

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTRE DE L'ENSEGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA**  
**RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**Université BLIDA 1**

Institut d'Aéronautique et études Spatiales

Laboratoire des Sciences Aéronautique

**Projet de fin d'études**

**En vue de l'obtention du diplôme de Master en Aéronautique**

**Spécialité : Télécommunication Spatiale**

**THÈME :**

**Optimisation de la bande passante d'une transmission  
par satellite en utilisant la technologie Carrier-In-Carrier**

Encadré par :

- **KOUIDER ELOUAHED BOULENOUAR**

- **SALIM DJEZZAR**

Présenté par :

- **DJIAR OUSSAMA ELAMINE**

- **ZOUGHBI ALA**

**Année universitaire : 2018/2019**

*Nous tenons à remercier et glorifier en premier Dieu, pour nous avoir donné la santé, la volonté et le courage, sans lesquels ce travail n'aurait pas été réalisé.*

*Nous voulons remercier évidemment notre encadreur de mémoire qui nous soutenu et merveilleusement encadré. Merci Mr. **DJEZZAR SALIM**. Vos conseils avisés nous ont souvent permis d'avancer dans nos travaux et surtout merci pour ta confiance et ta franchise.*

*Nos vifs remerciements vont à Madame. « Azine », qui a accepté de présider le jury de ce mémoire.*

*Nos respectueuses reconnaissances vont également à Mr. « Zabout », Mr. « Kouider » de nous avoir fait l'honneur d'examiner ce travail.*

*Merci aux parents et toute la famille, et aux amis qui nous ont toujours soutenu. Merci à toutes et tous.*

*Dédicace :*

*Je dédie ce modeste écrit à :*

*Mes chers parents.*

*Mon frère **Zaidi** et sa femme.*

*Mon frère **Houssam***

*Ma petite nièce **Rokaya***

*Groupe **Metidja** +*

*Mes professeurs et mes amis*

*Alla*

*Dédicace :*

*Je dédie ce modeste écrit à :*

*Mon grand-père et mes chers parents.*

*Ma tante*

*Mes frères et ma sœur.*

*Groupe Metidja +*

*Mes professeurs et mes amis.*

*Oussama*

*Nous dédions cet humble travail à l'esprit de notre cher ami*  
**DAOUD Sami**, décédée le 27 Novembre 2018.

نسأل الله أن يتغمده برحمته الواسعة

## Résumé

Ce travail consiste à la conception d'un programme pour simuler les bilans de liaison sur le satellite de télécommunication Algérien Alcomsat-1, d'abord un état de l'art de transmission des données via satellite et via Alcomsat-1, Ensuite une présentation d'un réseau satellitaire et les équipements nécessaires pour la mise en place d'une station VSAT, puis l'étude théorique du bilan de liaison, enfin, une présentation générale des applications conclues.

## ملخص

هدفنا من هذه المذكرة هو محاكاة و تصميم برنامج حساب ميزانية الوصلة للقمر الاصطناعي الجزائري Alcomsat-1 ، نبتدأ مشروعنا بدراسة تحويل المعلومات عبر الأقمار الإصطناعية و لقد أعطينا فكرة حول هذا القمر الإصطناعي الجزائري، بعد ذلك درسنا مفاهيم الشبكات VSAT و المعدات اللازمة لإنشاء محطته ، ثم تحدثنا عن الدراسة النظرية لميزانية الوصلة ، و في الأخير قدمنا فكرة عامة عن برنامجنا و قمنا بتجريبه و مقارنة نتائجه مع نتائج حقيقية.

## ABSTRACT

This work consists to the conception of program to simulate link budget of the Algerian communication satellite Alcomsat-1, first we start with an overview about data transmission via satellite and via Alcomsat-1 specially, then we represent VSAT network and the necessary equipment for the setup of the VSAT station, also the theory studies of the link budget, finally general presentation of our application.

# Table des matières

---

Introduction Générale.....	01
<b>Chapitre I : Généralités sur les communications par satellites</b>	
Introduction.....	03
<b>I.1. Architecture d'un système de communications par satellite. ....</b>	<b>03</b>
<b>I.1.1 Le segment terrien .....</b>	<b>04</b>
<b>I.1.2 Le segment spatial .....</b>	<b>04</b>
<b>I.2 Le satellite.....</b>	<b>04</b>
<b>I.3 Les avantages des satellites.....</b>	<b>05</b>
<b>I.4 Constitution d'un satellite de télécommunications. ....</b>	<b>05</b>
<b>I.4.1 la plate-forme .....</b>	<b>05</b>
<b>I.4.2 La charge utile d'un satellite .....</b>	<b>06</b>
<b>I.5 Satellite ALCOMSAT 1 .....</b>	<b>07</b>
<b>I.5.1 Service offert par satellite ALCOMSAT 1.....</b>	<b>07</b>
<b>I.5.2 Station de contrôle au sol.....</b>	<b>07</b>
<b>I.5.3 Conception du satellite de communication Alcomsat-1.....</b>	<b>08</b>
<b>I.5.4 Capacités de communication Alcomsat-1.....</b>	<b>08</b>
<b>I.5.5 Couverture d'un satellite Alcomsat-1.....</b>	<b>08</b>
<b>I.5.6 Bouquets de satellite Alcomsat-1.....</b>	<b>09</b>
<b>I.6 Topologies réseaux.....</b>	<b>10</b>
<b>I.7 Mode d'exploitations .....</b>	<b>10</b>
<b>I.7.1 Architecture point-à-point.....</b>	<b>11</b>
<b>I.7.2 Architecture multipoints.....</b>	<b>11</b>
Conclusion.....	11

## **Chapitre 02 : Le réseau VSAT**

Introduction .....	12
<b>II.1 Définition VSAT.....</b>	<b>12</b>
<b>II.2 Configurations du réseau VSAT.....</b>	<b>12</b>
<b>II.3 Configuration d'un réseau VSAT maillé (MESH) .....</b>	<b>13</b>
<b>II.4 Configuration d'un réseau VSAT maillé.....</b>	<b>14</b>
<b>II.5 Configuration d'un réseau VSAT en forme d'étoile (STAR) .....</b>	<b>14</b>
<b>II.6 Réseaux VSAT en forme d'étoile (bidirectionnels) .....</b>	<b>15</b>
<b>II.7 liaison point à point .....</b>	<b>16</b>
<b>II.8 Délai de transmission .....</b>	<b>16</b>

# Table des matières

---

<b>II.9</b>	l'architecture d'une station VSAT.....	17
<b>II.9.1</b>	La Partie ODU (Outdoor Unit) .....	18
<b>II.9.1.1</b>	Le LNB.....	19
<b>II.9.1.2</b>	LE BUC .....	19
<b>II.9.1.3</b>	Les antennes .....	20
<b>II.9.1.4</b>	Les Câbles Coaxiaux : .....	21
<b>II.9.1.4</b>	L'OMT VSAT.....	22
<b>II.9.1.5</b>	Le Feed Horn.....	23
<b>II.9.2</b>	La Partie IDU (Indoor Unit) .....	23
<b>II.9.2.1</b>	Câble RJ-45.....	23
<b>II.9.2.2</b>	Le Modem.....	24
<b>II.9.2.2.1</b>	Modem CDM 625.....	24
<b>II.10</b>	Technologie Carrier-in-Carrier .....	25
<b>II.10.1</b>	Comment fonctionne Carrier-in-Carrier? .....	26
<b>II.10.3</b>	Conception de lien Carrier-in-Carrier.....	27
<b>II.10.4</b>	Liens limités en puissance.....	27
<b>II.10.5</b>	Optimisation des compromis.....	28
<b>II.10.6</b>	Bande passante louée.....	28
	Conclusion .....	28
<b>CHAPITRE III : Etude théorique de bilan de liaison</b>		
	Intriduction.....	29
<b>III.1</b>	Bilan de liaison hertzienne.....	29
<b>III.1.1</b>	Définition .....	29
<b>III.1.2</b>	Sensibilité d'un récepteur .....	30
<b>III.1.3</b>	Expression de la puissance reçue .....	30
<b>III.1.4</b>	Condition de bon fonctionnement d'une liaison hertzienne .....	31
<b>III.2.</b>	Les zones de rayonnement d'une antenne .....	31
<b>III.2.1</b>	Zone de Rayleigh .....	32
<b>III.2.2</b>	Zone de Fresnel .....	32
<b>III.2.3</b>	Zone de Fraunhofer .....	33
<b>III.3</b>	Bilan de liaison satellitaire .....	34
<b>III.3.1</b>	Bilan de Liaison pour la voie montante .....	34
<b>III.3.2</b>	Bilan de liaison pour la voie descendante .....	35
<b>III.3.3</b>	Bilan de liaison global.....	36



# Table des matières

---

<b>III.4</b> Température de bruit d'un système .....	<b>37</b>
<b>III.4.1</b> Température de bruit d'une antenne de station sol.....	<b>37</b>
<b>III.4.1.1</b> Ciel clair .....	<b>37</b>
<b>III.4.1.2</b> Pluie .....	<b>37</b>
Conclusion.....	<b>38</b>

## **CHAPITRE IV : Simulation**

Introduction.....	<b>39</b>
<b>IV.1</b> Interface principale de notre projet.....	<b>39</b>
<b>IV.2</b> Calculateur d'élévation de l'antenne.....	<b>39</b>
<b>IV.2.1</b> Présentation d'interface de notre programme Calculateur d'élévation.....	<b>39</b>
<b>IV.2.2</b> Le fonctionnement de notre Programme Calculateur d'élévation.....	<b>41</b>
<b>IV.2.2.1</b> Les bonnes coordonnées GPS. ....	<b>41</b>
<b>IV.2.2.2</b> Coordonnées par Wilaya .....	<b>44</b>
<b>IV.3</b> Bilan de liaison Version 1.....	<b>47</b>
<b>IV.3.1</b> Présentation d'interface de notre programme Bilan de liaison Version 1.....	<b>47</b>
<b>IV.3.2</b> Le fonctionnement de notre Programme Bilan de liaison.....	<b>57</b>
<b>IV.3.2.1</b> Liaison SCPC .....	<b>57</b>
<b>IV.3.2.2</b> Liaison Carrier In Carrier.....	<b>67</b>
Conclusion.....	<b>68</b>

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Composante d'un système de télécommunications par satellite.....	<b>03</b>
<b>Figure I.2</b> : Schéma synoptique de constitution de satellite.....	<b>05</b>
<b>Figure .I.3</b> Schéma synoptique de plate-forme de satellite.....	<b>05</b>
<b>Figure I.4</b> : satellite ALCOMSAT 1.....	<b>07</b>
<b>Figure .I.5</b> : Couverture de satellite Alcomsat-1(la pire de liaison descendante).....	<b>08</b>
<b>Figure .I.6</b> : Couverture de satellite Alcomsat-1(G/T de liaison montante.....	<b>09</b>
<b>Figure I.7</b> : Schéma synoptique de Mode d'exploitation.....	<b>10</b>
<b>Figure II.1</b> : Définition de la liaison montante et descendante.....	<b>13</b>
<b>Figure II.2</b> : schéma que représente le réseau VSAT maille.....	<b>13</b>
<b>Figure II.3</b> : Réseaux VSAT en forme d'étoile (STAR) .....	<b>15</b>
<b>FigureII.4</b> : Réseaux VSAT en forme d'étoile (unidirectionnelle) .....	<b>15</b>
<b>FigureII.5</b> : lien VSAT à VSAT via satellite.....	<b>16</b>
<b>FigureII.6</b> : Schéma Global d'une station terrestre.....	<b>18</b>
<b>Figure II.7</b> : Le composant de partie ODU.....	<b>18</b>
<b>FigureII.8</b> : Schéma de LNB.....	<b>19</b>
<b>FigureII.9</b> : Schéma de BUC .....	<b>19</b>
<b>FigureII.10</b> : défirent type des antennes.....	<b>20</b>
<b>FigureII.11</b> : la composition de câble coaxiale .....	<b>21</b>
<b>FigureII.12</b> : Orthogonal Mode Transducer .....	<b>22</b>
<b>FigureII.13</b> : Le Feed Horn.....	<b>23</b>
<b>FigureII.14</b> : Câble RJ-45.....	<b>24</b>
<b>FigureII.15</b> : Le modem satellite avancé CDM-625.....	<b>24</b>

---

<b>FigureII.16</b> : Lien Full Duplex traditionnel.....	<b>25</b>
<b>FigureII.17</b> : Liaison duplex avec un transporteur double dans Carrier-in-Carrier .....	<b>25</b>
<b>FigureII.18</b> : fonctionne de Carrier-in-Carrier.....	<b>26</b>
<b>FigureIII.1</b> Schéma de principe d'une liaison hertzienne.....	<b>29</b>
<b>FigureIII.2</b> Les zones de rayonnement d'une antenne.....	<b>32</b>
<b>FigureIII.3</b> Zone de Fresnel avec obstacle.....	<b>33</b>
<b>FigureIII.4</b> Liaison Satellitaire .....	<b>34</b>
<b>FigureIII.5</b> Etude de la liaison descendante .....	<b>35</b>
<b>Figure IV.1</b> L'interface de notre principal projet.....	<b>39</b>
<b>Figure IV.2</b> L'interface de calculateur d'élévation d'antenne.....	<b>40</b>
<b>Figure IV.3</b> L'interface de calculateur d'élévation d'antenne avec les coordonnées GPS.....	<b>42</b>
<b>Figure IV.4</b> : Le logiciel SAA calcul d'élévation d'antenne à Lakhdaria.....	<b>43</b>
<b>Figure IV.5</b> : Le logiciel SAA calcul d'élévation d'antenne à Ouargla.....	<b>43</b>
<b>Figure IV.6</b> : L'affichage de paramètres d'antenne au niveau de Lakhdaria.....	<b>44</b>
<b>Figure IV.7</b> : l'élévation aux niveaux de Blida et Ouargla.....	<b>45</b>
<b>Figure IV.8</b> Logiciel SAA l'élévation au niveau de Blida .....	<b>46</b>
<b>Figure IV.9</b> : Logiciel SAA l'élévation au niveau d'Ouargla.....	<b>46</b>
<b>Figure IV.10</b> : L'interface d'application de bilan de liaison.....	<b>47</b>
<b>Figure IV.11</b> : Le message d'erreur pour fréquence Tx en bande Ku erronée du site 1 .....	<b>47</b>
<b>Figure IV.12</b> Le message d'erreur pour fréquence Tx en bande Ku erronée du site 2.....	<b>48</b>
<b>Figure IV.13</b> L'interface explicatif de la technologie Carrier-In-Carrier .....	<b>48</b>
<b>Figure IV.14</b> Le schéma de RollOff.....	<b>49</b>
<b>Figure IV.15</b> Le message d'erreur valeur erronée de FEC.....	<b>50</b>

---

<b>Figure IV.16</b>	L'interface qui affiche le tableau des valeurs EB/N0 pour VersaFEC.....	<b>50</b>
<b>Figure IV.17</b>	Le message d'erreur pour fréquence Rx en bande L erronée du site 2 .....	<b>54</b>
<b>Figure IV.18</b>	L'interface de calcul et de comparaison des prix de station VSAT .....	<b>57</b>
<b>Figure IV.19</b>	L'interface bilan de liaison pour Lakhdaria OuarglaSCPC.....	<b>58</b>
<b>Figure IV.20</b>	La plateforme de configuration de modem CDM-625.....	<b>59</b>
<b>Figure IV.21</b>	Configuration SCPC de Modem CDM-625 au niveau de Lakhdaria.....	<b>60</b>
<b>Figure IV.22</b>	Configuration SCPC de Modem CDM-625 au niveau d'Ouargla .....	<b>60</b>
<b>Figure IV.23</b>	L'image de Spectrum mode SCPC .....	<b>61</b>
<b>Figure IV.24</b>	L'extraire de C/N de Spectrum mode SCPC .....	<b>61</b>
<b>Figure IV.25</b>	L'image d'ASAL de signal SCPC.....	<b>62</b>
<b>Figure IV.26</b>	L'interface bilan de liaison pour Lakhdaria-Ouargla CNC.....	<b>63</b>
<b>Figure IV.27</b>	Configuration CNC de Modem CDM-625 au niveau de Lakhdaria.....	<b>64</b>
<b>Figure IV.28</b>	Configuration CNC de Modem CDM-625 au niveau d'Ouargla.....	<b>65</b>
<b>Figure IV.29</b>	L'image de Spectrum mode CNC .....	<b>65</b>
<b>Figure IV.30</b>	L'extraire de C/N de Spectrum mode CNC.....	<b>66</b>
<b>Figure IV.31</b>	L'image d'ASAL de signal CNC.....	<b>67</b>
<b>Figure IV.32</b>	Comparaison de prix de station VSAT entre deux configurations.....	<b>68</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Comparaison entre les différents topologies.....	<b>10</b>
<b>Tableau II.1</b> : Les fréquences des bandes utilisées dans le satellite .....	<b>17</b>
<b>Tableau II.2</b> : Les différents types d'antenne.....	<b>21</b>
<b>Tableau IV.1</b> : Description de l'interface de calculateur d'élévation d'antenne .....	<b>40</b>
<b>Tableau IV.2</b> : Position par coordonnées GPS .....	<b>41</b>
<b>Tableau IV.3</b> : Position par coordonnées topographique .....	<b>44</b>
<b>Tableau IV.4</b> : La marginal valeur de la technologie Carrier In Carrier .....	<b>56</b>
<b>Tableau IV.5</b> : Description de l'interface de calcul de bilan de liaison SCPC .....	<b>57</b>
<b>Tableau IV.6</b> : Les résultats de notre deuxième simulation SCPC .....	<b>58</b>
<b>Tableau IV.7</b> : Description de l'interface de calcul de bilan de liaison CnC .....	<b>62</b>
<b>Tableau IV.8</b> : Les résultats de notre deuxième simulation Cinc .....	<b>63</b>

## **Glossaries des acronyms**

---

### **Glossaries des acronyms**

**VSAT** : Very Small Aperture Terminale

**RCVO** : Receive Only

**PFE** : Projet De Fin D'étude

**LM-3B** : LongMarch-3B

**ASAL** : Agence Spatiale Algérienne

**TT & C** : Tracking telemetry and command

**SD** : Définition Standard

**DVB-S** : Digital Video Broadcasting - Satellite

**QPSK** : Quaternary Phase Shift keying

**FEC** : Forward Error Correction

**HD** : Haute Définition

**EPTV** : Établissement public de télévision

**AWGN** : Additive white Gaussian noise

**RF** : Radio frequency

**FSS** : service fixe par satellite

**ODU** : Outdoor unit

**IDU** : Indoor unit

**LAN** : Local Area Network

**LNB** : Low Noise Block

**BUC** : Block Up Converter

**LBA** : Logical block addressing

**SCPC** : single Channel per carrier

## **Glossaries des acronyms**

---

**ATS** : Algérie Télécom Spatiale

**OMT** ; Orthogonal Mode Transducer

**LDPC** : low-density parity-check code

**HPA** : High Power Amplifier

**PIRE** : Puissance isotrope rayonné équivalente

**GPS** : Global positioning system

**SAA** : Satellite Antenne Alignment

**PEB** : Power Equivalent Bandwidth

**FEC** : Forward Error Correction

**OBO** : Output Back Off

**IBO** : Input Back Off

**OFDM** : Orthogonal Frequency Division Multiplexing

**LDPC** : low density parity check

## Introduction générale

Dans le domaine de télécommunication spatiale les recherches sont toujours basées sur l'optimisation c.-à-d. avoir une meilleure qualité de service avec le cout des équipements le moins cher.

Le calcul de bilan d'une liaison satellitaire est le seul moyen qui permet au ingénieur de connaitre la configuration la plus optimale en terme de cout et en terme d'efficacité.

L'Algérie, a franchi le domaine satellitaire en 2002 avec son premier satellite d'observation, ALSAT-1 et en 2017, ALCOMSAT-1 est le premier satellite qui assure les télécommunications pour les services fixes par satellite FSS (Fixed Satellite Services) en bande Ku et Ka et pour les services télédiffusion BSS (Broadcast Satellite Services) en bande Ku,

Les ingénieurs de trafic de données par satellite (Payload Engineer) utilisent l'application libre pour le calcul de bilan de liaison (Satmaster), Ce qui nous a amené à travailler sur la conception d'une application dédiée pour le Satellite Algérien Alcomsat-1, que nous allons présenter au cours de ce mémoire de fin d'étude ainsi que deux autres applications ; l'une pour le calcul d'élévation de l'antenne et l'autre pour le calcul des couts des stations.

Ce mémoire est composé de quatre chapitres

Le premier chapitre présente une étude théorique de transmission des données via satellite, ainsi, on va définir les notions de base nécessaires dans toute télécommunication satellitaire, aussi, on donne une description du satellite Algérien de télécommunication Alcomsat-1.

Dans le deuxième chapitre, nous nous intéresserons à la définition et aux différentes topologies utilisées dans les réseaux VSAT, ensuite, nous passerons en revue l'architecture d'une station VSAT, enfin, nous allons donner un aperçu sur la nouvelle technologie d'optimisation.



Dans le troisième chapitre, nous étudierons théoriquement le bilan de liaison entre le satellite et une station sol. Ensuite nous allons passer en revue les équations nécessaires pour l'étude théorique d'un bilan de liaison, ainsi que les paramètres influents sur cette liaison.

Le quatrième chapitre, présente l'étude pratique de notre mémoire, nous présenterons l'interface de nos applications, le calculateur d'élévation et le bilan de liaison version 1, ensuite nous testerons leurs fonctionnements en introduisant des configurations bien définis, et les comparés avec des tests réels.

Enfin, le mémoire se terminera par une conclusion générale.

***CHAPITRE I***  
***Télécommunication par***  
***Satellite***

## Introduction

La télécommunication par satellite est la plus mature des applications spatiales. Depuis ses débuts, il y a 57 ans, avec le lancement de Telstar en 1962 et de Syncom en 1963, Satcom n'a cessé de croître.

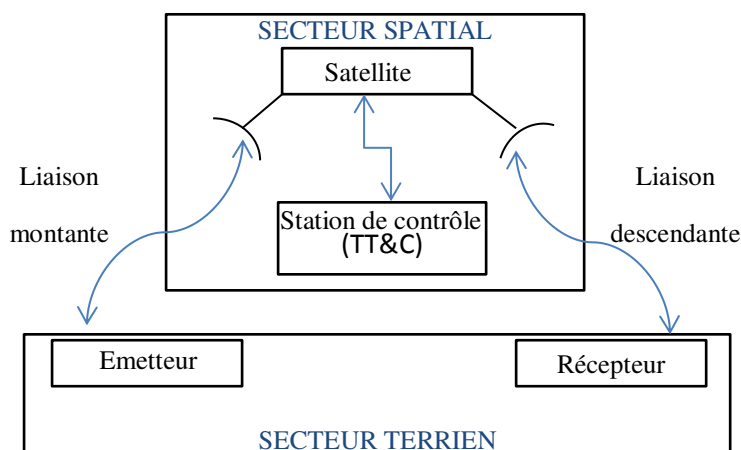
Les nouvelles technologies et les exigences des clients ont modifié la manière dont les satellites de communication sont utilisés. Des satellites plus puissants et l'utilisation de fréquences plus élevées ont permis à de nombreuses personnes de recevoir des signaux directs du ciel. Au début du 21<sup>e</sup> siècle, plus de 100 millions de foyers européens étaient en mesure de regarder des programmes de télévision transmis par satellite, soit par réception directe, soit par le biais de systèmes de distribution par câble.

Dans ce premier chapitre, nous allons introduire la transmission des données via satellite que repose sur un segment spatiale et un segment terrien, Tout en commençant par le segment spatial, nous allons définir les notions de base nécessaires dans toute télécommunication satellitaire. Enfin, nous allons parlera du satellite Algérien de télécommunication Alcomsat-1.

### I.1. Architecture d'un système de communications par satellite.

Un système de télécommunication par satellite s'articule autour d'un secteur terrien (les stations terriennes), assurant la connexion au réseau terrestres et d'un secteur spatiale (le satellite) réalisant la jonction entre les stations. [5]

La figure (I.1) illustre les différentes composantes d'un système de télécommunications par satellite.



**Figure I.1 :** Composante d'un système de télécommunications par satellite.

### **I.1.1 Le segment terrien**

Le secteur terrien est constitué par l'ensemble des stations terriennes, le plus souvent est raccordées aux terminaux des usagers par un réseau terrestre ou directement dans le cas de petites stations (VSAT : Very Small Aperture Terminale) et de stations mobiles. Les stations se distinguent par leur taille, qui varie selon le type de trafic (téléphone, télévision, données). On distingue en outre les stations fixes, les stations transportables, les stations mobiles. Certaines stations à la fois émettrices et réceptrices. D'autres sont réceptrices uniquement (RCVO : receive only) : c'est le cas par exemple des stations de réception d'un système de radiodiffusion par satellite, ou d'un système de distribution de signaux de télévision ou de données .

Le coût des stations terriennes peut être déterminant dans un réseau de communication pour lequel la sécurité, la disponibilité et la fiabilité des équipements sont des exigences de premier ordre. [6,2]

### **I.1.2 Le segment spatial**

Le segment spatial comprendra évidemment les satellites, mais également les installations au sol nécessaires pour maintenir les satellites en état de fonctionnement, appelées installations de poursuite, de télémétrie et de commande (TT & C). Dans de nombreux réseaux, il est courant d'utiliser une station terrestre à des fins de TT & C.

