

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

**RAPPORT DE STAGE de fin de deuxième année
Bachelor Universitaire de Technologie
Spécialité Réseaux et Télécommunications
parcours cybersécurité**

Soutien en interventions et développement de
solutions de télécommunications

Mathieu RIALLAND

Delta Sertec

Responsable entreprise : Sébastien MISSENTI

Responsable académique : Damien MANOUKIAN

2024

Table des matières

1	Introduction.....	5
2	Présentation de l'entreprise.....	6
2.1	Histoire.....	6
2.2	Culture de l'entreprise et secteurs d'activité.....	6
2.3	Structures associées et organigramme	6
3	Missions principales.....	9
3.1	Soutien en intervention technique.....	9
3.1.1	Hôtel Les Bories & Spa, Gordes.....	9
3.1.2	Etablissement privé Set Club, Aix-en-Provence.....	10
3.1.3	Salon des Agricultures de Provence, Salon-de-Provence	10
3.1.4	Domaine Bodin, Cassis.....	11
3.2	Etude et déploiement d'un service de téléphonie centralisée	12
3.2.1	Contexte	12
3.2.2	Tâches réalisées.....	12
3.2.3	Outils et technologies utilisés	18
3.2.4	Difficultés rencontrées et solutions apportées	18
3.3	Conception et déploiement d'une chaîne de transmission de données	19
3.3.1	Contexte	19
3.3.2	Tâches réalisées.....	19
3.3.3	Outils et technologies utilisés	25
3.3.4	Difficultés rencontrées et solutions apportées	25
3.4	Bilan personnel et critique	26
3.4.1	Compétences développées	26
3.4.2	Analyse critique	26
3.4.3	Apport pour l'entreprise.....	27
4	Conclusion	29
5	Remerciements.....	31
6	Glossaire.....	32
6.1	Sigles.....	32
6.2	Termes techniques.....	33
7	Sitographie	35
7.1	Soutien en intervention technique.....	35
7.2	Etude et déploiement d'un service de téléphonie centralisée	35
7.3	Conception et déploiement d'une chaîne de transmission de données	36

1 Introduction

Réalisé au sein de l'entreprise Delta Sertec du groupe Delta Smart Technologies, ce stage portait essentiellement sur la participation à des interventions techniques auprès des clients et au développement de solutions de télécommunications destinées à intégrer l'éventail de services proposé par l'entreprise.

L'objectif du stage était de présenter aux étudiants une opportunité d'insertion professionnelle pertinente au regard de la formation suivie, permettant alors de lier les enseignements intégrés en tant qu'étudiant aux activités menées en tant que contractuel professionnel.

Les missions principales qui me furent attribuées peuvent être agrégées et formalisées autour de trois axes distincts, englobant la majorité de mes activités et des livrables que je pus fournir en entreprise :

- Accompagner les responsables de projet et techniciens de l'entreprise sur les sites et dans les locaux des clients, en tant que soutien lors des interventions techniques.
- Etudier une solution applicative de centralisation des communications téléphoniques, puis paramétrer, déployer et administrer à partir de la solution étudiée un service de téléphonie centralisée interne aux organisations.
- Concevoir, paramétrer et déployer une chaîne de transmission de données intégrant des solutions matérielles et logicielles partenaires, en agissant principalement sur les moyens et protocoles de communication utilisés.

Nous commencerons alors par prendre connaissance de l'entreprise Delta Sertec. Chaque axe brièvement introduit ci-dessus sera ensuite détaillé dans une section dédiée, avant de conclure sur les enseignements tirés.

2 Présentation de l'entreprise

2.1 Histoire

Delta Sertec, entreprise familiale fondée en 1979 par Jean-Louis Brouquier et aujourd'hui dirigée par Arnaud Brouquier, illustre son expertise dans l'industrie des courants faibles par la conception, la réalisation et le maintien de systèmes de sécurité électroniques et réseaux de communication depuis 45 ans. Couvrant les départements des Bouches-du-Rhône, du Gard, du Var et du Vaucluse, l'entreprise s'est notamment imposée comme un acteur incontournable en matière de GTB, Gestion Technique du Bâtiment et GTC, Gestion Technique Centralisée dans le sud de la France. Historiquement intégrateur de systèmes de sûreté destinés à la protection des personnes et des biens, l'entreprise affirme aujourd'hui sa volonté de développer et proposer de nouvelles offres de service reposant davantage sur l'exploitation des réseaux informatiques et de l'IoT, Internet of Things (Internet des objets).

2.2 Culture de l'entreprise et secteurs d'activité

Delta Sertec a pour mission de mettre la technologie au service des entreprises et de les accompagner dans leurs projets métiers, en plaçant l'humain au centre de son écosystème. L'entreprise cultive un lien de proximité de qualité avec ses clients, réunissant l'excellence technique, l'amélioration continue, le respect, l'écoute et la convivialité au cœur de son approche. Proche des problématiques spécifiques de chaque client, Delta Sertec s'engage à fournir des solutions sur mesure et innovantes.

L'entreprise réalise principalement des chantiers pour les secteurs de l'habitat (collectivité, habitat et bâtiments, etc.) et du tertiaire (chantier pour de grands groupes, hôtellerie, etc.), en concentrant la plupart de ses activités autour de quatre domaines :

- Le câblage et l'équipement numérique de bâtiments : interphonie, télévision collective, réseaux informatiques filaires, WiFi, Wireless Fidelity, ponts radio, capteurs IoT, bornes IRVE, Infrastructure de Recharge pour Véhicules Electriques, supervision technique...
- La sûreté des locaux et des personnes, en couvrant toutes les composantes de la sûreté et sécurité électronique : le contrôle d'accès, la vidéoprotection, la sécurité anti-intrusion, et la sécurité incendie.
- La digitalisation des espaces de vie : écrans d'affichage dynamique, IPTV, Télévision IP, salle de réunion digitale, visioconférence, sonorisation.
- Les télécommunications d'entreprise, par la proposition d'une multitude de solutions : téléphonie fixe et mobile, abonnements Internet, fibre haut débit, communications unifiées.

Delta Sertec dispose également d'un pôle interne responsable d'assurer le service après-vente inclus dans les contrats des clients, appelé Service Technique de Maintenance. En cas de panne ou d'opération de maintenance nécessaire, l'entreprise interviendra auprès des clients pour remplacer ou réparer les éléments défectueux des solutions proposées.

2.3 Structures associées et organigramme

Delta Sertec s'insère aujourd'hui dans un ensemble de structures professionnelles travaillant de pair, rassemblées sous l'égide de la SAS, Société par Actions Simplifiées Delta Smart Technologies (Figure 1).



Figure 1: Structures du groupe Delta Smart Technologies.

L'entreprise, PME, Petite ou Moyenne Entreprise de plus de 50 salariés, dispose d'une organisation regroupant quatre pôles principaux : Direction (Figure 2), Commercial (Figure 3), Technique (Figure 4), et Administratif (Figure 5).

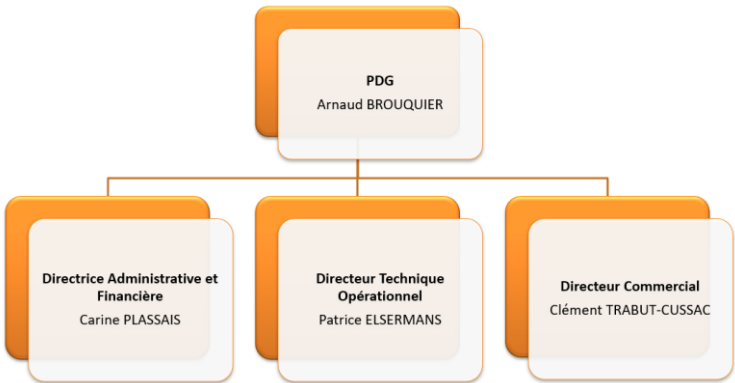


Figure 2: Pôle Direction de Delta Sertec.

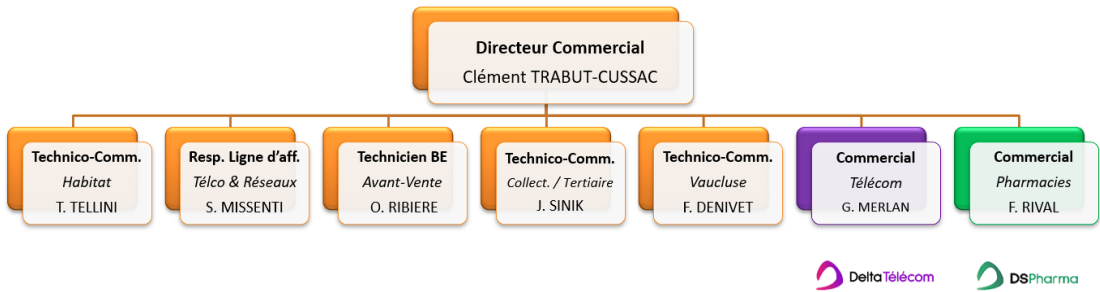


Figure 3: Pôle Commercial de Delta Sertec.

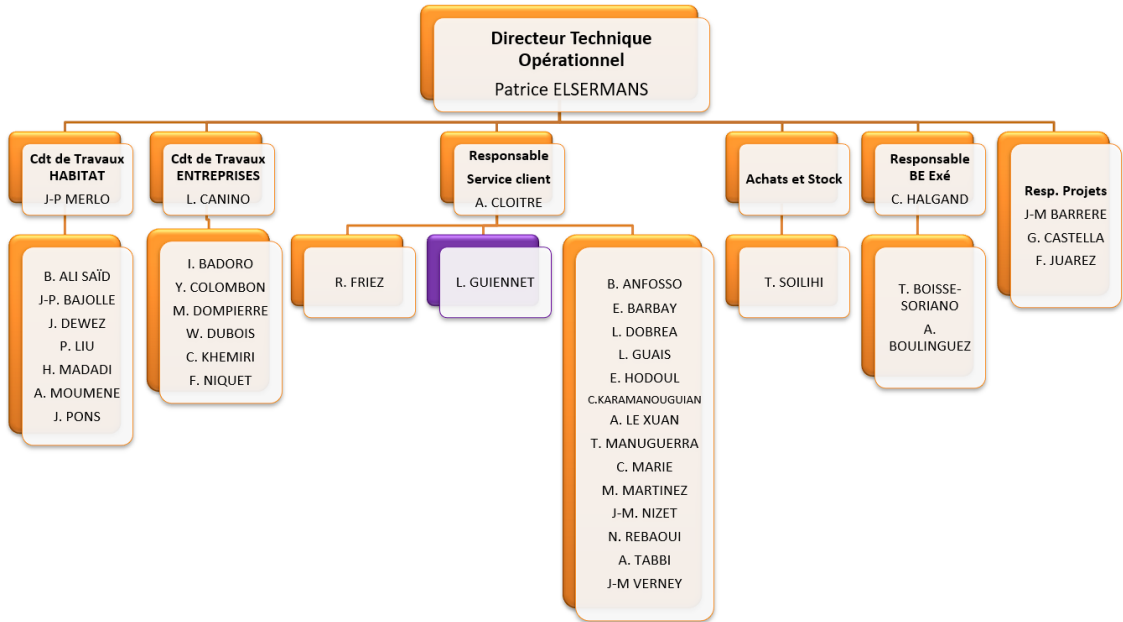


Figure 4: Pôle Technique de Delta Sertec.

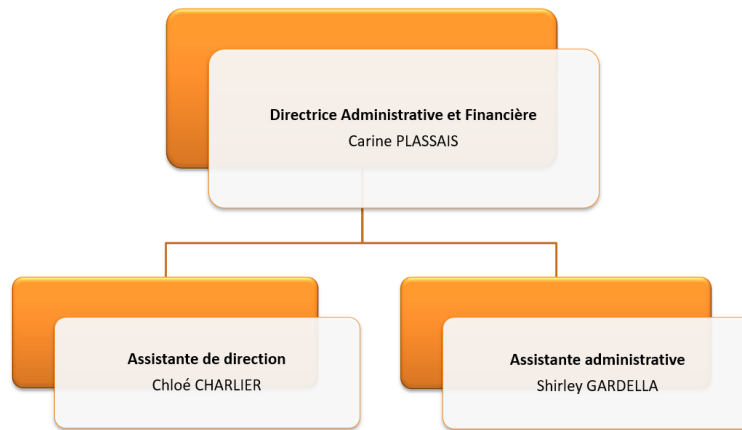


Figure 5: Pôle Administratif de Delta Sertec.

Intégré dans l'entreprise à l'intersection des pôles Technique et Commercial, mes missions furent principalement attribuées par :

- Sébastien Missenti du pôle Commercial.
- Marc Martinez du pôle Technique.
- Clément Trabut-Cussac des pôles Direction et Commercial.

3 Missions principales

3.1 Soutien en intervention technique

Les responsables de projet et techniciens, répondant au plus grand nombre de demandes d'interventions techniques, nécessitent souvent l'assistance d'un coéquipier lors des interventions. Que cela soit pour déployer une solution ou pour réaliser un dépannage chez un client, c'est dans ce cadre que j'ai eu l'opportunité d'assister mon responsable en entreprise, Sébastien Missenti, ainsi que d'autres collègues en intervention.

