

**Institut Universitaire de Technologie,
Aix-Marseille Université**

**RAPPORT DE STAGE
Diplôme Universitaire de Technologie
Spécialité Réseaux et Télécommunications**

**Étude de l'impact des configurations radio sur le
déploiement des infrastructures TOTEM**

**Sirine MAKHLOUF
TOTEM FRANCE**

Responsable entreprise : Akim DAHDAH
Responsable académique : Djamal MERAD

2024

Remerciements

Avant d'entamer ce présent travail, je tiens tout d'abord à exprimer mes sincères sentiments et remerciements à tous ceux qui ont participé de manière directe ou indirecte à l'élaboration de ce travail.

Je remercie de tout mon cœur les équipes de Totem France qui ont accepté jour après jour que je les accompagne et que je les sollicite dans le cadre de mon étude. Je les remercie aussi pour le travail remarquable qu'ils effectuent quotidiennement ainsi que leur disponibilité, leur gentillesse et leur encadrement moral et technique pendant toute la durée du stage. Ils n'ont hésité à aucun moment à me consacrer une grande part de leur temps précieux, afin de m'aider considérablement dans la réalisation de mon projet et me soutenir par leurs conseils constructifs tout au long du stage.

Je souhaite par ailleurs remercier tout particulièrement Monsieur Akim DAHDAH de m'avoir permis d'évoluer pendant 10 semaines au sein de TOTEM France. En tant que tuteur, il m'a beaucoup appris sur les aspects du métier et les problématiques rencontrées. Il m'a également permis de participer au processus de construction d'un pylône et ainsi mieux comprendre le fonctionnement et l'utilité d'une Tower Co.

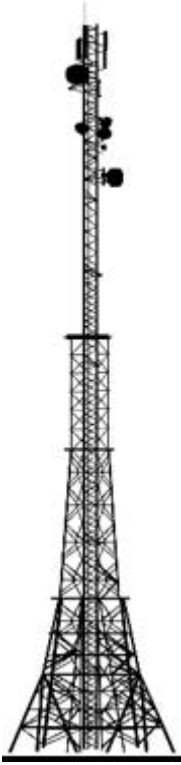
Je tiens enfin à remercier le corps enseignant de l'IUT d'Aix Marseille du département R&T de Luminy, qui m'a fourni un enseignement de qualité et permis d'approfondir mes connaissances. Je les remercie davantage pour leur assistance constante et leurs aides pour la réalisation de ce projet.

SOMMAIRE

Table des matières

1	Introduction	7
2	Présentation de l'entreprise	7
2.1	L'histoire de Totem	7
2.2	Le secteur d'activité	8
2.3	Organigramme de l'entreprise	8
3	Objectif du stage et cadre technique	9
4	Les infrastructures passives.	9
4.1	Pylône.....	9
4.2	Toiture terrasse	10
5	Processus d'accueil d'un opérateur sur un pylône existant.....	11
5.1	Les étapes d'un accueil sur pylône existant	11
5.2	Les processus.....	12
5.3	Les livrables	12
6	Les équipements passifs.....	13
7	Description des configurations Pylône et Toit Terrasse	14
8	Configurations radio à une nappe et double nappe d'antennes.....	15
8.1	Configuration à une nappe d'antennes	15
8.2	Configuration à deux nappes d'antennes.....	17
8.3	La radio.....	18
8.3.1	Description approfondis de chaque technologie	18
8.3.2	Les bandes fréquences.	19
8.3.3	Les contraintes mécaniques.	20
8.4	L'impact urbain	21
8.5	Les Coûts.....	23
8.6	Les avantages et inconvénients de chaque configuration.....	23
8.6.1	Avantages et Inconvénients d'une configuration avec une Nappe d'Antennes	23
8.6.2	Avantages et Inconvénients d'une configuration avec deux Nappes d'Antennes	24
8.6.3	Le choix de la configuration	24
9	Difficultés rencontrées.....	25
10	Conclusion.....	27
11	Glossaire.....	28
12	Sitographie	29

1 Introduction



Dans l'ombre des gratte-ciels et des technologies de pointe, émerge une industrie cruciale mais souvent méconnue : les Tower Compagnie. En tant que piliers de l'infrastructure mobile, elles façonnent notre connectivité quotidienne. Découvrons comment TOTEM, leader européen dans ce domaine, relève les défis de demain et explorez avec moi les coulisses de mon stage au cœur des télécommunications.

En tant qu'étudiante en 2ème année de BUT Réseaux et Télécommunications, mon choix de stage chez TOTEM s'est naturellement imposé. En tant que leader incontesté en France et hautement classé en Europe, TOTEM incarne le pilier des infrastructures télécoms qui nous permettent de communiquer sans entrave. L'opportunité de contribuer à cette industrie a suscité en moi un vif intérêt.

Du 15 avril au 21 juin, j'ai eu l'opportunité de rejoindre l'équipe de production, plus précisément le pôle accueil, sous la tutelle de M. DAHDAH Akim. Au sein de cette équipe dynamique, j'ai pu m'immerger dans les infrastructures passives pour les opérateurs. Mes missions ont consisté à analyser les référentiels d'ingénierie radio et TowerCo croisés aux processus de production d'infrastructures passives et livrables associés. J'ai également réalisé une étude complète des solutions radios des clients de TOTEM, en mettant en évidence les intérêts et les inconvénients de chacune, d'un point de vue Client et TowerCo.

Dans ce rapport de stage, nous explorerons tout d'abord l'entreprise TOTEM et son histoire, puis nous nous concentrerons sur mes missions axées sur l'étude du processus de déploiement et l'étude des aménagements passives. Enfin, nous conclurons en réfléchissant sur les avantages de chaque solutions radio des Clients et des infrastructures que Totem propose en fonction des environnements concernés.

L'INTEGRALITE DE CE RAPPORT CONTIENT DES DONNEES CONFIDENTIELLES. IL EST INTERDIT DE LE DIFFUSER.

2 Présentation de l'entreprise

2.1 L'Histoire de TOTEM

Totem est l'un des acteurs majeurs du secteur des infrastructures de télécommunications en Europe. Présente en France et en Espagne depuis novembre 2021, l'entreprise s'est rapidement positionnée comme un acteur clé, se classant malgré sa récente apparition deuxième en France, quatrième en Espagne et sixième en Europe dans le domaine des Tower Co.

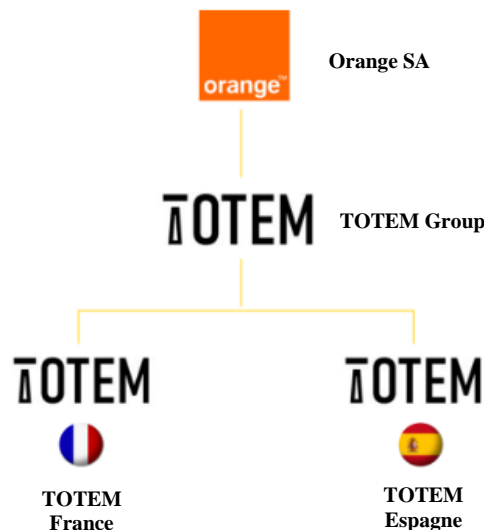


Figure 1: Diagramme Hiérarchique du Groupe TOTEM

Créée en novembre 2021, Totem France bénéficie d'un solide soutien en tant que filiale d'Orange SA, le géant des télécommunications. Cependant, son autonomie est solidement établie grâce à une équipe de direction dédiée et à une gouvernance autonome. Avec plus de 170 employés, dont 126 en France, et d'un chiffre d'affaires de 474 millions d'euros en 2022, Totem France dispose d'une expertise opérationnelle solide.

2.2 Le secteur d'activité

Les activités de Totem France se concentrent sur les infrastructures de télécommunications. L'entreprise propose des services d'hébergement pour équipements et infrastructures actives, ainsi que la maintenance des infrastructures passives. Elle offre la location d'emplacements pour antennes et équipements de transmission de données, ainsi que la gestion et la maintenance des pylônes et toits terrasses. Totem France vise à répondre aux besoins des opérateurs de télécommunication, entreprises, institutions et collectivités, en favorisant la mutualisation des réseaux pour une connectivité durable. L'entreprise valorise ses infrastructures en équilibrant le loyer du site et le loyer du bail, générant ainsi des revenus.

2.3 Organigramme de l'entreprise

Totem est structurée en plusieurs directions principales, chacune est supervisée par un directeur sous la gouvernance du Président Directeur général (PDG), Thierry Papin. Les directions sont les suivantes :

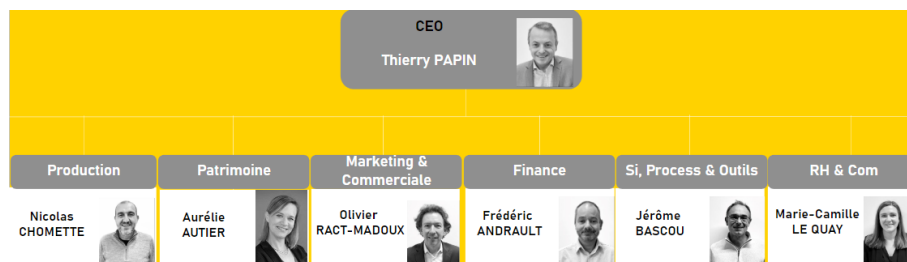


Figure 2: Organigramme des différentes directions de TOTEM



Figure 3: Organigramme des différentes équipes du pôle accueil

La Direction Production, à laquelle j'appartiens, s'occupe de la gestion des demandes client et des processus d'aménagement des sites. Elle est divisée en plusieurs équipes :

Équipe B2B (Business to business) : Cette équipe se charge des clients étatiques tels que la gendarmerie, les mairies, etc...

