

PFE
(Projet Fin Etude)

Cahier Des Charges de Projet Industriel (CDCPI)

Sujet : Conception, réalisation et exploitation d'un banc de mesure d'émissivité à très haute fréquence

CROITORU Yoann

Ingénieur Instrumentation, Mesure d'Antennes en alternance

Alternance – Cycle Ingénieur

Spécialité : Systèmes Electriques et Electroniques Embarqués

Entreprise d'apprentissage : Centre National d'Etudes Spatiales

Tuteur professionnel : LE FUR Gwenn

Etablissement de formation : E.I. CESI, S3E FIPA 2021-2024

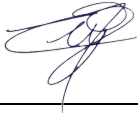
EVALUATION DU CAHIER DES CHARGES DU PROJET INDUSTRIEL (CDCPI)		
	Le tuteur entreprise coche chaque case lorsqu'il considère que l'item est valide	Si la case n'est pas cochée, le tuteur doit le justifier ci-dessous.
IDENTIFICATION DE LA PROBLEMATIQUE		
• Présentation synthétique du sujet	<input checked="" type="checkbox"/>	
• Prise de recul, prise en compte du contexte	<input checked="" type="checkbox"/>	
• Identification des enjeux pour l'entreprise	<input checked="" type="checkbox"/>	
• Identification des objectifs pour l'apprenti ingénieur	<input checked="" type="checkbox"/>	
MISE EN VALEUR DE LA DEMARCHE		
• Présentation de la démarche à mettre en œuvre	<input checked="" type="checkbox"/>	
• Présence d'un planning prévisionnel ou d'un échéancier réaliste et des points de contrôle	<input checked="" type="checkbox"/>	
• Identification des tâches à réaliser	<input checked="" type="checkbox"/>	
• Identification des ressources mobilisées	<input checked="" type="checkbox"/>	
• Présentation de la dimension technique du projet	<input checked="" type="checkbox"/>	
• Présentation de la dimension économique du projet	<input checked="" type="checkbox"/>	
QUALITE DU DOCUMENT		
• Structure du document	<input checked="" type="checkbox"/>	
• Expression	<input checked="" type="checkbox"/>	
• Grammaire, orthographe	<input checked="" type="checkbox"/>	
Remarques du tuteur CESI si des écarts sont constatés (mettre RAS si tout est OK)		
RAS		
Signatures		
L'apprenti : 	Le tuteur entreprise :	Le tuteur CESI :
Date :		

Table des matières

1. Introduction	4
2. Présentation du projet	5
2.1. Sujet et Problématique	5
2.2. Contexte	6
2.3. Enjeux	6
2.4. Objectifs	7
3. Démarche du projet	7
3.1. Procédure (Cycle en V)	7
3.2. Identification des tâches (WBS)	8
3.3. Planning prévisionnel	9
3.4. Ressources à disposition	10
3.4.1. Ressources humaines	10
3.4.2. Ressources matérielles	10
3.5. Analyse des risques (AMDEC)	11
3.6. Budget prévisionnel	12
4. Indicateurs de réussite	12
5. Confidentialité	12
6. Conclusion	13
7. Annexe	13

Table des illustrations

Figure 1: Satellite première génération Megha-Tropique	5
Figure 2: Cycle en V	8
Figure 3: Work Breakdown Structure (WBS)	8
Figure 4: Planning prévisionnel	9
Figure 5: Resource Breakdown Structure (RBS)	10
Figure 6: Analyse des risques	11
Figure 7: Budget prévisionnel	12

Glossaire

CNES : Centre National d'Etudes Spatiales
ISRO : Indian Space Research Organization
NG : Nouvelle Generation
TOS : Taux Onde Stationnaire
OBCT : On Board Calibration Target
LEMA : Laboratoire d'Etude et Mesure Antenne
WBS : Work Breakdown Structure
RBS : Resource Breakdown Structure

1. Introduction

Dans le cadre de la validation de ma 3^{ème} année de formation, d'Ingénieur Systèmes Electriques Electronique Embarqués, il nous est proposé de réaliser un projet industriel de fin d'études.