Voici donc une brève présentation de quelques projets auxquels je pus prendre part dans le cadre de ces interventions.

3.1.1 Hôtel Les Bories & Spa, Gordes

Contexte

Le lundi 15 avril 2024, une intervention était prévue pour paramétrer des IPTV installées par Delta Sertec dans chaque chambre de l'hôtel. Je me retrouvais donc avec Sébastien Missenti et Frédéric Juarez pour paramétrer les télévisions. La première étape était de déployer sur chaque télévision une configuration permettant de recevoir des configurations ultérieures depuis le réseau, pour faciliter la gestion des télévisions de l'hôtel avec un accès logiciel distant. Les télévisions seraient ensuite essentiellement administrées par une solution logicielle et recevraient leurs configurations par leur interface WiFi, connectée au réseau de l'hôtel.

Tâches réalisées

Après avoir correctement configuré une première télévision, des clés USB, Universal Serial Bus furent utilisées pour cloner la configuration créée sur le reste des télévisions de l'hôtel. De nouvelles configurations incluant quelques ajustements furent déployées ensuite sur une télévision de test. Les objectifs de ces ajustements étaient alors de produire les comportements suivants sur les télévisions :

- Après allumage, faire automatiquement basculer l'affichage sur un menu incluant les services de l'hôtel.
- Lorsqu'un client occupe la chambre, rendre le service Netflix (vidéo à la demande) disponible depuis le menu de l'hôtel.
- Après que la réservation d'un client ait pris fin, déconnecter les comptes personnels des clients de tous les services disponibles.
- Rendre les fonctionnalités Chromecast associées aux télévisions disponibles et opérationnelles.
- Configurer correctement les échanges de journalisation entre les télévisions et le service de journalisation utilisé par l'hôtel.

Plusieurs configurations furent successivement déployées sur l'ensemble des télévisions, suivant l'avancement des ajustements réalisés.

Outils et technologies utilisés

- Télévisions IP Philips HFL5214, installées dans chaque chambre de l'hôtel.
- Solution logicielle *Meteor* d'Imagine Soft, utilisée pour administrer à distance les IPTV.
- Solution logicielle PMS, Property Management System de Medialog, utilisée par l'hôtel comme service de journalisation.
- Solution logicielle *AnyDesk* d'AnyDesk Software GmbH, utilisée pour administrer des serveurs à distance.
- Solution matérielle et logicielle Chromecast, gamme de passerelles multimédia développée et commercialisée par Google, permettant à un appareil connecté à Internet d'afficher sur le téléviseur du contenu multimédia.

3.1.2 Etablissement privé Set Club, Aix-en-Provence

Contexte

L'établissement privé Set Club est constitué d'un hôtel, d'un restaurant et d'un complexe sportif. Plusieurs interventions ont été réalisées à l'hôtel lors de la période de rénovation, prenant fin en juin 2024. La plupart des interventions impliquaient Sébastien Missenti et Frédéric Juarez. L'objectif final des interventions réalisées était de pouvoir fournir une couverture réseau adaptée du bâtiment, en supposant qu'un point de présence soit opérationnel. En raison de problématiques liées à l'éligibilité des liaisons fibres FTTO, Fiber to the Office et FTTH, Fiber to the Home prévues pour raccorder le Set Club à Internet, ainsi que de la nécessité de travaux de génie civil pour les raccordements des liaisons fibres du Set Club, une vérification de l'opérabilité des points de présence définitifs ne put être réalisée.

Tâches réalisées

Les premières interventions concernaient l'installation et le branchement des équipements réseau. En plus du rez-de-chaussée, les trois étages de l'hôtel disposent chacun de leur propre baie de brassage, câblées en rocade l'une par rapport à l'autre. Chaque baie de brassage fut équipée d'un commutateur, destiné à relier le réseau distribué à chaque étage au point de présence du bâtiment, en passant par la baie de brassage principale (rez-de-chaussée).

Les interventions suivantes portaient sur l'installation des points d'accès sans fil dans les chambres de l'hôtel. Chaque point d'accès était alors alimenté en PoE, Power over Ethernet, simplifiant les contraintes d'alimentation pour leur déploiement. Ce fut notamment l'occasion de vérifier l'état des câbles réseau tirés à travers la structure du bâtiment. Cette vérification reposait alors d'une part sur l'observation de l'état des LED, Light Emitting Diode sur les commutateurs installés, décrivant l'état des connexions associées aux ports du commutateur, et d'autre part sur l'utilisation d'un testeur de câbles RJ45, appliqué sur chaque câble.

Enfin, les dernières interventions impliquaient des tests de couverture réseau (sans fil) dans le bâtiment, ainsi que le déploiement d'un dispositif Starlink de connexion à Internet par satellite, faisant office de point de présence temporaire à haut débit.

Outils et technologies utilisés

- Pare-feux Zyxel USG Flex.
- Points d'accès sans fil Zyxel NWA.
- Commutateurs Zyxel PoE administrables.
- Testeur de câbles RJ45.
- Kit standard Starlink.
- Application mobile *Wi-Fi Analyzer*, permettant de diagnostiquer la couverture WiFi environnante.

3.1.3 Salon des Agricultures de Provence, Salon-de-Provence

Contexte

L'annuel Salon des Agricultures de Provence s'est tenu les 31 mai, 1^{er} et 2 juin 2024, au Domaine du Merle à Salon-de-Provence. Déjà sollicitée par les organisateurs de l'événement lors des éditions précédentes, Delta Sertec devait à nouveau déployer une couverture réseau satisfaisante et temporaire sur l'ensemble du domaine. Et s'étant déjà occupé de la couverture réseau du Salon des Agricultures de Provence lors des éditions précédentes, cet ouvrage fut entièrement pris en charge par Sébastien Missenti.

Tâches réalisées

Les lundi 27 mai 2024 et mardi 28 mai 2024 furent dédiés au déploiement et au test des installations de couverture réseau du domaine. La première journée d'intervention fut dédiée à la réalisation des tâches suivantes :

- Déploiement de lignes aériennes de câbles réseau à l'aide d'une nacelle, impliquant le découpage et la fabrication des câbles utilisés, selon la norme de câblage T568B.

- Déploiement de ponts radio à l'aide d'une nacelle, par l'installation d'antennes directionnelles alimentées par PoE en haut de mâts électriques.
- Installation de commutateurs et injecteurs PoE pour monter les raccordements de câbles réseau et d'alimentation électrique nécessaires.
- Installation des points d'accès sans fil, alimentés par PoE, et paramétrage des bandes d'émission de fréquences en 2,4 GHz et 5 GHz.
- Raccordement des ponts radio et points d'accès sans fil au point de présence du domaine.

La seconde journée d'intervention servit principalement à terminer l'installation de quelques points d'accès sans fil sur le domaine et à tester la couverture réseau une fois l'alimentation électrique du domaine entièrement fonctionnelle.

Enfin, les installations déployées sur le domaine furent désassemblées et retirées durant l'intervention du lundi 3 juin 2024.

Outils et technologies utilisés

- Antennes directionnelles de 60° et 120°, pour l'établissement de ponts radio et d'un réseau maillé.
- Points d'accès sans fil Zyxel NWA.
- Points d'accès sans fil Zyxel WAC.
- Commutateurs Zyxel non administrables.
- Pincettes coupantes et à sertir.
- Injecteurs PoE.
- Câbles cuivre FTP, Foiled Twisted Pair catégorie 5 et connecteurs RJ45.

3.1.4 Domaine Bodin, Cassis

Contexte

Le Domaine Bodin dispose d'une liaison fibre et d'équipements réseau fournis par Delta Sertec pour organiser son réseau interne et ses accès à Internet. Des lenteurs constatées sur les postes de travail, liées au réseau, furent signalées au pôle Service Technique et Maintenance. Toutefois, aucune cause précise de ces lenteurs ne put être déterminée à partir des informations de surveillance des équipements réseau déployés au domaine. Antoine Cloître se rendit donc sur place pour réaliser une intervention de dépannage.

Tâches réalisées

Selon une démarche de dépannage réseau dite ascendante, en progressant couche par couche dans le modèle OSI, Open Systems Interconnection à partir des recherches réalisées, Antoine et moi commençons donc par observer l'état des câbles réseau et vérifier le câblage réalisé au domaine. Les câbles semblaient au premier abord en bon état, et le câblage réalisé était cohérent. Nous décidons donc d'écarter la cause physique de notre intervention de dépannage.

Nous procédons ensuite à l'identification et au recensement des paramètres IP, Internet Protocol attribués aux hôtes du domaine, autant en interagissant directement avec chaque poste de travail qu'en réalisant des scans des hôtes présents sur le réseau du domaine. A ce moment, nous constatons les faits suivants :

- Les paramètres IP des postes de travail étaient attribués de manière statique.
- L'adresse IP d'un des postes de travail était dupliquée sur le réseau.

Nous savions en amont de notre intervention qu'un serveur DHCP, Dynamic Host Configuration Protocol était actif sur le routeur du réseau configuré. Initialement, la plage d'adresses distribuée par le serveur DHCP entraînait en conflit avec l'étendue d'adresses configurée de manière statique sur les postes de travail. Celle-ci avait par ailleurs été récemment changée pour exclure les adresses statiques des postes de travail de la plage distribuée par DHCP. Ce changement ayant été réalisé il y a peu de temps, nous commençons alors à apercevoir la situation ayant mené à notre intervention de dépannage, décrite ci-dessous :

1. Lorsque la configuration initiale du serveur DHCP était appliquée, un appareil présent sur le réseau obtint une adresse IP identique à celle d'un poste de travail.

2. Aux premiers signalements de lenteurs du réseau, la configuration du serveur DHCP du domaine fut identifiée comme étant problématique et fut ainsi changée.
3. Bien que la configuration du serveur DHCP ait changé, l'appareil détenant l'adresse IP dupliquée conserva ses paramètres IP. Le cas présenté était donc le suivant :
 - Depuis le changement de configuration du serveur DHCP, l'appareil n'avait pas été redémarré. Dans le cas contraire, cela lui aurait permis de recevoir de nouveaux paramètres IP, cette fois-ci valides.
 - Le bail des paramètres IP fourni par l'ancienne configuration du serveur DHCP n'avait pas expiré. Dans le cas contraire, cela aurait forcé l'appareil à renouveler ses paramètres IP auprès du serveur DHCP, disposant cette fois d'une configuration correcte.

A partir des scans d'hôtes réalisés sur le réseau, nous pouvions d'abord identifier l'adresse MAC, Media Access Control de l'appareil disposant de l'adresse dupliquée. Puis en recherchant sur Internet l'OUI, Organizationally Unique Identifier associé à cette adresse MAC, nous pouvions déterminer le type d'appareil sur lequel intervenir. Et finalement, suivant le redémarrage d'une machine à affranchir présente sur le site d'intervention et un nouveau scan des hôtes du réseau, notre situation hypothétique s'avéra exacte.

Outils et technologies utilisés

- Méthodologie de dépannage réseau ascendante.
- Application d'ordinateur *Advanced IP Scanner*, permettant de découvrir et identifier les hôtes actifs sur une plage d'adresses IP définie.

3.2 Etude et déploiement d'un service de téléphonie centralisée

3.2.1 Contexte

A l'avènement de mon stage, Delta Sertec venait de sélectionner le système de téléphonie 3CX comme support de développement d'une future solution de standard téléphonique, destinée à intégrer l'éventail de services proposé par l'entreprise. Je recevais ainsi la responsabilité de mener de bout en bout un premier projet pilote interne reposant sur l'exploitation du système 3CX, dont l'objectif final était de migrer partiellement le système téléphonique préexistant de l'entreprise, administré par Unyc, vers ce système téléphonique prometteur. Ce projet permettrait alors autant d'évaluer en amont la robustesse du système 3CX fourni comme solution de standard téléphonique qu'à capitaliser en interne une certaine maîtrise technique portant sur ce système de téléphonie.

3.2.2 Tâches réalisées

3.2.2.1. Etude de marché

La première étape du projet était de réaliser une étude de marché portant sur les choix possibles pour le déploiement d'un standard de téléphonie 3CX, afin d'exploiter au mieux les ressources mises à ma disposition. L'étude fut alors menée selon deux axes de recherche :

- D'abord, l'acquisition d'une licence Entreprise, incluant l'entièreté des fonctionnalités du standard de téléphonie 3CX, serait convenue pour des usages de production. Cependant, pour toute instance dédiée du standard de téléphonie 3CX, le coût d'une licence augmente avec le nombre d'appels simultanés qu'il serait possible de passer (Figure 6). Il fallait donc estimer un nombre d'appels simultanés disponibles adapté aux besoins de l'entreprise, tout en conservant des coûts de licence cohérents avec l'installation de téléphonie projetée.
- Ensuite, parmi les types d'hébergement disponibles pour un système 3CX, il fallait identifier les possibilités d'hébergement adaptées aux ressources et besoins de l'entreprise.