Avant de s'intéresser à la transmission via satellite, nous donnerons ici quelque notion sur les satellites et leur particularités. Tout d'abord, il est strictement nécessaire de définir quelles sont les caractéristiques du satellite avant d'établir des transmissions. [1]

## **I.2 Le satellite.**

Un satellite artificiel est un objet fabriqué par l'être humain, envoyé dans l'espace à l'aide d'un lanceur et gravitant autour d'une planète ou d'un satellite naturel. Il existe plusieurs types comme les satellites d'observation, le satellite d'aide à la navigation. Satellites de astronomies et le satellite de télécommunication, dans notre PFE on s'intéresse à ce dernier. [7]

### I.3 Les avantages des satellites de télécommunication

- Le recouvrement de grandes zones géographiques.
- La possibilité d'avoir des accès et des distinctions multiples pour une même Communication.
- La possibilité de déploiement rapide des services.
- L'adaptation à des régions sans infrastructure de télécommunications.
- Retransmettre les ondes: la radio, la télévision, le téléphone, internet. Les ondes qu'ils envoient se déplacent à 300 000 km/s.

### I.4 Constitution d'un satellite de télécommunications.

Le satellite est constitué d'une charge utile et d'une plate-forme comme la montre la figure :

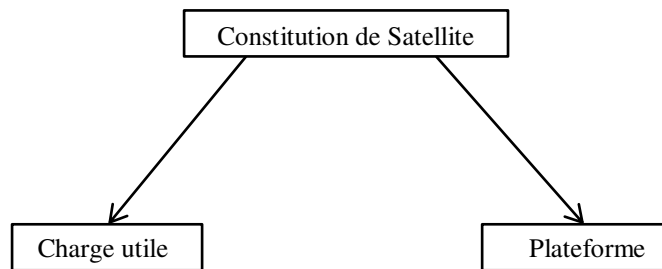


Figure I.2 : Schéma synoptique de constitution de satellite.

#### I.4.1 La plate- forme :

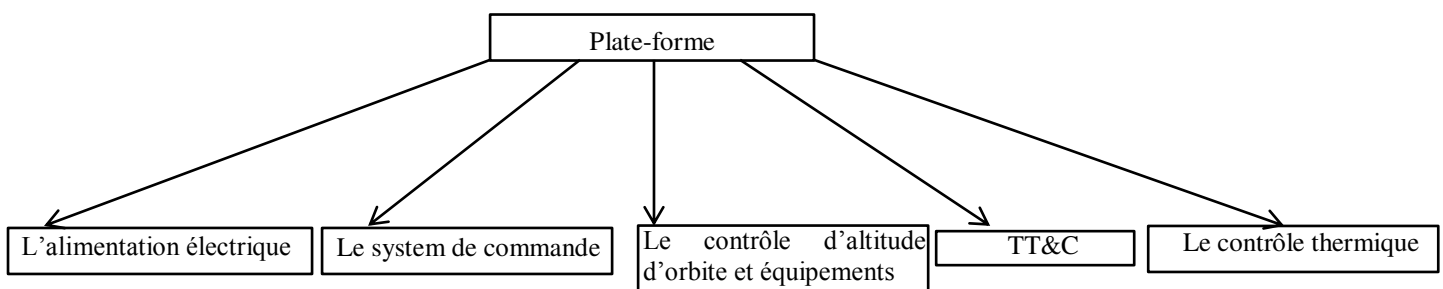


Figure I.3 : Schéma synoptique de plate-forme de satellite.

La plate-forme, appelée module de service ou bus dans le segment spatial rassemble les servitudes d'un satellite, c'est-à-dire les éléments de navigation et de structure, tels que:

#### - L'alimentation électrique :

Tous les satellites ont besoin d'énergie pour fonctionner. Le soleil fournit l'énergie nécessaire pour la plupart des satellites en orbite .Ce système d'alimentation en énergie utilise des panneaux solaires pour convertir la lumière en énergie électrique, ainsi que des batteries pour la stocker, et un système de distribution qui transmet l'énergie électrique à chaque instrument.

**- Le système de commande:**

Ce système contrôle toutes les fonctions du satellite. C'est le cerveau du satellite. Le cœur de ce système s'appelle le Flight Computer. Il Ya aussi un processeur d'entrée/sortie qui redirige toutes les données de contrôle qui entrent et sortent du flight computer.

**- Le contrôle d'altitude et d'orbite et les équipements de propulsion :**

Ce système permet au satellite de rester stable et de toujours être orienté dans la bonne direction. Le satellite possède des capteurs qui lui permettent de connaître son orientation. De plus, le satellite a aussi besoin de pouvoir se déplacer pour corriger sa position, c'est pourquoi il possède un mécanisme de propulsion. La performance du système de contrôle d'altitude dépend de l'utilisation du satellite. Un satellite utilisé pour faire des observations scientifiques a besoin d'un système de contrôle d'une plus grande précision que pour un satellite de télécommunications.

**- Les équipements de poursuite, de télémétrie et de télécommande :**

**TT&C:** ces équipements se composent d'un système émetteur, d'un système récepteur, ainsi que de diverses antennes permettant de relayer les informations entre la Terre et le satellite. La base de contrôle au sol utilise ces équipements pour transmettre de nouvelles instructions à l'ordinateur du satellite. Ce système permet aussi de transmettre des images ou autres formes de données enregistrées, aux ingénieurs se trouvant sur terre. [1]

**- Le contrôle thermique:**

le système protège tous les équipements du satellite des dommages dus à l'environnement spatial. En orbite, un satellite est exposé à de brutaux changements de températures (de  $-120^{\circ}$  lorsque le satellite est dans l'obscurité, jusqu'à  $180^{\circ}$  lorsque le satellite se trouve exposé au soleil). Le contrôle de la température utilise une unité de distribution de chaleur ainsi qu'un système de couverture thermique pour protéger les équipements électroniques du satellite de ces brusques changements de température.

**I.4.2. La charge utile d'un satellite**

Représente tous les équipements permettant au satellite à réaliser la fonction antennes réfléchissant le signal TV ou le signal téléphonique. Cette charge utile comporte un ensemble de canaux, chaque canal étant équipé d'un amplificateur d'émission opérant dans une sous bande particulière de la bande totale allouée au satellite. Cette disposition permet d'offrir, dans chaque canal, une puissance en rapport avec l'état de développement technologique des amplificateurs micro-ondes embarqués, alors que la mise en œuvre d'un seul amplificateur pour l'ensemble de la bande conduirait à une dissémination de la puissance de cet amplificateur.

## I.5 Satellite ALCOMSAT- 1

Lancé le 11 décembre 2017, par le lanceur chinois LongMarch-3B (LM-3B), depuis la base de lancement de Xichang en Chine, ALCOMSAT 1 est un satellite de télécommunication géostationnaire de construction chinoise destiné à l'Algérie, conçu pour fournir des émissions de télévision, un accès Internet à large bande, un enseignement à distance et des services de communication d'urgence. Construit pour une durée de vie de 15 ans, Alcomsat-1 dispose de 33 répéteurs opérationnels: 19 en bande Ku, 12 en bande Ka et deux en bande L. Le satellite est exploité par l'Agence spatiale algérienne (ASAL). [13,12]



Figure I.4 : satellite ALCOMSAT 1

### I.5.1 Service offert par satellite ALCOMSAT 1

Le satellite fournira des services tels que télécommunications, Internet haut débit, transmission audio, radiodiffusion et télévision, navigation par satellite, éducation à distance, ainsi que des communications d'entreprise et d'urgence.

### I.5.2 Station de contrôle au sol

Les opérations d'Alcomsat-1 sont contrôlées à partir de deux stations de contrôle au sol, l'une dans la province algérienne de Médéa (Bouguezoul) pour la gestion de la bande ka et l'autre à Bouchaoui pour la gestion de la bande Ku et la bande L.

Le segment sol est doté d'un dispositif d'antenne de 1.2 m et d'un équipement de pointe pour garantir des communications par satellite fiables aux utilisateurs.

### I.5.3 Conception du satellite de communication Alcomsat-1

Alcomsat-1 est basé sur la plate-forme de satellites de télécommunication de troisième génération DFH-4. Il mesure 2,36 m de long, 2,1 m de large et 3,6 m de haut. Il a une durée de vie de 15 ans.

Avec une masse au lancement de 5 225 kg, le satellite transporte 588 kg de charge utile, ce qui nécessite environ 8 kW de puissance. Le satellite est équipé de deux panneaux solaires déployables, capables de produire 10,5 kW d'électricité.

### I.5.4 Capacités de communication Alcomsat-1

Le satellite de télécommunication Alcomsat-1 comprend un total de 33 répéteurs, dont 19 répéteurs en bande Ku, 12 en bande Ka et deux répéteurs en bande L. Neuf des 19 répéteurs en bande Ku sont utilisés pour diffuser des chaînes de télévision et des chaînes de radio numériques, tandis que les autres sont utilisés pour assurer des communications dans les régions d'Afrique du Nord, notamment la Tunisie, le nord du Tchad et le nord du Soudan, à une vitesse de 2 Mbps.

### I.5.5 Couverture d'un satellite Alcomsat-1

Ce satellite, positionné sur la position orbitale 24,8 Ouest, a une couverture qui s'étend sur tout le territoire national ainsi que sur la zone du Grand Maghreb et du Sahel, précise la même source.

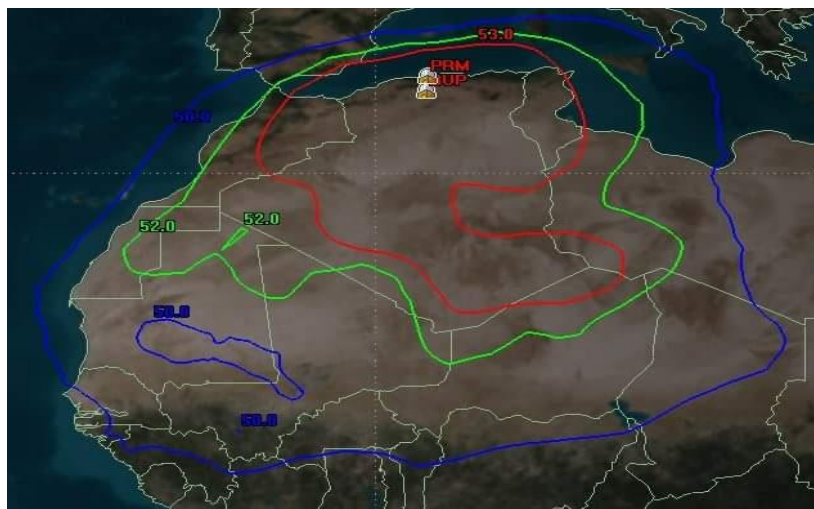


Figure .I.5 : Couverture de satellite Alcomsat-1 (la pire de liaison descendante).





Figure .I.6 : Couverture de satellite Alcomsat-1(G/T de liaison montante)

### I.5.6 Bouquets de satellite Alcomsat-1

Il existe deux bouquets disponible

➤ **Le premier bouquet** en format SD (Définition standard) est composé de cinq (05) programmes TV, ainsi que 57 services radios ainsi que le fil APS.

Pour ce qui est des paramètres techniques, la fréquence de réception est 12240 MHz, avec polarisation horizontale et modulation DVB-S QPSK, FEC 2/3, alors que le débit symbole est 30 Mb.

➤ **Le deuxième bouquet** est composé des cinq (05) programmes TV, à savoir Programme national en format Haute Définition (HD).

S'agissant des paramètres techniques de ce bouquet ; la fréquence de réception est 12160 Mhz, avec une polarisation horizontale et une modulation DVB-S2 8PSK, FEC 2/3 alors que le débit symbole est 30 Mb. [10]

## I.6 Topologies réseaux

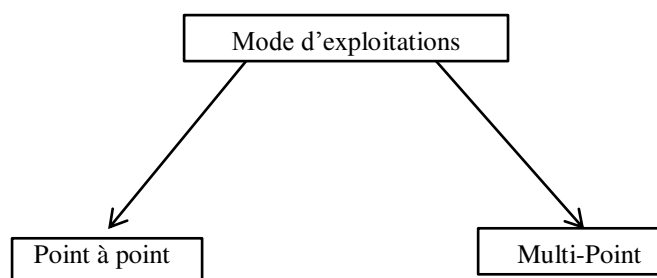
C'est la disposition des différents nœuds d'un réseau, c'est essentiellement la structure topologique d'un réseau. La représentation graphique des liens entre les nœuds donne une forme géométrique qui peut être utilisée pour décrire la topologie physique du réseau. Voici une comparaison entre les diverses topologies. [16]

**Tableau I.1** Comparaison entre les différents topologies.

Topologie	Avantages	Inconvénient
<b>Bus</b>	Il est facile à manipuler et à mettre en œuvre. Il convient mieux aux petits réseaux.	La longueur du câble est limitée. Cela limite le nombre de stations pouvant être connectées. Cette topologie de réseau ne peut fonctionner correctement que pour un nombre limité de nœuds.
<b>Anneau</b>	Les données transmises entre deux nœuds passent par tous les nœuds intermédiaires. Un serveur central n'est pas requis pour la gestion de cette topologie.	La défaillance d'un seul nœud du réseau peut entraîner la défaillance de l'ensemble du réseau. Le mouvement ou les modifications apportées aux nœuds du réseau affectent les performances de l'ensemble du réseau.
<b>Etoile</b>	En raison de sa nature centralisée, la topologie offre une simplicité d'exploitation. Cela permet également d'isoler chaque périphérique du réseau.	Le fonctionnement du réseau dépend du fonctionnement du hub central. Par conséquent, la défaillance du concentrateur central entraîne la défaillance de tout le réseau.
<b>Maillée</b>	L'agencement des nœuds de réseau est tel qu'il est possible de transmettre des données d'un nœud à plusieurs autres en même temps.	L'arrangement dans lequel chaque nœud de réseau est connecté à tous les autres nœuds du réseau, de nombreuses connexions ne servent à rien. Cela conduit à la redondance de nombreuses connexions réseau.

## I.7 Mode d'exploitations des satellites de télécommunication

En télécommunication, nous avons deux modes d'exploitations comme le montre le schéma synoptique suivant : [17]



**Figure I.7** Schéma synoptique de Mode d'exploitation.

### **I.7.1 Architecture point-à-point**

En télécommunication, une architecture point-à-point est une connexion communicante entre deux nœuds ou Endpoints.

C'est par exemple le cas de la communication entre un capteur radio et un concentrateur de données RF où les informations émanant du module ne peuvent être entendues que par le concentrateur. [17]

### **I.7.2 Architecture multipoints**

Ceci est contrasté avec un point-à-multipoints ou une topologie de communication d'émission, dans laquelle beaucoup de nœuds peuvent recevoir des informations transmises par un unique nœud. Cette architecture est utilisée pour Internet ou la voix sur IP via la radio ou des fréquences à micro-ondes dans la gamme de gigahertz.

Le point-à-multipoints est l'approche la plus populaire pour les communications sans fil qui ont un grand nombre de nœuds.

Le point-à-multipoints suppose généralement qu'il y a une station de base à laquelle des modules ou capteurs distants soient connectés. [16]

## **Conclusion**

Les systèmes de télécommunications par satellites sont bien adaptés pour assurer, en complémentarité avec les réseaux terres- terres, des services de télécommunications à la fois régionaux et mondiaux. Cette complémentarité doit se comprendre aussi bien en termes de sécurisation de réseaux terrestres qu'en termes de fourniture de services spécialisés dans des contextes économiquement moins avantageux par des moyens terrestres.

Les satellites offrent l'avantage d'une couverture étendue favorisant les liaisons à longue distance, et pour cela ce sont utilisés largement dans le domaine de télécommunication, nous avons parlé aussi dans ce premier chapitre de satellite ALOCOMSAT-1 dans le quel notre PFE se base, dans le chapitre suivant nous allons présentera le réseau VSAT.

***CHAPITRE II***  
***Le réseau VSAT***

## Introduction

Dans ce chapitre, nous nous intéresserons à la définition et les différentes topologies de configuration de réseau, ensuite nous nous adresserons à l'architecteur de station VSAT et les différents équipements INDOOR et OUTDOOR de notre réseau VSAT, enfin nous expliquerons la nouvelle technologie de system d'optimisation Carrier In Carrier proposé par le constructeur COMTECH.

### II.1 Définition VSAT

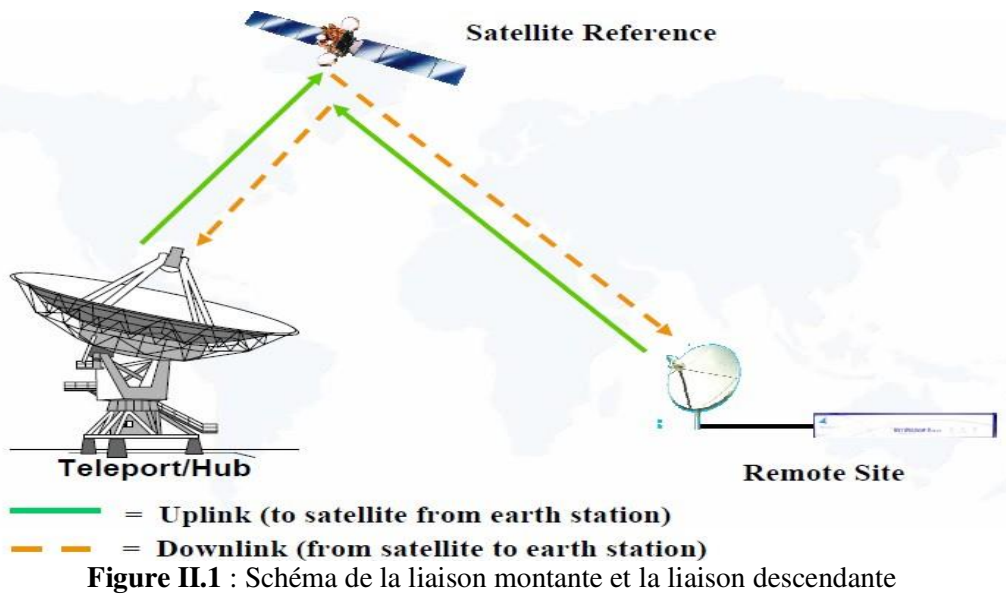
VSAT est l'acronyme de (Very Small Aperture Terminal), a été une marque pour une petite station terrienne commercialisée dans les années 1980 par « Telcom General » aux Etats-Unis.

Le mot terminal est utilisé pour désigner les équipements des utilisateurs (téléphones, télécopieur, téléviseur, ordinateur, etc.) qui génère ou accepte le trafic qui est véhiculé dans les réseaux VSAT.

- Les VSAT sont des petites stations terriennes avec une antenne de petite diamètre inférieur, d'où vient le nom de « petite ouverture » qui se réfère à la zone de l'antenne.
- Les stations VSAT ne peuvent pas supporter les liaisons par satellite avec de grandes capacités, mais ils sont un bon marché.
- Les coûts de fabrication sont de l'ordre de 1000 \$ à 5000 \$, facile à installer n'importe où, sur le toit d'un bâtiment ou sur un parking. Les coûts d'installation sont habituellement moins de 2000\$.
- Par conséquent, VSAT sont en deçà des capacités financières des petites sociétés en nom collectif.

### II.2 Configurations du réseau VSAT

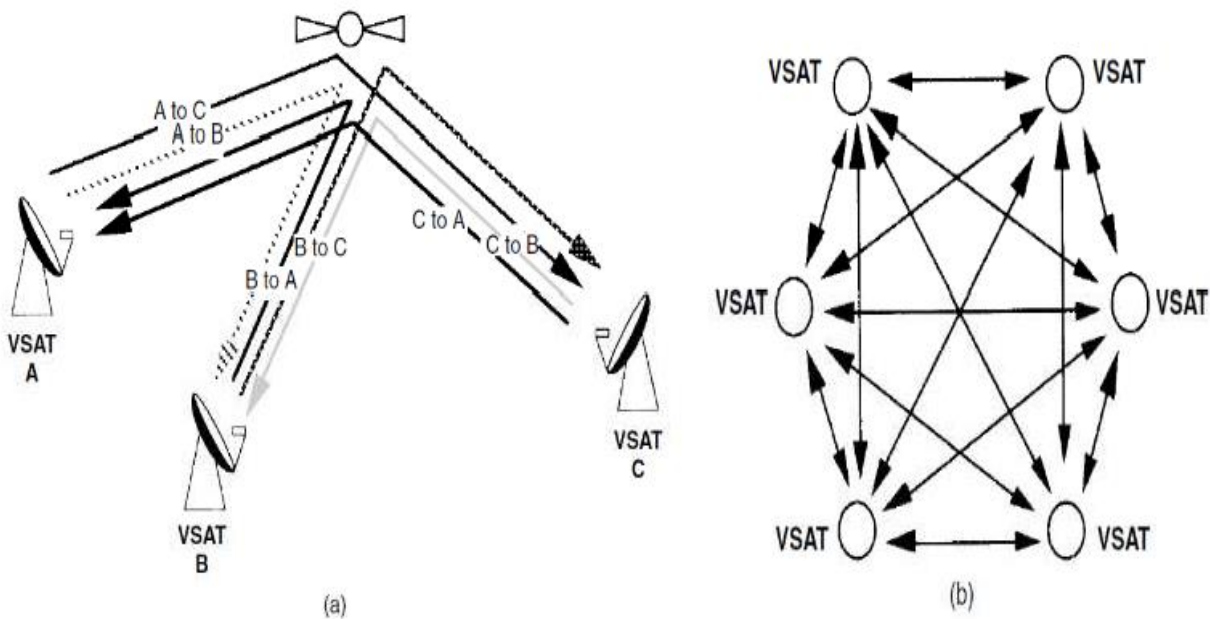
Les réseaux VSAT sont reliés par des liens radio (RF) via un satellite, avec une liaison montante qui désigne la transmission de la station au satellite et une liaison descendante du satellite à la station (voir la Figure ci-dessous).



Le lien global d'une station à une autre station, parfois appelé hop, il consiste également une liaison montante et autre descendante. [4]

### II.3 Configuration d'un réseau VSAT maillé (MESH)

Comme tous les VSATs sont visibles pour le satellite, les porteuses peuvent être relayées par le satellite de n'importe quel VSAT à tout autre VSAT dans le réseau, comme illustré dans la figure ci-dessous. [4]



**Figure II.2 : schéma que représente le réseau VSAT maille.**

Exemple avec trois VSAT (flèches représentent les flux de l'information véhiculée par

- (a) les porteuses relayées par le satellite.
- (b) représentation simplifiée d'un plus grand nombre de VSAT (flèches représentent les liaisons bidirectionnelles constitué de deux supports se déplaçant dans des directions opposées).

## II.4 Configuration d'un réseau VSAT maillé

En ce qui concerne les réseaux VSAT maillés, comme le montre la figure précédente, on doit prendre en compte les limitations suivantes :

- atténuation de puissance de porteuses typiquement de 200 dB sur la liaison montante et descendante en raison de la distance vers et depuis un satellite géostationnaire;
- limitation de puissance radio fréquence du transpondeur du satellite, typiquement de quelques dizaines de watts;
- la petite taille du VSAT, limite sa puissance de transmission et sa sensibilité de réception.

En conséquence de ce qui précède, il se pourrait bien que les signaux démodulés à la réception VSAT ne correspondent pas à la qualité demandée par les terminaux d'utilisateurs. C'est pourquoi des liens directs du VSAT à VSAT ne peuvent être acceptables.

## II.5 Configuration d'un réseau VSAT en forme d'étoile (STAR)

La solution pour les limitations citées précédemment est alors d'installer dans le réseau une station de plus grande qu'un VSAT, appelé le HUB. La station centrale a une taille d'antenne plus grande que celle d'un VSAT, soit de 4 m à 11 m, ce qui entraîne un gain plus élevé que celui d'une antenne VSAT typique, et est équipé d'un émetteur plus puissant.

