du document de référence, recalibration des scores de criticité sur la base des historiques de maintenance accumulés depuis 2009, identification des modes de défaillance émergents non couverts, et construction de diagrammes Bow-Tie pour les équipements identifiés comme les plus critiques. L'ensemble du processus a été structuré dans un support Excel permettant une gestion dynamique, traçable et partageable de l'AMDEC révisée. Un plan d'action priorisé, élaboré et validé en concertation avec les experts de la centrale, a finalement été proposé pour orienter concrètement les décisions de maintenance à court et moyen terme.

Apports de la recherche

Ce travail a permis de mettre en évidence plusieurs résultats significatifs, tant sur le plan technique qu'organisationnel. Sur le plan technique, la révision de l'AMDEC a révélé des décalages importants entre les scores de criticité historiques et la réalité opérationnelle actuelle, particulièrement marqués sur les équipements ayant atteint ou dépassé leur durée de vie nominale. Plusieurs modes de défaillance émergents, absents de l'AMDEC initiale, ont été identifiés, documentés et intégrés dans le document révisé, contribuant à une représentation plus fidèle et plus complète du profil de risque réel de la centrale.

Sur le plan organisationnel, la démarche a mis en lumière des dysfonctionnements structurels : manque de standardisation des grilles d'évaluation, insuffisance de la capitalisation des retours d'expérience, variabilité inter-experts dans l'attribution des scores qui constituent des facteurs de risque latents aussi préoccupants que les défaillances techniques elles-mêmes. Ces constats soulignent que la performance d'une démarche AMDEC ne dépend pas uniquement de la rigueur de son contenu technique, mais aussi de la qualité du système organisationnel qui la porte et la fait vivre.

Sur le plan méthodologique, ce travail confirme l'intérêt et la complémentarité d'associer l'AMDEC au diagramme Bow-Tie pour approfondir l'analyse des causes profondes et des barrières de protection, et d'utiliser Excel comme support structurant pour faciliter la mise à jour, la traçabilité et le partage du document entre les équipes. Cette approche hybride enrichit significativement la démarche AMDEC classique et renforce son opérationnalité dans le contexte de grandes structures d'ingénierie industrielle.

Sur le plan personnel, la réalisation de ce mémoire nous a permis de consolider les connaissances acquises durant notre formation en Management par la Qualité à l'École

Nationale Supérieure de Management, et de développer des compétences pratiques concrètes en matière d'analyse des risques industriels, de conduite d'entretiens experts et d'animation de groupes de travail pluridisciplinaires.

Limites de la recherche

Tout travail de recherche comporte des limites qui en circonscrivent la portée et qu'il convient d'assumer avec honnêteté. Plusieurs contraintes ont encadré cette étude. La confidentialité de certaines données opérationnelles et l'accès partiel aux historiques complets de maintenance ont limité l'exhaustivité de la recalibration des scores de criticité, certaines défaillances ne pouvant être documentées qu'à partir de témoignages d'experts et non de données chiffrées complètes. La contrainte temporelle inhérente à la période de stage n'a pas permis de suivre la mise en œuvre effective du plan d'action proposé ni d'en mesurer l'impact réel sur les indicateurs de performance de maintenance. Enfin, la démarche a été conduite sur un périmètre d'équipements ciblés ; une extension à l'ensemble du parc de la centrale constituerait une étape naturelle et nécessaire de généralisation.

Recommandations et perspectives

Sur la base de ces résultats et de ces limites, plusieurs recommandations peuvent être formulées. À court terme, il serait souhaitable que le plan d'action proposé soit mis en œuvre de manière priorisée et que son impact sur les indicateurs de performance taux de disponibilité, fréquence des arrêts non planifiés, coûts de maintenance soit suivi et mesuré rigoureusement. Cette étape permettrait de valider empiriquement la valeur ajoutée de l'AMDEC révisée et d'en démontrer le retour sur investissement aux décideurs de SNC-Lavalin.

À moyen terme, la démarche de révision devrait être étendue à l'ensemble des équipements de la Centrale de Hadjret Ennouss et institutionnalisée sous la forme d'un cycle de révision périodique formalisé dans le système de management de la qualité de l'entreprise. Cette institutionnalisation garantirait que l'AMDEC ne soit plus un document figé mais un outil véritablement vivant, actualisé au rythme des évolutions opérationnelles.

À plus long terme, l'intégration de techniques issues de l'intelligence artificielle et des systèmes de Pronostics and Health Management (PHM), telle que préconisée par Hu et al. (2022) et Vita et al. (2023), ouvre des perspectives prometteuses pour automatiser partiellement la surveillance des paramètres de criticité et rendre la révision de l'AMDEC plus continue, plus réactive et moins dépendante des cycles d'audit périodiques.

