

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Centre Universitaire BELHADJ Bouchaib d'Ain Témouchent



Institut des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie de l'eau et de l'environnement

PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master en :  
Génie de l'eau et de l'environnement  
Spécialité : SEE

**Apport de la télédétection dans la quantification des  
eaux de la grande Sebkhha d'ORAN**

**Réalisé par :**

Melle BENMAZOUZ Wissem  
Melle TAGRI Zoubida

**Devant les jurys composé de :**

<b>Présidente</b>	<b>Mme BOUGHALEM. M</b>	<b>MCA</b>
<b>Examinatrice</b>	<b>Mlle BENCHKOUR. H</b>	<b>MAB</b>
<b>Examinatrice</b>	<b>Mme BELARBI.H</b>	<b>MAA</b>
<b>Encadreur</b>	<b>Mr KADDOUR Hakim</b>	<b>MAA</b>

**Année universitaire 2015/2016**

# *Remercîments*

*Nous remercions DIEU le tout puissant qui a guidé nos pas depuis l'aube de notre vie. Merci ALLAH de nous avoir donné la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout de nos rêves.*

*Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à Mr. KADDOUR pour sa patience et sa disponibilité, sans lui notre travail ne serait jamais assez riche, que ce travail soit le témoignage de notre respect et notre gratitude.*

*Nous remercions par ailleurs vivement les membres de jury de nous avoir fait l'honneur de juger notre travail et d'assister à notre soutenance.*

*Nos remerciements s'adressent également à tous nos enseignants pour leurs générosités et leurs conseils.*

*Nos vifs remerciements vont aux étudiants de L3, d'avoir collaboré avec nous et contribué à notre travail.*

*Nous remercions notre camarade M. Leïla d'avoir été une aide précieuse, de nous avoir consacré son temps que DIEU lui procure une bonne continuation avec plein de succès.*

*Nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin.*

# *Dédicace*

## *Je dédie ce noble travail*

✎ *A ma mère qui m'a comblé de son soutien et m'a voué un amour inconditionnel. Elle représente pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Que cet humble travail témoigne mon affection et qu'il appelle sur moi sa continuelle bénédiction.*

✎ *A mon père, rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être, que ce travail exprime l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour lui.*

✎ *A mes frères, mes sœurs, mes neveux et mes nièces pour leur présence, sourire, tendresse, soutiens et conseils. Que ce travail témoigne mon attachement, ma reconnaissance et mon respect. Que DIEU vous procure la santé et le bonheur.*

✎ *A mon Cher fiancé, celui qui a toujours cru en moi son soutien, sa patience m'ont permis d'avancé dans la vie que dieu nous réunissent pour un long chemin plein de sérénité et de bonheur.*

*Je vous aime.*

✎ *A mon binôme ZOOUZOU la folle et ma copine LEILA, vous êtes comme des sœurs pour moi, merci pour les agréables moments qu'on a partagé. Qu'ALLAH vous procure la réussite et tout le bonheur du monde.*

✎ *A ma cousine Amel et sa petite famille, Que DIEU lui procure tout le bonheur.*

✎ *A toute la famille BENMAZOUZ et GOUAL.*

✎ *A tout mes copines et tous camarades de classe.*

*Wissem*

# Dédicace

## Je dédie ce modeste travail

∞ A ma très chère **Mère** qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite ... t'avoir à mes côtés vaut pour moi tous l'Or du monde.

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour t'exprimer ce que tu mérites, je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.

Puisse **DIEU** le tout puissant te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

∞ A mon **Père** qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études que **DIEU** te protège.

∞ A ma **grand Mère** qui avec ses prières et conseils m'a toujours orienté vers le bon chemin que **DIEU** lui prêter longue vie et beaucoup de santé.

∞ A mon cher fiancé, qui était toujours présent pour me reconforter et me pousser d'aller jusqu'au bout, que **DIEU** nous réunissent pour un long chemin plein de sérénité et de bonheur.

∞ A mon binôme ma sœur **Wissem** en témoignage de l'amitié qui nous uni je te souhaite tout le bonheur et la réussite dans ta vie.

∞ A ma meilleure amie ma sœur **Leïla** qui occupe une place toute spécial dans ma vie, qui ma toujours soutenu et encouragé je te remercie pour tous les bons moments et souvenirs et je te souhaite tout le bonheur et la réussite.

∞ A tout mes chères copines et camarades de classe.

∞ A toutes ma famille et spécialement **Sid Ali** ainsi que ma belle famille du plus âgé au plus jeune.

**Zoubida**

A teal-colored speech bubble graphic with rounded corners and a tail pointing towards the bottom-left. The word "Résumé" is centered inside the bubble in a white, elegant serif font.

# *Résumé*

## ***Résumé***

La quantification des eaux a une grande importance pour la stratégie de son exploitation, gestion et distribution. La grande Sebkha d'Oran qui s'étale sur 300 km<sup>2</sup> représente une ressource naturelle de stockage des eaux pluviales non encore exploitées. Le calcul du volume d'eau peut inciter les acteurs politiques et économiques à mettre en place un programme d'exploitation de cette ressource malgré les difficultés qu'elle présente.

Parmi ces difficultés, est l'élaboration d'un plan bathymétrique précis de ce grand lac salé, qui est basé pour le calcul du volume d'eau maximale que peut contenir.

Nous étudions dans ce mémoire, les avantages d'intégration des techniques spatiales et leurs limites d'utilisation dans ce domaine à savoir la Télédétection optique et radar.

En effet, les images LANDSAT nous ont permis la délimitation géométrique de la sebkha, et celle des eaux aux moments des prises de vue.

Pour les produits SRTM (shuttle Radar Topography Mission), fournis gratuitement par la NASA (National Aeronautique and Space Administration). Le MNT (Modèle Numérique de Terrain) bathymétrique varie d'une résolution à une autre, ce qui nous a poussé à une étude qualitative validée par des mesures topographiques sur terrain par GPS (Global Positioning Système) et une station totale avant le calcul final.

Les résultats sont multiples pour ce travail, nous avons pu ressortir l'erreur admissible pour une hauteur de 10 cm. Une simulation 3D de remplissage et d'inondation de la grande Sebkha pour plusieurs niveau ainsi que les quantitatives d'eau reliées, et enfin les limites du SRTM (Bande X et C) dans cette zone humide.

***Mots clés :** Grande Sebkha d'Oran, SRTM, LANDSAT, MNT, Bathymétrie*

## ملخص

لا يشك أحد في أهمية حساب كميات الأمطار في منطقة ما، و ذلك لوضع إستراتيجية استغلالها، تسييرها أو توزيعها. إن السبخة الكبيرة لوهران و التي تتربع على مساحة قدرها 300 كم<sup>2</sup> تمثل لا ريب موردا طبيعيا لحفظ مياه السيول و الأمطار و لكن غير مستغلة بأي وجه من الوجوه. فحساب كمية المياه الممكن تواجدا في هذا الحوض سيحفز ذوي القرارات السياسية و الاقتصادية لوضع برنامج للاستغلال هذا المورد رغم الصعوبات التي يمثلها على أرض الميدان. و أول صعوبة هي لإقامة خريطة باتيمترية دقيقة لهذا الحوض، و التي ستمثل الحجر الأساس لكل الحسابات المرجعية لكميات المياه القصوى التي يمكن تسجيلها في هذه السبخة وكذا معرفة كيفية تدفقها. سندرس إذن في هذه الرسالة لتخطي هذه الصعوبة إيجابيات حدود استعمال التقنيات الفضائية و التي تتمثل في صور الأقمار الصناعية للاستشعار عن بعد المرئية و الرادارية.

و بالفعل، و عبر هذه الدراسة استطعنا بواسطة صور LANDSAT رسم الحدود الطبيعية السبخة و كذا حدود تواجد تجمعات المياه بداخلها في لحظة أخذ الصورة من طرف القمر الصناعي. أما بالنسبة للنموذج الرقمي للميدان MNT المستقى مجانا من وكالة الفضاء NASA عبر مهمة SRTM ، فإنه للأسف يختلف من منتج إلى آخر حسب الدقة المتوفرة، مما أجبرنا على إقامة دراسة خاصة حول نوعيته الهندسية، مؤكداً ذلك عبر قياسات وطبوغرافية أقمنها باستعمال المحطة الشاملة و ال GPS. نتائج هذا البحث متعددة، لقد تمكنا من استخراج نسبة الخطأ لارتفاع منسوب المياه بـ 10 سم في السبخة، و إقامة محاكاة ثلاثية الأبعاد لعدة مستويات لمنسوب المياه وكمياته بما فيها محاكاة لفيضانه و في الأخير استخراج تحليل فيم حول حدود استعمال منتج SRTM و بالأخص المجال الموجي X و C في السبخة الكبيرة لوهران.

**الكلمات المفتاحية :** السبخة الكبيرة لوهران، SRTM ، LANDSAT ، MNT، باتمترية

## *Abstract*

Quantifying water has a great importance as a strategy of exploitation, managing and distribution.

The big sebkha of Oran, which the area totals some 300km<sup>2</sup>, represents undoubtedly a natural resource to stock rainfall waters but not exploited yet. Amount accenting of water can motivate political and economical decision-makers to conserve a program aiming at exploiting this resource, though difficulties encountered as such making an accurate butyl plan based on calculating a maximum water level that may contain.

We inquire in these research advantages of integrated spatial technics and these limits of usage in this field, such as visual teledetecting or radio detecting and ranging (Radar).

In feat, LANDSAT images permitted a geometric boundary of sebkha, and of water at the moment of taking photographs. As for Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) provided gratuitously by National Aeronautics and Space Administration (NASA), the bathyal MNT varies from one product to another, inciting us to a qualitative study valited by topographic measures-Global Positioning System (GPS) and the whole station before final account.

Results of this research are various. We could be out the error rate for high water level 10cm.

A three dimensional (3D) simulation of filling and inundating of the big salted lake in many levels as well as quantities of water. And at last deducing the limits of using SRTM (band X and C) in most area.

A teal-colored callout box with rounded corners and a tab-like shape on the right side. It contains the text 'Liste des Acronymes' in white serif font.

# Liste des Acronymes



<b>Acronymes</b>	<b>Signification</b>
<b>ASI</b>	Agence Spatiale Italienne
<b>DEM</b>	Degré numérique d'Elévation
<b>DLR</b>	Centre Aérospatial Allemand
<b>EDM</b>	Electronic Distance de Mesure
<b>ERS</b>	European Remote-Sensing Satellite
<b>ROR</b>	Radar à Ouverture Réelle
<b>ESA</b>	European Space Agency
<b>FI</b>	Fréquence Immédiaire
<b>GHZ</b>	Giga Hertz
<b>GMT</b>	Generic Mapping Tools
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>LAPHO</b>	Attitude et Orbite Détermination Avionique
<b>LED</b>	Light Emitting Diode
<b>MNE</b>	Model Numérique d'Elévation
<b>MNT</b>	Modèle Numérique du Terrain
<b>NASA</b>	National Aéronautique and Space Administration
<b>JPL</b>	Jet Propulsion Laboratory
<b>NGA</b>	National Géo spatial-intelligence Agency
<b>NIMA</b>	Agence Nationale de l'Imagerie et cartographie
<b>NRL</b>	Naval Research Laboratory
<b>OLI</b>	Operational Land Imager
<b>PIR</b>	Proche Infra Rouge
<b>Ra</b>	Résolution en Azimu
<b>RADAR</b>	Radio Detection And Ranging
<b>RSO</b>	Radar à Synthèse d'Ouverture
<b>RVL</b>	Radar a Visée Latérale
<b>SIG</b>	Système d'Information Géographique
<b>SIR-C</b>	Synthetic Imaging Radar
<b>SMD</b>	Signal Minimum Détectable
<b>SRTM</b>	Shuttle Radar Topography Mission
<b>SWBD</b>	SRTM Water Body Data

<b>USA</b>	United Stat America
<b>USGS</b>	United Stat Geological Survey
<b>UV</b>	Ultra Violet
<b>WGS 84</b>	Word Geodetic system, 1984
<b>X-SAR</b>	Synthetique Aperture Radar

A teal-colored callout box with rounded corners and a tab-like shape on the right side. It contains the text 'Liste des Figures' in white serif font.

