



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département De Maintenance en Instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Maintenance en Instrumentation et Automatismes

Thème

**Étude de la maintenance d'une chambre
d'oxygénothérapie hyperbare : CHU d'Oran**

Présenté et soutenu publiquement par :

Zahed Imad Abd Elfettah

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Hamida Abdellah	MAA	IMSI-Université D'Oran 2	Président
Titah Mawloud	MCA	IMSI-Université D'Oran 2	Encadreur
Chouitek Mama	Prof	IMSI-Université D'Oran 2	Examineur

Année Universitaire 2025/2026



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département De Maintenance en Instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Maintenance en Instrumentation et Automatismes

Thème

**Étude de la maintenance d'une chambre
d'oxygénothérapie hyperbare : CHU d'Oran**

Présenté et soutenu publiquement par :

Zahed Imad Abd Elfettah

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Hamida Abdellah	MAA	IMSI-Université D'Oran 2	Président
Titah Mawloud	MCA	IMSI-Université D'Oran 2	Encadreur
Chouitek Mama	Prof	IMSI-Université D'Oran 2	Examineur

Année Universitaire 2025/2026

Remerciement

*Tout d'abord je tiens à remercier **ALLAH** le tout puissant de m'avoir donné la santé, la volonté, le courage et la patience pour mener à terme ma formation et pourvoir réaliser ce travail de recherche.*

*Mes remerciements s'adressent particulièrement au Docteur **Titah Mawloud**, pour son encadrement de qualité, sa motivation professionnelle, ses conseils et critiques constructives, ses corrections, sa gentillesse et sa patience ainsi pour le temps qu'il a consacré à la réalisation de ce travail.*

Nous remercions également Madame et Monsieur les membres du jury d'avoir accepté et d'examiner notre travail

Dédicace

*“Für meine beiden wunderbaren Schwestern, eure von Güte erfüllten Herzen
erhellen meine Tage. Eure Anwesenheit verleiht meinem Leben eine
unvergleichliche Sanftheit. Mögen wir weiterhin unvergessliche Erinnerungen
weben und Momente unendlichen Glücks miteinander teilen. Mit all meiner
Liebe und meiner ewigen Dankbarkeit für eure unerschütterliche
Unterstützung.”*

Abstract

This study addresses the maintenance of a hyperbaric oxygen therapy chamber at the University Hospital Center (CHU) of Oran, a critical biomedical device whose availability and safety are directly linked to patient care. Hyperbaric oxygen therapy is a specialized treatment delivered under elevated pressure, and its clinical effectiveness depends on the reliable operation of several interconnected subsystems, including the pressure chamber, oxygen circuit, control and monitoring devices, safety systems, and auxiliary equipment. The work first reviews the technical, physiological, and safety background of hyperbaric oxygen therapy, then applies a structured maintenance analysis to the chamber installed at CHU Oran. The equipment is decomposed into functional subsystems and components, and Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) is used to identify failure modes, their causes, and their effects. The results highlight the most critical elements, especially those related to sealing, oxygen delivery, and safety devices, which represent the highest maintenance and operational risks. To support decision-making, an original multicriteria prioritization model, IPMP-CH, is proposed and applied. This model integrates technical, clinical, organizational, and logistical criteria to rank maintenance actions according to their criticality and to define a priority-based preventive maintenance plan. The proposed approach provides a practical tool for biomedical engineers and hospital maintenance managers, helping them optimize resources, improve equipment reliability, reduce downtime, and strengthen patient and staff safety.

Keywords: Hyperbaric oxygen therapy, biomedical maintenance, FMEA, preventive maintenance prioritization, IPMP-CH, hospital equipment reliability.

Résumé

Cette étude porte sur la maintenance d'une chambre d'oxygénothérapie hyperbare du CHU d'Oran, équipement biomédical critique dont la disponibilité, la fiabilité et la sécurité conditionnent directement la qualité des soins. Après un rappel des principes physiques, physiologiques et sécuritaires liés à l'oxygénothérapie hyperbare, le travail a consisté à analyser la chambre étudiée en la décomposant en sous-systèmes et composants afin d'identifier ses principaux points sensibles. Une analyse AMDEC a ensuite été appliquée pour recenser les modes de défaillance, leurs causes et leurs effets, et mettre en évidence les éléments les plus critiques, notamment ceux liés à l'étanchéité, au circuit d'oxygène et aux dispositifs de sécurité. Afin de passer de l'analyse de criticité à une démarche opérationnelle de maintenance, un modèle multicritère de priorisation, intitulé IPMP-CH, a été proposé et appliqué. Ce modèle intègre des critères techniques, cliniques, organisationnels et logistiques pour classer les composants et les actions de maintenance selon leur niveau de priorité. Les résultats obtenus ont permis de proposer un plan de maintenance préventive priorisé, mieux adapté aux exigences hospitalières et à la réalité du terrain. Cette approche constitue ainsi un outil d'aide à la décision pertinent pour les ingénieurs biomédicaux et les gestionnaires de maintenance hospitalière, en vue d'améliorer la disponibilité de l'équipement, de réduire les arrêts non planifiés et de renforcer la sécurité des patients et du personnel.

Mots-clés : oxygénothérapie hyperbare, maintenance biomédicale, AMDEC, priorisation, IPMP-CH, sécurité hospitalière.

المخلص

تناولت هذه الدراسة صيانة غرفة العلاج بالأكسجين عالي الضغط بالمركز الاستشفائي الجامعي بهران، وهي تجهيز طبي حيوي بالغ الأهمية، لأن توفره وموثوقيته وسلامته تؤثر مباشرة في جودة التكفل بالمرضى. وبعد عرض المبادئ الفيزيائية والفيزيولوجية والمتطلبات الأمنية المرتبطة بالعلاج بالأكسجين عالي الضغط، تم تحليل الغرفة المدروسة عبر تفكيكها إلى أنظمة فرعية ومكونات من أجل تحديد نقاط الضعف الرئيسية فيها. ثم تم تطبيق تحليل أنماط الفشل وتأثيراتها من أجل تحديد أنماط الأعطال وأسبابها وآثارها، وإبراز العناصر الأكثر حساسية، خصوصاً ما يتعلق بالإحكام، ودائرة الأكسجين، وأجهزة الأمان.

وللانتقال من تحليل الخطورة إلى اتخاذ القرار العملي في مجال الصيانة، تم اقتراح وتطبيق نموذج متعدد المعايير لتحديد الأولويات، ويعتمد هذا النموذج على مجموعة من المعايير التقنية والسريية والتنظيمية واللوجستية لترتيب المكونات وإجراءات الصيانة حسب درجة الأولوية. وقد أفضت النتائج إلى اقتراح خطة صيانة وقائية ذات أولوية، أكثر ملاءمة لاحتياجات المستشفى وللواقع الميداني. وبذلك يشكل هذا العمل أداة مساعدة على اتخاذ القرار لفائدة مهندسي الأجهزة الطبية ومسيري الصيانة بالمستشفيات، بهدف تحسين توفر التجهيز، وتقليل التوقفات غير المخططة، وتعزيز سلامة المرضى والطواقم.

الكلمات المفتاحية: العلاج بالأكسجين عالي الضغط، الصيانة الطبية الحيوية، تحديد الأولويات، السلامة بالمستشفى.

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Abstract

Résumé

ملخص

Listes des tableaux

Listes des figures

Listes d'abréviation

Introduction.....	1
Chapitre 01 : L'oxygénothérapie hyperbare	4
1.1. Historique de l'oxygénothérapie hyperbare.....	5
1.2. Rappel des lois de physique.....	6
1.3. L'oxygénothérapie hyperbare.....	7
1.4. La chambre hyperbare (Caisson hyperbare)	7
1.5. Mécanisme d'action de l'OHB.....	9
1.6. Effets de l'oxygénothérapie hyperbare.....	10
Chapitre 02 : Maintenance des équipements médicaux.....	12
2.1. Qu'est-ce que la maintenance des équipements médicaux ?.....	13
2.2. Présentation de la maintenance.....	13
2.3. L'importance de la maintenance.....	15
2.4. Les types de la maintenance.....	15
2.5. La maintenance en 5 niveaux.....	16
2.6. Formes de la maintenance.....	18
2.7. Les méthodes : AMDEC/PARETO/AHP.....	19
Chapitre 03 : Maintenance de la chambre d'oxygénothérapie hyperbare.....	22
3.1. La maintenance de la chambre hyperbare.....	23

3.2. Les risques en chambre hyperbare.....	23
3.3. Analyse des risques.....	24
3.4. Sécurité des chambres thérapeutiques hyperbares matériaux.....	28
3.5. Comment agit l’oxygénothérapie hyperbare ?	30
Chapitre 04 : Analyse de la chambre d’oxygénothérapie hyperbare par l'application de l'AMDEC.....	32
4.1. Présentation du service d'oxygénothérapie hyperbare.....	33
4.2. Décomposition en sous-systèmes et composants.....	38
4.3. Principe et objectif de la méthode AMDEC.....	39
4.4. Identification des modes de défaillance potentiels.....	40
4.5. Tableau AMDEC détaillé.....	41
4.6. Résultats et interprétation de la criticité.....	43
4.7. Analyse global.....	44
4.8. Conclusion.....	45
Chapitre 05 : Priorisation et optimisation de la maintenance préventive basée sur l’indice IPMP-CH- application à la chambre d’Oxygénothérapie Hyperbare du CHU d’Oran.....	46
5.1. Introduction.....	47
5.2. Présentation du modèle IPMP-CH.....	47
5.3. Calcul de l’indice PMPRI.....	57
5.4. Classement des actions de maintenance préventive.....	57
5.5. Proposition d’un plan de maintenance préventive priorisé.....	57
5.6. Discussion des résultats.....	57
5.7. Conclusion.....	60
Conclusion générale.....	62
Bibliographie	

Listes des tableaux

Tableau 3.1: limites d'utilisation des gaz selon leur pression partielle.....	25
Tableau 4.1: Modes de défaillance.....	40
Tableau 4.2: Analyse AMDEC	41
Tableau 5.1: Paramètres retenus pour le modèle IPMP-CH	51
Tableau 5.2: Détail des paramètres et critères de notation.....	52
Tableau 5.3: Interprétation du score IPMP-CH	56
Tableau 5.4: Correspondance entre priorité et fréquence de maintenance.....	56

Listes des figures

Figure 1.1: La chambre hyperbare multiplace	8
Figure 1.2: La chambre hyperbare monoplace	8
Figure 1.3: Distribution intra vasculaire de l'oxygène lors d'une séance d'OHB, le plasma sert de pool de réserve pour stocker l'oxygène dissout.	10
Figure 2.1: Concepts essentiels de l'AMDEC	19
Figure 2.2: Loi de Pareto (méthode 80 – 20)	20
Figure 4.1: La chambre hyperbare multiplace dans l'unité hyperbare au niveau de CHU d'Oran.....	33
Figure 4.2: Pupitre de commande.	34
Figure 4.3: Une réserve de stockage d'air comprimé.....	34
Figure 4.4: Panneau de contrôle.....	35
Figure 4.5: Compresseur d'air.....	35
Figure 4.6: Un système de filtration d'air.	36
Figure 4.7: Des cuves d'eau sous pression.....	36
Figure 4.8: Des cuves d'eau sous pression.....	37
Figure 4.9: Système de refroidissement.	37
Figure 5.1: Paramètres qualitative de modèle proposé.....	52
Figure 5.2: IPMP-CH moyen par sous-système	58
Figure 5.3: Valeurs maximales et minimales de l'IPMP-CH par sous-système	58
Figure 5.4: Répartition des composants selon le niveau de priorité.....	59
Figure 5.5: Les 10 composants les plus critiques selon l'IPMP-CH.....	59

Listes d'abréviation

OHB : oxygénothérapie hyperbare.

CHU : centre hospitalier universitaire.

IPMP-CH : Indice de Priorisation de la Maintenance Préventive de la Chambre Hyperbare.

AHP : Analytic Hierarchy Process.

Introduction

L'oxygénothérapie hyperbare (OHB) est une méthode thérapeutique qui consiste à administrer de l'oxygène pur à une pression supérieure à la pression atmosphérique dans une chambre spécialement conçue, appelée chambre hyperbare.

La création d'une unité hyperbare au CHU d'Oran répond à un besoin croissant de prendre en charge des affections qui ne trouvent pas toujours des solutions efficaces dans les méthodes thérapeutiques traditionnelles, l'OHB présente un potentiel considérable pour améliorer les résultats cliniques et la qualité de vie des patients en offrant un environnement propice à la régénération et à la guérison des tissus endommagés et les troubles de décompression chez les plongeurs, les infections résistantes aux antibiotiques, les lésions tissulaires causées par la radiothérapie, les troubles de cicatrisation et bien d'autres.

Dans le cadre du Centre Hospitalier Universitaire d'Oran, la mise en service d'une unité hyperbare répond à un besoin médical croissant en matière de prise en charge de pathologies complexes nécessitant un environnement thérapeutique contrôlé et sécurisé. L'unité hyperbare du CHU d'Oran comprend notamment une chambre hyperbare, un pupitre de commande, une réserve de stockage d'air comprimé, un panneau de contrôle, un compresseur d'air, un système de filtration d'air, des cuves d'eau sous pression, une réserve de gaz suroxygénés haute pression et un système de refroidissement, ce qui montre la complexité technique de l'installation.

Cette complexité technique implique des exigences élevées en matière de maintenance, car la chambre hyperbare est un équipement médical critique dont la défaillance peut entraîner des conséquences graves sur la continuité des soins et la sécurité des patients et du personnel. Les risques en milieu hyperbare sont particulièrement liés à la pression, à la composition de l'atmosphère, à l'oxygène, à l'étanchéité des circuits, aux installations électriques et aux dispositifs de sécurité incendie. Le respect rigoureux des normes de conception,

d'exploitation et de maintenance est donc indispensable pour garantir un fonctionnement fiable et sécurisé de l'équipement.