L'objectif permet à l'apprenti de gérer un projet concret intégrant technique et organisation mais également un aspect économique et humain. Ce projet vise à plonger l'apprenti ingénieur dans les futures activités qu'il rencontrera tout au long de sa carrière. Il sera nécessaire de mesurer les enjeux en entreprise, gérer les contraintes budgétaires et calendaires dans le but de renforcer ses compétences.

L'apprenti doit montrer sa capacité à mener à bien un projet au sein de son entreprise, présenté lors d'une soutenance prévue en septembre 2024, il sera alors évalué la capacité de l'apprenti à respecter les critères du cahier des charges. Ce document a pour but de définir les objectifs ainsi que le cadre général du projet, permettant ou non l'approbation préalable de l'entreprise, l'apprenti et le jury du CESI.

Ce cahier des charges abordera deux grand axes majeurs, la présentation du projet puis sa démarche, eux-mêmes divisés en plusieurs sous parties comprenant la problématique générale, les enjeux et objectifs, mais aussi la gestion du planning des ressources et budget, pour finir par les indicateurs de réussite.

2. Présentation du projet

2.1. Sujet et Problématique

En 2011 le CNES avec la coopération de l'ISRO (l'agence spatiale indienne) lance le satellite Megha-Tropiques qui a pour but d'étudier les échanges thermiques entre les océans et l'atmosphère dans les zones tropicales afin de mieux comprendre leurs incidences sur le climat. En 2021 avec la coopération du CNES, Airbus Defence and Space ambitionne une mission similaire en lançant un nouveau satellite, avec à son bord, un instrument de mesure baptisé SAPHIR-NG, nécessitant un étalonnage permanent en vol, il aura pour but d'étudier les échanges d'hydrométéores dans l'atmosphère ainsi que leurs évolutions.

Ce nouveau satellite d'observation scientifique sera une avancée technologique majeure étant donné qu'il emportera un radiomètre opérant à plusieurs fréquences (89-183-325 GHz), contrairement à son prédécesseur SAPHIR, qui fonctionnait à une seule fréquence de 183 GHz.

Afin que les valeurs des mesures de ce radiomètre soient exploitables il faudra intégrer à bord du satellite un moyen de calibration compact, qui au préalable, aura été mesuré sur terre et dont on connaîtra les caractéristiques.

Au cours de sa mission, l'étalonnage du récepteur SAPHIR est effectué en mesurant le signal obtenu lorsque le réflecteur tournant est pointé sur deux sources de température de radiation connues : le ciel froid ($\sim 4,4$ °K) et une cible interne à une température voisine de la structure de l'instrument fournissant la température de brillance chaude de référence. Cette cible est appelée *charge chaude* ou OBCT. Cette charge se comporte le plus possible comme un « corps noir », c'est-à-dire, dans le domaine des micro-ondes un objet qui doit absorber parfaitement toute l'énergie qui lui est transmise. Cette qualité est transposée en une valeur très faible du TOS d'une antenne illuminant cette charge.

Le sujet proposé vise à permettre la caractérisation d'une charge d'étalonnage (OBCT) aux fréquences de fonctionnement du radiomètre. La problématique réside dans la conception et la validation d'un banc de mesure.



Figure 1: Satellite première génération Megha-Tropique

2.2. Contexte

Créé en 1961, le CNES est depuis ce jour sous la tutelle de l'état et plus précisément sous la tutelle conjointe **du ministère de l'Economie, des Finances et de la Relance, du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation et du ministère des Armées.**

Le CNES contribue au rayonnement de la France à l'international et collabore à faire de l'espace un eldorado technologique. En 2022, l'État a fixé le cap de la stratégie spatiale française à travers la signature par Philippe Baptiste, Président directeur général du CNES, et les trois ministres de tutelle du Contrat d'Objectifs et de Performance du CNES. Intitulé « Nouveaux espaces », il s'articule autour de quatre ambitions stratégiques :

- Soutenir la **SOUVERAINETÉ** nationale grâce à l'autonomie d'accès à l'espace
- Poursuivre sa mission au service de la **SCIENCE** en portant des missions ambitieuses.
- Renforcer la **COMPÉTITIVITÉ ÉCONOMIQUE** de la filière spatiale française.
- Faire du **CLIMAT** et de **L'ENVIRONNEMENT** l'une de ses priorités en plaçant la France à la pointe du spatial pour ce domaine et en consolidant ses engagements à travers, entre autres, ses programmes d'observation de la Terre.