L'architecture du réseau devient en forme d'étoile comme illustré dans les figures ci- dessous. Les liens du HUB vers VSAT sont nommés liens Outbound. Ceux du VSAT vers HUB sont Nommés liens Inbound. [4]

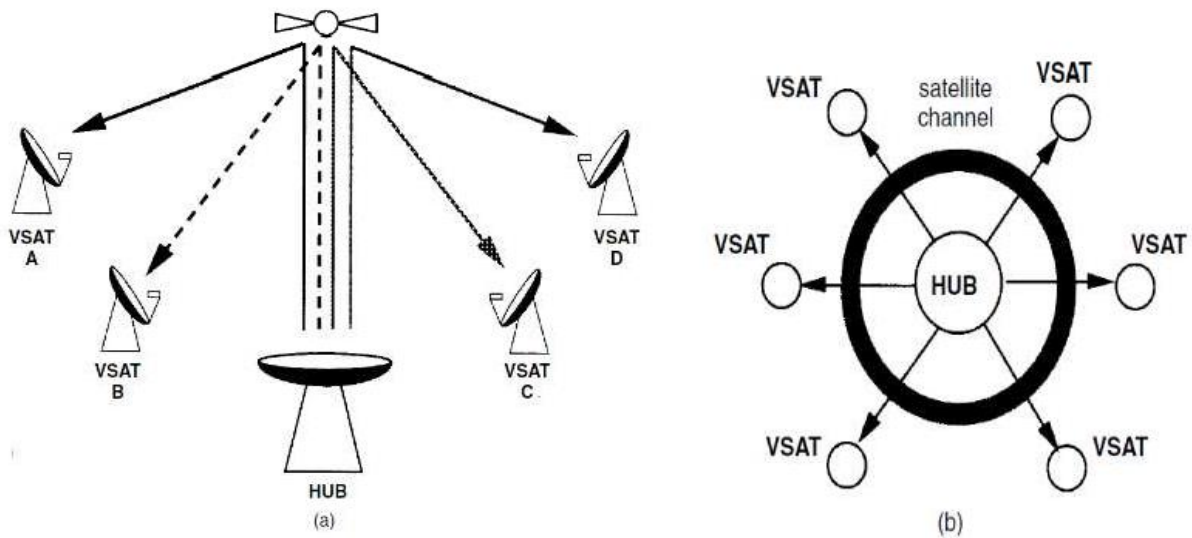


Figure II. 3 : Réseaux VSAT en forme d'étoile (STAR)

### II.6 Réseaux VSAT en forme d'étoile (bidirectionnelle)

Les deux liens Inbound et Outbound se composent de deux voies, montante et descendante, vers et depuis le satellite. Il existe deux types de réseaux VSAT en forme d'étoile:

- ✓ Réseaux bidirectionnels, où VSAT peut transmettre et recevoir.
- ✓ Réseaux unidirectionnels, où le HUB transmet des porteuses aux VSAT de réception seulement.

Cette configuration prend en charge les services de radiodiffusion à partir d'un site central où le HUB est situé aux endroits isolés où les VSAT de réception seulement sont installés. [4]

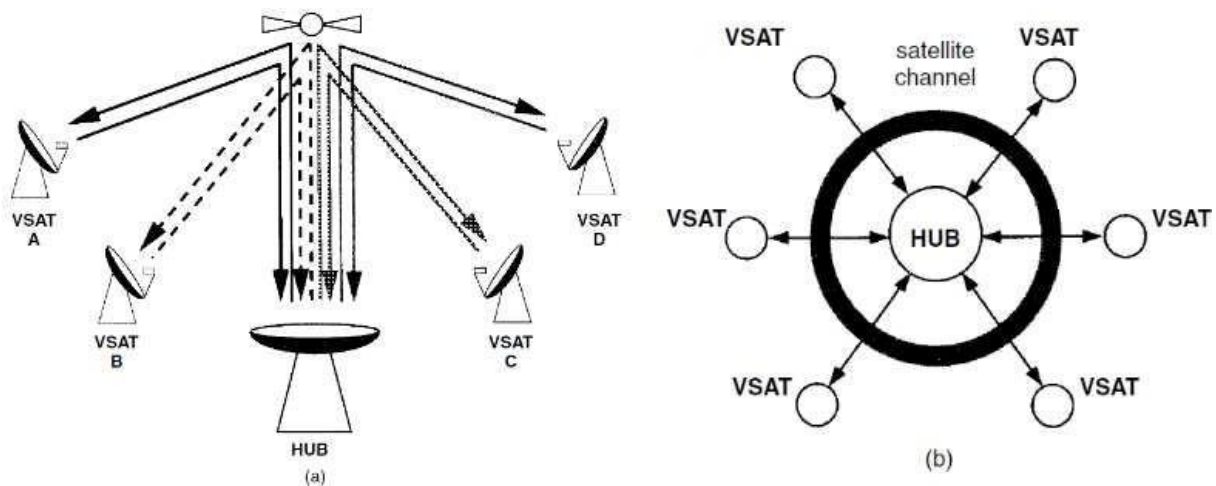


Figure II.4 : Réseaux VSAT en forme d'étoile (unidirectionnelle)



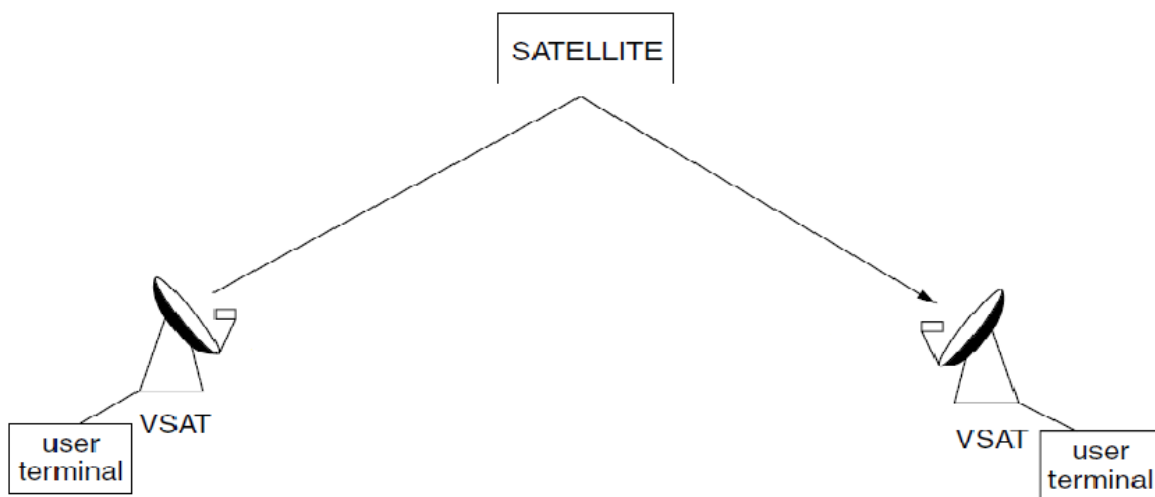
(a) Exemple avec quatre VSAT.

(b) représentation simplifiée d'un plus grand nombre de VSAT.

## II.7 liaison point à point

Les terminaux des utilisateurs sont connectés à VSAT et ils peuvent communiquer entre eux grâce au réseau VSAT. La connectivité bidirectionnelle entre les terminaux d'utilisateurs peut être réalisée de deux manières, en fonction de la configuration du réseau VSAT:

- soit grâce à des liens directs du VSAT à VSAT via satellite, devrait répondre à la performance de la liaison de la qualité demandée. Ceci s'applique en particulier à la configuration du maillage. La connectivité terminal-utilisateur est illustrée à la figure ci- dessous :



**FigureII.5** : liaison VSAT à VSAT via satellite.

- ou par double liaisons Remote via satellite dans un réseau en étoile, avec un premier Remote de VSAT au HUB, puis un second hop qui consiste le HUB comme un relais pour les VSAT de destination.

## II.8 Délai de transmission

Avec un lien hop unique de VSAT à VSAT dans une configuration maillée, le délai de propagation est d'environ 250 ms.

Avec un double hop du VSAT à VSAT via le hub (dans la configuration en étoile), le délai de propagation (Délai hopt) est deux fois plus, soit environ 0,5 s.

Double hop peut être un problème pour les communications vocales. Mais, il n'est pas un problème sévère pour la transmission de vidéo ou de données.

### II.3.8 Bandes de fréquences

Les bandes les plus couramment utilisés pour des applications commerciales sont celles qui sont allouées à la FSS (service fixe par satellite) en bande C et Ku. La bande X est utilisée par les systèmes militaires. Peu de réseaux VSAT en bande Ka sont les plus commerciales, la plupart sont de nature expérimentale.

**Tableau II.1** : Les fréquences des bandes utilisées dans le satellite

<b>Bandes</b>	<b>Liaison descendante</b>	<b>Liaison montante</b>	<b>Bande passante</b>
<b>C</b>	4.0 GHz	6.0 GHz	500 GHz
<b>Ku</b>	11 GHz	14 GHz	500 GHz
<b>Ka</b>	20 GHz	30 GHz	3500 GHz

### II.9 l'architecture d'une station VSAT

La figure ci-dessous illustre l'architecture d'une station VSAT. Comme le montre la figure, une station VSAT est constituée de deux ensembles distincts des équipements:

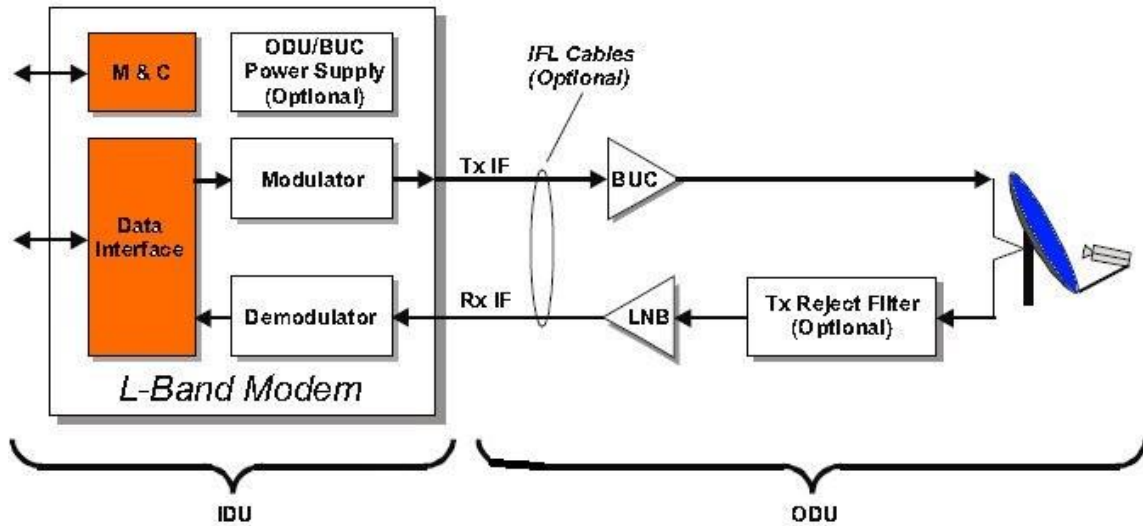


Figure II.6 : Schéma Global d'une station terrestre.

L'unité extérieure (Outdoor unit ODU) et l'unité intérieure (Indoor unit IDU). L'unité Outdoor est l'interface VSAT vers le satellite, tandis que l'UDI est l'interface pour les terminaux des clients ou du réseau local (LAN). [15]

### II.9.1 La Partie ODU (Outdoor Unit)



Figure II.7 : Le composant de partie ODU

### II.9.1.1 Le LNB :

LNB ( Low Noise Block ) : il reçoit le signal du satellite en bande Ku , il l'amplifie et le convertis en Bande L. [15]



FigureII.8 : Schéma de LNB

### II.9.1.2 LE BUC (BLOCK UP CONVERTER)

Chaque liaison satellitaire bidirectionnelle doit avoir un module de transmission, Pour que le signal peut être envoyé jusqu'à le site distant, une certaine puissance sera utilisée pour effectuer cette opération.

Le choix du BUC utilisé est basé sur un calcul que nous l'appelons un Bilan de Liaison (en Anglais : the Link Budget), l'abréviation la plus connue dans le monde des Communications Spatiales est le LBA.



FigureII.9 : Image de BUC

Chaque équipement a une température de stockage et une température d'opération ou de marche, en générale la zone de température de marche est inférieure à la zone de température d'exploitation ou d'opération. [15]

### II.9.1.3 Les antennes

Sont des dispositifs d'émission et de réception des signaux satellitaires avec une directivité bien définie, ajusté par un angle d'élévation, angle d'azimut et angle de polarisation, nous avons plusieurs types d'antennes qui sont destinées à la technologie VSAT.



**FigureII.10** : Déférents types des antennes.

Dans le tableau suivant nous allons mettre en évidences la différence entre les antennes utilisées dans le réseau VSAT de différents diamètres :

**Tableau II.2 :** Les différents types d'antenne.

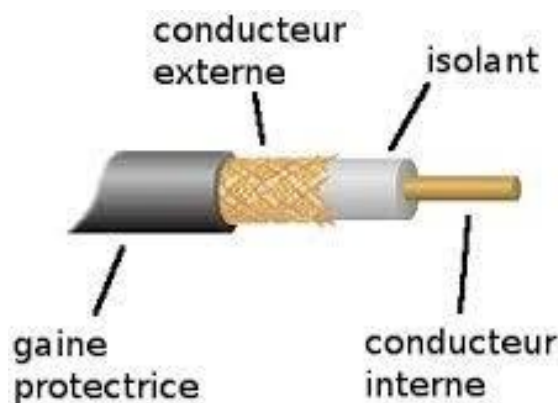
Diamètre	
1.2 m	Généralement connecté avec des antennes au minimum de 3.8m pour des réseaux star en mode TDMA / MFTDMA
1.8 m	La même chose avec 1.2 m.
2.4 m	Peuvent être utilisés avec des réseaux MFTDMA pour des grands débits, aussi ils ont été utilisés pour des liaisons SCPC.
3.8 m	Utilisés généralement pour des réseaux star côté HUB, aussi ils sont utilisés pour des liens SCPC à grand débit (L'ATS les utilise pour des liens de secours Mobilis à 24Mbps symétrique).
4.8 m	Installés aux niveaux des HUB, sont utilisés pour plusieurs réseaux en même temps.
5.6 m	la même chose avec 4.8, mais il a en plus l'Auto Tracking.

#### II.9.1.4 Les Câbles Coaxiaux :

Les types des câbles les plus utilisés dans les installations VSAT, sont le RG 06 qui est utilisé pour les réseaux à petite distance et le RG11 qui est utilisé pour les réseaux à moyenne distance, avec une impédance de 75 Ohm.

Les câbles coaxiaux sont soumis à des affaiblissements qui vont engendrer une atténuation des signaux, ces atténuations ont principalement deux paramètres :

- 1- La fréquence utilisée pour la transmission (en bande L pour notre cas)
- 2- La distance entre l'équipement (le modem VSAT) et le LNB pour la réception, le BUC pour l'émission. [15]



**Figure II.11 :** la composition de câble coaxiale

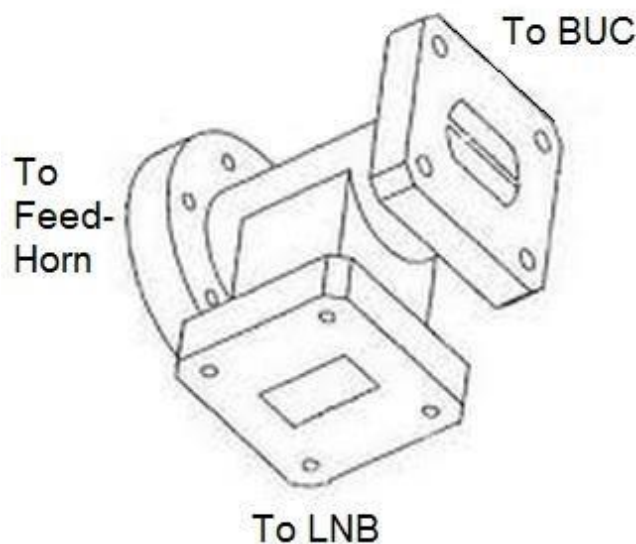


### II.9.1.4 L'OMT VSAT

Le dispositif OMT fait partie de l'ensemble installation d'extérieur, il s'insère entre le LNB, le BUC et le cornet d'alimentation (corne de rayonnement vers le réflecteur parabolique) sur une antenne VSAT.

L'isolation inter-polarisation entre les deux signaux est essentielle car une partie de l'énergie du signal horizontal peut être retransmise au signal vertical, et vice-versa. Cet échange d'énergie est néfaste pour la transmission car elle constitue une interférence et donc un bruit dès l'émission des signaux. De la même manière, du côté récepteur, la caractéristique de l'isolation inter polarisation est primordiale afin que le récepteur n'interprète pas de l'énergie du signal de polarisation verticale pour de l'énergie du signal de polarisation horizontale et réciproquement.

Dans les récepteurs à polarisation, l'isolation est une caractéristique nominale souvent exprimée en décibels (dB) d'atténuation d'une polarisation par rapport à une autre. [15]



**Figure II.12** : Orthogonal Mode Transducer

### II.9.1.5 Le Feed Horn

Le feed horn sélectionne également la polarisation des ondes à recevoir, ce qui contribue à atténuer les signaux indésirables des canaux et des transpondeurs adjacents et d'autres satellites de communication aux positions orbitales proches. Cela peut être horizontal ou vertical si la polarisation est linéaire, ou dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (aussi appelé gauche et droitier) s'il est circulaire. Certains dispositifs peuvent également

permettre à un feedhorn d'accepter à la fois linéaire et circulaire, bien que cela cause une légère perte d'insertion pour tous les signaux entrants.

Lorsqu'il est utilisé avec un réflecteur parabolique ou une antenne d'objectif, le centre de phase de la corne est généralement placé au point focal du réflecteur, les points de 3 dB du diagramme de rayonnement de la corne étant réglés au bord du réflecteur. Sur une antenne parabolique, le feedhorn est ce qui est monté à la fin d'un mât du centre du plat, ou sur des pattes de trépied montées sur le bord du plat.



**Figure II.13 : Le Feed Horn**

## II.9.2 La Partie IDU (Indoor Unit)

### II.9.2.1 Câble RJ-45

Câblage RJ-45 où il s'agit du type de connecteurs le plus répandu. Les câbles utilisés sont appelés paires torsadées (En anglais Twisted Pairs) car ils sont constitués de 4 paires de fils torsadés. Chaque paire de fils est constituée d'un fil de couleur unie et d'un fil possédant des rayures de la même couleur. Il est fortement recommandé d'utiliser du câble de catégorie 5 d'une longueur minimale de 3 mètres et d'une longueur maximale de 90 mètres.

La connectique RJ45 sert normalement à connecter les ordinateurs par l'intermédiaire d'un hub (en français concentrateur, un boîtier de répartition sur lequel viennent se connecter les câbles RJ45 en provenance des ordinateurs du réseau local) ou d'un commutateur (en anglais Switch).





**FigureII.14** : Câble RJ-45

### II.9.2.2 Le Modem

Le modem est un équipement qui nous permet d'envoyer une data d'une interface IP, ATM, Voice...qui se trouve en point A, vers la même interface du modem du point B

Le modem fait passer la data via une interface puis :

1- Il module en TX / il démodule en RX

Après cette opération le modem envoie le signal modulé vers le BUC / UP CONVERTER-SSPA /TRANCIVER en bande L ou IF, l'autre côté fait l'opération inverse.

Dans notre projet nous avons utilisées le modem CDM 625 de la société COMTECH disponible dans la station VSAT de Lakhdaria.

#### II.9.2.2.1 Modem CDM 625



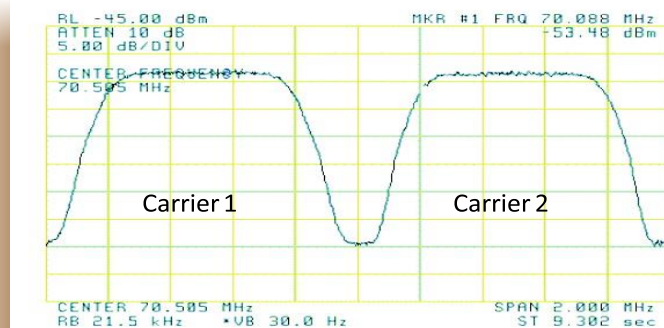
**FigureII.15** : Le modem satellite avancé CDM-625

Le modem satellite CDM-625 c'est le premier modem du constructeur COMTECH à combiner les codes avancés de correction d'erreur directe (FEC) tels que Versa FEC et de contrôle de parité à faible densité (LDPC) .Ce modem peut optimiser la bande passante en utilisant la technologie d'optimisation que le constructeur l'appelle Carrier In Carrier, permettant des économies maximales dans toutes les conditions.

## II.10 Technologie Carrier-in-Carrier

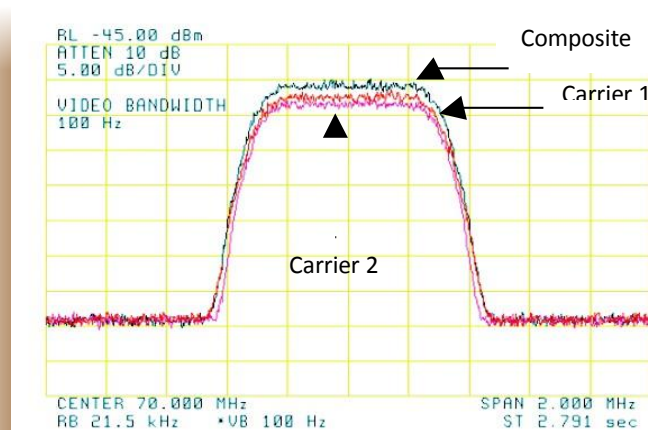
Cette technologie est l'une des techniques les plus récentes adoptées par l'industrie des satellites pour permettre aux clients d'économiser sur les coûts de la bande passante. Il permet d'attribuer au même espace de transpondeur à une liaison satellite en duplex intégral le même espace opérateur que la même technologie utilisant la technologie brevetée Applied Signals - Suppression adaptative - pour positionner directement les opérateurs l'un sur l'autre en termes de fréquence.

Grâce à la technologie Carrier-in-Carrier (et à un équipement au sol approprié), certains réseaux à satellite peuvent accroître les économies du segment spatial par rapport aux méthodes plus traditionnelles de services de transmission duplex par satellite. En combinaison avec d'autres techniques de modulation et de FEC avancées, Carrier-In-Carrier offre une efficacité accrue pour la mise en réseau par satellite par rapport aux méthodes de transmission traditionnelles. En mettant en œuvre ces techniques avec la capacité de satellite, les clients peuvent réaliser des économies supérieures à 30% sur le segment spatial attribué par rapport aux techniques de transmission traditionnelles. [9]



**Figure II.16 :** Lien Full Duplex traditionnel

Cette figure représente les porteuses d'une liaison traditionnel SCPC.



**Figure II.17 :** Liaison duplex avec un transporteur double dans Carrier-in-Carrier

### II.10.1 Comment fonctionne Carrier-in-Carrier?

Les services duplex standards attribuent des attributions de fréquence distinctes pour la transmission et la réception de données. La technologie Carrier-in-Carrier permet de distinguer les signaux d'émission et de réception en mettant en œuvre un filtrage adaptatif et un traitement du signal de boucle à verrouillage de phase, permettant ainsi de filtrer un service entre eux.

Les paramètres que la Carrier-in-Carrier traite pour les signaux sont les suivants:

- ✓ Amplitude
- ✓ Phase
- ✓ Fréquence
- ✓ Délai de retour

En utilisant ce qui précède, une estimation du signal transmis est soustraite du signal reçu composite, laissant le signal distant réel à traiter. [14]

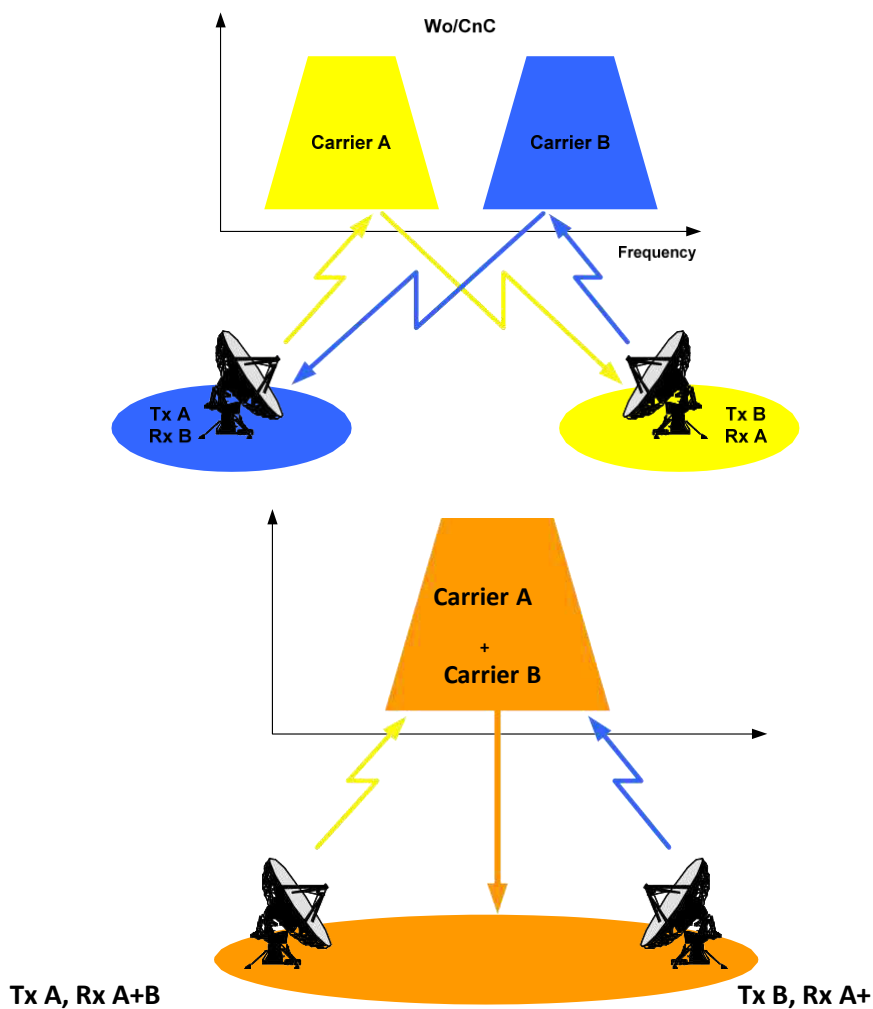


Figure II.18 : fonctionnement de Carrier-in-Carrier

### II.10.3 Conception de lien Carrier-in-Carrier

La conception de la liaison Carrier-in-Carrier implique de rechercher la combinaison de modulation de sécurité (FEC) et une modulation offrant une utilisation optimale de la bande passante. Tout comme la conception de liaison conventionnelle, il s'agit d'un processus itératif qui consiste à essayer différentes combinaisons de FEC et de modulation avec Carrier-in-Carrier jusqu'à obtenir une combinaison optimale.

