# Introduction

La rédaction d’un mémoire de fin d’études en ingénierie suit des conventions bien établies en France et en Tunisie. Pour un projet axé sur la **détection d’anomalies de moteurs rotatifs avec TinyML (ESP32 + ADXL345)**, il est instructif de comparer la structure prévue par l’étudiant avec celle de rapports similaires récents (2020–2025) en **systèmes embarqués, surveillance vibratoire en temps réel** et **maintenance industrielle**. Nous évaluons ici :

* L’**architecture du rapport** (enchaînement des chapitres, équilibre théorie/pratique, usage des annexes)
* La **répartition typique des pages** par section
* Le **style académique français** (terminologie, voix passive/impersonnelle, etc.)
* La présence éventuelle de **sections avancées** (retombées économiques, impact environnemental, perspectives d’industrialisation, éthique)

Nous identifierons les sections manquantes ou redondantes dans le plan actuel de l’étudiant, en nous appuyant sur les **meilleures pratiques** observées dans des mémoires d’ingénieur francophones. Enfin, nous proposerons une **structure améliorée** du rapport, en soulignant quelles sections renforcer, condenser ou ajouter, afin de répondre aux attentes des jurys académiques en Tunisie comme en France.

# Structure du Rapport : Comparaison et Analyse

## Plan général et enchaînement des chapitres

Le plan actuel de l’étudiant prévoit un **rapport de ~52 pages** (hors page de garde et annexes), organisé comme suit : pages préliminaires (couverture, remerciements, résumé bilingue, sommaire, listes), une **Introduction générale** (~3 pages) présentant le contexte, la problématique et l’organisation du mémoire, puis **trois chapitres** principaux :

* **Chapitre 1 : État de l’art** (12 pages prévues) – concepts de maintenance prédictive, d’IA embarquée (TinyML), technologies existantes, et positionnement du projet.
* **Chapitre 2 : Conception et Architecture** (16 pages) – analyse des besoins, architecture système, choix du hardware/software, et traitement des données.
* **Chapitre 3 : Réalisation et Validation** (15 pages) – implémentation pratique, protocole expérimental, résultats obtenus, analyse et discussion.
* Enfin, une **Conclusion générale** (~2 pages) suivie de la bibliographie (~2 pages) et d’**annexes** (~3 pages).

Cette structure est **cohérente avec les standards** des rapports d’ingénieur. En effet, la plupart des mémoires francophones similaires comportent **2 à 4 chapitres** équilibrant théorie et pratique. Par exemple, un guide de l’École d’Ingénieurs de Gafsa souligne qu’en général le développement d’un PFE est découpé en « deux ou trois chapitres » principaux, et recommande de **ne pas dépasser ~70 pages** de corps de texte en exploitant les annexes pour les détails techniques trop volumineux[[1]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=3,chapitres%20qui%20doivent%2C%20%C3%A0%20la). Le plan de l’étudiant (trois chapitres sur ~43 pages de corps) respecte donc ce volume et cette logique.

Dans des mémoires analogues, on retrouve souvent :

* Un **chapitre de contexte** ou de **cadrage du projet** (surtout si réalisé en entreprise), suivi d’un **état de l’art** technique ;
* Un chapitre de **conception/théorie appliquée** (modèles, outils, méthodologie) ;
* Un chapitre de **travail expérimental, résultats et validation** ;
* Enfin, la conclusion.

Par exemple, un **mémoire de Master 2017** à la FST de Fès sur l’analyse vibratoire de ventilateurs industriels comporte cinq chapitres, avec d’abord la **présentation de l’entreprise d’accueil** et du procédé cimentier, puis les **principes généraux de maintenance**, l’**analyse vibratoire** elle-même, et enfin une **étude AMDEC** (analyse des modes de défaillance) pour évaluer les pannes[[2]](https://memoirepfe.fst-usmba.ac.ma/download/4238/pdf/4238.pdf#:~:text=Chapitre%204%3A,55). Ce plan intègre donc le contexte industriel et un approfondissement (AMDEC) en sus des étapes classiques. Dans le cas de l’étudiant, qui réalise le projet en laboratoire universitaire, il est **normal** de ne pas avoir de chapitre séparé de présentation d’entreprise. Le plan proposé (contexte dans l’introduction générale, puis état de l’art, conception, réalisation) est tout à fait aligné sur un PFE académique standard sans entreprise d’accueil.

Notons que certains rapports francophones démarrent par un chapitre *« Présentation du projet et de l’existant »*. Le guide de Gafsa mentionne par exemple un **Chapitre 1** englobant le **cadrage du projet**, avec éventuellement la présentation de l’organisme concerné, la définition de la problématique et l’**étude de l’existant**, ainsi que la démarche méthodologique suivie[[3]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=Exemple%20pour%20la%20mise%20en,aux%20outils%20et%20aux%20m%C3%A9thodes). L’étudiant a intégré ces éléments dans son plan : le **contexte et la problématique** figurent en introduction, et la section *2.1 Analyse des besoins* joue le rôle d’étude de l’existant (besoins métier en maintenance prédictive, limites des solutions actuelles).

Le **Chapitre 1: État de l’art** de l’étudiant (12 pages) est un choix pertinent pour asseoir la crédibilité scientifique. La plupart des mémoires techniques incluent un état de l’art où l’on ne traite **que les notions en lien direct** avec le projet. Le guide conseille de se concentrer sur les *mots-clés, outils et méthodes utilisés dans le PFE* en évitant les digressions théoriques trop générales[[4]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=%E2%80%A2%20La%20m%C3%A9thodologie%20de%20d%C3%A9marche,Le). L’état de l’art de 12 pages semble raisonnable (environ 25% du contenu total), ce qui correspond à la proportion observée dans d’autres travaux de Master où la revue bibliographique occupe généralement 15–30% du mémoire.

Ensuite, le **Chapitre 2: Conception et architecture** (16 pages, ~37% du mémoire) correspond à la partie méthodologique et de design du système. Il est judicieux d’avoir séparé cette partie de la réalisation pratique, car cela renforce la clarté du document. Des mémoires comparables adoptent soit cette séparation, soit fusionnent conception et réalisation en un seul grand chapitre. Ici, le volume (16 pages) justifie amplement un chapitre dédié. On y attend une description structurée de l’**architecture matérielle et logicielle** choisie, appuyée par des schémas, ainsi que la justification des choix (capteur ADXL345, microcontrôleur ESP32, algorithme de clustering, etc.). L’étudiant a prévu des sous-sections pertinentes (besoins, architecture, sélection hardware/software, prétraitements de données), ce qui est conforme aux bonnes pratiques.

Enfin, le **Chapitre 3: Réalisation et validation** (15 pages, ~35% du mémoire) regroupe l’implémentation effective et l’évaluation. Cette partie est cruciale car elle montre les résultats concrets obtenus. Dans les rapports similaires, on trouve souvent un chapitre expérimental du même ordre de grandeur (15–20 pages) incluant : la description du **prototype réalisé**, le **protocole de tests** (comment et dans quelles conditions les données vibratoires ont été collectées et les anomalies détectées), les **résultats** (mesures, performances du modèle TinyML) et leur **analyse**. L’étudiant a prévu des sous-sections pour tout cela (3.1 Implémentation, 3.2 Protocole, 3.3 Résultats, 3.4 Discussion). Ce découpage interne est excellent car il force à bien séparer la **présentation brute des résultats** de leur **interprétation**. Les meilleurs mémoires d’ingénieur adoptent en effet ce schéma : présenter les données puis en **discuter de façon critique**. Le guide suggère de faire de la « discussion des résultats » une étape à part entière, où l’on examine les implications des résultats, leurs limites, et les facteurs ayant pu les influencer[[5]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=Chapitre%203%20%3A%20Travail%20r%C3%A9alis%C3%A9,m%C3%A9thodologie%20et%20les%20solutions%20retenues)[[6]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=On%20peut%20commencer%20chaque%20partie,implications%20et%20limitations%20des%20travaux). L’étudiant a prévu une section *Discussion et Évaluation* de 3 pages, ce qui est conforme à cette recommandation.