Équipe Orange : Bien que Totem soit une filiale d'Orange, cette équipe répond spécifiquement aux besoins du client Orange.

Équipe Free : Celle à laquelle j'appartiens et sur laquelle se base mon étude. Cette équipe gère les projets et les demandes du client Free.

Équipe Bouygues, SFR et Infracos : Responsable de la gestion de projets pour les autres grands opérateurs de télécommunications.

3 Objectif du stage et cadre technique

Lors de mon stage chez Totem, mes principales missions consistaient à réaliser des études approfondies sur les différents types d'aménagements et infrastructures proposés par l'entreprise, à apprendre le métier de chef de projet, à comprendre les processus suivis pour l'aménagement des infrastructures et de pouvoir d'un point de vue client et Tower Co, déterminer les avantages et inconvénients de configurations.

Je m'étais fixé comme objectif personnel d'acquérir des connaissances et de découvrir un aspect des télécommunications plus approfondi et complémentaire à ma formation, de développer des compétences en gestion de projet et de consolider l'orientation de mon projet professionnel à l'aide de ce stage.

Par mon sérieux et mon engagement, j'ai tout mis en œuvre pour favoriser la réussite de ce stage, en espérant que cette immersion professionnelle m'aidera à mieux appréhender l'environnement de travail et à construire un avenir solide et aligné avec mes aspirations.

4 Les Infrastructures passives (Pylône, Toiture Terrasse)

Totem offre divers services en matière d'infrastructures pour les télécommunications, notamment en installant des antennes sur différentes typologies de sites telles que les pylônes et les toits terrasses. Ces infrastructures dites passive permettent de supporter les antennes nécessaires pour la transmission des signaux de télécommunication, assurant ainsi une couverture réseau optimale. Les infrastructures peuvent être installées au sol ou sur les toits, en fonction des besoins spécifiques de couverture et des contraintes d'urbanisme.

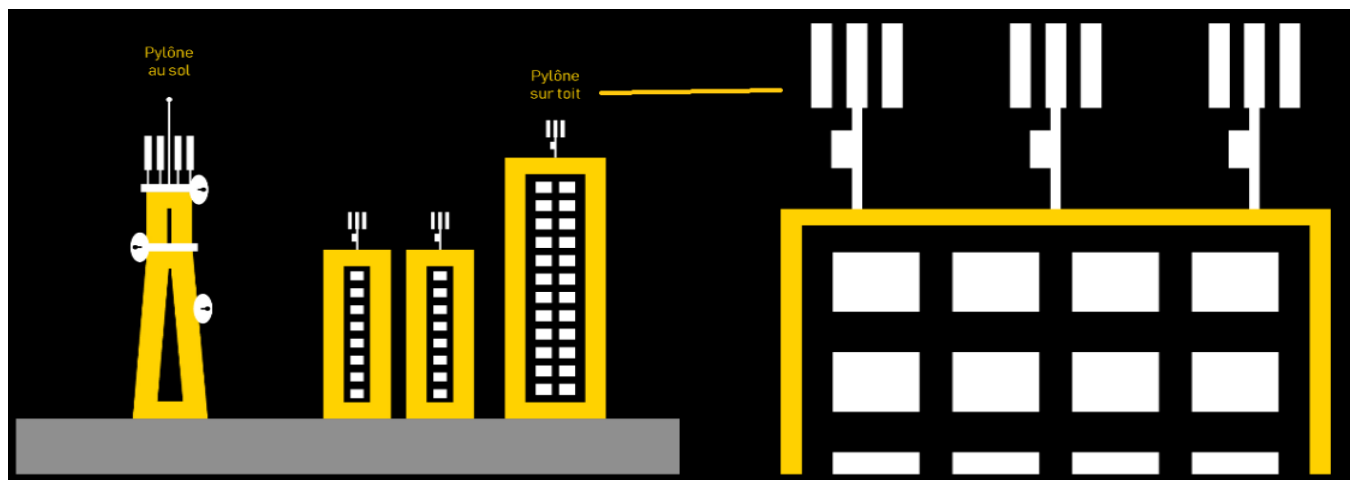


Figure 4: Image représentative des différentes typologies de sites

4.1 Pylône

Les pylônes sont des structures verticales robustes conçues pour supporter les antennes de télécommunication à une certaine hauteur. Il existe plusieurs types de pylônes, chacun ayant des caractéristiques et des utilisations spécifiques. Les deux principaux types de pylônes sont les pylônes treillis et les pylônes monotubes.

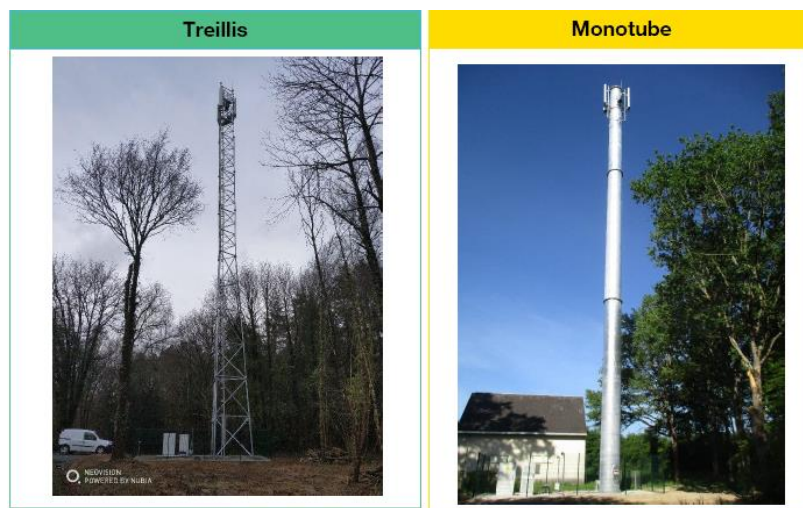


Figure 5: Images de pylônes treillis et monotube

Pylône Treillis

- **Description** : Le pylône treillis est une structure en métal formée par des entrecroisements. Cette conception offre une grande résistance tout en utilisant moins de matériau.
- **Avantages** : Les pylônes treillis sont légers et économiques, tout en offrant une excellente stabilité

Pylône Monotube

- **Description** : Le pylône monotube est une structure cylindrique simple, souvent fabriquée en acier. Il est plus esthétique et occupe moins d'espace au sol par rapport au pylône treillis.
- **Avantages** : Ce type de pylône est plus discret et convient bien aux environnements urbains ou résidentiels.

4.2 Toiture Terrasse

Les antennes peuvent également être installées sur les toits des bâtiments, ce qu'on appelle les "toitures terrasses". Ce type d'installation est courant dans les zones urbaines où l'espace au sol est limité. Les antennes installées sur les toits permettent de couvrir une grande zone et de contourner les obstacles physiques comme les immeubles.

- **Avantage** : Installation ne nécessitant pas de terrain au sol. Permet une meilleure accessibilité aux zones densément peuplées.



Figure 6: Toiture Terrasse

5 Le Processus d'accueil d'un opérateur sur un pylône existant

5.1 Les étapes d'un accueil PEX (Pylône existant)

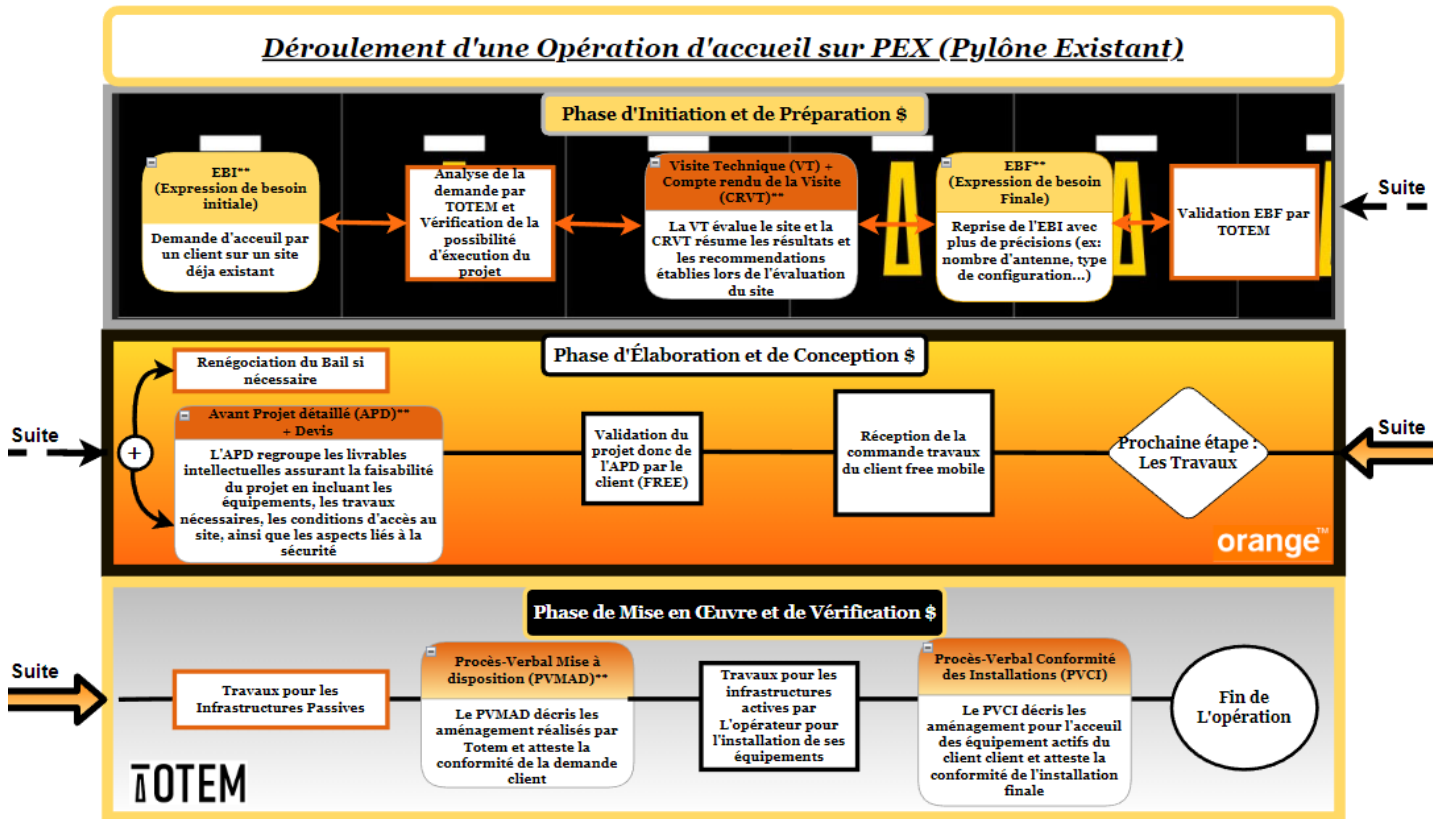
Après avoir exploré les différentes infrastructures de télécommunications, il est essentiel de comprendre le processus d'accueil d'un opérateur sur ces infrastructures.