Les menaces qui pèsent sur l'environnement et la surexploitation des ressources naturelles de notre planète nécessitent la mise en œuvre d'une stratégie globale de développement durable. Son expertise reconnue en matière d'observation de la Terre permet aujourd'hui à la France de se positionner à la pointe de ce combat en Europe et dans le monde. Les systèmes orbitaux sont les meilleurs outils pour observer le changement climatique. Depuis plus de 30 ans le CNES exploite des données provenant de satellite d'observation de la terre, comme Spot, Jason ou encore Megha-Tropique et Iasi qui vont tous les deux pouvoir profiter d'une NG.

2.3. Enjeux

Les enjeux de ce projet peuvent être classés en plusieurs aspects cruciaux.

Premièrement, il y a l'impératif de respecter les objectifs définis pour le climat et l'environnement d'ici à 2030. Cette perspective souligne notre engagement envers des solutions durables et écologiques imposée par le gouvernement.

Deuxièmement, les défis du projet sont significatifs, car des résultats tangibles sont indispensables pour guider efficacement toutes les phases du projet, jusqu'au potentiel lancement. La calibration précise de la charge chaude est d'une importance cruciale. Sans une calibration précise il sera impossible d'obtenir des mesures fiables et tout écart à ce niveau pourrait entraîner l'échec de la mission.

Troisièmement, l'opportunité de tirer profit et d'accroître notre savoir-faire est également un enjeu important. Atteindre des niveaux d'expertise à 89 et 365 GHz, jamais testés auparavant, seront l'occasion de monter en compétences et d'accroître le niveau d'expertise du LEMA.

Enfin, ce projet initialement mené par le CNES en 2007 confère un soutien technique à l'actuel projet grâce à l'expérience acquise à l'époque où les tests ont été menés à 183 GHz. Cette base solide renforce notre crédibilité et nous positionne pour relever les défis techniques de cette mission ambitieuse.

2.4. Objectifs

Objectifs techniques :

Il sera important d'appréhender les besoins de la mission, définir et spécifier le matériel nécessaire au montage du banc de mesure, maîtriser l'instrumentation spécifique aux fréquences utilisées et pour finir documenter les conduites de tests ainsi que les résultats obtenus de manière détaillée. Une documentation la plus détaillée possible sera obligatoire, cela permet une référence claire pour reproduire précisément la méthode de test, et ceci, potentiellement après plusieurs années.

Dans un projet, outre l'aspect technique, la dimension qualité revêt une importance cruciale. Il faudra s'assurer de la conformité des calibrations des appareils de mesure, afin de garantir la fiabilité des données obtenues. Il est également essentiel de prendre en considération les spécifications mécaniques, en s'assurant auprès du fournisseur de leur conformité et en définissant au préalable les écarts maximaux acceptable.

Objectifs organisationnels :

Diriger ce projet permet via les contraintes de temps et budgétaire de prendre pleinement conscience des responsabilités que doit endosser un ingénieur.

Objectifs humains :

Une collaboration étroite sera nécessaire avec les potentiels sous-traitants afin de mener la bonne conduite du projet, de plus, la communication avec les fournisseurs sera une étape importante afin de respecter au maximum les délais imposés par le cahier des charges.

3. Démarche du projet

Ce projet sera découpé en 3 grand axes qui seront :

- Etude
- Conception
- Fabrication / Test

Lors de notre formation nous avons étudié et abordé de nombreux outils de gestions de projets, afin de mener à bien ce projet et dans le temps imparti, j'ai défini et planifié diverses tâches à l'aide de plusieurs outils organisationnels présenté ci-dessous (Cycle en V, WBS, diagramme de Gantt, RBS, analyse des risques, etc.)