En somme, l’enchaînement **Introduction – État de l’art – Conception – Réalisation – Conclusion** est **classique et complet**. Il couvre le cycle de vie du projet depuis la théorie jusqu’à la validation. Aucune section majeure ne semble manquer dans cette trame. Cependant, comme nous le verrons, **certains mémoires ajoutent des volets complémentaires** (économique, environnemental, etc.) qui pourraient enrichir la crédibilité du rapport si intégrés judicieusement.

## Équilibre théorie/pratique et répartition des pages

Le rapport de l’étudiant vise ~50 pages (hors préliminaires et annexes). Cette **longueur cible est courante** pour un PFE de Master en ingénierie. Par exemple, un mémoire de Master 2022 sur la détection d’anomalies par forêts d’isolement (UQTR, Canada) compte 56 pages y compris bibliographie[[7]](https://depot-e.uqtr.ca/id/eprint/10416/#:~:text=Amar%2C%20Cheikh%20Souhaibou%20%282022%29,Rivi%C3%A8res%2C%2056%20p) – on est dans le même ordre de grandeur. Les pages préliminaires (Résumé/Abstract, remerciements, table des matières, listes des figures/tables) occupent en général 5 à 10 pages au début du document, ce qui correspond aux ~5 pages prévues par l’étudiant. Notons qu’il est d’usage d’inclure **un résumé en français et son abstract en anglais**, ce que l’étudiant a prévu (conformément aux normes, par ex. le mémoire UQTR comprenait bien un résumé dans les deux langues officielles[[8]](https://depot-e.uqtr.ca/id/eprint/10416/#:~:text=Type%20de%20document%3A%20Th%C3%A8se%20et,Division%3A%20Math%C3%A9matiques%20et%20informatique%20appliqu%C3%A9es)).

La **distribution des pages** par chapitre dans le plan proposé apparaît **bien proportionnée** : ~12 pages (28%) pour l’état de l’art, ~16 pages (37%) pour la conception, ~15 pages (35%) pour la réalisation & résultats. Dans les rapports similaires, on constate souvent une répartition équilibrée entre la partie théorique (introduction + état de l’art) et la partie pratique (méthodologie, réalisation, résultats). Par exemple, dans le mémoire de Fès 2017 mentionné, environ un tiers du document était consacré aux généralités (présentation de l’entreprise + notions de maintenance), et les deux tiers restants au travail technique (analyse vibratoire et AMDEC)[[2]](https://memoirepfe.fst-usmba.ac.ma/download/4238/pdf/4238.pdf#:~:text=Chapitre%204%3A,55).

Ici, environ **1/3 du mémoire** de l’étudiant concerne le contexte et l’état de l’art, et **2/3** couvrent la conception, l’implémentation et l’évaluation. C’est cohérent avec un travail de fin d’études où l’on attend de l’étudiant qu’il **démontre ses connaissances** (état de l’art) tout en mettant l’accent sur la **réalisation pratique** et les **résultats** obtenus. Le jury aura souvent tendance à se focaliser sur les chapitres 2 et 3 (réalisation et résultats) lors de l’évaluation, mais un **état de l’art solide** est important pour asseoir la maîtrise théorique.

Le plan alloue seulement ~2 pages à la **conclusion générale**, ce qui est habituel (1 à 3 pages suffisent en général). La conclusion doit *récapituler* les contributions et résultats sans répéter inutilement, et ouvrir éventuellement sur les perspectives[[9]](https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1#:~:text=11%205.,ouverture%20est%20totalement%20inattendue%2C%20votre)[[10]](https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1#:~:text=,un%20document%2C%20une%20image%2C%20une). Deux pages devraient permettre de remplir ces objectifs : rappel des objectifs initialement posés et de quelle manière ils ont été atteints, limitations éventuelles du système réalisé, perspectives d’amélioration ou d’extension (par ex. entraîner d’autres types de pannes, déployer sur d’autres équipements industriels, etc.).

Le plan prévoit ~3 pages d’**annexes**, ce qui semble modeste mais correct si l’on y place par exemple des extraits de code source (ESP32 C++), des jeux de données bruts ou des schémas détaillés. Plusieurs mémoires consultés utilisent les annexes pour présenter des *données volumineuses ou secondaires* afin de ne pas alourdir le corps du texte. Il faut veiller à ce que les annexes soient **référencées depuis le texte** (par exemple « voir Annexe A pour le code complet »), sans quoi elles pourraient sembler inutiles[[11]](https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1#:~:text=5.,annexes%2C%20elles%20doivent%20%C3%AAtre%20num%C3%A9rot%C3%A9es)[[12]](https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1#:~:text=Une%20annexe%20n%E2%80%99est%20pas%20un,dont%20vous%20vous%20%C3%AAtes%20servi). Trois pages d’annexes suggèrent que l’essentiel du travail est décrit dans le corps principal, ce qui est bien. Si l’étudiant dispose de plus de matériel (par ex. listings de code, résultats de tests supplémentaires, calibrations…), il peut augmenter les annexes tant que le tout reste cohérent et que la pagination du cœur du rapport reste dans la fourchette demandée (50±4 pages dans son cas).

En résumé, la répartition des sections et le volume alloué à chacune apparaissent **très conformes aux standards**. L’équilibre entre théorie et pratique est bien pensé, évitant l’erreur de certains rapports déséquilibrés (par ex. un état de l’art trop long qui étouffe la partie pratique, ou l’inverse). Ici, chaque partie a un poids raisonnable reflétant son importance dans le projet.

## Style de rédaction académique en français

Au-delà de la structure, un mémoire d’ingénieur crédible doit respecter le **style académique francophone**. Cela concerne la terminologie technique, la formulation des phrases, le ton général et la qualité de la langue.

**Terminologie** : Le plan de l’étudiant emploie déjà les termes français consacrés pour les sections (“État de l’Art”, “Conception”, “Réalisation”, “Conclusion générale”…). C’est important de conserver ces libellés dans le document final. De même, dans le texte, les concepts techniques devraient être introduits en français lorsque c’est possible, avec éventuellement le terme anglais entre parenthèses s’il n’existe pas d’équivalent clair. Par exemple, **TinyML** pourra être présenté comme *“l’apprentissage automatique embarqué (TinyML)”* lors de la première occurrence, afin de montrer au jury la compréhension du concept. De même, *Edge Impulse* peut être décrit comme une plateforme d’**AutoML** pour microcontrôleurs, etc. Il convient d’éviter le jargon non expliqué. Une **liste des abréviations** en début de mémoire (que l’étudiant a prévue) aidera le lecteur à s’y retrouver pour des sigles comme **ESP32**, **RMS**, **VAN** (Valeur actuelle nette) ou autres.

**Voix passive ou active** : La tradition académique française tend à privilégier un style impersonnel ou la première personne du pluriel, plutôt que le “je”. Par exemple, au lieu d’écrire “j’ai développé un modèle…”, on écrira *“un modèle a été développé…”* ou *“nous avons développé un modèle…”*. Cela dit, il est déconseillé d’**abuser des tournures passives lourdes** du type *“il a été fait usage de…”*, qui alourdissent inutilement le texte[[13]](https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1#:~:text=abuser%20de%20la%20tournure%20passive,vous%20permettent%20de%20vous%20exprimer). Une alternance mesurée entre le *“nous”* de modestie et des formulations passives impersonnelles est recommandée[[14]](https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1#:~:text=recommand%C3%A9%20dans%20le%20m%C3%A9moire%20de,il%20a%20%C3%A9t%C3%A9%20dit)[[13]](https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1#:~:text=abuser%20de%20la%20tournure%20passive,vous%20permettent%20de%20vous%20exprimer). Par exemple : *“Dans ce chapitre,* *nous présentons* *les résultats des tests vibratoires”* est tout à fait acceptable. Le style doit rester formel mais fluide. L’étudiant peut tout à fait utiliser *“nous”* pour parler de son travail (**pluralis modestiae**), ce que de nombreux jurys tolèrent, tant que le ton reste professionnel.