Les PEX (pylônes existants) sont des infrastructures déjà en place et sont utilisées par les opérateurs pour étendre leur couverture réseau sans avoir à construire de nouvelles structures, ce qui permet de réduire les coûts et les délais de déploiement. Ce type de site, représente une opportunité pour les opérateurs d'améliorer leurs couvertures radio tout en se dispensant de construire un nouveau site.

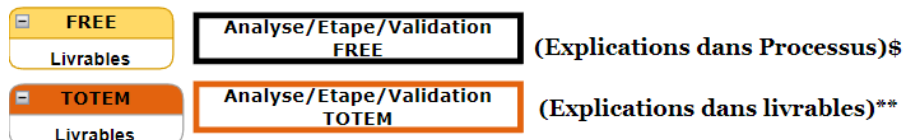
Dans le cadre de mon stage au sein de l'équipe Production, plus précisément dans l'équipe dédiée à l'accueil de Free, nous suivons un processus bien particulier lorsque nous recevons une demande client. Pour un chef de projet, il est nécessaire de maîtriser chaque étape de ce processus, pour assurer une intégration réussie et conforme aux attentes du client.

L'une de mes missions a été d'appréhender ce processus, représenté par le diagramme ci-dessous :

Figure 7: Schéma explicatif de l'accueil d'un opérateur sur un pylône existant



Légendes :



Pour comprendre ce diagramme, il va falloir lire en parallèles les descriptions qui le suivent.

5.2 Processus

Les 3 phases distinctes du processus d'accueil sur un pylône existant :

1. **Phase D'Initiation et de Préparation :**

Cette phase comprend les étapes initiales de la demande de l'opérateur (EBI), la visite technique et la finalisation des besoins (EBF). C'est la phase où l'opérateur exprime ses besoins initiaux et où les premières évaluations techniques sont réalisées.

2. **Phase D'Élaboration et de Conception :**

Dans cette phase, les détails techniques sont élaborés dans les Avant-Projets Détaillés (APD), le processus de négociation du bail est entamé, et des discussions approfondies ont lieu avec les ingénieurs et les sous-traitants tels que les Maîtres d'Œuvres (MOE) (sous-traitant ce chargeant des travaux). L'opérateur valide également le processus avant de passer à l'étape suivante. La possibilité de renégocier le bail pour le site du pylône est également évaluée de manière attentive, afin de garantir la continuité de l'existence du pylône pour le projet d'accueil. Par ailleurs, une déclaration préalable de travaux (DP) doit être déposée auprès de la mairie pour vérifier la conformité des aménagements avec les règles d'urbanisme, notamment esthétiques. Sans validation de cette DP, les travaux ne peuvent pas commencer.

3. **Phase De Mise en Œuvre et de Vérification :**

Cette phase est dédiée à la mise en œuvre des travaux d'infrastructure passive, suivie du Procès-Verbal Mise à Disposition (PVMAD). Une fois que cette étape est terminée, les travaux d'infrastructure active des clients commencent et la conformité à l'installation sera vérifiée à travers le Procès-Verbal de la Conformité des Installations (PVCi).

5.1 Livrables

Dans le cadre d'un processus bien défini suivi par le chef de projet lorsqu'un opérateur fait une demande d'accueil sur un site existant, plusieurs livrables sont nécessaires pour chaque étape. Voici une explication détaillée de chaque livrable :

1. **Expression de besoins initiale (EBI) Free :**

L'EBI exprime la demande initiale du client pour être accueilli dans un site spécifique avec une configuration particulière, par exemple, un pylône complet (Pyl-Full 2). Cette expression de besoin initiale sert de point de départ pour le processus et précise les attentes de l'opérateur.

2. **Compte rendu Visite technique (CRVT) Totem :**

Après la visite du site existant, le CRVT est établi pour s'entendre avec le client sur les détails de l'accueil. Il complète l'EBI en fournissant des informations supplémentaires sur la faisabilité technique, les contraintes éventuelles et les recommandations issues de la visite.

3. **Expression de besoin finale (EBF) Free :**

L'EBF est élaborée à partir de l'EBI et du CRVT, fournissant des précisions supplémentaires sur les besoins du client. Cette version finale de l'expression de besoin est soumise à l'approbation de TOTEM, l'entité responsable de la gestion des sites.

4. **Livrables Avant-Projet Détaillé (APD) Totem :**

Les APD rassemblent les notes de calcul et les spécifications techniques élaborées par des professionnels, tels que des ingénieurs sous-traitants. Ils prennent en compte divers calculs, comme le poids des équipements actifs sur les infrastructures passives, pour assurer la faisabilité technique du projet.

5. **Livrable Procès-Verbal de la Mise à Disposition (PVMAD) Totem :**

Le PVMAD consiste en un procès-verbal décrivant les produits et les aménagements réalisés par TOTEM pour accueillir le client. Il atteste de la conformité de la réalisation par rapport aux exigences du projet.

6. **Livrable Procès-Verbal de la Conformité Des Installations (PVCi) Totem :**

Une fois l'accueil terminé, le PVCi détaille les travaux réalisés et assure la conformité de l'installation finale avec les spécifications convenues. Cela permet au client de procéder à ses propres travaux d'installation des équipements actifs sur les infrastructures passives fournies par TOTEM.

Afin de pouvoir s'organiser au mieux sur les différents processus de déploiement d'un projet et de pouvoir enregistrer toutes les informations de chaque site sur lequel Totem a travaillé, l'équipe SI (système d'informations) a créé un outil appelé COSv2. Cet outil permet de suivre l'avancement des projets et d'enregistrer les livrables des sites, assurant ainsi une gestion efficace et centralisée des informations. Le délai de déploiement est crucial, car plus vite un projet est déployé, plus rapidement Totem peut commencer à percevoir les loyers des clients, optimisant ainsi la rentabilité des infrastructures.

6 Les équipements passifs

Les deux principaux types d'infrastructures sont les pylônes et les toitures terrasses. Ces infrastructures passives, constituées d'éléments tels que le pylône, les massifs, les cheminements de câbles, et bien d'autres, soutiennent les équipements actifs de télécommunication. Voici une explication détaillée des composants de ces infrastructures passives, identifiables en vert sur les schémas fournis :

Pylône :

Pylône : Structure principale supportant les antennes.

Échelle : Permet l'accès aux différentes parties du pylône.

Bras de déport (BDD) : Supporte les antennes à différents niveaux du pylône.

Massif : Base en béton assurant la stabilité du pylône.

Chemin de câbles : Permet le passage des câbles d'énergie et de signal.

Clôture : Enceinte sécurisant le site du pylône.