Dans ce contexte, la maintenance des équipements médicaux ne peut pas être réduite à une simple activité de réparation. Elle constitue un processus technique, administratif et organisationnel visant à maintenir ou rétablir l'équipement dans un état lui permettant d'assurer la fonction requise, tout en garantissant la sécurité, la précision et la disponibilité. Pour les équipements hospitaliers critiques, la maintenance préventive occupe une place essentielle, car elle permet de réduire les défaillances, d'anticiper les pannes et de maîtriser les coûts tout en améliorant la qualité du service rendu aux patients.

Ainsi, l'objectif de ce mémoire est d'étudier la maintenance d'une chambre d'oxygénothérapie hyperbare du CHU d'Oran, d'analyser ses sous-systèmes et ses modes de défaillance, puis de proposer une démarche de priorisation de la maintenance préventive adaptée à son niveau de criticité. À cet effet, la chambre a été décomposée en sous-systèmes fonctionnels, et la méthode AMDEC a été retenue pour identifier et hiérarchiser les défaillances potentielles, en mettant en évidence les éléments les plus sensibles tels que l'étanchéité, le circuit d'oxygène et les dispositifs de sécurité.

En prolongement de cette analyse, un modèle de priorisation de la maintenance préventive, intitulé IPMP-CH, a été développé afin de transformer les résultats de criticité en un outil d'aide à la décision. Ce modèle repose sur une approche multicritère intégrant la fonction de l'équipement, le risque de défaillance, l'âge, la fréquence des pannes, la disponibilité des secours, la complexité de maintenance et d'autres paramètres pertinents pour le contexte hospitalier. Il permet ainsi d'établir un classement des actions de maintenance et de proposer un plan préventif priorisé, plus rationnel et mieux adapté aux exigences de sécurité et de disponibilité.

Pour mener efficacement notre recherche, nous avons divisé notre mémoire en 5 chapitres : (Ch.1) présente l'oxygénothérapie hyperbare et ses

fondements. (Ch.2) traite de la maintenance des équipements médicaux. (Ch.3) aborde la maintenance de la chambre hyperbare et ses risques. (Ch.4) applique la méthode AMDEC à la chambre d'oxygénothérapie hyperbare du CHU d'Oran. Enfin, (Ch.5) propose une priorisation et une optimisation de la maintenance préventive basée sur l'indice IPMP-CH.

Chapitre 01 : L'oxygénothérapie Hyperbare

1.1. Historique de l'oxygénothérapie Hyperbare :

Pour retracer l'évolution de l'Oxygénothérapie Hyperbare (OHB), il faut remonter aux origines de la plongée sous-marine.

Au fil des siècles, les théories de cette dernière se sont approfondies et perfectionnées, conduisant les scientifiques à concevoir un système de compression hyperbare pour l'homme à la surface de la terre, bien que les activités liées au monde sous-marin existent depuis l'aube de notre histoire, ce n'est qu'au XVIIe siècle que les premiers développements de la médecine hyperbare ont vu le jour, les événements clés de son histoire sont énumérés ci-dessous dans l'ordre chronologique :

-1662 : un Anglais, *Henshaw*, construit et utilise une chambre hyperbare pour des traitements aigus et chroniques.

-1775 : La découverte de l'O₂ par *Priestley* ouvre la porte à l'utilisation des gaz à but thérapeutique.

-1830 : La France utilise les bains d'air comprimé, précurseurs de nos chambres hyperbares actuelles.

-1834 : *Junod* construit une sphère de deux mètres de diamètre, et comprime des patients à des atmosphères allant de 2 à 4 ATA¹.

-1841 : *Triger* est le premier à décrire les conditions de séjour en hyperbare, posant ainsi les bases physiologiques de la médecine hyperbare.

-1854 : *Paul Bert* établit un lien entre les barotraumatismes et une décompression trop rapide. Il conseille la ré-compression en cas de problèmes.

-1878 : *Paul Bert* élabore les bases physiologiques de l'OHB et décrit les effets toxiques de l'O₂, notamment les crises comitiales².

Aujourd'hui, de nombreux centres fonctionnent dans le monde entier, que ce soit à but expérimental ou thérapeutique, la recherche en médecine hyperbare est en constante évolution et toujours d'actualité. (Caisson Hyperbare - Historique De L'oxygénothérapie Hyperbare (O.H.B), n.d.).

1.2. Rappel des lois de physique :

La majeure partie des applications de l'hyperbare et de l'oxygénothérapie hyperbare est la conséquence directe des principes et des lois établis au cours des siècles.

-La théorie de la compressibilité des gaz, également appelée loi de Boyle-Mariotte, a permis l'utilisation de l'air comprimé comme thérapie pour les accidents de décompression, cette théorie stipule que, à température constante, le volume (V) d'un gaz varie de manière inversement proportionnelle à la pression (P), en d'autres termes, le produit PV est une constante. ($P_1.V_1 = P_2.V_2$).

-La loi de Dalton ou loi sur le mélange des gaz : elle met en évidence que la pression d'un mélange gazeux peut être considérée comme la somme des pressions de chaque gaz (pressions partielles PP le constituant). ($PP_{gaz1} + PP_{gaz2} + \dots + PP_{gaz\ n} = P_{mélange}$).

Cette loi est fondamentale en plongée, elle explique à elle seule les mécanismes des narcoses à l'azote³, les intoxications à l'oxygène (effet Lorrain Smith, effet Bert) et aussi la nécessité d'effectuer des paliers, cela en association avec la loi d'Henry et les états de saturation de l'azote accumulé dans le corps lors d'une plongée.

-La loi d'Henry : son intérêt est primordial dans l'explication de la physiopathogénie des accidents de plongée et dans le traitement en milieu hyperbare en particulier lors des accidents de décompression, elle définit les mécanismes de dissolution des gaz dans les liquides à température constante, à température donnée, la quantité de gaz dissous à saturation dans un liquide est proportionnelle à la pression du gaz au-dessus du liquide.

À pression atmosphérique, les liquides que contient notre corps sont saturés à certaines valeurs par les différents gaz contenus dans l'air (oxygène, azote, etc.), lors d'un changement de pression (par exemple, lors d'une remontée de plongée), nos tissus se retrouveront saturés en gaz, la tendance à retrouver l'équilibre des valeurs avec la pression ambiante est à l'origine de la libération de gaz.

Ces lois et la compréhension des mécanismes de saturation et de saturation des gaz ont permis l'évolution de la technologie d'OHB et son utilisation dans de nombreuses pathologies. (Au, r. P. L'oxygénothérapie hyperbare au Québec).

1.3. L'oxygénothérapie hyperbare :

L'oxygénothérapie hyperbare est une technique médicale qui consiste à administrer de l'oxygène pur ou combiné à d'autres gaz tels que l'hélium ou l'azote à travers un masque inhalateur à une pression supérieure à la pression atmosphérique dans une chambre hyperbare.

L'OHB est une technique thérapeutique qui peut être utilisée comme traitement principal ou comme traitement complémentaire associé à des traitements médicaux et chirurgicaux, elle fait partie d'un ensemble de thérapies intégrées qui peuvent être utilisées en combinaison pour traiter une variété de troubles médicaux. (Cours ifsi - L'oxygénothérapie par caisson hyperbare, s. d.), (Toulouse, 2011).

1.4. La chambre hyperbare (Caisson hyperbare) :

Une chambre hyperbare thérapeutique est une installation médicale pressurisée conçue pour accueillir une ou plusieurs personnes dans le but de fournir un traitement médical.

Deux types de chambres thérapeutiques sont disponibles :

- Les chambres multiplaces ont deux compartiments (SAS et chambre principale) et permettent l'accès à du personnel, des patients et du matériel tout en maintenant la pression dans le compartiment principal, elles sont conçues pour deux personnes ou plus, y compris l'accompagnant.



Figure 1.1 : La chambre hyperbare multiplace

- Les chambres monoplaces sont des enceintes à un compartiment unique pour un seul patient, elles ne permettent pas l'accès direct au patient pendant le traitement. («Sécurité» «oxygénothérapie hyperbare», 2004)



Figure 1.2 : La chambre hyperbare monoplace

1.5. Mécanisme d'action de l'OHB :

Les effets thérapeutiques de l'OHB sont dus à deux mécanismes : l'augmentation de la pression barométrique et l'augmentation de la pression partielle en oxygène.

Les mécanismes physiologiques expliquant l'intérêt de l'oxygénothérapie hyperbare reposent sur 2 grandes lois : les lois de Boyle-Mariotte et de *Henry* qui permettent de comprendre pourquoi il va y avoir une augmentation de l'oxygénation des tissus.

Le premier effet est purement mécanique et dérive directement de la loi de Boyle-Mariotte, cette loi établit un lien entre la pression (P) et le volume (V) d'un gaz à température constante ($PV=\text{constante}$), en effet, lorsque la pression exercée sur un gaz augmente, son volume diminue, et inversement, cet effet permet de réduire la taille d'une bulle gazeuse intra-vasculaire pathogène comme dans les embolies gazeuses iatrogènes et les accidents en plongée sous-marine.

Le deuxième effet est associé à l'augmentation de la pression partielle en oxygène. Cette élévation favorise la dissolution de l'oxygène dans les liquides corporels, c'est l'application de la loi de Henry, l'utilisation de l'oxygène en milieu hyperbare permet d'augmenter la fraction dissoute de l'oxygène dans le plasma et l'eau extra- et intracellulaire. Cette teneur en oxygène peut être suffisamment importante pour répondre aux besoins tissulaires en oxygène, la saturation veineuse en oxygène est proche de 100 %. (Le caisson hyperbare: pas uniquement pour les intoxications au CO).

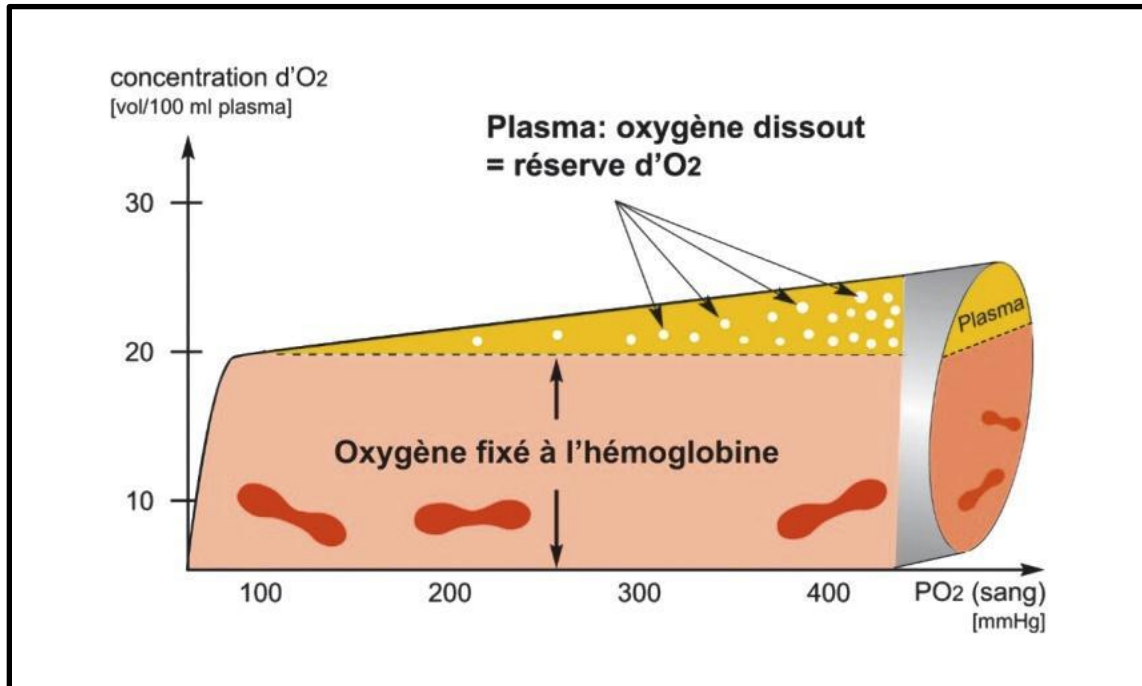


Figure 1.3 : Distribution intra vasculaire de l'oxygène lors d'une séance d'OHB, le plasma sert de pool de réserve pour stocker l'oxygène dissout.

1.6. Effets de l'oxygénothérapie hyperbare

A) Effet résultant de l'augmentation de la pression ambiante :

- **Compression des volumes gazeux par augmentation de la pression ambiante :**

Selon la loi de *Boyle-Mariotte*, lorsque la pression augmente, le volume d'un gaz emprisonné dans le corps diminue, en diminuant la taille des bulles d'air, leur circulation dans les vaisseaux sanguins de petite taille est facilitée, ce qui réduit le risque d'infarctus, cet effet hyperbare est utilisé dans le traitement des embolies gazeuses et des accidents de décompression.

B) Effets résultant de l'élévation de la pression partielle en oxygène :

- **Effet de l'augmentation de la pression en oxygène :**

L'oxygène est transporté par le sang sous deux formes, combiné à l'hémoglobine (oxyhémoglobine ou HbO₂) et dissous dans le plasma.

En inhalant de l'oxygène pur à des pressions de 2,5 à 3 ATA, la pression partielle d'oxygène dans le plasma peut augmenter jusqu'à 20 fois, cette augmentation significative permet une élimination plus rapide du monoxyde de

carbone du corps, cela réduit les effets toxiques du monoxyde de carbone et aide à restaurer l'apport d'oxygène nécessaire aux tissus. Cet effet est la base de l'efficacité de l'oxygénothérapie hyperbare dans le traitement de l'intoxication au monoxyde de carbone.