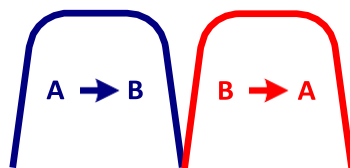
Pour des performances optimales de transporteur à opérateur, il est recommandé que les deux opérateurs aient un débit de symboles et une puissance similaires.

### II.10.4 Liens limités en puissance

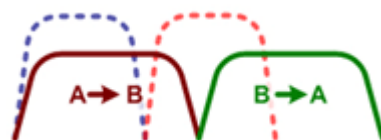
Carrier-in-Carrier peut générer des économies substantielles même lorsque le lien initial est limité en puissance. Le fait d'étaler la porteuse à l'aide d'une modulation et / ou d'une FEC plus basse, ainsi que de la dernière FEC, telle que VersaFEC, peut réduire considérablement la puissance totale qui peut ensuite être échangée avec une largeur de bande utilisant Carrier-in-Carrier.

Le concept est illustré ci-dessous:

Le lien conventionnel utilise 8-PSK, TPC 3/4



Passage à VersaFEC et utilisation d'une modulation d'ordre inférieur - disons QPSK, VersaFEC 0.803 augmente la bande passante totale occupée, tout en réduisant la bande passante équivalente à la puissance totale



Désormais, avec DoubleTalk Carrier-in-Carrier, la seconde porteuse QPSK, VersaFEC 0,803 peut être déplacée sur la première porteuse, ce qui réduit considérablement la bande passante totale occupée et la bande passante équivalente en puissance totale par rapport à la configuration côte à côte originale 8PSK, TPC 3 / 4 transporteur.

### II.10.5 Optimisation des compromis

Avec une sélection appropriée de modulation et de FEC, Carrier-in-Carrier peut être utilisé pour obtenir une optimisation multidimensionnelle répondant à tous les besoins de l'entreprise:

- Minimiser la bande passante louée
- Réduire les besoins en énergie HPA
- Réduire la taille de l'antenne
- Augmenter la disponibilité (marge)
- Ou une combinaison, au besoin.

### II.10.6 Bande passante louée

Presque tous les opérateurs de satellites facturent la bande passante louée (LBW). La largeur de bande louée ou la ressource louée est la valeur la plus grande entre la largeur de bande allouée et de la largeur de bande équivalente. Par exemple. Si une porteuse a besoin de 3 MHz de puissance BW allouée et de 4,5 MHz de PEB, la largeur de bande louée est de 4,5 MHz.

La puissance équivalente de la bande passante (PEB) est la puissance du transpondeur utilisée par une porteuse, exprimée en équivalent bande passante. [9]

## Conclusion

Le chapitre 2 présente le réseau VSAT, nous avons parlés de leur définition, configuration, topologies, architecteur et équipements, enfin nous avons parlés de la technologie d'optimisation Carrier In Carrier sa définition, et son fonctionnement et sa conception.

Toutes réalisations VSAT nécessite une étude théorique afin de déterminer la configuration la plus optimale et pour cela le chapitre suivant représente cette étude théorique.

## ***CHAPITRE III***

### ***Etude théorique de bilan de liaison***

## Introduction

Dans ce troisième chapitre, nous allons étudier théoriquement le bilan de liaison entre le satellite et une station sol. Nous allons voir les équations nécessaires pour l'étude théorique d'un bilan de liaison, ainsi les paramètres influents sur cette liaison, enfin nous allons voir comment optimisé ce bilan de liaison.

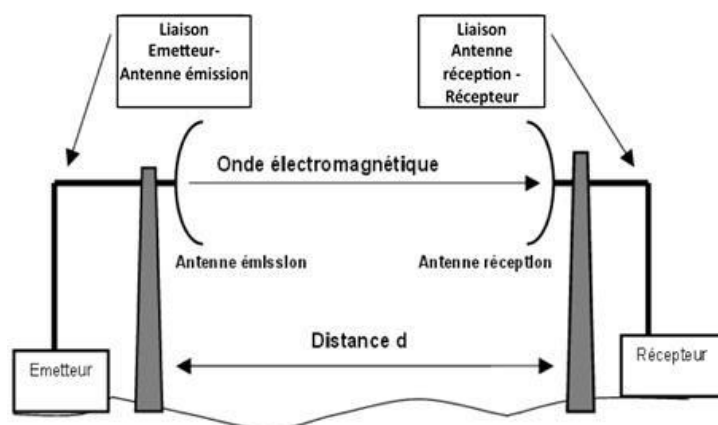
### III.1 Bilan de liaison hertzienne

#### III.1.1 Définition

Le bilan de liaison (ou Link budget en anglais) est un outil fondamental pour dimensionner les puissances à mettre en jeu dans un canal de transmission.

Le bilan de liaison fait la somme de la puissance émise et de tous les gains et les pertes rencontrés jusqu'au récepteur, ainsi que les marges ajoutées par le concepteur, fournissant la puissance reçue par le récepteur. Celle-ci doit être supérieure au seuil de réception, lié au niveau de bruit du récepteur et du rapport signal à bruit minimal pour assurer une détection du signal et une qualité de services suffisante.

La figure ci-dessous présente un schéma général de principe d'une liaison hertzienne [18]:



**Figure III.1** Schéma de principe d'une liaison hertzienne

- **Emetteur** : Il est caractérisé par sa puissance émise  $P_E$ .

Ici  $P_E$  sera exprimée en dBm ou dBW. Ordre de grandeur : de quelques mW (0dBm) à plusieurs kW (> 30dBW).

- **Liaison émetteur- antenne émission** : Elle est généralement réalisée en câble coaxial. A plus haute fréquence (> quelques GHz), elle peut être réalisée en guide d'onde. Elle est caractérisée par son atténuation  $L_E$ , exprimée en dB.

Dans les petits systèmes, où tout est intégré (Wifi, téléphone mobile, etc..) cette liaison n'existe pas ( $L_E = 0$ dB).

- **Antenne émission** : Elle est caractérisée par son Gain d'antenne  $G_E$ , exprimé en dBi.
- **Distance d** : c'est la distance entre l'émetteur et le récepteur. On peut montrer (à partir du calcul de la sphère de l'antenne isotrope et de la définition du gain d'antenne), que la distance entre l'émetteur et le récepteur, introduit une atténuation  $A_{EL}$  (pour atténuation en espace libre) égale à : [19]

$$A_{EL} = 20 \text{ Log} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad \text{III.1}$$

Cette grandeur exprimée en dB.

- **Liaison antenne réception- récepteur** : Comme la liaison émetteur-antenne émission, la liaison antenne réception-récepteur est caractérisée par l'atténuation  $L_R$ , exprimée en dB.
- **Antenne réception** : Elle est caractérisée par son gain d'antenne  $G_R$ , exprimé en dBi.
- **Récepteur** : Le paramètre qui nous intéresse ici est  $P_R$ , puissance reçue par le récepteur, est généralement exprimée en dBm. [19]

### III.1.2 Sensibilité d'un récepteur

La sensibilité d'un récepteur est l'amplitude du signal qu'il faut appliquer à son entrée pour obtenir à la sortie du démodulateur un rapport signal/bruit déterminé (transmission analogique) ou un taux d'erreur donné en transmission numérique ( $10^{-3}$  ou  $10^{-6}$ ). [20]

### III.1.3 Expression de la puissance reçue

Une liaison radio est établie au moyen d'un émetteur de puissance  $P_E$  équipé d'une antenne directive, de gain  $G_E$  par rapport à une antenne isotrope, le récepteur est équipé d'une antenne directive de gain  $G_R$  pointé vers l'émetteur. [19]



Si on néglige l'influence des obstacles, difficile à évaluer, on peut calculer la puissance reçue  $P_R$  à l'entrée du récepteur grâce à la formule de Friis :

$$P_R = G_E * G_R * P_E * \left[ \frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad \text{III.2}$$

Avec :

- $P_E, P_R$  : En watts.
- $d$  et  $\lambda$  en mètre.
- $G_E$  et  $G_R$  sans unité.

Si on exprime la puissance en dBm et les gains en dB, la formule de Friis devient après simplification : [20]

$$P_R = P_E + G_R + G_E - 20 \log(f) - 20 \log(d) + 147.5 \quad \text{III.3}$$

Avec :

- $P_E, P_R$  : En dBm.
- $d$  en mètre.
- $f$  en Hz
- $G_E$  et  $G_R$  en dBi.

### III.1.4 Condition de bon fonctionnement d'une liaison hertzienne

Pour qu'une liaison hertzienne fonctionne correctement, il faut que la puissance reçue soit supérieure à la sensibilité du récepteur. De plus, on prendra généralement une marge (on essaiera d'avoir des dB en plus) pour tenir compte des atténuations supplémentaires qui peuvent être dues à des réflexions multiples ou à la météo (pluie, neige, brouillard, etc..). [21]

## III.2 Les zones de rayonnement d'une antenne

On distingue pour chaque type d'antenne trois zones de rayonnement :

- Zone de Rayleigh (ou zone de champ proche).
- Zone de Fresnel.
- Zone de Fraunhofer (ou zone de champ lointain)

Dans cette zone on considère la distance  $r$  grande par rapport à la longueur d'onde.

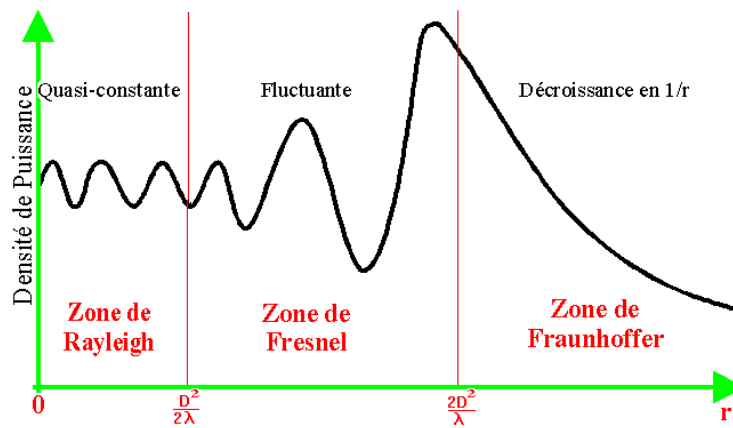


Figure III.2 Les zones de rayonnement d'une antenne

### III.2.1 Zone de Rayleigh

La zone de Rayleigh ou zone de champ proche la densité de puissance est quasi-constante.

$$r < \frac{D^2}{2\lambda} \quad \text{III.4}$$

Avec :

**D** : la dimension linéaire maximale de l'antenne.

### III.2.2 Zone de Fresnel

L'ellipsoïde de Fresnel est un volume dans l'espace permettant d'évaluer l'atténuation apportée par un obstacle (bâtiment, arbre...) à la propagation d'une onde radio, il est généralement utilisé dans le cas de liaisons VHF, UHF ou hyperfréquences.

Cette méthode permet d'évaluer le rayon à l'intérieur duquel se produit l'atténuation le long du trajet de l'onde et de calculer les pertes.

$$r = \sqrt{\frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \lambda \quad \text{III.5}$$

Où,

r : le rayon de la zone en mètres,

d1 et d2 : sont des distances de l'obstacle aux extrémités de la liaison exprimées en mètres

La grandeur r correspond à la valeur strictement minimale pour laquelle l'espace entourant le rayon direct joignant les deux antennes est dégagé de tout obstacle [19].

### III.2.2.1 Méthode Deygout pour la diffraction à plusieurs obstacles

L'effet de diffraction est utilisé dans l'ordre de quantifier l'atténuation due à une obstruction du chemin direct entre l'émetteur et récepteur par 2 obstacles.

Un obstacle primaire obtenu par le ratio de dégagement maximum  $v_1$  par rapport à la ligne de visibilité entre l'émetteur et récepteur, et si cet obstacle primaire existe ( $v_1 > 0$ ), un obstacle secondaire obtenu par le ratio de dégagement maximum  $v_2$  par rapport à la ligne de visibilité entre l'émetteur et l'obstacle primaire et entre ce dernier et récepteur. [22]

L'atténuation due à un obstacle calculée en utilisant les intégrales du Fresnel.

Une approximation de la perte due à la diffraction s'exprime de la façon suivante [22] :

$$L_d = 6.6 + 20 \cdot \log | (v - 0,1 + \sqrt{1 + (v - 0,1)^2})^2 | \quad \text{III.5.1}$$

Avec :

$$v = \sqrt{\frac{h}{r}} \quad \text{III.5.2}$$

$\frac{h}{r}$  : Rapport du « dégagement ».

$h$  : la hauteur d'obstacle.

$r$  : le rayon de la zone en mètres.

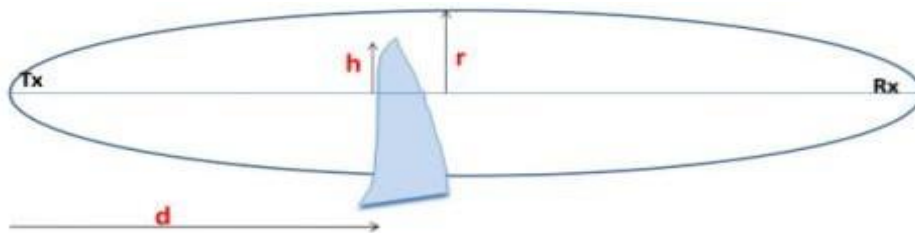


Figure III.3 Zone de Fresnel avec obstacle

### III.2.3 Zone de Fraunhofer

La zone de Fraunhofer ou zone de champ lointain, les champs sont rayonnées sous forme d'onde plane. La densité de puissance  $d'$  écrit en  $1/r^2$ .

$$r = \frac{2D^2}{\lambda} \quad \text{III.6}$$

Où :

$r$  : le rayon de la zone en mètres,

$D$  : est la dimension la plus grande d'une antenne.

$\lambda$  : est la longueur d'onde. [19]

### III.3 Bilan de liaison satellitaire

Lors de la définition d'un système de communication par satellite (figure III.4) , il est nécessaire de déterminer les dimensions des antennes d'émission et de réception , la puissance d'émission et le rapport signal sur bruit nécessaire pour pouvoir effectuer la transmission avec qualité requise.

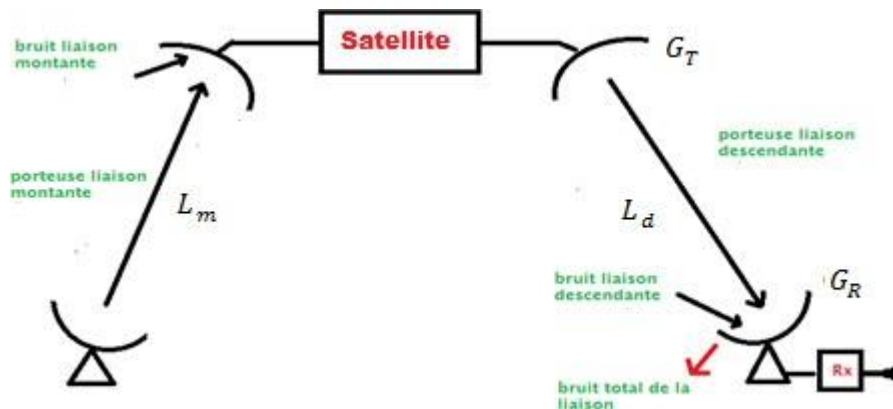


Figure III.4 Liaison Satellitaire

#### III.3.1 Bilan de Liaison pour la voie montante

Soit le rapport de la puissance de la porteuse sur le bruit à l'entrée de récepteur : [19]

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{up} = (PIRE)_{STATION SOL} * \left(\frac{1}{L}\right)_{up} * \left(\frac{G}{T}\right)_{SAT} * \left(\frac{1}{K}\right) \tag{III.7}$$

Où :

- **(PIRE)station sol** : la PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente) qui est le produit de la puissance fournie à l'entrée de l'antenne d'émission par son gain, la PIRE est une mesure de performance de la section d'émission : [22]

$$(PIRE)_{station sol} = (P_T * G_T)_{station sol} = \left(\frac{P_{TX}}{L_{FTX}}\right)_{station sol} * \left(\frac{G_T max}{L_T}\right)_{station sol} \tag{III.7.1}$$

Avec :

$$L_T = 12 * \left(\frac{\alpha_T}{\theta_{3dB}}\right)^2 \text{ (dB)} [16] \tag{III.7.2}$$

$L_T$  : Pertes par dépointage.

$\alpha_T$  : Angle de dépointage de la station sol.

$\theta_{3dB}$  : Angle d'ouverture de l'antenne.

$L_{FTX}$  : Pertes entre amplificateur et antenne station sol.

- $\left(\frac{1}{L}\right)$  = pertes en espace libre et pertes atmosphérique.
- $\left(\frac{G}{T}\right)$  = facteur de mérite du récepteur ( $^{\circ}\text{K}^{-1}$ ).

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{SAT} = \left(\frac{G_r \max}{L_R}\right)_{SAT} * \left(\frac{1}{L_{FRX}}\right)_{SAT} * \left(\frac{1}{T}\right)_{SAT} \tag{III.7.3}$$

$\left(\frac{G}{T}\right)$  : Le facteur de mérite qui décrit les performances de la partie réceptrice.

Avec

$$G = \frac{G_r \max}{(L_{FRX} * L_r)} \tag{III.7.4}$$

$L_R$  : Pertes par dépointage à la réception.

$L_{FRX}$  : Pertes entre antenne et le récepteur.

T : température de bruit du système (SAT).

- $\left(\frac{1}{k}\right)$  = inverse de la constante de Boltzmann. [22]

### III.3.2 Bilan de liaison pour la voie descendante

Soit le rapport signal sur bruit au niveau de la station terrienne réceptrice.

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{down} = (PIRE)_{SAT} * \left(\frac{1}{L}\right)_{down} * \left(\frac{G}{T}\right)_{station \ sol} * \left(\frac{1}{k}\right) \tag{III.8}$$

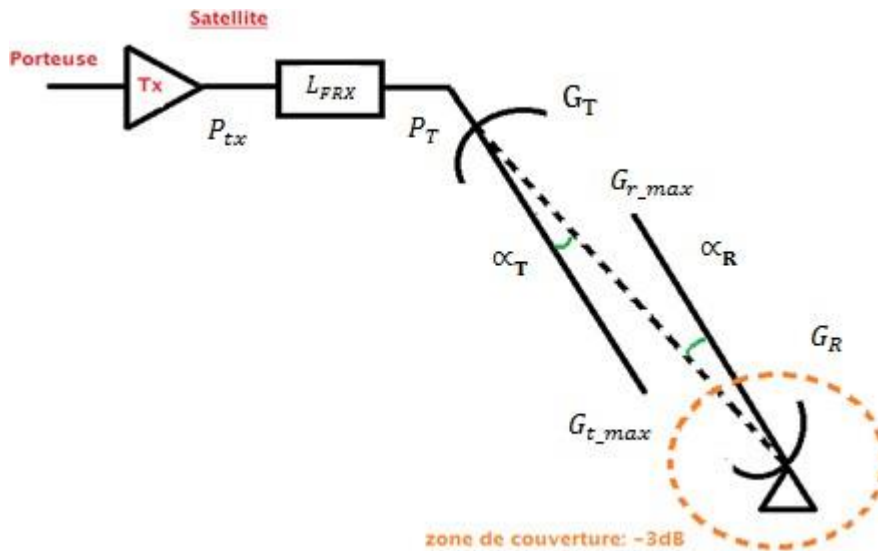


Figure III.5 Etude de la liaison descendante

$$(PIRE)_{SAT} = (P_T * G_T)_{SAT} = \left(\frac{P_{TX}}{L_{FTX}}\right)_{SAT} * \left(\frac{G_r \max}{L_T}\right)_{SAT} \tag{III.8.1}$$

Avec :

$L_T$  : Pertes par dépointage généralement -3dB.

$\alpha_T$  : Angle de dépointage de la station sol.

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{station\ sol} = \left(\frac{G_{r\ max}}{L_T}\right)_{station\ sol} * \left(\frac{1}{L_{ftx}}\right)_{station\ sol} * \left(\frac{1}{T}\right)_{station\ sol} \quad \text{III.8.2}$$

Avec :

$$L_R = 12 * \left(\frac{\alpha_R}{\theta_{3dB}}\right)^2 \text{ (dB)} \quad \text{III.8.3}$$

$\alpha_R$  : Angle de dépointage de la station sol.

T : température de bruit du système sol.

$\left(\frac{1}{L}\right)$  = pertes en espace libre et pertes atmosphériques.

$\left(\frac{1}{K}\right)$  = inverse de la constante de Boltzmann. [22]

### III.3.3 Bilan de liaison global

Le rapport signal sur bruit de la liaison global se déduit des deux bilans, en voie montante et en voie ascendante, par la formule suivante:

$$\frac{1}{\left(\frac{C}{N_0}\right)_T} = \frac{1}{\left(\frac{C}{N_0}\right)_{up}} + \frac{1}{\left(\frac{C}{N_0}\right)_{down}} \quad \text{III.9}$$

Bruit total de la liaison = bruit retransmis en montant + bruit liaison descendante.

$$\text{Uplink: } \left(\frac{C}{N_0}\right)_{up} = \frac{C_{up}}{N_{0\ up}} \quad \text{III.9.1}$$

$$\text{Downlink: } \left(\frac{C}{N_0}\right)_{down} = \frac{C_{down}}{N_{0\ down}} \quad \text{III.9.2}$$

Bruit total:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_T = \frac{C_{down}}{N_{0\ T}} \quad \text{III.9.3}$$

$$\frac{C}{N_0} * \frac{1}{B_N} = \frac{C}{N} \quad \text{III.9.4}$$

Avec :

$N_0$  : Densité spectrale équivalente de bruit (W/Hz).

$$N_0 = k * T \quad \text{III.9.5}$$

T : température de bruit de système (°K).

$$N = N_0 * B_N \quad \text{III.9.6}$$

N : Bruit total.

$B_N$  = largeur de bande du récepteur (Hz) [22].

### III.4 Température de bruit d'un système

La température de bruit d'un système est la contribution de :

- Bruit de l'antenne.
- Pertes dans le feeder (atténuation d'émetteur + atténuation du récepteur)
- Bruit du récepteur lui-même.

Ces contributions sont prises en compte à l'entrée du récepteur.

$$T = \frac{T_a}{L_{FRX}} + T_F * \left(1 - \frac{1}{L_{FRX}}\right) + T_R \quad \text{III.10}$$

T : température de bruit du système.

$T_a$  : Température d'antenne.

$T_F$  : Température du Feeder.

$L_{FRX}$  : Pertes du Feeder.

$T_R$  : Température équivalente de bruit à l'entrée du récepteur.

$$T_R = (F - 1) * T_0 \quad \text{III.10.1}$$

$T_0$  : Température thermodynamique.

F : Facteur de bruit. [22]

#### III.4.1 Température de bruit d'une antenne de station sol

##### III.4.1.1 Ciel clair

$$T_a = T_{sol} + T_{cs} \quad \text{III.11}$$

Avec :

$T_{cs}$  : Contribution au bruit d'antenne à partir du ciel.

$T_{sol}$  : Contribution au bruit d'antenne à partir du sol.

### III.5.1.2 Pluie

$$T_a = T_{sol} + T_{cs} = \frac{T_{cs}}{A_{pluie}} + T_{atm} * \left(1 - \frac{1}{A_{pluie}}\right) + T_{sol} \quad \text{III.12}$$

- $A_{pluie}$  : Atténuation due à la pluie, nuages et gaz atmosphériques le long de l'axe principal.
- $T_{atm}$  : température moyenne de l'atmosphère. [22]

### Conclusion

Dans ce chapitre nous avons définis et présenté les équations de bilan de liaison, nous avons parlé aussi sur les paramètres qui influents sur la liaison comme les pertes dues à la pluie ...etc., une partie de ces équations ont été utilisées dans notre programme Matlab et qui est présenté dans le chapitre suivant.



# ***CHAPITRE IV***

## ***Simulation***

## Introduction

Dans ce chapitre, on va d'abord présenter l'interface de nos applications, le calculateur d'élévation et le bilan de liaison version 1, ensuite on va tester leurs fonctionnements en introduisant des configurations bien définies, et les comparés avec des tests réels de mêmes configurations avec des plateformes connus dans le milieu pratique du travail.

### IV.1 Interface principale de notre projet

A l'aide de Matlab Guide nous avons programmé une interface principale pour notre projet pour donner un accès facile et rapide aux applications de calcul.