3.1. Procédure (Cycle en V)

Dans la vie d'un projet il est important de pré-visualiser l'organisation des activités et d'exprimer les étapes des différentes activités de conception, mise en œuvre et validation du banc tout en vérifiant son fonctionnement et sa conformité. La méthode fréquemment utilisée pour la gestion de projet dans l'aérospatiale / aéronautique est la méthode du cycle en V. Cette méthodologie décrit le cycle de vie du projet, du commencement jusqu'à la finalisation du projet démontrant que chaque étape est interconnectée.

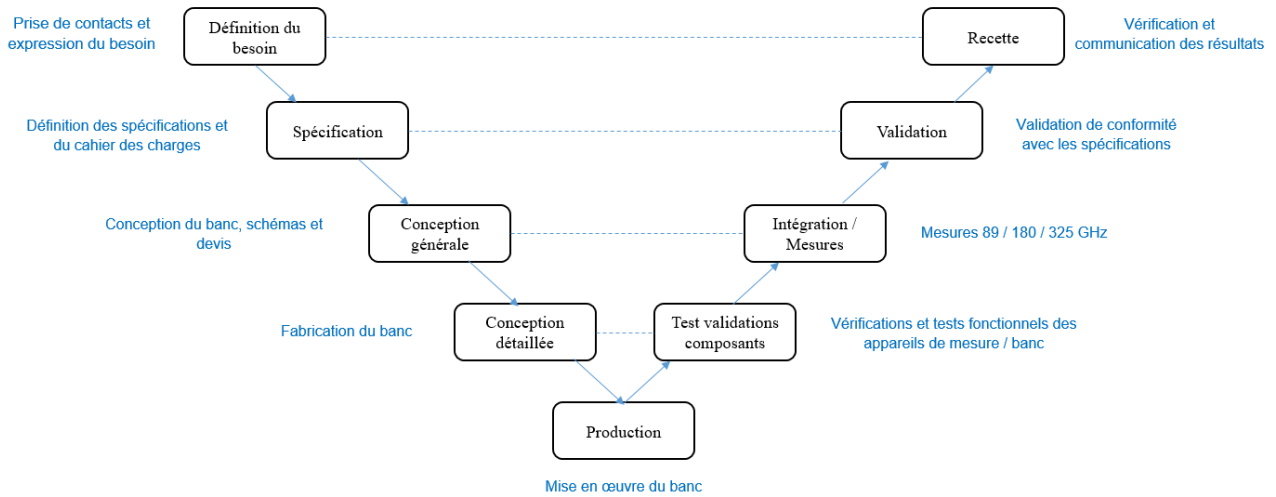


Figure 2: Cycle en V

3.2. Identification des tâches (WBS)

Comme dit précédemment le projet se découpera en 3 grandes parties. Un WBS permet d'exprimer ces étapes de manière visuelle et de répartir l'ensemble du travail à accomplir en sections gérables. Il sera en corrélation avec le planning disponible dans la suite du CDC.