➤ **Effet de la vasoconstriction réactionnelle :**

L'oxygène hyperbare provoque une vasoconstriction réactionnelle (une constriction des vaisseaux sanguins de petite taille), agissant de manière similaire à un agent alpha-adrénergique⁷.

En effet, une élévation de la pression partielle en oxygène (PaO_2) provoque une contraction des petits vaisseaux sanguins, cela permet de réduire l'oedème vasogénique sans affecter l'oxygénation normale des tissus, cette propriété est exploitée dans l'utilisation de l'oxygénothérapie hyperbare (OHB) pour traiter des lésions graves, telles que les traumatismes par écrasement ou les brûlures thermiques.

Chapitre 02 : Maintenance des Equipements Médicaux

2.1. Qu'est-ce que la maintenance des équipements médicaux ?

La maintenance des équipements médicaux ne concerne pas seulement les réparations et les ajustements sur le plan technique, mais est un concept beaucoup plus large. Il s'agit d'un processus technique, systématique et continu qui vise à garantir que les dispositifs utilisés dans l'environnement clinique fonctionnent de manière sûre, précise et efficace tout au long de leur cycle de vie. Son développement comprend des activités préventives et correctives allant de la vérification des paramètres fonctionnels à la réparation, l'étalonnage et la mise à jour des composants.

Contrairement à d'autres secteurs, dans le domaine médical, le maintien de l'état de santé des patients est une priorité. ne se limite pas à préserver l'opérabilité d'un dispositif. Il est directement lié à la sécurité des patients, la fiabilité des diagnostics et l'efficacité des traitements. La principale conséquence d'un manque d'entretien est l'utilisation d'équipements médicaux mal calibrés ou présentant un défaut non détecté qui peut conduire à un diagnostic incorrect et imprécis. Cela affecte la qualité des soins médicaux et compromet la santé des patients.

La maintenance médicale peut impliquer à la fois du personnel technique spécialisé et du personnel clinique. réglementées par des normes nationales et internationales qui prévoient les critères de sécurité, la fréquence de révision et la traçabilité des interventions techniques. Les plus importantes sont les normes ISO 13485, IEC 60601 ou les réglementations des agences sanitaires locales.

2.2. Présentation de la maintenance

Afin de mieux identifier les enjeux généraux de la maintenance, nous présentons ici la terminologie de base en reprenant les définitions de la norme européenne AFNOR NF EN 13306 :

Maintenance : C'est un « Ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ». La maintenance définie comme un ensemble d'activités, regroupe deux sous-ensembles :

➤ Les activités à dominance technique « dépannage, réparation, prévention, diagnostic, études et méthodes ».

➤ Les activités à dominance de gestion « gestion des budgets, gestion des ressources humaines, gestion des équipements et des pièces de rechange ».

La réalisation des activités de maintenance nécessite un management dont l'objectif est d'en minimiser les coûts tout en assurant le bon fonctionnement du système de production. Cela peut se traduire par des objectifs sur des caractéristiques comme la disponibilité du système, la qualité des produits, la protection de l'environnement ou la sécurité du personnel. Ce fonctionnement peut être perturbé par plusieurs facteurs. Une des causes majeures est la dégradation du système de production que nous définissons ici dont nous présentons les conséquences.

Dégradation : C'est « l'Evolution irréversible d'une ou de plusieurs caractéristiques d'un bien liée au temps, à la durée d'utilisation ou à une cause externe ». L'évolution de la dégradation d'un système a plusieurs conséquences telles que l'occurrence de défaillances, la perte de productivité, le dysfonctionnement, etc. Il est bien possible d'évaluer l'état de dégradation d'un système de production en utilisant certains outils, qui contrôlent l'évolution de paramètres comme les vibrations, la température, la pression, etc.

Les deux autres conséquences importantes de la dégradation sont la défaillance et la panne. Celles-ci sont mises en avant comme étant les principales causes de pertes de capacité pour le système de production (Baglin et al. 2005).

Défaillance : c'est la Cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise. Après une défaillance, le bien est en panne, totale ou partielle.

Panne : c'est « l'Etat d'un bien inapte à accomplir une fonction requise, excluant l'inaptitude due à la maintenance préventive ou à d'autres actions programmées ou à un manque de ressources extérieures ». Le système de production passe de l'état de disponibilité à l'état de panne lorsqu'une défaillance survient. Une maintenance corrective du système est alors nécessaire pour repasser de l'état de panne à l'état opérationnel.

2.3. L'importance de la maintenance des équipements médicaux

Dans le secteur des soins de santé, l'équipement médical est un outil essentiel pour garantir un diagnostic précis, un traitement efficace et un suivi sûr des patients. Dans ce contexte, assurer l'entretien adéquat des équipements médicaux est un aspect essentiel pour garantir le succès de la fin un fonctionnement efficace et sûr de tous les appareils, ainsi que prolonger leur durée de vie.

Qu'il s'agisse d'équipements de base comme les tensiomètres ou de technologies médicales avancées comme les appareils à ultrasons ou à rayons X, leur bon fonctionnement est essentiel pour fournir des soins médicaux de qualité.

2.4. Les types de la maintenance des équipements médicaux

La maintenance des équipements médicaux est classée en différents types en fonction du moment où elle est effectuée, de l'objectif qu'elle poursuit et de la méthodologie appliquée. La compréhension de ces catégories est essentielle pour concevoir un plan de maintenance efficace, adapté aux caractéristiques de chaque équipement et aux fonctions qu'il remplit au sein du système de santé.

Les trois principaux types de maintenance des équipements médicaux sont les suivants :

a. La maintenance prédictive

La maintenance prédictive repose sur l'utilisation de différents indicateurs et de technologies avancées pour prévoir le moment où un appareil peut avoir besoin d'une maintenance ou présenter des dysfonctionnements. De cette manière, il est possible de anticiper les défaillances avant qu'elles ne se produisent. Pour ce faire, des outils tels que des capteurs, des logiciels de diagnostic à distance, l'analyse des vibrations, la température, les cycles d'utilisation ou les historiques de fonctionnement sont utilisés pour estimer l'usure des composants clés.

Son principal avantage est l'optimisation des ressourcesun aspect essentiel des soins de santé. Grâce à la maintenance prédictive, un surveillance proactive. Cela permet d'éviter les temps d'arrêt des équipements, de maximiser leur disponibilité et d'éviter les réparations inutiles ou les pannes inattendues.

b. Maintenance préventive

La maintenance préventive est un ensemble d'interventions planifiées qui sont effectuées régulièrement, que l'équipement présente ou non des défauts visibles. Il comprend des tâches telles que le nettoyage interne et externe, l'étalonnage, le paramétrage, la vérification des alarmes, les tests de sécurité électrique et le remplacement programmé des pièces d'usure.

Ce type d'entretien vise à identifier et corriger tout problème lié à l'appareil avant qu'il ne s'aggrave affectant leurs performances. Leur mise en œuvre est essentielle pour minimiser le risque de défaillances imprévues, maintenir la précision de l'équipement et se conformer aux normes réglementaires.

c. La maintenance corrective

Maintenance corrective est effectuée lorsque l'équipement est en panne ou présente un dysfonctionnement.. Dans cette situation, ce type de maintenance cherche à rétablir l'opérabilité le plus rapidement possible en réparant ou en remplaçant les composants endommagés. Ses différentes tâches consistent à diagnostiquer la cause du problème, à réparer les éléments endommagés et à effectuer des tests fonctionnels pour évaluer leur bon fonctionnement après la réparation.

Par rapport à la maintenance prédictive et préventive, ce type de maintenance vise à résoudre les problèmes ou les défaillances existants afin de remettre le système en service le plus rapidement possible. Bien qu'inévitable dans certains cas, un système qui dépend trop fortement de la maintenance corrective est souvent inefficace et coûteux.

2.5. La maintenance des équipements médicaux en 5 niveaux

Pour une grande variété d'équipements, la maintenance biomédicale est caractérisée par une multitude de tâches différentes par leur nature et par leur temps d'exécution. Ces tâches sont regroupées en familles et classées en cinq niveaux, (Walraeve et Vigneau, 2005). Selon l'endroit où elles peuvent être réalisées (en interne ou en externe), le type d'interventions ainsi que la complexité de la maintenance et des outils nécessaires à leur réalisation :

Le niveau 1 : Actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipements de soutien intégrés au bien. Ce type d'opérations (remplacement des ampoules de l'éclairage opératoire, modifications de paramètres sur des moniteurs, etc.) peut être effectué par l'utilisateur du bien avec, le cas échéant, les équipements de soutien intégrés au bien et à l'aide des instructions d'utilisation.

Le niveau 2 : Actions qui nécessitent des procédures simples et/ou des équipements de soutien (intégrés ou extérieurs). Ce type d'actions de maintenance (remplacement des composants, lecture des logigrammes, etc.) est effectué par un personnel qualifié avec les procédures détaillées et les équipements de soutien définis dans les instructions de maintenance. Un personnel est qualifié lorsqu'il reçoit une formation lui permettant de travailler en sécurité sur un bien présentant certains risques potentiels. Dans ce cas le personnel est reconnu apte pour l'exécution des travaux qui lui sont confiés, compte tenu de ses connaissances et de ses aptitudes.

Le niveau 3 : Opérations qui nécessitent des procédures complexes et/ou des équipements de soutien portatifs, d'utilisation ou de mise en oeuvre complexes. Ce type d'opération de maintenance (diagnostic des pannes en utilisant des équipements de contrôle de mesure et d'essai « ECME », remplacement des composants avec usages des équipements, etc.) peut être effectué par un technicien qualifié, à l'aide de procédures détaillées et des équipements de soutien prévus dans les instructions de maintenance. Les interventions se font sur place ou chez le sous-traitant.

Le niveau 4 : Opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et/ou la mise en oeuvre d'équipements de soutien spécialisés. Ce type d'opération de maintenance (réparation des équipements complexes avec analyse des pannes, révision partielle ou générale, relevé de paramètres techniques, etc.) effectué par un technicien ou une équipe spécialisée à l'aide de toutes les instructions de maintenance générales ou particulières, se fait chez le sous-traitant (la société de service ou le constructeur même).

Le niveau 5 : Opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et/ou des équipements de soutien industriels. Par définition, ce type d'opérations de maintenance (rénovation, reconstruction, etc.) est effectué par le constructeur ou par un service ou une société spécialisée avec des équipements de soutien définis par le constructeur.

2.6. Formes de la maintenance

Plusieurs formes de maintenance peuvent être envisagées.

A. Maintenance externalisée

L'exploitant de l'équipement sous-traite la totalité des opérations de maintenance. Cette maintenance peut être confiée soit au fabricant ou son représentant officiel, soit à un tiers mainteneur (on parle alors de tierce maintenance).

B. Maintenance internalisée

La maintenance est réalisée entièrement par le personnel de l'exploitant.

C. Maintenance partagée

Une partie de la maintenance est externalisée, la main-d'œuvre interne de l'exploitant assurant l'autre partie.

Le découpage de la maintenance peut suivre plusieurs logiques :

- par type de maintenance (l'exploitant assure la maintenance préventive et laisse le fabricant réaliser les réparations par exemple).

- par niveau de complexité (l'exploitant réalise les premiers niveaux de maintenance et laisse au fabricant les niveaux plus complexes, quand son personnel n'est pas assez qualifié ou outillé pour le faire par exemple).

Cette forme de maintenance n'est à utiliser que lorsqu'il apparaît aisé de définir précisément les domaines d'intervention du mainteneur et de l'utilisateur, afin d'éviter toute difficulté d'exécution du contrat.

Les niveaux de responsabilité doivent être précisés et la formation du personnel biomédical une condition préalable.

2.7. Les méthodes : AMDEC/ PARETO/AHP

A. Méthode AMDEC

L'AMDEC est une méthodologie structurée permettant d'identifier les modes de défaillance possibles dans des produits, des processus ou des systèmes, et d'évaluer leurs causes et leurs conséquences. Les modes de défaillance désignent les façons dont un élément peut ne pas remplir sa fonction prévue, tandis que les effets décrivent l'impact de ces défaillances.

L'objectif de l'AMDEC est d'anticiper les problèmes, d'identifier les risques et de mettre en œuvre des mesures préventives ou correctives avant que les défaillances ne surviennent.

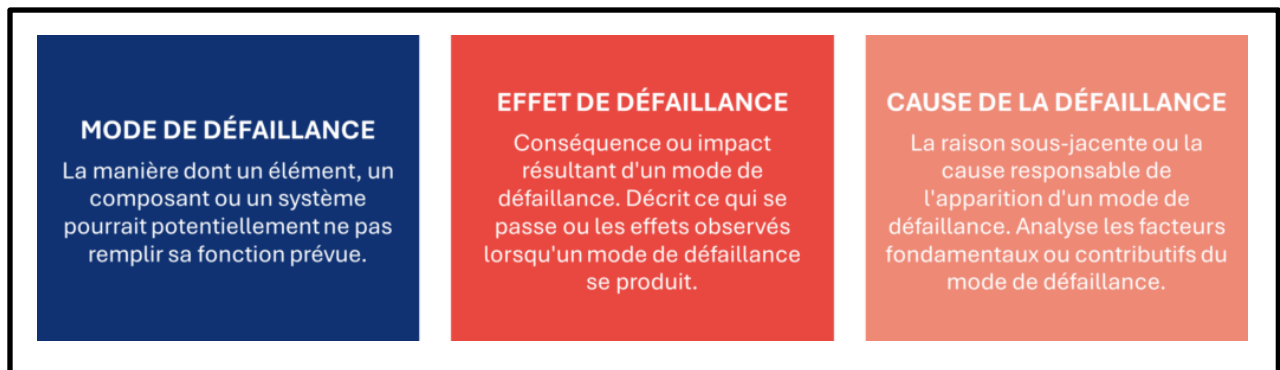


Figure 2.1 : Concepts essentiels de l'AMDEC

B. Méthode PARETO

La loi de Pareto est un moyen d'analyse assez simple pour dégager ce qui compte le plus et donc un outil pour les dirigeants et managers permettant de hiérarchiser le travail en répartissant, par exemple, ses collaborateurs de façon à gérer les dossiers prioritaires.