**Clarté et concision** : Les phrases devraient être relativement courtes et précises. Le guide d’ingénierie insiste pour *éviter les longues phrases et paragraphes lourds*, et pour aller **droit au but** dans les explications[[4]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=%E2%80%A2%20La%20m%C3%A9thodologie%20de%20d%C3%A9marche,Le). Par exemple, plutôt que de diluer la description d’un résultat sur une demi-page, mieux vaut la segmenter en plusieurs phrases ou utiliser des puces pour les caractéristiques techniques. Le **passé composé** ou le **présent** sont fréquemment utilisés pour décrire les actions réalisées, mais il faut rester cohérent dans le temps verbal. Souvent, on emploi le passé pour les actions effectuées au cours du projet (*“nous avons entraîné le modèle sur 1000 échantillons”*) et le présent pour les vérités générales (*“l’ESP32* *est* *un microcontrôleur double-cœur…”*).

**Connecteurs logiques** : En français académique, on s’attend à voir des connecteurs du type *“Ainsi,”*, *“En revanche,”*, *“De plus,”*, *“Cependant,”* pour assurer la cohésion du texte. Chaque début de section ou de paragraphe doit idéalement introduire l’idée de manière liée à la précédente. Par exemple : *“Après avoir décrit l’architecture matérielle,* *il convient* *de présenter les algorithmes de détection implémentés.”* Ce genre de tournure aide le lecteur à suivre le fil. Le plan de l’étudiant inclut déjà des sections bien délimitées; il faudra veiller à faire des transitions explicites en introduction de chapitre (du type *“Le chapitre précédent a établi l’état de l’art… Dans ce qui suit, nous détaillons la conception du système proposé.”*).

**Citation et bibliographie** : Les rapports francophones attendent une utilisation rigoureuse des références. L’état de l’art en particulier doit citer les sources (articles, ouvrages, sites fiables) pour chaque information technique ou chiffre avancé. Il est crucial d’**éviter les sources non contrôlées** (pages web sans garantie scientifique, forums, Wikipédia sans références) ou alors de les reléguer en note si vraiment nécessaire[[15]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=rapporteur%20du%20PFE%20pourra%20consulter,Eviter%20les). Mieux vaut privilégier des références académiques (articles de conférence/journal, thèses) ou industrielles (normes, datasheets, documentation officielle). Chaque référence bibliographique doit apparaître dans la bibliographie finale dans un format cohérent. Le style de citation (numérique [1], [2] vs. auteur-date) importe moins que la cohérence et la complétude. Puisque le mémoire est en français, la bibliographie peut conserver les titres en anglais des sources originales, ce n’est pas un problème, mais il faudra uniformiser la présentation (par exemple tout en IEEE style ou AFNOR style).

**Conventions typographiques** : Respecter les conventions françaises, par exemple les nombres décimaux avec une virgule (ex: 10,5 ms et non 10.5 ms), l’espace insécable avant les deux-points, point-virgule, etc. Aussi, les unités doivent suivre le SI (par ex. “300 Hz” plutôt que “300Hz” collé, “50 €” avec une espace, etc.). Ce sont des détails, mais un rapport soigné sur la forme donne une impression très favorable au jury.

En résumé, l’écriture devra être **technique, formelle et précise**, en évitant le piège d’une traduction littérale de l’anglais ou d’un langage trop familier. L’étudiant gagnera à se relire pour éliminer toute faute d’orthographe ou de grammaire (une exigence soulignée dans les guides[[16]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=de%20PFE%202,correspond%20%C3%A0%20celui%20d%E2%80%99un%20rapport)). Un style limpide mettra en valeur le contenu technique de qualité.

## Sections spécialisées : ROI, impact environnemental, industrialisation, éthique

Un point important est de vérifier si le plan couvre tous les **aspects attendus implicitement** par un jury d’ingénieurs. Outre la technique pure, certains mémoires incluent des sections sur les **retombées économiques**, l’**impact environnemental**, la **faisabilité d’industrialisation** de la solution ou des considérations d’**éthique/sécurité**. Ces sections ne sont pas obligatoires dans tous les PFE, mais peuvent apporter un **supplément de crédibilité** et montrer la capacité de l’étudiant à prendre du recul sur son travail.

Dans le plan actuel de l’étudiant, ces sujets ne figurent pas explicitement. Est-ce un manque ? Tout dépend des **attentes de son école**. Par exemple, en France, la Commission des Titres d’Ingénieur (CTI) insiste pour que les futurs ingénieurs soient sensibilisés aux principes du **développement durable** (économie, social, environnement) et à l’éthique. Ainsi, beaucoup d’écoles demandent aux étudiants d’aborder, ne serait-ce que brièvement, l’impact de leur projet dans ces dimensions.

Regardons des exemples concrets : dans certains mémoires orientés *projet industriel*, on trouve une **analyse de rentabilité économique** du projet. Un guide de PFE à l’ISAE Gafsa (plutôt destiné aux projets entrepreneuriaux) consacre tout un volet à l’*“Analyse de rentabilité financière”*, demandant de calculer des indicateurs comme le **Retour sur investissement (ROI)**, le **Taux de rentabilité interne (TRI)**, la **Valeur actuelle nette (VAN)**, etc., afin de démontrer la viabilité du projet[[17]](https://fr.scribd.com/document/854337568/Guide-PFE-ISAEG-2024-2025606#:~:text=anticiper%20les%20flux%20de%20tr%C3%A9sorerie,ROI). De même, il préconise d’élaborer un **plan d’implémentation industrielle** (avec étapes de mise en production, calendrier, etc.)[[18]](https://fr.scribd.com/document/854337568/Guide-PFE-ISAEG-2024-2025606#:~:text=2)[[19]](https://fr.scribd.com/document/854337568/Guide-PFE-ISAEG-2024-2025606#:~:text=d%C3%A9taill%C3%A9e%2C%20en%20pr%C3%A9cisant%20les%20actions,ainsi%20que%20des%20risques%20potentiels). Bien sûr, ce niveau d’analyse “business plan” s’applique surtout si le PFE consiste à développer un **produit commercialisable** ou une **startup**. Dans le cas de l’étudiant, le projet reste un prototype académique coûtant moins de 50 €, sans commande d’un client. Il n’est sans doute pas exigé de faire un plan d’affaires complet. Cependant, inclure quelques éléments économiques simples pourrait être apprécié – par exemple mentionner le faible coût du système développé comparé à des solutions du marché, ou estimer le **gain potentiel pour une entreprise** qui l’adopterait (par ex. *réduction des arrêts machines imprévus, donc économies de maintenance*). Même sans calculs de ROI détaillés, cela montre qu’on a conscience de l’aspect économique.

Sur le plan **environnemental**, si le projet s’y prête, il peut être utile de dire un mot sur l’impact. Par exemple, un système de maintenance prédictive a généralement un **impact positif** : il contribue à éviter des pannes catastrophiques et donc à prolonger la durée de vie des machines (réduction des déchets industriels), et il peut prévenir des surconsommations d’énergie dues à des machines défectueuses. L’étudiant pourrait inclure dans la discussion ou la conclusion quelques phrases du type : *“Cette approche s’inscrit dans une démarche de maintenance durable, en optimisant la durée de vie des moteurs et en réduisant le gaspillage de pièces et d’énergie.”* Ce genre de considération, bien que bref, répond aux attentes actuelles autour du développement durable. D’ailleurs, pour des **projets innovants**, les guides recommandent d’évaluer la **faisabilité sociale et environnementale**, par exemple en examinant si l’innovation réduit l’empreinte écologique et respecte les normes environnementales[[20]](https://fr.scribd.com/document/854337568/Guide-PFE-ISAEG-2024-2025606#:~:text=%E2%80%93%20Faisabilit%C3%A9%20sociale%20et%20environnementale,des%20conditions%20de%20travail%2C%20acceptabilit%C3%A9). Ici, l’innovation est un prototype électronique consommant très peu d’énergie (quelques centaines de mW), ce qui pourrait être souligné comme *un atout environnemental (solution IoT basse consommation)*.