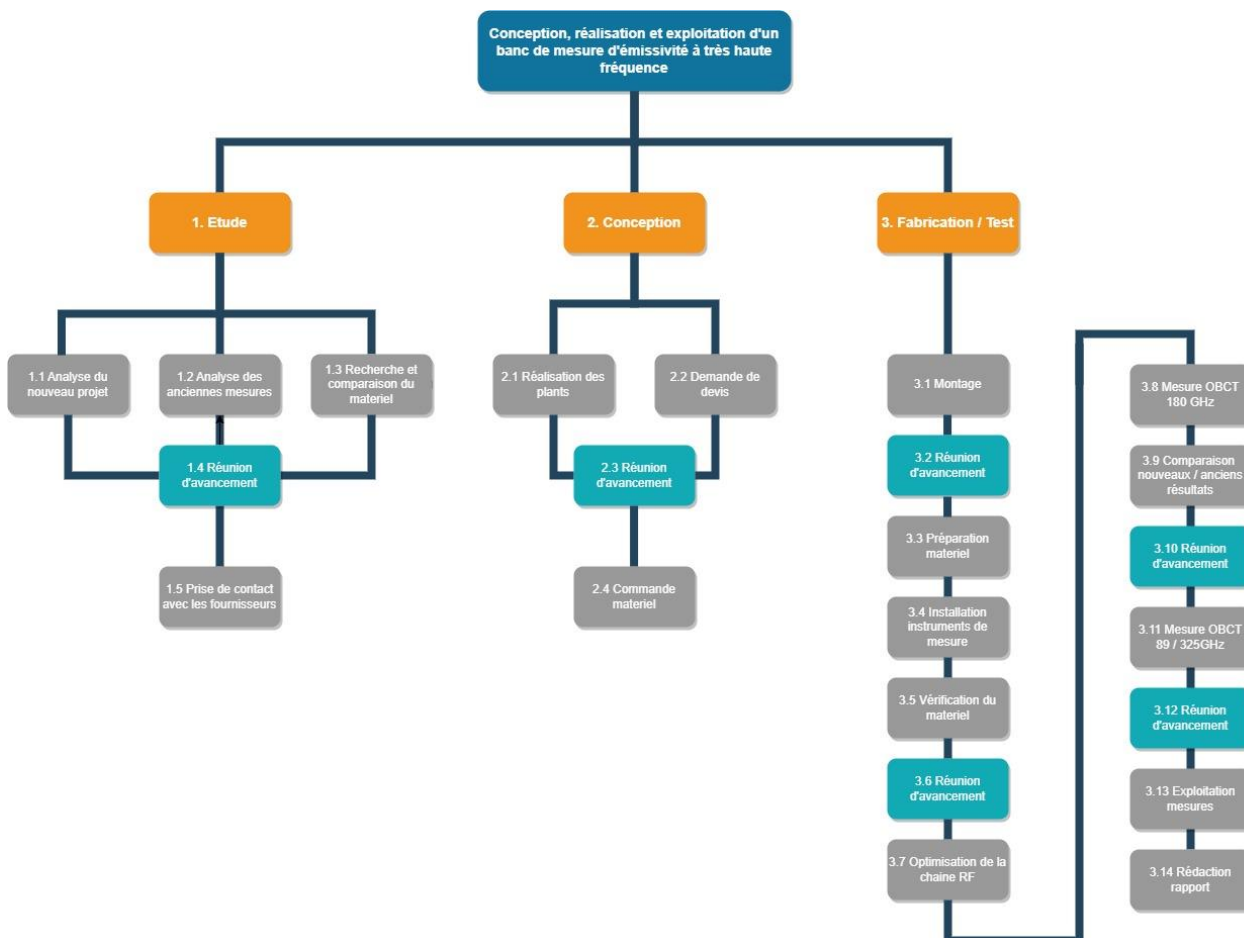
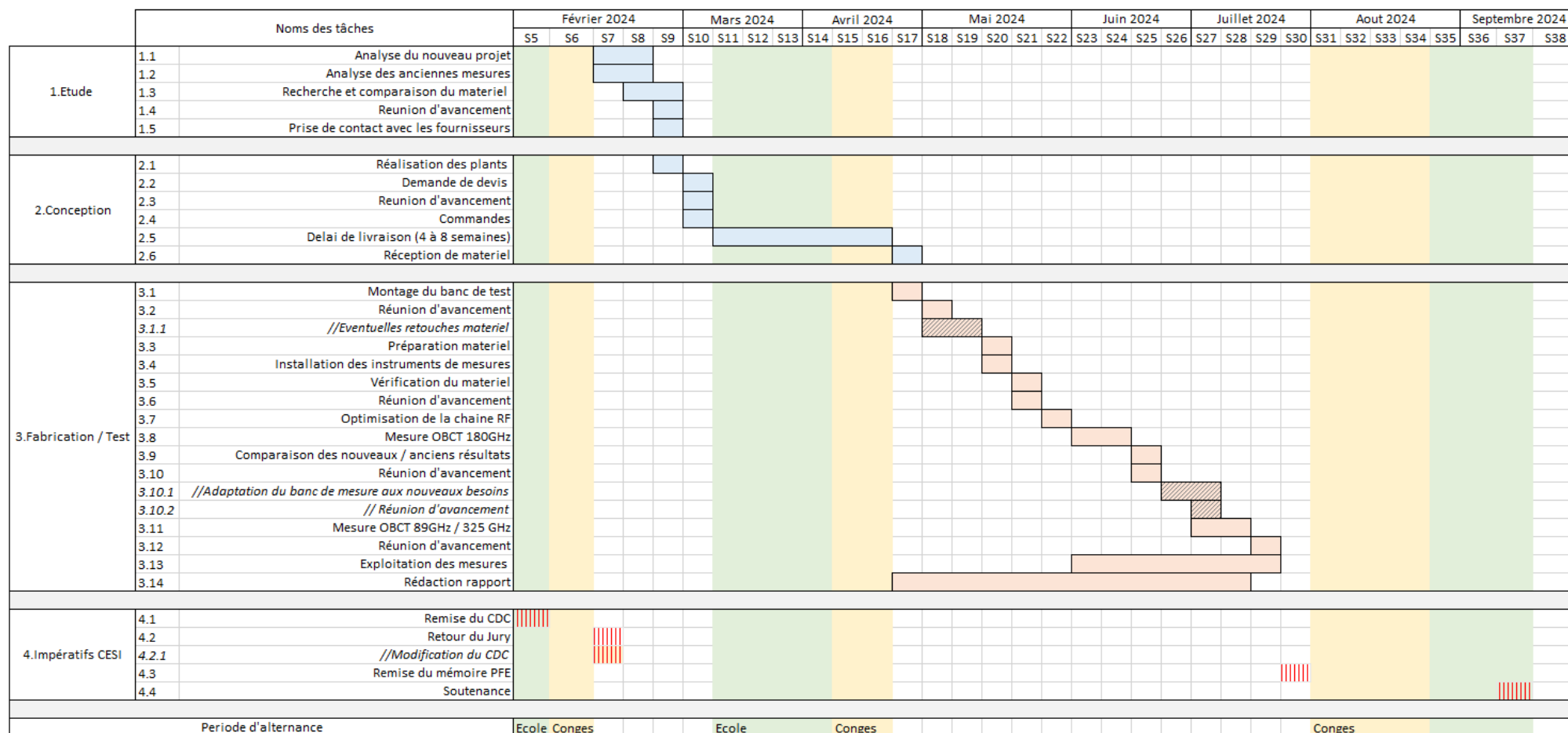