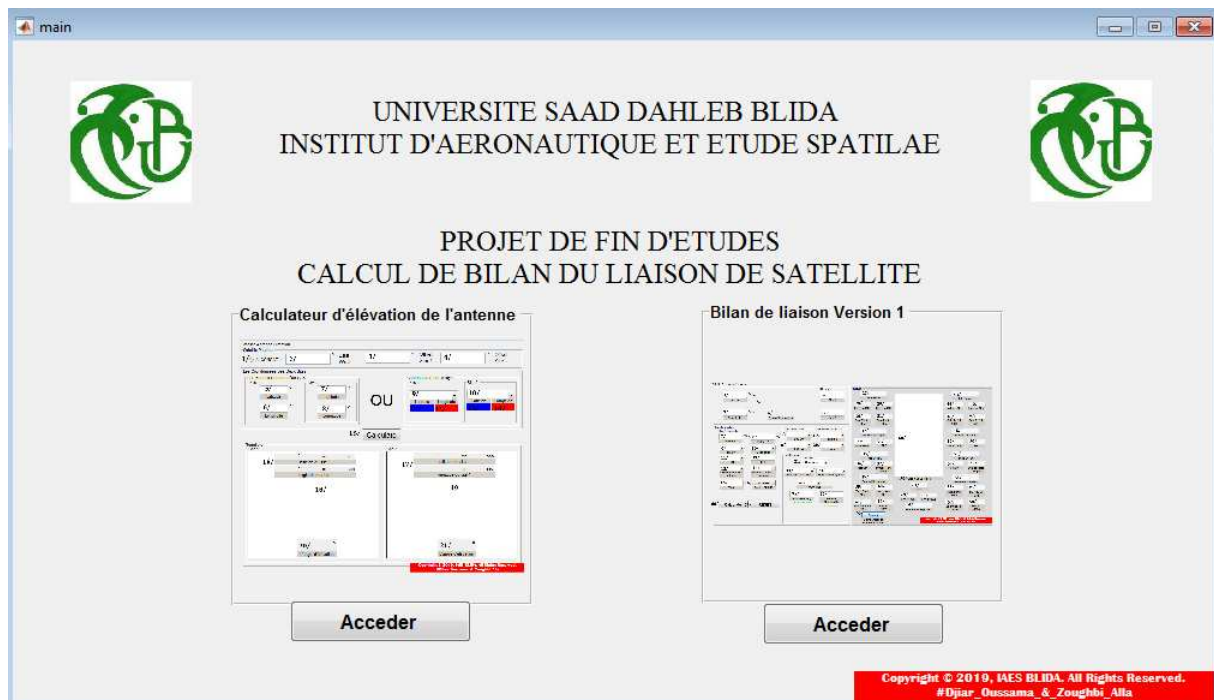


Figure IV.1 L'interface de notre principal projet.

### IV.2 Calculateur d'élévation de l'antenne

Comme indique son nom, ce programme est destiné pour calculer l'élévation de l'antenne VSAT installée au niveau d'une station dont ses coordonnées GPS sont connues, par rapport à un satellite d'une longitude connu aussi.

#### IV.2.1 Présentation d'interface de notre programme Calculateur d'élévation

Comme elle montre la figure suivante nous avons liées chaque élément de ce programme avec un numéro, par la suite nous allons faire une description précise de ces éléments :

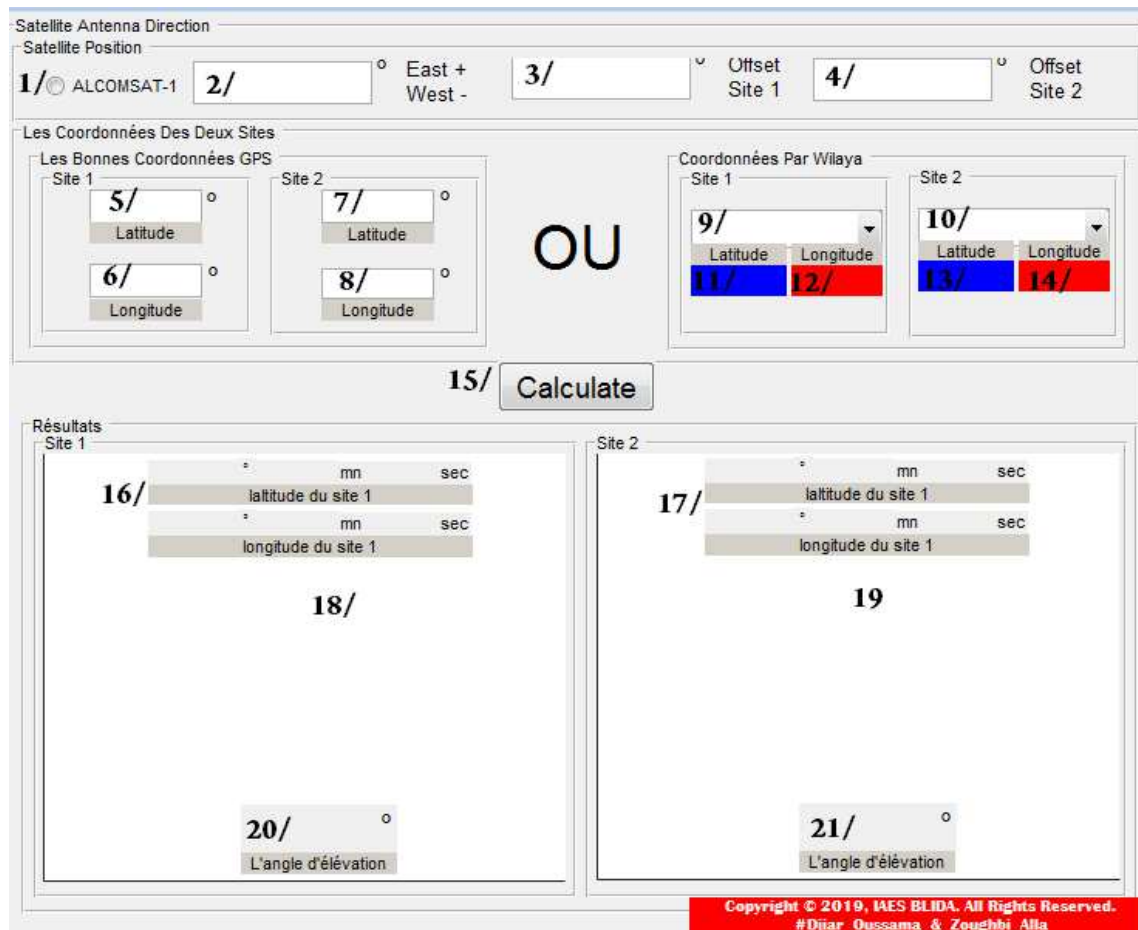


Figure IV.2 L'interface de calculateur d'élévation d'antenne

**-Les données à introduire :**

Tableau IV.1 : Description de l'interface de calculateur d'élévation d'antenne

N°	Fonctionnalité
Les données à introduire :	
01/	Un bouton pour choisir la position de satellite Algérien d'une façon autonome.
02/	Une case pour introduire longitude d'un satellite en DD (degrés décimaux).
03/	Une case pour introduire l'Offset d'antenne de site 1.
04/	Une case pour introduire l'Offset d'antenne de site 2.
05/	Une case pour introduire latitude du site 1 en DD.
06/	Une case pour introduire longitude du site 1 en DD.
07/	Une case pour introduire latitude du site 2 en DD.
08/	Une case pour introduire longitude du site 2 en DD.
09/	Une liste de sélection pour le choix de la Wilaya du site 1.

10/	Latitude affiché de la wilaya sélectionné du site 1.
11/	Longitude affiché de la wilaya sélectionné du site 1.
12/	Une liste de sélection pour le choix de la Wilaya du site 2.
13/	Latitude affiché de la wilaya sélectionné du site 1.
14/	Longitude affiché de la wilaya sélectionné du site 1.
L'opération à faire :	
15/	15/ Un Button pour lancer la simulation.
L'affichage des résultats :	
16/	L'affichage d'altitude et de longitude site 1 en DMS (degrés, minutes, secondes).
17/	L'affichage d'altitude et de longitude site 2 en DMS (degrés, minutes, secondes).
18/	Une image satellitaire du site 1.
19/	Une image satellitaire du site 2.
20/	L'affichage du résultat site 1 de notre calcul d'élévation de l'antenne en DD.
21/	L'affichage du résultat site 2 de notre calcul d'élévation de l'antenne en DD.

#### IV.2.2 Le fonctionnement de notre Programme Calculateur d'élévation

Nous allons tester le fonctionnement de notre programme en introduisant la configuration suivante :

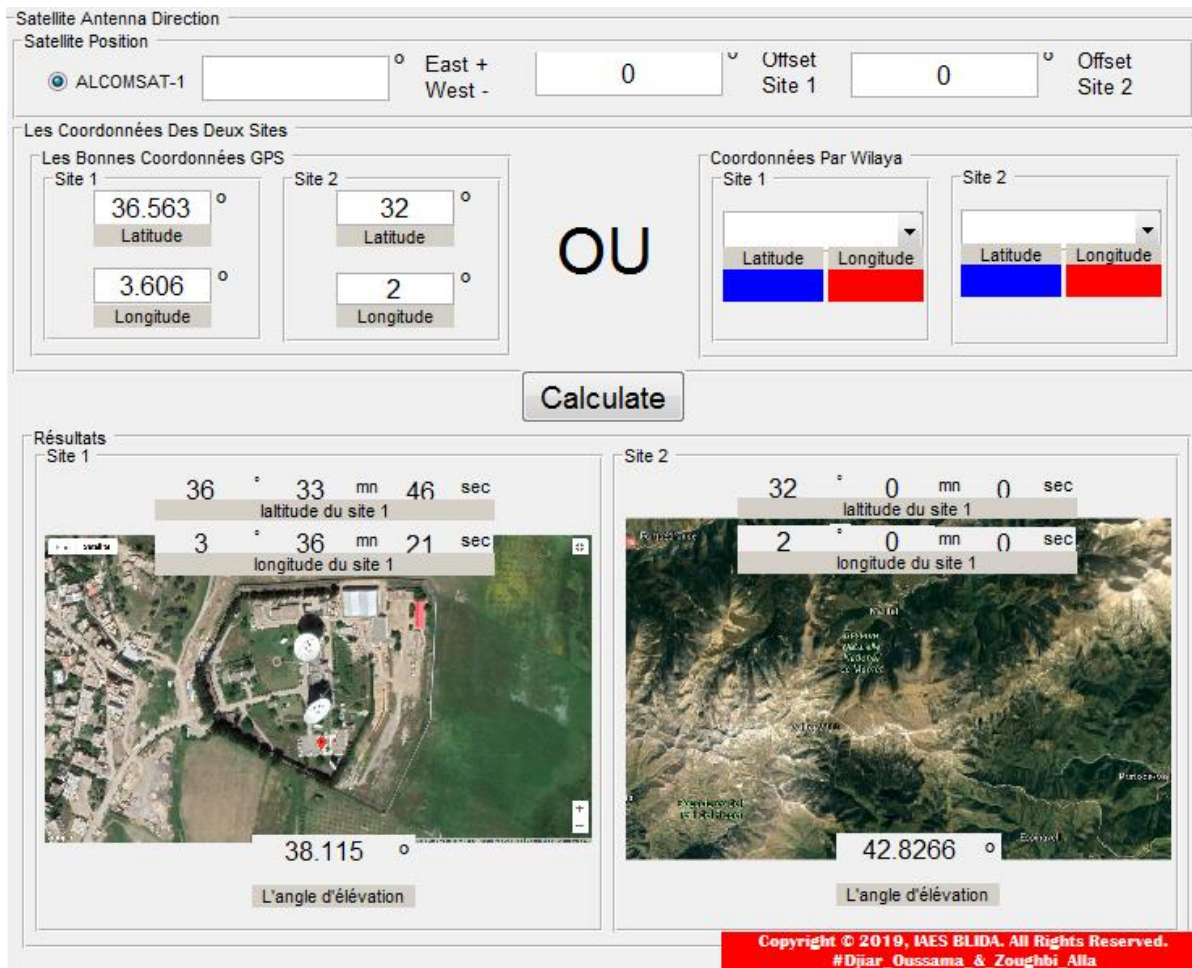
##### IV.2.2.1 Position par coordonnées GPS

Le satellite Alcomsat1 est positionné à : 24.8° Ouest.

Les données de site sont résumées dans le tableau suivant :

**Tableau IV.2 : Position par coordonnées GPS**

<b>Offset site 1 :</b>	0°.
<b>Offset site 2 :</b>	0°.
<b>Site 1 :</b>	Latitude =36.563°N. Longitude=3.606. (Station VSAT Lakhdaria).
<b>Site 2 :</b>	Latitude = 32. Longitude= 2.



**Figure IV.3** L’interface de calculateur d’élévation d’antenne avec les coordonnées GPS

Nous avons obtenu ces résultats :

L’élévation du site 1: 38.115°

L’élévation du site 2: 42.8266°

**Comparaison de ces résultats avec le logiciel SAA (Satellite Antenna Alignment ) [14]**

Nous devons d’abord commencé par la conversion :

**-Premiere site Lakhdaria**

	Degrée Décimal	Degrée Minute Seconde
Laltitude	36.563°	36° 33 min 46 sec
Longitude	3.606°	3° 36 min 21 sec



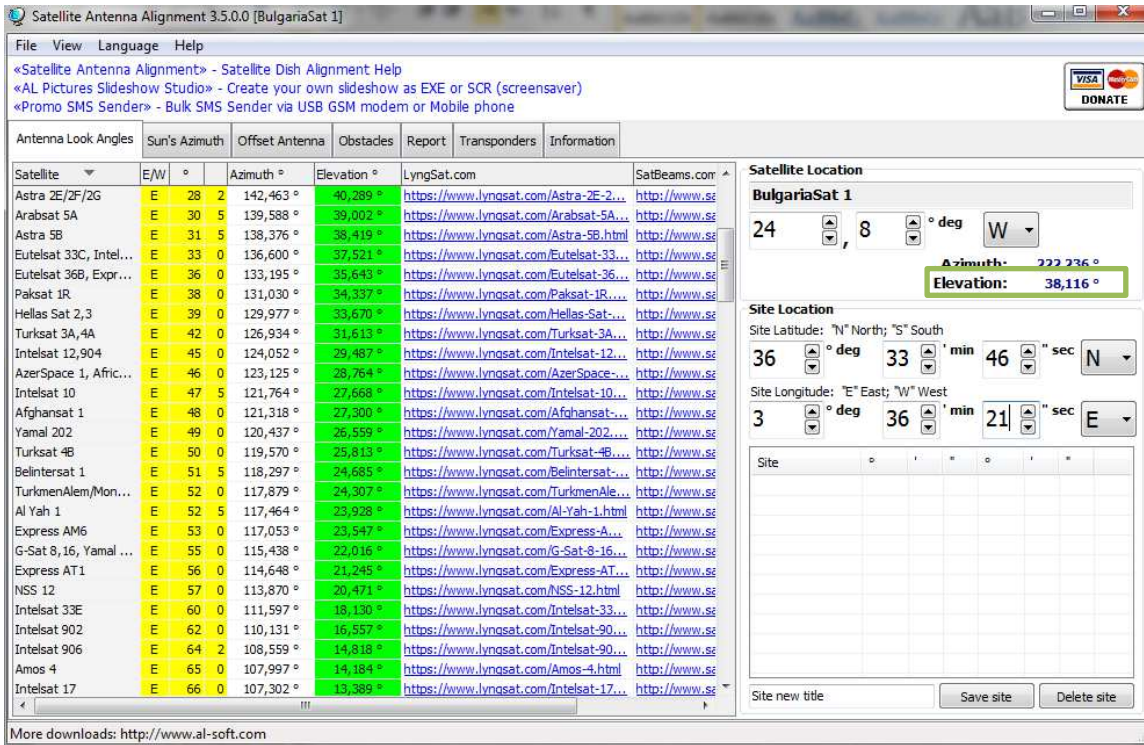


Figure IV.4 Le logiciel SAA calcul d'élévation d'antenne à Lakhdaria

-Deuxieme site Ouargla

- Latitude : 32° 0 min 0 sec
- Longitude : 2° 0 min 0 sec

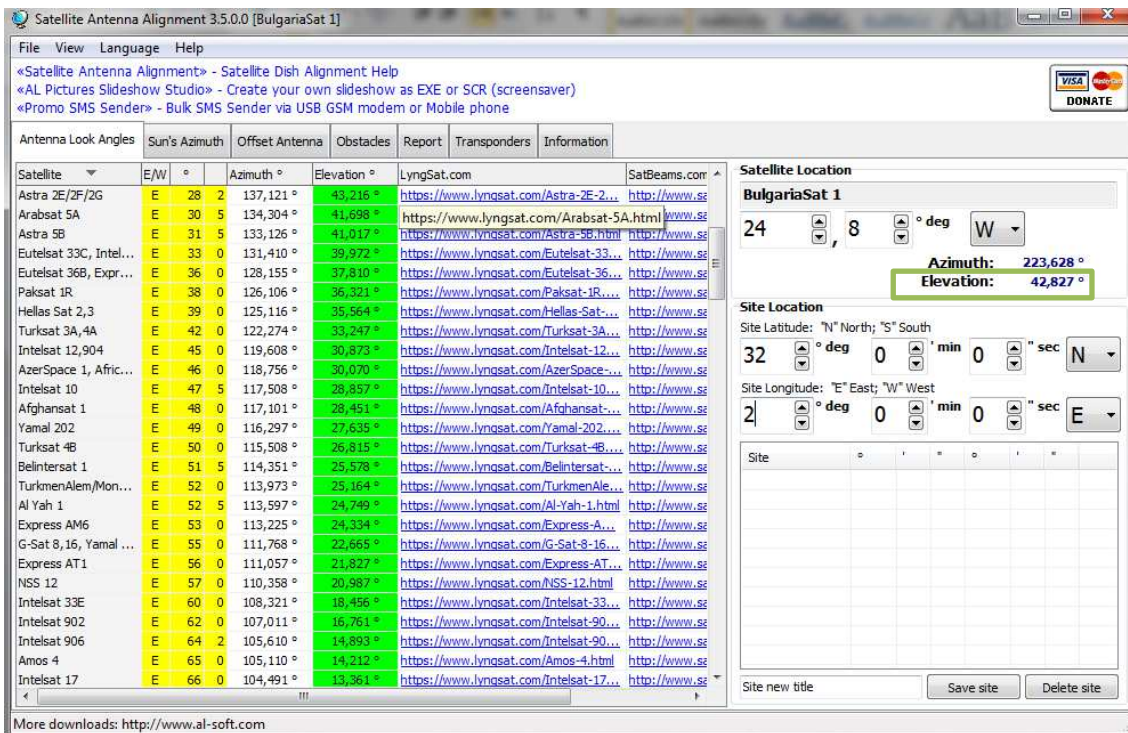


Figure IV.5 Le logiciel SAA calcul d'élévation d'antenne à Ouargla

Les résultats sont similaires à ceux que nous avons simulés par notre programme.

### Comparaison du résultat avec celle obtenu dans le site de Lakhdaria



**Figure IV.6** L'affichage de paramètres d'antenne au niveau de Lakhdaria

Dans le site de l'Lakhdaria nous avons obtenu ce résultat

L'élévation : 38.09°

$$\text{Erreur relative} = \frac{38.115 - 38.09}{38.09} = 6.56 * 10^{-4}$$

Nous avons trouvé qu'il y'a une petite différence de résultat avec celle que nous avons simulé, à cause de l'Auto Tracking de l'antenne (Le déplacement permanent de l'antenne pour couvrir le satellite).

#### IV.2.2.2 Position par coordonnées topographique

Le satellite Alcomsat1 est positionné à : 24.8° Ouest.

**Tableau IV.3** : Position par coordonnées topographique

<b>Offset site 1 :</b>	0°.
<b>Offset site 2 :</b>	0°.
<b>Site 1 :</b>	Blida
<b>Site 2 :</b>	Ouargla

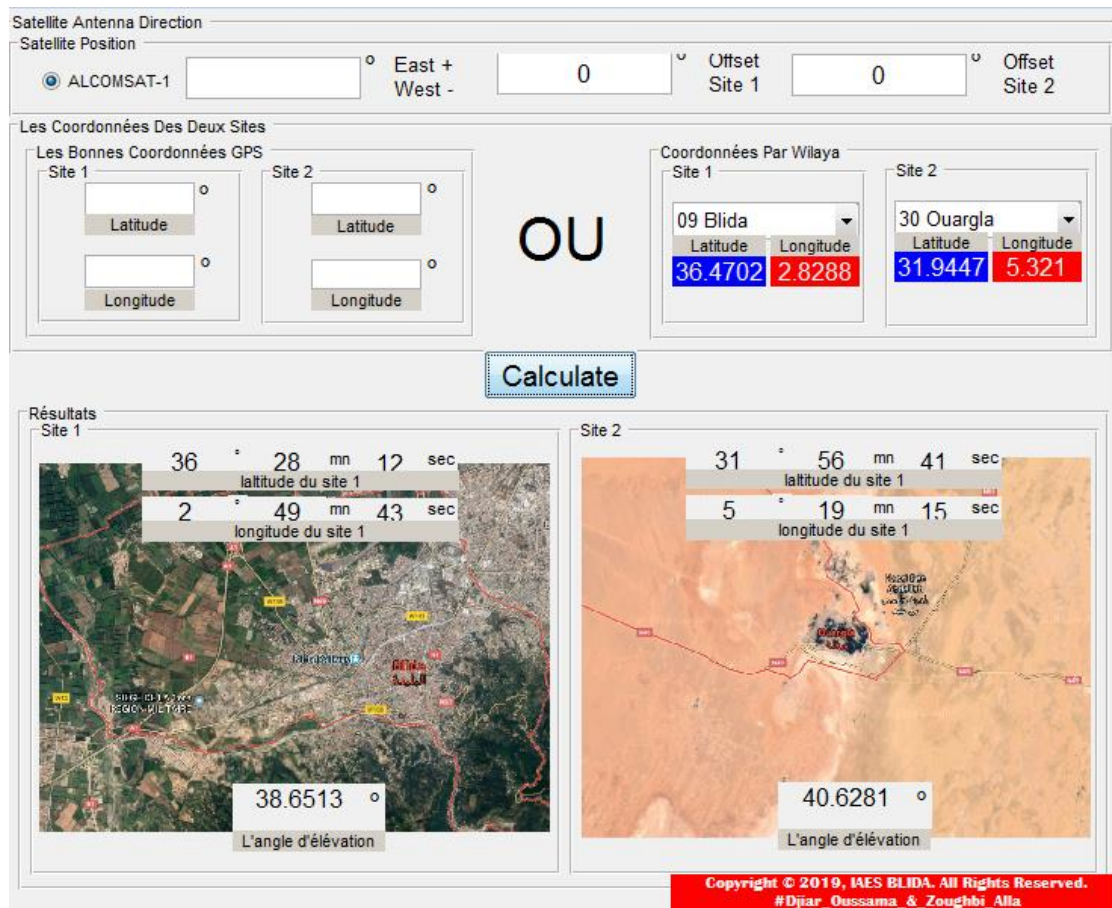


Figure IV.7 l'élévation aux niveaux de Blida et Ouargla.