La question de l’**industrialisation** de la solution peut aussi être abordée. Un jury d’ingénieurs pourrait demander en soutenance : *“Votre prototype est-il transposable à l’échelle industrielle ? Que faudrait-il pour le mettre en production ?”*. Il serait donc pertinent que le mémoire contienne une **brève réflexion** à ce sujet. Par exemple, dans la section de discussion ou de conclusion, l’étudiant peut ajouter : *“Pour une industrialisation, il conviendrait d’intégrer ce système sur des cartes dédiées, de durcir le boîtier du capteur pour l’environnement industriel, et d’assurer la compatibilité avec les protocoles industriels standard (Modbus, etc.).”* Cela montre une vision plus large. De même, évoquer les contraintes de **fiabilité et de maintenance du système lui-même** (ex: nécessité d’une calibration périodique du capteur, etc.) relèverait d’une analyse complète du cycle de vie du projet.

Quant aux aspects **éthiques**, ils sont moins directement concernés ici (il ne s’agit pas de données personnelles ni d’une IA décisionnelle complexe). Néanmoins, on peut aborder la question de la **sécurité** : s’assurer que le système de détection d’anomalie ne provoque pas de fausses alertes trop fréquentes (ce qui pourrait conduire un opérateur à l’ignorer, avec des conséquences potentiellement graves), ou qu’au contraire il rate une anomalie critique. On touche là à la **fiabilité du système**. Mentionner rapidement comment on a choisi le seuil de détection pour minimiser ces erreurs, ou comment on envisage de traiter les alarmes (par ex. en les confirmant via un second capteur) peut démontrer une approche consciencieuse et responsable. L’**éthique scientifique** implique aussi de reconnaître les limites de son modèle (par exemple : *“le classifieur K-means ne détecte que les anomalies similaires à celles apprises en normal, il pourrait échouer sur des patterns complètement inconnus – une amélioration future serait d’entraîner sur un ensemble plus varié”*). Ce genre de remise en question renforce la crédibilité auprès du jury.

En synthèse, **aucune de ces sections avancées n’est formellement “obligatoire”** dans le plan d’un mémoire technique, mais **intégrer quelques éléments économiques, environnementaux ou de pérennisation industrielle est fortement recommandé** si l’on veut un travail complet et en phase avec les attentes actuelles. L’étudiant pourrait par exemple ajouter une **sous-section en fin de chapitre 3** ou dans la conclusion, intitulée *“Perspectives d’industrialisation et impacts”*, où il aborderait : (a) le potentiel de déploiement industriel (coût faible, facilité d’intégration – mais nécessité d’un boîtier professionnel, etc.), (b) les bénéfices économiques (réduction des arrêts imprévus, ROI approximatif si on évite X pannes par an), (c) l’impact environnemental (maintenance prédictive = moins de gaspillage, solution IoT basse consommation), et (d) éventuellement les limites éthiques/sociétales (pas de données personnelles concernées, donc peu de contraintes RGPD par ex., et un opérateur humain restera dans la boucle pour interpréter les alertes, ce qui garantit la prudence). Même en **½ à 1 page**, ce genre de synthèse élargira la portée du mémoire et fera écho aux critères souvent valorisés par les jurys d’écoles d’ingénieurs[[20]](https://fr.scribd.com/document/854337568/Guide-PFE-ISAEG-2024-2025606#:~:text=%E2%80%93%20Faisabilit%C3%A9%20sociale%20et%20environnementale,des%20conditions%20de%20travail%2C%20acceptabilit%C3%A9).

# Recommandations et Proposition de Structure Révisée

À la lumière de cette analyse, le **plan initial de l’étudiant est globalement très satisfaisant**. Il couvre les étapes essentielles et respecte les conventions académiques. Nos recommandations pour l’optimiser encore sont les suivantes, accompagnées d’une proposition de structure légèrement enrichie :