# Liste des Figures

# Liste des Figures

## Chapitre I : Généralité sur la grande sebkha d'Oran

<b>Figure I.1</b> : Localisation géographique de la grande Sebkha d'Oran .....	5
<b>Figure I.2</b> : Bassin versant et sous bassin de la grande sebkha d'Oran avec réseaux hydrographique et carte altitude .....	6
<b>Figure I.3</b> : carte géologique du bassin de la grande sebkha d'Oran. ....	7
<b>Figure I.4</b> : Colonne stratigraphique synthétique du Néogène de la région d'Oran .....	8
<b>Figure I.5</b> : photo prise sur la nature du sol .....	10
<b>Figure I.6</b> : photo prise sur le talus naturel de la grande sebkha d'Oran coté Djazira .....	11
<b>Figure I.7</b> : Photo prise sur les déchets et les rejets .....	13

## Chapitre II : La télédétection Radar

<b>Figure II.1</b> : Schéma du processus de capture et d'enregistrement des informations en télédétection .....	19
<b>Figure II.2</b> : Schéma de fonctionnel d'un capteur optique .....	20
<b>Figure II.3</b> : Giant Würzburg radar .....	23
<b>Figure II.4</b> : Transmetteur à oscillateur de puissance d'un radar russe P-37 .....	24
<b>Figure II.5</b> : Diagramme d'émission d'une antenne en coordonnées polaires Radar tutorial .....	25
<b>Figure II.6</b> : Récepteur et générateur de signaux d'un radar ASR-E.....	26
<b>Figure II.7</b> : Géométrie du faisceau du radar à visée latérale .....	28
<b>Figure II.8</b> : Synthèse du faisceau RSO.....	29
<b>Figure II.9</b> : Variation de la cellule de résolution avec l'angle de visée.....	31
<b>Figure II.10</b> : Portée proximale et portée distale .....	32
<b>Figure II.11</b> : L'antenne synthétique.....	32
<b>Figure II.12</b> : Angle d'incidence.....	33
<b>Figure II.13</b> : Ombre radar.....	34
<b>Figure II.14</b> : Chatoiement d'une image radar.....	34
<b>Figure II.15</b> : Interférométrie radar.....	35

## Chapitre III : Shuttle Rada Topography Mission

<b>Figure III.1</b> : carte dérivée du SRTM .....	40
<b>Figure III.2</b> : vue d'ensemble schématique du radar SRTM .....	41
<b>Figure III.3</b> : image du matériel SRTM dans la soute d'Endeavour .....	41
<b>Figure III.4</b> : Portion d'interférogramme SIR-C .....	43
<b>Figure III.5</b> : Les signaux radar étant transmis et reçus à la mission SRTM .....	43
<b>Figure III.6</b> : A gauche l'utilisation d'un seul Radar, A droite l'utilisation de deux radar ... (interférométrie SAR) .....	44 45
<b>Figure III.7</b> : image indiquée à gauche ligne de base simultanée (deux radar) ; A droite ligne de base créée par deux cycles de passage. ....	45
<b>Figure III.8</b> : schéma sur la ligne de base simultanée .....	46
<b>Figure III.9</b> : L'interférométrie de la navette spatiale .....	47
<b>Figure III.10</b> : Les différentes phases de traitement d'image pour la mission d'SRTM avant le produit final .....	48
<b>Figure III.11</b> : Schématique d'antenne principale .....	49
<b>Figure III.12</b> : Mât avec quelques premiers jours de la cartouche déployés .....	50
<b>Figure III.13</b> : Vue détaillée du mât .....	50
<b>Figure III.14</b> : Le mât de 60 mètres avec l'antenne extérieure dans l'espace.....	51
<b>Figure III.15</b> : antenne hors-bord attaché à cartouche pour le vol de navette .....	51
<b>Figure III.16</b> : Architecture du système de LAPHO.....	52
<b>Figure III.17</b> : de gauche Erreurs relatif en élévation et de droite Erreurs absolue en élévation .....	55
<b>Figure III.18</b> : MNT du bassin central Amazon (NASA) .....	56

## Chapitre IV : Application et résultats

<b>Figure IV.1</b> : image LANDSAT .....	59
<b>Figure IV.2</b> : Mosaïque d'image LANDSAT (ETM et OLI) de la grande sebkha d'ORAN du 07 et 08 février 2015 .....	59
<b>Figure IV.3</b> : SRTM 1" arc de la région ouest (Oran / Ain Témouchent) .....	60

<b>Figure IV.4:</b> prise d'écran délimitation image Landsat .....	61
<b>Figure IV.5 :</b> découpage du SRTM suivant la zone d'étude .....	62
<b>Figure IV.6 :</b> Extrait du fichier XYZ entracte à partir du SRTM globale.....	62
<b>Figure IV.7 :</b> Points géodésiques 2eme ordre .....	63
<b>Figure IV.8 :</b> itinéraire de relevé topographique au niveau de la sebkha.....	64
<b>Figure IV.9 :</b> <b>A.</b> Borne géodésique de Bouyakour ; <b>B.</b> GPS sur le point géodésique de Djazira ; <b>C.</b> Récepteur GPS dans la Sebkha.....	65
<b>Figure IV.10 :</b> Carte d'état-major .....	65
<b>Figure IV.11 :</b> photo sur les positions des Tige témoin dans le talus de la Sebkha, coté Djazira .....	66
<b>Figure IV.12 :</b> prise d'écran sur le résultat graphique (global mapper) .....	67
<b>Figure IV.13 :</b> SRTM 90 (3 seconde d'arc) .....	67
<b>Figure IV.14 :</b> SRTM 30 (1 seconde d'arc) .....	68
<b>Figure IV.15 :</b> surface 3D du SRTM 30 et 90 de la grande sebkha d'Oran.....	68
<b>Figure IV.16 :</b> Carte bathymétrique par SRTM 90 .....	69
<b>Figure IV.17 :</b> Carte bathymétrique par SRTM 30 .....	69
<b>Figure IV.18 :</b> Résultat graphique de calcul de cubature entre le SRTM 90 et SRTM 30 ....	70
<b>Figure IV.19 :</b> capture sur vidéo d'assemblés des images LANDSAT .....	71
<b>Figure IV.20 :</b> simulation de remplissage avec des altitudes prédéfini ( <b>A</b> : 82m ; <b>B</b> : 83m ; <b>C</b> : 100 m) avec point de prise de vue côte sud. ....	73
<b>Figure IV.21 :</b> simulation de remplissage de la grande sebkha avec point de prise de vue côte sud-ouest .....	74
<b>Figure IV.22 :</b> découpage des MNT sue deux zones test dans deux zones différentes .....	74
<b>Figure IV.23 :</b> Simulation de remplissage sur la zone test nord est .....	75
<b>Figure IV.24 :</b> axe de profil de simulation sur la zone teste Nord Est .....	75
<b>Figure IV.25 :</b> simulation de remplissage sur la zone test sud-est.....	76
<b>Figure IV.26 :</b> axe de profil de simulation sur la zone teste Sud Est .....	76

A teal-colored callout box with rounded corners and a drop shadow, containing the text 'Liste des Tableaux'.

# Liste des Tableaux

# **Liste des tableaux**

## **Chapitre I : Généralité sur la grande sebkha d'Oran**

<b>Tableau I.1.</b> échelle lithographique de la zone étudiée.....	8
--	---

## **Chapitre II : La télédétection Radar**

<b>Tableau II.1.</b> Application de l'imagerie de télédétection.....	21
<b>Tableau II.2.</b> Les applications du radar .....	26
<b>Tableau II.3.</b> Les fréquences les plus employées généralement par les radars de télédétection .....	30

## **Chapitre IV : Application et résultats**

<b>Tableau IV.1:</b> différence d'altitude dans les bornes géodésiques .....	63
<b>Tableau IV .2 :</b> Résultats de calcul de volume .....	77

A teal-colored callout box with rounded corners and a drop shadow, containing the text 'Table des matières'.

# Table des matières

## Table des matières

▪ Résumé .....	I
▪ ملخص.....	II
▪ Abstract .....	III
▪ Listes des acronymes.....	IV
▪ Listes des figures .....	VI
▪ Listes des tableaux.....	IX
▪ Table des matières.....	X
▪ Introduction générale	
I. Mise en context .....	1
II. Problématique de l'étude.....	3
III. Organisation du memoire.....	4

### Chapitre I : Généralité sur la grande sebkha d'Oran

I. Introduction .....	5
II. Situation géographique .....	5
III. Aspect hydrographique .....	6
IV. Aspect physique de la sebkha .....	6
IV.1. Géologie .....	6
IV.2. Géomorphologie.....	9
IV.3. Pédologie.....	9
IV.4. Qualité de l'eau de la grande sebkha d'Oran .....	10
IV.5. Nature du sol .....	10
V. Caractéristiques écologiques .....	11
V.1. Faune.....	11
V.2. Flore.....	11
VI. Données climatiques .....	12
VII. Les impacts du fonctionnement actuel sur le milieu naturel.....	12
VII.1. Les déchets et les rejets.....	12
VII.2. Les activités agricoles .....	13
VII.3. Le cas particulier de l'aéroport d'ES SENIA.....	14
VIII. Les enjeux de préservation du milieu naturel .....	14
IX. Travaux antérieurs.....	15
Conclusion.....	16

## Chapitre II : La télédétection radar

<b>I.</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>18</b>
<b>II.</b>	<b>Télédétection</b> .....	<b>18</b>
II.1.	Principe de la télédétection .....	19
II.2.	Différents capteurs de la télédétection .....	19
II.2.1.	Capteur passif .....	20
II.2.1.1.	Principe de fonctionnement d'un capteur optique.....	20
II.2.2.	Capteur actif .....	20
<b>III.</b>	<b>L'usage de l'image de télédétection</b> .....	<b>21</b>
<b>IV.</b>	<b>Radar</b> .....	<b>22</b>
IV.1.	Définition .....	22
IV.2.	Historique .....	22
IV.3.	Le principe de fonctionnement des Radars.....	23
IV.4.1.	Composantes principales.....	24
IV.4.1.1.	Le transmetteur .....	24
IV.4.1.2.	L'antenne .....	24
IV.4.1.3.	Le receptrer .....	25
<b>V.</b>	<b>L'usage de la teledetction radar</b> .....	<b>26</b>
<b>VI.</b>	<b>Radar à visée latérale (RVL)</b> .....	<b>27</b>
<b>VII.</b>	<b>Radar à synthèses d'ouverture</b> .....	<b>28</b>
<b>VIII.</b>	<b>Caractéristiques des systèmes radar, satellite ou aéroporté</b> .....	<b>29</b>
VIII.1.	Le signal .....	29
VIII.2.	Fréquence .....	30
VIII.3.	Résolution .....	31
VIII.4.	Angle d'incidence .....	32
<b>IX.</b>	<b>Propriétés des images radars</b> .....	<b>33</b>
IX.1.	Ombre radar .....	33
IX.2.	chatoiement.....	34
IX.3.	Interférométrie radar .....	35
<b>Conclusion</b>	.....	<b>36</b>

## Chapitre III : Shuttle Radar Topography Mission

<b>I.</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>39</b>
<b>II.</b>	<b>SRTM</b> .....	<b>40</b>
II.1.	Interférométrie .....	42
II.1.1.	Principe d'interférométrie .....	44
II.2.	Système de radar SRTM .....	47
II.2.1.	L'antenne principal de radar .....	47
II.2.1.1.	Antenne radar en bande C .....	48
II.2.1.2.	Antenne radar en bande X .....	48
II.2.2.	Mat .....	49
II.2.3.	Antenne hors-bord .....	50
<b>III.</b>	<b>Le system LAPHO</b> .....	<b>51</b>
<b>IV.</b>	<b>Format de publication du produit SRTM</b> .....	<b>53</b>
IV.1.	Historique .....	53
IV.2.	Qualité du SRTM .....	54
IV.3.	Format des fichiers .....	56
<b>Conclusion</b>	.....	<b>57</b>

## Chapitre IV : Application et resultat

<b>I.</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>58</b>
<b>II.</b>	<b>Méthode de traitement d'image</b> .....	<b>58</b>
II.1.	Telechargement des donnees .....	58
II.1.1.	Image LANDSAT .....	58
II.1.2.	SRTM .....	60
<b>III.</b>	<b>Delimitation et découpage de la zone</b> .....	<b>60</b>
III.1.	Délimitation de la sebkha par image LANDSAT .....	60
III.2.	Découpage de SRTM .....	61
<b>IV.</b>	<b>Génération de MNT sous Covadis</b> .....	<b>62</b>
IV .1.	Exportation des fichiers XYZ .....	62
<b>V.</b>	<b>Mesures terrestres</b> .....	<b>63</b>
<b>VI.</b>	<b>Etude qualitative du SRTM</b> .....	<b>66</b>
VI.1.	Comparaison entre SRTM90 et SRTM30 .....	67
VI.2.	Comparaison par profil .....	67
VI.3.	Différence entre les surface 3D du SRTM30 et SRTM90 .....	68

VI.4. Résultat de comparaison .....	70
<b>VII. Simulation de remplissage .....</b>	<b>71</b>
VII.1. Simulation 2D .....	71
VII.2. Simulation 3D .....	72
<b>VIII. Resultat recapitulative .....</b>	<b>76</b>
▪ <b>Conclusion générale .....</b>	<b>79</b>
▪ <b>Annexes .....</b>	<b>81</b>





A teal-colored callout box with rounded corners and a drop shadow, containing the text 'Introduction générale'.

# Introduction générale

## **I. Mise en contexte**

L'Algérie est riche en zones humides, ces milieux qui font partie des ressources les plus précieuses sur le plan de la diversité biologique et de la productivité naturelle. Parmi les plus remarquable de point de vue superficie, celle de la grande Sebkha d'Oran.

Ce lac qui s'étend sur plus de 17 % de la wilaya d'Oran ; soit 30000 hectare a fait l'objet de plusieurs études hydrogéologique, écologique, géologique et d'aménagement de territoire.

De point de vue structurale, sa situation dans l'Oranie occidentale, et sa superficie cache des informations importantes ayant sûrement une relation étroite avec la tectonique et la géodynamique de la région.

La quantité d'eau superficielle qu'elle peut contenir est assez considérable; chose très remarquable pour toute observateur profane depuis les routes qui l'alentour.

Vue par les images satellitaires et contrairement à un barrage artificiel ou naturel, l'eau accumulée au niveau de ce grand lac disparaît dans un laps de temps allant de quelques heures à quelques jours seulement.

En autre terme ; la quantité d'eau qu'elle contienne dépasse notre vision superficielle.

Nous voulons à travers ce mémoire, mettre à la portée des chercheurs intéressés par la grande sebkha d'Oran, une information jugée utile pour toute exploitation et exploration éventuelle. Celle du volume d'eau superficiel et instantané que peut contenir ce lac.

Cet objectif ; est loin d'être un chiffre calculé par le biais de logiciel ; il s'agit d'une schématisation d'un processus mis en place et une description détaillé des problématique rencontrés en chaque niveau de ce projet.