Appels simultanés (AS)	3CX PRO (Professionnel)	3CX ENT (Entreprise)	Option d'hébergement
4 AS	195 €	245 €	250 €
8 AS	295 €	370 €	250 €
16 AS	695 €	870 €	425 €
24 AS	995 €	1 245 €	425 €
32 AS	1 350 €	1 690 €	850 €
48 AS	2 095 €	2 620 €	850 €
64 AS	2 750 €	3 440 €	850 €
96 AS	4 495 €	5 620 €	1 695 €
128 AS	5 995 €	7 495 €	1 695 €
192 AS	8 995 €	11 245 €	1 995 €
256 AS	11 995 €	14 995 €	1 995 €
512 AS	18 995 €	23 745 €	N/A
1024 AS	34 995 €	43 745 €	N/A

Figure 6: Tarifs pour une instance dédiée du standard de téléphonie 3CX, visité le 11/06/2024, <https://www.3cx.fr/commander/tarifs/liste-prix/>.

En ce qui concernait l'estimation du nombre d'appels simultanés nécessaires pour l'entreprise, je décidais de réaliser une enquête interne, en demandant à chaque collègue rencontré d'estimer le temps moyen qu'ils passaient chaque jour à utiliser leur ligne de téléphone fixe. Beaucoup d'entre eux me répondirent qu'ils utilisaient essentiellement leur ligne mobile professionnelle. Toutefois, cela m'aidera à estimer les probabilités qu'un certain nombre d'appels soient passés au même moment à partir des lignes fixes, qui seraient directement administrées par une instance dédiée 3CX.

Ceci fait, mes critères de recherche visant à sélectionner les types d'hébergement les plus adaptés pour ce projet furent les suivants :

- Les coûts et ressources impliqués : éviter de gaspiller des ressources et tendre vers la réduction des coûts tout en garantissant un service de qualité.
- La simplicité d'administration : sera-t-il nécessaire d'éditer les configurations de pare-feu de l'entreprise pour laisser transiter le trafic de téléphonie généré et reçu par 3CX ? comment faudra-t-il gérer les mises à jour et sauvegardes du système ? etc...

Les types d'hébergement proposés pour l'installation d'un système 3CX sont alors les suivants :

- Hébergement 3CX : l'entreprise 3CX héberge le système de téléphonie sur Internet.
- Hébergement par cloud privé : un fournisseur de services cloud tiers héberge le système de téléphonie sur Internet.
- Hébergement en local : le système de téléphonie est hébergé directement au sein de l'entreprise.

Malgré une légère majoration des ressources engagées par la demande d'un type d'hébergement sur Internet, et un tarif moins avantageux par rapport à des offres concurrentes (Figure 7), l'hébergement d'une instance chez 3CX constituait un choix convenable pour les raisons suivantes :

- Toute tâche de maintenance du système d'exploitation et des composants logiciel requis serait déléguée à l'entreprise 3CX, qui deviendrait responsable du déploiement des dernières mises à jour et des derniers patchs de sécurité, ainsi que des sauvegardes quotidiennes du système.
- Le fournisseur de services cloud utilisé pour déployer le système 3CX serait alors la multinationale américaine DigitalOcean. Cette société assure un SLA, Service Level Agreement incluant une disponibilité de service supérieure ou égale à 99,99% pour ses hébergements de systèmes.
- Contrairement au choix d'un hébergement entièrement géré par l'entreprise 3CX, choisir un fournisseur de services cloud tiers pour le déploiement d'une instance dédiée 3CX dans le cloud

nécessiterait de disposer d'une maîtrise préalable de l'environnement logiciel, de l'espace client et des services proposés par le fournisseur de services cloud concerné.

- Aucune ressource de R&D, Recherche & Développement ne serait dilapidée pour intégrer une instance locale du système 3CX au reste de l'architecture réseau de l'entreprise.

			
3CX	Google Cloud (Google Cloud Compute Engine)	Amazon Web Services (Amazon Compute)	Amazon Lightsail
Paramètres système: - vCPU: 2 - RAM: 2GB - Stockage: 60GB SSD Tarif: 250€/an SLA uptime: 99,99% (DigitalOcean)	Paramètres système: - Type d'instance: e2-small - vCPU: 1 - RAM: 2GB - Stockage: 30GB SSD Tarif: ~17€/mois, soit 204€/an SLA uptime: 99,9% pour des instances sans mémoire optimisée	Paramètres système: - Type d'instance: t3.small - vCPU: 2 - RAM: 2GB - Stockage: Amazon Elastic Block Store (arbitraire) Tarif: ~16,5€/mois, soit 198€/an SLA uptime: 99,5%	Paramètres système: - Type d'instance: Unix/Linux - vCPU: 2 - RAM: 2GB - Stockage: 60GB SSD Tarif: ~9,5€/mois, soit 114€/an SLA uptime: 99,5%
			
DigitalOcean (DigitalOcean Droplet)	Microsoft Azure	Vultr	Ikkoula
Paramètres système: - Type d'instance: Basic Regular - vCPU: 2 - RAM: 2GB - Stockage: 60GB SSD Tarif: ~17€/mois, soit 204€/an SLA uptime: 99,99%	Paramètres système: - Type d'instance: A1 Basic - vCPU: inconnu - RAM: 1,75GB - Stockage: 40GB HDD Tarif: ~17€/mois, soit 204€/an SLA uptime: 95%	Paramètres système: - Type d'instance: Cloud Compute Regular - vCPU: 2 - RAM: 2GB - Stockage: 65GB SSD Tarif: ~14€/mois, soit 168€/an SLA uptime: 100%	Paramètres système: - Type d'instance: 3CX S - vCPU: 2 - RAM: 2GB - Stockage: 60GB SSD Tarif: ~9,5€/mois TTC, soit 114€/an SLA uptime: 99,95%

Figure 7: Comparaison d'offres équivalentes chez divers fournisseurs de services cloud, pour l'hébergement d'une instance dédiée 3CX totalisant 8 appels simultanés possibles.

Après quelques échanges avec Sébastien Missenti, Clément Trabut-Cussac et Patrice Elsermans, je décidais donc de prévoir un hébergement chez 3CX pour l'instance dédiée qui servirait de standard téléphonique de production en fin de projet.

3.2.2.2. Déploiement d'une instance de test 3CX et expérimentations

Puisque rien ne vaut l'expérience pratique, je décidais ensuite de déployer par mes propres moyens une instance dédiée du standard 3CX en version d'essai, hébergée chez 3CX. Ce type d'hébergement en essai, valide sur 2 mois, inclut toutes les fonctionnalités d'une licence 3CX Professionnel. Pour tout type de licence et d'hébergement, l'accès à l'interface d'administration du standard de téléphonie se fait par une console web.

Une fois le standard de téléphonie 3CX déployé sur Internet, il me restait à installer et configurer les systèmes nécessaires pour que des téléphones IP présents sur le réseau de l'entreprise puissent échanger des données sur Internet et s'identifier auprès du standard téléphonique. Le trafic lié à ces opérations sur le réseau interne de l'entreprise serait essentiellement dirigé vers un SBC, Session Border Controller, dont l'image système est distribuée librement par l'entreprise 3CX et disponible pour plusieurs systèmes d'exploitation. Ce SBC, semblable à un pare-feu dédié aux flux de données transmis par VoIP, Voice over IP, devait d'une part être présent sur le même réseau logique que les téléphones IP cherchant à communiquer avec le standard de téléphonie déployé à distance, et d'autre part être enregistré auprès du standard de téléphonie par une URL, Uniform Resource Locator de provisionnement.

Dans la prolongation de l'étude de marché réalisée précédemment, j'entamais alors une estimation des coûts liés à la consommation énergétique d'un serveur dédié au fonctionnement d'un SBC 3CX. Une image système étant conçue pour une installation du SBC 3CX sur Raspberry Pi, je décidais naturellement de faire une première estimation en prenant comme référence le Raspberry Pi 4 B, l'un des derniers modèles de Raspberry Pi :

- En supposant que l'on utilise un SBC 3CX installé sur un Raspberry Pi 4 B opérant continuellement (24 heures par jour, 7 jours par semaine) et supportant une charge de traitements modérée (puissance médiane pour un Raspberry Pi 4 B, autour de 5,5 Watts) et constante, on pourrait estimer à un peu plus de 48 kWh la consommation énergétique d'un Raspberry Pi 4 B sur un an.
- Les coûts en électricité à l'agence Delta Sertec de Marseille sont basés sur une tarification bleue de EDF, Electricité de France. Pour les professionnels en option base sur un tarif bleu non résidentiel EDF, le prix HTVA (hors TVA, Taxe sur la Valeur Ajoutée) du kWh est alors de 0,2047 euros au 1^{er} avril 2024.

Le coût en consommation énergétique d'un Raspberry Pi 4 B opérant continuellement à l'agence Delta Sertec de Marseille, supportant une charge de traitements modérée et constante, serait donc estimé à environ 10 euros par an. Malgré cette première estimation, aucun appareil Raspberry Pi n'était disponible au moment de ces premières expérimentations, et restant sans appareil pour installer un SBC 3CX, je délaissais les estimations pour poursuivre plutôt les aspects pratiques de ce projet.

En récupérant un serveur inutilisé fourni par Clément Trabut-Cussac, j'installais et configurais donc un SBC 3CX destiné à intégrer le réseau de l'entreprise. Par la présence d'un SBC enregistré auprès du standard de téléphonie sur leur réseau, les téléphones IP étaient découverts et devenaient administrables par le standard de téléphonie. Les téléphones IP connectés au réseau de l'entreprise étaient désormais aptes à échanger des données avec le standard de téléphonie distant (Figure 8).

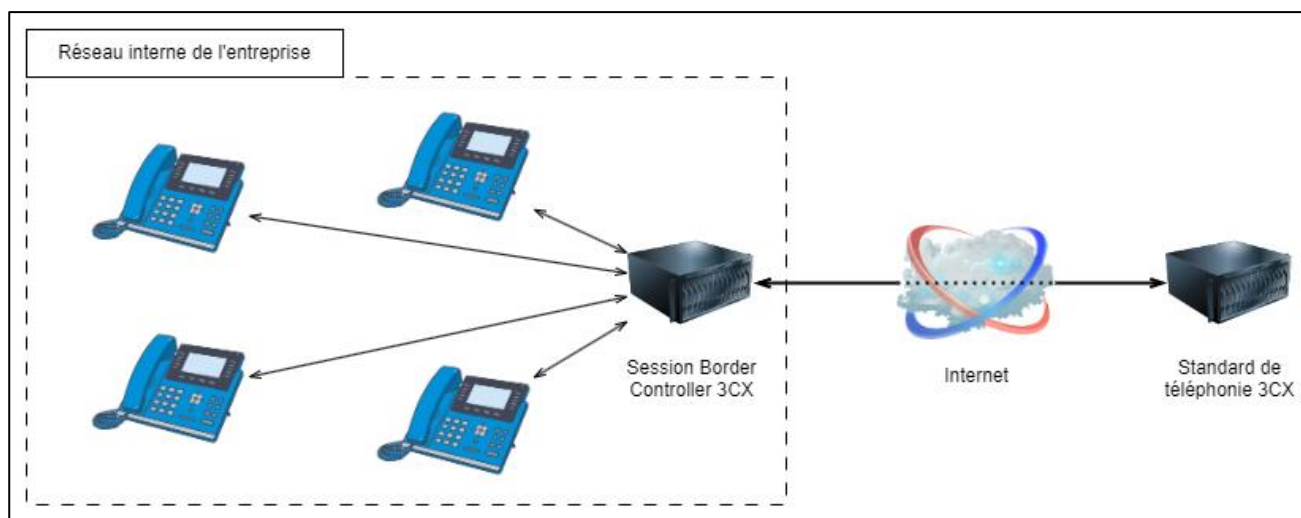


Figure 8: Schéma représentant les flux de données VoIP échangés entre le standard de téléphonie 3CX hébergé dans le cloud et les équipements terminaux (téléphones IP) du réseau interne de l'entreprise.

Le déploiement des composants fondamentaux du système de téléphonie était donc finalisé. Je m'occupais ensuite d'explorer les fonctionnalités et possibilités de paramétrage de 3CX, en augmentant progressivement la complexité des concepts découverts :

1. Création et configuration de comptes utilisateur, identifiés par un numéro appelé extension, selon le vocabulaire de téléphonie, et dont le format est usuellement défini par le standard téléphonique configuré. Les comptes utilisateur pouvaient notamment être configurés pour utiliser de l'authentification à facteurs multiples
2. Enregistrement de téléphones IP par leur adresse MAC auprès du standard téléphonique, provisionnement des appareils connectés et appels internes. Avant l'application d'une première configuration, il faut réinitialiser les téléphones enregistrés sur le standard téléphonique, afin d'être sûr que ceux-ci récupèrent l'URL de provisionnement fournie par le standard

téléphonique. Une fois connectés au standard téléphonique, les téléphones recevaient alors automatiquement toute nouvelle configuration créée depuis l'interface d'administration du standard téléphonique. Sur chaque téléphone IP utilisé, la présence d'un témoin lumineux permettait de déterminer lorsqu'un téléphone recevait une nouvelle configuration.