Figure 3: Work Breakdown Structure (WBS)

3.3. Planning prévisionnel

La date de début du projet est le 12 février 2024, le planning est découpé par rapport aux tâches identifiées dans le WBS. La fin du projet est planifiée pour la semaine 29. La première phase sera une phase de d'étude et de conception mais également de gestion de projet. La seconde phase concernera le montage, les tests et validation puis la mesure. Il sera nécessaire de remplir un rapport de mission tout au long de la campagne, sera également rédigé le mémoire du PFE.



```
// => Etape potentielle en fonction des résultats précédents
```

Figure 4 : Planning prévisionnel

3.4. Ressources à disposition

3.4.1. Ressources humaines

Dans le cadre du projet « Conception, réalisation et exploitation d'un banc de mesure d'émissivité à très haute fréquence » l'aspect organisation des personnes sera agencé de la façon suivante :

- 1 Chef de projet également Apprenti ingénieur (Croitoru Yoann)
- 1 Consultant / Conseiller technique (Tuteur : LeFur Gwenn)

Pour mener à bien ce projet, d'autres partis externes sont impliqués dans ce projet tels que :

- Sap Micro (fournisseur mécanique)
- ABmm (fournisseur composants millimétriques)
- *Eravant (fournisseur potentiel de composants millimétriques)*

Dans le but de respecter au mieux les délais, des réunions d'avancement seront mises en place, ces réunions permettront de faire le point sur l'état global du projet ainsi que d'éventuelles modifications ou améliorations sur les tâches en cours, de plus, ces réunions pourraient éventuellement me permettre de ne pas rester bloquer sur un point technique.