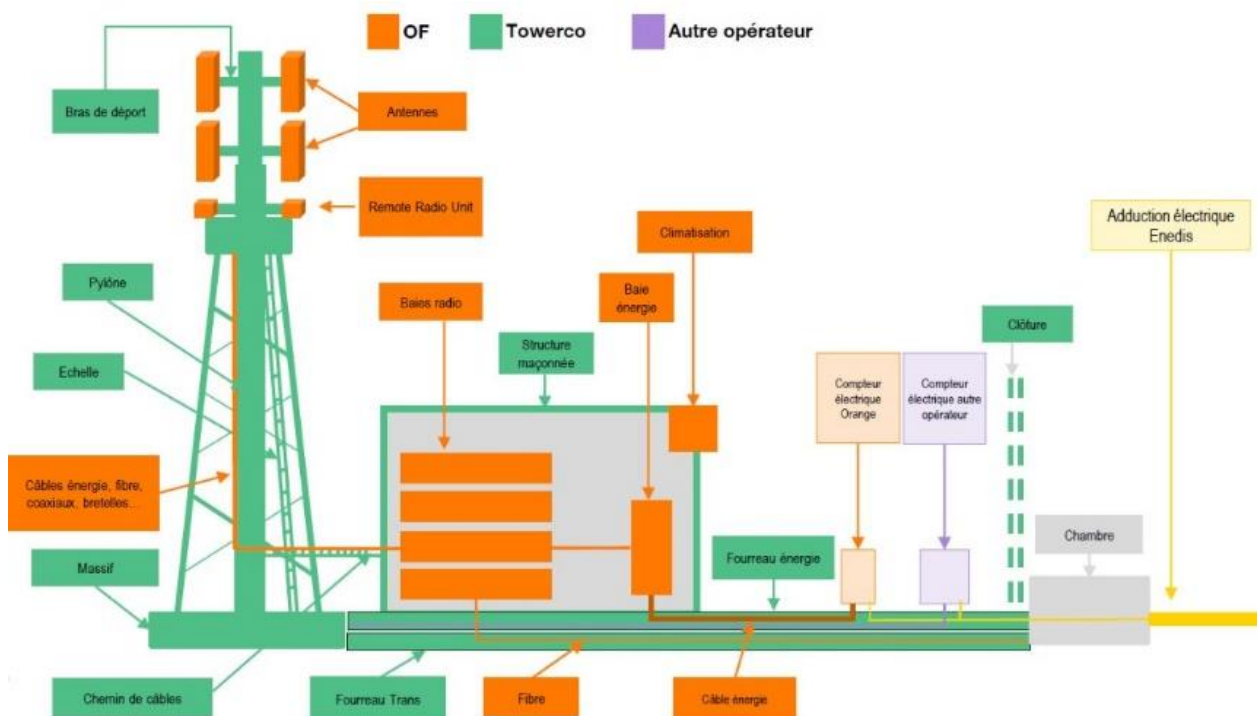


Figure 8: Les équipements passifs pylône

Toiture Terrasse :

Mât : Support structural pour les antennes sur la terrasse.

Bras de déport : Supports pour les antennes sur le mât.

Échelle : Permet l'accès sécurisé aux équipements sur le toit.

Structure métallique : La plateforme, les plots, et les supports métalliques.

Plot : Supporte la structure métallique et les équipements.

Potelets de Support : Maintient les modules radio et autres équipements.

Chemin de câbles : Passage des câbles sur la terrasse.

Cheminée composite : Structure dissimulant les équipements pour réduire l'impact visuel.

Saut de loup : Sécurise l'enjambement

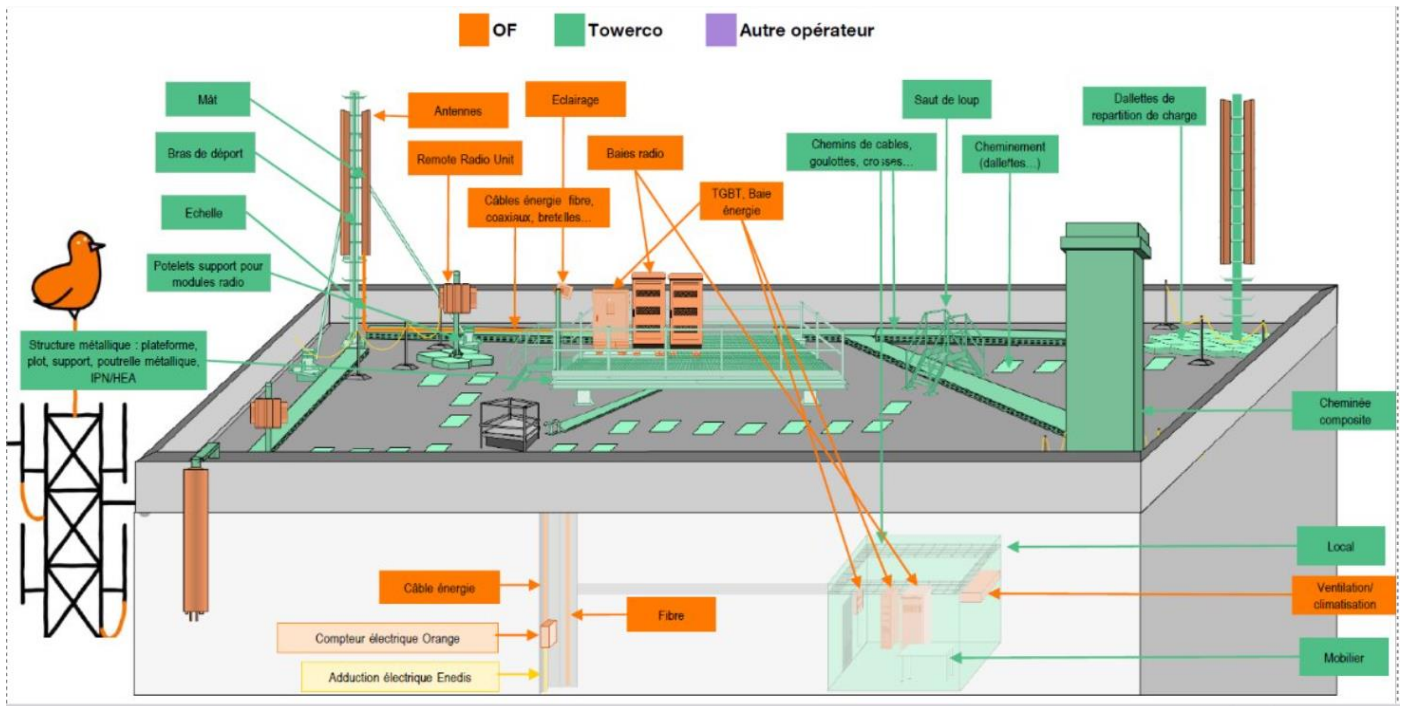


Figure 9 Les équipements passifs Toiture Terrasse

Ces éléments passifs assurent une base solide pour l'installation et le fonctionnement des équipements actifs de télécommunication.

7 Description des Configurations Pylône et Toit Terrasse

Les pylônes et les toitures terrasses sont des infrastructures passives essentielles qui accueillent des équipements actifs tels que des antennes et des modules radios. Ces équipements permettent de fournir la connectivité aux utilisateurs. Les clients de Totem, principalement des opérateurs de télécommunications, utilisent différents types d'antennes selon leurs besoins spécifiques. Voici une description détaillée des différentes configurations disponibles pour les pylônes et les toitures terrasses, en fonction des équipements utilisés par les opérateurs.

Figure 10 Différentes configurations radio Pylône (Pyl) Free

Configuration	Pyl-light-3RF	Pyl-light-5RF	Pyl-Medium	Pyl-Full-1	Pyl-Full-2
Antenne	3 Antennes Octobande	3 Antennes Octobande	3 Antennes Octobande	3 Antennes Multitechno	3 Antennes Octobande + 3 Antennes 5G Active
Modules Radios	3 RF (Radio Frequency)	5 RF	9 RRH (Remote Radio Head)	9 RRH	9 RRH

Figure 11 Différentes configurations radio Toiture terrasse (TT) Free

Configuration	TT-light	TT-Full-1	TT-Full-2
Antenne	3 Antennes Octobande	3 Antennes Multitechno	3 Antennes Octobande + 3 Antennes 5G Active
Modules Radios	12 RRH (4/secteur)	12 RRH (4/secteur)	12 RRH (4/secteur)

Les appellations des différentes configurations peuvent changer en fonction du client. Elles sont donc propres à chaque équipe. En ce qui concerne l'équipe s'occupant de free nous différencions 3 types de configurations. Le Light, Medium et Full

Les configurations Full sont les configurations de structure passive les plus complètes et donc les plus intéressantes pour les clients

À la différence des autres configurations Pylônes et Toiture Terrasse tel que les TT/Pyl-Light et les Pyl-Medium, les configurations TT/Pyl-full sont utilisées pour des performances maximales, incluant un grand nombre d'antennes et de Remote Radio Heads (RRH). Elles sont conçues pour offrir une couverture et une capacité de haute qualité pour toutes les technologies mobiles (3G, 4G, 5G), avec une attention particulière à la performance 5G.

En revanche, les configurations Light et Medium sont moins capacitive en termes de radio et nécessitent moins d'installation d'infrastructures passive notamment dû au fait qu'elles n'utilisent pas de technologies 5G.

- **Light** : Destinée à des environnements moins exigeants en termes de couverture et de capacité. Elle utilise pour la modulation radio 3 à 5 modules RF (Radio Fréquence), et vise à offrir une couverture suffisante pour les technologies de base (principalement 4G).

- **Medium** : Constitue un compromis entre les configurations Light et Full. Elle offre une capacité et une couverture intermédiaires, adaptées à des zones ayant des exigences modérées en termes de trafic et de performance réseau.

Ces configurations plus légères et intermédiaires sont généralement choisies pour des déploiements dans des zones rurales ou urbaines moins denses, où les exigences en matière de performance réseau sont moins attendus par rapport aux zones urbaines très denses nécessitant des configurations Full.