3. Configuration de touches d'appel rapide BLF, Busy Lamp Field, indiquant notamment le statut des lignes téléphoniques associées.
4. Création et configuration de plusieurs SVI, Serveur Vocal Interactif à partir de fichiers audio, de groupes d'appels et de files d'attente, incluant des transferts d'appels entre structures configurées.
5. Création de départements, d'horaires d'activité pour ces départements, et différenciation de traitement des tentatives d'appel selon les horaires configurés.
6. Configuration d'un compte utilisateur servant de boîte vocale mutualisée.
7. Configuration de débordements entre les groupes d'appel configurés : lorsque toutes les lignes téléphoniques d'un groupe d'appel sont occupées ou indisponibles, transférer les appels entrant vers un autre groupe d'appel ou une autre entité.
8. Configuration de téléphones routeur supportés par 3CX. Les modèles de téléphone identifiés par 3CX comme étant des téléphones routeur peuvent intégrer les fonctionnalités d'un SBC 3CX s'ils sont enregistrés comme tel auprès du standard de téléphonie, de telle sorte qu'un utilisateur disposant d'un téléphone routeur pourrait échanger des flux de données VoIP avec le standard téléphonique depuis un réseau dépourvu de SBC. Un téléphone routeur permet alors à son utilisateur de disposer d'une ligne téléphonique nomade, rattachée au standard de téléphonie et surtout utile pour le télétravail.
9. Configuration de la fonctionnalité Live Chat sur un site web de test, permettant à un internaute d'envoyer des messages écrits et de passer des appels au standard téléphonique depuis son navigateur web, sans autre intermédiaire logiciel. Cette configuration consiste à intégrer quelques portions de langages web sur un site pour afficher une fenêtre dynamique permettant d'interagir avec le standard téléphonique.
10. Provisionnement d'un trunk SIP, Session Initiation Protocol et de numéros SDA, Sélection Directe à l'Arrivée dans le standard téléphonique pour appeler et recevoir des appels passant par le RTC, Réseau Téléphonique Commuté (réseau téléphonique public), dits externes.

Et parmi toutes mes expérimentations figurent certaines qui seraient à poursuivre, car elles n'ont, à mon sens, pas fourni de résultat ou de constat suffisamment probant pour être abandonnées :

- Etablir un lien entre Dolibarr, le logiciel de gestion et de logistique utilisé par Delta Sertec, et 3CX serait profitable, pour permettre au moins à l'annuaire du standard de téléphonie 3CX d'être complété par celui de Dolibarr, sur lequel sont déjà recensés la majorité des clients de l'entreprise. A cet effet, un module pour Dolibarr existe, permettant de communiquer avec 3CX, mais celui-ci coûte 400 euros à l'achat et son utilité au regard des besoins spécifiques de l'entreprise est incertaine.
- Un aspect intéressant pour les clients désirant évaluer la qualité de leurs services concerne les statistiques et interprétations de données. Être en mesure d'agréger des données portant sur les activités des utilisateurs du standard de téléphonie 3CX pourrait rendre une solution incluant ce système plus attrayante pour de potentiels clients. Certaines statistiques d'utilisation du standard de téléphonie sont nativement disponibles depuis l'interface d'administration, mais il faudrait laisser une instance dédiée de 3CX opérer durablement en production pour accumuler des données d'utilisation et ensuite constater dans quelle mesure ces statistiques pourraient-elles être exploitées. Il serait aussi possible de rechercher des méthodes externes d'agrégation qui s'occuperaient d'enregistrer et d'interpréter des données d'utilisation bien spécifiques à partir d'un standard de téléphonie 3CX.
- L'enregistrement des appels passés avec un correspondant externe au standard de téléphonie doit être actif par défaut, pour dissuader toute atteinte verbale délictueuse envers l'entreprise, ses personnes physiques et ses personnes morales, ou éventuellement pour servir d'appui portant sur les communications passées avec un client en cas de litige. Cependant, le choix de ne pas enregistrer les conversations téléphoniques devrait également être proposé aux appelants

externes. Ce contrôle étendu des enregistrements téléphoniques réalisés par le standard de téléphonie n'est disponible qu'avec une licence 3CX Entreprise. N'ayant expérimenté qu'avec une licence 3CX Professionnel en version d'essai, je ne pus éprouver efficacement les fonctionnalités et paramétrages d'enregistrement des appels.

- La relation entre l'entreprise et certains clients pourrait être attribuée à un certain pôle ou à certaines personnes de l'entreprise, et selon les contrats, la relation entretenue avec certains clients pourrait être priorisée par rapport à d'autres. Mettre en place des redirections d'appel selon le client appelant, à partir des annuaires intégrés au standard de téléphonie, serait judicieux et s'intègre dans une logique de relation client de qualité.

3.2.2.3. Analyse fonctionnelle du système de téléphonie interne

Le système de téléphonie préexistant de l'entreprise est entièrement paramétré et administré depuis les interfaces web d'Unyc, opérateur français de communications unifiées, anciennement Serveurcom. L'ensemble des lignes téléphoniques fixes et mobiles, liaisons fibres et raccordements à Internet, équipements réseau, coordonnées des clients, et autres informations, étaient alors concentrées et administrées depuis Atlas, outil de pilotage fourni par Unyc.

La prochaine étape consistait à répliquer fidèlement l'organisation, les structures et les configurations du système de téléphonie préexistant sur une instance dédiée de 3CX. Permettant essentiellement de guider l'usage des nouveaux services de téléphonie à travers des structures logiques et une organisation connues des utilisateurs, cette étape est cruciale dans la migration des services de téléphonie préexistants et doit précéder la mise en production des nouveaux services de téléphonie déployés. Idéalement, la transition d'une solution à une autre devrait se faire de manière transparente auprès des utilisateurs concernés, afin d'empêcher toute désorganisation dans leurs méthodes d'opération.

Dans ce sens, une analyse fonctionnelle des services de téléphonie préexistants en interne devait être établie, afin de reproduire le plus fidèlement possible les structures identifiées et l'organisation utilisées en production. A partir des informations apparaissant comme faisant partie de l'environnement interne de Delta Sertec depuis la plateforme Atlas d'Unyc, l'énumération des comptes et lignes téléphoniques fixes et mobiles fut réalisée en distinguant les lignes attribuées :

- Aux personnes opérant chez Delta Sertec, à l'agence de Marseille.
- Aux personnes opérant chez Delta Sertec, à l'agence du Thor.
- Aux personnes opérant chez Delta Telecom.
- Aux personnes opérant chez Delta Smart Pharma.
- Aux personnes opérant chez Hapiix.
- Aux personnes actionnaires de la société par actions Delta Smart Technologies.
- A des groupes d'appel, correspondant aux divers pôles et services de Delta Sertec et des organismes associés.
- Au standard de fermeture des bureaux.
- A des dispositifs de télécommunications et installations de sûreté communicantes.

A l'issue de cette analyse fonctionnelle (Figure 9), les lignes internes erronées ou inutilisées purent être identifiées, pour une future réattribution ou résiliation. Des conditions de renvoi d'appel, dépendant d'horaires de bureau établies de manière hebdomadaire ou de comportements à adopter en cas d'indisponibilité des lignes appelées, purent également être identifiées.

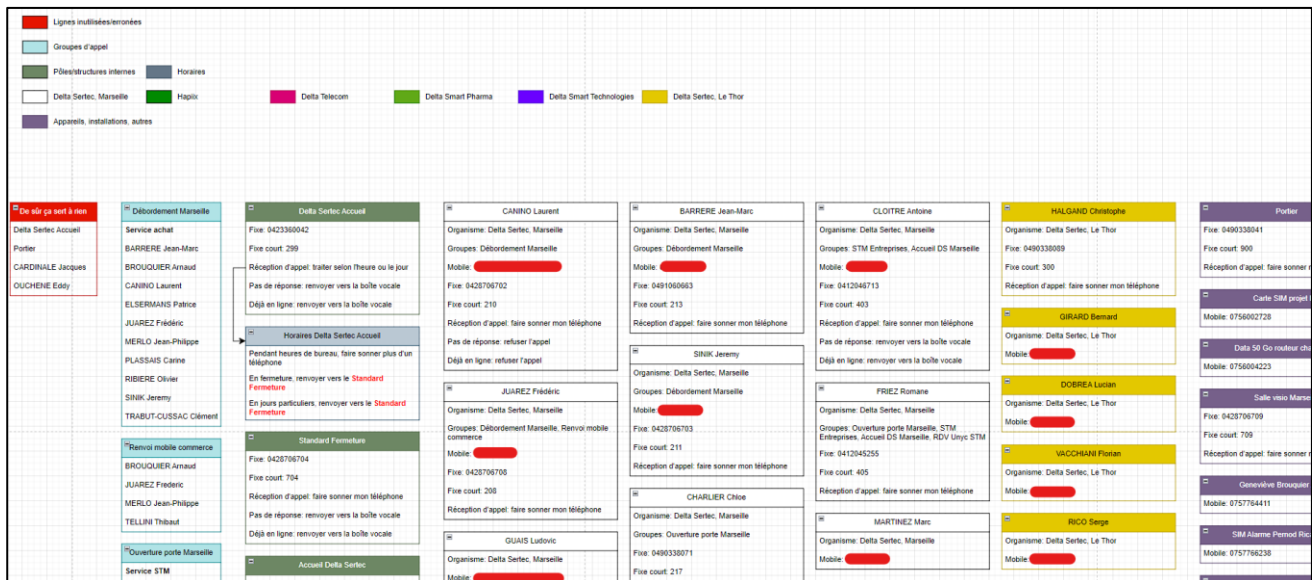


Figure 9: Aperçu de l'analyse fonctionnelle établie. Pour des raisons de confidentialité, les lignes mobiles personnelles sont masquées en rouge.

Malheureusement, cette étape fut la dernière réalisée durant ma période de stage, laissant ce projet inachevé.

3.2.3 Outils et technologies utilisés

- Plateforme web Unyc, pour découvrir et comprendre le système de téléphonie préexistant de l'entreprise.
- Solution logicielle 3CX, proposant une solution de téléphonie viable et alternative à Unyc.
- Téléphones matériel Yealink, modèles T41S, T46S, T54W et T57W.
- Application web *app.diagrams.net*, pour réaliser des schémas compréhensibles dans le cadre de l'étude de marché et de l'analyse fonctionnelle menées.

3.2.4 Difficultés rencontrées et solutions apportées

Difficultés rencontrées :

- Au début du projet, je ne disposais pas de connaissances suffisantes pour comprendre les concepts, les protocoles et parfois même le vocabulaire utilisés dans le domaine de la téléphonie.
- Au cours du projet, un essoufflement de ma motivation s'est fait sentir, en raison d'une marge de manœuvre insuffisante en ce qui concernait mes recherches d'informations liées à la structure téléphonique interne de l'entreprise. En effet, par ma situation hiérarchique de stagiaire, certains accès aux données de l'entreprise m'étaient restreints.

Solutions apportées :

- Afin de combler mes lacunes, j'ai effectué mes propres recherches par Internet sur les divers sujets constituant la téléphonie moderne, en me focalisant sur les bases du protocole SIP, Session Initiation Protocol et la compréhension des autocommutateurs téléphoniques privés.
- Concernant mes recherches sur la structure téléphonique interne de l'entreprise, j'ai rapidement signalé le problème rencontré à mes collègues et responsables en entreprise. Par la suite, après quelques concertations, Marc Martinez me permit d'utiliser ses identifiants d'accès à la plateforme Unyc, afin de poursuivre mes recherches de manière autonome.

3.3 Conception et déploiement d'une chaîne de transmission de données

3.3.1 Contexte

Une solution d'immotique entamée par Tim Santoro et Pierre Brillant, anciens membres de Delta Sertec, et reposant sur l'exploitation de capteurs et d'une passerelle réseau IP communiquant par le protocole de communication LoRaWAN, LoRa Wide Area Network, fut révisée à mon arrivée en stage. L'objectif de cette solution était de fournir aux clients une interface de surveillance de l'état de leurs installations, à partir de relevés de mesure réalisés au niveau des installations (Figure 10).

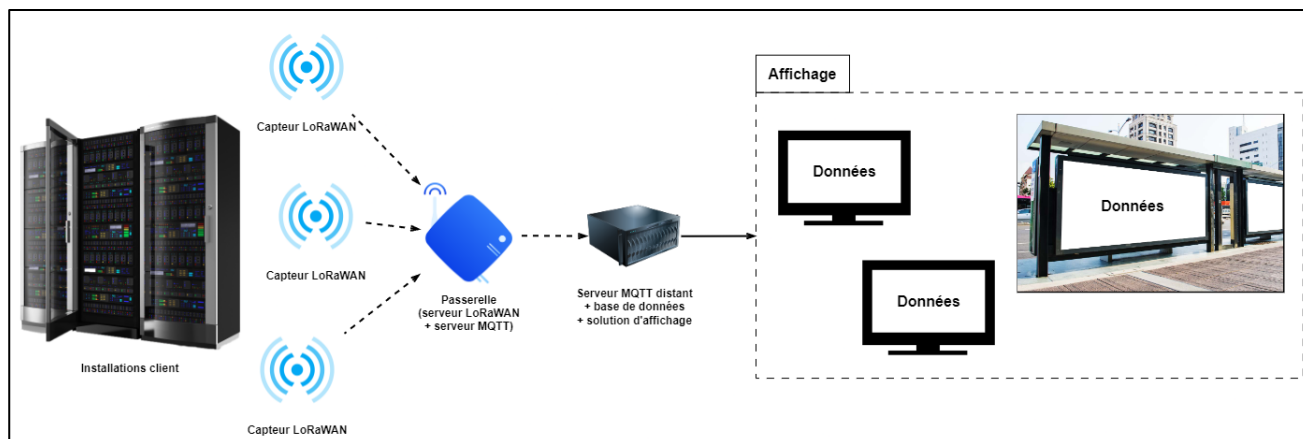


Figure 10: Schéma représentant les flux de la chaîne de transmissions de données conçue.