Plus largement, ce travail s'inscrit dans une réflexion plus vaste sur le rôle de l'assurance qualité dans la gestion des risques de maintenance des industries d'infrastructure critiques en Algérie. Il illustre de manière concrète que la performance industrielle n'est pas seulement le produit de technologies performantes ou d'équipements modernes : elle est aussi, et peut-être surtout, le résultat d'une culture de rigueur méthodologique, de capitalisation du savoir et d'amélioration continue. Comme son nom l'indique, l'amélioration continue ne s'arrête jamais ; elle se construit, se documente et se renforce au fil du temps à condition que les outils qui la soutiennent, dont l'AMDEC en premier lieu, soient eux-mêmes tenus vivants, actuels et partagés.

LA BIBLIOGRAPHIE

- Aven, T. (2023a). On the gap between theory and practice in defining and understanding risk. *Safety Science*, 168, 106325. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106325>
- Aven, T. (2023b). On the gap between theory and practice in defining and understanding risk. *Safety Science*, 168, 106325. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106325>
- Aven, T. (2023c). On the gap between theory and practice in defining and understanding risk. *Safety Science*, 168, 106325. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106325>
- Ayyub, B., & Klir, G. (2006). Uncertainty Modeling and Analysis in Engineering and the Sciences. <https://doi.org/10.1201/9781420011456>
- Balaraju, J., Govinda Raj, M., & Murthy, C. S. (2019). Fuzzy-FMEA risk evaluation approach for LHD machine – A case study. *Journal of Sustainable Mining*, 18(4), 257-268. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2019.08.002>
- Bertling, L., Allan, R., & Eriksson, R. (2005). A reliability-centered asset maintenance method for assessing the impact of maintenance in power distribution systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(1), 75-82. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2004.840433>
- Brahim, B. (2021). L'évaluation De La Performance Des Ide Sur Le Développement Durable En Algérie : Analyse Empirique Durant La Période 2000 – 2019. 9, 595-606.
- Chevalier, J. M., & Buckles, D. J. (2019). Participatory Action Research : Theory and Methods for Engaged Inquiry (2^e éd.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781351033268>
- Dale, B. G., Wiele, T. van der, & Iwaarden, J. van. (2007). *Managing Quality*. Wiley-Blackwell.
- Ding, S.-H., & Kamaruddin, S. (2015). Maintenance policy optimization—Literature review and directions. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(5), 1263-1283. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6341-2>

- Filz, M.-A., Langner, J. E. B., Herrmann, C., & Thiede, S. (2021). Data-driven failure mode and effect analysis (FMEA) to enhance maintenance planning. *Computers in Industry*, 129, 103451. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103451>
- Fuzzy FMEA in risk assessment for test and calibration laboratories—Testik—2023—Quality and Reliability Engineering International—Wiley Online Library. (s. d.). Consulté 10 mai 2026, à l'adresse <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/qre.3198>
- Ghazaly, N. M. (2024a). AI-Enabled Predictive Maintenance for Distribution Transformers. *Acta Energetica*, (02), 59-70.
- Ghazaly, N. M. (2024b). AI-Enabled Predictive Maintenance for Distribution Transformers. *Acta Energetica*, (02), 59-70.
- Goetsch, D. L., & Davis, S. (1994). *Introduction to Total Quality : Quality, Productivity, Competitiveness*. Macmillan Coll Div.
- Hu, Y., Miao, X., Si, Y., Pan, E., & Zio, E. (2022a). Prognostics and health management : A review from the perspectives of design, development and decision. *Reliability Engineering & System Safety*, 217, 108063. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.108063>
- Hu, Y., Miao, X., Si, Y., Pan, E., & Zio, E. (2022b). Prognostics and health management : A review from the perspectives of design, development and decision. *Reliability Engineering & System Safety*, 217, 108063. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.108063>
- Huang, G., & Xiao, L. (2021a). Failure mode and effect analysis : An interval-valued intuitionistic fuzzy cloud theory-based method. *Applied Soft Computing*, 98, 106834. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106834>

Huang, G., & Xiao, L. (2021b). Failure mode and effect analysis : An interval-valued intuitionistic fuzzy cloud theory-based method. *Applied Soft Computing*, 98, 106834.
<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106834>

IEC 60812:2018. (s. d.). Afnor EDITIONS. Consulté 9 mai 2026, à l'adresse
<https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/iec-608122018/analyse-des-modes-de-defaillance-et-de-leurs-effets-amde-et-amdec/xs133035/248677>

ISO 9000:2015. (s. d.). ISO. Consulté 12 mai 2026, à l'adresse
<https://www.iso.org/fr/standard/45481.html>

ISO 9001:2015. (s. d.). ISO. Consulté 12 mai 2026, à l'adresse
<https://www.iso.org/fr/standard/62085.html>

ISO 31000:2018. (s. d.). ISO. Consulté 9 mai 2026, à l'adresse
<https://www.iso.org/fr/standard/65694.html>