## Introduction générale

Nous avons fait appel à télédétection spatiale optique et radar comme sources et plates forme de données afin d'élaborer la carte bathymétrique de notre zone d'étude.

En effet, Les cartes bathymétriques sont une source importante dans les domaines maritimes. Sur terre aussi; il s'agit de la bathymétrie des lacs et des oueds.

Pour les Lacs de type SEBKHA, cette information est difficile à acquérir par les méthodes et les instruments dédiées pour la détermination des cotes sous-marins telle que le Sonore, ou le lidar...etc. Vu que la sebkha présente des terrains marécageux, dont l'accessibilité est trop dangereuse malgré que leur profondeur des eaux est assez minime généralement.

Par ailleurs, pendant la période de sécheresse ou d'été les Sebkhha deviennent dépourvues d'eau et leur sol est accessible. Ce qui favorise une opération de levé topographique ordinaire.

Mais pour un terrain qui dépasse les 300 km<sup>2</sup> comme celui de la grande sebkha d'ORAN, Cette méthode est a discutée.

Malheureusement; même les cartes topographiques à petites échelle sont dépourvues de cette information.

En Février 2000, la Navette spatiale Endeavour à effectué des mesures altimétrique par méthode d'interférométrie radar pour 80 % du globe terrestre, les résultats se sont publiés par partie et par région selon les précisions et les corrections effectuées. Ces données accessibles sur le web sont connues sous le nom de SRTM.

Le MNT issu du SRTM est important vu qu'il fournit des informations géométriques et une visualisation 3D relative des terrains d'études. Ceci présente donc une alternative pour les relevés topographiques et les méthodes d'acquisition terrestre.

## **II. Problématiques de l'étude :**

1. Généralement, les MNT générés à partir des images satellitaires utilisent ce qu'on appelle les radars à ouverture synthétique, l'altitude des point sur terre est déterminer à partir de deux mesures de deux point différent, ou couple d'image.

## Introduction générale

La méconnaissance de tous les métadonnées du capteur utilisé pour la mission et les formats des fichiers originaux d'observations rendent difficile la détermination de la précision altimétrique du MNT résultat. Autrement dit la précision du volume qu'on doit calculer.

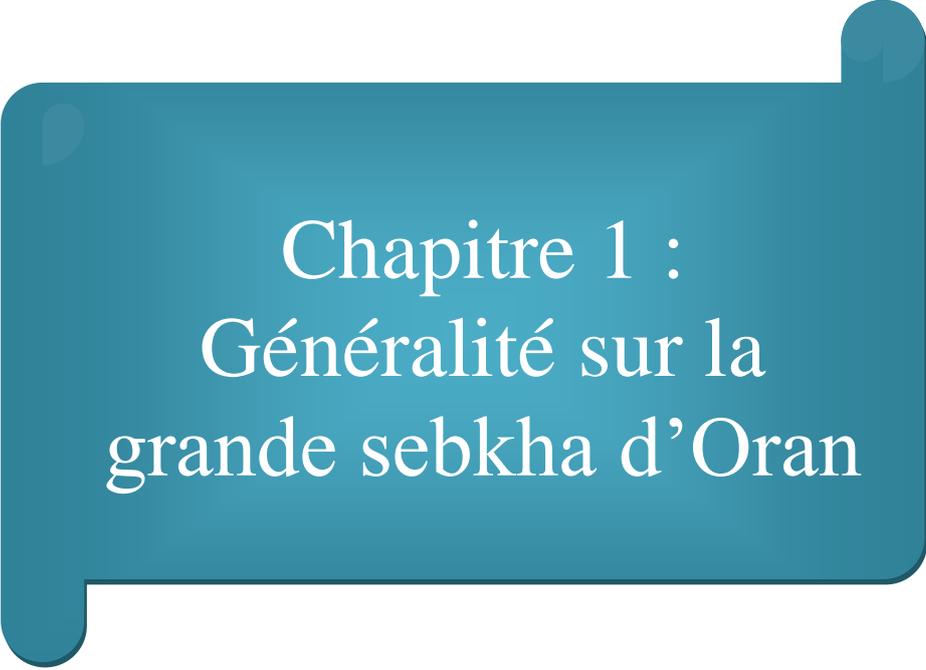
2. Le Modèle numérique du terrain est établi entre le 11 et le 21 février 2000, date de la mission Endeavour, cette date et suivant l'image optique de LANDSAT 7 ETM, correspond à une semi couverture d'eau de la grande sebkha cotée Nord. Ce qui nous pousse à la recherche comment lever cette ambiguïté pour avoir la bathymétrie totale.
3. Pour faire le bon choix, Quelle produit SRTM faut-il prendre pour l'élaboration de la bathymétrie et quel format ?
4. Les formats SRTM publiés, sont lus par des logiciels spécifiques, leurs taille est considérable ; ce qui nous oblige à faire des basculements entre les logiciels et des conversions de formats toute en gardant les projections cartographiques appropriés. Ceci nécessite bien entendu des ressources matérielles convenables (professionnels) ainsi que des programmes sous licence.
5. L'altitude et les coordonnées fournies par le SRTM sont calculées par rapport a un modèle mathématique de la terre celui du l'ellipsoïde WGS84 qui est associé au système de projection IAGRS80, par contre les altitudes qu'on doit avoir pour nos calcul sont celles associées au NGA (Nivellement Générale Algérien) avec un système de projection Nord Sahara 1959 et dont l'ellipsoïde de révolution est Clark1880. Ce qui pousse à chercher les paramètres de transformation ou élaborer des mesures sur terrain.
6. Comprendre le mécanisme de remplissage et les sources artificielles et naturelles d'adduction des eaux pour la sebkha. Pour déterminer la quantité issue seulement des eaux pluviales.
7. Enfin, Problématique de la délimitation réelle de la Sebkha, qui présente un débat scientifique actuel en ce qui concerne son élargissement ou stagnation, et qui est indispensable pour notre étude géométrique du calcul volumétrique.

### **III. Organisation du mémoire :**

A travers notre mise en contexte et la description des problématiques, des questions pertinentes se sont posées, et doivent avoir une réponse pour atteindre notre objectif principale.

Nous proposons ainsi que notre mémoire soit structuré de la manière suivante :

- Le premier chapitre : sera consacré à une présentation ordinaire de la grande sebkha d'Oran, il synthétise les descriptions et les recherches effectués.
- Le deuxième chapitre intitulé la télédétection RADAR (Radio Detection And Raining) ; est une introduction pour les capteurs active et spécialement la méthodologie d'interférométrie utilisée par les systèmes RSO (Radar à Synthèse d'Ouverture) pour la génération des MNT.
- Troisième chapitre : SRTM ; Toute les informations techniques ainsi qu'une étude qualitatif de ce produit sur la zone d'étude sera détaillée dans ce chapitre.
- Le Quatrième chapitre : C'est la partie application, la méthodologie et les simulations ainsi les résultats et les discussions seront abordées dans ce dernier chapitre.
- Enfin, la conclusion contient une synthèse globale de cette étude.



Chapitre 1 :  
Généralité sur la  
grande sebkha d'Oran

## I. Introduction

Une Sebkhia du mot arabe sebkhia, que l'on trouve en pays désertiques ou presque est une dépression temporairement occupée par un lac, en général salé et où se déposent des évaporites. Les eaux proviennent du ruissellement, mais aussi des nappes phréatiques d'après le dictionnaire de géologie.

La Wilaya d'Oran présente plusieurs zones humides dont la plus importante est la grande sebkhia d'Oran. Outre la Sebkhia, les autres zones humides importantes sont les Salines d'Arzew et le lac Telamine.

## II. Situation géographique

La Sebkhia d'Oran fait partie du complexe de zones humides de l'ouest algérien, elle est située immédiatement au sud-ouest de la ville d'Oran qui englobe les Marais de la Macta, les Salines d'Arzew, le Lac de Télamine, Dayet oum el Ghellaz, Dayet Morsli et Dayet Bagra.

Elle est bordée vers le Nord, entre BouTlélis et Misserghin, par la plaine de Bouyacor et vers le Nord-est par la plaine du Figuier, vers le Sud, par un bourrelet de collines (les Coteaux d'El Hamoul) dominant le lac d'une quarantaine de mètres. Localisée au sud-ouest d'Oran, à quelque distance de la zone urbaine. (Voir figure I.1) [1]



**Figure I.1 :** Localisation géographique de la grande Sebkhia d'Oran [1]

Elle est occupée temporairement par un lac salé dont la teneur moyenne de la saumure est estimée, par endroit, à plus de 100 g/l de sels dissous. [1]

### Coordonnées :

Le bassin versant s'étend sur une superficie de 1 878.96 km<sup>2</sup> avec 07 sous bassin versant.

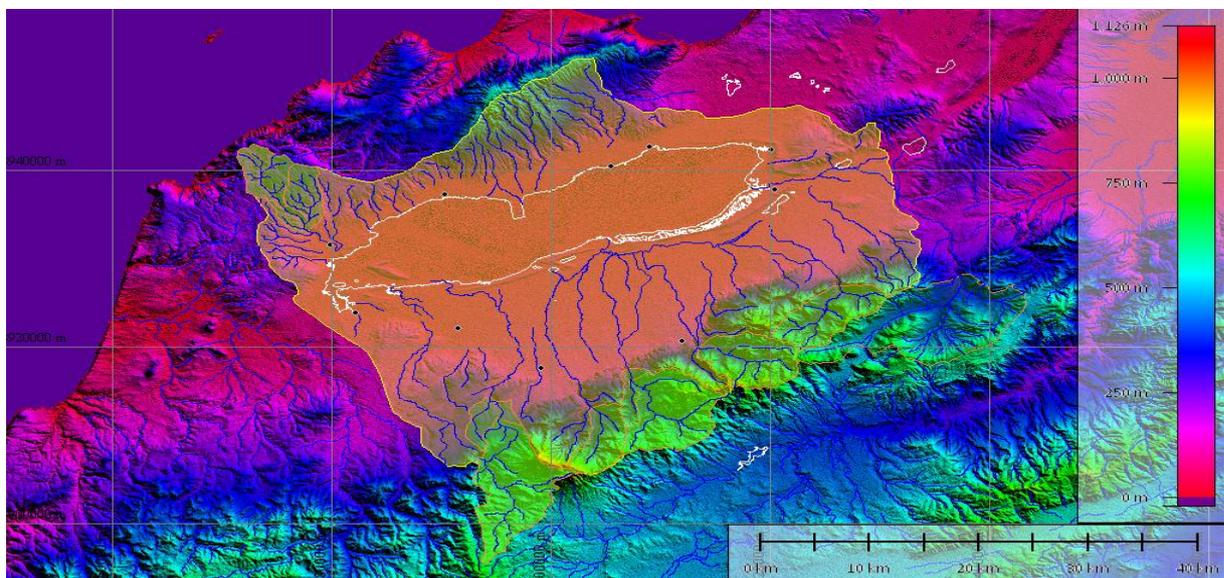
- Latitude : 35°32' N,

- Longitude : 00°48' E
- Altitude : 110 mètres

### III. Aspect hydrographique

Cette zone humide est alimentée en eau par le ruissellement d'un large bassin hydrographique de près de 161 000 hectares. Ce réseau apparaît soit en gestation en vue de sa disparition, un certain nombre ne présente qu'un écoulement intermittent avec absence totale de drainage (voir figure I.2).

L'écoulement des eaux de pluie provient pour la plus grande part des massifs du Tessala et du Merdjadjo. Ces derniers déversent dans cette zone de nombreux oueds: Misserghine, El Dalia, Sidi Medioun. [1]



**Figure I.2 :** Bassin versant et sous bassin de la grande sebkhia d'Oran avec réseaux hydrographique et carte altitude

## IV. Aspect physique de la Sebkhia

### IV.1 Géologie

La grande Sebkhia est une vaste dépression avec un écoulement endoréique. Elle serait d'origine tectonique et est apparue à la fin du pliocène (Villafranchien) et au début du quaternaire, époque où dominait dans le Tell Oranais une topographie en Bassins fermés (les deux anticlinaux du Merdjadjo au Nord et le Tessala au Sud). [2]

Les eaux qui s'écoulent de ces deux massifs se sont rassemblées dans le synclinal qui forme aujourd'hui la grande Sebkhia. Les dépôts continentaux du pliocène et du quaternaire ont contribué à combler et à niveler la plus grande partie de la plaine de la M'leta. Ces dépôts ont

été repris et entraînés dans la cuvette de la Sebkhah dont le nivellement actuel est à 80 m d'altitude au-dessus du niveau de la mer. [2]