Déployée partiellement sur quelques sites client et délaissée depuis quelques années, cette solution disposait de documentations incomplètes et d'informations manquantes concernant son développement et les composants matériels et logiciels exploités. Je décidais donc de reprendre entièrement cette solution.

3.3.2 Tâches réalisées

3.3.2.1. Configuration initiale de la passerelle

La première étape consistait à réinitialiser le système de la passerelle LoRaWAN-IP aux paramètres d'usine, afin d'utiliser un système propre, identique à ceux des mêmes modèles d'appareil sortant d'usine. Cette réinitialisation était possible par l'intermédiaire d'un bouton à maintenir enfoncé une dizaine de secondes.

En paramètres d'usine, la passerelle utilisée dispose de l'adresse IP 192.168.2.1/24 et, bien qu'un service DHCP puisse être fourni par la passerelle, celui-ci est initialement inactif. Afin d'entamer le plus simplement possible la configuration de la passerelle, il fallait alors fixer une adresse IP statique appartenant au réseau 192.168.2.0/24 sur l'interface Ethernet du poste de travail utilisé, puis relier directement l'interface Ethernet configurée du poste de travail à l'interface Ethernet de la passerelle, pour finalement accéder à l'interface web d'administration de la passerelle.

Une fois les premiers menus de configuration validés et assistants de configuration complétés, je décidais de mettre à jour le firmware de la passerelle, pour éviter tout problème logiciel, de sécurité ou de compatibilité ultérieure entre les protocoles utilisés par la passerelle et ceux utilisés par les capteurs pour communiquer.

La prochaine étape consistait à configurer le réseau LoRaWAN utilisé entre la passerelle et les capteurs. La passerelle devait d'abord être configurée en tant que serveur de réseau LoRaWAN (LoRaWAN Join Server) sur lequel viendraient se rattacher les capteurs pour échanger des trames de données. Les bandes de fréquences utilisées par le protocole de communication LoRaWAN, variant selon la région du monde, devaient ainsi être réglées sur la norme européenne EU868, soit des fréquences autour de 868 MHz.

3.3.2.2. Identification et paramétrage des capteurs

Les capteurs utilisés disposent d'un port micro-USB, permettant de les paramétrer par câble en local et de retrouver les informations relatives à chacun d'entre eux dans l'application de configuration locale des capteurs, fournie par le constructeur.

Les informations essentielles à récupérer pour identifier chaque capteur et communiquer avec chacun d'entre eux par LoRaWAN étaient alors :

- Le paramètre Dev EUI, Extended Unique Identifier, correspondant à l'identifiant unique de l'appareil.
- Le paramètre App EUI, correspondant à l'identifiant du fournisseur de l'application de l'appareil.
- Le paramètre App Key, correspondant à une clé AES, Advanced Encryption Standard 128 déterminée par le fournisseur de l'application.

Tout en récupérant ces paramètres, le mode d'acquisition de données (périodique, sur dépassement de seuil, etc.) et la période d'acquisition de données des capteurs pouvaient être configurés depuis l'application.

3.3.2.3. Etablissement des communications entre appareils

Il restait donc à faire en sorte que les capteurs puissent communiquer leurs relevés de mesure à la passerelle. Deux méthodes existent pour que des appareils puissent communiquer sur un réseau LoRaWAN :

- Activation Over-The-Air (OTAA, ou OTA) : les appareils transmettent spontanément des messages Join Request au Join Server LoRaWAN et négocient avec le serveur pour rejoindre le réseau LoRaWAN.
- Activation par personnalisation (ABP) : les clés utilisées pour communiquer sur le réseau LoRaWAN sont enregistrées sur les appareils et sur le serveur. Aucune négociation ne s'opère entre les appareils et le serveur LoRaWAN. Les appareils enregistrés sont alors prêts à communiquer sur le réseau LoRaWAN mais peuvent difficilement changer de réseau car il faudrait changer les clés utilisées.

La méthode OTA est recommandée pour les environnements de production car l'activation est alors confirmée et sécurisée. J'enregistrais alors manuellement sur la passerelle les paramètres précédemment identifiés pour chaque capteur, ce qui permettrait par la suite d'établir des négociations OTA valides sur le réseau LoRaWAN entre le serveur et les capteurs identifiés.

3.3.2.4. Evaluation des solutions de retransmission des données relevées

Une fois les paramètres des capteurs enregistrés sur le serveur LoRaWAN de la passerelle et les négociations OTA validées pour chaque capteur, des trames de données envoyées par les capteurs étaient alors reçues par la passerelle. Cette dernière, fonctionnant sur un système Unix/Linux, intègre un service Mosquitto (serveur MQTT, Message Queuing Telemetry Transport) actif par défaut, où l'on peut retrouver de nombreux topics (canaux de diffusion) agrégeant toutes sortes d'informations relatives aux trames envoyées par les différents appareils communiquant en LoRaWAN avec la passerelle. Cependant, la configuration par défaut de ce serveur MQTT restreignait tout accès à la machine locale : à part la passerelle, aucun hôte sur le réseau ne pouvait accéder au service Mosquitto pour y récupérer les informations publiées.

La prochaine étape était donc de parvenir à retransmettre vers un serveur distant les trames de données récupérées sur le serveur MQTT de la passerelle, afin de pouvoir les exploiter. Après l'activation du serveur SSH, Secure Shell intégré à la passerelle depuis l'interface web d'administration, les choix suivants s'offraient à moi :

- Permettre aux hôtes distants de se connecter au serveur MQTT de la passerelle pour récupérer les données reçues par la passerelle. Cela nécessiterait alors d'éditer les fichiers de configuration du service Mosquitto et du pare-feu interne de la passerelle, ainsi que de mettre

en place des mesures de protection contre les tentatives d'attaque par force brute provenant du réseau vers le service Mosquitto.

- Implémenter sur la passerelle un mécanisme permettant de retransmettre les données reçues sur le serveur MQTT local vers un hôte distant.

Après quelques expérimentations en faveur de la première option présentée, je choisis d'opter pour la seconde, qui nécessitait beaucoup moins de configurations à appliquer sur la passerelle. Le système d'exploitation de la passerelle étant un système Unix/Linux, on y trouvait notamment Python 3.8 installé avec le module paho-mqtt, ce qui nous permettait d'exécuter sur la passerelle des programmes Python capables de manipuler des flux de données MQTT.

Les seuls inconvénients des opérations effectuées sur la passerelle seraient alors les suivants :

- Lors d'un redémarrage de la passerelle, le programme Python cesserait de s'exécuter. Il faudrait automatiser l'exécution du programme après un redémarrage.
- Lors de la mise à jour du firmware de la passerelle, toutes les modifications et configurations réalisées sur le système sont effacées. Il faudra donc sauvegarder toutes les ressources utilisées par cette solution et prévoir une procédure à suivre pour redéployer la solution après une mise à jour du firmware.

3.3.2.5. Maquette expérimentale de retransmission des données

Depuis mon poste de travail, sur une machine virtuelle Debian, je commençais donc par installer le service Mosquitto, ainsi qu'un client MQTT pour observer ce qu'il se passait en temps réel sur le serveur MQTT. Ce service était alors rendu accessible sur le port TCP, Transmission Control Protocol 1883 (port standard du protocole MQTT) de toute interface réseau de la machine virtuelle et faisait office de serveur MQTT distant, servant à récupérer les données qui seraient retransmises depuis le serveur MQTT intégré à la passerelle.

Pour respecter des éventuels mécanismes de limitation d'adresses MAC par port associés au commutateur qui reliait mon poste de travail au réseau, je devais donc relier la machine virtuelle au reste du réseau par NAT, Network Address Translation performé sur le poste de travail. Pour que la machine virtuelle puisse ensuite recevoir les messages MQTT provenant de la passerelle, je devais mettre en place un transfert de port sur mon poste de travail, lequel redirigerait les messages MQTT reçus sur le poste de travail vers la machine virtuelle (Figure 11).

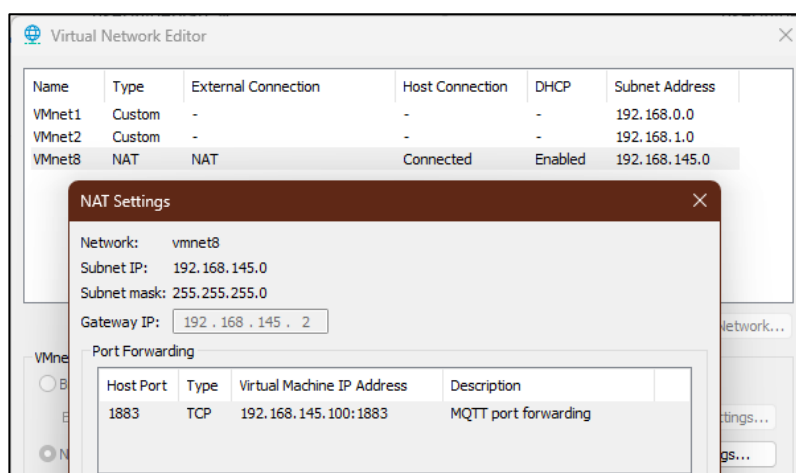


Figure 11: Paramètres de NAT et transferts de port de la solution de virtualisation VMware Workstation Pro, accessibles depuis le Virtual Network Editor.

Au niveau de l'adressage réseau et des informations de routage de l'architecture maquettée (Figure 12), on avait donc :

- La passerelle disposant de l'adresse 192.168.2.1/24 sur son interface Ethernet.
- La machine virtuelle incluant un serveur MQTT (service Mosquitto), disposant de l'adresse 192.168.145.100/24.

- Une interface Ethernet VMware VMnet8 virtuelle sur le poste de travail, permettant de simuler le réseau virtuel 192.168.145.0/24 et disposant de l'adresse 192.168.145.1.
- Un hôte interne au logiciel VMware Workstation Pro s'interfaçant entre l'interface VMnet8 et le reste du réseau virtuel 192.168.145.0/24. Cet élément logiciel dispose de l'adresse 192.168.145.2 et sert de passerelle aux hôtes du réseau virtuel 192.168.145.0/24, permettant de faire transiter les flux réseau entre le poste de travail et le réseau virtuel.
- Une interface Ethernet physique sur le poste de travail, reliant directement le poste à la passerelle et disposant d'une adresse faisant partie du réseau 192.168.2.0/24.

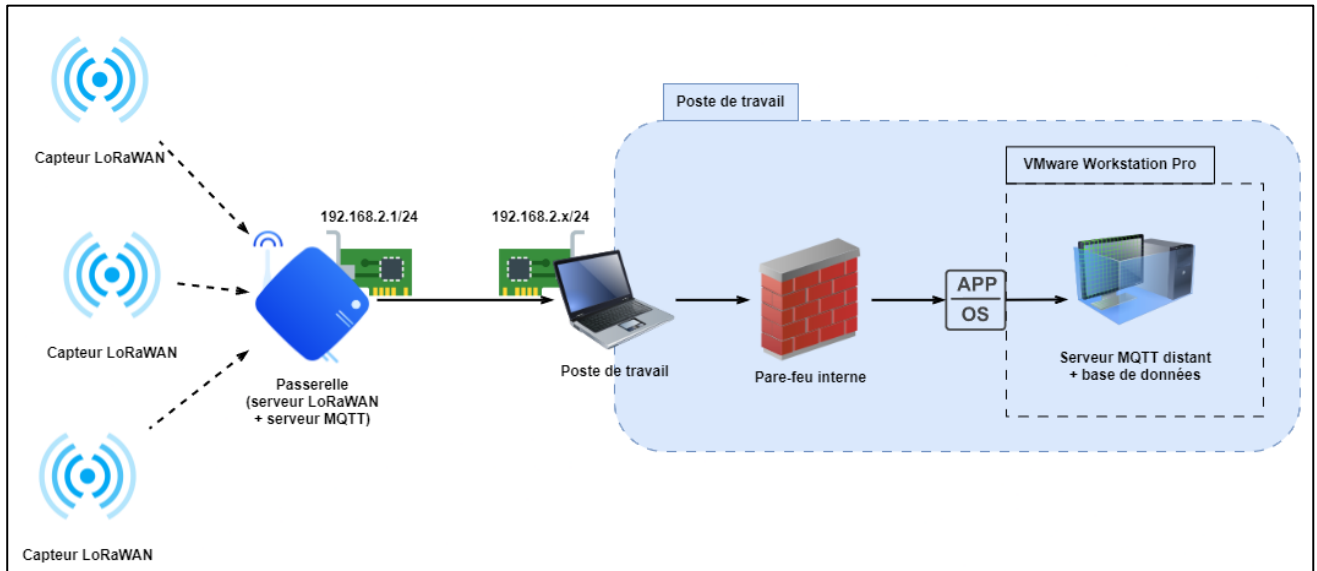


Figure 12: Schéma indiquant les flux de données sur la maquette établie pour la chaîne de transmissions de données.

Le poste de travail disposant d'un système d'exploitation Windows 11, il restait à autoriser explicitement les flux réseau sur le port transféré depuis le poste de travail (1883/tcp), en créant dans le pare-feu du poste de travail une règle dédiée pour le trafic entrant (Figure 13).