Jakkula, B., Mandela, G. R., & Ch S N, M. (2020). Reliability block diagram (RBD) and fault tree analysis (FTA) approaches for estimation of system reliability and availability – a case study. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 38(3), 682-703. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-05-2019-0176>

Liu, H.-C., Chen, X.-Q., Duan, C.-Y., & Wang, Y.-M. (2019). Failure mode and effect analysis using multi-criteria decision making methods : A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 135, 881-897.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.06.055>

Liu, H.-C., Liu, L., & Liu, N. (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis : A literature review. *Expert Systems with Applications*, 40(2), 828-838.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.010>

Martínez-Galán Fernández, P., Guillén López, A. J., Márquez, A. C., Gomez Fernández, J. Fco., & Marcos, J. A. (2022). Dynamic Risk Assessment for CBM-based adaptation of

- maintenance planning. *Reliability Engineering & System Safety*, 223, 108359.
<https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108359>
- Papadopoulos, G., & Christodoulou, M. (2024). Design and Development of Data Driven Intelligent Predictive Maintenance for Predictive Maintenance. *Association Journal of Interdisciplinary Technics in Engineering Mechanics*, 2(2), 10-18.
- Patriarca, R., Chatzimichailidou, M., Karanikas, N., & Di Gravio, G. (2022). The past and present of System-Theoretic Accident Model And Processes (STAMP) and its associated techniques : A scoping review. *Safety Science*, 146, 105566.
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105566>
- Peng, R., He, X., Zhong, C., Kou, G., & Xiao, H. (2022). Preventive maintenance for heterogeneous parallel systems with two failure modes. *Reliability Engineering & System Safety*, 220, 108310. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.108310>
- Qualité et management—Yvon Pesqueux—Librairie Eyrolles. (s. d.). Consulté 12 mai 2026, à l'adresse <https://www.eyrolles.com/Entreprise/Livre/qualite-et-management-9782717855258/>
- Seiti, H., Fathi, M., Hafezalkotob, A., Herrera-Viedma, E., & Hameed, I. A. (2021). Developing the modified R-numbers for risk-based fuzzy information fusion and its application to failure modes, effects, and system resilience analysis (FMESRA). *ISA Transactions*, 113, 9-27. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2020.01.015>
- Shetwan, A. G., Rekik, S., & Ghlaio, Y. (2025). A hybrid failure mode and effects analysis with decision-making trial and evaluation laboratory approach for enhanced fault assessment in power plants. *Energy Exploration & Exploitation*, 43(6), 2604-2636.
<https://doi.org/10.1177/01445987251350736>

- Vita, V., Fotis, G., Chobanov, V., Pavlatos, C., & Mladenov, V. (2023). Predictive Maintenance for Distribution System Operators in Increasing Transformers' Reliability. *Electronics*, 12(6), 1356. <https://doi.org/10.3390/electronics12061356>
- Zio, E. (2009). Reliability engineering : Old problems and new challenges. *Reliability Engineering & System Safety*, 94(2), 125-141. <https://doi.org/10.1016/j.res.2008.06.002>

LES ANNEXES

ANNEXE 01: Guide d'entretien

GUIDE D'ENTRETIEN SEMI-DIRECTIF

Objet de l'entretien	Collecter le savoir tacite des experts terrain sur les limites de l'AMDEC existante, les défaillances émergentes non couvertes et les facteurs organisationnels influençant la maintenance des équipements critiques.
Populations cibles	Responsable Qualité, Responsable Maintenance, Responsable Technique, Techniciens terrain seniors
Durée estimée	30 à 60 mi selon le profil
Mode	Face à face, sur site (bureau ou atelier selon l'interlocuteur)
Confidentialité	Propos anonymisés et utilisés exclusivement dans le cadre du mémoire académique
Nombre d'entretiens	5 entretiens individuels

PRISE DE CONTACT ET INTRODUCTION

Bonjour, je me présente : je suis étudiante en Master à l'ENSM (Ecole Nationale Supérieure de Management) d'Alger. Je réalise actuellement une recherche dans le cadre de mon mémoire de fin d'études portant sur la révision de l'AMDEC de la Centrale Électrique de Hadjret Ennousse, dans le but de la recalibrer selon les réalités opérationnelles actuelles.

Je souhaite recueillir votre point de vue en tant qu'expert terrain vous êtes l'une des personnes les mieux placées pour identifier ce que l'AMDEC existante ne capte pas encore.

Cet entretien est strictement confidentiel. Vos propos ne seront utilisés qu'à des fins académiques, de façon anonymisée. Avez-vous des questions avant que nous commençons ?

THÈME 1 : Présentation de l'interlocuteur et de son activité

Ces questions d'ouverture visent à situer le profil de l'interlocuteur et à créer un climat de confiance. Elles permettent également de contextualiser les réponses fournies dans les thèmes suivants :

- Pouvez-vous me présenter brièvement votre parcours professionnel et votre rôle actuel au sein de la Centrale de Hadjret Ennousse ?
- Depuis combien d'années travaillez-vous dans ce site ou dans ce type d'industrie énergétique ?