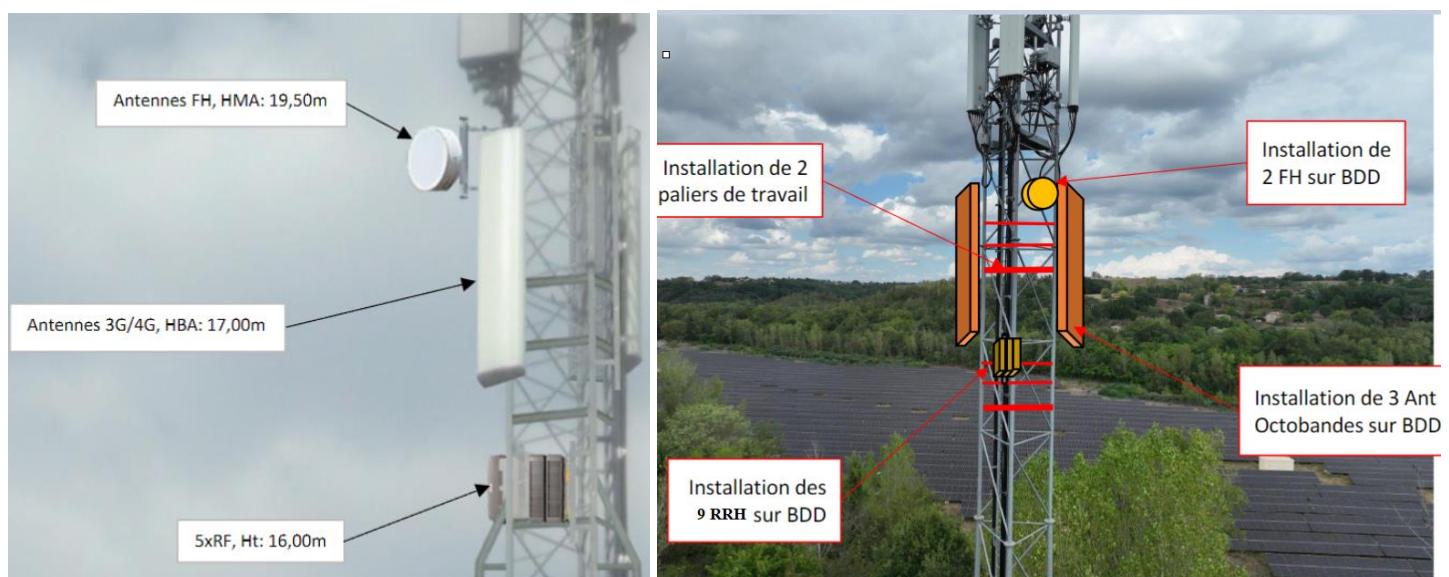


Figure 12 et 13 Photomontages de configurations Light et Medium

8 Configuration radio avec une Nappe d'Antennes et double nappe d'antennes

8.1 Configuration à une nappe d'antennes

Une nappe d'antenne est un ensemble d'antennes montées sur un support, ici un pylône, pour optimiser la couverture réseau et la qualité du signal. Une nappe d'antenne comprend plusieurs antennes individuelles organisées et alignées pour couvrir différentes directions, secteurs. Chaque antenne peut prendre en charge une ou plusieurs bandes de fréquences et technologies (3G, 4G, 5G).

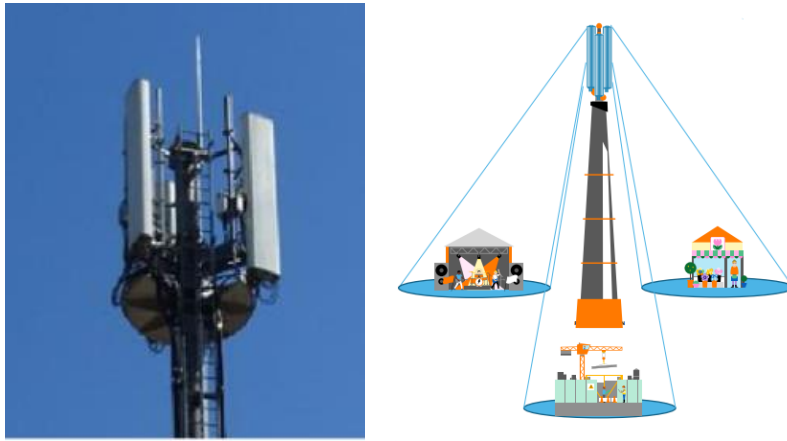


Figure 14 et 15 Pyl-full 1 avec une nappe d'antennes multi techno et exemple de couverture Tri sectorielle

Sur cette image, nous observons la configuration Pyl-Full 1 avec une seule nappe d'antenne utilisant un ensemble de 3 antennes du même type qui sont des antenne Multi-techno. Ces trois antennes sont positionnées sur 3 secteurs couvrant 3 directions différentes.

Les configurations Light et Médium sont tout comme le Full 1 des configurations à une nappe d'antenne. Leur différence avec celle-ci est la technologie proposée. En effet, la configuration Full 1 est la seule configuration à une nappe d'antenne proposant la technologie 5G à l'aide de ses antennes multi-technologies.

L'antenne Multi-techno (multi-technologies) :

Elle comprend des antennes capables de gérer plusieurs technologies de communication (3G, 4G, 5G) au sein d'une seule unité. Elle est idéale pour limiter l'encombrement des pylônes.



Figure 16 Antenne Multi techno (2G/3G/4G/5G)

Elle permet donc une utilisation optimale de l'espace et simplifie l'installation en combinant plusieurs fonctions dans une seule nappe.

8.2 Configuration à deux nappes d'antennes

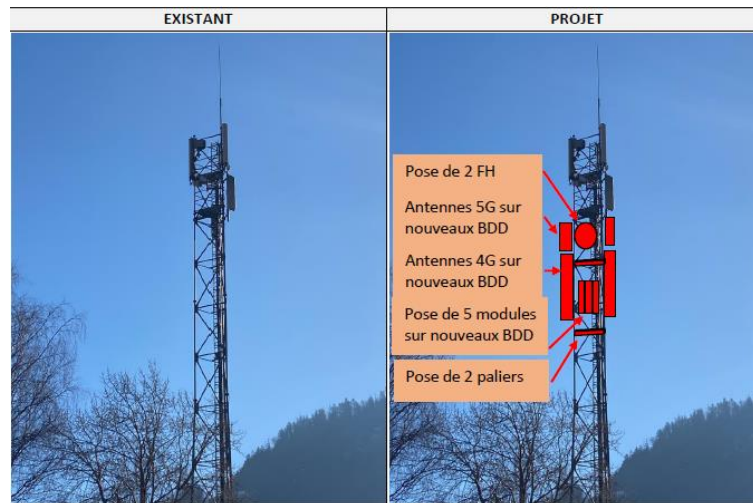


Figure 16 Photomontage d'un projet à devenir d'un accueil Pyl-full 2 avec deux nappes d'antennes 5G Active et Octobande

Ce photomontage extrait d'une APD illustre un projet à devenir sur un pylône existant avec un autre opérateur déjà occupant, on parle dans ce cas une cohabitation de site. Cette image est une projection de l'installation d'un nouvel opérateur sur site avec une configuration Pyl-Full 2 qui comporte deux nappes d'antenne.

Les configuration Full 2 sont, tout comme les Full 1, composées d'antenne supportant la technologie 5G. Cependant, elle possède 2 nappes composées d'antennes 5G dédiées et d'antennes Octobandes.

L'antenne Dédinée :

Elle comprend des antennes spécifiques à une seule technologie, ici pour la configuration Pyl-Full 2, une nappe dédiée uniquement à la 5G.



Figure 17 Antenne dédiée 5G active

Elle offre une performance optimisée pour une technologie spécifique, ce qui donne une meilleure utilisation de la 5G aux utilisateurs.

L'antenne Octobande :

Une antenne Octobande est une antenne capable de fonctionner sur huit bandes de fréquences distinctes. Cette capacité multi-bande permet de supporter simultanément plusieurs technologies de communication mobile (2G, 3G, 4G) et de maximiser l'efficacité du spectre radio afin de prévenir les interférences entre les différents utilisateurs.



Figure 18 Antenne Octobande (2G, 3G, 4G)

8.3 La radio

Maintenant, passons sur l'aspect radio de nos antennes.

Il faudra noter que dans cette étude nous nous concentrons sur la 5G qui est la nouvelle technologie par défaut à devenir tout comme la 4G l'était les années précédentes.

Cette technologie est la cause de nombreux réaménagements et demande de nos clients.

L'objectif dans cette partie est de mieux comprendre le client et de réfléchir à l'enjeu sur la qualité de la radio que chaque opérateur puisse offrir à leurs utilisateurs.

8.3.1 Description approfondis de chaque technologie

Full 1 : L'antenne Multi-techno

La différence entre une antenne multi-techno et une antenne dédiée réside dans la composition même des antennes.

L'antenne multi-techno est composée de deux partis, une active et une autre passive, l'active est le compartiment du dessus, celle qui s'occupe de la technologie 5G.

La passive est celle du dessous, elle englobe plusieurs technologies telles que la 2G,3G,4G.

L'une est dite passive car elle ne comporte aucun élément intelligent, contrairement à la partie active, l'antenne Legacy (multi-techno 2G,3G,4G) nécessite un RRH qui transforme les ondes radio en éléments réseau, en IP.

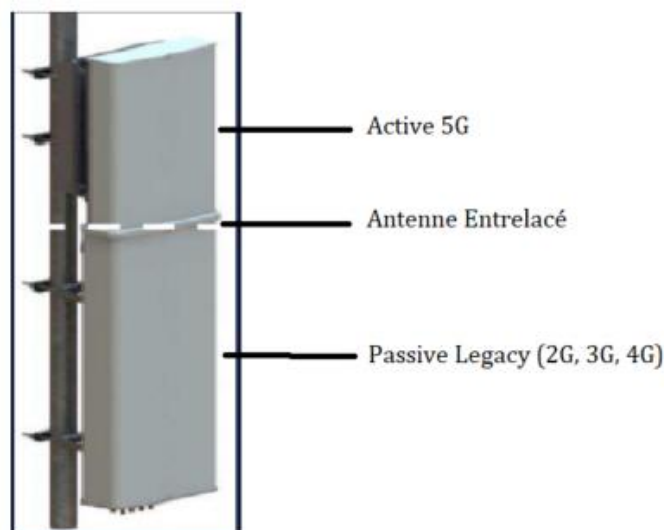


Figure 19 L'antenne IPAA interleaved passive- active antenna (Multi-techno)

Full 2 : L'antenne 5G dédiée et l'antenne Octobande.