Nous avons obtenu ces résultats :

L'élévation à Blida : 36.6513°

L'élévation à Ouargla : 40.6281°

### Comparaison de ces résultats avec le logiciel SAA (Satellite Antenna Alignment)

Nous devons d'abord commencé par la conversion :

#### ➤ Première site Blida

	Degrée Décimal	Degrée Minute Seconde
Laltitude	36.4702°	36° 28 min 12 sec
Longitude	2.8288°	2° 49 min 43 sec



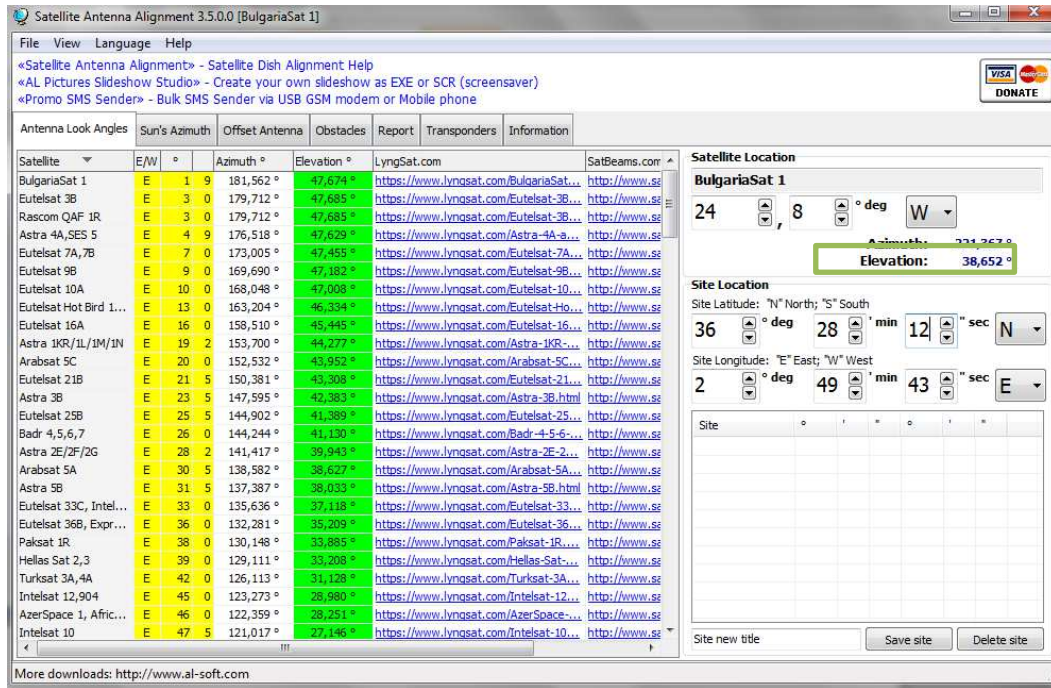


Figure IV.8 Logiciel SAA l'élévation au niveau de Blida

➤ Deuxieme site Ouargla

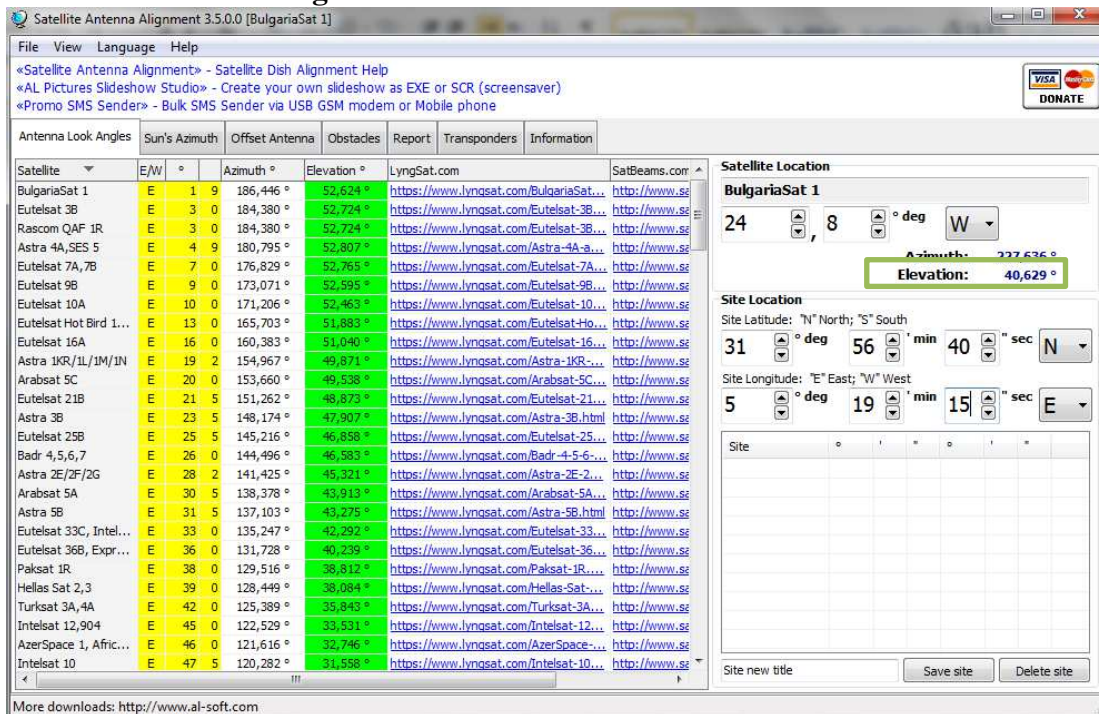


Figure IV.9 Logiciel SAA l'élévation au niveau d'Ouargla

	Degrée Décimal	Degrée Minute Seconde
Laltitude	31.9447°	31° 56 min 40sec
Longitude	5.321°	2° 19 min 15 sec

Les résultats sont similaires à ceux que nous avons simulés par notre programme.

### IV.3 Bilan de liaison Version 1

A l'aide de Matlab Guide nous avons programmé une interface pour calculer le bilan de liaison fréquentielle entre deux sites via un satellite.

#### IV.3.1 Présentation d'interface de notre programme Bilan de liaison Version 1



Figure IV.10 L'interface d'application de bilan de liaison

Comme elle montre la figure précédente nous avons liées chaque partie de ce programme avec un numéro, par la suite nous allons faire une description précise de ces parties.

#### Description de l'interface :

##### a) Les entrées :

-Le champ 1 est une case pour introduire la fréquence TX en bande Ku du BUC site 1.

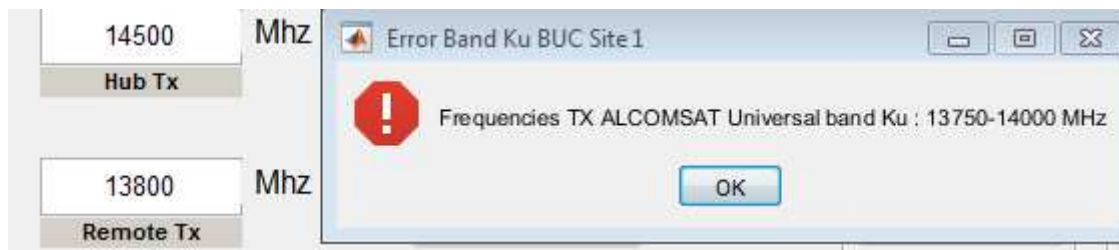
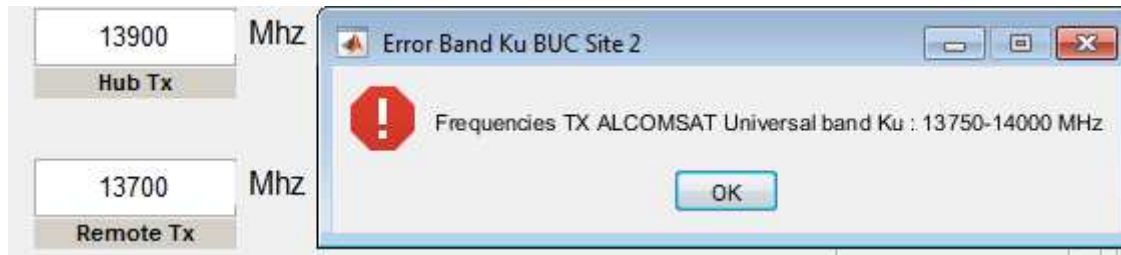


Figure IV.11 Le message d'erreur pour fréquence Tx en bande Ku erronée du site 1

Fréquences TX ALCOMSAT universel en bande Ku : 13750-14000 MHz.

Un message d'erreur sera affiché si la valeur introduit est hors cette plage de fréquence.

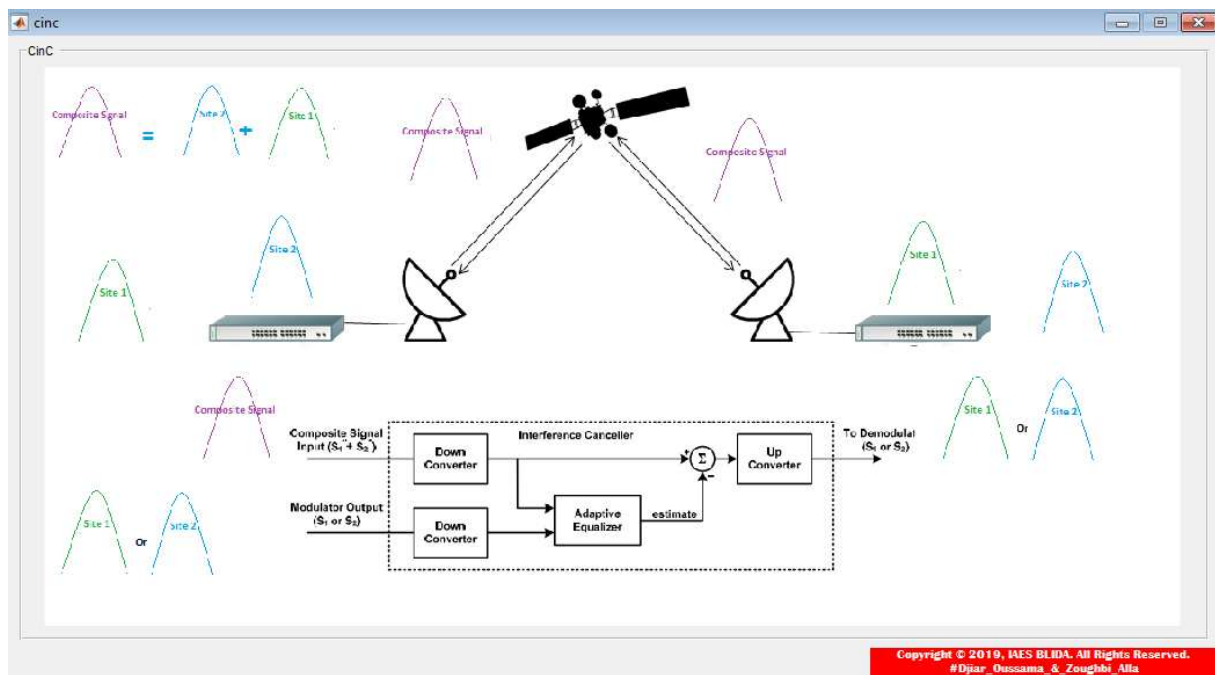
-Le champ 2 est une case pour introduire la fréquence TX en bande Ku du BUC site 2.



**Figure IV.12** Le message d’erreur pour fréquence Tx en bande Ku erronée du site 2

Fréquences TX ALCOMSAT universel en bande Ku : 13750-14000 MHz, un message d’erreur sera affiché si la valeur introduit est hors cette plage de fréquence.

En cas d’équivalence entre TX site 1 et TX site 2 la technologie Carrier-In-Carrie sera activé, et cette interface explicative s’affichera :



**Figure IV.13** L’interface explicatif de la technologie Carrier-In-Carrier

Cette interface est composée d’un schéma, qu’il représente le principe de fonctionnement de la technologie Carrier In Carrier.

La technologie de Carrier In Carrier permet de minimiser la bande passante de 30-50%, en respectant la condition suivante :  $PEB \leq BW$ .

-Le champ 3 est une case pour introduire le nom du site 1.

-Le champ 4 est une pour introduire le nom du site 2.

-Le champ 5 est l'affichage de satellite et transpondeur sélectionner.

-Le champ 6 est l'affichage de fréquence de translation de satellite ALCOMST-1. (C'est la fréquence qui convertie la fréquence de liaison montante à la fréquence de liaison descendante et chaque Transpondeur a sa propre fréquence de translation.)

-Le champ 7 est une case pour introduire Data Rate.

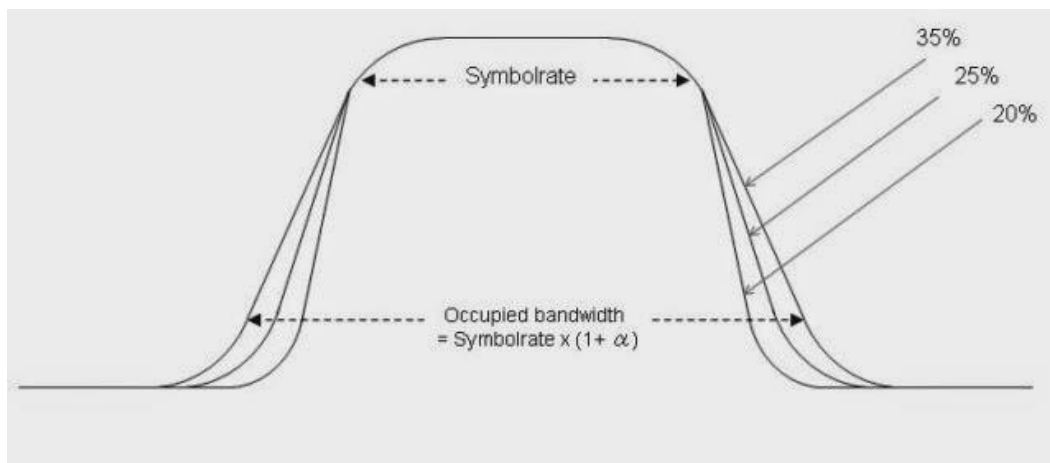
-Le champ 8 est une case pour introduire l'entête IP. (*Info Rate* : c'est la somme de Data rate (L'information à transmettre en Mbps) et l'entête IP (Une pourcentage initialisé par le constructeur de modem de la data rate, est pour le but de protéger la donnée à envoyer).

$$\text{Info Rate} = \text{Data Rate} + \text{Entête IP}$$

-Le champ 9 est une liste de sélection pour le choix Rolloff :

5%	10%	15%	25%
----	-----	-----	-----

**Rolloff** (C'est une mesure du dépassement de bande passante du filtre, obtenue comme un pourcentage.)



**Figure IV.14** Le schéma de RollOff

-Le champ 10 est une liste de sélection pour le choix de types de Modulation entre :

<b>BPSK (n=1)</b>	<b>QPSK (n=2)</b>	<b>8-PSK/8-QAM (n=3)</b>	<b>16-PSK/16-QAM (n=4)</b>
-------------------	-------------------	--------------------------	----------------------------

-Le champ 11 est une liste de sélection pour le choix FEC :

1/2	2/3	3/4	4/5	5/6	6/7	7/8
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----



-Le champ 12 est une case pour introduire la valeur de FEC si la valeur n'appartient pas à la liste précédente. (La correction d'erreur directe (FEC) est une technique utilisée pour contrôler les erreurs de transmission de données sur des canaux de communication. L'idée centrale est que l'émetteur code le message de manière redondante en utilisant un code de correction d'erreur. La valeur de FEC correspond au rapport entre la taille de code utile et la taille de code de protection.)



Figure IV.15 Le message d'erreur valeur erronée de FEC

FEC est compris entre 0 et 1, un message d'erreur sera affiché si la valeur introduit est hors cet intervalle.

-Le champ 13 est une liste de sélection pour le choix de diamètre antenne site 1 entre :

1.2 m	1.8 m	2.4 m	3.8 m	4.8 m	5.6 m
-------	-------	-------	-------	-------	-------

-Le champ 14 est une liste de sélection pour le choix de diamètre antenne site 2 entre :

1.2 m	1.8 m	2.4 m	3.8 m	4.8 m	5.6 m
-------	-------	-------	-------	-------	-------

-Le champ 15 est une case pour introduire la valeur de EB/N0.

-Le champ 16 est un Button pour accéder à le tableau des valeurs EB/N0 pour le type de FEC : VersaFEC.

Modulation	Code Rate	Spectral efficiency, bps/Hz	Block size, bits	Typical Eb/N0, for BER = 5 x 10 <sup>-4</sup>	Latency at 64 kbps, in milliseconds	Min. Data Rate, COM mode	Max. Data Rate, COM mode
BPSK	0.488	0.49	2k	2.4 dB	26	18 kbps	5.7 Mbps
QPSK	0.533	1.07	4.1k	2.2 dB	53	23 kbps	10 Mbps
QPSK	0.631	1.26	4.1k	2.7 dB	59	23 kbps	10 Mbps
QPSK	0.706	1.41	4.1k	3.4 dB	62	25 kbps	10 Mbps
QPSK	0.803	1.61	4.1k	3.9 dB	66	29 kbps	12 Mbps
8-QAM	0.612	1.93	6.1k	1.6 dB	89	35 kbps	12 Mbps
8-QAM	0.711	2.13	6.1k	5.2 dB	93	39 kbps	12 Mbps
8-QAM	0.780	2.34	6.1k	5.8 dB	97	43 kbps	12 Mbps
16-QAM	0.731	2.93	8.2k	6.3 dB	125	53 kbps	12 Mbps
16-QAM	0.780	3.12	8.2k	7.0 dB	129	57 kbps	14 Mbps
16-QAM	0.829	3.37	8.2k	7.5 dB	131	61 kbps	14 Mbps
16-QAM	0.863	3.41	8.2k	8.0 dB	132	62 kbps	16 Mbps

Figure IV.16 L'interface qui affiche le tableau des valeurs EB/N0 pour VersaFEC.

-Le champ 17 est une liste de sélection pour le choix BUC LO site 1 entre :

<b>12.8 GHz</b>	<b>13.05 GHz</b>
-----------------	------------------

-Le champ 18 est une liste de sélection pour le choix de LNB site 1 entre :

<b>9.75 GHz</b>	<b>10 GHz</b>	<b>10.6 GHz</b>	<b>11.3 GHz</b>
-----------------	---------------	-----------------	-----------------

-Le champ 19 est une liste de sélection pour le choix de BUC LO site 2.

<b>12.8 GHz</b>	<b>13.05 GHz</b>
-----------------	------------------

-Le champ 20 est une liste de sélection pour le choix de LNB site 2.

<b>9.75 GHz</b>	<b>10 GHz</b>	<b>10.6 GHz</b>	<b>11.3 GHz</b>
-----------------	---------------	-----------------	-----------------

-Le champ 21 est une liste de sélection pour le choix de transpondeur de satellite ALCOMSAT1.

Chaque transpondeur est caractérisé par une fréquence de translation. Dans notre application nous avons utilisé que FSS 1240 MHz avec une bande passante de transpondeur  $Bw_{Tp} = 36 \text{ MHz}$ .

-Le champ 22 est une liste de sélection pour le choix de l'EIRP de transpondeur par Wilaya du site 1 :

Nous n'avons obtenu que les PIRE de ces quatre sites :

<b>Lakhdaria</b> <b>PIRE = 54.8</b> <b>dBW</b>	<b>Ouargla</b> <b>PIRE = 54.2</b> <b>dBW</b>	<b>Bechar</b> <b>PIRE = 53.1 dBW</b>	<b>Bordj Badji</b> <b>Mokhtar</b> <b>PIRE = 51.3 dBW</b>
--	--	---	--

-Le champ 23 est une liste de sélection pour le choix de l'EIRP de transpondeur par Wilaya du site 2 :

-Le champ 24 est une liste de sélection pour le choix de la valeur d'OBO entre :

<b>Single Carrier (OBO=1)</b>	<b>Two Carriers (OBO=3)</b>	<b>Multi Carriers (OBO=4.5)</b>
-------------------------------	-----------------------------	---------------------------------

**L'IBO et L'OBO** (L'IBO (Input Back Off) est la puissance du signal d'entrée normalisée à la puissance d'entrée maximale. Donc, 0 dB IBO signifie que vous êtes à la puissance d'entrée

maximale de l'amplificateur. OBO (Output Back Off) est la puissance hors du modulateur et divisez-la par la puissance maximale.)

-Le champ 26 est une case pour introduire la valeur de Rain Fade. (Le terme Rain Fade (évanouissement dû à la pluie) s'applique à la manière dont les conditions atmosphériques telles que la pluie, le grésil et la neige peuvent absorber les signaux hyperfréquences dans les communications point à point par satellite. Le résultat de cette absorption est une perte de qualité du signal et même une baisse de service (par exemple, un signal de télévision par satellite mis hors ligne). Les fréquences supérieures à 11 GHz sont plus vulnérables aux évanouissements dus à la pluie que les basses fréquences, celles des bandes Ku et en particulier Ka étant les plus sensibles, et pour cela on ajoute une valeur supplémentaire à notre calcul du bilan de liaison, cette valeur est maximale à 2 dB et égale à 0 dB en (Clear Sky).)

-Le champ 26 est une case pour introduire la valeur de System Margin. (C'est une valeur en dB qu'on l'ajoute à notre calcul du bilan de liaison pour prendre en compte les perturbations imprévisibles, la valeur recommandée est 1 dB.)

### L'affichage des Résultats :

-Le champ 27 est l'affichage de nom du site 1.

-Le champ 28 est l'affichage de fréquence TX du site 1. (C'est la fréquence transmit au site 1 en bande Ku.)

-Le champ 29 est l'affichage de fréquence RX du site 1. (C'est la fréquence recevez au site 1 en bande Ku.)

$$f_q \text{ RX (MHz)}_{\text{Site 1}} = f_q \text{ TX (MHz)}_{\text{Site 1}} - f_q \text{ de translation (MHz)}_{\text{Site 1}} \quad \text{IV.1}$$

-Le champ 30 est l'affichage de gain TX du site 1.

$$\lambda = \frac{\text{Vitesse de la lumière}}{f_q \text{ TX}_{\text{Site 1}} (\text{Hz}) * 10^6} = \frac{3 * 10^8}{f_q \text{ TX}_{\text{Site 1}} (\text{Hz}) * 10^6} \quad \text{IV.2}$$

$$G_{\text{TX1}} (\text{dB}) = 10 * \log_{10} \left( 0.65 * \left( \pi * \frac{\text{diamètre d'antenne du site 1}}{\lambda} \right) \right) \quad \text{IV.3}$$

-Le champ 31 est l'affichage de gain RX du site 1.

$$\lambda = \frac{\text{Vitesse de la lumière}}{f_q \text{ RX}_{\text{Site 1}} (\text{Hz}) * 10^6} = \frac{3 * 10^8}{f_q \text{ RX}_{\text{Site 1}} (\text{Hz}) * 10^6} \quad \text{IV.4}$$

$$G_{RX1}(\text{dB}) = 10 * \log_{10} \left( 0.65 * \left( \pi * \frac{\text{diamètre d'antenne du site 1}}{\lambda} \right) \right) \quad \text{IV.5}$$

-Le champ 32 est l'affichage de Info Rate du site 1.

$$\text{Info Rate} = \text{DATA IP} + (\text{DATA IP} * \text{Entête IP}) \quad \text{IV.6}$$

-Le champ 33 est l'affichage de type de modulation du site 1.

-Le champ 34 est l'affichage de FEC du site 1.

-Le champ 35 est l'affichage de type de FEC du site 1.

Ont utilisé VersaFEC dans notre simulation. (C'est un système à bloc court de codes de contrôle de parité à faible densité (LDPC) à faible temps de latence, conçu pour prendre en charge des applications sensibles à la latence, telles que le raccordement terrestre par satellite. Conçu pour fournir un gain de codage maximal tout en minimisant la latence, et fournissez un choix élargi de combinaisons de modulation et de code (ModCods), ces ModCod ont été choisis pour fournir une progression continue en termes de Eb / No et d'efficacité spectrale, tout en réduisant la latence à un minimum presque théorique.)

-Le champ 36 est l'affichage de RollOff du site 1.

-Le champ 37 est l'affichage de Symbol Rate du site 1.

$$\text{Symbol Rate} = \text{InfoRate} \left( \frac{1}{\text{FEC} * n} \right) \quad \text{IV.7}$$

-Le champ 38 est l'affichage de bande passante du site 1.

$$\text{Bande passante} = \text{Symbol Rate} + (\text{RollOff} * \text{Symbol Rate}) \quad \text{IV.8}$$

-Le champ 39 est l'affichage de la fréquence TX bande L du site 1.

$$Fq \text{ TX bande } L_{\text{Site 1}}(\text{MHz}) = Fq \text{ TX bande } Ku_{\text{Site 1}}(\text{MHz}) - Fq \text{ Buc}_{\text{Site 1}}(\text{MHz}) \quad \text{IV.9}$$

-Le champ 40 est l'affichage de la fréquence RX bande L du site 1.

$$Fq \text{ RX bande } L_{\text{Site 1}}(\text{MHz}) = Fq \text{ RX bande } Ku_{\text{Site 1}}(\text{MHz}) - Fq \text{ LNB}_{\text{Site 1}}(\text{MHz}) \quad \text{IV.10}$$





**Figure IV.17** Le message d'erreur pour fréquence Rx en bande L erronée du site 2. Fréquences RX en bande L : 950-2150 MHz, un message d'erreur sera affiché si la valeur introduit est hors cette plage de fréquence.

-Le champ 41 est l'affichage d'EIRP utilisateur du site 1.

$$EIRP_{user\ Site\ 1(dBW)} = P_{b(dBW)} + o_{bo(dB)} + 10\log(Bw)_{(MHz)} - 10\log(BwTp)_{(MHz)} \quad \text{IV.11}$$

**P<sub>b</sub>** : EIRP Beam Peak. (EIRP Beam de la liaison descendante du satellite montrent les lignes de contour, chaque ligne faisant référence à un niveau de puissance particulier du satellite. Les lignes sont marquées avec des valeurs de EIRP comme 45 dBW, 44 dBW, 43 dBW et 42dBW, etc. EIRP Beam Peak soit normalement au milieu du Beam.)

**B<sub>w</sub>** : Bande passante.

**B<sub>w</sub>T<sub>p</sub>** : bande passante de transpondeur (36Mhz)

-Le champ 42 est l'affichage de HPA en dBW du site 1.

$$HPA_{Site1\ dBW} = EIRP_{user\ Site\ 1(dBW)} - G_{TX1(dB)} + (P_{b(dBW)} - EIRP_{tp\ Site\ 1(dBW)}) + Rain\ Fade_{(dB)} + Margin\ System_{(dB)} \quad \text{IV.12}$$

-Le champ 43 est l'affichage de nom du site 2.

-Le champ 44 est l'affichage de fréquence TX du site 2. (C'est la fréquence transmit au site 2 en bande Ku.)