THÈME 2 : État perçu de l'AMDEC actuelle et ses lacunes

Ce thème vise à comprendre comment les acteurs terrain évaluent la pertinence et la fiabilité de l'AMDEC existante, et à identifier les principaux écarts entre le document et la réalité opérationnelle.

- Comment décririez-vous l'AMDEC actuelle de la centrale ? La considérez-vous comme un document de travail utilisé au quotidien, ou plutôt comme un document de référence rarement consulté ?
- Depuis la dernière mise à jour de l'AMDEC, pensez-vous que la réalité terrain a évolué ? Si oui, dans quel sens ?
- Y a-t-il des lacunes structurelles dans l'AMDEC que vous avez identifiées depuis longtemps mais qui n'ont jamais été corrigées ? Pour quelles raisons selon vous ?

Questions spécifiques Responsable Qualité

- Les données de la GMAO Coswin sont-elles systématiquement croisées avec les cotations de l'AMDEC ? Si non, quels sont les obstacles à ce croisement ?
- Existe-t-il un processus formalisé de revue périodique de l'AMDEC ? À quelle fréquence devrait-il avoir lieu selon vous ?

Questions spécifiques Responsable Maintenance & Responsable Technique

- Avez-vous déjà dû adapter ou contourner les procédures de maintenance parce que l'AMDEC n'anticipait pas une situation réelle ? Pouvez-vous décrire cette situation ?
- Le vieillissement des équipements depuis la mise en service a-t-il généré de nouveaux modes de défaillance non prévus initialement ?

Questions spécifiques Techniciens terrain seniors

- Y a-t-il des pannes récurrentes que vous gérez en urgence depuis des mois ou des années, mais qui ne figurent pas dans l'AMDEC ? Lesquelles ?
- Avez-vous l'impression que vos retours d'expérience terrain sont intégrés dans les documents officiels comme l'AMDEC ?

THÈME 3 : Défaillances récentes non couvertes ou mal anticipées

Ce thème vise à identifier les modes de défaillance émergents que l'AMDEC actuelle ne couvre pas, ou qu'elle sous-évalue. Il s'agit de la partie la plus opérationnelle de l'entretien.

- Au cours des deux ou trois dernières années, avez-vous été confronté(e) à des pannes ou incidents qui vous ont surpris, que vous n'aviez pas anticipés ? Pouvez-vous les décrire ?
- Parmi ces événements, lesquels ont causé les conséquences les plus graves (arrêt de production, risque sécurité, coût élevé) ?
- Si vous deviez citer trois défaillances critiques absentes ou mal évaluées dans l'AMDEC actuelle, lesquelles seraient-elles ? Pourquoi ces trois-là ?

THÈME 4 : Facteurs humains et organisationnels influençant la maintenance

Ce thème vise à comprendre les dynamiques humaines et organisationnelles qui conditionnent la qualité de la maintenance et la mise à jour de l'AMDEC.

- Comment se passe le transfert de connaissances quand un technicien expérimenté quitte la centrale ?
- Comment se prennent les décisions de maintenance corrective en situation d'urgence ? Y a-t-il un protocole établi ou cela repose-t-il sur l'expérience individuelle ?
- Existe-t-il des tensions ou des désaccords entre services (Qualité, Maintenance, Technique) sur l'évaluation de la criticité d'une défaillance ?

THÈME 5 : Conditions de réussite pour la révision de l'AMDEC

Ce thème vise à recueillir les recommandations des interlocuteurs pour que la révision de l'AMDEC soit pertinente, acceptée et durable.

- Qui devrait, selon vous, être impliqué dans le processus de révision ? Y a-t-il des profils actuellement exclus qui devraient y participer ?
- Quelles sources de données faudrait-il systématiquement mobiliser lors d'une révision : historiques GMAO, retours d'expérience, rapports d'inspection, autres ?

CLÔTURE DE L'ENTRETIEN

Vos propos, tel que convenu, seront traités de manière strictement confidentielle et anonyme. Ils serviront uniquement à enrichir l'analyse thématique présentée dans le mémoire.

Puis-je vous recontacter ultérieurement si besoin de clarification sur certains points ?

Si vous souhaitez avoir accès aux résultats de l'étude une fois le mémoire finalisé, je me ferai un plaisir de vous les transmettre.

Je vous remercie sincèrement pour le temps que vous m'avez consacré et pour la richesse de vos réponses. Votre expertise est au cœur de cette recherche.