## Renforcer certaines sections

* **Introduction Générale** : Veiller à bien formuler la **problématique** sous forme de question ou d’objectif clair (par ex. *“comment embarquer un modèle de détection de vibrations anormales sur une plateforme à microcontrôleur ?”*). Présenter brièvement le **contexte industriel** (maintenance prédictive, importance pour l’industrie 4.0) et l’intérêt du projet. Terminer l’introduction par l’**annonce du plan** du mémoire, en quelques lignes[[21]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=%E2%80%A2%20Pr%C3%A9senter%20les%20objectifs%20%3A,nombre%20de%20pages%20du%20rapport)[[22]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=ne%20doit%20pas%20d%C3%A9passer%2070,chapitres%20qui%20doivent%2C%20%C3%A0%20la). L’introduction doit donner au lecteur la feuille de route du document.
* **Chapitre 1: État de l’art** : S’assurer que la revue couvre bien : (1) la *maintenance prédictive* et ses techniques (notamment l’analyse vibratoire – on peut citer des références classiques en surveillance vibratoire), (2) l’*IA embarquée/TinyML* (définir TinyML, mentionner par ex. TensorFlow Lite Micro, Edge Impulse, NanoEdge AI…), (3) les *plateformes matérielles* pertinentes (ESP32 et alternatives, capteurs MEMS comme ADXL345, autres capteurs courants – accéléromètres MPU6050, etc. – pour montrer qu’un choix a été fait) et (4) un *comparatif* positionnant la solution proposée. Cette dernière sous-section de **comparaison** est très appréciée car elle montre le sens critique : par exemple, expliquer en quoi la solution de l’étudiant se distingue d’approches existantes (usage d’un **algorithme non supervisé** vs. approches supervisées classiques qui nécessitent des données de panne, etc.). Cela est déjà prévu en section 1.4 du plan, qu’il faut soigner particulièrement pour bien **justifier les choix techniques** dès la fin du chapitre 1. Un mémoire qui explicite clairement *« pourquoi nous n’avons pas retenu telle méthode »* est mieux reçu par les examinateurs[[23]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=2.%20Why%20K,%E2%9C%93%20Proven%20in%20industrial%20applications)[[24]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=%E2%9C%97%20CNN%3A%20Requires%20fault%20examples,Complex%20deployment%20on%20MCU).
* **Chapitre 2: Conception et Architecture** : Cette partie est centrale pour décrire *comment le système a été pensé*. Nous suggérons éventuellement de **scinder ce chapitre en deux volets** pour plus de clarté : un volet *“Conception du système”* (besoins, spécifications, architecture générale) et un volet *“Développements techniques”* (sélection du hardware/software, traitement du signal). Concrètement, cela pourrait correspondre aux sections 2.1 et 2.2 d’un côté, et 2.3 à 2.5 de l’autre. Cependant, si cela ne dépasse pas 16 pages, ce n’est pas indispensable de créer un chapitre supplémentaire – cela peut rester un seul chapitre bien structuré. L’important est de **bien articuler** ce chapitre : commencer par une **introduction de chapitre** rappelant les objectifs de conception, et finir par une **conclusion partielle** résumant l’architecture finale adoptée, avant de passer à la réalisation[[6]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=On%20peut%20commencer%20chaque%20partie,implications%20et%20limitations%20des%20travaux). Il faut mettre en avant les **décisions techniques justifiées** : par exemple, pourquoi l’ESP32 a été choisi (ce que l’étudiant a déjà argumenté – coût 5€, puissance, communauté[[25]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=1,%E2%9C%93%20Prior%20experience%20with%20platform)), pourquoi l’ADXL345 en SPI, pourquoi un K-means plutôt qu’un réseau de neurones[[26]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=2.%20Why%20K,%E2%9C%93%20Proven%20in%20industrial%20applications), etc. Ces justifications peuvent être résumées dans des encadrés ou tableaux comparatifs pour plus d’impact. Des **schémas** sont attendus : schéma de principe du système (ESP32 + capteur + LEDs + affichage), éventuellement un diagramme de flux du logiciel (de l’acquisition de données à la décision d’alarme). Le plan actuel mentionne tout cela en sections, il faudra veiller à rester concis sur les détails d’implémentation (ce qui sera plutôt dans le chapitre suivant) et ici fournir une **vue d’ensemble** très claire.
* **Chapitre 3: Réalisation et Validation** : Nous conseillons de **détailler le protocole expérimental** de façon rigoureuse (section 3.2 du plan). Par exemple : conditions du test (moteur 300W tournant à 1500 rpm, capteur fixé sur le palier, mesure de base en régime sain, puis ajout d’un déséquilibre contrôlé de X grammes sur l’axe pour simuler une anomalie, etc.), durée des acquisitions, fréquence d’échantillonnage (300-400 Hz), outils de mesure (logiciel de log sur PC, Edge Impulse…). Il peut être judicieux d’inclure dans cette partie un **tableau des scénarios de test** (e.g. *“Scénario 1 : moteur sain, 10 sessions de 30s”, “Scénario 2 : moteur déséquilibré, 5 sessions de 30s”*, etc.). La section **Résultats** doit présenter des **graphiques** lisibles – par exemple un spectre de fréquence ou un signal temporel normal vs. anormal, ou encore une visualisation des clusters formés par le K-means pour les données normales[[27]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=Our%20Approach%20,ANY%20deviation%20from%20normal). Chaque figure aura une légende en français et sera commentée dans le texte. La **Discussion** (section 3.4) est courte (3 pages prévues) mais cruciale : l’étudiant y **évaluera la performance** obtenue par rapport aux objectifs initiaux (a-t-il atteint >90% de détection ? quelle latence mesurée ? consommation réelle ? etc. par rapport aux cibles fixées[[28]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=1.%20,of%20embedded%20systems%20and%20ML)). C’est aussi là qu’il peut évoquer les *limites* : par ex. le modèle K-means a peut-être du mal à différencier certaines vibrations proches, ou le dispositif n’a pas été testé en environnements variés. Être transparent sur les limites montre son sens critique. Enfin, comme suggéré plus haut, intégrer un **paragraphe sur les perspectives** (industrialisation, améliorations futures) dans la discussion ou en section 3.5. Si la pagination le permet, on pourrait même ajouter une **demi-page “Perspectives”** distincte, pour bien isoler ces idées (ce n’est pas obligatoire, cela peut rester imbriqué dans la discussion).
* **Conclusion Générale** : Outre le résumé des contributions, la conclusion devrait comporter un **regard prospectif**. Par exemple : *“Ce projet pourrait être étendu en testant l’algorithme sur d’autres types de moteurs ou en intégrant un module de communication IoT pour remontée des alertes en temps réel vers le cloud.”* Ce faisant, le mémoire se termine en ouvrant sur l’avenir (sans toutefois introduire un tout nouveau sujet non traité[[29]](https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1#:~:text=,une%20image%2C%20une%20photographie%2C%20un)). L’étudiant peut y rappeler en une phrase ou deux l’intérêt global : *“En conclusion, nous avons démontré la faisabilité d’un système de détection d’anomalies vibratoires embarqué à faible coût, ce qui ouvre la voie à une maintenance prédictive plus accessible dans les petites structures industrielles.”*

## Meilleures pratiques de présentation

* **Introductions et conclusions partielles** : Comme mentionné, chaque chapitre (surtout chapitres 2 et 3) gagnerait à avoir une **brève introduction** présentant son contenu, et une **courte conclusion** résumant les points clés avant de passer au suivant[[6]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=On%20peut%20commencer%20chaque%20partie,implications%20et%20limitations%20des%20travaux). Par exemple, en fin de chapitre 2, rappeler en quelques lignes que *“L’architecture matérielle et logicielle étant définie, le chapitre suivant détaillera l’implémentation et l’évaluation de cette solution.”* Cela guide le lecteur et montre la maîtrise du fil rouge.
* **Équilibrage des chapitres** : Si lors de la rédaction, un chapitre devenait beaucoup plus volumineux que les autres, envisager de le scinder. Actuellement, les chapitres sont équilibrés (12/16/15 pages). Si l’état de l’art menaçait d’excéder 15 pages, il faudrait sans doute le condenser en gardant l’essentiel (un état de l’art trop long peut ennuyer le jury). Inversement, si la réalisation offre beaucoup de résultats, il faut les présenter sans craindre d’ajouter 1 ou 2 pages, quitte à mettre des graphes secondaires en annexe. L’objectif final de ~50 pages de l’étudiant est un **maximum**, pas une obligation de faire exactement 50. Mieux vaut un mémoire un peu plus court mais percutant, qu’un texte dilué pour atteindre un nombre de pages. D’ailleurs un guide tunisien indique *“un minimum de 30 pages est requis, le maximum ne doit pas excéder 50 pages de l’introduction à la conclusion”*, ce qui place le document de l’étudiant pile dans la fourchette haute acceptable[[30]](https://www.studocu.com/row/document/institut-superieur-de-gestion-de-tunis/finance-dentreprise/guide-pfe-2024-2025-trgrtgrt/121790211#:~:text=Le%20rapport%20doit%20comporter%20entre,50%20pages%20de%20l%27introduction).
* **Insertion de tableaux/figures** : Il est conseillé de numéroter et légender toutes les illustrations. Par exemple *“Figure 3.2 – Schéma de l’architecture du système proposé”*, *“Tableau 3.1 – Paramètres de configuration du modèle Edge Impulse”*. Le sommaire du rapport inclura la liste des figures et tableaux, déjà prévue par l’étudiant. Choisir une présentation cohérente (par ex. numérotation des figures par chapitre ou globale) et s’y tenir. Ne pas surcharger les figures de texte illisible – utiliser l’annexe pour fournir du code ou des détails complets si nécessaire.
* **Relecture et conformité** : Enfin, relire attentivement pour traquer les fautes, vérifier que **toutes les références bibliographiques citées sont présentes** en liste finale et vice versa. S’assurer du respect des consignes de format de l’institution (police, interligne, marge, page de garde conforme au modèle…). Par exemple, la page de garde doit respecter le modèle fourni par la faculté (avec logos, mentions obligatoires). L’étudiant a prévu ces éléments préliminaires (dédicaces, remerciements, etc.) conformément aux usages[[31]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=3,noms%20des%20%C3%A9tudiants%2C%20la%20date)[[32]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=Ils%20sont%20plac%C3%A9s%20imm%C3%A9diatement%20apr%C3%A8s,Les%20personnes%20qui).