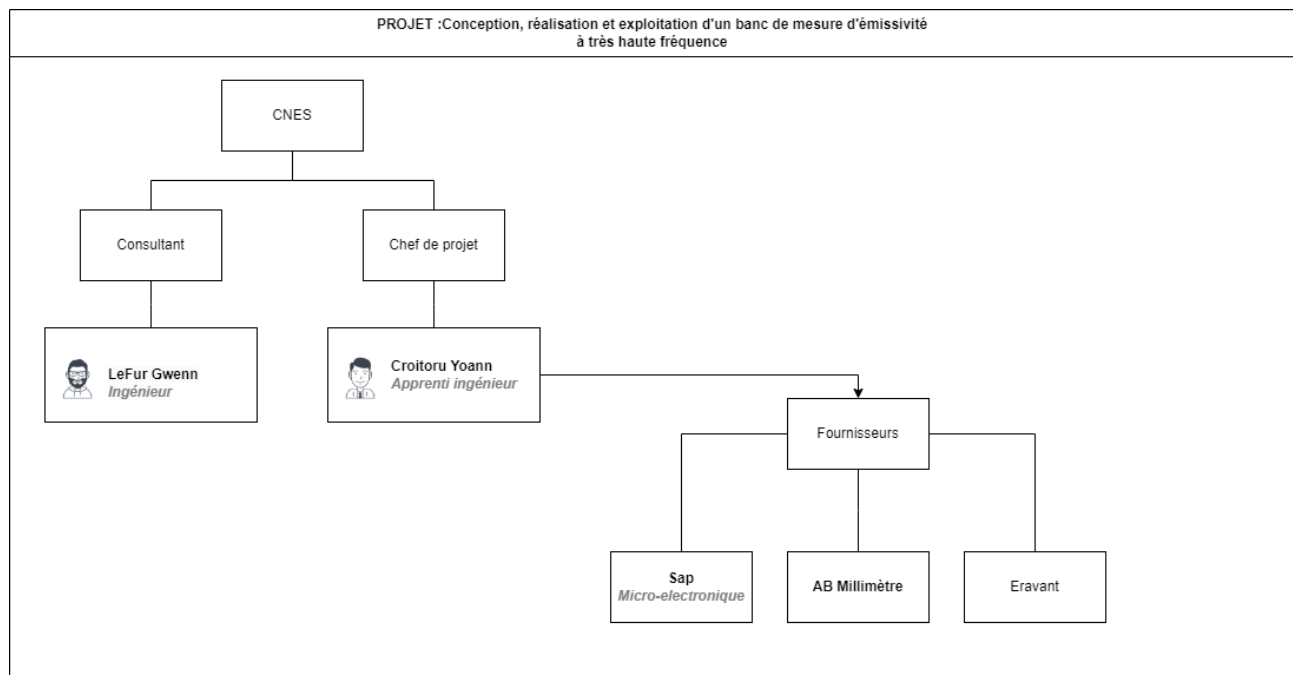


Figure 5: Resource Breakdown Structure (RBS)

3.4.2. Ressources matérielles

Les ressources matérielles disponibles pour ce projet sont principalement constituées des outils et appareils de mesures datant des premières mesures SAPHIR de 2007. L'objectif ici est de remonter ce banc de test afin de reproduire les anciennes mesures, puis dans un second temps de s'adapter aux nouveaux besoins du projet.

3.5. Analyse des risques (AMDEC)

Afin de s'assurer du bon déroulement du projet il est nécessaire de répertorier les différents risques qu'il est possible de rencontrer au cours du projet, ceux-ci sont exposés dans le tableau d'analyse des risques ci-dessous :

		Probabilité			
		Faible	Moyenne	Elevée	Très élevée
Criticité	Faible				
	Moyenne		1		
	Elevée		2	4	3
	Très élevée	5			

- 1: Retard production / livraison
- 2: Complication montage banc
- 3: Problèmes divers plus ou moins complexes
- 4: Mauvaise connaissance technique des outils / appareils utilisés
- 5: Problèmes lors du traitement des résultats

Figure 6: Analyse des risques

Suite à ceci, les différents risques les plus critiques doivent être impérativement évités, pour ceci il est nécessaire de trouver des solutions alternatives dans l'optique de minimiser leurs éventuels impacts.