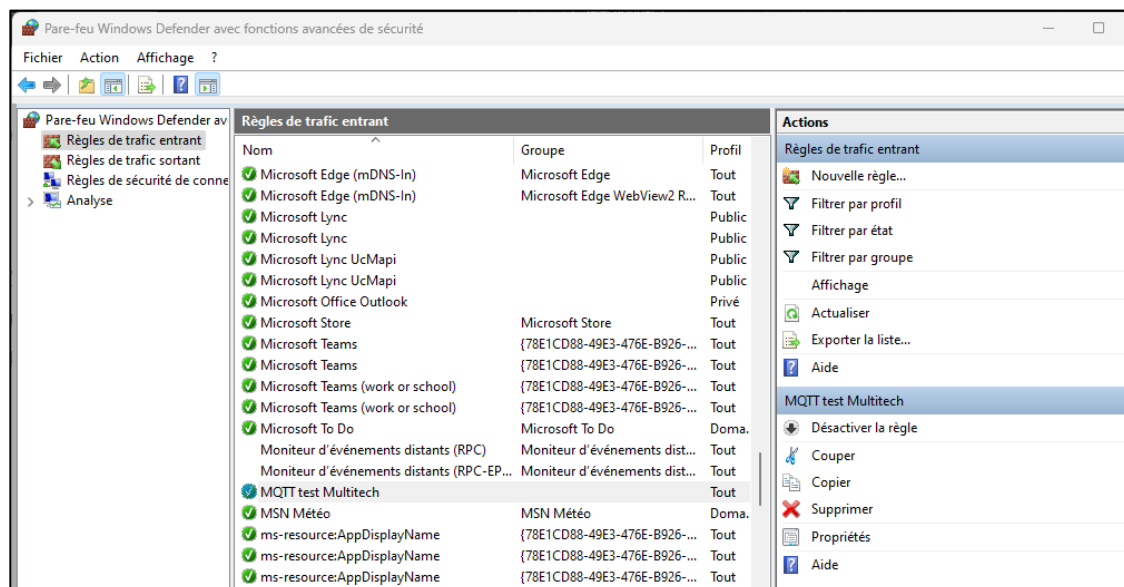


Figure 13: Création d'une règle de trafic entrant dans le pare-feu Windows Defender d'un hôte Windows 11.

Pour retransmettre les données diffusées sur le serveur MQTT intégré à la passerelle, on utiliserait un simple programme Python qui s'exécuterait en permanence sur la passerelle, surveillant les canaux de diffusion MQTT pertinents et retransmettant les données reçues vers le serveur MQTT distant, disponible sur la machine virtuelle et accessible depuis le port 1883/tcp du poste de travail.

3.3.2.6. Sécurisation des retransmissions de données

Pour sécuriser les retransmissions de données réalisées par le programme Python initialement utilisé, il resterait à assurer une certaine confidentialité des retransmissions tout en vérifiant l'identité des hôtes impliqués, et à ajouter au moins une méthode de contrôle d'accès au serveur MQTT recevant les données retransmises.

La mise en place d'échanges de données chiffrées, impliquant SSL/TLS, Secure Sockets Layer/Transport Layer Security, repose sur l'utilisation de certificats SSL/TLS, permettant de vérifier l'identité des hôtes (serveurs, clients) sur le réseau. Deux types de certificats peuvent être alors utilisés :

- Des certificats signés par une autorité de certification publique et vérifiée.
- Des certificats auto-signés, impliquant la création d'une autorité de certification privée.

Dans un contexte de mise en production, l'utilisation de certificats auto-signés est déconseillée. De plus, une machine utilisée pour administrer une autorité de certification racine (première ou plus haute autorité de certification dans une chaîne de certification) devrait être dédiée à l'administration de cette autorité de certification et déconnectée de tout réseau. En effet, les autorités de certification sont des éléments d'infrastructure de sécurité extrêmement critiques, émettant et vérifiant les titres d'identité des machines opérant sur Internet. Cependant, pour les besoins expérimentaux de ce projet, je décidais d'utiliser des certificats auto-signés et de créer une autorité de certification racine directement sur le serveur MQTT distant (présent sur la machine virtuelle dans le cas de la maquette réalisée).

Ainsi, par l'utilisation d'un certificat sur le serveur MQTT distant, les transmissions sur le réseau seraient d'une part confidentielles et reposeraient d'autre part sur une vérification de l'identité du serveur MQTT distant, assurant que le serveur MQTT distant contacté est bien celui qu'il prétend être et que le serveur MQTT distant déployé reçoit bien les données envoyées.

En ce qui concerne la manipulation de certificats SSL/TLS, après avoir créé une autorité de certification et généré un certificat servant de titre d'identité pour le serveur MQTT distant, il restait à importer sur la passerelle le certificat de l'autorité de certification utilisée pour signer le certificat du serveur MQTT distant afin que celle-ci puisse vérifier l'identité présentée par le serveur MQTT distant lors des échanges de données.

Par la suite, dans le cas de notre maquette, un nouveau transfert de port dédié à la réception de données MQTT échangées de manière sécurisée sur la machine virtuelle devait être mis en place, et une nouvelle règle dédiée était à ajouter dans le pare-feu du poste de travail pour explicitement autoriser le trafic entrant sur le nouveau port transféré.

Enfin, une modification de la configuration du service Mosquitto sur le serveur MQTT distant était nécessaire pour :

- Utiliser les certificats SSL/TLS produits pour sécuriser les échanges MQTT.
- Implémenter un moyen d'authentification en guise de contrôle d'accès au serveur MQTT.
- Rendre accessible au réseau un port associé aux échanges MQTT sécurisés.
- Rendre inaccessible au réseau tout port associé aux échanges MQTT non sécurisés.

Une modification du programme Python responsable de retransmettre les données reçues par la passerelle était également nécessaire pour :

- Utiliser les certificats SSL/TLS produits et ainsi établir des échanges de données sécurisés avec le serveur MQTT distant.
- Ajouter dans le programme les paramètres d'authentification nécessaires pour accéder au serveur MQTT distant.

3.3.2.7. Interprétation des données relevées

La chaîne de transmissions de données établie permettait donc à un serveur distant de recevoir les données relevées par les capteurs déployés. Il restait à présent à interpréter les données envoyées par

les capteurs, afin de pouvoir réellement les exploiter. Après quelques heures de recherche, je constatais que les trames reçues par la passerelle correspondaient à de l'hexadécimal encodé en base64. Une fois les trames traduites en hexadécimal, il restait ensuite à retrouver les données correspondantes, à l'aide d'un moyen de décodage. Le constructeur des capteurs fournissait alors des codecs écrits en JavaScript, permettant de décoder le contenu des trames hexadécimales reçues.

Cependant, l'idée d'utiliser des codecs écrits en JavaScript ne me plaisait pas : cela impliquait d'intégrer à la chaîne de transmissions de données un ensemble logiciel permettant d'interpréter du JavaScript pour ensuite interpréter les données reçues, le tout de manière automatisée. Ne maîtrisant que très peu le JavaScript et les environnements logiciel associés, et cherchant une solution simplifiée pour décoder les trames de données de manière automatisée, je décidais donc de réécrire en Python les codecs fournis par le constructeur.

Contrairement au JavaScript, je maîtrisais suffisamment le Python pour être apte à comprendre, écrire et structurer des programmes complexes. Me permettant d'éviter des jours de recherche et d'apprentissage portant sur un langage de programmation et son environnement logiciel, ce choix fut donc crucial pour gagner un temps considérable sur l'avancement du projet. De plus, des interpréteurs dédiés au langage Python sont installés de base sur la plupart des systèmes d'exploitation Unix/Linux, et sont facilement ajoutables aux systèmes d'exploitation Windows.

Cette démarche suivit donc les étapes suivantes :

1. Analyse et compréhension des codecs JavaScript originels. Pour cette étape, je m'aidais de ChatGPT, détaillant chaque bloc de programme, chaque fonction, chaque variable, et la manière dont ces éléments s'imbriquaient ensemble pour former un ensemble logique fonctionnel.
2. Réécriture des codecs à partir des informations fournies par ChatGPT. En me basant sur mes solides connaissances en Python, je pus donner une structure organisée et simplifiée aux codecs réécrits, notamment par l'utilisation de classes et de relations d'héritage.
3. Pour être certain que les codecs réécrits produisent la même interprétation des trames hexadécimales que les codecs originels, je comparais les résultats de décodage fournis par les codecs réécrits avec ceux fournis par les codecs originels, dont l'utilisation était rendue disponible en ligne par le constructeur des capteurs grâce un décodeur en ligne (Figure 14).

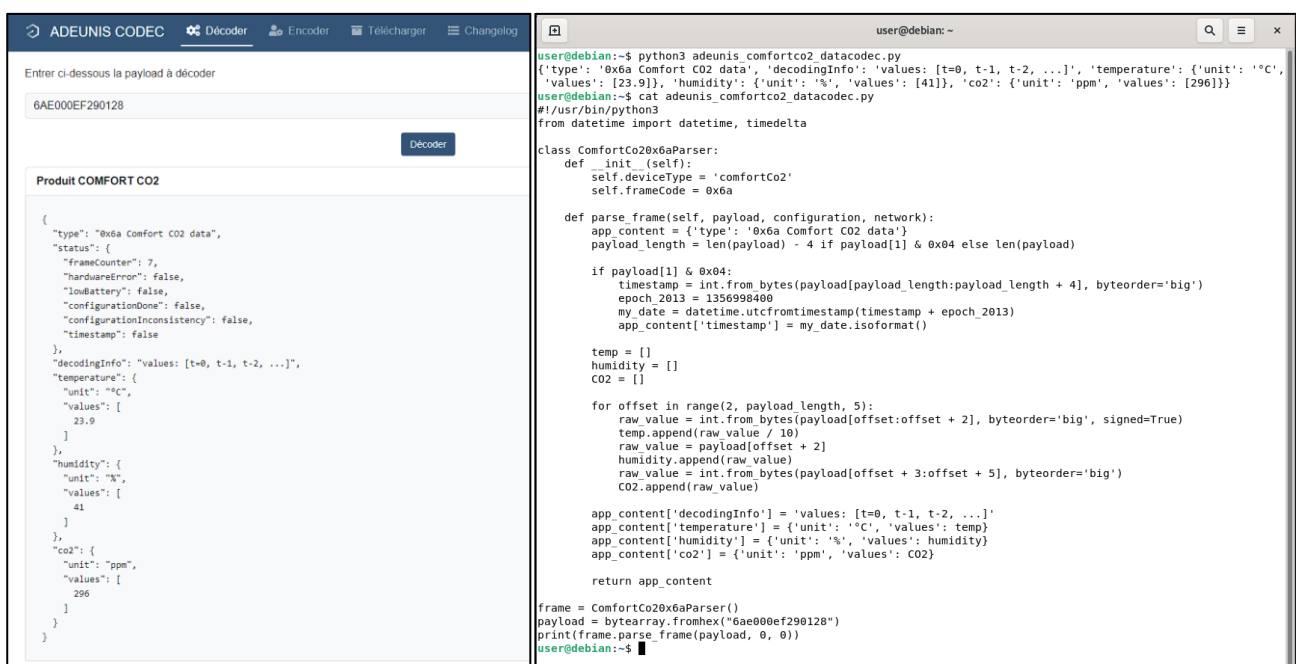


Figure 14: Comparaison du décodage d'une trame du capteur Adeunis Comfort CO2 avec les codecs originels (à gauche) et avec les premières versions des codecs réécrits (à droite).

Une fois entièrement réécrits, ces codecs furent alors simplement intégrés à la chaîne de transmission de données, en exploitant l'interpréteur Python déjà présent sur la passerelle. Le format de données

JSON, JavaScript Object Notation fut conservé pour aisément utiliser et extraire les données interprétées.

3.3.2.8. Intégration d'une solution d'affichage

A partir de la maquette réalisée, la première partie de la chaîne de transmission conçue était fonctionnelle et pouvait être déployée pour des usages de production, en altérant, selon les contraintes de déploiement, les variables de configuration associées.

Concernant la seconde partie de la chaîne de transmission de données, la solution logicielle d'affichage dynamique Touchify fut désignée pour contrôler l'affichage des données interprétées. Dans le but d'effectivement intégrer cette solution d'affichage au reste de la chaîne de transmission, je rencontrais et échangeais alors avec Anthony Luce, développeur et cofondateur de Touchify.

En reprenant alors la maquette d'expérimentation précédemment établie, nous préparions une nouvelle maquette, plus proche d'une situation de production. Le serveur MQTT distant et la solution d'affichage Touchify s'exécuteraient sur le même hôte. Je me chargeais alors de configurer et d'administrer celui-ci, installant un service Mosquitto, configurant un accès WebSocket (port local) au serveur MQTT, requis pour l'échange de données entre le serveur MQTT et Touchify, et retravaillant les opérations d'échange de données pour que les données traitées par Touchify soient au format JSON. Anthony Luce pu alors s'occuper de mettre en lien la source de données lui étant présentée (port WebSocket local donnant accès au serveur MQTT) avec les structures d'entrée de données de Touchify. L'affichage produit par Touchify était alors rendu sur l'écran associé à l'hôte administré, et les données s'actualisaient alors en temps réel. Bien qu'une base de données ait par la suite été installée sur l'hôte, aucun historique des données n'était affiché, selon les cadres d'exploitation initialement envisagés pour la chaîne de transmission de données réalisée.