## Synthèse de la structure améliorée

En incorporant nos conseils, voici une **proposition de plan révisé** (les ajouts par rapport au plan initial sont marqués par ★) :

* **Pages préliminaires** (non paginées dans le corps) : Page de titre, Dédicace(s), Remerciements, **Résumé français & Abstract anglais**, Table des matières, Liste des figures, Liste des tableaux, Liste des abréviations. *(Ces éléments sont déjà prévus, on souligne l’importance du résumé bilingue.)*
* **Introduction générale** (2-3 pages) : Contexte industriel et scientifique, Problématique et objectifs du projet, Méthodologie générale adoptée, **Portée et limites** du travail, *Organisation du rapport*. *(Veiller à bien formuler la problématique et annoncer le plan du mémoire.)*
* **Chapitre 1 : État de l’art et contexte théorique** (~12 pages)  
  **1.1. Maintenance industrielle et surveillance vibratoire** – Notions de maintenance préventive vs prédictive, paramètres vibratoires couramment surveillés (accélération, FFT, etc.), exemples d’applications.  
  **1.2. Intelligence artificielle embarquée (TinyML)** – Contraintes de l’embarqué, algorithmes légers adaptés (notions de K-means, forêts d’isolement, réseaux neurones embarqués…), plateformes logicielle (ex: Edge Impulse, TensorFlow Lite Micro) et matérielles (microcontrôleurs vs microprocesseurs).  
  **1.3. Technologies matérielles de mesure vibratoire** – Capteurs MEMS (ADXL345, MPU6050…) et leurs caractéristiques, microcontrôleurs courants (ESP32, Arduino, STM32…) et comparaison de leurs ressources[[25]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=1,%E2%9C%93%20Prior%20experience%20with%20platform), autres composants utiles (écran, LED, etc.).  
  **1.4. Approches existantes de détection de pannes** – Tour d’horizon des méthodes (supervisé vs non supervisé), travaux similaires (ex: articles utilisant K-means en maintenance, ou autoencodeurs…), et *positionnement du projet actuel* par rapport à l’existant (originalité : solution low-cost, algorithme non supervisé, etc.).  
  *Conclusion du Chapitre 1* – Résumé des enseignements clés de la littérature, et transition vers la contribution de ce projet.
* **Chapitre 2 : Conception du système** (~8-10 pages)  
  **2.1. Analyse des besoins et spécifications** – Description du cas d’usage (surveiller un moteur asynchrone 0,3 kW en labo), besoins fonctionnels (*détecter toute anomalie mécanique sans faux positif*), exigences de performance (précision >90%, latence <10 ms, coût <50 €[[28]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=1.%20,of%20embedded%20systems%20and%20ML)), contraintes (pas de détérioration de l’équipement, mémoire limitée, etc.[[33]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=Technical%20Constraints%201.%20,Model%20must%20be%20highly%20optimized)). Spécifications formelles du système (entrée, sortie, environnements).  
  **2.2. Architecture générale** – Schéma bloc du système proposé : capteur → microcontrôleur → indicateurs (LED, écran) ; éventuellement connexion futurible (WiFi) mentionnée. Architecture logicielle en bref (modules de filtrage, module d’inférence TinyML, module d’alerte). Justification des choix d’architecture (décentralisé sur microcontrôleur vs solution cloud, etc.).  
  *Conclusion partielle* – Récapitule l’architecture choisie avant de détailler les composants concrets.
* **Chapitre 3 : Développements techniques et choix des composants** (~8-10 pages)  
  **3.1. Sélection du hardware** – Choix du microcontrôleur ESP32 : justifications (puissance, RAM, connectivité) et alternatives écartées (Arduino Uno, Raspberry Pi, STM32)[[34]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=Alternatives%20rejected%3A%20%E2%9C%97%20Arduino%20Uno%3A,)[[24]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=%E2%9C%97%20CNN%3A%20Requires%20fault%20examples,Complex%20deployment%20on%20MCU). Choix du capteur ADXL345 : justifications (précision 13 bits, plage ±8g, interface SPI…) et alternatives (autres accéléros) avec raisons du rejet. Autres éléments : écran LCD, LEDs – rôle et utilité.  
  **3.2. Choix de la solution logicielle TinyML** – Présentation d’Edge Impulse (outil AutoML, utilisé pour entraînement et déploiement facile)[[35]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=3,in%20deployment%20tools). Justification du choix Edge Impulse vs TensorFlow Lite Micro ou librairies custom[[36]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=Alternatives%20rejected%3A%20%E2%9C%97%20TensorFlow%20Lite%3A,Custom%20implementation%3A%20Time%20constraints). Configuration du projet EI (fenêtre d’analyse temporelle, caractéristiques extraites : RMS, kurtosis… ou usage d’un DSP intégré), et contraintes de quantification du modèle (INT8).  
  **3.3. Algorithme de détection d’anomalie** – Principe du K-means clustering : rappeler brièvement le fonctionnement, pourquoi adapté ici (non supervisé, léger)[[26]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=2.%20Why%20K,%E2%9C%93%20Proven%20in%20industrial%20applications). Paramètres choisis (nombre de clusters k, métrique de distance). Critères de détection d’anomalie (distance au centroïde, seuil). Alternatives considérées : réseau de neurones, SVM, etc., et pourquoi non retenues (données de panne manquantes, complexité)[[24]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=%E2%9C%97%20CNN%3A%20Requires%20fault%20examples,Complex%20deployment%20on%20MCU).  
  **3.4. Traitements du signal embarqués** – Filtrage effectué (Kalman + moyenne mobile) pour lisser le signal[[37]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=2.%20%2A%2AFault%20Simulation%20Restrictions%2A%2A%20,bearing%20damage%20or%20electrical%20faults) : expliquer le but (réduire bruit), paramétrage (Kalman adaptatif, fenêtre de moyenne 10 points). Extraction de features éventuellement (FFT, spectre, etc. si utilisé). Toute transformation de données avant le K-means doit être détaillée.  
  *Conclusion partielle* – Rappeler que les choix techniques étant établis, on passe à l’implémentation et aux tests concrets du système.
* **Chapitre 4 : Implémentation et validation expérimentale** (~15 pages)  
  **4.1. Implémentation du système** – Description de l’assemblage matériel (montage du capteur sur le moteur, connexion ESP32-ADXL345, photo du montage si possible). Aperçu du code embarqué : boucle d’acquisition (fréquence ~350 Hz), envoi des données au modèle ML (comment le modèle K-means est embarqué – via la librairie Edge Impulse C++ générée). Optimisations réalisées (ex: usage de tâches FreeRTOS si applicable, double buffering, etc. – selon ce qui a été fait pour tenir la latence). Indiquer la taille finale du modèle en mémoire et l’empreinte CPU mesurée.  
  **4.2. Protocole de test** – Décrire **pas à pas** les tests effectués : conditions normales vs conditions avec anomalie. Par ex. *“Le moteur a fonctionné 5 minutes sans anomalie pour collecter les données d’apprentissage normal, puis nous avons ajouté une masse de 5 g déséquilibrante sur le ventilateur pour simuler un défaut et collecté 5 minutes de données de test.”* Préciser les instruments (logiciel de log Python pour enregistrer les données brutes – cf. script Python fourni – ou utilisation directe d’Edge Impulse). Mentionner si les tests ont été répétés, et comment les données ont été divisées (jeu d’entraînement normal vs jeu de validation comportant des anomalies injectées). Ce segment doit permettre à un tiers de reproduire l’expérience.  
  **4.3. Résultats obtenus** – Présenter les **résultats** de façon visuelle autant que possible : courbes temporelles (accélération vs temps) en régime normal et en régime anormal, spectres de fréquence montrant l’apparition d’une fréquence de vibration supplémentaire en cas de déséquilibre, etc. Inclure un graphique illustrant la **sortie du modèle** (par exemple, score d’anomalie ou distance au cluster normal au fil du temps). Si possible, un **tableau récapitulatif** des performances : taux de détection des anomalies, taux de faux positifs, temps de traitement par échantillon (ms), utilisation mémoire (KB)… Comparer ces chiffres aux objectifs fixés en début de projet. Par ex., si obtient 95% de détection et 5% de faux alertes, et latence de 5 ms, le dire clairement et souligner que cela **dépasse/atteint** les cibles (>90%, <10 ms).  
  **4.4. Analyse et discussion** – Interpréter les résultats : *“On observe que le modèle détecte toutes les anomalies de déséquilibre de 5 g avec un score > X, ce qui valide l’approche.”* Discuter des éventuelles erreurs : *“Une vibration transitoire au démarrage a été faussement classée anomalie, mais pourrait être filtrée avec un temps de stabilisation.”* Comparer aux approches classiques : *“Contrairement à un classifieur supervisé qui aurait exigé des données de panne, notre solution a pu détecter une anomalie inédite sans entraînement spécifique, confirmant l’intérêt de l’apprentissage non supervisé.”* **Auto-évaluer** les limites : portée du modèle (ne détecterait-il pas que les anomalies mécaniques ? quid d’un défaut électrique ?), besoin de plus de données pour affiner le seuil, etc.  
  **4.5. ★ Perspectives d’amélioration et impact** – *(Section ajoutée)* Ici, élargir un peu le propos : suggérer des améliorations techniques (utiliser un capteur tri-axial pour détecter des déséquilibres dans toutes les directions, tester d’autres algorithmes comme Isolation Forest à l’avenir, intégrer une connexion IoT pour alerter à distance…). Ensuite, mentionner les **impacts** : *Impact économique* – ce système pourrait éviter des arrêts coûteux, son ROI pourrait être élevé (illustrer : “si une panne évitée économise 1000€, l’investissement matériel de 50€ est rentabilisé immédiatement”)[[17]](https://fr.scribd.com/document/854337568/Guide-PFE-ISAEG-2024-2025606#:~:text=anticiper%20les%20flux%20de%20tr%C3%A9sorerie,ROI). *Impact environnemental* – maintenance prédictive = moins de casse machine, donc démarche durable, et le dispositif consomme peu d’énergie. *Industrialisation* – évoquer comment passer du prototype à un produit : boîtier robuste, certification électromagnétique, etc. *Considérations éthiques/sociétales* – peu de problèmes éthiques car pas de données personnelles, mais il faut former les techniciens à faire confiance aux diagnostics de l’IA, etc. *(Cette sous-section resterait brève, ~1 page, mais montrerait la conscience professionnelle de l’étudiant sur ces aspects.)*
* **Conclusion générale** (2 pages) : **Bilan** du travail par rapport aux objectifs posés (rappeler en quelques lignes ce qui a été accompli dans chaque chapitre pour résoudre la problématique). Insister sur les **résultats marquants** (prototype fonctionnel, tests concluants en labo). Énoncer clairement la **réponse à la problématique** : par ex. *“Oui, il est tout à fait possible d’implémenter une détection d’anomalies sur microcontrôleur à faible coût, la preuve en est que…”*. Ensuite, présenter **les perspectives** : reprises de celles du chapitre précédent (améliorations futures), éventuellement ouverture sur d’autres contextes (utilisation de ce système sur d’autres machines tournantes, ou intégration dans une suite IoT de maintenance prédictive). Terminer par une phrase de **conclusion ouverte** positive, montrant l’intérêt du projet pour l’avenir de la maintenance intelligente.
* **Bibliographie** (2-3 pages) : Liste structurée des références citées, au format choisi (par ex. numérotées dans l’ordre d’apparition). Veiller à y inclure les sources de l’état de l’art (articles sur TinyML, maintenance…), les datasheets (ESP32, ADXL345), éventuellement des rapports ou mémoires similaires consultés. **Toutes les références doivent être citées** quelque part dans le texte pour justifier leur présence[[38]](https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1#:~:text=6.,Articles)[[39]](https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1#:~:text=IV.,canevas%20propos%C3%A9s%20%3A%20vous%20pouvez).
* **Annexes** : Inclure tout ce qui peut être utile en support sans encombrer le texte principal. Par exemple : **A. Schémas détaillés** (schéma électrique de connexion ESP32-ADXL345 si réalisé, etc.), **B. Extraits de code** (initialisation du capteur, pseudocode de l’algorithme de détection), **C. Données brutes d’échantillons** (une portion de fichier CSV enregistré, pour exemple), **D. Suppléments de résultats** (graphes additionnels, etc.), **E. Planning du projet** (diagramme de Gantt initial, pour information). Chaque annexe doit être référencée dans le texte là où pertinente. Par exemple : *“voir Annexe B pour le code source complet de l’ESP32”*.