Source : Élaboré par Nous-mêmes

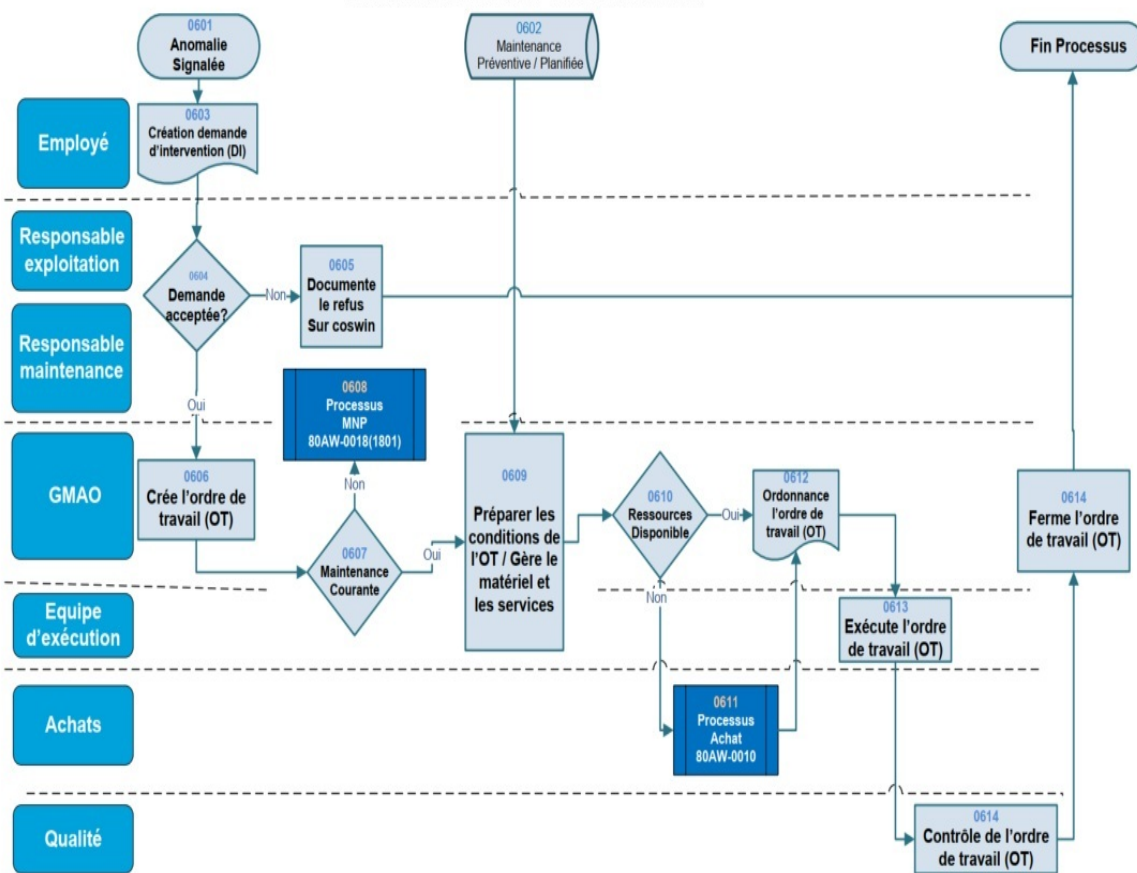
ANNEXE 02 : La matrice AMDEC

Classe du Risque			Opération et Maintenance					
IDENTIFICATION DU RISQUE				EVALUATION DES RISQUES			PILOTAGE	
ID	CAUSE	RISQUE	EFFECT	Evaluation			MESURE D'ATTENUATION	RESPONSABLE
				Probabilité	Gravité	Criticité		
1	Manque d'entretien préventif	Défaillance / Indisponibilité équipements critique	Impact sur l'Asset (property)	3	3	9	Elaboration liste équipement critique et création de route préventive tel recommandé par les fournisseur d'équipement	Opération & Maintennace
			Insatisfaction client	3	4	12		
	absence de liste d'équipements critiques		Perte production (indisponibilité)	3	4	12		
2	Procédure obsolète	Erreurs d'intervention	Impact sur l'Asset (property)	2	3	6	Révision et lecture des procedures periodiquement (Max 2 ans), Formation e-learning Formation de recyclage pour le personnel Tool Box matinal (bréifing de 10 mn au début de la journée) Analyse des risque et prendre du recule avant toute intervention	Opération & Maintennace
			Perte d'équipements avec arrêt de production	2	4	8		
			Insatisfaction client	2	4	8		
			Dégradation des équipements	2	3	6		
3	Plan de maintenance préventif non aligné avec les préconisations fournisseurs	Manquement dans la gestion des routines préventives	Impact sur l'Asset (property)	2	4	8	Verification du préventif existant s'il est compatible avec celui recommandé par les fournisseur,	GMAO & Thecnique
	Suivi irrégulier des ordres de travail		Perte production (indisponibilité)	3	4	12		
	absence d'audit périodique		Détérioration prématuré des équipements	3	5	15	Suivi periodique (monsuel) de l'application conforme des routes préventives (audit des OT's), Lancer le processus RCA pour trouver les causes racines et mettre un plan d'action	Maintenance & Technique
4	Veille réglementaire absente	Non respect des exigences réglementaires (Habilitation, inspection APL-APV-APG-APÉ...)	Pénalité (financière et juridique)	2	5	10	Veille réglementaire / normative	Qualité / SSE
	Veille réglementaire insuffisante		Accident de travail (Avec / sans arrêt de travail)	2	3	6		
	Inspections périodiques non respectées		Perte d'équipements sans arrêt de production	2	3	6	Respect des inspections périodiques: Autoamtisation de la fréquence, en intégrant les inspections sur le logiciel COSWIN	Maintenance
	Manque compétence spécifiée		Perte d'équipements avec arrêt de production	2	4	8		
5	Procédures inadaptées	Qualité de travail non conforme,	Rework et perte de temps	2	3	6	Elaboration / Révision et lecture de procedures; Foemation e-learning Formation de recyclage pour le personnel	Maintenance
	Procédures non maitrisée		Augmentation de la charge de travail	2	3	6		
	absence de contrôle qualité		Indisponibilité des équipements sans perte de production	2	3	6		
	manque de formation initiale		Indisponibilité des équipements avec perte de production	2	4	8		
6	Plan de maintenance non révisé	Maintenance non planifiée	Augmentation de la charge de travail,	3	3	9	Révision périodique (Annuel)du plan de maintenance en se basant le diagnostique de l'année écoulé	Maintenance
	Diagnostic annuel non réalisé		Baisse de productivité et de performance	3	3	9		
			Indisponibilité des équipements,	3	3	9		
7	Les estimations de l'etude préopérationnelle loins du besoin réel	Sous dimensionnement des installations	Contraintes opérationnelles impact sur la production	2	3	6	Elaboration de service supplémentaire avec le client Lancer le processus de gestion des modifications	Technique