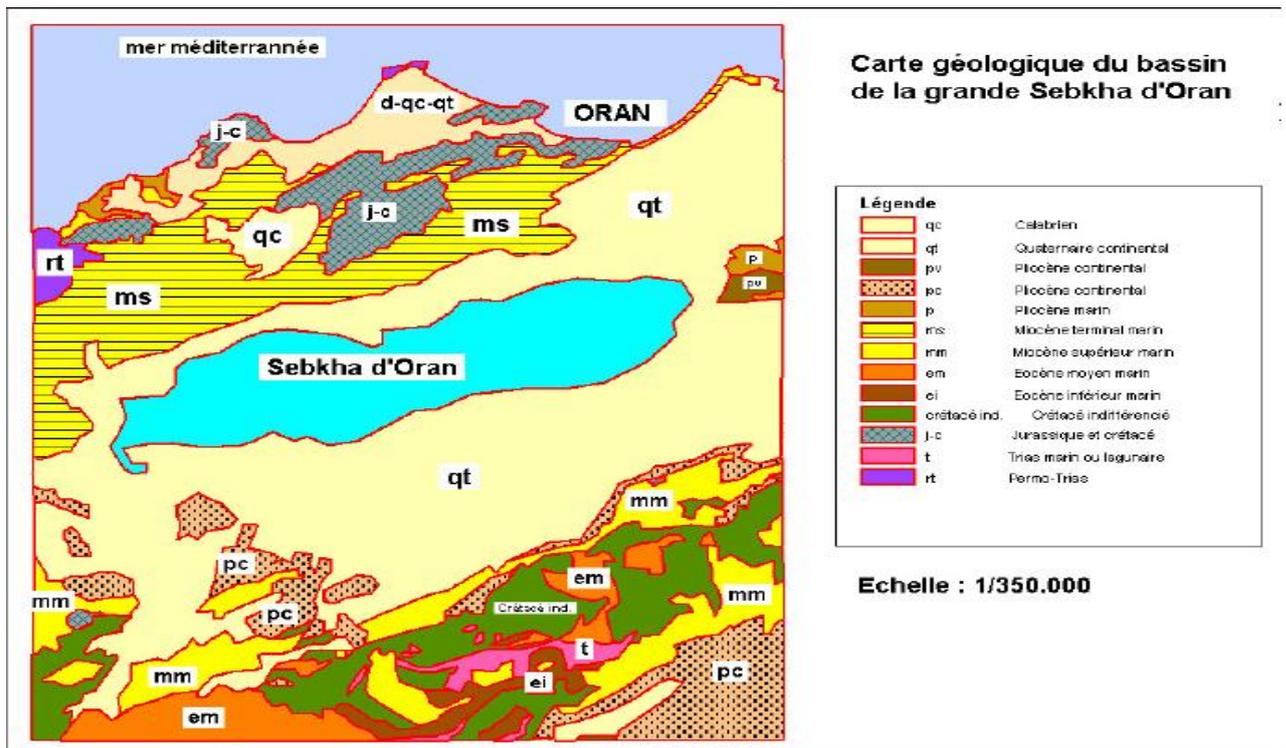


Figure I.3 : carte géologique du bassin de la grande sebkhah d'Oran. [3]

En 2004 le bureau d'étude SOGREAH a réalisé des études géologiques, qui a permis de mettre en évidence une structure constituée par deux grands ensembles : un substratum ante nappe constitué au Nord par les massifs Schistosités autochtones (Monts Murdjadjo) et au Sud par un complexe d'unités allochtones (ou nappes) des Monts des Tessala.

Dans le cadre de cette étude, on peut sélectionner les terrains concernés découper ainsi la stratigraphie locale en fonction des correspondances géophysiques et hydrogéologiques. [3]

À travers une colonne stratigraphique synthétique, présente les séries sédimentaires de la dépression Sud littorale, comme étant formées essentiellement de limons, de grès et conglomérats roux avec intercalations de marnes, de calcaires et parfois d'évaporites. Vers la partie médiane de cette formation, se développe un niveau de cinérites à biotites de 5 à 10 mètres d'épaisseur (voir figure 4).

Cette série est plus développée à l'Est de la sebkhah d'Oran. Sous la formation détritique de base, se trouvent les formations jurassique-crétacées à faciès essentiellement schisteux et shisto-marneux. Ces formations constituent en grande partie le substratum des massifs qui encadrent la dépression de la sebkhah d'Oran. [4]

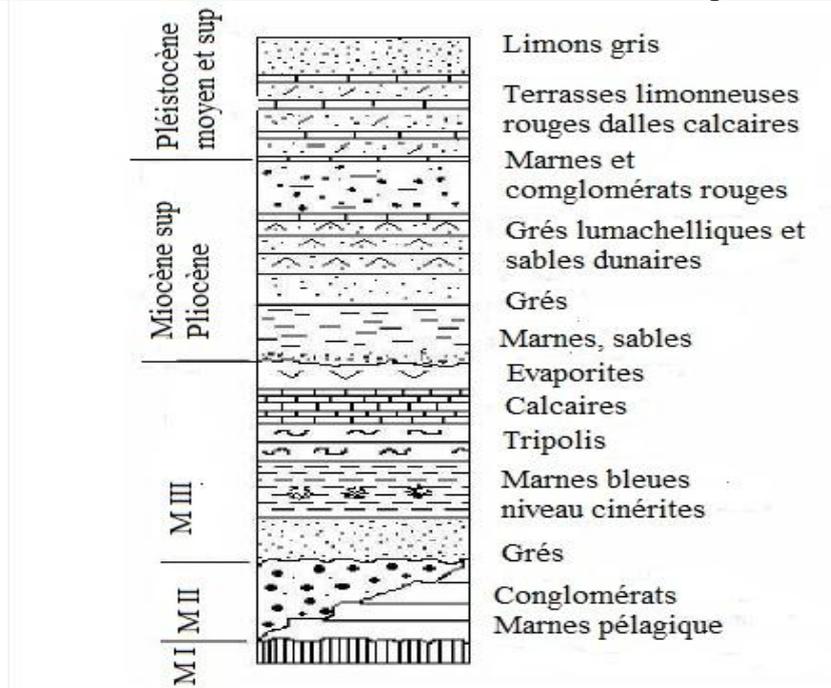


Figure I.4 : Colonne stratigraphique synthétique du Néogène de la région d'Oran [3]

Le tableau suivant présente ces formations :

Tableau I.1.échelle lithologique de la zone étudiée [1]

	étage géologique	Epaisseur (m)	Lithologie	Aquifère	Correspondances géophysiques
Quaternaire	Holocène	0-40	Limons gris, gypses, argiles, calcaires tufeux, silts lignites, marno-calcaires <sup>1</sup> etc...	Localisés et mal connus	Extrêmement
	Pléistocène supérieur	?	Terrasses limonneuses rouges et dalles	Localisés et mal connus	Conducteur
Quaternaire	Pléistocène moyen	0-30			
	Pléistocène inférieur	12-35	Limons et conglomérats <sup>2</sup> rouges	Peu perméables?	Alternances résistant moyen conducteur

<b>Tertiaire (néogène)</b>	Calabrien		Grès lumachelliques et sables dunaires	perméables	Résistant moyen	
	Pliocène continental	80?	Grès marneux	Semi perméable	Résistant moyen	
	Pliocène marin	130?	Marnes bleues Conglomérats et sables	Imperméable Semi perméable	Conducteur Résistant moyen	
	<b>Tertiaire (néogène)</b>	Miocène supérieur	80 - 150 ?	Gypses Calcaires murdjadjo	Imperméable Aquifère	Variable Résistant
				Marnes bleues	Imperméable	Conducteur
				Grès	Perméable ?	Résistant moyen
Miocène inférieur		Conglomérats Marnes pélagiques	? imperméable	Résistant ? Conducteur		
Substratum anté- Miocène		Schistes	imperméable	Conducteur		

## IV.2 Géomorphologie

La Grande Sebka d'Oran qui occupe le centre d'un bassin de sédimentation miocène, est une vaste zone de déflation éolienne.

Les produits de cette déflation qui a eu un paroxysme au Grimaldien, sont accumulés tout autour de la Sebka et constituent des bourrelets de nature argileuse. [2]

## IV.3 Pédologie

Les sols des bordures des plaines sont formés par des associations de sols plus ou moins érodés, qui peuvent évoluer sur du calcaire dur ou tendre, des grès ou des marnes. Lorsque la roche n'affleure pas à la surface, ce sont des sols généralement calcimagnésiques, avec parfois la présence d'une croûte calcaire. [4]

Les sols de la plaine proprement dit comportent cinq classes : les sols salés, les sols hydromorphes, les vertisols, les sols peu évolués alluviaux et colluviaux et les sols calcimagnésique. [4]

#### IV.4 Qualité de l'eau de la grande sebkhia d'Oran

Les eaux d'irrigation du bassin de la Grande Sebkhia d'Oran sont caractérisées par des conductivités qui varient selon les saisons et les conditions climatiques, concernant Les eaux souterraines et superficielles présentent des teneurs élevées en nitrates. Les phosphates sont très faibles dans les eaux souterraines et assez marquées dans ces eaux. [5]

La salinisation du bassin est d'abord primaire, comme pour la plupart des sols du Maghreb. Une salinisation secondaire apparaît ensuite avec comme principales causes:

- la stagnation d'eau en surface dans le cas de sols à mauvais assainissement et drainage lorsqu'il existe
- la recharge de la nappe par les eaux usées de drainage
- la remontée de la nappe phréatique salée et la forte évapotranspiration
- l'irrigation avec des eaux à forts risques de salinisation
- l'absence d'exutoire naturel pour l'évacuation des excès d'eau de drainage et d'assainissement

#### IV.5 Nature du sol de la grande sebkhia d'Oran

Cette étape nécessite des analyses pour définir la nature ou le types de sol, mais malheureusement on a pas pu le faire vue que sa fait pas partie de nos objectifs. Mais n'empêche qu'on a pris des photos remarquables sur se sujet.

Comme le montre la figure 5, une remarquable spécifie que possède notre sebkhia, deux endroit totalement diffèrent dans le même site (voir figure I.5).

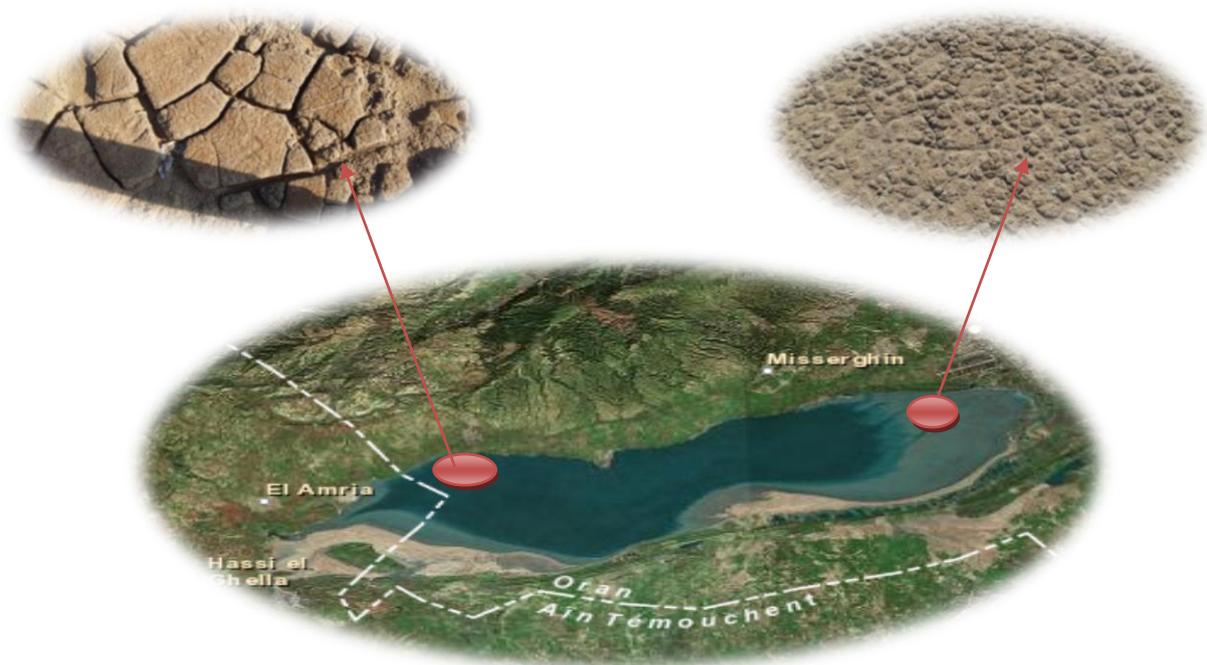


Figure I.5 : photo prise sur la nature du sol

## V. caractéristiques écologiques

Le site présente une physionomie monotone d'habitats peu diversifiés caractérisant en général les milieux salés. La végétation naturelle halophile, presque absente. Sur les bords, Le plan d'eau est entouré par des cultures sur la majeure partie de son périmètre.

Dans les endroits où débouchent les ruisseaux ou les rejets d'eaux usées du village voisin, se forment des vasières entourées d'une végétation herbacée.

Sur les berges sèches on rencontre des sansouires, végétation salée inondée au gré des précipitations et couvertes de salicornes qui colonisent les terres immergées dès le retrait de l'eau. [6]

### V.1 Faune

En l'absence d'un inventaire exhaustif, l'on ne connaît que l'existence d'espèces communes comme le sanglier (*Sus scrofa*), le lapin de garenne et le lièvre. L'avifaune, mieux étudiée, est représentée par 29 familles et 89 espèces. [7]

### V.2 Flore

La végétation naturelle halophile, presque absente, est composée de touffes de *Chamaerops humilis* sur les talus. Sur les bords. Le plan d'eau est entouré par des cultures sur la majeure partie de son périmètre. Sans oublier, la présence des talus artificiels (voir figure I.6).



**Figure I.6 :** photo prise sur le talus naturel de la grande sebkhah d'Oran coté Djazira

## **VI. Les données climatiques**

Le climat de la grande sebkhah d'Oran présente une certaine contradiction, il est du type méditerranéen au point de vue écarts de précipitations journaliers et saisonniers, mais de caractère steppien au point de vue de la température moyenne, de la hauteur annuelle de pluie et de la répartition saisonnière des précipitations, il est la résultante d'un climat littoral méditerranéen et d'un climat désertique d'abri. [8]

D'après les rapports de SOLETANCHE, l'écoulement moyen s'évalue à 260 mm/an dans les Tessala, alors que dans le Murdjadjo il est de l'ordre de 220 mm/an sur la crête. Nous avons plus de 100 mm/an en moyenne, aux endroits les plus bas, et 20 à 30 mm/an pour les terrains cultivables et 15 à 20 mm/an pour les plaines les plus arides.