La méthode Pareto permet donc une meilleure gestion du temps et une meilleure productivité globale. En effet, focaliser ses efforts sur un client qui ne représente que 1% du chiffre d'affaires serait contre-productif.

Par ailleurs, utiliser le principe de Pareto est également un moyen d'auditer schématiquement son entreprise. En clair, le tableau et la courbe que révèle l'effet Pareto permettent d'identifier certaines problématiques. Pourquoi

tel client qui représentait auparavant 30 % de ses recettes semble-t-il se retirer peu à peu ? Ce constat peut inciter le chef d'équipe à porter des efforts particuliers sur ce client, car il sait qu'il existe un potentiel de redéveloppement. Il peut aussi s'enquérir des causes pour que d'autres clients ne suivent pas le même chemin.

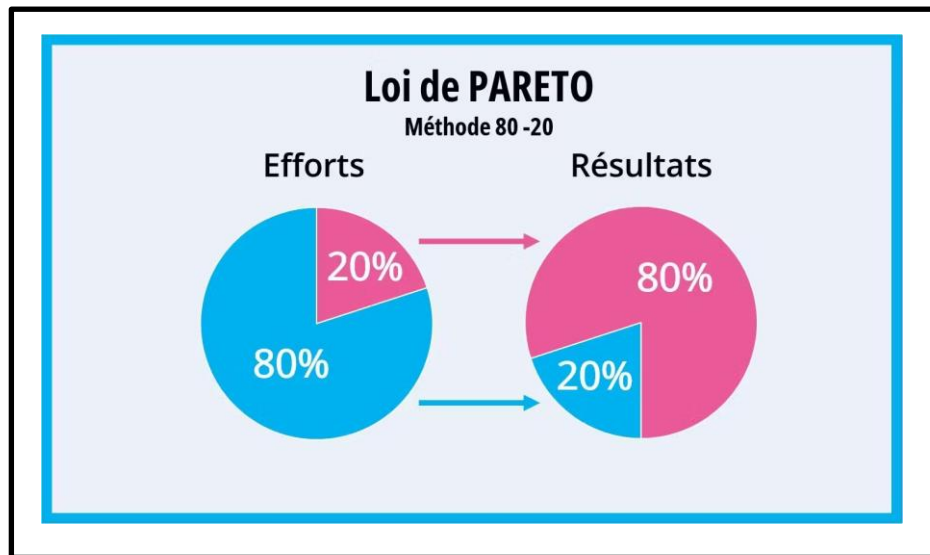


Figure 2.2 : Loi de Pareto (méthode 80 – 20)

C. Méthode AHP

Le Processus d'analyse hiérarchique (Analytic Hierarchy Process, AHP), également appelé Méthode de processus d'analyse hiérarchique, est une technique structurée combinant les mathématiques et la psychologie, utilisée pour organiser et analyser des problèmes de décision complexes. L'idée principale de cette méthode est de décomposer un problème complexe en plusieurs niveaux et facteurs, d'effectuer des comparaisons par paires pour évaluer l'importance relative des critères, d'établir une matrice de comparaison par paires, puis de calculer la valeur propre maximale de cette matrice et le vecteur propre correspondant. Ce calcul permet d'obtenir les poids indiquant l'importance relative des différentes alternatives, fournissant ainsi une base pour la sélection de la meilleure option.

L'ensemble de la théorie et du processus opérationnel de la méthode d'analyse hiérarchique repose sur trois principes fondamentaux complémentaires.

Chapitre 03 : Maintenance de la chambre d'Oxygénothérapie Hyperbare

3.1. La maintenance de la chambre hyperbare

Dans le cadre de l'entretien et de la maintenance régulière de nos installations médicales, nous avons mis en place un programme dédié à la maintenance des chambres d'oxygénothérapie hyperbare. Ce programme comprend des inspections périodiques, ainsi que le contrôle des systèmes de support de vie et des équipements de sécurité. Une attention particulière est portée sur le maintien de la production et la qualité de l'air ainsi que la pressurisation des chambres. Nous proposons également la formation de votre personnel à la manipulation et à la maintenance de base de ces équipements. Cette initiative vise à assurer le bon fonctionnement et la sécurité optimale des chambres d'oxygénothérapie hyperbare, garantissant ainsi la meilleure prise en charge possible de vos patients.

3.2. Les risques en chambre hyperbare

oxygénothérapie hyperbare (OHB) est une thérapeutique qui a fait ses preuves à travers le monde de puis plus de trente ans.

Encore faut-il qu'elle se pratique dans le respect le plus absolu des normes de sécurité, de maintenance et de prévention en vigueur dans la majorité des pays utilisant cette technique.

La catastrophe Italienne (Milan, 31 octobre 1997 : 11 personnes décèdent d'un incendie survenu dans une caisson hyperbare) est là pour nous rappeler avec force que l'OHB ne souffre pas de la moindre désinvolture dans sa pratique, qu'elle doit être avant tout une affaire de professionnels rigoureux, faisant preuve d'une vigilance de tous les instants.

La sécurité et la prévention des risques induit par la vie sous pression, l'utilisation d'oxygène pur et de mélanges à fortes concentrations d'oxygène nécessitent une parfaite connaissance des risques techniques et relatifs aux intervenants (patients, soignants).

En France, deux types de caissons thérapeutiques peuvent être utilisés :

- Les caissons monoplaces hospitaliers : interdits par le Ministère du Travail, ils peuvent être parfois utilisés dans des centres de soins. Il s'agit d'enceintes monoplaces, pressurisées à oxygène pur jusqu'à 2,8 ATA. Par

définition ces caissons ne peuvent accueillir qu'un seul patient, le plus souvent malade chronique, conscient et non monitoré.

- Les caissons multiplaces : ils sont composés d'au moins deux chambres thérapeutiques et d'un sas. Ils sont pressurisés à l'air et ce, jusqu'à 6 ATA si les impératifs médicaux l'exigent.

3.3. Analyse des risques

Risques techniques

La respiration d'un gaz sous pression exige que l'ensemble du corps soit soumis à cette pression, ce qui entraîne que tous les volumes gazeux du corps soient réduits par compression (gaz intestinaux), ou ventilés (oreilles moyennes, sinus ou poumons) et que les alvéoles pulmonaires soient exposées à des pressions partielles de gaz éventuellement dangereuses.

a) Les risques liés aux pressions partielles :

- Toxicité des gaz : l'augmentation de la pression totale du mélange respiré entraîne l'accroissement de la pression partielle de chaque composant du mélange, ainsi la toxicité d'un gaz de composition donnée est ainsi augmentée et les Valeurs Limites d'Exposition (exprimées en ppm), doivent être réduites en conséquence. Même l'oxygène et l'azote peuvent devenir toxiques et l'utilisation de mélanges synthétiques est obligatoire pour des pressions supérieures à 6 bars relatifs.

- Dissolution des gaz dans l'organisme : la dissolution des gaz inertes dans les tissus « suit » la pression partielle de gaz inerte inspirée, et le retour à pression atmosphérique nécessite des précautions pour éviter la formation de bulles qui entraîneraient l'apparition de la maladie de la décompression. La seule méthode de prévention est l'utilisation rigoureuse de tables de décompression sûres et le traitement immédiat et approprié en cas d'échec.

- L'atmosphère gazeuse dans le caisson : le décret du 28 mars 1990 fixe les pressions partielles maximales des constituants des gaz. Il convient de noter qu'il n'existe aucune directive concernant la qualité des gaz inhalés par les patients.

Tableau 3.1 : limites d'utilisation des gaz selon leur pression partielle

GAZ	LIMITES D'UTILISATION (pression totale ou partielle)
AIR	6 bars
AZOTE	5,6 bars
GAZ CARBONIQUE	0,01 bar
OXYDE DE CARBONE	0,05 mbar
OXYGÈNE	Selon durée et conditions d'exposition
AUTRES POLLUANTS	Définies par annexe Circulaire du 19/7/1982

b) Les risques liés à l'oxygène :

Les risques techniques sont aux nombres de deux :

- L'incendie
- L'explosion

L'analyse de l'oxygène est obligatoire pour une chambre hyperbare. Le feu est le danger principal dans une chambre hyperbare, il faut donc afin d'éviter tout risque :

- Construire le caisson avec des matériaux réputés incombustibles ;
- Éviter tout corps gras combustible ;
- Déverser l'oxygène à l'extérieur pour éviter une augmentation de la concentration d'O₂ dans l'atmosphère du caisson.

- Les patients sont alimentés en mélanges gazeux respiratoires par un inhalateur (ou tente à oxygène) présentant des qualités d'étanchéité, autour du visage ou de la tête, propres à éviter l'enrichissement de l'atmosphère du caisson en oxygène. Les gaz expirés doivent être rejetés à l'extérieur du caisson par un dispositif déverseur en bon état de fonctionnement. Une résistance expiratoire élevée sur le déverseur conduit à expirer à l'intérieur du caisson.

- L'étanchéité des circuits d'oxygène ne doit pas reposer sur les clapets des prises baïonnettes normalisées. Celles-ci doivent impérativement être doublées d'une vanne d'isolement.

- Un analyseur doit permettre de connaître en permanence et en continu la fraction d'oxygène dans l'atmosphère des différents compartiments du caisson (chambre et sas). Cet appareil doit être régulièrement contrôlé et étalonné. Les sondes d'oxygène à durée de vie limitée doivent être remplacées au plus tard 12 mois après leur première mise à l'atmosphère. En cours de vie, on doit s'assurer qu'elles sont capables de répondre à une $FO_2 > 30\%$.

- Un dispositif de ventilation forcée doit permettre d'éliminer rapidement, quelle que soit la pression ambiante, tout excès accidentel d'oxygène dans l'atmosphère du caisson.

- L'utilisation d'oxygène à forte concentration et à pression élevée est à l'origine du risque majeur d'incendie en atmosphère hyperbare. En effet pour une concentration identique d' O_2 , plus la pression absolue est élevée, plus le délai d'embrassement est court. Enfin, plus la concentration d' O_2 est élevée, plus la vitesse de combustion est rapide.

c) Les risques liés aux installations :

L'OHB est une modalité d'administration d'oxygène sous pression ambiante supérieur à la pression atmosphérique. Cette technique induit deux principes d'action :

- Une action mécanique, effets liés à l'application sur l'organisme d'une pression plus élevée que la pression atmosphérique ;

- L'apparition d'une pression partielle d'oxygène élevée, induite par l'augmentation de la pression ambiante dans le caisson, effets physiologiques.

Pour créer et maintenir cette pression, on utilise une enceinte étanche : le caisson. Le caisson hyperbare doit par conséquent répondre à divers paramètres de conception, afin de pouvoir remplir son rôle en sécurité :

- Être testé à la construction (pression d'épreuve hydraulique) 1.5x la pression maxi de service de la chambre / sas.

- Être parfaitement étanche pour que la pression utile reste stable au niveau de pression choisi.

- Être équipé d'un poste de contrôle, regroupant les moyens de communication, d'alerte, de secours, de lutte incendie, et toutes les informations

nécessaires sur la pression dans le caisson (chambre / sas), la nature des gaz respirés et les volumes des stocks de gaz disponibles.

- Être équipé de systèmes permettant le contrôle permanent de l'ambiance de vie caisson (concentration O₂, concentration CO₂, température, hygrométrie).

- Assurer une stabilité de l'ambiance respirable (régénération, ventilation, climatisation).

- Être conçu et équipé dans le respect des normes anti-feu.

- Être équipé de systèmes de sécurité incendie fixe ou mobile adaptés à une utilisation en milieu hyperbare.

- Être équipé d'appareils et d'équipements spécifiques à l'utilisation en sécurité en milieu hyperbare en présence de mélanges à concentration d'O₂ élevés (antidéflagrant, maxi 24V).

- L'étanchéité des enceintes pressurisées habitables doit être parfaite, tous les éléments d'étanchéité doivent être construits et adaptés pour fonctionner à la pression de service maxi.

- Seules les soupapes de sécurité tarées à la pression maxi de service du caisson sont autorisées.

- L'utilisation de disques de rupture pour la protection des enceintes pressurisées habitables est interdite.

- Une vanne à fermeture rapide, placée entre la soupape de sécurité et l'enceinte, facilement accessible, maintenue ouverte et scellée par un fil plombé doit être utilisée pour isoler cette soupape.

- Les récipients de stockage et les canalisations doivent respecter les codes de couleur normalisée permettant l'identification des fluides.

- Pour pallier toute défaillance de l'alimentation d'un appareil respiratoire ou de l'enceinte pressurisée habitée un dispositif de secours doit être disponible immédiatement :

- Réservoir tampon en quantité suffisante, compresseur.

- Réserve de gaz adaptée à la poursuite d'un traitement complet.

Le confort est, de plus, très important dans une chambre hyperbare.

Tout d'abord, l'accès au caisson nécessite :

- Une grande porte de plein pied
- Chariots de manutention des malades couchés
- Moyens pour disposer les fauteuils roulants

3.4. Sécurité des chambres thérapeutiques hyperbares

a. Matériaux

Les matériaux constitutifs du caisson doivent être ininflammables ou ignifugés (norme UIC) :

- Peintures ;
- Planchers, cloisons ;
- Literie (draps, couvertures, matelas) ;
- Revêtements des sièges.