8	Exposition aux aléas climatiques (tempêtes, inondations...)	Risques des phénomènes naturels	Impact sur la production et la maintenance	1	5	5	Mise en place d'un plan d'intervention Interne	Direction
nv1	Défaillance support "hard"	Dysfonctionnement des softwares des processus support (Coswin et autres...)	Retard ou impossibilité de créer DI & OT	2	2	4	Adaptation de nombre de poste selon le volume de travaille Suivi mise à jour, avec renouvellement de l'abonnement annuellement, Assurer l'adéquation des paramètre système des postes de travail aux versions de logicielle	Responsable maintenance
	Manque de mise à jours logiciel, Défaillance support "hard"		Perte de traçabilité des anomalies et interventions	2	2	4		Responsable. IT
NV2	Manque dans la planification	Indisponibilité PDR et Consommable	Perte production	1	4	4	Revue de Plan de maintenance annuel intégrer dans l'outil Planification des interventions selon condition d'exploitation Etablissement de convention avec les fournisseurs de la PDR essentielle	Responsable. Maintenance 83 Responsable approvisionnement
	Perturbation dans le marché		Retard dans la réalisation des activités	1	3	3		
	Fournisseur unique		Insatisfaction client	1	4	4		

ANNEXE 03 : fiche processus

Maintenance

Processus Maintenance - 80AW-0006 Rév14



ANNEXE 04 : Liste des Ordres de Travail Correctifs extraits de COSWIN

	▼ N° d'OT	▼ Projet ▲▼	Σ ▼ No séquence projet	▼ État OT utilisateur	▼ Équipement	▼ Intervention	▼ Description de l'intervention	▼ Date de début prévue	▼ Date de début
1	150367	21-HGPI-03*		U	21MBFLT02	CORR065891	Court circuit système d'éclairage filtre house	05/05/2026	05/05/2026 08:03
2	150366	21-HGPI-03*		U	21QCA21AP001	CORR065890	Fuite d'huile au niveau du corps de la pompe	05/05/2026	05/05/2026 08:03
3	150365	21-HGPI-03*		U	21QCB22AP001	CORR065889	Fuite d'huile au niveau du corps de la pompe	05/05/2026	05/05/2026 08:03
4	150364	21-HGPI-03*		U	21QCC32AP001	CORR065888	Fuite de phosphate au niveau du corps de la pompe	05/05/2026	05/05/2026 08:04
5	150363	21-HGPI-03*		U	00BBA12GS002	CORR065887	La lampe de signalisation de la fermeture de la mise a la te	05/05/2026	05/05/2026 08:04
6	150357	21-HGPI-03*		U	Z1	CORR065881	Plusieurs lampes grillées toit salle machine tranche 2	05/05/2026	05/05/2026 08:05
7	150352	21-HGPI-03*		U	21SM_02	CORR065877	Bruit anormal	04/05/2026	04/05/2026 08:07
8	150351	21-HGPI-03*		U	21SM_01	CORR065876	Absence du CLAXON pont roulant 100 tonnes	04/05/2026	04/05/2026 08:08
9	150346	21-HGPI-03*		U	21MB88BT2	CORR065873	Suit a un PRM, vibrations élevé	03/05/2026	03/05/2026 10:20
10	150345	21-HGPI-03*		U	21MB88V62	CORR065872	Suit a un PRM vibration Elévé coté moteur voir retour OT1	03/05/2026	03/05/2026 10:13
11	150344	21-HGPI-03*		U	21LBG20AA201	CORR065871	Fuite de vapeur au niveau de la tige de la vanne	03/05/2026	03/05/2026 08:46
12	150338	21-HGPI-03*		U	21MAGVM2	CORR065865	Bruit anormal	03/05/2026	03/05/2026 08:46
13	150336	21-HGPI-03*		U	21QJB10CP001501	CORR065863	Alarme hydrogen supply pressure low au DCS maintenu dex	03/05/2026	03/05/2026 08:48
14	150334	21-HGPI-03*		U	-SS-21QJB10	CORR065861	Le manifold des bouteilles du rack H2 n° 14-22 desserré (m	03/05/2026	03/05/2026 08:18
15	150333	21-HGPI-03*		U	21LAB60AA202	CORR065860	Vanne bloquée fermée	03/05/2026	03/05/2026 08:48
16	150332	21-HGPI-03*		U	21HAD70AA251	CORR065859	La vanne est passante en position fermée	03/05/2026	03/05/2026 08:52