Ce plan révisé intègre les éléments du plan initial de l’étudiant **en les enrichissant légèrement** sur les points susceptibles de valoriser le mémoire (perspectives, impacts, formalisation des introductions/conclusions de chapitres). Il convient de rester vigilant à conserver un **fil conducteur clair** : chaque section doit contribuer à répondre à la problématique centrale (détection embarquée d’anomalies).

# Conclusion

En comparant le plan du rapport de l’étudiant avec les normes des mémoires d’ingénieurs en **systèmes embarqués et maintenance industrielle**, on constate que la structure proposée est **solide et complète**. Le séquencement **Introduction – État de l’art – Conception – Réalisation – Conclusion** est conforme aux attentes académiques et offre un bon équilibre entre théorie et pratique[[1]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=3,chapitres%20qui%20doivent%2C%20%C3%A0%20la). Quelques **ajustements mineurs** peuvent toutefois rehausser la qualité perçue : intégrer des éléments sur les **aspects économiques et environnementaux**, soigner le **style de rédaction en français** (voix impersonnelle maîtrisée, terminologie appropriée), et appliquer les **best practices** de présentation (introductions/conclusions de chapitres, illustrations bien légendées, annexes utiles).

Les exemples tirés de mémoires francophones récents montrent l’importance de **justifier chaque choix technique**[[26]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=2.%20Why%20K,%E2%9C%93%20Proven%20in%20industrial%20applications)[[24]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=%E2%9C%97%20CNN%3A%20Requires%20fault%20examples,Complex%20deployment%20on%20MCU) et de **démontrer la valeur ajoutée** du projet par rapport à l’existant. En suivant les recommandations ci-dessus, l’étudiant pourra renforcer son manuscrit sur ces points et satisfaire aux exigences tacites des jurys en France et en Tunisie. Il en résultera un mémoire structuré de manière académique, **convaincant dans son contenu technique**, et crédible quant à la prise en compte des enjeux plus larges de l’ingénierie moderne (performance, coût, durabilité).

En définitive, le plan initial, enrichi par ces améliorations, offrira un **document de qualité** aligné sur les standards des meilleurs rapports de fin d’études : un document qui **met en valeur les compétences techniques** de l’étudiant tout en soulignant sa capacité à prendre du recul et à communiquer efficacement son travail d’ingénieur.

**Sources consultées :**

* Guides de rédaction de mémoire d’ingénieur (ESIP Gafsa, 2024[[1]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=3,chapitres%20qui%20doivent%2C%20%C3%A0%20la)[[3]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=Exemple%20pour%20la%20mise%20en,aux%20outils%20et%20aux%20m%C3%A9thodes); ISAE Gafsa, 2024[[17]](https://fr.scribd.com/document/854337568/Guide-PFE-ISAEG-2024-2025606#:~:text=anticiper%20les%20flux%20de%20tr%C3%A9sorerie,ROI)[[20]](https://fr.scribd.com/document/854337568/Guide-PFE-ISAEG-2024-2025606#:~:text=%E2%80%93%20Faisabilit%C3%A9%20sociale%20et%20environnementale,des%20conditions%20de%20travail%2C%20acceptabilit%C3%A9))
* Exemples de mémoires francophones en maintenance vibratoire et IA embarquée (FST Fès, 2017[[2]](https://memoirepfe.fst-usmba.ac.ma/download/4238/pdf/4238.pdf#:~:text=Chapitre%204%3A,55)[[40]](https://memoirepfe.fst-usmba.ac.ma/download/4238/pdf/4238.pdf#:~:text=Th%C3%A8me%20%3A%20Maintenance%20pr%C3%A9ventive%20des,HOLCIM%20Effectu%C3%A9%20%C3%A0%20%3A%20LafargeHolcim); UQTR Canada, 2022[[7]](https://depot-e.uqtr.ca/id/eprint/10416/#:~:text=Amar%2C%20Cheikh%20Souhaibou%20%282022%29,Rivi%C3%A8res%2C%2056%20p)[[8]](https://depot-e.uqtr.ca/id/eprint/10416/#:~:text=Type%20de%20document%3A%20Th%C3%A8se%20et,Division%3A%20Math%C3%A9matiques%20et%20informatique%20appliqu%C3%A9es))
* Conseils stylistiques pour écriture scientifique en français (Univ. Nanterre[[13]](https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1#:~:text=abuser%20de%20la%20tournure%20passive,vous%20permettent%20de%20vous%20exprimer))
* Contenu technique du projet TinyML (contexte et choix technologiques de l’étudiant[[26]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=2.%20Why%20K,%E2%9C%93%20Proven%20in%20industrial%20applications)[[24]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=%E2%9C%97%20CNN%3A%20Requires%20fault%20examples,Complex%20deployment%20on%20MCU)).