L'antenne 5G dédiée ne se focalise que sur sa technologie. L'antenne Octobande faisant partit de sa configuration, s'occupe des technologies antérieures.

Ce concentrant donc dans cette technologie en spécificité, sa performance est donc optimisée pour la 5G, à noter que l'antenne est disposée à près de 30 cm de l'antenne Octobande.

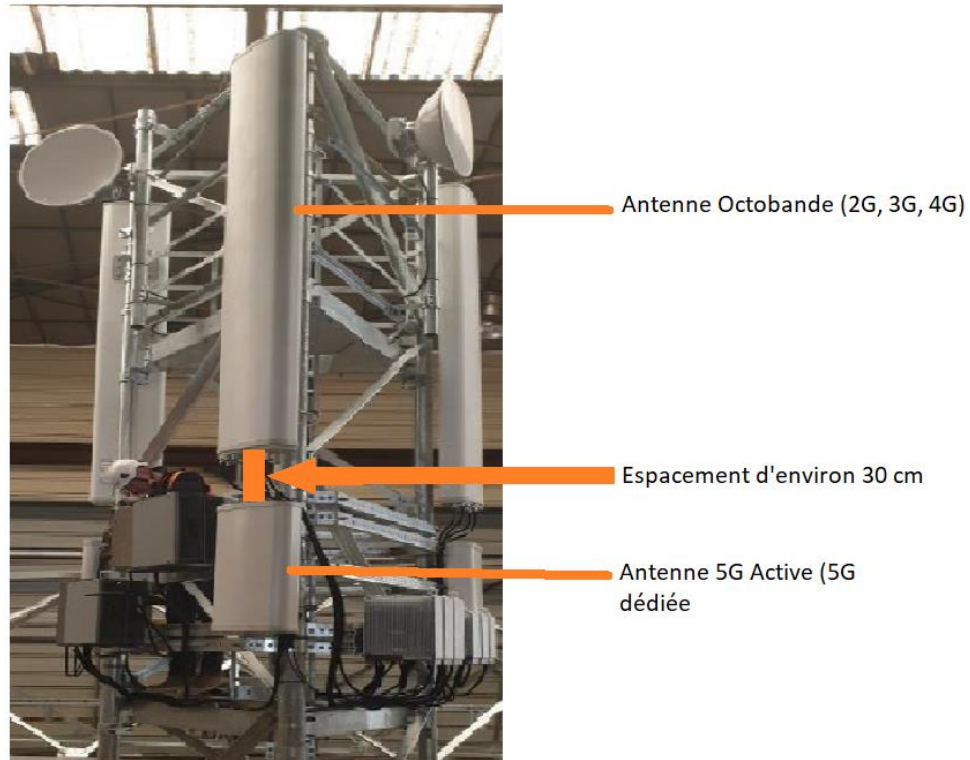


Figure 20 Antennes Octobande et 5G dédiée

Cette distance permet aux deux antennes de ne pas perturber l'autre, ce qui offre une meilleure qualité de service pour la 5G.

Une qualité qui n'est pas offerte par la multi-techno qui place toute technologie au sein d'une même nappe d'antenne. (espacement = découplage)

8.3.2 Les bandes de fréquences

Les fréquences basses permettent une meilleure pénétration de la couverture réseau et une portée étendue, mais elles offrent un débit limité et ne sont pas idéales pour les échanges de gros volumes de données.

À l'inverse, les fréquences hautes offrent un meilleur débit et de bons échanges de données, mais elles ne garantissent pas une couverture aussi étendue.

Chaque antenne dispose de ports permettant de la connecter à différentes bandes de fréquences.

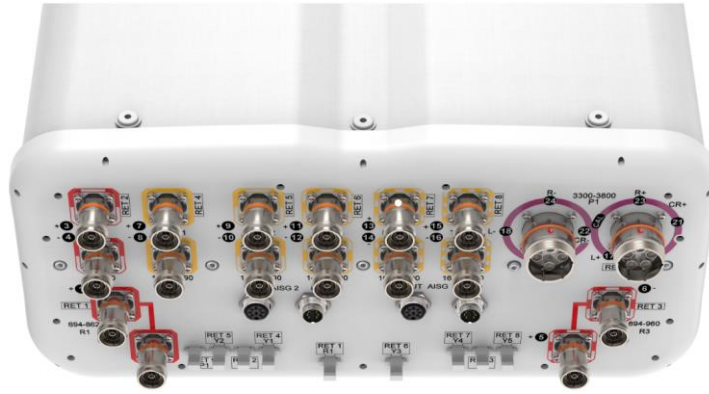


Figure 21 Connecteur d'une antenne

L'antenne octobande et l'antenne multi techno possèdent le même nombre de connecteurs, soit 8x2 ports. Ces connecteurs permettent de câbler et d'obtenir une grande variété de fréquences hautes et basses, augmentant ainsi la capacité en alliant étendue de couverture et débit. Cependant, bien que la multi techno et l'octobande aient des performances similaires, la multitechno prend en charge plus de technologies. Un avantage réside dans la configuration à double nappe d'antenne, où l'antenne octobande s'associe avec la 5G dédiée possédant ses propres ports et assurant ainsi une meilleure performance.

En milieu urbain, cela se traduit par une plus grande capacité à gérer un plus grand nombre de clients sur une couverture plus étendue avec de plus gros débits d'échanges. Ce qui peut ne pas être une nécessité pour les zones rurales.

8.3.3 Les contraintes mécaniques

Lors de l'installation d'antennes, des contraintes mécaniques peuvent apparaître, notamment en ce qui concerne leur inclinaison (TILT). Par exemple, une antenne multi-techno de grande taille (843x498x352 mm) présente une contrainte technique significative si une inclinaison est nécessaire pour optimiser la couverture.

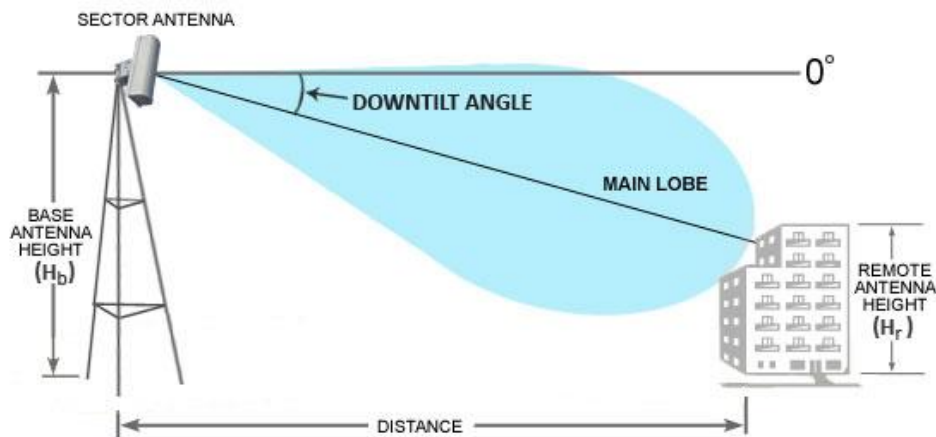


Figure 22 Inclinaison d'antenne (Tilt mécanique)

Cela est particulièrement pertinent pour les sites situés en zones montagneuses, où il peut être nécessaire de placer les antennes en hauteur et de les incliner vers le bas afin de couvrir chaque recoin du site sans compromettre la qualité du signal à cause des obstacles naturels comme les montagnes. Dans de telles situations, l'utilisation d'antennes de grande taille peut limiter la possibilité d'obtenir l'inclinaison nécessaire et peut surcharger le pylône.

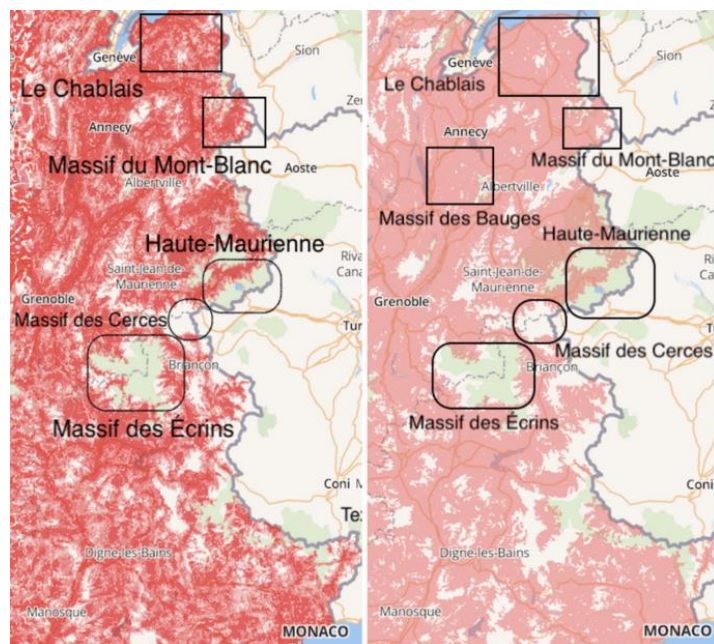


Figure 23 Défaillance de la couverture téléphonique (à gauche) et 4G/5G (à droite) dans les zones montagneuses

Cette image nous montre la complexité d’obtenir une couverture optimale sur les zones montagneuses. Pour ces types de sites, il est donc préférable d’opter pour une configuration à 2 nappes, qui utilise deux antennes de plus petit volume. Cette configuration facilite une plus grande inclinaison avec l’association d’une installation à bonne hauteur, permettant ainsi de couvrir efficacement chaque recoin du site. Il est donc crucial de lier la complexité d’un site aux contraintes techniques rencontrées afin de choisir la solution la plus adaptée pour une couverture optimale.