Le ruissellement moyen atteignant la sebkhah est évalué à 30 ou 35 hm<sup>3</sup>/an et l'évaporation moyenne est du même ordre. L'apport annuel à la sebkhah est évalué à 500 ou 600 hm<sup>3</sup>, soit en moyenne 0,15 m d'eau sur 4000 km<sup>2</sup>. Cette eau s'évapore lentement. [8]

Cette zone humide est une zone de captage de sédiments et d'épandage des crues.

## **VII. Les impacts du fonctionnement actuel sur le milieu naturel de la grande sebkhah d'Oran**

### **VII.2 Les déchets et les rejets**

Actuellement, les eaux usées de petit lac sont collectées directement à la station d'épuration d'EL KARMA.

Mais cela n'empêche l'existence de quelques rejets ou aucun traitement n'est assuré. Comme elle reçoit plusieurs déchets industriels et ménagers.

La qualité reconnue du milieu naturel de la Sebkhah n'est absolument pas prise en compte dans ce fonctionnement, uniquement lié au développement urbain en cours. La pression sur le milieu naturel s'accroît donc très sensiblement au cours du temps.

La Sebkhah reçoit ainsi des tonnes d'ordures ménagères non dégradables à l'image des plastiques qui après assèchement du plan d'eau sont emportés par les vents et sont alors éparpillés un peu partout. En dehors des aspects esthétiques, tous ces produits ont un impact sur le fonctionnement du site en tant que zone humide dans la mesure où ils participent au changement dans l'équilibre minéral.

Ce dernier influence à son tour les conditions de développement de populations d'invertébrés tels que des insectes, des crustacés et des mollusques. [3]

A cet effet nous avons effectué une mission le 07/03/2016 à la station d'épuration d'Oran au niveau de el Karma et nous confirmons à travers l'entretien avec le chef service que les eaux usées ne sont pas actuellement traitées mais directement rejetées au niveau de la Sebkhah.

Ceci est aussi observable dans la photo prise lors de notre mission (voir figure I.7).



**Figure I.7.** Photo prise sur les déchets et les rejets

## VIII.2 Les activités agricoles

Les activités agricoles sont représentées par les cultures de céréales tout autour du lac et par l'élevage. Les labours sont poussés aussi loin que la salinité le permet alors que les troupeaux d'ovins et de bovins exploitent les milieux steppiques sur les bords secs. [3]

L'omniprésence des troupeaux et des bergers constitue un facteur de dérangement permanent pour les oiseaux qui doivent dans ce cas effectuer des déplacements fréquents au dépend du temps consacré à leur alimentation ou au repos en absence d'une ceinture végétale riveraine dans laquelle ils peuvent se cacher. Par ailleurs ceux qui peuvent faire des tentatives de nidification peuvent voir leurs nids écrasés ou pillés. L'exploitation de la végétation des berges fait disparaître les habitats nécessaires au développement d'une faune composée de batraciens et de reptiles constituant des proies pour de nombreuses espèces d'oiseaux comme les Hérons et les Cigognes.[3]

L'appauvrissement de la biodiversité du site est une conséquence de sa perturbation et constitue une voie qui mène à sa banalisation puis à sa dévalorisation.

Les différents aménagements agricoles ont d'ores et déjà fait disparaître de nombreuses mares et remises en bord de la sebkhah, des petites mares d'eau douce ou saumâtres entourées de roselières et de joncs qui ont servi de lieu d'hivernage et de nidification d'espèces comme le Talève sultane *Porphyrioporphyrus* et la Gallinule poule-d'eau *Gallinulachloropus*. [3]

### **VII.3 Le cas particulier de l'aéroport d'ES SENIA**

L'aéroport d'Es Senia, situé en bordure de Sebkhah, est parfois cité parmi ceux pour lesquels les risques aviaires sont élevés. La remise en eau éventuelle de la Sebkhah pourrait renforcer les concentrations d'oiseaux d'eau présents et donc les risques pour les appareils.

Cependant les expertises effectuées par SOGEAH montrent que le flux important d'oiseaux de grande taille tel les goélands et le héron qui peut être observé entre la décharge et le littoral ou la ville d'Oran, au niveau de l'aéroport, est pratiquement du exclusivement à la présence de la décharge.

La fermeture de la décharge ou l'enfouissement des ordures au fur et à mesure de leur dépôt, priverait les goélands de cette ressource de nourriture et entraînerait une réduction des effectifs globaux, et donc du nombre d'oiseaux au niveau de l'aéroport. [3]

## **VIII. Les enjeux de préservation du milieu naturel**

Il existe plusieurs zones dans cette sebkhah présentant des enjeux patrimoniaux importants comme les marais salants de BREDEH qui sont spécifiés par une grande surface à l'intérieur et à l'extérieur des salins qui présentent une faible profondeur d'eau en hiver et au printemps, ce qui favorise l'accueil de nombreuses espèces. L'intérêt majeur de cette zone repose donc sur les périodes en eau qui attire inévitablement les oiseaux migrateurs au passage pré-nuptial et favorise le stationnement des anatidés et autres flamants en hiver.

Les zones humides ROSELIÈRES au sud d'El Karma représente le déversoir des eaux usées de la ville d'El Karma, la présence d'une roselière, habitat très rare autour de la sebkhah, la rend très spécifique tout comme le lac des vaches, en fait c'est une halte migratoire pour les oiseaux transsahariens ainsi que par la végétation qu'elle contient qui abrite sûrement plusieurs espèces nicheuses, dont extrêmement rare sarcelle marbrée.

## Chapitre 1 : Généralité sur la grande Sebkhah d'Oran

Le caractère temporaire des Lunettes, milieux qui peuvent accueillir lorsqu'ils sont en eau, d'importantes d'oiseaux limicoles en halte migratoire, des Flamants en hiver comme en attestent

des témoignages locaux et peut-être des peuplements faunistiques inféodés à ces milieux (Crustacés, insectes, reptiles et amphibiens).

La permanence de la mise en eau et la présence des végétations dans l'Oued Horad permettent d'accueillir de nombreux oiseaux migrateurs et espèces reproductrice des zones humides d'Afrique du Nord.

Sans oublier, l'exutoire d'El Amria qui accueille des espèces migratrices quand les eaux de la sebkhah s'assèchent.

L'intérêt de la préservation écologique de la forêt de M'SILA a déjà été très largement démontré. De nombreuses démarches ont été lancées en vue d'un classement réglementaire permettant d'assurer la conservation de ses biotopes les plus représentatifs : Landes à palmiers nains et forêt de thuyas, ainsi que de la faune sauvage associée. [3]

### **IX. Travaux antérieurs**

De nombreux travaux ont été effectués dans la région que ce soit du côté géologique, géomorphologique, hydrologique, paléontologique ...etc. [3]

On peut les classer selon deux volets académique et professionnel, notre étude porte sur le volume d'eau que peut contenir la grande sebkhah d'Oran ainsi que sa bathymétrie, jusqu'à maintenant rien de tel n'a été encore effectué sauf une étude professionnelle qui a été faite par SOGREAH en 2004.

Cette étude étant nommée La Mission n°4, objet de ce rapport, consiste à définir les éléments des politiques d'aménagement

Possibles du bassin versant de la Sebkhah, en précisant les objectifs prioritaires recherchés.

La future politique d'aménagement globale devra permettre de trouver un compromis acceptable entre les différents aspects suivants :

- Mise en valeur économique du foncier de la Sebkhah par assèchement et drainage partiel.
- Préservation des milieux remarquables, tant aquatique que terrestre et appui du développement économique du bassin sur la valeur patrimoniale de ces milieux.
- Développement agricole de l'arrière-pays oranais.
- Extension urbaine d'Oran.

- Protection des infrastructures existantes.

La mission en cours devra :

- Déterminer le futur de la Sebkha, au travers d'objectifs de gestion cohérents et acceptés.
- Préciser différents scénarios d'action cohérents.
  
- Analyser les impacts de ces scénarios
- Elaborer des propositions concrètes d'aménagement et les hiérarchiser.

## **Conclusion**

A travers ce chapitre nous avons présenté les caractéristiques physiques et géométriques de la grande sebkha d'Oran tout en passons en revue sur les différents travaux scientifiques d'exploitation de ce grand lac. Le plus important c'est l'étude effectuée par la société française SOGREAH en 2004, en ce qui concerne la conservation écologique et hydrologique en a découvert qu'il y a plusieurs démarches officielles sur la conservation et la préservation de la grande sebkha d'Oran mais la réalité est tout à fait différente à travers les sorties qu'on a effectuée pendant notre recherche a savoir au niveau de la station d'épuration d'Oran au niveau de el Karma ou de Boutlilis.

A teal-colored decorative box with rounded corners and a slight shadow, containing the chapter title.

## Chapitre 2 : La Téledétection Radar

## I. Introduction

Notre Terre a été le premier but de l'exploration spatiale. Et si l'on exclut les photographies prises par des observateurs perchés sur des promontoires, le premier porteur utilisé en télédétection a été le ballon. En 1855, Nadar prend la première photographie aérienne de ballon et dépose en 1858 un brevet pour un "nouveau système de photographie aérostatique" permettant le "levé des plans topographiques".

Aujourd'hui la télédétection (qui fournit les données) et le SIG (Système d'Information Géographique) (qui gère les données) sont des techniques incontournables pour divers disciplines scientifiques. Cependant, le fait d'avoir accès à des données et de pouvoir les gérer sera toujours insuffisant, et les utilisateurs de la télédétection devront toujours avoir conscience des limites.

## II. Télédétection

Le terme de télédétection a été établi officiellement dans la langue française en 1973, sa définition officielle est la suivante :

Le mot télédétection (en anglais c'est « *remotesensing* ») et qui indique la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir des informations et des phénomènes sur la surface de la terre par des mesures effectuées à distance et sans rentrer en contact matériel direct avec celle-ci. [9]

Tout simplement c'est la science de l'acquisition, de l'exploitation et de l'interprétation de données à distance qui englobe tout le processus qui consiste à capter et à mémoriser l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émit ou réfléchi par le soleil pour traiter et analyser l'information pour ensuite la mettre en application.

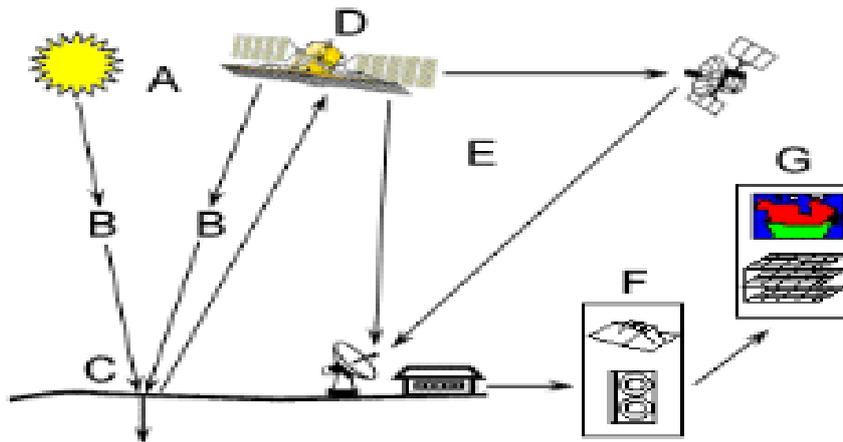
### II.1 Principe de la télédétection

Le principe de base de la télédétection est similaire à celui de la vision de l'homme. La télédétection est le fruit de l'interaction entre trois éléments fondamentaux :

- Une source d'énergie
- Une cible
- Un vecteur

Les différentes étapes de la télédétection comme la montre la figure (II.1) :

- 1) source d'énergie ou d'illumination (A) : pour illuminer la cible
- 2) Interaction (B) : entre le rayonnement interagit avec l'atmosphère durant son parcours entre la source d'énergie et la cible.
- 3) Interaction avec la cible (C): une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface, ces interactions sont de trois types : la transmission, la réflexion et l'absorption.
- 4) Enregistrement de l'énergie par le capteur (D) :le capteur enregistre le signal reçu.
- 5) Transmission, réception et traitement (E) : l'énergie enregistrée par le capteur est transmise à une station de réception où l'information est transformée en images numériques ou photographiques.
- 6) Traitement et analyse (F): une interprétation visuelle ou numérique de l'image traitée est nécessaire pour extraire l'information que l'on veut sur la cible.
- 7) Application (G): consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible. [9]



**Figure II.1** : Schéma du processus de capture et d'enregistrement des informations en télédétection [1]

## II.2 Différents capteurs de la télédétection

Il existe essentiellement deux formes de capteurs pour mesurer l'énergie naturellement :

- Capteurs passifs
- Capteurs actifs

## II.2.1 Capteurs passifs :

Les appareils photographiques et les photographies aériennes constituent le système de télédétection le plus simple et le plus ancien utilisé pour observer la surface de la Terre.