Les circuits d'oxygène gazeux ou de mélanges gazeux contenant plus de 30% d'oxygène doivent être dégraissés tuyaux, vannes, clapets, soupapes, débitmètres, barboteurs, inhalateurs, déverseurs.

b. Matériels

Il est interdit d'introduire dans une chambre hyperbare :

- Tout élément combustible ;
- Briquets, allumettes, alcool ;
- Matières grasses de toute sorte ;
- Brillantine, tâches de cambouis, chaussures grasses, pétrole et dérivés.

En particulier les roulements à billes des roues des chariots et fauteuils doivent être soigneusement dégraissés (seul l'usage de lubrifiants incombustibles est autorisé) ;

- Beurre, aliments gras, casse-croûtes, sucre en grandes quantités ;
- Pansements gras, vaseline, glycérine, biogaze, etc... ;
- Papiers en grande quantité (attention aux journaux) ;
- Vêtements (ou sous-vêtements) synthétiques susceptibles de se charger en électricité statique.

Les pansements seront remplacés par de la gaze sèche ou imbibée de solutions ininflammables (sérum physiologique, Dakin, Bétadine, ammonium quaternaires) L'antisepsie de la peau sera réalisée par ces mêmes produits.

Il est interdit de fumer dans un caisson hyperbare. L'introduction de thermomètres à mercure est formellement interdite (risque d'intoxication par les vapeurs en cas de bris).

c. Circuits électriques

La tension électrique à l'intérieur du caisson est limitée à 42 V. Les circuits doivent être pourvus de dispositifs détecteurs de défaut d'isolement. Les appareils électriques utilisés ne devront pas produire d'étincelles.

d. Composition de l'atmosphère

L'atmosphère du caisson ne devra pas contenir plus de 25% en volume d'oxygène. Pour cela :

- Les patients sont alimentés en mélanges gazeux respiratoires par un inhalateur (ou tente à oxygène) présentant des qualités d'étanchéité, autour du visage ou de la tête, propres à éviter l'enrichissement de l'atmosphère du caisson en oxygène. Les gaz expirés doivent être rejetés à l'extérieur du caisson par un dispositif déverseur en bon état de fonctionnement. Une résistance expiratoire élevée sur le déverseur conduit à expirer à l'intérieur du caisson ;

- L'étanchéité des circuits d'oxygène ne doit pas reposer sur les clapets des prises baïonnettes normalisées. Celles-ci doivent impérativement être doublées d'une vanne d'isolement ;

- Un analyseur doit permettre de connaître en permanence et en continu la fraction d'oxygène dans l'atmosphère des différents compartiments du caisson (chambre et sas). Cet appareil doit être régulièrement contrôlé et étalonné. Les sondes d'oxygène à durée de vie limitée doivent être remplacé plus tard 12 mois après leur première mise à l'atmosphère. En cours de vie, on doit s'assurer qu'elles sont capables de répondre à une $FiO_2 > 30\%$;

- Un dispositif de ventilation forcée doit permettre d'éliminer rapidement, quelle que soit la pression ambiante, tout excès accidentel d'oxygène dans l'atmosphère du caisson.

e. Système d'extinction d'incendie

Un dispositif d'extinction d'incendie sous pression doit être présent et en état de fonctionner. Il doit être manoeuvrable de l'intérieur et de l'extérieur du caisson. Un essai de fonctionnement au moins annuel doit être effectué à la pression maximale de service et consigné sur un registre historique.

f. Formation du personnel

Le personnel chargé de l'exploitation et de la maintenance du caisson devra avoir reçu la formation adéquate à la prévention des accidents, à la mise en oeuvre des consignes de sécurité, et aux conduites à tenir en cas de dysfonctionnement.

Il est notamment chargé :

- De l'application des mesures tendant à prévenir l'introduction par les patients de substances ou matières dangereuses faire vider les poches, contrôler la nature des matériaux des vêtements, vérifier les pansements ;
- De la surveillance du bon fonctionnement des systèmes inhalateurs-déverseurs et de leur bon positionnement sur les voies aériennes des patients ;
- De la surveillance du taux d'oxygène dans l'atmosphère du caisson.

3.5. Comment agit l'oxygénothérapie hyperbare ?

Le mécanisme d'action de l'oxygénothérapie hyperbare est double sens.

Le premier est l'effet mécanique produit en raison de la haute pression utilisée lors de l'application. Cet effet est le plus avantageux en cas d'accident de décompression causé par des accidents de plongée.

Le second est l'effet dû à l'augmentation de la pression partielle d'oxygène dans les tissus en raison d'une respiration de 100% d'oxygène pur dans un environnement à haute pression, et l'apparition de certaines propriétés de l'oxygène qu'elle ne possède pas dans des conditions normales. Cet effet est surtout utilisé dans les cas de retard de cicatrisation.

La pression d'air de la salle de pression dans laquelle le traitement d'OTH est appliqué, est augmentée jusqu'à 2 à 3 fois la pression normale. Dans ces conditions, la solubilité de l'oxygène pur inhalé dans le sang augmente et peut

atteindre jusqu'à 20 fois la valeur normale selon la quantité de pression appliquée. Le sang transporte cet oxygène dans tout le corps. Cette situation aide à combattre les bactéries et à libérer des substances telles que des facteurs de croissance et des cellules souches qui contribuent à la guérison.

**Chapitre 04: Analyse de la chambre d'Oxygénothérapie
Hyperbare par l'application de l'AMDEC**

4.1. Présentation du service d'oxygénothérapie hyperbare

Unité hyperbare CHU d'Oran

Le Centre Hospitalier Universitaire d'Oran met à disposition une unité hyperbare pour le traitement de diverses pathologies médicales nécessitant l'oxygénothérapie hyperbare.

La chambre hyperbare de dernière génération équipant cette unité permet une prise en charge efficace et sécurisée des patients.

Une équipe multidisciplinaire composée de médecins hyperbares, d'infirmiers et d'ingénieur et technicien assurent le fonctionnement de la chambre hyperbare.

Cette équipe travaille de manière collaborative pour garantir une prise en charge optimale des patients durant leur traitement.

L'unité hyperbare est l'une des unités des urgences médicales, située au sein du service d'urgence médicale (tri et orientation) dont le cadre de mission est d'assurer l'oxygénothérapie hyperbare.

Il se compose :

a) La chambre hyperbare



Figure 4.1: La chambre hyperbare multiplace dans l'unité hyperbare au niveau de CHU d'Oran.

b) Un pupitre de commande :

Il sert d'interface centrale pour les opérateurs, permet de réguler de contrôler et de superviser tous les aspects du traitement hyperbare par l'intermédiaire d'instruments de surveillance, qui assurent le suivi en temps réel de paramètres essentiels tels que la pression, la température, le taux d'oxygène, l'éclairage, l'équipe soignante, à l'aide de caméras et de microphones, peuvent vérifier régulièrement les conditions de santé des patients à l'intérieur de la chambre pour s'assurer qu'ils respirent normalement et qu'ils sont en sécurité.



Figure 4.2 : Pupitre de commande.

c) Une réserve de stockage d'air comprimé :

La réserve de stockage d'air comprimé permet de disposer d'une source d'air en quantité suffisante pour alimenter la chambre hyperbare pendant toute la durée de la séance.



Figure 4.3 : Une réserve de stockage d'air comprimé.

d) Panneau de contrôle :

Le panneau de contrôle de compression et de décompression est essentiel pour maintenir des conditions de pression sûres et contrôlées, ce panneau permet de réguler la pression de l'air et de contrôler les niveaux d'oxygène.



Figure 4.4 : Panneau de contrôle.

e) Un compresseur d'air :

Le compresseur d'air est un équipement essentiel pour fournir de l'air comprimé dans la chambre hyperbare, son rôle est de maintenir la pression à l'intérieur de la chambre en fournissant de l'air comprimé de manière régulière et contrôlée.



Figure 4.5 : Compresseur d'air.

f) Un système de filtration d'air :

Il est nécessaire d'équiper le compresseur d'air de filtres spéciaux afin de purifier l'air de la chambre hyperbare en éliminant les contaminants et les impuretés, cela garantit un air propre et sain à l'intérieur de la chambre.



Figure 4.6 : Un système de filtration d'air.

g) Des cuves d'eau sous pression :

Les réservoirs d'eau pour la lutte contre l'incendie, ces cuves sont remplies d'eau et sont sous pression sont destinés uniquement aux systèmes d'extinction d'incendie.



Figure 4.7 : Des cuves d'eau sous pression.

h) Réserve de gaz suroxygénés haute pression :

La réserve de gaz suroxygénés haute pression est utilisée pour stocker de l'oxygène pur à une pression élevée et le fournir pendant les séances d'oxygénothérapie hyperbare.



Figure 4.8 : Des cuves d'eau sous pression.

i) Système de refroidissement :

Un système de refroidissement permet de maintenir une température confortable à l'intérieur de la chambre.

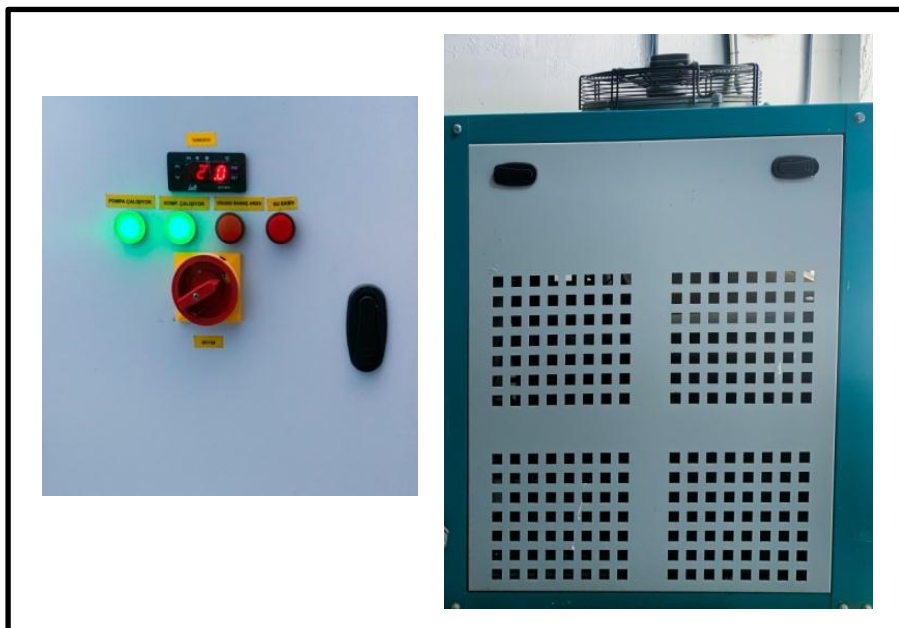


Figure 4.9 : Système de refroidissement.

4.2. Décomposition en sous-systèmes et composants

Pour faciliter l'analyse AMDEC, la chambre hyperbare est décomposée en plusieurs sous-systèmes :

Système d'alimentation en gaz

- Circuit d'oxygène
- Détendeur
- Réservoir
- Compresseur

Système de contrôle et régulation

- Capteur de pression
- Capteur d'oxygène
- Automate programmable
- Interface opérateur

Système de sécurité

- Soupape de sécurité
- Système anti-incendie
- Alarme

Structure physique

- Chambre principale
- Porte étanche
- Hublot
- Joints d'étanchéité

Système auxiliaire

- Ventilation

- Filtration
- Sécheur

4.3. Principe et objectif de la méthode AMDEC

Nous mettons en œuvre la méthode AMDEC sur la chambre d'oxygénothérapie hyperbare étudiée au CHU d'Oran. Cette application pratique vise à analyser de manière structurée les défaillances possibles de l'équipement, leurs causes et leurs impacts sur le fonctionnement global du système.

L'objectif principal est d'améliorer la sécurité des patients et du personnel, tout en optimisant la maintenance et la disponibilité de l'équipement.

Principe appliqué :

L'AMDEC utilisée est de type **AMDEC système**, car elle concerne l'ensemble de la chambre hyperbare.