8.4 Impact Urbain

Lors de l’installation d’antennes, il est essentiel de prendre en compte non seulement les contraintes matérielles mais aussi l’impact visuel, notamment en milieu urbain. Une infrastructure passive peut représenter une contrainte visuelle si l’antenne est trop large. Par exemple, si l’on envisage d’aménager une fausse cheminée sur une Toiture Terrasse, il est important que celle-ci ne soit pas trop imposante pour ne pas nuire à l’esthétique urbaine.

Dans ce contexte, la configuration TT-Full 1, composée de 3 antennes, peut-être plus avantageuse en termes d’espace par rapport à la configuration TT-Full 2, qui en utilise 6. En effet, moins d’antennes permettent de réduire l’impact visuel en facilitant l’installation de fausses cheminées, kit feuillu et autre type d’intégration paysagère.



Figure 24 Aménagements urbanistique

Dans le cas des TT-Light, qui ne prennent en charge que la 4G, il peut arriver qu’une mise à jour 5G soit nécessaire, ce qui implique de changer les antennes actuelles par des antennes Multi-techno en effectuant un « swap ». On appelle cette opération un réaménagement 5G.

Pour ce genre de situation, la configuration TT-Full-1 avec une seule nappe d’antennes est plus pratique pour effectuer ce changement, car elle n’exige pas l’ajout de support requis par une configuration TT-Full-2 et ne prend pas plus de place sur le mât ce qui permet donc la conservation d’une fausse cheminée déjà existante par exemple.

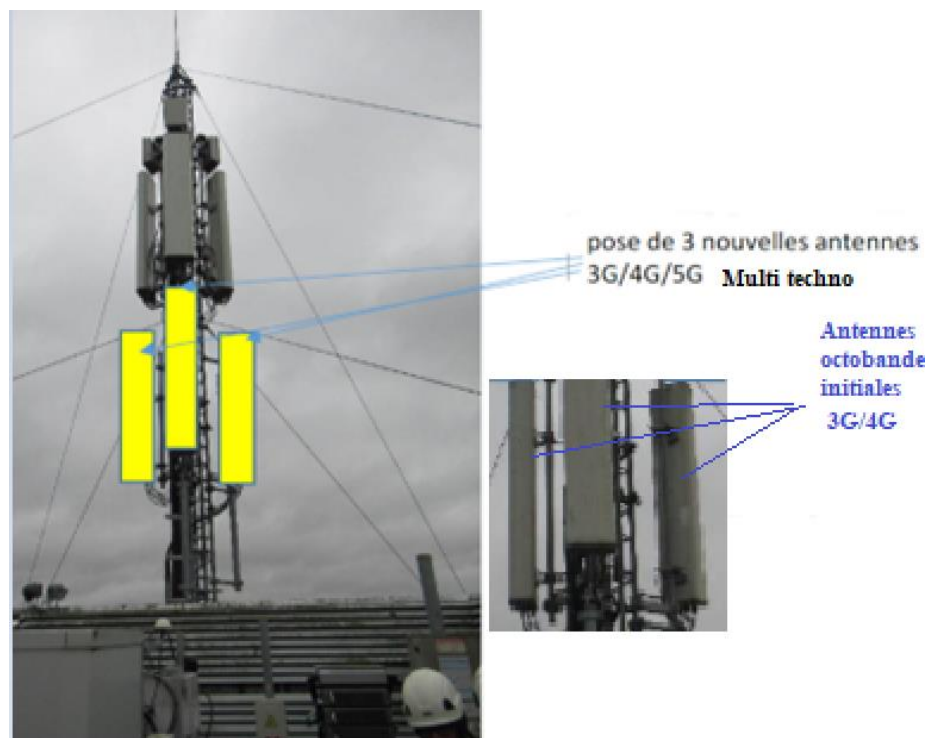


Figure 25 Photomontage d'un projet réaménagement 5G de TT-Light à TT-Full-1

De plus, divers autres facteurs doivent être pris en compte, tel que la hauteur des antennes. Une hauteur optimale permet de couvrir plus efficacement la zone ciblée avec un pylône moins encombrant. Il est donc nécessaire de reconnaître les contraintes esthétiques pour choisir la configuration la plus adaptée. Si le pylône est à une hauteur plus basse et/ou une largeur moins épaisse, il sera plus facile de réaliser des aménagements pour le recouvrir, réduisant ainsi l'impact visuel.

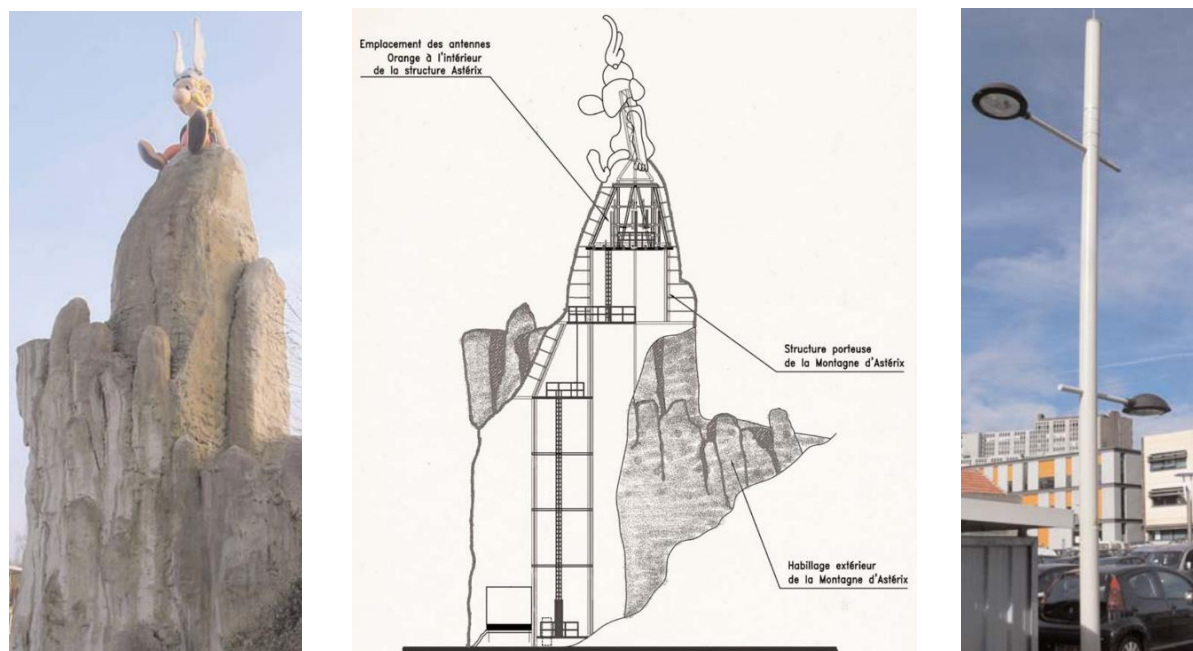


Figure 26 Portraits d'antennes avec intégration d'urbanisme

Sur les deux premières images, nous voyons que l'espace pour l'intégration d'urbanisme n'est pas une contrainte pour l'aménagement des antennes. Cependant, pour la troisième image, la notion de largeur de l'espace mise à disposition est à prendre en compte.

Il est donc essentiel de lier la complexité d'un site aux contraintes techniques et esthétiques rencontrées afin de choisir la solution la plus adéquate pour une couverture optimale tout en minimisant l'impact visuel.

8.5 Le Coût

Lors de ce stage, j'ai également dû faire une étude sur le coût moyen de chaque équipement passif en me basant sur une dizaine de sites en Pyl-Full-1 et Pyl-Full-2. Celle-ci nous permettra de déterminer quelle configuration est financièrement plus avantageuses.

Site en Pyl-Full-2	Coût	Site en Pyl-Full-1	Coût
Commune : Faremoutiers	98 016,44 €	Commune : Lanester	47 770,22 €
Commune : CONDAT SUR VIENNE	96 116,73 €	Commune : Ramatuelle	15 242,94 €
Commune : GRACES	40 542,84 €	Commune : Briançon	16 189,61 €
Commune : ST Savournin	72 834,95 €	Commune : Palasca	32 438,87 €
Commune : Marseille	20 966,10 €	Commune : Noyelles-Godault	43 402,43 €
Commune : Vieux Condé	53 398,74 €	Commune : Copans	59 663,44 €
Commune : St Jean D'ILLAC	28 294,94 €	Commune : Bruz	39 655,40 €
Commune : Harnes	60 939,14 €	Commune : Bergerac	34 559,02 €
Commune : Lons	57 521,33 €	Commune : Lugrin	13 255,90 €
Commune : Gonfreville l'Orcher	45 576,64 €	Commune : Lons	43 808,39 €
Commune : Andelain	133 108,34 €	Commune : Perpignan	26 675,59 €
Commune : Lons	27 836,77 €	Moyenne	33 878,35 €
Commune : St Berthelot	13 061 €		
Moyenne	57 554,92 €		

Figure 27 et 28 Tableaux d'étude de coût d'aménagements Pyl-Full 1/2

L'analyse des coûts moyens montre que les sites en configuration Pyl-Full-1, avec une moyenne de 33 878,35 €, sont significativement moins coûteux que ceux en configuration Pyl-Full-2, dont la moyenne est de 57 554,92 €. Cela indique que la configuration à simple nappe d'antenne (Pyl-Full-1) est financièrement plus avantageuse que la configuration à double nappe d'antenne (Pyl-Full-2). Ces coûts prennent en compte le prix des équipements passifs ainsi que l'aménagement des travaux nécessaires.