ANNEXE 05 : Plan de Maintenance Annuelle extrait de la GMAO

	N° d'OT	Projet	Équipement	Intervention	Description de l'intervention	Date de début prévue	Date de début	Date de fin	Zone	Date de fin prévue	Type d'intervention
	1	149388 21-HGPI-03	21MABPM1	GE-21MA-BPM-1-01	Lubrification of Lube Oil Pumps (6 M - STD)	29/04/2026	23/04/2026 09:08		21	25/09/2026	MPA
	2	149442 21-HGPI-03	21MABPM2	GE-21MA-BPM-2-01	Lubrification of Lube Oil Pumps (6 M - STD)	14/09/2026	24/04/2026 13:47		21	10/02/2027	MPA
	3	149142	21MB66FMTLCH3	GE-21MB-66FM-T-02	Calibration - MBP - TRANSMITTER (1 A)	15/03/2027	19/03/2026 09:30		21	15/03/2027	MPA
	4	149141	21MB66FMTLCH2	GE-21MB-66FM-T-03	Calibration - MBP - TRANSMITTER (1 A)	15/03/2027	19/03/2026 09:30		21	15/03/2027	MPA
	5	149783 21-STD-##	21MBMW01	GE-21MB-WW-01-01	Check - Inlet Filtration and Water Wash Quality Checklist (STD)	01/10/2026			21	04/10/2026	MPA
	6	149782 21-STD-##	21_H	SN-21_H-001	Inspection visuelle - HRSG (1A).	01/10/2026	27/02/2026 08:41		21	01/10/2026	MPA
	7	149781 21-STD-##	21MBAH21	GE-21MA-AH2-1-01	Inspection - MBA - ACCUMULATOR (3 M / STD)	01/10/2026	27/02/2026 08:37		21	15/10/2026	MPA
	8	149780 21-STD-##	21MBIA201	SN-21-MBIA-001	Controler et vérifier le bon fonctionnement de la vanne de controle IBH (STD)	01/10/2026	27/02/2026 08:26		21	15/10/2026	MPA
	9	149654 21-HGPI-03	G-21MB63PG-DLN-001	G-21MB-63PG-DLN-001	Calibration - MBP - SWITCH (1 A)	29/04/2026	19/02/2026 14:01		21	29/04/2026	MPA
	10	149493	21MA_GHM	GE-11MA-GHM-003	Maintenance préventive - Generator Health Monitoring (1 A)	12/02/2026	12/02/2026 14:17	12/02/2026 14:17	21	08/12/2026	MPA
	11	149456 21-HGPI-03	21-M-EODC-001	GE-21MA-EODC-002	Preventive maintenance - Inspection of electrical panel (ACI)	29/04/2026	10/02/2026 09:12		21	03/01/2027	MPA
	12	149371 21-HGPI-03	21_MK	CORRO64929	TIL 1941 STEAM TURBINE GENERATOR LOSS OF DC SYSTEM CONCERN	29/04/2026	05/02/2026 15:34		21	29/04/2026	MPA
	13	149370 21-HGPI-03	21_MK	CORRO64927	TIL 1701-R1 IMPROVING THE RELIABILITY OF MEDIUM AND HIGH VOLTAGE AUXILIARY EQUIPMEN 8.00h Mar-	29/04/2026	05/02/2026 15:33		21	29/04/2026	MPA
	14	149369 21-HGPI-03	21_MK	CORRO64926	TIL 2441-R1 HARDWARE OVER CURRENT TRIP SETTING REDUCTION IN EX2100*, EX2100E* APPLI	29/04/2026	05/02/2026 15:32		21	29/04/2026	MPA
	15	149368 21-HGPI-03	21_MK	CORRO64925	TIL 2473-R1 RECOMMENDATION FOR HONEYWELL HAZ GAS DETECTION SYSTEM COMPONENT	29/04/2026	05/02/2026 15:31		21	29/04/2026	MPA
	16	149367 21-HGPI-03	21_MK	CORRO64924	TIL 1835-R1 GENERATOR FIELD MAIN TERMINAL INSPECTION	29/04/2026	05/02/2026 15:30		21	29/04/2026	MPA