Elle repose sur 3 axes :

- Mode de défaillance
- Effet de la défaillance
- Criticité

Objectifs spécifiques :

- Identifier les éléments critiques de la chambre
- Prévenir les risques graves (incendie, surpression)
- Aider à la prise de décision en maintenance

Mettre en place un plan de maintenance préventive

4.4. Identification des modes de défaillance potentiels

Les défaillances ont été identifiées par :

- Observation sur site
- Historique des pannes
- Documentation technique

Modes de défaillance relevés :

Tableau 4.1 : Modes de défaillance

Composant	Mode de défaillance	Causes	Effets
Joint étanchéité	Fuite	Usure, vieillissement	Perte pression, danger patient
Circuit O ₂	Fuite	Mauvais raccord, corrosion	Risque incendie
Soupape sécurité	Blocage	Saleté, corrosion	Surpression, explosion
Compresseur	Panne	Surchauffe, usure	Arrêt traitement
Porte étanche	Mauvaise mesure	Défaut mécanique	Fuite pression
Alimentation électrique	Coupure	Réseau instable	Arrêt total système
Capteur O ₂	Mauvaise mesure	Défaut électronique	Mauvaise régulation
Capteur pression	Valeur erronée	Défaillance capteur	Mauvais contrôle pression
Ventilation	Dysfonctionnement	Filtre bouché	Accumulation CO ₂
Filtre air	Encrassement	Poussière	Mauvaise qualité air
Sécheur	Défaillance	Saturation	Humidité élevée
Réservoir air	Fuite	Corrosion	Perte pression

Automate	Panne	Bug, défaut	Perte contrôle
Vanne régulation	Blocage	Dépôts	Mauvaise pression
Hublot	Fissure	Choc	Danger patient
Alarme	Non fonctionnement	Panne électrique	Risque non détecté
Système incendie	Non activation	Défaut technique	Danger majeur
Câblage	Court-circuit	Usure	Panne système
Détendeur O ₂	Mauvaise régulation	Défaut mécanique	Sur/sous pression O ₂
Interface HMI	Dysfonctionnement	Bug	Mauvaise commande

4.5. Tableau AMDEC détaillé

Tableau 4.2 : Analyse AMDEC

Composant	G	F	D	C	Actions préventives	Actions détectives	Actions correctives
Joint étanchéité	5	3	4	60	Remplacement planifié	Inspection visuelle	Changement immédiat
Circuit O ₂	5	3	3	45	Maintenance périodique	Test d'étanchéité	Réparation fuite
Soupape sécurité	5	2	4	40	Nettoyage régulier	Test fonctionnel	Remplacement
Compresseur	4	3	3	36	Entretien préventif	Surveillance température	Réparation/remplacement
Porte étanche	4	3	3	36	Lubrification	Vérification avant usage	Ajustement mécanique

Alimentation électrique	4	3	3	36	UPS installé	Surveillance tension	Basculer sur secours
Capteur O ₂	4	3	2	24	Calibration périodique	Test capteur	Remplacement
Capteur pression	4	3	2	24	Étalonnage	Vérification lecture	Remplacement
Ventilation	3	2	3	18	Nettoyage filtres	Contrôle air	Réparation
Filtre air	3	2	3	18	Remplacement régulier	Inspection	Chargement
Sécheur	3	2	3	18	Maintenance	Mesure humidité	Réparation
Réservoir air	3	2	3	18	Inspection	Test pression	Réparation
Automate	3	2	3	18	Mise à jour	Test système	Redémarrage/remplacement
Vanne régulation	4	3	2	24	Nettoyage	Test débit	Remplacement
Hublot	2	2	2	8	Vérification	Inspection visuelle	Remplacement
Alarme	3	2	2	12	Test régulier	Test alarme	Réparation
Système incendie	5	1	3	15	Maintenance obligatoire	Test système	Réparation immédiate
Câblage	3	2	3	18	Vérification	Inspection électrique	Réparation
Détendeur O ₂	4	3	2	24	Maintenance	Test pression	Remplacement
Interface HMI	2	2	2	8	Mise à jour	Test interface	Correction logiciel

4.6. Résultats et interprétation de la criticité

L'analyse des résultats met en évidence trois niveaux de criticité :

Niveau critique ($C \geq 40$)

Les composants présentant les niveaux de criticité les plus élevés sont :

- Le joint d'étanchéité ($C = 60$)
- Le circuit d'oxygène ($C = 45$)
- La soupape de sécurité ($C = 40$)

Ces défaillances sont caractérisées par une gravité maximale ($G = 5$), ce qui signifie qu'elles peuvent engendrer des conséquences graves, notamment la perte de pression, le risque d'incendie ou une surpression dangereuse. Ces éléments représentent donc des points sensibles nécessitant une attention prioritaire.

Niveau important ($20 \leq C < 40$)

Ce niveau regroupe plusieurs composants tels que :

- Le compresseur
- La porte étanche
- L'alimentation électrique
- Les capteurs et organes de régulation

Ces défaillances, bien que moins critiques, peuvent entraîner des interruptions de fonctionnement ou une dégradation des performances du système. Elles nécessitent une maintenance préventive rigoureuse et une surveillance régulière.

Niveau faible ($C < 20$)

Les autres composants présentent une criticité faible, notamment :

- Les systèmes de filtration
- La ventilation
- L'interface utilisateur
- Le câblage

Ces défaillances ont un impact limité et sont généralement faciles à détecter et à corriger.

4.7. Analyse global

L'analyse met en évidence que les défaillances les plus critiques sont principalement liées :

- À l'étanchéité de la chambre
- Au circuit d'oxygène
- Aux dispositifs de sécurité

Cela confirme que les risques majeurs dans une installation hyperbare sont directement associés à la gestion de la pression et de l'oxygène.

Implications techniques

Les résultats obtenus permettent de définir une stratégie de maintenance basée sur la criticité :

- Renforcement des contrôles pour les composants critiques
- Planification d'actions préventives pour les éléments importants
- Maintenance standard pour les composants à faible criticité

Ainsi, l'AMDEC constitue un outil efficace pour améliorer la fiabilité et la sécurité du système.

4.8. Conclusion

L'application de la méthode AMDEC à la chambre d'oxygénothérapie hyperbare du CHU d'Oran a permis d'identifier et de hiérarchiser les défaillances potentielles.

Les résultats obtenus montrent que les risques majeurs sont liés aux systèmes d'étanchéité, au circuit d'oxygène et aux dispositifs de sécurité.

Cette analyse constitue une base essentielle pour :

- Améliorer la fiabilité de l'équipement
- Garantir la sécurité des patients
- Optimiser la stratégie de maintenance

**Chapitre 05 : Priorisation et optimisation de la maintenance préventive
basée sur l'indice IPMP-CH- application à la chambre d'Oxygénothérapie
Hyperbare du CHU d'Oran**

5.1. Introduction

La maintenance de la chambre d'oxygénothérapie hyperbare constitue un enjeu critique en raison de son impact direct sur la sécurité des patients et la continuité des soins. Après l'analyse de criticité réalisée par la méthode AMDEC, ce chapitre vise à traduire ces résultats en une démarche opérationnelle de maintenance. Pour cela, un modèle de priorisation basé sur l'indice (IPMP-CH) est appliqué afin d'évaluer et classer les composants selon leur niveau de criticité. Les résultats obtenus permettent d'identifier les éléments prioritaires et de proposer un plan de maintenance préventive optimisé, adapté aux exigences techniques et hospitalières.

5.2. Présentation du modèle IPMP-CH

A. Principe général du modèle

Le modèle IPMP-CH (Indice de Priorisation de la Maintenance Préventive de la Chambre Hyperbare) est un outil d'aide à la décision destiné à classer les actions de maintenance préventive selon leur degré de priorité. Il permet d'intégrer, dans un seul indice synthétique, les dimensions techniques, cliniques, organisationnelles et économiques propres à une chambre d'oxygénothérapie hyperbare.

L'intérêt de ce modèle est de passer d'une logique descriptive de la maintenance à une logique priorisée et hiérarchisée. Autrement dit, il ne s'agit pas seulement d'identifier les défaillances possibles, mais de déterminer quelles actions préventives doivent être réalisées en premier sur les sous-systèmes les plus critiques.

Dans le contexte du CHU d'Oran, cette priorisation est particulièrement importante, car la chambre hyperbare est un équipement thérapeutique à forte criticité, dont l'indisponibilité peut avoir des conséquences directes sur la prise en charge des patients.

B. Formule mathématique du modèle

Le modèle IPMP-CH (Indice de Priorisation de la Maintenance Préventive de la Chambre Hyperbare) constitue un indicateur multicritère destiné à évaluer le niveau de priorité des actions de maintenance préventive appliquées à la chambre d'oxygénothérapie hyperbare. Il a pour objectif de transformer des informations techniques, cliniques et organisationnelles en un score synthétique permettant de hiérarchiser les interventions de maintenance selon leur criticité réelle.

Dans lequel la maintenance préventive est pilotée à partir de paramètres qualitatifs et quantitatifs pondérés, puis normalisés afin d'obtenir un indice final exploitable pour la décision. Dans le cas de la chambre hyperbare, cette logique est particulièrement pertinente, car l'équipement est à la fois thérapeutique, critique et fortement lié à la sécurité du patient et du personnel.

Formule générale du modèle

L'indice IPMP-CH peut être exprimé sous la forme suivante :

$$IPMP - CHi = \frac{\sum_{j=1}^n Rj \times Sij}{N}$$

Où :

- IPMP-Chi représente l'indice de priorisation du sous-système ou de l'action de maintenance i ;
- Rj désigne le poids attribué au critère j ;
- Sij correspond au score du sous-système i selon le critère j ;
- n est le nombre total de critères retenus ;
- N est le facteur de normalisation.

Cette formulation permet d'intégrer dans un seul indicateur l'ensemble des critères retenus pour l'analyse, tout en tenant compte de leur importance

relative. Ainsi, un critère lié à la sécurité ou à l'indisponibilité de la chambre aura une influence plus forte sur le résultat final qu'un critère secondaire.

Rôle des coefficients de pondération

Les coefficients R_j représentent le poids stratégique de chaque critère dans l'évaluation globale. Dans un environnement hospitalier, et plus particulièrement pour une chambre d'oxygénothérapie hyperbare, les paramètres relatifs à la sécurité, à la fréquence des pannes, à la disponibilité de secours et à l'équipe spécialisée doivent être fortement pondérés. Cette hiérarchisation traduit le fait qu'une défaillance de la chambre ne produit pas seulement une perte technique, mais peut aussi entraîner une interruption de traitement et un risque clinique direct.

Rôle des scores de critère

Les scores S_{ij} traduisent la situation réelle de chaque sous-système par rapport à chacun des critères retenus. Chaque critère est évalué selon une échelle qualitative ou semi-quantitative. Plus la situation est critique, plus le score attribué est élevé. Par exemple, un sous-système soumis à des pannes fréquentes, difficile à maintenir, coûteux à réparer et dépourvu de solution de secours obtiendra un score global élevé, ce qui traduira une priorité de maintenance renforcée.

Normalisation des résultats

Afin de rendre l'indice comparable entre plusieurs sous-systèmes, le score brut obtenu est normalisé par un facteur N . Ce facteur correspond à la valeur maximale théorique que peut atteindre le modèle si tous les critères prennent leur valeur la plus élevée. La normalisation permet d'obtenir un indice compris dans une plage standardisée, généralement entre 0 et 1, ce qui facilite l'interprétation et le classement des priorités.

Le facteur de normalisation peut être défini comme suit :

$$N = \sum_{i=1}^{13} R_j \times S_{j,maxi} \dots (5.2)$$

Où S_j , max représente la valeur maximale possible du critère j.

Le résultat final est donc :

- Proche de 1 lorsque le sous-système est très critique et nécessite une action préventive urgente ;
- Intermédiaire lorsque la criticité est modérée ;
- Proche de 0 lorsque le sous-système présente une criticité faible et peut être traité dans le cadre d'une maintenance standard.

Le score obtenu ne constitue pas seulement un résultat mathématique ; il sert avant tout d'outil d'aide à la décision. Il permet de classer les sous-systèmes de la chambre hyperbare selon leur niveau de priorité de maintenance préventive. À partir de ce score, les actions peuvent être regroupées en quatre classes :

- Priorité élevée
- Priorité moyenne
- Priorité faible
- Priorité très faible

C. Choix des paramètres du modèle pour la chambre hyperbare

Pour adapter le modèle à la chambre d'oxygénothérapie hyperbare, les 13 paramètres initiaux sont conservés, mais leur interprétation est reformulée pour refléter la réalité biomédicale et hospitalière de cet équipement.

Tableau 5.1 : Paramètres retenus pour le modèle IPMP-CH

Parametre	Interprétation adaptée à la chambre hyperbare	Poids proposé (R)
Fonction de l'équipement médical	Rôle thérapeutique direct de la chambre dans le traitement des patients	10
Type d'équipement médical	Équipement thérapeutique critique à usage hospitalier spécialisé	7
Localisation par service	Niveau de criticité du service hyperbare dans le parcours de soins	5
Risque de conséquence d'une défaillance	Gravité clinique et sécuritaire d'une panne	10
Âge de l'appareil	Influence de l'ancienneté sur la fiabilité	8
Taux d'utilisation	Intensité réelle d'utilisation au CHU d'Oran	8
Complexité de la maintenance	Niveau de difficulté technique des interventions	7
Fréquence des défaillances	Historique des pannes observées	10
Coût de maintenance/réparation	Impact économique d'une intervention corrective	5
Causes des temps d'arrêt	Origine des indisponibilités techniques ou logistiques	6
Durée des temps d'arrêt	Temps d'indisponibilité de la chambre	7
Nombre d'équipements de secours disponibles	Existence ou non d'une solution de remplacement	9
Disponibilité de l'équipe de maintenance spécialisée	Présence de compétences internes ou externes	8

Les critères directement liés à la sécurité, à la fréquence des pannes et à la disponibilité reçoivent les pondérations les plus élevées, car ils conditionnent

la continuité des soins et le niveau de risque hospitalier. Dans lequel les critères de sécurité, d'impact clinique et de disponibilité sont déjà fortement valorisés. La figure 5.1 représente les paramètres sélectionnés et leurs facteurs de pondération (R). Ce modèle repose sur l'importance, les priorités et l'utilisation du dispositif.