Une chaîne de transmission de données complète basée sur l'écosystème technologique recherché au cours de ce projet était alors destinée à traiter des relevés de mesure (température, humidité, qualité de l'air) réalisés au Cercle des Nageurs de Marseille. Cependant, je ne pus voir le déploiement final de cette solution complète lors de ma présence en entreprise.

3.3.3 Outils et technologies utilisés

- Passerelle LoRaWAN Multitech Conduit MTCDDT Series.
- Capteurs Adeunis Comfort et Comfort CO2.
- Application *IoT Configurator LoRaWAN-Sigfox*, permettant de configurer et d'accéder aux informations de paramétrage des capteurs Adeunis.
- Protocoles de communication MQTT et SSH.
- Langage de programmation Python, version 3.8.
- Module Python *paho-mqtt*.
- Solution de virtualisation *VMware Workstation Pro* de VMware.
- Mécanismes réseau NAT et transferts de port.
- ChatGPT, agent conversationnel utilisant l'intelligence artificielle générative.
- Utilitaire logiciel *EasyRSA*, permettant de créer et d'administrer simplement des autorités de certification ainsi que les certificats dérivés.
- Systèmes d'exploitation Unix/Linux et Windows, spécifiquement Debian 12 et Windows 11 Pro.

3.3.4 Difficultés rencontrées et solutions apportées

Difficultés rencontrées :

- Les trames de données initialement reçues par les capteurs semblaient cryptiques, sans réelle interprétation possible. Les formats, technologies et méthodes d'encodage appliqués m'étaient inconnus, bien que je fus capable d'en distinguer une partie.

- Lors de certaines opérations d'extraction réalisées sur les données, supposément toujours retransmises selon le format de données JSON, l'extraction des champs de données fournis échouait, sans raison apparente. Il s'avéra en réalité que le format de données JSON n'était pas uniformément conservé au cours des transmissions, ce qui empêchait de communiquer correctement les données d'un bout à l'autre de la chaîne de transmission. Ce problème provenait en fait de guillemets simples utilisées à la place de guillemets doubles pour identifier les noms des champs donnés.

Solutions apportées :

- En prenant comme référence mes travaux effectués à l'Institut Universitaire de Technologie portant sur l'encodage et l'étude de formats de données, je parvins d'abord à identifier les encodages et formats de données utilisés, puis finalement à interpréter les données initialement transmises.
- En ce qui concernait les irrégularités de format JSON observées le long de la chaîne de transmission de données, il me suffisait de revoir et reprendre exactement les règles de syntaxe du format JSON, de les appliquer au niveau de chaque opération de transmission de données, puis de procéder finalement à une vérification des informations envoyées et reçues.

3.4 Bilan personnel et critique

3.4.1 Compétences développées

3.4.1.1. *Savoir-être*

- Communication et relation client : amené au plus proche des clients lors d'interventions, je pus observer les rapports et usages établis par mes pairs pour communiquer efficacement et toujours de manière respectueuse, dans un cadre professionnel.
- Travail en équipe : ayant régulièrement opéré en binôme, en présence de collègues lors d'interventions ou avec des partenaires, je pus amplement développer mes capacités à communiquer de manière efficace et à coordonner mes tâches avec mes pairs.
- Prise d'initiative : ayant atteint quelquefois le bout du cahier des charges qu'il m'était donné lors de mes activités et missions, je tentais tout de même d'avancer les projets qui restaient à finaliser.

3.4.1.2. *Savoir-faire*

- Adaptabilité technique : par mes interventions auprès de multiples clients, exploitant des technologies différentes (parfois non maîtrisées), et par l'étude de multiples systèmes employés à des fins spécifiques dans le cadre de développements de solutions de télécommunications, je pus développer mon adaptabilité concernant les divers sujets techniques présentés, en reposant mes perceptions et raisonnements sur les enseignements suivis à l'Institut Universitaire de Technologie.

3.4.1.3. *Savoir*

- Redécouverte des supports de transmissions : dans le cadre de mes interventions, je pus davantage explorer et comprendre les enjeux techniques et financiers portant sur l'utilisation d'appareils et circuits d'alimentation PoE et l'exploitation des réseaux sans fil (points d'accès sans fil, couverture réseau, ponts radio, connexion Internet par satellite, etc.)
- Dépannage et sens du service : la réalisation d'opérations de dépannage technique lors d'interventions me permis de plonger dans ce domaine essentiel à l'assurance inconditionnelle d'une continuité des opérations métier.

3.4.2 Analyse critique

Dans le cadre des projets menés, l'aspect fonctionnel et opérationnel restait l'objectif final. Cependant, les critères de sécurité associés aux choix réalisés et solutions proposées auraient pu être davantage étudiés.

En ce qui concernait l'étude et le déploiement d'un service de téléphonie centralisée, de plus amples efforts auraient pu être déployés pour :

- Analyser et comprendre de manière détaillée les mécanismes de sécurité sur lesquels repose le fonctionnement d'un Session Border Controller.
- Analyser et modéliser les risques induits par l'hébergement d'un service interne, nécessaire au bon fonctionnement et aux opérations de l'entreprise, chez une multinationale américaine, soumise au Patriot Act.

Et en ce qui concernait la conception et le déploiement d'une chaîne de transmission de données, de plus amples efforts auraient pu être déployés pour :

- Analyser et comprendre les paramètres de sécurité sur lesquels reposent les technologies de communication LoRaWAN et alternatives telles que Sigfox.
- Expérimenter avec les mécanismes de sécurité impliqués dans les échanges de données par LoRaWAN.
- Implémenter un mécanisme contrant les attaques par force brute sur le serveur MQTT distant.

3.4.3 Apport pour l'entreprise

En ce qui concerne mes contributions sur les projets présentés, bien qu'aucune mise en production n'ait été finalisée lors de ma présence en entreprise, chaque activité évoquée contribuera aux ressources internes de l'entreprise et à la création de valeur dans le cadre d'une offre de services plus large et aboutie.

Et par la rédaction de documentations convenables et de suivis écrits en parallèle de mes activités, les membres de l'entreprise désireux de poursuivre et d'exploiter les projets sur lesquels je pus avancer pourront, supposément, le faire sans trop de difficulté.

4 Conclusion

Cette expérience professionnelle de dix semaines fut très enrichissante. Elle me permis, d'une part, de découvrir le monde professionnel des télécommunications, ses acteurs et ses contraintes, et elle m'amena, d'autre part, à participer de manière concrète à ses enjeux, au travers des différentes missions qui me furent attribuées.

J'eus l'occasion de développer un intérêt accru pour les télécommunications et technologies sans fil, en suivant le déploiement de ponts radio, de points d'accès sans fil et d'une connexion Internet par satellite lors d'interventions. Je souhaiterais désormais explorer et comprendre davantage le domaine des émissions de fréquences, ainsi que les normes en matière de régulations et équipements associés, lors d'un futur parcours en école d'ingénieurs.

Je pus ressentir un certain sentiment d'accomplissement en créant de la valeur pour l'entreprise et trouver beaucoup de satisfaction dans la participation aux activités et relations internes de l'entreprise, ainsi que dans l'assistance technique de mes pairs.

Mon assiduité et le sérieux montré lors de mes missions ont conduit mes responsables en entreprise à vouloir prolonger mon expérience, en tant que futur étudiant alternant.

5 Remerciements

Je souhaiterais remercier les personnes ayant contribué à ma recherche de stage ainsi qu'au bon déroulement de celui-ci.

Mes remerciements s'adressent tout d'abord à Jean-Luc Damoiseaux et Delphine Rousseau, pour leur implication dans l'établissement d'une relation de proximité entre le département Réseaux & Télécommunications de l'IUT d'Aix-Marseille et les entreprises environnantes intéressées par ce même département, ainsi qu'à Corinne Houssain, pour ses encouragements et sollicitations constantes lors de ma recherche de stage.

A Patrice Elsermans, directeur technique opérationnel, et Chloé Charlier, assistante de direction, rencontrés lors du forum d'alternance organisé le 9 février 2024 par l'IUT d'Aix-Marseille et m'ayant permis de franchir pour la première fois les portes de Delta Sertec, dans le cadre d'un entretien à l'agence de Marseille. Leur accueil, bienveillant, chaleureux, familial même, restera gravé dans ma mémoire.

A Arnaud Brouquier, président directeur général, et Clément Trabut-Cussac, directeur commercial, pour la confiance accordée à mon camarade, Ethan Lasselle, et moi-même, au regard des missions nous ayant été attribuées et de l'autonomie dont nous bénéficîâmes.

A Sébastien Missenti, mon tuteur de stage, responsable de projets télécoms et réseaux, et Marc Martinez, tuteur de stage d'Ethan Lasselle, responsable du service hypervision et développement, pour leur confiance, leur écoute attentive, leurs conseils avisés, et le temps précieux qu'ils m'ont accordé tout au long de ce stage.

A Clément Marie, Tadjini Soilihi, Thomas Manuguerra et Théo Boisse-Soriano, étudiants alternants, pour leur attitude motivée et entraînante, m'ayant porté assistance lors de mes premiers jours de stage et ayant facilité mon intégration.

Je souhaiterais enfin remercier toute l'entreprise, et plus particulièrement :

Frédéric Juarez, responsable projets, et Laurent Canino, conducteur de travaux entreprises, pour leur professionnalisme et l'intensité qu'ils transmettaient à travers chaque projet.

Antoine Cloitre, responsable service client, pour son professionnalisme et sa pédagogie.

Lola Guiennet, membre du pôle interne Service Technique et Maintenance, pour son assistance et ses conseils.

Sans oublier Ethan Lasselle, camarade de formation, pour son sérieux, sa curiosité et sa persévérance.

6 Glossaire

6.1 Sigles

AES, Advanced Encryption Standard : algorithme de cryptographie utilisé pour sécuriser les données sensibles.

BLF, Busy Lamp Field : fonction téléphonique indiquant la disponibilité des lignes téléphoniques via des voyants lumineux.

BUT, Bachelor Universitaire de Technologie : diplôme français de niveau licence, orienté vers la technologie et les applications pratiques.

DHCP, Dynamic Host Configuration Protocol : protocole réseau qui attribue dynamiquement des adresses IP aux appareils connectés à un réseau.

EDF, Electricité de France : entreprise principale de production et de distribution d'électricité en France.

EUI, Extended Unique Identifier : identifiant unique étendu utilisé pour les dispositifs dans les réseaux, souvent dérivé de l'adresse MAC.

FTP, Foiled Twisted Pair : type de câble de réseau avec des paires de fils torsadés et une feuille métallique pour réduire les interférences.

FTTH, Fiber to the Home : technologie de réseau où la fibre optique est directement installée jusqu'au domicile de l'utilisateur.

FTTO, Fiber to the Office : technologie de réseau où la fibre optique est directement installée jusqu'aux bureaux.

GTB, Gestion Technique du Bâtiment : système de gestion intégrée des infrastructures techniques d'un bâtiment (éclairage, chauffage, etc.).

GTC, Gestion Technique Centralisée : système de contrôle centralisé pour la gestion des infrastructures techniques d'un bâtiment.

IoT, Internet of Things : réseau d'objets physiques connectés à Internet, capables de collecter et d'échanger des données.

IP, Internet Protocol : protocole de communication utilisé pour transférer des données sur un réseau.

IPTV, Télévision IP : système de distribution de signaux télévisés via les réseaux IP.

IRVE, Infrastructure de Recharge pour Véhicules Electriques : installations nécessaires pour recharger les véhicules électriques.

JSON, JavaScript Object Notation : format léger de données utilisé pour l'échange de données entre un serveur et une application web.

LED, Light Emitting Diode : composant électronique qui émet de la lumière lorsqu'un courant électrique le traverse.

LoRaWAN, LoRa Wide Area Network : protocole de réseau longue portée pour les dispositifs IoT à faible consommation d'énergie.

MAC, Media Access Control : sous-couche de la couche de liaison de données qui contrôle l'accès au média de transmission.

MQTT, Message Queuing Telemetry Transport : protocole de messagerie léger pour les réseaux à faible bande passante et haute latence, souvent utilisé dans l'IoT.

NAT, Network Address Translation : méthode de remappage d'une adresse IP à une autre en modifiant les informations d'adresse IP dans les en-têtes des paquets.

OSI, Open Systems Interconnection : modèle de référence pour la communication entre systèmes informatiques en sept couches.

OUI, Organizationally Unique Identifier : partie de l'adresse MAC attribuée à un fabricant spécifique pour identifier ses dispositifs réseau.

PME, Petite ou Moyenne Entreprise : entreprise de taille moyenne avec un nombre limité d'employés et un chiffre d'affaires modeste.

PMS, Property Management System : logiciel utilisé dans l'industrie hôtelière pour gérer les réservations, les check-ins/check-outs et d'autres opérations.

PoE, Power over Ethernet : technologie qui permet de transmettre de l'énergie électrique aux dispositifs via des câbles Ethernet.

R&D, Recherche & Développement : activités de recherche et de développement visant à innover et améliorer les produits ou services d'une entreprise.