-Le champ 45 est l'affichage de fréquence RX du site 2. (C'est la fréquence recevez au site 2 en bande Ku.)

$$f_{q\ RX\ (MHz)}_{Site\ 2} = f_{q\ TX\ (MHz)}_{Site\ 2} - f_{q\ de\ translation\ (MHz)}_{Site\ 2} \quad \text{IV.13}$$

-Le champ 46 est l'affichage de gain TX du site 2.

$$\lambda = \frac{\text{Vitesse de la lumière}}{Fq TX_{Site 2} (Hz) * 10^6} = \frac{3 * 10^8}{Fq TX_{Site 2} (Hz) * 10^6} \quad \text{IV.14}$$

$$G_{TX2} (dB) = 10 * \log_{10} \left( 0.65 * \left( \pi * \frac{\text{diamètre d'antenne du site 2}}{\lambda} \right) \right) \quad \text{IV.15}$$

-Le champ 47 est l'affichage de gain RX du site 2.

$$\lambda = \frac{\text{Vitesse de la lumière}}{Fq RX_{Site 2} (Hz) * 10^6} = \frac{3 * 10^8}{Fq RX_{Site 2} (Hz) * 10^6} \quad \text{IV.16}$$

$$G_{RX2} (dB) = 10 * \log_{10} \left( 0.65 * \left( \pi * \frac{\text{diamètre d'antenne du site 2}}{\lambda} \right) \right) \quad \text{IV.17}$$

-Le champ 48 est l'affichage d'Info Rate du site 2.

-Le champ 49 est l'affichage de type de modulation du site 2.

-Le champ 50 est l'affichage de FEC du site 2.

-Le champ 51 est l'affichage de type de FEC du site 2. (Ont utilisé VersaFEC dans notre simulation)

-Le champ 52 est l'affichage de RollOff du site 2.

-Le champ 53 est l'affichage de Symbol Rate du site 2.

-Le champ 54 est l'affichage de bande passante du site 2.

-Le champ 55 est l'affichage de la fréquence TX bande L du site 2.

$$Fq TX bande L_{Site 2} (MHz) = Fq TX bande Ku_{Site 2} (MHz) - Fq Buc_{Site 2} (MHz) \quad \text{IV.18}$$

-Le champ 56 est l'affichage de la fréquence RX bande L du site 2.

$$Fq RX bande L_{Site 2} (MHz) = Fq RX bande Ku_{Site 2} (MHz) - Fq LNB_{Site 2} (MHz) \quad \text{IV.19}$$

-Le champ 57 est l'affichage d'EIRP utilisateur du site 2.

$$\begin{aligned} EIRP_{user Site 2} (dBW) \\ = P_{b(dBW)} + o_{bo(dB)} + 10 * \log(Bw)_{(MHz)} - 10 * \log(BwTp)_{(MHz)} \end{aligned} \quad \text{IV.20}$$

-Le champ 58 est l'affichage de HPA en dBW du site 2.

$$HPA_{Site2_{dBW}} = EIRP_{user_{Site2_{(dBW)}}} - G_{TX2_{(dB)}}(dB) + (Pb_{(dBW)} - EIRP_{tp_{Site2_{(dBW)}}}) + Rain\ Fade_{(dB)} + Margin\ System_{(dB)} \quad \text{IV.21}$$

-Le champ 59 est l'affichage de graphe de signal.

-Le champ 60 est l'affichage de mode de liaison entre SCPC et Carrier-In-Carrier.

-Le champ 61 est l'affichage de C/N.

**L'efficacité spectrale** En transmissions numériques, l'efficacité spectrale  $\eta$  se définit comme étant le rapport entre le débit binaire (en bit/s) et la bande passante (en Hz), et nous pouvons le calculer aussi par l'équation suivante :

$$Efficacité\ spectrale = \frac{InfoRate}{Bw} \quad \text{IV.22}$$

$$\frac{C}{N_{dB}} = 10 * \log_{10}(Efficacité\ spectrale * 10^{((\frac{Eb}{N0}) * \frac{1}{10})}) \quad \text{IV.23}$$

En cas nous utilises la technologie Carrier In Carrier, on ajoute une valeur dB supplémentaire, cette valeur est définie par le constructeur de modem COMTECH.

**Tableau IV.4 :** La marginal valeur de la technologie Carrier In Carrier

Modulation	Nominal Margin*
BPSK	0.3 dB
QPSK/OQPSK	0.3 dB
8-PSK	0.5 dB
8-QAM	0.4 dB
16-QAM	0.6 dB

Comme elle montre la figure, au-dessus cette valeur est en fonction de type de modulation utilisé par le modem.

-Le champ 62 est l'affichage de HPA en Watt du site 1.

$$HPA_{Site1_{Watt}} = 10^{\frac{HPA_{Site1_{dBW}}}{10}} \quad \text{IV.24}$$

-Le champ 63 est l'affichage de HPA en Watt du site 2.

-Le champ 64 est l'affichage de bande passante équivalente (Bweq).

\*Dans le cas de liaison SCPC nous avons Bweq=BW\*2.

\*Dans le cas de liaison Carrier-In-Carrier nous avons Bweq=BW.

-Le champ 65 est un Button pour lancer l'application de comparaison entre les prix des stations, pour choisit la plus optimale d'un point de vue financière.

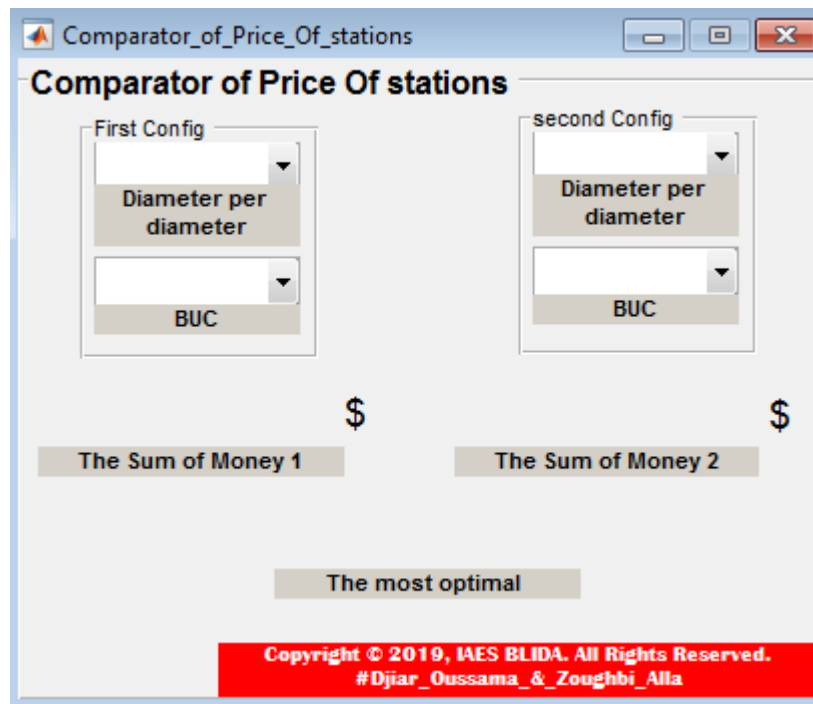


Figure IV.18 L'interface de calcul et de comparaison des prix de station VSAT

### Les opérations à faire :

-Le champ 66 est un Button pour lancer la simulation.

-Le champ 67 est un Button pour réinitialiser les cases des données.

### IV.3.2 Le fonctionnement de notre Programme Bilan de liaison

Nous allons tester le fonctionnement de notre programme en introduisant la configuration suivante :

#### I.3.2.1 Liaison SCPC

Tableau IV.5 : Description de l'interface de calcul de bilan de liaison SCPC

Site	Lakhdaria	Ouargla
Fréquence Tx	13902.38 MHz	13897.02 MHz
Fréquence Rx	12657.02 MHz	12662.38 MHz
Diamètre d'antenne	1.8m	1.8m
EIRP	LAKHDARIA	OUARGLA
Data Rate		10 Mbps
Entete IP		0%

Rolloff		25%
Buc LO	12.8 GHz	12.8 GHz
LNB LO	11.3 GHz	11.3 GHz
Modulation	8-QAM	8-QAM
FEC	0.78	0.78
Eb/N0		5.8
Rain Fade		0 dB
OBO		1 dB
System Margin		1 dB

Après le lancement de notre simulation nous avons cette capture :

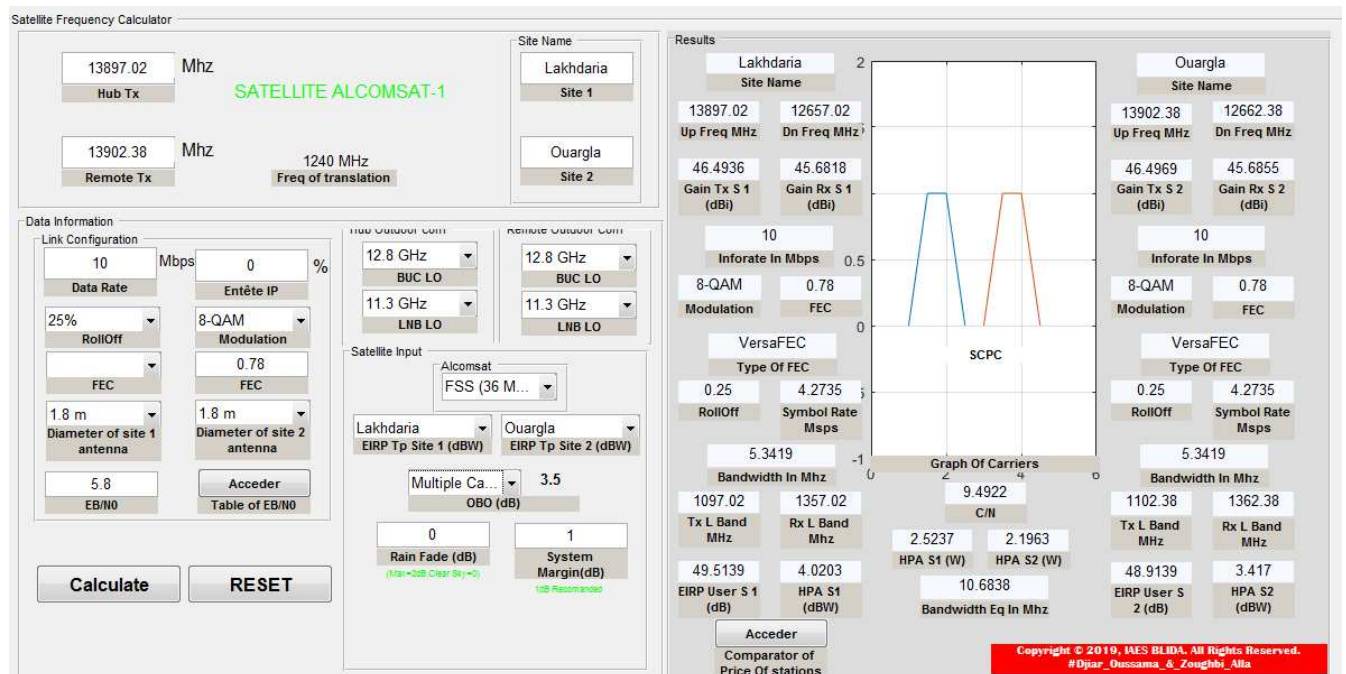


Figure IV.19 L'interface de calcul de bilan de liaison pour la liaison Lakhdaria Ouargla SCPC

Nous avons obtenu les résultats comme il montre le tableau ci-dessus :

Tableau IV.6 : Les résultats de notre deuxième simulation SCPC

Résultats/Site	Lakhdaria	Ouargla
Fréquence Tx	13897.02 MHz	13902.38 MHz
Fréquence Rx	12657.02 MHz	12662.38 MHz
Gain d'antenne Tx	46.4936 dBi	46.4969 dBi
Gain d'antenne Rx	45.6818 dBi	45.6855 dBi
InfoRate	10 Mbps	10 Mbps
Symbol Rate	4.2735 Msps	4.2735 Msps
Bande Passante	5.3419 MHz	5.3419 MHz
Fréquence Tx en bande L	1097.02 MHz	1102.38 MHz
Fréquence Rx en bande L	1357.02 MHz	1362.38 MHz
Pire user	49.5139 dB	48.9139 dB
HPA (dBW)	4.0203 dBW	3.417 dBW
HPA (W)	2.5237 Watt	2.1963 Watt
Bande passante équivalente Bweq	10.6838 MHz	

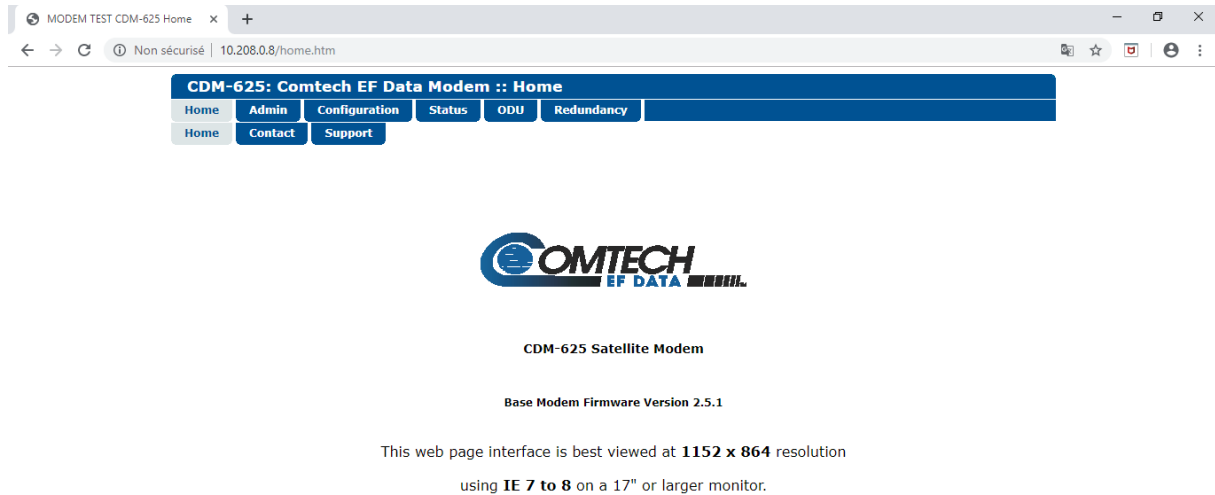
C/N

9.4922 dB

## Comparaison du résultat avec celle obtenu dans le site de Lakhdaria et l'ASAL

### Site 1 :

Nous allons comparer les résultats de notre programme avec celle obtenus au niveau de la station VSAT du Lakhdaria avec la même configuration :



**Figure IV.20** La plateforme de configuration de modem CDM-625

La figure suivante montre la configuration du modem CDM625 au niveau de Lakhdaria :

(Submit Tx and Rx Interface Type and Framing Mode BEFORE setting other configuration parameters.)

Tx Interface Type	IP	Rx Interface Type	IP
Tx Framing Mode	Unframed	Rx Framing Mode	Unframed

If CnC-APC is active, key transmission/reception parameters (Modulation, FEC type, Code Rate, Framing, Data Rate, Interface) cannot be modified until CnC-APC is suspended. (Go to Overhead tab to suspend or activate.)

Transmit	Receive
FEC Type: VersaFEC	FEC Type: VersaFEC
Modulation Type: 8QAM	Demodulation Type: 8QAM
FEC Code Rate: VersaFEC ModCod 7 - 8-QAM 0.780	FEC Code Rate: VersaFEC ModCod 7 - 8-QAM 0.780
Data Rate: 10000.000 kbps (Synchronous)	Data Rate: 10000.000 kbps (Synchronous)
Symbol Rate: 04272.875 ksps	Symbol Rate: 04272.875 ksps
Frequency: 1102.3800 MHz	Frequency: 1362.3800 MHz
Spectrum: Normal	Spectrum: Normal
Scrambler: IESS-315	De-Scrambler: IESS-315
Reed-Solomon Encoding: Normal	Sweep Width: 200 kHz (+/-)
Data Invert: Normal	Reed-Solomon Decoding: Normal
Clock Invert: Normal	Data Invert: Normal
Ternary Code: B8ZS	Clock Invert: Normal
Carrier: ON	Ternary Code: B8ZS
POCO: Disabled (Use with caution)	Eb/No Alarm Pt: 03.1 dB
Sub-Mux: Off	Receive Equalizer: Disabled
Sub-Mux Ratio: 1/9 (IP/Synchronous Data)	Sub-Mux: Off
Tx Filter Rolloff Factor: 0.25	Sub-Mux Ratio: 1/9 (IP/Synchronous Data)
	<input type="button" value="Config Rx"/>

Figure IV.21 Configuration SCPC de Modem CDM-625 au niveau de Lakhdoria

Site 2 :

La figure suivante montre la configuration du modem CDM625 au niveau d’Ouargla :

(Submit Tx and Rx Interface Type and Framing Mode BEFORE setting other configuration parameters.)

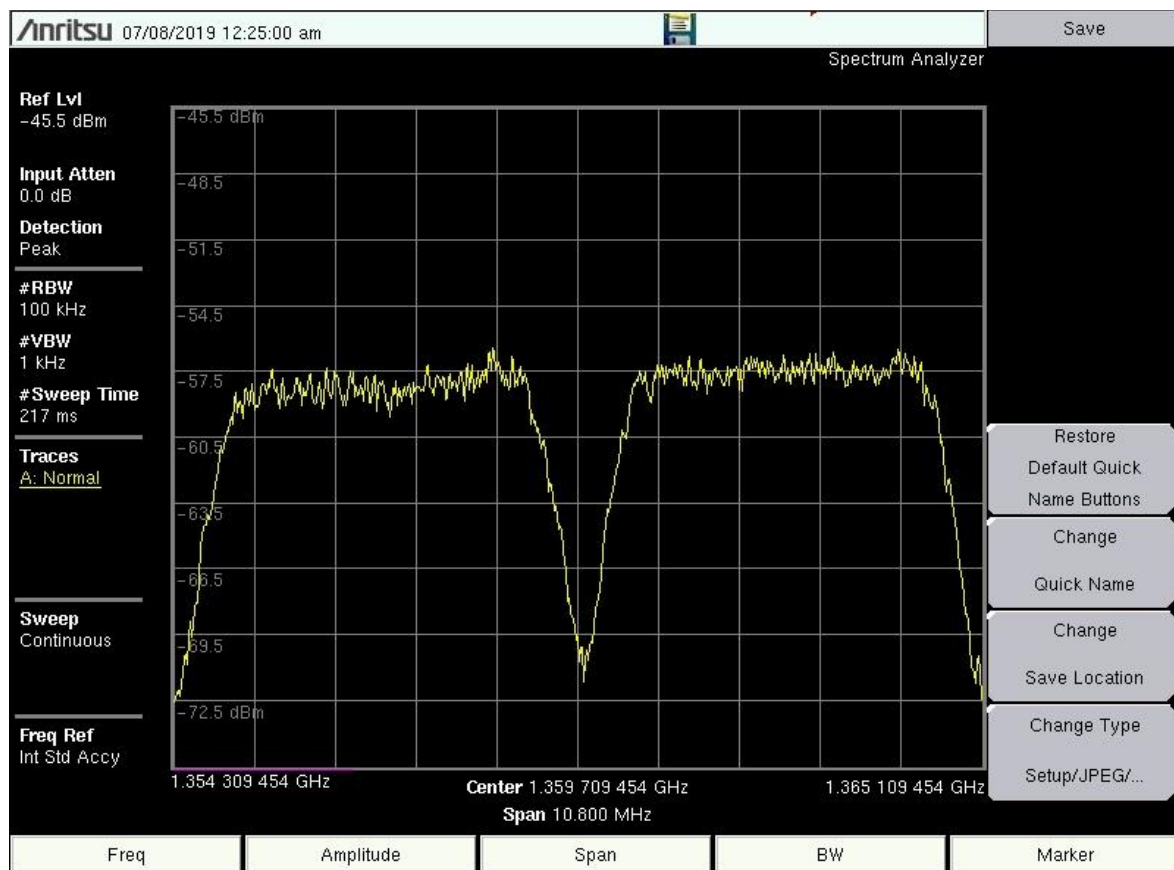
Tx Interface Type	IP	Rx Interface Type	IP
Tx Framing Mode	Unframed	Rx Framing Mode	Unframed

If CnC-APC is active, key transmission/reception parameters (Modulation, FEC type, Code Rate, Framing, Data Rate, Interface) cannot be modified until CnC-APC is suspended. (Go to Overhead tab to suspend or activate.)

Transmit	Receive
FEC Type: VersaFEC	FEC Type: VersaFEC
Modulation Type: 8QAM	Demodulation Type: 8QAM
FEC Code Rate: VersaFEC ModCod 7 - 8-QAM 0.780	FEC Code Rate: VersaFEC ModCod 7 - 8-QAM 0.780
Data Rate: 10000.000 kbps (Synchronous)	Data Rate: 10000.000 kbps (Synchronous)
Symbol Rate: 04272.875 ksps	Symbol Rate: 04272.875 ksps
Frequency: 1097.0200 MHz	Frequency: 1357.0200 MHz
Spectrum: Normal	Spectrum: Normal
Scrambler: IESS-315	De-Scrambler: IESS-315
Reed-Solomon Encoding: Normal	Sweep Width: 200 kHz (+/-)
Data Invert: Normal	Reed-Solomon Decoding: Normal
Clock Invert: Normal	Data Invert: Normal
Ternary Code: B8ZS	Clock Invert: Normal
Carrier: ON	Ternary Code: B8ZS
POCO: Disabled (Use with caution)	Eb/No Alarm Pt: 03.1 dB
Sub-Mux: Off	Receive Equalizer: Disabled
Sub-Mux Ratio: 1/9 (IP/Synchronous Data)	Sub-Mux: Off
Tx Filter Rolloff Factor: 0.25	Sub-Mux Ratio: 1/9 (IP/Synchronous Data)
	<input type="button" value="Config Rx"/>

Figure IV.22 Configuration SCPC de Modem CDM-625 au niveau d’Ouargla

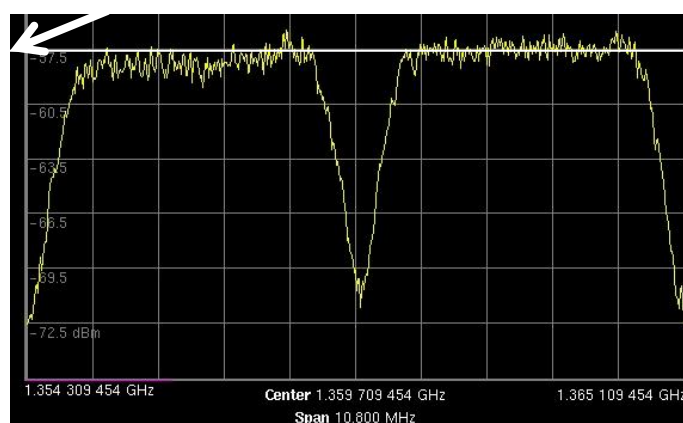
Après cette configuration de modem nous avons obtenus cette figure de Spectrum :



**Figure IV.23** L'image de Spectrum mode SCPC

Comme elle montre la figure de notre Spectrum nous avons le Span égale à 10.80 MHz pour une liaison SCPC, en comparons avec les résultats de notre programme  $B_{weq}=10.6838$  MHz nous avons trouvées presque les mêmes valeurs.

Et pour C/N, le rapport entre le signal et le bruit, qui représente le seuil de fonctionnement de la liaison c.-à-d. en cas la valeur C/N soit inférieure à cette valeur le lien commence à se disfonctionnées (des coupeurs).



**Figure IV.24** L'extraire de C/N de Spectrum mode SCPC



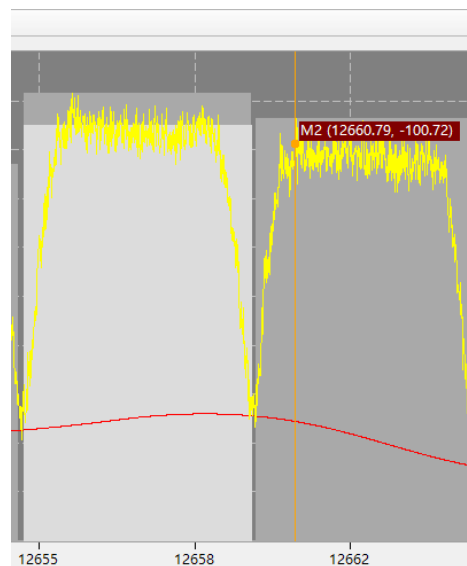
Nous avons obtenus cette valeur de C/N graphiquement (Spectrum)

$$C/N_{\text{experimentale}} = -57.5 - (-72.5) = 15 \text{ dB.}$$

Et nous avons la valeur calculer par notre application, C/N =9.4922dB.

$C/N < C/N_{\text{experimentale}}$ , donc notre liaison marche parfaitement sans aucuns coupeurs.

La figure suivante capturée dans l'agence spatial Algérien ASAL :



**Figure IV.25** L'image d'ASAL de signal SCPC

La figure présente le signal Rx de liaison Lakhdaria Ouargla, en comparant nos résultats de signal Rx (Rx Lakhdaria=12657.02 MHz, Rx Ouargla=12662.38 MHz) nous trouverons quelle sont identique.