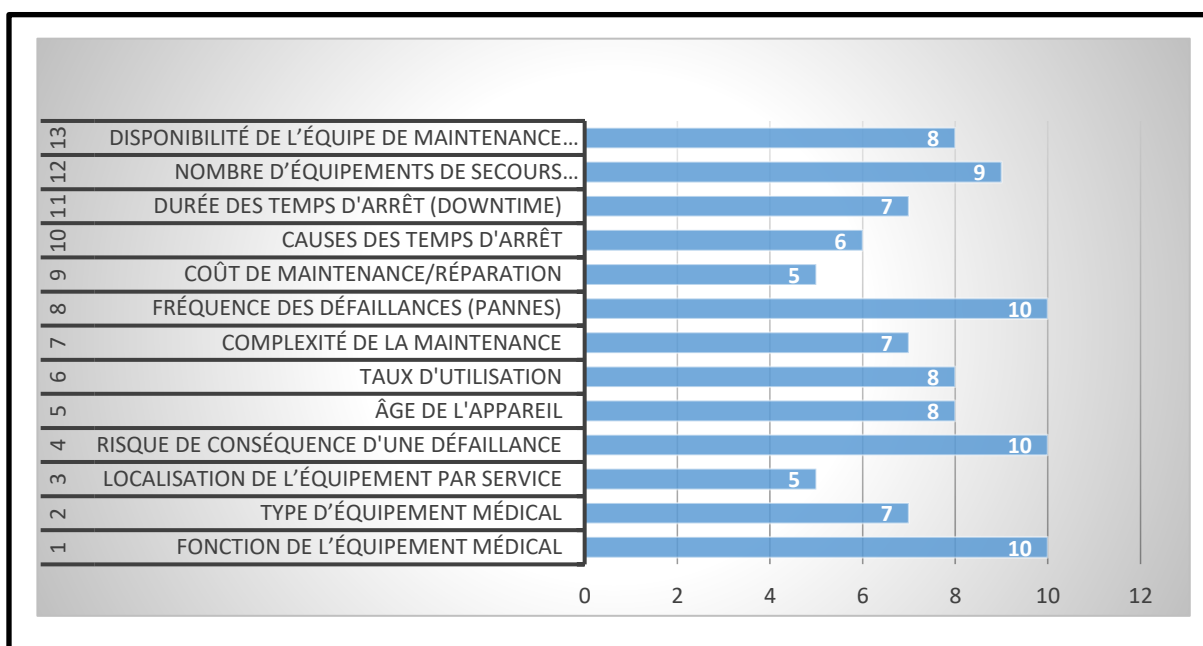


Figure 5.1 : Paramètres qualitative de modèle proposé

D. Détail des paramètres et échelles de notation

Dans le modèle IPMP-CH, chaque paramètre est noté selon une échelle qualitative. Plus la situation est critique, plus le score attribué est élevé.

Tableau 1.2 : Détail des paramètres et critères de notation

Parametre	Échelle de notation proposée	Sens de la note
Fonction de l'équipement	<p>10 = fonction thérapeutique vitale ou très critique.</p> <p>8 = fonction thérapeutique directe. 6 = fonction de support.</p> <p>1 = fonction non critique.</p>	Plus la fonction influence le traitement, plus la note est élevée

Type d'équipement	<p>15 = équipement de maintien de la vie.</p> <p>14 = équipement thérapeutique critique.</p> <p>10 = équipement de surveillance/sécurité.</p> <p>7 = équipement de support.</p>	Plus l'équipement est critique pour le soin, plus la note est élevée
Localisation par service	<p>10 = service hyperbare à forte criticité.</p> <p>8 = service spécialisé respiratoire.</p> <p>6 = service clinique standard.</p> <p>4 = service non critique.</p>	Plus le service est sensible, plus la note est élevée
Conséquence d'une défaillance	<p>5 = décès ou accident grave.</p> <p>4 = blessure patient/personnel.</p> <p>3 = interruption de traitement.</p> <p>2 = retard.</p> <p>1 = impact faible.</p>	Plus l'effet clinique est grave, plus la note est élevée
Âge de l'appareil	<p>5 = plus de 10 ans.</p> <p>4 = 7–10 ans.</p> <p>3 = 5–6 ans.</p> <p>2 = 3–4 ans.</p> <p>1 = 1–2 ans.</p>	Plus l'équipement est ancien, plus la note est élevée
Taux d'utilisation	<p>5 = usage quotidien.</p> <p>4 = hebdomadaire.</p> <p>3 = bimensuel.</p>	Plus l'équipement est sollicité, plus la note est élevée

	2 = mensuel. 1 = occasionnel.	
Complexité de maintenance	5 = maintenance majeure. 3 = maintenance modérée. 1 = maintenance mineure.	Plus la maintenance est complexe, plus la note est élevée
Fréquence des pannes	5 = >10 pannes. 4 = 8–10. 3 = 5–7. 2 = 2–4. 1 = 1 panne. 0 = aucune.	Plus les pannes sont fréquentes, plus la note est élevée
Coût de maintenance	5 = coût élevé. 3 = coût moyen. 1 = coût faible.	Plus la réparation est coûteuse, plus la note est élevée
Causes des temps d'arrêt	6 = pièces indisponibles. 5 = outillage/manipulation. 4 = absence de technicien. 3 = logiciel/étalonnage. 2 = documentation. 1 = autres ; 0 = aucun arrêt.	Plus la cause est bloquante, plus la note est élevée
Durée des temps d'arrêt	5 = arrêt très long. 4 = arrêt long. 3 = arrêt modéré. 2 = arrêt court.	Plus la durée d'arrêt est importante, plus la note est élevée

	1 = arrêt très court. 0 = aucune indisponibilité.	
Équipements de secours	6 = aucun secours. 5 = un seul. 4 = deux. 3 = trois. 2 = quatre. 1 = cinq ou plus.	Moins il existe de secours, plus la criticité est élevée
Équipe de maintenance spécialisée	5 = aucune équipe. 4 = équipe externe avec délai > 1 semaine. 3 = équipe externe sous 3–7 jours. 2 = équipe interne partielle. 1 = équipe interne permanente.	Moins les compétences sont disponibles, plus la note est élevée

E. Adaptation spécifique à la chambre d'oxygénothérapie hyperbare

Pour la chambre hyperbare, certains paramètres deviennent particulièrement déterminants :

- **Le paramètre 4:** une défaillance peut avoir des conséquences cliniques majeures ;
- **Le paramètre 8:** la répétition des pannes traduit une fragilité technique ;
- **Le paramètre 11:** une indisponibilité, même courte, perturbe la continuité des soins ;
- **Le paramètre 12:** l'absence de chambre de secours augmente fortement la criticité ;

- **Le paramètre 13:** la disponibilité d'une équipe spécialisée est un facteur décisif.

En pratique, ces cinq paramètres doivent peser davantage dans l'interprétation finale du score, car ils expriment le niveau réel de risque hospitalier.

F. Interprétation du score IPMP-CH

Une fois calculé, l'indice IPMP-CH permet de classer les sous-systèmes ou actions de maintenance en quatre niveaux de priorité.

Tableau 5.3 : Interprétation du score IPMP-CH

Intervalle du score normalisé	Niveau de priorité	Décision de maintenance
0,75 à 1,00	Priorité élevée	Intervention préventive immédiate ou renforcée
0,50 à 0,74	Priorité moyenne	Intervention programmée à court terme
0,25 à 0,49	Priorité faible	Surveillance renforcée et maintenance planifiée
0,00 à 0,24	Priorité très faible	Maintenance standard et suivi périodique

Cette grille reprend la logique du modèle de base, dans lequel les résultats sont traduits en fréquence d'intervention préventive.

G. Fréquence recommandée des interventions

Tableau 5.4 : Correspondance entre priorité et fréquence de maintenance

Niveau de priorité	Fréquence recommandée
Élevée	Deux interventions préventives par an
Moyenne	Une intervention préventive par an
Faible	Une intervention tous les deux ans
Très faible	Une intervention tous les trois ans

Dans le cas de la chambre hyperbare, il est possible de renforcer cette grille si les résultats de terrain montrent une utilisation intensive, un âge avancé de l'équipement ou un historique de défaillances répétées.

5.3. Calcul de l'indice PMPRI

Cette section présente le calcul automatisé de l'indice PMPRI à partir des critères pondérés appliqués aux 50 composants de la chambre hyperbare. L'indice obtenu permet d'évaluer la criticité de chaque composant et de quantifier son niveau de priorité pour la maintenance préventive.

5.4. Classement des actions de maintenance préventive

Les composants ont été ensuite classés selon leurs valeurs PMPRI afin d'identifier les éléments les plus critiques. Ce classement met en évidence les sous-systèmes et composants nécessitant une attention prioritaire, notamment ceux liés à la pression, à l'oxygène, au contrôle et à la sécurité.

5.5. Proposition d'un plan de maintenance préventive priorisé

Enfin, un plan de maintenance préventive priorisé a été proposé à partir des résultats du classement. Il permet de programmer les interventions selon le niveau de criticité et d'optimiser la disponibilité, la sécurité et la fiabilité de la chambre hyperbare.

5.6. Discussion des résultats

L'application du modèle IPMP-CH à la chambre d'oxygénothérapie hyperbare du CHU d'Oran a permis d'identifier et de hiérarchiser les sous-systèmes et composants selon leur niveau de criticité vis-à-vis de la maintenance préventive. Les résultats montrent clairement que les éléments directement liés à la fonction thérapeutique et à la sécurité de fonctionnement, notamment le système de compression, le circuit d'oxygène, le système de sécurité, le système de contrôle-commande et l'instrumentation, présentent les niveaux de priorité

les plus élevés. À l'inverse, les sous-systèmes de communication et les fonctions auxiliaires affichent une criticité plus faible.

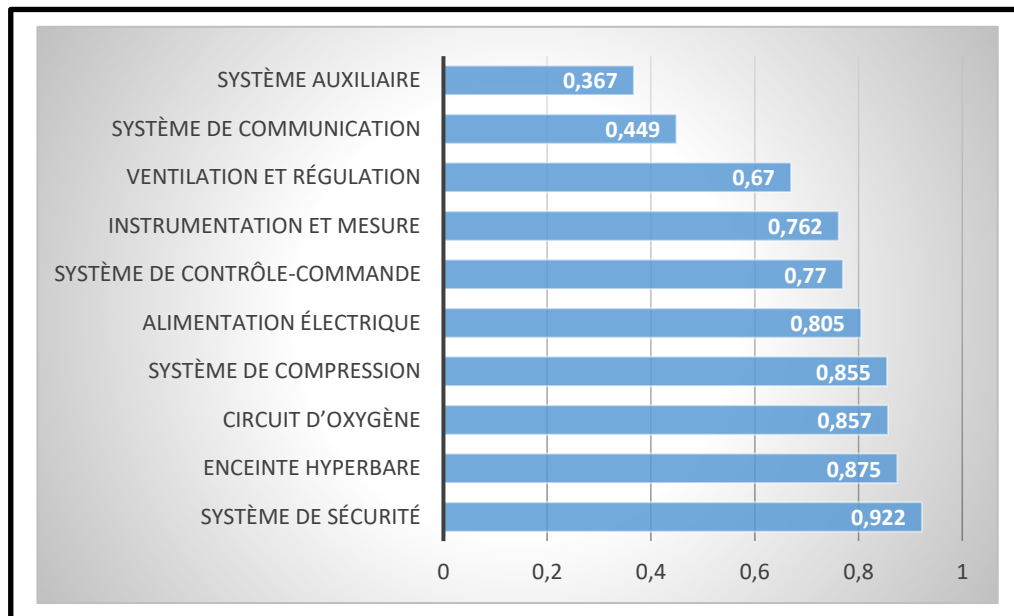


Figure 5.2 : IPMP-CH moyen par sous-système

La **figure 5.2** met en évidence cette hiérarchisation en montrant que les sous-systèmes essentiels au maintien des conditions de traitement concentrent les valeurs moyennes d'IPMP-CH les plus élevées.

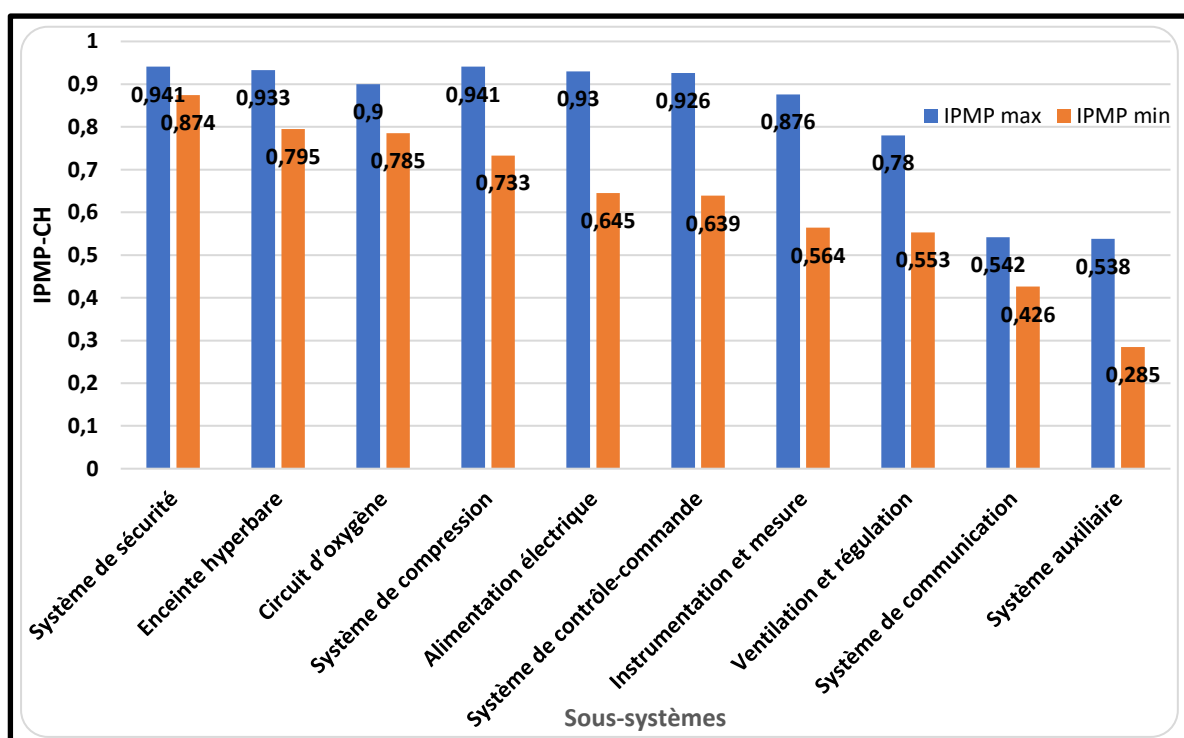


Figure 5.3 : Valeurs maximales et minimales de l'IPMP-CH par sous-système

La **figure 5.3** souligne l'existence d'une hétérogénéité au sein de certains sous-systèmes, révélant que quelques composants spécifiques concentrent la majorité du risque, ce qui justifie une approche détaillée au niveau composant.