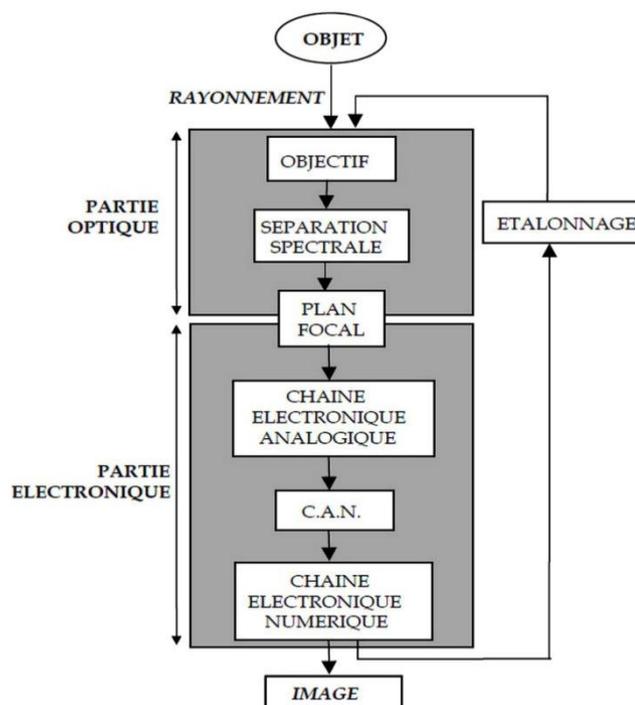
Les appareils photographiques sont des systèmes qui enregistrent un cliché presque instantané d'une région de la surface. Ces appareils sont des capteurs optiques passifs qui utilisent une lentille (ou un système de lentilles que l'on appelle système optique) afin de former une image sur le plan focal, plan sur lequel l'image est bien définie. [10]

Les capteurs passifs peuvent servir à détecter l'énergie uniquement lorsqu'elle est disponible naturellement. L'énergie réfléchie ne peut donc être perçue que lorsque le Soleil éclaire la Terre.

### II.2.1.1 Principe de fonctionnement d'un capteur optique

La pellicule photographique est sensible à la lumière (énergie) d'une longueur d'onde de 0,3 à 0,9 microns, couvrant l'ultraviolet (UV), le visible et le proche infrarouge (PIR). Les pellicules panchromatiques sont sensibles aux ondes dans l'ultraviolet et dans le visible. Ces pellicules produisent des photographies noir et blanc et sont les plus utilisées en photographie aérienne. [11]

La photographie des ultraviolets utilise aussi ce type de pellicule, mais un filtre est utilisé avec l'appareil photographique afin d'absorber la lumière visible. Ceci permet d'enregistrer les cibles qui réfléchissent les ultraviolets (voir figure II.2). [11]



**Figure II.2 :** Schéma de fonctionnel d'un capteur optique [2]

## II.2.2 Capteurs actifs

Les capteurs actifs se sont à la fois émetteurs et récepteurs, ils produisent leur propre énergie pour éclairer la cible. Le capteur émet un rayonnement dirigé vers la cible observée, puis il capte et mesure le rayonnement réfléchi par la cible. [12]

Il offre donc l'avantage de pouvoir prendre des mesures à n'importe quel moment de la journée ou de la saison. Les capteurs actifs sont utilisés pour examiner les longueurs d'onde qui ne sont pas produites par le soleil, par exemple les hyperfréquences, ou pour mieux contrôler la façon dont une cible est éclairée. Ils doivent cependant produire une quantité considérable d'énergie pour bien éclairer une cible. Le fluoro-mètre laser et le RSO sont des exemples de capteurs actifs. [12]

### III. L'usage de l'image de télédétection

Les applications de la télédétection sont multiples et interviennent dans de nombreux domaines comme le montre le tableau suivant :

**Tableau II.1.** Application de l'imagerie de télédétection [1]

<b>Application</b>	<b>Les domaines</b>
Agriculture	<ul style="list-style-type: none"> <li>• classification des types de cultures et de sol.</li> <li>• surveillance de conformité aux lois et traités.</li> </ul>
Aménagement du territoire et études urbaines	<ul style="list-style-type: none"> <li>• études d'impact sur l'environnement.</li> <li>• suivi de l'urbanisation.</li> </ul>
Surveillance maritime	<ul style="list-style-type: none"> <li>• contrôle des activités de pêche et du trafic maritime.</li> <li>• contrôle des activités de pêche et du trafic maritime.</li> </ul>
Sciences de la Terre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• glaciologie</li> <li>• géologie</li> <li>• volcanologie</li> </ul>
Risques naturels et industriels	<ul style="list-style-type: none"> <li>• localiser rapidement les zones affectées et cartographier les dégâts.</li> </ul>
Gestion des forêts	<ul style="list-style-type: none"> <li>• connaître les surfaces forestières</li> <li>• estimer les dégâts d'intempéries (incendies, tempêtes, ouragans)</li> <li>• aménager et surveiller les sites protégés</li> </ul>

Météorologie, océanographie et hydrographie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• calcul du niveau de la mer et des lacs</li> <li>• bonne connaissance des marées</li> <li>• mesure de la hauteur de vagues</li> </ul>
Risques naturels et industriels	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mettre à jour les plans de prévention des risques</li> <li>• localiser rapidement les zones affectées</li> </ul>

## IV. Radar

### IV.1 Définition

Le mot «radar» est dérivé de: Radio Detection And Ranging (détection et télémétrie par onde radio), [13]

Le radar fournit lui-même l'énergie requise et peut donc être utilisé aussi bien la nuit que le jour et sous couverture nuageuse. Ce type de système est appelé système de télédétection active. [13]

Les ondes envoyées par l'émetteur sont réfléchies par la cible, et les signaux de retour sont captés et analysés par le récepteur, souvent situé au même endroit que l'émetteur. [13]

### IV.2 Historique

On doit considérer le « Radar » comme le résultat de l'accumulation de nombreuses recherches menées antérieurement, et auxquelles les scientifiques de plusieurs pays ont parallèlement participé.

En **1865**, le physicien anglais James Clerk Maxwell développe sa théorie de la lumière électromagnétique (Description de l'onde électromagnétique et de sa propagation) et en 1886, le physicien allemand Heinrich Rudolf Hertz démontra l'existence physique des ondes électromagnétiques qui confirment ainsi la théorie de Maxwell.

En **1904**, le technicien allemand spécialiste des ondes hertziennes, Christian Hülsmeier, invente le «Telemobiloskop», appareil de prévention des collisions en mer. Il mesure le temps de parcours de l'onde électromagnétique, sur le trajet aller-retour, entre l'antenne et un objet métallique (navire). Un calcul de la distance est donc possible par exemple (voir figure II.3).

En **1921**, Albert Wallace Hull développe un oscillateur à haut rendement, le magnétron, qui servira plus tard comme source de l'onde radar.

En **1922**, A. H. Taylor et L. C. Young, du (N R L) Naval Research Laboratory (USA), détectent pour la première fois un navire en bois dans une expérience assez similaire à celle de Hülsmeier. En **1930**, L. A. Hyland, également du (N R L), réalise la première détection d'un aéronef. En **1934**, faisant suite à une étude systématique du magnétron, des essais sur de systèmes de détection par ondes courtes sont menés en France par la (CSF)

En **1935**, faisant suite à un brevet déposé par Robert Watson-Watt (l'inventeur dit « officiel » du radar) (brevet anglais GB593017), le premier réseau de radars est commandé par les Britanniques. [14]



**Figure II.3:** Giant Würzburg radar [4]

### IV.3 Le principe de fonctionnement des radars

Le principe utilisé par les radars est voisin de celui de la réflexion des ondes sonores. Lorsque vous criez dans la direction d'un objet qui peut réfléchir le son de votre voix (dans un canyon ou dans une grotte par exemple), vous en entendez l'écho. Si vous connaissez la vitesse du son dans l'air, vous pouvez alors estimer la distance et la direction générale de l'objet. Le temps nécessaire à l'aller et au retour du son vers vous peut être converti en distance si vous connaissez sa vitesse.

Il nous permet de voir à travers les nuages, la pluie et dans l'obscurité. [15]

## IV.4 Composantes principales

### IV.4.1 Le transmetteur

Le transmetteur est un appareil électronique qui génère une impulsion électromagnétique de la gamme des ondes radio qui sera envoyé à l'antenne pour diffusion. Il doit pouvoir:

- Produire l'onde de radiofréquence à une puissance moyenne et de pointe désirée;
- Émettre des ondes sur une gamme de fréquences;
- Émettre de façon stable la ou les fréquences désirées afin de permettre un traitement reproductibles des données [14]

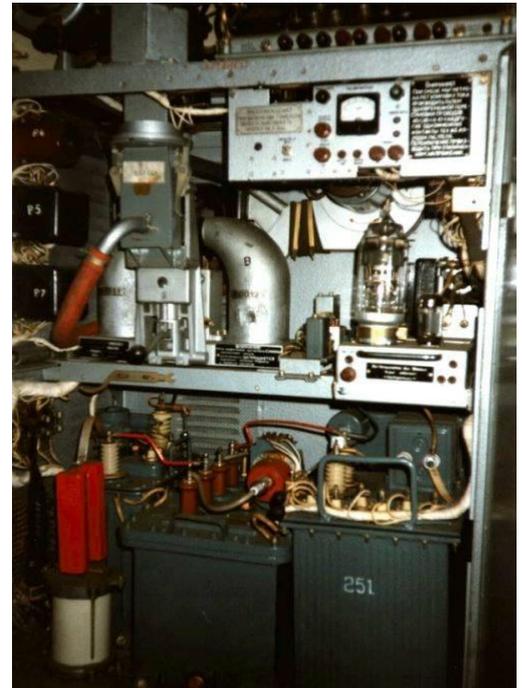
Les types principaux de transmetteurs sont:

- Les oscillateurs de puissance (voir figure II.4)
- Les amplificateurs de puissance

### IV.4.2 L'antenne

L'antenne est l'une des parties les plus importantes d'un radar (voir figure II.5). Elle réalise les fonctions essentielles suivantes :

- Elle transfère la puissance de l'émetteur à des signaux dans l'espace avec l'efficacité voulue et la selon la répartition nécessaire. Le même processus est appliqué à la réception.
- Elle permet d'obtenir le diagramme de rayonnement souhaité. En général il sera suffisamment étroit dans le plan horizontal pour obtenir la précision et la résolution demandée en azimut.
- Elle doit assurer la mise à jour de la position de la cible à la fréquence voulue.
- Elle doit mesurer sa direction de pointage avec une grande précision.



**Figure II.4 :** Transmetteur à oscillateur de puissance d'un radar russe P-37 [5]

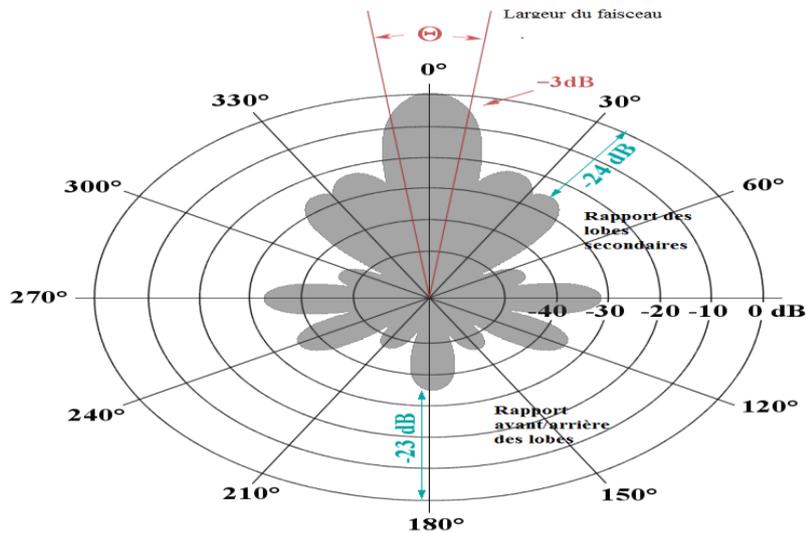


Figure II.5 : Diagramme d'émission d'une antenne en coordonnées polaires Radar tutorial [6]

### IV.4.3 Récepteur

Le récepteur reçoit les échos de retour qui ont été perçus par l'antenne. Il transforme le signal à haute fréquence du faisceau en un signal modulé de fréquence intermédiaire (FI) qui contient l'information des échos, l'amplifie et les transmet ensuite au système de traitement du circuit radar qui en retirera ensuite les cibles d'intérêt (voir figure II.6).

Le récepteur idéal doit :

- Amplifier les signaux reçus sans y ajouter de bruit de fond ou distorsion;
- Optimiser la probabilité de détection de signaux grâce à une bande passante adaptée;
- Avoir une large plage d'intensités qu'il peut traiter sans saturation;
- Rejeter les signaux d'interférence pour optimiser l'extraction de l'information.

Tous les récepteurs sont construits avec un Signal minimum détectable (SMD) qui correspond aux conditions d'utilisations.

Car elle détermine la portée maximale du radar. [14]



**Figure II.6 :** Récepteur et générateur de signaux d'un radar ASR-E [7]

## V. L'usage de la télédétection radar

Les systèmes radars ont ensuite été rapidement associés à la télédétection qui consiste à observer la Terre de manière aérienne ou spatiale qui est particulièrement intéressante car elle ne connaît pas de frontière géographique ou politique et la contribution des données obtenues par les radars imageurs se retrouve dans différentes applications. [16]

Comme le montre le tableau suivant (voir tableau II.2) :

**Tableau II.2.** Les applications du radar [2]

<b>Applications</b>	<b>Les domaines</b>
L'explorationGéologie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hydrologie (recherche d'eau)</li> <li>• exploration minière et pétrolière</li> </ul>
Détection des mouvements de surface	<ul style="list-style-type: none"> <li>• activité sismique</li> <li>• glissements de terrain</li> </ul>
Applications maritimes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• surveillance du trafic maritime</li> <li>• détection des pollutions marines</li> </ul>
Gestion des risques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• inondations,</li> <li>• feux de forêt</li> </ul>
Agriculture et forêt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• détection de l'état des changements dus à la croissance de la végétation</li> </ul>
Cartographie des zones intertropicales (couverte des nuages)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cote maritimes brumeuses</li> </ul>

La cartographie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Révision et élaboration de cartes</li> <li>• Cartographie thématique</li> </ul>
-----------------	--

## VI. Radar à visée latérale (RVL)

Un radar à visée latérale (RVL) est comme son nom l'indique est un radar dont l'antenne est pointée latéralement par rapport à son porteur.