[[1]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=3,chapitres%20qui%20doivent%2C%20%C3%A0%20la) [[3]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=Exemple%20pour%20la%20mise%20en,aux%20outils%20et%20aux%20m%C3%A9thodes) [[4]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=%E2%80%A2%20La%20m%C3%A9thodologie%20de%20d%C3%A9marche,Le) [[5]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=Chapitre%203%20%3A%20Travail%20r%C3%A9alis%C3%A9,m%C3%A9thodologie%20et%20les%20solutions%20retenues) [[6]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=On%20peut%20commencer%20chaque%20partie,implications%20et%20limitations%20des%20travaux) [[15]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=rapporteur%20du%20PFE%20pourra%20consulter,Eviter%20les) [[16]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=de%20PFE%202,correspond%20%C3%A0%20celui%20d%E2%80%99un%20rapport) [[21]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=%E2%80%A2%20Pr%C3%A9senter%20les%20objectifs%20%3A,nombre%20de%20pages%20du%20rapport) [[22]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=ne%20doit%20pas%20d%C3%A9passer%2070,chapitres%20qui%20doivent%2C%20%C3%A0%20la) [[31]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=3,noms%20des%20%C3%A9tudiants%2C%20la%20date) [[32]](https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf#:~:text=Ils%20sont%20plac%C3%A9s%20imm%C3%A9diatement%20apr%C3%A8s,Les%20personnes%20qui) esip.tn

<https://www.esip.tn/intership/Guide%20redaction%20de%20PFE%20ESIP.pdf>

[[2]](https://memoirepfe.fst-usmba.ac.ma/download/4238/pdf/4238.pdf#:~:text=Chapitre%204%3A,55) [[40]](https://memoirepfe.fst-usmba.ac.ma/download/4238/pdf/4238.pdf#:~:text=Th%C3%A8me%20%3A%20Maintenance%20pr%C3%A9ventive%20des,HOLCIM%20Effectu%C3%A9%20%C3%A0%20%3A%20LafargeHolcim) memoirepfe.fst-usmba.ac.ma

<https://memoirepfe.fst-usmba.ac.ma/download/4238/pdf/4238.pdf>

[[7]](https://depot-e.uqtr.ca/id/eprint/10416/#:~:text=Amar%2C%20Cheikh%20Souhaibou%20%282022%29,Rivi%C3%A8res%2C%2056%20p) [[8]](https://depot-e.uqtr.ca/id/eprint/10416/#:~:text=Type%20de%20document%3A%20Th%C3%A8se%20et,Division%3A%20Math%C3%A9matiques%20et%20informatique%20appliqu%C3%A9es) Développement d'un modèle de détection d'anomalie basée sur les forêts d'isolement dans un environnement V2G - Cognitio

<https://depot-e.uqtr.ca/id/eprint/10416/>

[[9]](https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1#:~:text=11%205.,ouverture%20est%20totalement%20inattendue%2C%20votre) [[10]](https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1#:~:text=,un%20document%2C%20une%20image%2C%20une) [[11]](https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1#:~:text=5.,annexes%2C%20elles%20doivent%20%C3%AAtre%20num%C3%A9rot%C3%A9es) [[12]](https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1#:~:text=Une%20annexe%20n%E2%80%99est%20pas%20un,dont%20vous%20vous%20%C3%AAtes%20servi) [[13]](https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1#:~:text=abuser%20de%20la%20tournure%20passive,vous%20permettent%20de%20vous%20exprimer) [[14]](https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1#:~:text=recommand%C3%A9%20dans%20le%20m%C3%A9moire%20de,il%20a%20%C3%A9t%C3%A9%20dit) [[29]](https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1#:~:text=,une%20image%2C%20une%20photographie%2C%20un) [[38]](https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1#:~:text=6.,Articles) [[39]](https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1#:~:text=IV.,canevas%20propos%C3%A9s%20%3A%20vous%20pouvez) METHODOLOGIe

<https://cdpc.parisnanterre.fr/ressources/guide-du-memoire/cdpc-guide-de-methodologie-du-memoire-de-master-ii-1>

[[17]](https://fr.scribd.com/document/854337568/Guide-PFE-ISAEG-2024-2025606#:~:text=anticiper%20les%20flux%20de%20tr%C3%A9sorerie,ROI) [[18]](https://fr.scribd.com/document/854337568/Guide-PFE-ISAEG-2024-2025606#:~:text=2) [[19]](https://fr.scribd.com/document/854337568/Guide-PFE-ISAEG-2024-2025606#:~:text=d%C3%A9taill%C3%A9e%2C%20en%20pr%C3%A9cisant%20les%20actions,ainsi%20que%20des%20risques%20potentiels) [[20]](https://fr.scribd.com/document/854337568/Guide-PFE-ISAEG-2024-2025606#:~:text=%E2%80%93%20Faisabilit%C3%A9%20sociale%20et%20environnementale,des%20conditions%20de%20travail%2C%20acceptabilit%C3%A9) Guide PFE ISAEG 2024-2025606 | PDF | Analyse SWOT | Plan d'affaires

<https://fr.scribd.com/document/854337568/Guide-PFE-ISAEG-2024-2025606>

[[23]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=2.%20Why%20K,%E2%9C%93%20Proven%20in%20industrial%20applications) [[24]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=%E2%9C%97%20CNN%3A%20Requires%20fault%20examples,Complex%20deployment%20on%20MCU) [[25]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=1,%E2%9C%93%20Prior%20experience%20with%20platform) [[26]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=2.%20Why%20K,%E2%9C%93%20Proven%20in%20industrial%20applications) [[27]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=Our%20Approach%20,ANY%20deviation%20from%20normal) [[28]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=1.%20,of%20embedded%20systems%20and%20ML) [[33]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=Technical%20Constraints%201.%20,Model%20must%20be%20highly%20optimized) [[34]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=Alternatives%20rejected%3A%20%E2%9C%97%20Arduino%20Uno%3A,) [[35]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=3,in%20deployment%20tools) [[36]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=Alternatives%20rejected%3A%20%E2%9C%97%20TensorFlow%20Lite%3A,Custom%20implementation%3A%20Time%20constraints) [[37]](file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju#:~:text=2.%20%2A%2AFault%20Simulation%20Restrictions%2A%2A%20,bearing%20damage%20or%20electrical%20faults) PFE\_Project\_Context\_Complete.md

<file://file-5d8mi6QjYaBuqguEhmkhju>

[[30]](https://www.studocu.com/row/document/institut-superieur-de-gestion-de-tunis/finance-dentreprise/guide-pfe-2024-2025-trgrtgrt/121790211#:~:text=Le%20rapport%20doit%20comporter%20entre,50%20pages%20de%20l%27introduction) Guide d'Élaboration du Projet de Fin d'Études PFE 2024-2025

<https://www.studocu.com/row/document/institut-superieur-de-gestion-de-tunis/finance-dentreprise/guide-pfe-2024-2025-trgrtgrt/121790211>