1 : Retard production / livraison : Les fournisseurs ont divers projets en cours, leur disponibilité varie selon la période et leurs activités. Egalement la période de fin d'année / début d'année est très compliquée étant donné qu'une partie des entreprises se servent de la fin d'année pour utiliser le budget restant. Pour éviter ce risque, il faut bien les informer et les tenir au courant de l'avancée du projet afin qu'ils aient conscience de celui-ci, l'option alternative serait de commander le matériel dans des périodes creuses, bien évidemment il faudra prévoir une période large sur l'emploi du temps.

2 : Complication montage banc : Depuis 2007, le matériel utilisé à l'époque a été démonté ou réaffecté pour d'autres bancs de test parfois même dans d'autres services pour d'autres missions. Certaines parties du banc sont maintenant manquantes et ont dû être recommandées ou modifiées pour assurer la reconstruction et l'adaptation du banc de test actuel. Cependant tous les plans n'ont pas été retrouvés et des pièces ont dû être redessinées avec l'aide d'anciennes photos ou rapports de mesures. C'est pour cela que « d'éventuelles » retouches sont prévues dans le planning.

3 : Problèmes divers plus ou moins complexes : Depuis mon arrivée au CNES et plus précisément au LEMA, j'ai pu me rendre compte lors des diverses campagnes de mesures que tout ne se passait pas toujours comme prévu. Dans le monde de la mesure d'antenne et plus généralement du test, plusieurs complications peuvent survenir, c'est pourquoi il faut prévoir des temps de travaux larges afin de respecter au mieux les deadlines.

4 : Mauvaise connaissance technique des outils / appareils de mesures : Ces 2 années au LEMA m'ont permis de me familiariser avec la mesure antennaire, en revanche ma pratique se limite à des antennes ne dépassant pas 40 GHz. Au-delà de cette fréquence, les appareils ainsi que les techniques de mesures nécessaires sont différentes mais également beaucoup plus minutieuses. Ainsi pour m'approprier ces nouveaux équipements une phase d'adaptation sera nécessaire.

5 : Problème lors du traitement des données : Parfois, le post-traitement peut soulever des problèmes potentiels, indiquant des erreurs dans la réalisation de la mesure ou d'autres anomalies. Pour éviter cela, il serait judicieux de vérifier les résultats après chaque mesure plutôt que d'attendre la fin de l'ensemble des mesures. Cependant, il est important de noter que même avec cette approche, nous ne sommes pas à l'abri d'éventuelles erreurs qui pourraient survenir.

3.6. Budget prévisionnel

Le coup financier d'un projet est vital pour la bonne conduite de celui-ci, cette estimation du budget regroupe les coûts humain, l'équipe CNES et une potentielle sous traitance, mais également, les coûts matériels pour la conception et réalisation du banc. D'après le tableau ci-dessous l'enveloppe s'élèverait à 10 k€ pour le matériel et 4 k€ pour les RH soit un total se rapprochant des 15 k€.

		Budget Initial	
Matériel	Instrumentation	5000	
	Interfaces mécaniques	3000	
	Composant RF divers	2000	
	Total €	10000	
Ressource Humaine	Sous traitance potentielle jours	15j	
	Sous traitance potentielle heures	105	
	Total €		
	Jours projet	100 jours max	80 jours
	Conges	-15j	-15j
	Jours fériés	-5j	-5j
	Heures projet	560	420
	Total €	5200	3900

Postes	Coûts
Apprenti ingénieur	65 € / J
Sous-traitants	

Figure 7 : Budget prévisionnel

4. Indicateurs de réussite

Les indicateurs de réussites déterminent si le projet est un succès ou non :

- Conformité des anciens résultats.
- Nouveaux résultats probants.
- Respect des délais.
- Gestion des éventuels problèmes de temps ou techniques.
- Bon suivi du projet, avec des rapports complets.

5. Confidentialité

Ce projet n'est pas classé confidentiel.

6. Conclusion

Le Cahier Des Charges est plus qu'un outil fil rouge, c'est également une garantie, pour l'apprenti, pour l'entreprise, pour le jury, que l'apprenti a bien intégré la problématique à traiter, les enjeux qui lui sont associés ainsi que les dimensions du métier de l'ingénieur. Ce projet est l'aboutissement de l'expérience acquise durant ces 3 années de formation.

7. Annexe