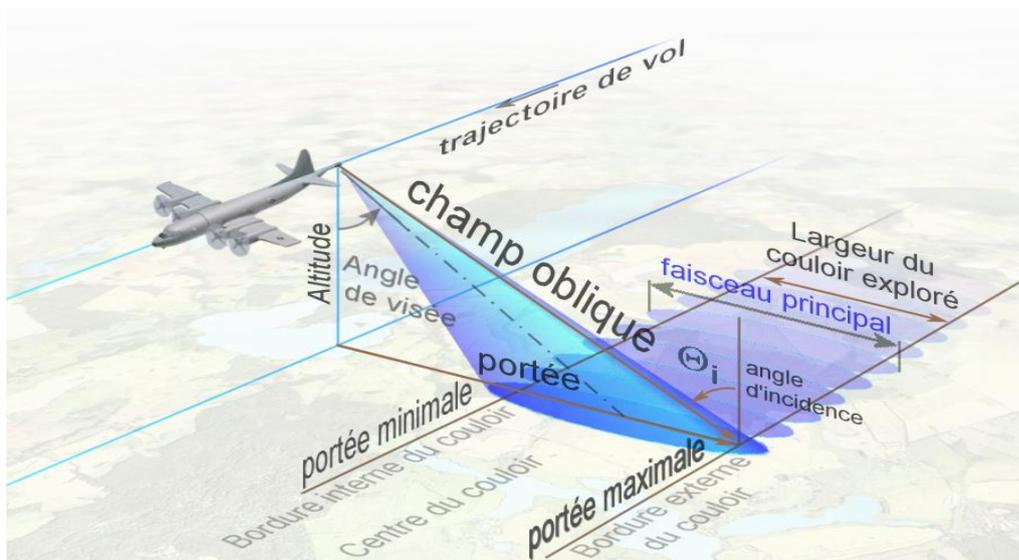
C'est un radar monté sur un avion, ou un satellite, et qui est pointé vers le sol dans une direction perpendiculaire au déplacement du véhicule. Le faisceau illumine ainsi un couloir au sol qui dépend de la largeur du faisceau et de la distance parcourue par le véhicule. La portée du radar est la distance entre la projection au sol de la trajectoire de l'avion/satellite et la distance maximale atteinte par le faisceau. La résolution en azimuth correspond à l'angle balayé par le radar (voir figure II.7). [14]

Le RVL est un radar à ouverture réelle, c'est-à-dire que la résolution des images dépend uniquement de la largeur du faisceau et donc des dimensions de l'antenne voir figure (7). Pour obtenir une bonne résolution, l'antenne doit être assez grande. La résolution en azimuth ( $R_a$ ), est définie comme :

$$R_a = \frac{H\lambda}{L\cos\theta}$$

- $H$  = hauteur au-dessus du sol de l'antenne (hauteur de l'avion)
- $L$  = longueur réelle de l'antenne
- $\lambda$  = longueur d'onde du faisceau transmis
- $\theta$  = angle d'incidence

Cette équation montre que la hauteur de l'appareil est déterminante sur la résolution azimuthale du RVL. Plus la hauteur de la plateforme de transport du radar est élevée, plus l'antenne ( $L$ ) doit être longue pour garder une bonne résolution. Ce type de radar est donc peu pratique pour les satellites car il nécessiterait une antenne excessivement grande. Ils utilisent plutôt un traitement différent des données, soit le RSO. [15]



**Figure II.7 :** Géométrie du faisceau du radar à visée latérale [8]

Après avoir mentionné ce qu'est un radar imageur à visée latérale nous énumérons les différents paramètres qui marquent l'acquisition. Ils relèvent de 3 catégories :

- Le porteur (orbite, altitude),
- L'antenne (taille, loi d'illumination),
- L'émission radar (fréquence de l'onde, polarisation, fréquence d'émission des impulsions, fréquence d'échantillonnage de l'écho reçu).

## VII. Le radar à synthèse d'ouverture

Il s'agit d'une technique de radar spéciale qui permet d'obtenir des images radar haute résolution d'objets très éloignés, dans l'espace par exemple.[18]

Est un radar cohérent utilisé sur les avions et les satellites pour sonder latéralement à leur trajectoire vers le sol ou la mer. Le traitement informatique des données successives provenant du même secteur permet de simuler la résolution d'une très grande antenne, de nombreuses fois plus fine que celle de l'antenne utilisée. [18]

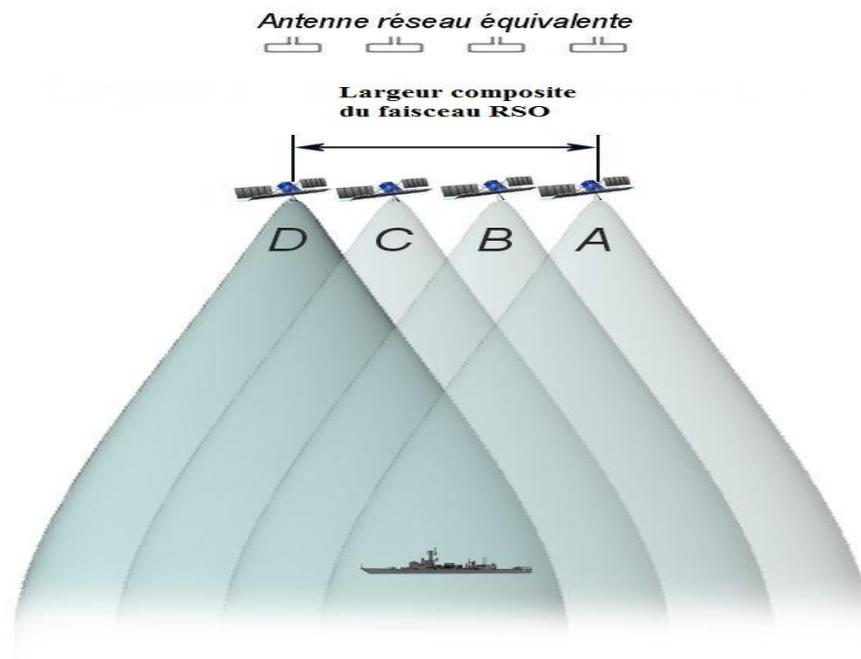
Le système RSO émet des impulsions radar latérales. Grâce à ce principe de balayage latéral, le radar renvoie vers le capteur des signaux émis par différents objets sur Terre à différents moments. Cela permet de distinguer les objets voir figure (II.8). [18]

Le principe du RSO est similaire à celui d'une antenne réseau à commande de phase. La différence provient du fait qu'au lieu d'utiliser un grand nombre d'éléments radiants pour sonder une seule fois, le RSO utilise de multiples sondages successifs, décalés dans le temps et l'espace, pour obtenir un sondage composite.

Équipement nécessaire à un RSO :

- Un transmetteur entièrement cohérent et très stable ;

- Un ordinateur efficace et puissant pour effectuer le traitement des données ;
- Une connaissance exacte de la trajectoire et de la vitesse de vol du porteur.



**Figure II.8 :** Synthèse du faisceau RSO [9]

## VIII. Caractéristiques des systèmes de radar, satellite ou aéroporté

### VIII.1 Le signal

Les principaux paramètres physiques du milieu qui influencent le signal radar sont la rugosité de surface et la constante diélectrique du milieu. L'influence de la rugosité de surface d'une cible varie avec la configuration du radar. Une même surface apparaît d'autant plus rugueuse qu'elle est imagée avec une petite longueur d'onde, ou suivant un petit angle d'incidence. La réflexion est dite spéculaire quand le signal interagit avec une surface lisse. Dans ce cas, l'essentiel du signal est réfléchi dans une direction opposée à celle du radar et la radiométrie du pixel imagé est donc faible.

Quand le signal interagit avec une surface rugueuse, on parle d'une réflexion diffuse. L'énergie du signal est réfléchiée dans toutes les directions, et en particulier dans la direction du radar. Le pixel imagé a donc une forte radiométrie. Enfin, on peut observer des réflexions multiples quand le signal est réfléchi entre plusieurs surfaces. Une grande partie du signal est renvoyée vers le capteur, ce qui correspond à une très forte radiométrie. La réflexion multiple est observée en présence des bâtiments, des reliefs, ou à la lisière des forêts. Le second paramètre physique qui influence le signal radar est le constant diélectrique de la surface, qui est fonction de l'humidité du sol. Dans le cas d'une cible humide, l'onde est atténuée à la surface.[10]

## VIII.2 Fréquence

Le choix des fréquences est déterminé tout simplement par les propriétés désirées de la sonde, mais également par la nécessité de satisfaire les besoins d'autres utilisateurs des bandes par radio. Ceci limite les bandes de fréquences disponibles, qui, comme gueule de bois de la deuxième guerre mondiale, sont souvent mentionnées par des lettres.

Les fréquences les plus employées généralement par les radars de télédétection sont indiquées dans le tableau II.3. [10]

Certains de ces systèmes ont employé plusieurs fréquences par exemple : la mission de la navette spatiale SIR-C (Synthétique Imaging Radar) /X-SAR (Synthétique Aperture Radar) a porté des instruments fonctionnant à X, à C, et à la bande, alors que le système aéroporté de NASA/JPL (Jet Propulsion Laboratory) fonctionne aux bandes de C, de L, et P.

**Tableau II.3.** Les fréquences les plus employées généralement par les radars de télédétection

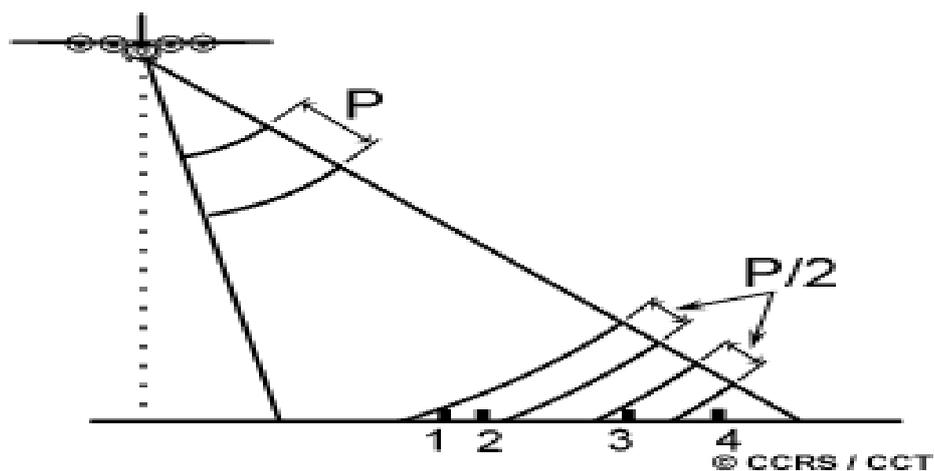
Bande	Fréquence (GHZ)	Longueur (cm)	Sonde
K	15.0	2	ERS alimenté
X	10.0	3	SIR-C/X-SAR
C	5.0	6	ERS RadarsatSARs
S	3.0	10	Almaz SAR
L	1.2	24	Seasat JER SAR
P	0.5	68	Air SAR

Actuellement, aucun instrument de bande de P n'a été volé dans l'espace, bien que cette possibilité soit activement poursuivie, en raison de son importance pour mesurer la biomasse de végétation et contribuer de ce fait aux études de carbone-cycle.

De plus les longues longueurs d'onde seraient d'encore plus grande valeur à cette fin, qui est démontré par le radar de bord de CARABAS fonctionnant aux fréquences de VHF (longueur d'onde de 3-15 m), mais les problèmes techniques de déployer un tel instrument dans l'espace sont trop grands pour que ceci soit considéré.

### VIII.3 Résolution

Contrairement au cas des systèmes optiques, la résolution spatiale d'un radar varie en fonction des propriétés spécifiques du rayonnement des hyperfréquences et des effets géométriques. Dans le cas où l'on utilise un radar à ouverture réelle (ROR) (utilisé comme radar à visée latérale) pour former une image, une simple impulsion et sa rétrodiffusion servent à former l'image. Dans ce cas, la résolution dépend de la durée de cette impulsion dans le plan de la distance-temps et de la largeur de l'illumination dans la direction azimutale. La résolution transversale dépend de la durée de l'impulsion ( $P$ ). Deux cibles distinctes sur la surface vont être différenciées dans la dimension transversale si leur séparation est plus grande que la moitié de la longueur d'onde de l'impulsion. Par exemple, les cibles 1 et 2 ne sont pas discernables, alors que les cibles 3 et 4 le sont. La résolution en distance-temps reste constante. Toutefois, lorsqu'elle est projetée en distance-sol, la résolution dépend de l'angle d'incidence. La résolution en distance-sol décroît lorsque la portée augmente (voir figure II.9). [11]



**Figure II.9 :** Variation de la cellule de résolution avec l'angle de visée [10]

La résolution azimutale ou longitudinale est déterminée par la largeur angulaire du faisceau d'hyperfréquences et par la distance en portée mesurée en distance-temps. La  $(A)$  est une mesure de la largeur du diagramme d'illumination. Au fur et à mesure que la distance en portée augmente, la résolution azimutale augmente (devient plus grossière). Sur cette figure (10), les cibles 1 et 2 à la portée proximale sont discernables, mais les cibles 3 et 4 plus éloignées (portée distale) ne le sont pas.