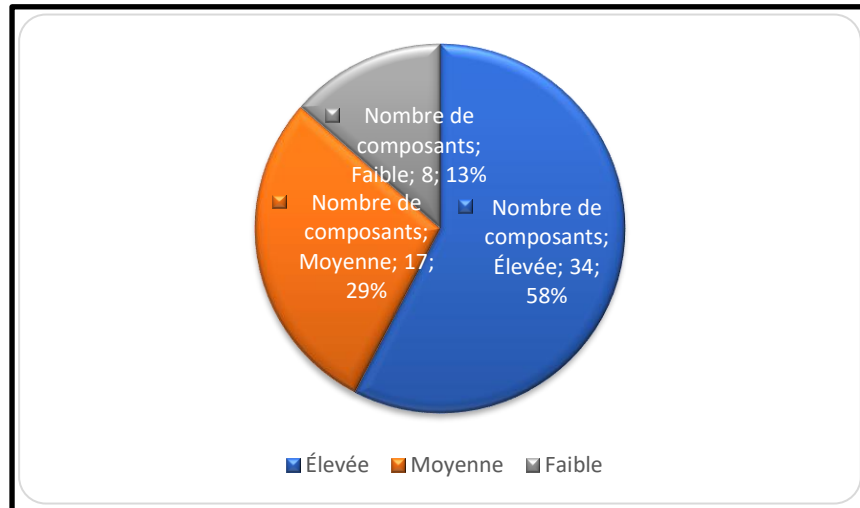


Figure 5.4 : Répartition des composants selon le niveau de priorité.

La **figure 5.4** illustre la répartition des composants par niveau de priorité et montre qu'une proportion significative appartient aux classes élevée et moyenne, traduisant le caractère critique de l'équipement.

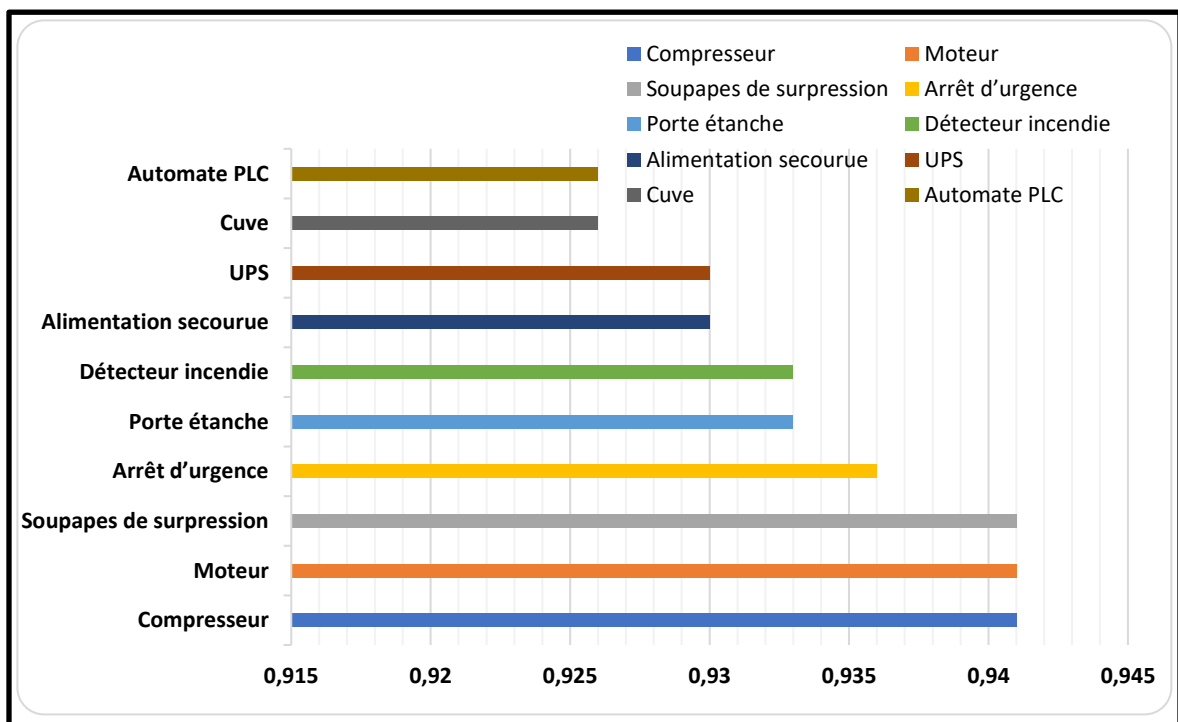


Figure 5.5 : Les 10 composants les plus critiques selon l'IPMP-CH

La **figure 5.5** identifie les composants les plus sensibles, tels que les soupapes de sécurité, le compresseur, les capteurs et les dispositifs de régulation, qui doivent faire l'objet d'une attention prioritaire.

Ces résultats confirment la pertinence du modèle IPMP-CH comme outil d'aide à la décision, permettant de passer d'une analyse technique à une planification optimisée de la maintenance. L'approche adoptée facilite l'allocation des ressources en ciblant les éléments les plus critiques, tout en contribuant à améliorer la disponibilité de l'équipement et la sécurité des patients. Toutefois, la précision des résultats reste dépendante de la qualité des données collectées et des choix de pondération, ce qui suggère la nécessité d'une validation continue et d'un enrichissement du modèle par des données réelles d'exploitation.

5.7. Conclusion

Ce chapitre a permis de proposer et d'appliquer un modèle de priorisation de la maintenance préventive, intitulé **IPMP-CH**, adapté au cas de la chambre d'oxygénothérapie hyperbare du CHU d'Oran. En s'appuyant sur une approche multicritère intégrant des paramètres techniques, cliniques et organisationnels, ce modèle a permis de transformer l'analyse de criticité en un outil opérationnel d'aide à la décision.

Les résultats obtenus ont mis en évidence une hiérarchisation claire des sous-systèmes et des composants, en identifiant les éléments les plus critiques, notamment ceux liés à la génération de pression, à l'alimentation en oxygène, à la sécurité et au pilotage de l'équipement. L'exploitation des résultats, appuyée par les figures 5.2 à 5.5, a permis de confirmer la pertinence de l'approche adoptée, en mettant en évidence la concentration du risque sur un nombre limité de composants stratégiques.

Ainsi, le modèle IPMP-CH permet d'orienter efficacement les actions de maintenance préventive en fonction de la criticité réelle des éléments, contribuant à améliorer la disponibilité de la chambre hyperbare, à réduire les

risques de défaillance et à renforcer la sécurité des patients et du personnel. Il constitue également une base structurée pour l'élaboration d'un plan de maintenance optimisé, adapté aux contraintes du milieu hospitalier.

Conclusion générale

Ce mémoire a porté sur l'étude et l'optimisation de la maintenance préventive d'une chambre d'oxygénothérapie hyperbare du CHU d'Oran. En raison de la complexité technique et des risques associés à ce type d'équipement médical critique, une approche structurée de maintenance s'avère indispensable pour garantir la sécurité des patients, la continuité des soins et la disponibilité de l'installation.

L'application de la méthode AMDEC à la chambre d'oxygénothérapie hyperbare du CHU d'Oran a constitué une étape majeure du travail. Cette analyse a permis d'identifier les modes de défaillance potentiels, leurs causes et leurs effets, puis de hiérarchiser les éléments selon leur criticité. Les résultats ont montré que les défaillances les plus sensibles sont principalement liées à l'étanchéité de la chambre, au circuit d'oxygène et aux dispositifs de sécurité. Les composants les plus critiques, tels que le joint d'étanchéité, le circuit d'oxygène et la soupape de sécurité, nécessitent donc une attention prioritaire dans la stratégie de maintenance.

Dans le prolongement de cette analyse, un modèle de priorisation de la maintenance préventive, intitulé IPMP-CH, a été proposé et adapté au contexte de la chambre hyperbare. Ce modèle multicritère intègre des paramètres relatifs à la fonction de l'équipement, au risque de défaillance, à l'âge, à la fréquence des pannes, à la complexité de maintenance, à la disponibilité des secours et aux ressources spécialisées. Il transforme ainsi l'analyse de criticité en un outil d'aide à la décision permettant de classer les composants et les actions de maintenance selon leur niveau de priorité réel.

Les résultats obtenus ont permis de proposer un plan de maintenance préventive priorisé, mieux adapté aux exigences techniques et hospitalières de la chambre hyperbare. Cette approche contribue à améliorer la fiabilité de

l'équipement, à réduire les risques de défaillance et à optimiser les ressources du service biomédical.

En perspective, ce travail pourrait être enrichi par l'intégration de données réelles d'exploitation et par le développement d'approches de maintenance prédictive afin d'améliorer davantage la performance et la sécurité du système.

Bibliographie

Caisson hyperbare - historique de l'oxygénothérapie hyperbare (o.h.b). (n.d.). Caisson hyperbare - historique de l'oxygénothérapie hyperbare (o.h.b).

<http://www.caisson-hyperbare.com/index.cfm?srub=8-historique-oxygenotherapie-hyperbare-ohb>

Image de la chambre hyperbare multiplace. (s.d.). Récupéré sur :

https://oxyvein.com/wp-content/uploads/2021/06/oxymulti_.jpg

Au, r. P. L'oxygénothérapie hyperbare au quebec

<https://www.techno-science.net/glossaire-definition/medecine-hyperbare.html>

Image de la chambre hyperbare monoplace. (s.d.). Récupéré sur :

https://oxyvein.com/wpcontent/uploads/2022/12/318349149_594909619303193_6609291846299796682_n.jpg

Toulouse, c. (2011, octobre 18). Oxygénothérapie : un nouveau caisson hyperbare pour de nouvelles indications • réseau chu. Réseau chu.

<https://www.reseau-chu.org/article/oxygenotherapie-un-nouveau-caisson-hyperbare-pour-de-nouvelles-indications/>

Image de Distribution intra vasculaire de l'oxygène lors d'une séance d'OHB, le plasma sert de pool de réserve pour stocker l'oxygène dissout. (s.d.). Récupéré sur :

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fmedicalforum.ch%2Ffr%2Fdetail%2Fdoi%2Ffms.2017.02947&psig=AOvVaw1BIex1NuY59Yh7z0IWsn4K&ust=1685046841739000&source=images&cd=vfe&ved=0CA4QjRxqFwoTCLiy-uTmjv8CFQAAAAAdAAAAABAD>

«Sécurité» de l'action cost b14 «oxygénothérapie hyperbare». (2004). Un code européen de bonne pratique pour l'oxygénothérapie hyperbare. GIRIER, J., PASINATO, H., MARTINEZ, J., JOFFRE, T., REGHIS, S., & DELAFOSSE, B. Le caisson hyperbare : pas uniquement pour les intoxications au co.

Chapitre 30 indications de l'oxygénothérapie hyperbare en urgence. In urgences 2012.

10eme conférence européenne de consensus sur la médecine hyperbare : recommandations concernant les indications acceptées, les indications non-acceptées, et la pratique de l'oxygénothérapie hyperbare.

Réglementation de la sécurité d'un service d'hyperbare. (n. d.). Réglementation de la sécurité d'un service d'hyperbare.

<https://aresub.pagesperso-orange.fr/medecinehyperbare/souab/secu.htm#retours>

BenHouria, Z. (2016). Optimisation de la gestion du service de maintenance. *HAL open science*, 20, 23.

Fernandez, L. D. (2025, 8 7). Récupéré sur la maintenance des équipements médicaux.

Fernandez, L. D. (2025, 8 7). Récupéré sur les types de la maintenance des équipement médicaux.

Fernandez, L. D. (2025, 8 7). Récupéré sur l'importance de la maintenance des équipements médicaux.

<https://4dmedica.ai/fr/>

Comprendre L'AMDEC : analyse des modes de défaillance pour une gestion optimale des risques. Récupéré sur Kaisen Istitute :

<https://kaizen.com/fr/>

Image des concepts essentiels de l'AMDEC. (s.d.). Récupéré sur :

<https://kaizen.com/fr/publications/analyse-amdec-gestion-optimale-risques/>

La loi de PRETO. (s.d.). Récupéré sur : <https://www.cadremploi.fr/>

Image de loi de Pareto (méthode 80-20). (s.d.). Récupéré sur :

https://www.google.com/url?sa=i&source=web&rct=j&url=https://www.cadremploi.fr/editorial/conseils/conseils-carriere/loi-de-pareto-methode-80-20-comment-lutiliser-au-travail&ved=2ahUKEwjkbCe7IuUAxVxK_sDHWvVBAMQ1fkOegQICBAC&opi=89978449&cd&psig=AOvVaw1DMyn

La méthode AHP. (s.d.). Récupéré sur :

<https://baike.baidu.com/fr/item/Processus%20d%E2%80%99Analyse%20Hi%C3%A9rarchique,%20AHP/1269903>

Les risques en chambre hyperbare. (2021, 8 21). Récupéré sur HBOT.

Sécurité des chambres thérapeutiques hyperbares. (2021, 8 11). Récupéré sur HBOT.

<https://hyperbaric.kerdavid.bzh/>

Comment agit L'oxygénothérapie Hyperbare. (2025, 4 16). Récupéré sur:

<https://hisarhospital.com/fr/D%C3%A9partements/centre-doxygenotherapie-hyperbare/>