	17	149366 21-HGPI-03	21_MK	CORRO64923	TIL 2474-R1 INSPECTION GUIDANCE FOR GERAPID DC CIRCUIT BREAKER	29/04/2026	05/02/2026 15:29		21	29/04/2026	MPA
	18	149365 21-HGPI-03	21_MK	CORRO64922	TIL 2357 HYDROGEN SEAL ASSEMBLY FINDINGS	29/04/2026	05/02/2026 15:29		21	29/04/2026	MPA
	19	149364 21-HGPI-03	21_MK	CORRO64921	TIL 1631 COLLECTOR FLASHOVERS	29/04/2026	05/02/2026 15:28		21	29/04/2026	MPA
	20	149363 21-HGPI-03	21_MK	CORRO64920	TIL 1650 BATTERY REPLACEMENT GUIDELINES AND BOARD JUMPER SETTINGS FOR CONTROL	29/04/2026	05/02/2026 15:27		21	29/04/2026	MPA
	21	149362 21-HGPI-03	21_MB	CORRO64919	TIL 1850-R3 F-CLASS COMPRESSOR MECHANICALLY ATTACHED SHROUD S17 INSPECTION	29/04/2026	05/02/2026 15:26		21	29/04/2026	MPA
	22	149361 21-HGPI-03	21_MB	CORRO64918	TIL 2584 VCENTER SERVER CERTIFICATES MAINTENANCE AND RENEWAL	29/04/2026	05/02/2026 15:25		21	29/04/2026	MPA
	23	149360 21-HGPI-03	21_MB	CORRO64917	TIL 2473-R1 RECOMMENDATION FOR HONEYWELL HAZ GAS DETECTION SYSTEM COMPONENT	29/04/2026	05/02/2026 15:24		21	29/04/2026	MPA
	24	149359 21-HGPI-03	21_MB	CORRO64916	TIL 2081 UNIT TRIP RISK WITH SPECIFIC CONFIGURATION OF PPRO/VPRO	29/04/2026	05/02/2026 15:24		21	29/04/2026	MPA
	25	149358 21-HGPI-03	21_MB	CORRO64915	TIL 1870-R2 FIRST ROW COMPRESSOR BLADE STAKING INSPECTIONS	29/04/2026	05/02/2026 15:23		21	29/04/2026	MPA
	26	149357 21-HGPI-03	21_MB	CORRO64914	TIL 2578 9FB TURBINE SPACER 2-3 INSPECTION RECOMMENDATIONS	29/04/2026	05/02/2026 15:22		21	29/04/2026	MPA
	27	149356	21_MB	CORRO64913	TIL 1735-R4 LCI WATER-COOLED BUS LEAKS	10/03/2026	05/02/2026 15:22	05/02/2026 16:22	21	10/03/2026	MPA
	28	149355 21-HGPI-03	21_MB	CORRO64912	TIL 2667 EXHAUST TEMPERATURE SPREAD PROTECTION SETTING UPDATE	29/04/2026	05/02/2026 15:21		21	29/04/2026	MPA
	29	149354 21-HGPI-03	21_MB	CORRO64911	TIL 2049-R2 F CLASS INLET GUIDE VANE TO RUB RING RUBBING	29/04/2026	05/02/2026 15:20		21	29/04/2026	MPA
	30	149353 21-HGPI-03	21_MB	CORRO64910	TIL 2204 9F AFT DIFFUSER CASING VERTICAL JOINT BOLT DISTRESS	29/04/2026	05/02/2026 15:19		21	29/04/2026	MPA
	31	149352 21-HGPI-03	21_MB	CORRO64909	TIL 2290-R2 ENHANCEMENT IN ECC ERROR CORRECTION ALGORITHM FOR UCSB CONTROLLER	29/04/2026	05/02/2026 15:18		21	29/04/2026	MPA
	32	149351 21-HGPI-03	21_MB	CORRO64908	TIL 1823 LS2100 SOFTWARE MODIFICATION FOR CROSSOVER CONFIGURATION	29/04/2026	05/02/2026 15:17		21	29/04/2026	MPA
	33	149350 21-HGPI-03	21_MB	CORRO64907	TIL 1823 LS2100 SOFTWARE MODIFICATION FOR CROSSOVER CONFIGURATION	29/04/2026	05/02/2026 15:17		21	29/04/2026	MPA