8.6 Les avantages et inconvénients de chaque configuration

8.6.1 Avantages et Inconvénients d'une configuration avec une nappe d'antennes

Avantages :

1. Charge et Voilure :

Avec une seule nappe d'antenne, il y a moins d'équipements à installer, ce qui allège la charge et atténue le risque d'une surcharge du pylône. En effet, avec moins d'équipements sur le pylône, cela réduit non seulement la charge globale, mais également le poids et la voilure, ce qui diminue les chances de devoir renforcer les fondations et le pylône.

2. Coût Réduit :

Un pylône équipé de seulement 3 antennes supporte une charge moindre par rapport à celui utilisant 6 antennes, ce qui diminue le risque de nécessiter des renforcements structurels et permet des économies matérielles en termes de renforcement du pylône et de ses fondations. De plus, comme observé dans la partie sur les coûts des configurations, les installations "full 1" sont moins coûteuses que celles "full 2".

3. Urbanisme :

L'utilisation d'une seule nappe d'antenne sur les toits terrasses par exemple permet de réduire le volume des fausses cheminées, minimisant l'impact visuel. Pour les pylônes, une nappe d'antennes réduit la hauteur d'une éventuelle réhausse de pylône. En optimisant l'espace et en déployant sur une même nappe d'antennes, cette approche garantit une intégration discrète et efficace dans le paysage urbain.

Inconvénients :

- Dégradation de la Performance Radio : Comme vu dans la partie radio une antenne multi-techno sera moins performantes qu'une antenne 5G dédiée.

8.6.2 Avantages et Inconvénients d'une configuration avec deux nappes d'antennes

Avantages :

1. Capacité Supérieure :

- Plus de Capacité : Deux nappes permettent de gérer un plus grand volume de trafic et d'améliorer la capacité du réseau, particulièrement important dans les zones à haute densité de population.

2. Optimisation des Performances Réseau :

- Meilleure Couverture et Qualité de Service : La présence de deux nappes permet une meilleure couverture réseau et une qualité de service améliorée, particulièrement pour la 5G. (meilleur découplage)

3. Préparation pour les Évolutions Futures :

- Evolution Facile : La double nappe permet une meilleure préparation aux évolutions technologiques futures et aux nouvelles exigences de capacité et de performance du réseau. Avoir deux nappes permet le remplacement facile de chaque technologie présente sur le pylône. Par exemple, cela facilitera le swap de nouvelles antennes sans avoir à remplacer les équipements passifs existants.

Inconvénients :

- Renforts : La présence de deux nappes d'antennes peut augmenter significativement la charge et la voilure sur le pylône, nécessitant potentiellement des renforcements structuraux et de fondations (massifs à élargir). Cela peut entraîner des délais non-négligeables dans la mise en œuvre et parfois des coûts exponentiels.

- Impact Visuel : Deux nappes d'antennes peuvent avoir un impact visuel plus important, ce qui peut être un problème dans les zones urbaines. Les villes peuvent imposer des restrictions sur l'apparence des installations de télécommunication.

8.6.3 Le choix de la configuration.

La configuration avec l'antenne multi techno permet une installation moins coûteuse avec moins de contraintes d'urbanisme. Il convient aux zones avec des exigences de capacité moyennement élevée et une densité de population plus faible, et est avantageuses pour réduire les délais d'installations. Des délais optimisés notamment dû à la réduction des risques d'être confronté à une DP (Demande préalable) refusé et de limité le taux de charge du pylône.

La configuration avec l'antenne 5G dédiée quant à elle, est utilisée pour des environnements à haute densité de population et des zones nécessitant une capacité réseau élevée, car elle délivre une capacité radio optimale.

Le choix entre ces deux configurations dépend principalement de la typologie et de la complexité du site, ainsi que des priorités en termes de performance, de coûts et d'esthétisme. Pour illustrer cela, on peut faire une analogie avec les zones rurales : une zone très dense nécessitera une configuration Full-2 pour répondre à une forte demande en capacité et performance, tandis qu'une zone moyennement dense, le client aura plus de tolérance à déployer une solution d'antenne multi-technologies.

Dans les projets où la capacité et la performance réseau sont des priorités, la configuration Full-2 est, je pense, à long terme, la meilleure option, surtout en tenant compte de l'augmentation du nombre d'utilisateurs. Cependant, pour des projets où les coûts, la simplicité et les contraintes urbanistiques sont des priorités – comme l'aménagement de nouveaux sites dans des zones avec une densité d'utilisateurs plus

faible – une configuration avec une nappe d'antenne multi-techno peut être plus appropriée. Cela est particulièrement pertinent dans les villes qui cherchent à minimiser les changements esthétiques.

Par défaut, les opérateurs demandent souvent une configuration Full-2. Cependant, Totem les réorientent en mettant en évidence les contraintes spécifiques du site, telles que les réglementations urbanistiques, les contraintes de charge et les considérations esthétiques. Cette approche permet d'optimiser chaque projet en fonction des besoins réels et des conditions du site, garantissant ainsi une solution efficace et adaptée.

9 Difficultés rencontrées

Pendant mon stage chez Totem, j'ai été confronté à plusieurs défis qui m'ont permis de développer mes compétences et d'approfondir ma compréhension des télécommunications dans le milieu professionnel. Voici quelques-unes des difficultés les plus significatives que j'ai rencontrées :

Au début, il m'a été difficile de me familiariser avec le vocabulaire de l'entreprise qui utilise énormément d'acronymes, ce qui rendait mes recherches initialement compliquées. Une fois que j'ai acquis cette familiarité, j'ai dû comprendre le fonctionnement des outils nécessaires pour mener au mieux mes études. Après avoir saisi l'organisation de l'entreprise, j'ai rencontré des défis liés à la recherche d'informations par la communication, car obtenir les éléments nécessaires pour mes études impliquait des échanges avec de nombreuses personnes.

De plus, j'ai pris conscience durant ce stage que je rencontrais des difficultés à communiquer efficacement. Cependant, interagir avec diverses personnes dans un contexte professionnel m'a permis de m'exercer et de progresser dans ce domaine.

10 Conclusion

Ainsi, j'ai pu effectuer mon stage de fin d'études du BUT Réseaux et Télécommunications au sein de l'entreprise Totem. Durant ce stage de 10 semaines, j'ai pu en apprendre davantage sur l'application des télécommunications dans le domaine professionnel, un sujet étudié, mais qui restait assez flou pour moi.

Grâce à ma très bonne intégration au sein de l'équipe Free, j'ai eu l'occasion de réaliser de nombreux échanges et études qui ont constitué mes différentes missions de stage. Cette expérience a considérablement enrichi ma compréhension de la chefferie de projets, des infrastructures passives et des équipements radio des opérateurs télécom.

Je suis très satisfaite et heureuse de ces quelques semaines passées au sein de la société Totem. Elles constituent désormais pour moi une réelle expérience professionnelle valorisante et encourageante pour mon avenir, ainsi que de nouvelles connaissances solides, acquises grâce au travail et surtout à un très bon encadrement. Cette expérience m'a permis de faire le lien entre mon parcours scolaire et le monde professionnel.

En outre, ce stage m'a permis de développer mes compétences en communication et en travail d'équipe. Les nombreux échanges que j'ai réalisés pour mes recherches et études m'ont aidée à m'ouvrir davantage et à améliorer mes compétences en communication, un aspect qui est généralement difficile pour moi.

Je pense que cette expérience chez Totem m'offre une excellente préparation pour mon insertion professionnelle, en vue de préparer mon entrée en Master Réseaux et Télécommunications. Enfin, je tiens à exprimer ma satisfaction d'avoir pu travailler dans de bonnes conditions et un environnement agréable, ce qui a grandement contribué à la réussite de mon stage et à mon épanouissement personnel et professionnel.

11 Glossaire

IUT, Institut Universitaire de Technologie

R&T, Réseaux et Télécoms

Tower Co, Tower Company

BUT, Bachelor Universitaire de Technologie

PDG, Président Directeur général

B2B, Business to Business

PEX, Pylône Existant

EBI, Expression de Besoin Initiale

EBF, Expression de Besoin Finale

VT, Visite Technique

CRVT, Compte Rendu de Visite Technique

APD, Avant-Projet Détaillé

PVMAD, Procès-Verbal de Mise à Disposition

PVCI, Procès-Verbal de la Conformité des Installations

MOE, Maîtres d'Œuvres

DP, Déclaration Préalable des travaux

BDD, Bras de déport

TT, Toiture Terrasse

Pyl, Pylône

RRH, Remote Radio Head est un composant des télécoms qui convertit et amplifie les signaux radio.

RF, Fréquence Radio

FH, Faisceau Hertzien est une technologie utilisant des signaux radio pour les communications à longue distance entre points fixes.

Multi-techno, Multiple technologies

TILT, Inclinaison d'une antenne

Swap, Echange d'antennes

12 Sitographie

Réseau Intranet Totem Entreprise

Système de données Totem

Entretiens avec diverses personnes