RTC, Réseau Téléphonique Commuté : réseau de télécommunications traditionnel où les appels sont établis via des commutateurs téléphoniques.

SAS, Société par Actions Simplifiées : type de société en France caractérisé par une grande flexibilité de gestion et une responsabilité limitée des actionnaires.

SBC, Session Border Controller : dispositif qui sécurise et gère les flux de communications VoIP traversant les frontières des réseaux.

SDA, Sélection Directe à l'Arrivée : service téléphonique permettant de diriger directement les appels entrants vers un poste spécifique sans passer par un standard.

SIP, Session Initiation Protocol : protocole de signalisation utilisé pour établir, modifier et terminer des sessions multimédia sur IP.

SLA, Service Level Agreement : contrat définissant le niveau de service attendu entre un fournisseur de services et un client.

SSH, Secure Shell : protocole pour accéder de manière sécurisée à un ordinateur distant et exécuter des commandes.

SSL/TLS, Secure Sockets Layer/Transport Layer Security : protocoles de cryptage pour sécuriser les communications sur Internet.

SVI, Serveur Vocal Interactif : système téléphonique automatisé permettant aux utilisateurs d'interagir avec une base de données via la reconnaissance vocale ou les touches du téléphone.

TCP, Transmission Control Protocol : protocole de la couche transport du modèle OSI, garantissant la livraison fiable et en ordre des données entre les applications sur un réseau.

TVA, Taxe sur la Valeur Ajoutée : taxe à la consommation appliquée sur la valeur ajoutée aux biens et services.

URL, Uniform Resource Locator : adresse d'une ressource sur Internet.

USB, Universal Serial Bus : standard industriel pour les câbles, connecteurs et protocoles de connexion, de communication et d'alimentation entre ordinateurs et dispositifs électroniques.

VoIP, Voice over IP : technologie permettant de faire passer des appels vocaux via des réseaux IP.

WiFi, Wireless Fidelity : technologie de réseau sans fil permettant de connecter des dispositifs à Internet ou à un réseau local.

6.2 Termes techniques

Attaque par force brute : méthode de piratage informatique où un attaquant essaie toutes les combinaisons possibles de mots de passe pour accéder à un système.

Baie de brassage : meuble ou une armoire où sont organisés les câbles réseau pour connecter et gérer les équipements informatiques d'un bâtiment.

Base64 : encodage binaire en texte qui utilise 64 caractères ASCII, couramment utilisé pour transmettre des données sur Internet.

Certificat SSL/TLS : fichier électronique qui authentifie l'identité d'un site web et permet une connexion chiffrée entre le serveur et le navigateur.

Codec : dispositif ou programme permettant de coder ou décoder un signal ou un flux de données, souvent utilisé pour les fichiers audio et vidéo.

Console (web) : interface en ligne permettant aux administrateurs de gérer, configurer et surveiller des systèmes ou des applications web.

Courant faible : terme désignant les systèmes électriques à faible voltage utilisés pour les télécommunications, la sécurité et la domotique.

Eligibilité (liaisons fibres) : capacité ou qualification d'un lieu à être raccordé à un réseau de fibre optique pour des services Internet à haute vitesse.

Ethernet : technologie de réseau filaire standard pour les réseaux locaux permettant la communication de données entre les appareils.

Firmware : type de logiciel embarqué dans des dispositifs matériels pour les contrôler et leur permettre de fonctionner correctement.

Immotique : désigne la gestion automatisée des bâtiments, intégrant des systèmes pour contrôler les aspects comme l'éclairage, le chauffage et la sécurité.

Image système : copie complète de l'état d'un système informatique, incluant le système d'exploitation, les applications et les données.

JavaScript : langage de programmation de scripts couramment utilisé pour créer des pages web interactives.

Machine à affranchir : appareil utilisé pour imprimer des timbres-poste ou des marques postales directement sur les enveloppes ou les colis.

Paramètres d'usine : réglages par défaut d'un dispositif électronique, tels qu'ils étaient configurés lors de sa fabrication.

Patriot Act : Loi américaine adoptée en 2001 qui renforce les mesures de surveillance et de sécurité pour lutter contre le terrorisme.

Point d'accès : dispositif qui permet aux appareils de se connecter à un réseau sans fil.

Point de présence : installation physique où un fournisseur de services réseau place son équipement pour se connecter aux réseaux locaux.

Provisionnement : processus de préparation et d'équilibrage des ressources informatiques pour les rendre disponibles à l'utilisateur.

Python : langage de programmation interprété, connu pour sa lisibilité et sa facilité d'utilisation, largement utilisé dans divers domaines de développement.

RJ45 : type de connecteur standard utilisé pour les câbles réseau Ethernet.

Rocade (réseau) : réseau de distribution utilisé pour interconnecter plusieurs réseaux locaux au sein d'une même organisation.

Sigfox : fournisseur de services de connectivité IoT à bas débit et longue portée, utilisant un réseau mondial dédié aux objets connectés.

Transfert de port : redirection du trafic réseau entrant sur un port réseau spécifique vers un périphérique ou service particulier dans un réseau local.

WebSocket : protocole de communication bidirectionnel, full-duplex, utilisé dans les applications web pour permettre une interaction continue entre le navigateur web et le serveur en temps réel.

7 Sitographie

7.1 Soutien en intervention technique

1. Les Bories & Spa, *Les Bories & Spa*, visité le 8 juin 2024, <https://www.hotellesbories.com/>
2. Imagine Soft, *Solution hôtellerie – Imagine Soft*, visité le 8 juin 2024, <https://imaginesoft.fr/solution-hotellerie/>
3. Medialog, *Logiciel PMS hôtel innovant pour une gestion optimisée*, visité le 8 juin 2024, <https://www.medialog.fr/medialog-hotel>
4. AnyDesk, *L'application de bureau à distance rapide – AnyDesk*, visité le 9 juin 2024, <https://anydesk.com>
5. Set Club, *Set Club*, visité le 8 juin 2024, <https://setclub.com/>
6. Salon des Agricultures de Provence, *Salon des Agricultures de Provence*, visité le 8 juin 2024, <https://www.salondesagriculturesdeprovence.com/>
7. Bodin Vin de Cassis, *Cassis Bodin – Un domaine au cœur de la Provence*, visité le 9 juin 2024, <https://www.vins-cassis-bodin.fr/>

7.2 Etude et déploiement d'un service de téléphonie centralisée

8. 3CX, *Business Communication Solutions & Software – 3CX*, visité le 11 juin 2024, <https://www.3cx.com/>
9. 3CX, *Retrouvez la liste des prix de 3CX en fonction des éditions*, visité le 11 juin 2024, <https://www.3cx.fr/commander/tarifs/liste-prix/>
10. Google Cloud, *3CX – Marketplace – Console Google Cloud*, visité le 12 juin 2024, <https://console.cloud.google.com/marketplace/product/tcx-launcher/tcx-phone-system>
11. Google Cloud, *Compute Engine Service Level Agreement (SLA) – Google Cloud*, visité le 12 juin 2024, <https://cloud.google.com/compute/sla>
12. Amazon Web Services, *AWS Marketplace: 3CX Phone System*, visité le 12 juin 2024, <https://aws.amazon.com/marketplace/pp/prodview-f5qwwdeeq4uvm>
13. Amazon Web Services, *Accord sur les niveaux de service Amazon Compute*, visité le 12 juin 2024, <https://aws.amazon.com/fr/compute/sla/>
14. Amazon Web Services, *Tarification VPS, hébergement web – Amazon Lightsail*, visité le 12 juin 2024, <https://aws.amazon.com/fr/lightsail/pricing/>
15. Amazon Web Services, *Accord de niveau de service Instance et Stockage par bloc Amazon Lightsail*, visité le 12 juin 2024, <https://aws.amazon.com/fr/lightsail/sla-lightsail-instances-and-block-storage/>
16. Microsoft Azure, *Microsoft Azure Marketplace*, visité le 12 juin 2024, <https://azuremarketplace.microsoft.com/en-gb/marketplace/apps/3cx-pbx.3cx-pbx>
17. Microsoft, *Licensing Documents*, visité le 12 juin 2024, <https://www.microsoft.com/licensing/docs/view/Service-Level-Agreements-SLA-for-Online-Services>
18. DigitalOcean, *3CX – DigitalOcean Marketplace 1-Click App*, visité le 12 juin 2024, <https://marketplace.digitalocean.com/apps/3cx>
19. DigitalOcean, *Droplet Pricing – DigitalOcean*, visité le 12 juin 2024, <https://www.digitalocean.com/pricing/droplets>
20. DigitalOcean, *DigitalOcean Droplet Service Level Agreement (SLA) :: DigitalOcean Documentation*, visité le 12 juin 2024, <https://docs.digitalocean.com/products/droplets/details/sla/>
21. Vultr, *3CX Phone System – Vultr Marketplace One-Click Application – Vultr.com*, visité le 12 juin 2024, <https://www.vultr.com/marketplace/apps/3cx/>
22. Vultr, *High Performance, High Frequency, Bare Metal, Affordable Cloud Computing – Vultr.com*, visité le 12 juin 2024, <https://www.vultr.com/pricing/>
23. Vultr, *Service Level Agreement – Vultr.com*, visité le 12 juin 2024, <https://www.vultr.com/legal/sla/>

24. Ikoula, VPS 3CX – [www.ikoula.com](https://www.ikoula.com/fr/vps-3cx-solution-de-communication-entreprise), visité le 12 juin 2024, <https://www.ikoula.com/fr/vps-3cx-solution-de-communication-entreprise>
25. Ikoula, VPS – *Nos solutions flexibles, performantes et économiques*, visité le 12 juin 2024, <https://www.ikoula.com/fr/vps>
26. Max Brenner, Raspberry Pi Power Consumption Calculator, visité le 12 juin 2024, <https://pi-power-calc.shipit.dev/>
27. EDF Entreprises, Tarif bleu : contrat électricité tarif réglementé – EDF Entreprises, visité le 12 juin 2024, <https://www.edf.fr/entreprises/electricite-gaz/tarifs-reglementes/tarif-bleu>
28. Dolibarr, Dolibarr ERP & CRM Open Source – Suite Web pour les entreprises, visité le 13 juin 2024, <https://www.dolibarr.org/>
29. Unyc, unyc – *L'opérateur qui unifie les communications d'entreprise*, visité le 13 juin 2024, <https://www.unyc.io/>
30. Unyc, Plateforme Atlas – unyc, visité le 13 juin 2024, <https://www.unyc.io/espace-partenaire/atlas/>

7.3 Conception et déploiement d'une chaîne de transmission de données

31. The Things Network, LoRaWAN – *The Things Network*, visité le 16 juin 2024, <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/>
32. Multitech, MultiTech Conduit Cellular Gateways, visité le 16 juin 2024, <https://multitech.com/all-products/cellular/cellular-gateways/multitech-conduit/>
33. Multitech, MultiTech Developer Resources – Downloads, visité le 16 juin 2024, <https://www.multitech.net/developer/downloads/>
34. Multitech, MultiTech Developer Resources – mLinux, visité le 16 juin 2024, <https://www.multitech.net/developer/software/mlinux/>
35. Multitech, MultiTech Developer Resources – MQTT Messages, visité le 16 juin 2024, <https://www.multitech.net/developer/software/loralora-network-server/mqtt-messages/>
36. Adeunis, Capteur IoT de Qualité Air Intérieur – Adeunis, visité le 16 juin 2024, <https://www.adeunis.com/produit/qai-co2-temperature-humidite/>
37. Adeunis, COMFORT : capteur de température et humidité IoT – Adeunis, visité le 16 juin 2024, <https://www.adeunis.com/produit/comfort-temperature-humidite-2/>
38. Adeunis, Configurez simultanément vos capteurs IoT – Adeunis, visité le 16 juin 2024, <https://www.adeunis.com/device-management/configuration-des-capteurs/>
39. Adeunis, Adeunis Codec – Decoder, visité le 16 juin 2024, <https://codec-adeunis.com/decoder>
40. Adeunis, Adeunis Codec – Download, visité le 16 juin 2024, <https://codec-adeunis.com/download>
41. Mosquitto, Eclipse Mosquitto, visité le 16 juin 2024, <https://mosquitto.org/>
42. PyPI, paho-mqtt – PyPI, visité le 16 juin 2024, <https://pypi.org/project/paho-mqtt/>
43. Python Documentation, ssl – TLS/SSL wrapper for socket objects – Python 3.12.4 documentation, visité le 16 juin 2024, <https://docs.python.org/3/library/ssl.html>
44. Python Documentation, json – JSON encoder and decoder – Python 3.12.4 documentation, visité le 16 juin 2024, <https://docs.python.org/3/library/json.html>
45. Python Documentation, base64 – Base16, Base32, Base64, Base85 Data Encodings – Python 3.12.4 documentation, visité le 16 juin 2024, <https://docs.python.org/3/library/base64.html>
46. Touchify, Affichage Dynamique & Interactif – Animez vos Ecrans – Touchify, visité le 18 juin 2024, <https://www.touchify.io/>
47. Cercle des Nageurs de Marseille, Cercle des Nageurs de Marseille – Notre objectif : propager parmi nos membres, et plus particulièrement parmi la jeunesse, l'enseignement du sport, visité le 18 juin 2024, <https://www.cnmarseille.com/>