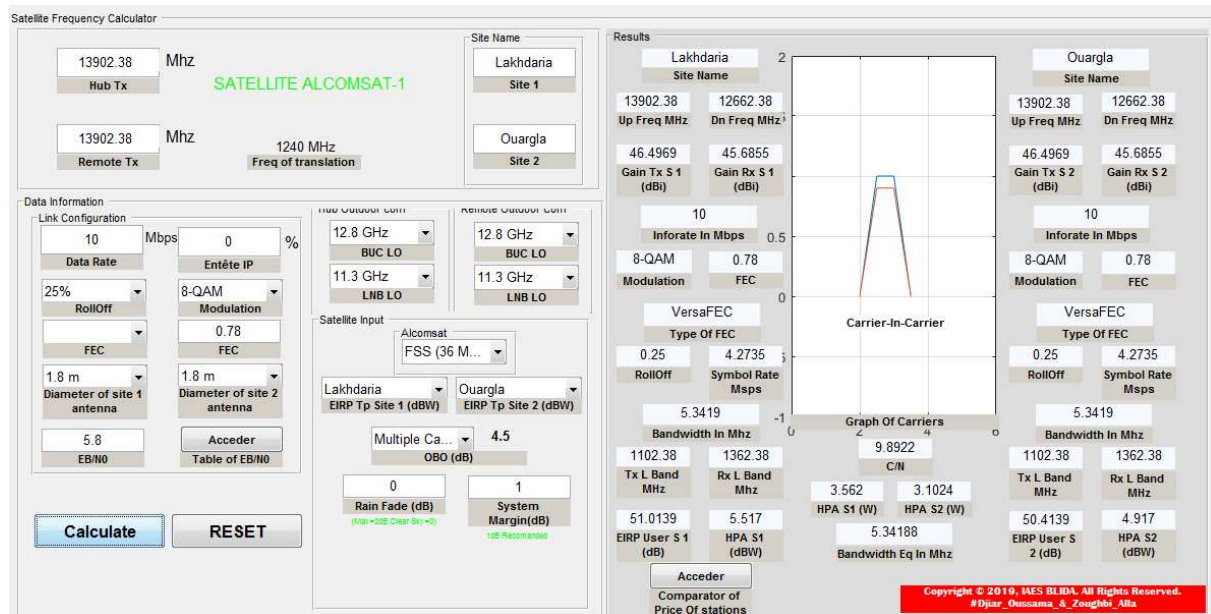
### IV 3.2.2 Liaison Carrier In Carrier

**Tableau IV.7** : Description de l'interface de calcul de bilan de liaison CnC

Site	Lakhdaria	Ouargla
Fréquence Tx	<b>13902.38 MHz</b>	<b>13897.02 MHz</b>
Fréquence Rx	<b>12657.02 MHz</b>	<b>12662.38 MHz</b>
Diamètre d'antenne	<b>1.8m</b>	<b>1.8m</b>
EIRP	<b>LAKHDARIA</b>	<b>OUARGLA</b>
Data Rate	<b>10 Mbps</b>	
Entete IP	<b>0%</b>	
Rolloff	<b>25%</b>	
Buc LO	<b>12.8 GHz</b>	<b>12.8 GHz</b>
LNB LO	<b>11.3 GHz</b>	<b>11.3 GHz</b>
Modulation	<b>8-QAM</b>	<b>8-QAM</b>

FEC	<b>0.78</b>	<b>0.78</b>
Eb/N0		<b>5.8</b>
Rain Fade		<b>0 dB</b>
OBO		<b>1 dB</b>
System Margin		<b>1 dB</b>

Après le lancement de notre simulation nous avons cette capture :



**Figure IV.26** L'interface de calcul de bilan de liaison pour la liaison Lakhdaria Ouargla CNC

Nous avons obtenu les résultats comme il montre le tableau ci-dessus :

**Tableau IV.8 :** Les résultats de notre deuxième simulation Cinc

Résultats/Site	Lakhdaria	Ouargla
Fréquence Tx	<b>13902.38 MHz</b>	<b>13902.38 MHz</b>
Fréquence Rx	<b>12662.38 MHz</b>	<b>12662.38 MHz</b>
Gain d'antenne Tx	<b>46.4969 dBi</b>	<b>46.4969 dBi</b>
Gain d'antenne Rx	<b>45.6855 dBi</b>	<b>45.6855 dBi</b>
InfoRate	<b>10 Mbps</b>	<b>10 Mbps</b>
Symbol Rate	<b>4.2735 Msps</b>	<b>4.2735 Msps</b>
Bande Passante	<b>5.3419 MHz</b>	<b>5.3419 MHz</b>
Fréquence Tx en bande L	<b>1102.38 MHz</b>	<b>1102.38 MHz</b>
Fréquence Rx en bande L	<b>1362.38 MHz</b>	<b>1362.38 MHz</b>
Pire user	<b>49.5139 dB</b>	<b>48.9139 dB</b>
HPA (dBW)	<b>4.017 dBW</b>	<b>3.417 dBW</b>
HPA (W)	<b>2.5237 Watt</b>	<b>2.1963 Watt</b>
Bande passante equivaente Bweq	<b>5.3419 MHz</b>	
C/N		<b>9.8922 dB</b>

## Comparaison du résultat avec celle obtenu dans le site de Lakhdaria et l'ASAL

### Site 1 :

Nous allons comparer les résultats de notre programme avec celle obtenus au niveau de la station VSAT du Lakhdaria avec la même configuration :

(Submit Tx and Rx Interface Type and Framing Mode BEFORE setting other configuration parameters.)

Tx Interface Type <input type="text" value="IP"/>	Rx Interface Type <input type="text" value="IP"/>
Tx Framing Mode <input type="text" value="Unframed"/>	Rx Framing Mode <input type="text" value="Unframed"/>

If CnC-APC is active, key transmission/reception parameters (Modulation, FEC type, Code Rate, Framing, Data Rate, Interface) cannot be modified until CnC-APC is suspended. (Go to Overhead tab to suspend or activate.)

Transmit

FEC Type

Modulation Type

FEC Code Rate

Data Rate  kbps (Synchronous)

Symbol Rate  ksp/s

Frequency  MHz

Spectrum

Scrambler

Reed-Solomon Encoding

Data Invert

Clock Invert

Ternary Code

Carrier

POCO  (Use with caution)

Sub-Mux

Sub-Mux Ratio  (IP/Synchronous Data)

Tx Filter Rolloff Factor

Receive

FEC Type

Demodulation Type

FEC Code Rate

Data Rate  kbps (Synchronous)

Symbol Rate  ksp/s

Frequency  MHz

Spectrum

De-Scrambler

Sweep Width  kHz (+/-)

Reed-Solomon Decoding

Data Invert

Clock Invert

Ternary Code

Eb/No Alarm Pt  dB

Receive Equalizer

Sub-Mux

Sub-Mux Ratio  (IP/Synchronous Data)

**Figure IV.27** Configuration CNC de Modem CDM-625 au niveau de Lakhdaria

### Site 2 :

La figure suivante montre la configuration du modem CDM625 au niveau d'Ouargla :

64

(Submit Tx and Rx Interface Type and Framing Mode BEFORE setting other configuration parameters.)

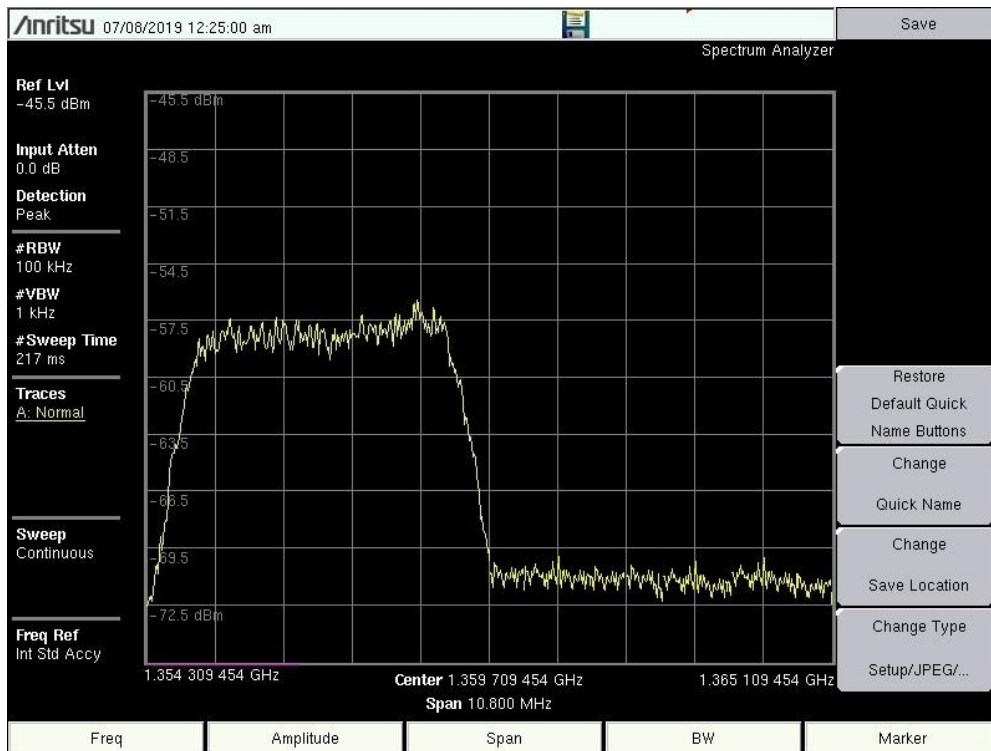
Tx Interface Type <input type="text" value="IP"/>	Rx Interface Type <input type="text" value="IP"/>
Tx Framing Mode <input type="text" value="Unframed"/>	Rx Framing Mode <input type="text" value="Unframed"/>

If CnC-APC is active, key transmission/reception parameters (Modulation, FEC type, Code Rate, Framing, Data Rate, Interface) cannot be modified until CnC-APC is suspended. (Go to Overhead tab to suspend or activate.)

Transmit	Receive
FEC Type <input type="text" value="VersaFEC"/>	FEC Type <input type="text" value="VersaFEC"/>
Modulation Type <input type="text" value="8QAM"/>	Demodulation Type <input type="text" value="8QAM"/>
FEC Code Rate <input type="text" value="VersaFEC ModCod 7 - 8-QAM 0.780"/>	FEC Code Rate <input type="text" value="VersaFEC ModCod 7 - 8-QAM 0.780"/>
Data Rate <input type="text" value="10000.000"/> kbps (Synchronous)	Data Rate <input type="text" value="10000.000"/> kbps (Synchronous)
Symbol Rate <input type="text" value="04272.875"/> ksps	Symbol Rate <input type="text" value="04272.875"/> ksps
Frequency <input type="text" value="1102.3800"/> MHz	Frequency <input type="text" value="1362.3800"/> MHz
Spectrum <input type="text" value="Normal"/>	Spectrum <input type="text" value="Normal"/>
Scrambler <input type="text" value="IESS-315"/>	De-Scrambler <input type="text" value="IESS-315"/>
Reed-Solomon Encoding <input type="text" value="Normal"/>	Sweep Width <input type="text" value="200"/> kHz (+/-)
Data Invert <input type="text" value="Normal"/>	Reed-Solomon Decoding <input type="text" value="Normal"/>
Clock Invert <input type="text" value="Normal"/>	Data Invert <input type="text" value="Normal"/>
Ternary Code <input type="text" value="B8ZS"/>	Clock Invert <input type="text" value="Normal"/>
Carrier <input type="text" value="ON"/>	Ternary Code <input type="text" value="B8ZS"/>
POCO <input type="text" value="Disabled"/> (Use with caution)	Eb/No Alarm Pt <input type="text" value="03.1"/> dB
Sub-Mux <input type="text" value="Off"/>	Receive Equalizer <input type="text" value="Disabled"/>
Sub-Mux Ratio <input type="text" value="1/9"/> (IP/Synchronous Data)	Sub-Mux <input type="text" value="Off"/>
Tx Filter Rolloff Factor <input type="text" value="0.25"/>	Sub-Mux Ratio <input type="text" value="1/9"/> (IP/Synchronous Data)
	<input type="button" value="Config Rx"/>

**Figure IV.28** Configuration CNC de Modem CDM-625 au niveau d’Ouargla

Après cette configuration de modem nous avons obtenus cette figure de Spectrum :

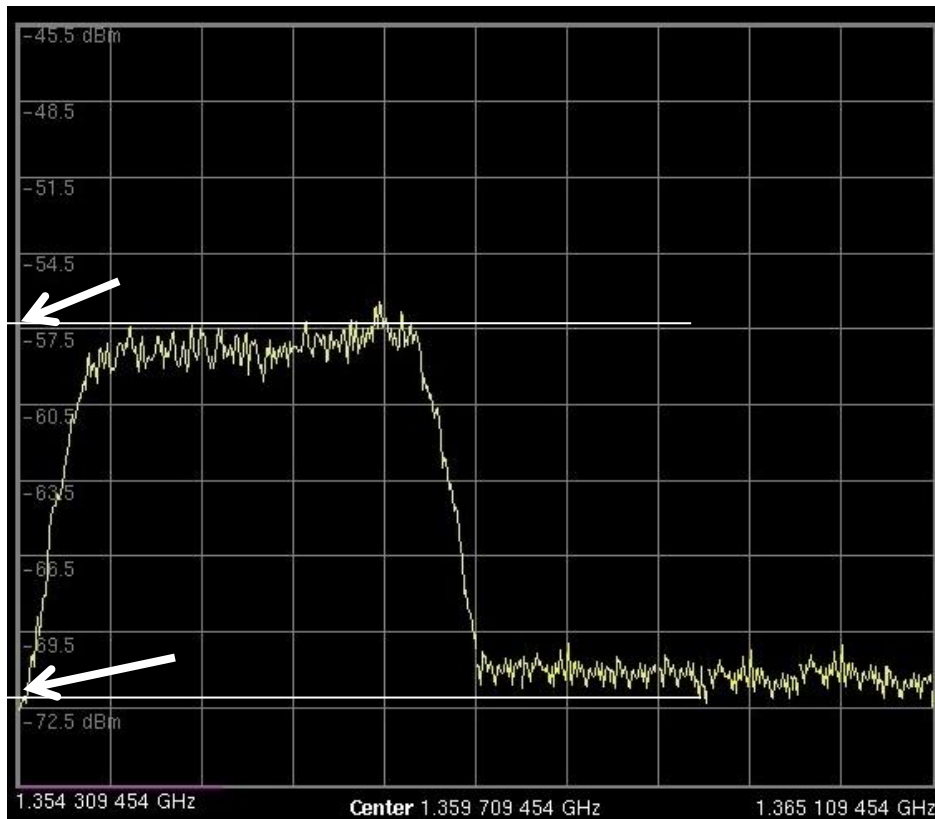


**Figure IV.29** L’image de Spectrum mode CNC

Comme elle montre la figure de notre Spectrum nous avons le Span égale à 10.80 MHz mais notre porteuse se trouve sur  $\text{Span}/2=5.40$  MHz pour une liaison Cnc, en comparons avec

les résultats de notre programme  $B_{weq}=5.3419$  MHz nous avons trouvées presque les mêmes valeurs.

Et pour C/N :



**Figure IV.30** L'extraire de C/N de Spectrum mode CNC

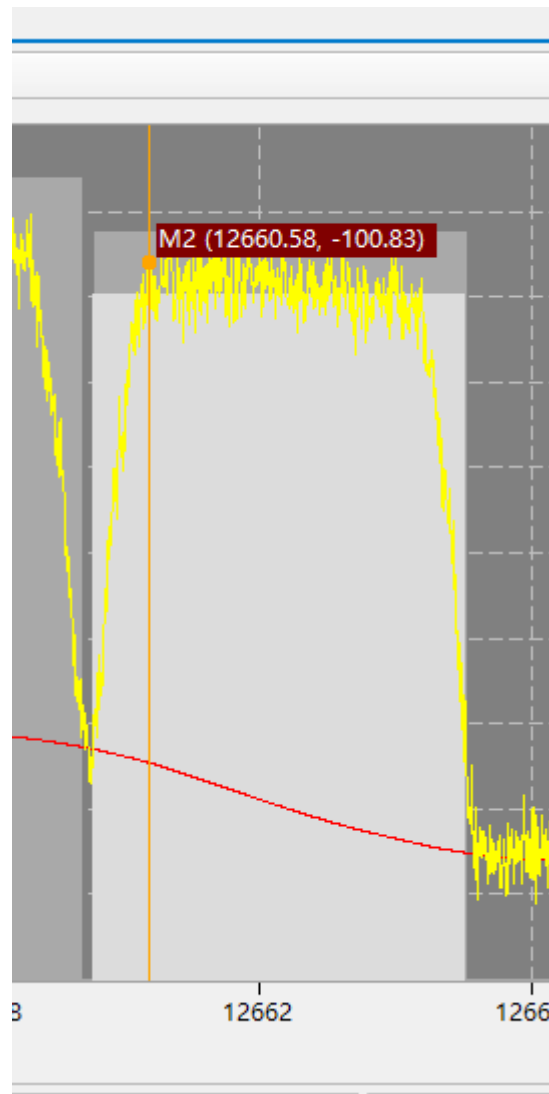
Nous avons obtenus cette valeur de C/N graphiquement (Spectrum)

$$C/N_{\text{experimentale}} = -57.5 - (-72.5) = 15 \text{ dB.}$$

Et nous avons la valeur calculer par notre application,  $C/N = 9.4922$  dB.

$C/N < C/N_{\text{experimentale}}$ , donc notre liaison marche parfaitement sans aucuns coupeurs.

La figure suivante capturée dans l'agence spatial Algérien ASAL :



**Figure IV.31** L'image d'ASAL de signal CNC

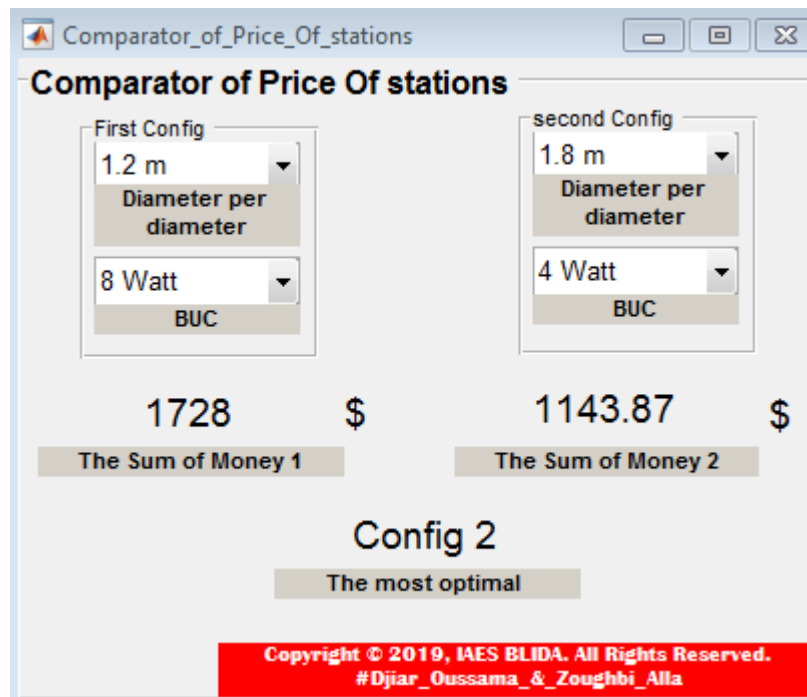
La figure présente le signal Rx de liaison Lakhdoria Ouargla, en comparant notre résultats de signal Rx (Rx Lakhdoria=12662.38 MHz, Rx Ouargla=12662.38 MHz) nous trouverons quelle sont identique.

### **IV.3.2.3 Le calcul et la comparaison des prix de station VSAT**

Dans le domaine de télécommunication les recherches sont toujours vers des portées et des capacités plus grandes à des couts aussi faibles que possible.

Donc pour notre application de calcul et de comparaison des prix de station VSAT nous allons calculer le cout d'une station VSAT pour une première configuration, en suite les comparer avec le cout d'une station pour une deuxième configuration en gardant le même signal à

transmettre avec la même qualité de service , puis afficher la configuration la plus optimale d'un point de vue financière .



**Figure IV.32** Comparaison de prix de station VSAT entre deux configurations

Comme elle montre la figure précédente nous avons comparé deux configurations qui assurent le même service, nous avons obtenus que la première configuration soit la plus optimale car il est beaucoup moins cher.

Dans notre simulation nous avons choisi de travailler avec le diamètre d'antenne 1.8 m car quand nous avons comparé les prix, nous avons trouvées que la configuration l'antenne de 1.8 m est la plus optimale.

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé la mise en œuvre du projet, nous avons fait en premier lieu une présentation détaillée d'interfaces de ces applications, en suite nous avons lancés une simulation et nous avons comparés ces résultats avec des résultats réels, enfin nous avons conclu que nos applications fonctionnent parfaitement et les résultats sont concluants.

### Conclusion générale

Le présent travail nous a permis, dans une première étape, d'étudier la transmission des données via satellite et de définir les notions de base nécessaires dans les télécommunications satellitaires puis présenter un état de l'art du satellite Algérien de télécommunication Alcomsat-1.

Dans la deuxième étape nous avons abordé le réseau VSAT et donner une explication sur la technologie d'optimisation Carrier-In-Carrier.

Dans la troisième étape nous avons étudié théoriquement le bilan de liaison entre le satellite et une station sol. Ensuite nous avons vu les équations nécessaires pour l'étude théorique d'un bilan de liaison, ainsi les paramètres influents sur cette liaison, et comment optimisé ce bilan de liaison.

Dans la quatrième étape nous avons présenté notre étude pratique, l'application de calcul d'angle d'élévation d'antenne avec deux méthodes, soit en connaissant la position exacte GPS (altitude et de longitude), soit par les coordonnées prédéfinies des 48 wilayas , nous avons testé son fonctionnement et nous avons comparé ces résultats avec ceux obtenues avec le logiciel SAA et avec la valeur affichée sur l'équipement de tracking installé au niveau de l'antenne 5.6m à Lakhdaria .

Ce qui concerne l'application de calcul de bilan de liaison de satellite Alcomsat-1, nous avons fait le calcul de la liaison Lakhdaria – Ouargla en SCPC et en Carrier-In-Carrier, ensuite nous avons comparé les résultats obtenus avec les données affichées sur le Spectrum utilisé par les ingénieurs d' Algérie Télécom Satellite et avec l'affichage du logiciel de supervision de l' Agence Spatial Algérienne.

Enfin, un calculateur de bilan de liaison, comporte beaucoup de paramètres comme les interférences causées par les satellites adjacents ou par les porteuses adjacent... L'application présenté dans ce mémoire est une première version et pour cela nous espérons bien que les prochaines promotions peuvent terminer ce travail et qu'il se soit utiliser par l'Algérie Télécom Satellite et par l'Agence Spatial Algérienne.



## Bibliographie

- [1] Hamza Othmani: «Modélisation des sources de vibration dans les satellites lasers » Université de KASDI MERBAH OUARGLA, ( 2017).
- [2] G. Maral, “ Système de télécommunications par satellite”, Technique de l’ingénieur E7560, (1995).
- [3] A. Jamalipour, “Low earth orbital satellites for personal communication networks”, Artech House, Boston. London, (1998).
- [4] Liv Oddrun Voll et Gunn Kristin Klungsoyr «Very Small Aperture Terminal (VSAT) systems- basic principles and design». (2009).
- [5] Gérard Maral : «Architecture d’un système de communications par satellite» Systèmes de télécommunications par satellite, (1996).
- [6] Anne claire Lepage : «introduction aux télécommunication par satellite » Département communication et électronique, ( 2010).
- [7] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Satellite de Communications](https://fr.wikipedia.org/wiki/Satellite_de_Communications)
- [8] <https://fr.scribd.com/document/115966466/81239918-Satellite-Bilan>
- [9] <https://fr.scribd.com/document/230019186/Carrier-in-Carrier>
- [10] <https://fr.kingofsat.net/sat-alcomsat1.php>
- [11] <https://fr.scribd.com/doc/Bilan-de-liaison-Satellite>
- [12] <https://www.n2yo.com/satellite/?s=43039>
- [13] <http://www.asal.dz/ALCOMSAT-1>
- [14] <https://fr.scribd.com/document/119835018/DoubleTalk-Carrier-in-Carrier>
- [15] <https://www.techniques-ingenieur.fr/search.html?query=VSAT>
- [16] \_Houari maouchi « Routage avec Qualité de Service dans AODV » Université Mouloud MAMMARI de TIZI-OUZOU . (2009)

[17] <https://fr.scribd.com/document/377917948/Reseau>

[18] A. Boyer, «CANAUX DE TRANSMISSIONS,» INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE , 09 2011. Available: [http://alexandre-boyer.fr/alex/enseignement/cours\\_transmission\\_bruite\\_sept11\\_v2\\_sans\\_reponses.pdf](http://alexandre-boyer.fr/alex/enseignement/cours_transmission_bruite_sept11_v2_sans_reponses.pdf).

[19] M.Meriah, «Liaison hertzienne,» Université de Tlemcen, 2016-2017.

[20] L. REYNIER, «BILAN DE LIAISON HERTZIENNE. Bilan de liaison,» [En ligne]. Available: <http://perso.telecom-paristech.fr/~coupecho/cours/BdL-TDMA-CDMA- OFDMA-4p.ppt.pdf>.

[21] Mr ZEMAM Youssouf et Mr SAHLI Omar, «Etude de la liaison BTS/BSC du réseau GSM,» Université de tlemcen, mai 2012-2013.

[22] ZEGGAI Sara et ZOUAG Bilal Mohamed, «Étude d'une liaison radio avec relais et calcul du bilan de liaison» ,Université de tlemcen, juin 2016-2017.