La largeur du faisceau est inversement proportionnelle à la longueur de l'antenne (aussi appelée ouverture), donc une antenne longue produira un faisceau plus mince et une meilleure résolution.

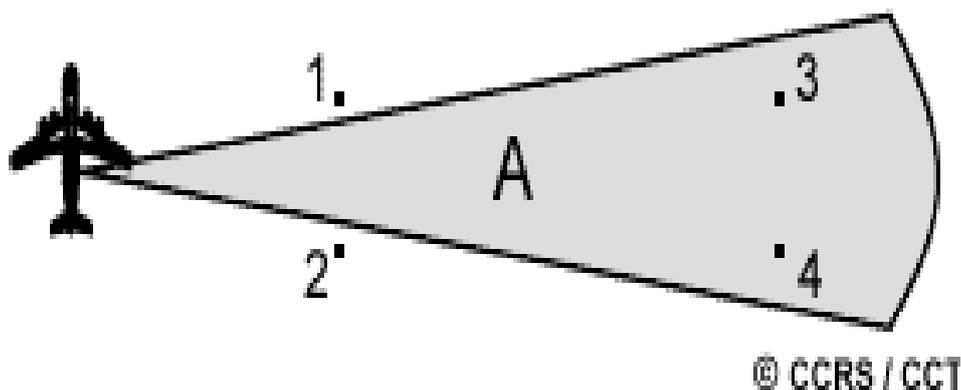


Figure II.10 : Portée proximale et portée distale [11]

Cette figure II.11 illustre ce procédé. À mesure que la cible (A) se trouve devant le faisceau du radar, des échos rétrodiffusés provenant de chaque impulsion transmise commencent à s'enregistrer. À mesure que la plate-forme avance, tous les échos provenant de la cible pour chaque impulsion sont enregistrés pour la durée du passage de la cible devant le faisceau. Le moment où la cible quitte le champ du faisceau (2) détermine la longueur de l'antenne synthétique simulée (B). Les cibles, dans la longue portée où le faisceau est le plus large, vont être illuminées plus longtemps que celles pour les cibles dans la courte portée. L'élargissement du faisceau et l'augmentation de la période durant laquelle la cible se retrouve devant le faisceau pendant que la distance au sol augmente, s'équilibrent de manière à ce que la résolution demeure constante au travers du couloir tout entier. Cette méthode, utilisée pour obtenir une meilleure résolution azimuthale dans le couloir entier, est appelée RSO. La plupart des radars aéroportés et spatioportés utilisés de nos jours font appel à cette technique.

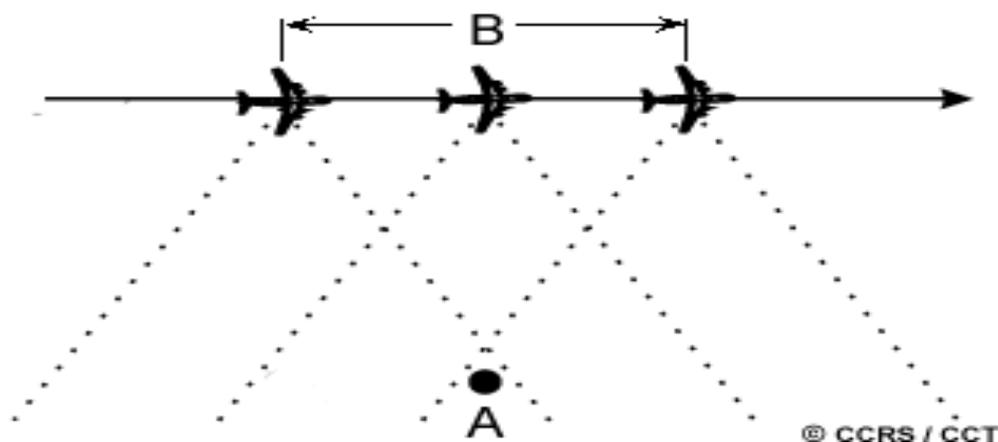


Figure II.11: L'antenne synthétique [12]

#### VIII.4 Angle d'incidence :

L'angle d'incidence est l'angle entre le faisceau du radar et la normale à la surface du sol (A). L'angle d'incidence augmente graduellement de la portée proximale à la portée

distale. L'angle de visée (B) est l'angle à partir duquel le radar illumine la surface. Dans la portée proximale,

La géométrie de visée peut être considérée comme étant plus abrupte par rapport à la portée distale où la géométrie de visée est plus rasante. Pour tous les angles, l'antenne du radar mesure la distance radiale entre le radar et chaque cible sur la surface : c'est la distance oblique (ou distance-temps) (C). La distance au sol (D) est la vraie distance horizontale mesurée au sol, correspondant à chaque point mesuré dans la distance oblique (voir figure II.12). [19]

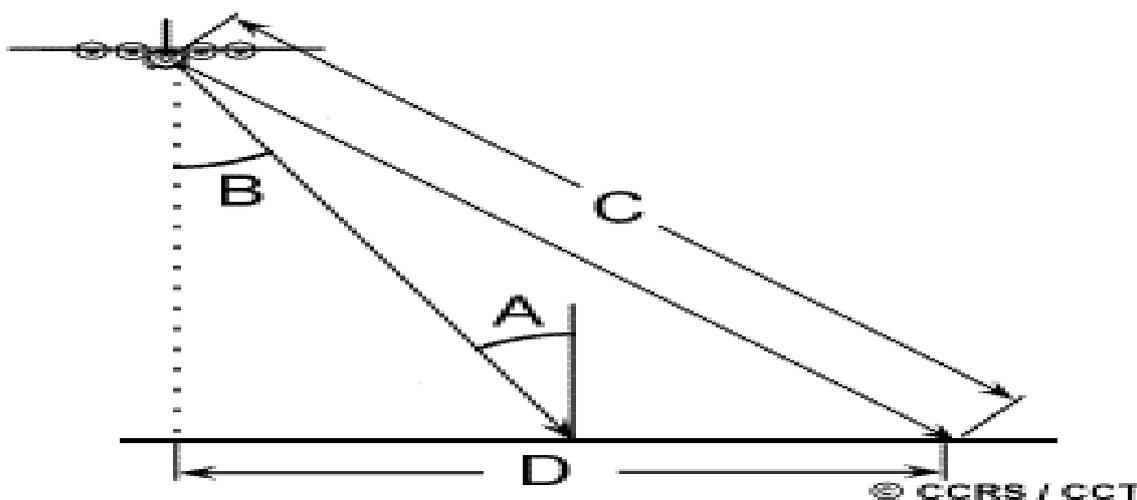


Figure II.12 : Angle d'incidence [13]

## IX. Propriétés des images radars

### IX.1 Ombre radar

Les ombres radar apparaissent sur l'imagerie radar là où la surface du sol n'est pas illuminée par le radar. Puisqu'aucun signal n'est capté, ces régions paraissent très foncées sur l'image. Sur les images, les ombres radar apparaissent dans la direction de la portée-aval, derrière les objets élevés. Elles sont un bon indicateur de la direction de l'illumination dans les cas où l'annotation est absente ou incomplète. Puisque l'angle d'incidence augmente lorsque l'on passe de la portée proximale à la portée distale, l'illumination du terrain devient plus oblique. Les effets d'ombre deviennent alors plus importants en s'éloignant du capteur.

Des informations sur la scène peuvent également être obtenues grâce aux ombres radar comme, par exemple, la hauteur d'un objet. L'ombrage joue un rôle important dans l'interprétation du relief du terrain par imagerie radar (voir figure II.13). [19]

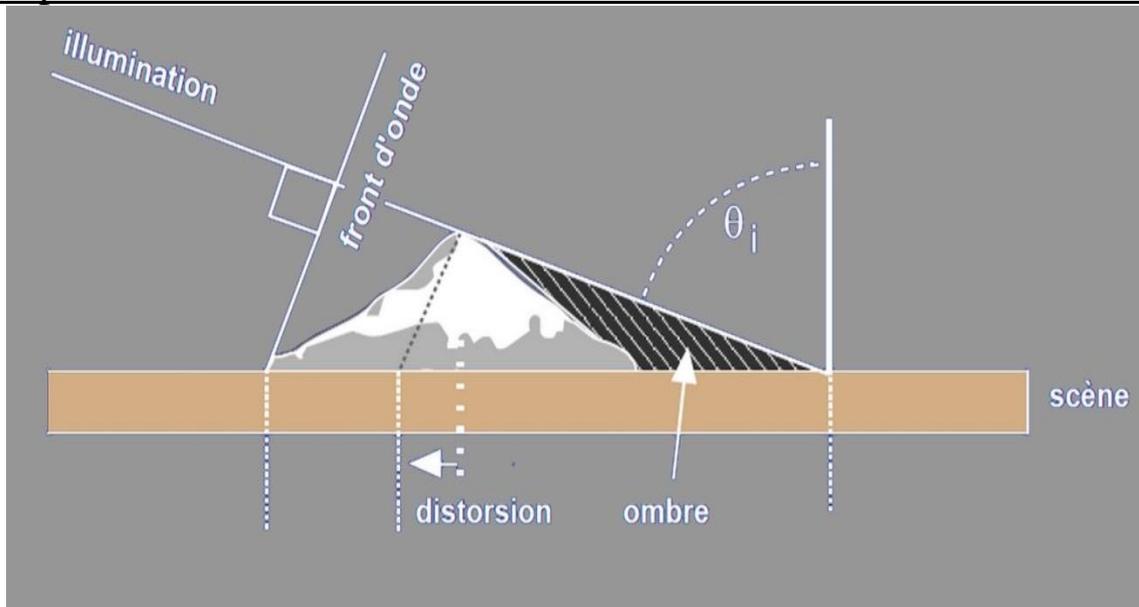


Figure II.13 : Ombre radar [14]

## IX.2 Chatoiemment

Toutes les images radars contiennent une certaine quantité de ce que l'on appelle le chatoiemment radar. Cet effet se manifeste comme une texture poivre et sel sur les images.

Le chatoiemment est produit par l'interférence aléatoire, constructive et destructive, provenant de la diffusion multiple qui se produit dans chaque cellule de résolution.

Par exemple, sans l'effet de chatoiemment une cible homogène (comme une grande étendue de gazon) apparaîtrait en tons plus clairs (A). Mais la réflexion provenant de chaque brin d'herbe à l'intérieur de chaque cellule de résolution produit des pixels plus clairs et d'autres plus sombres que la moyenne (B), de sorte que le champ apparaît tacheté (voir figure II.14). [19]

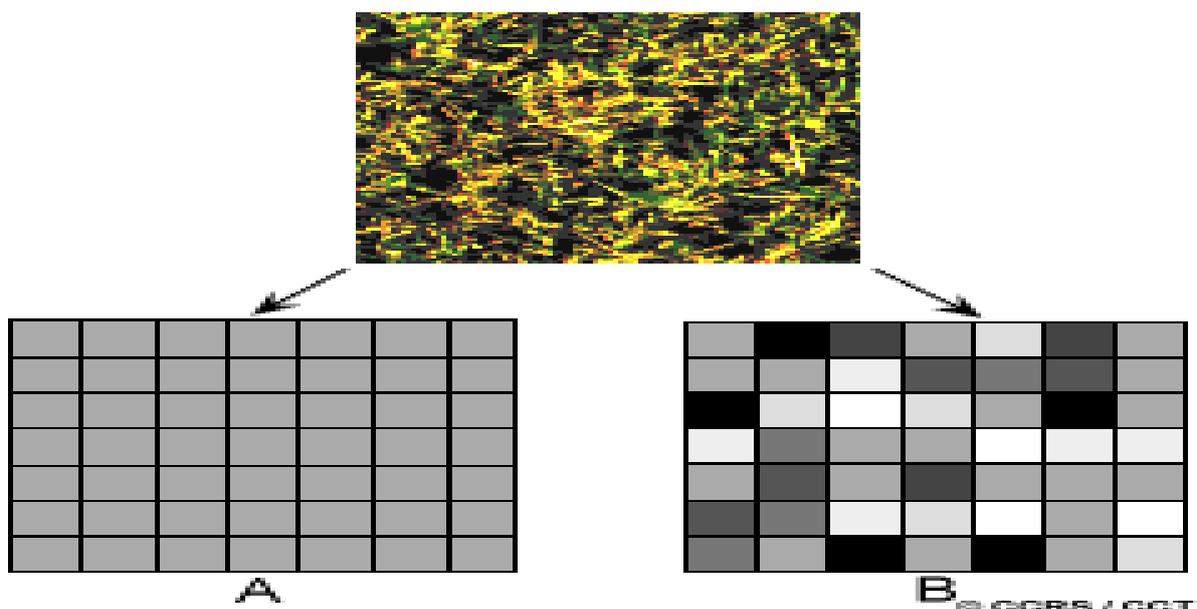


Figure II.14 : Chatoiemment d'une image radar [15]

Le chatoiement est essentiellement une sorte de bruit qui dégrade la qualité de l'image et peut rendre l'interprétation (visuelle ou numérique) plus difficile. Ainsi, il est généralement préférable de réduire le chatoiement avant l'interprétation et l'analyse des images. Deux techniques permettent de réduire le chatoiement :

- Le traitement multi-visé
- Le filtrage spatial.

### IX.3 Interférométrie radar

L'interférométrie radar à synthèse d'ouverture est une technique applicable à de multiples domaines. Le radar enregistre deux images ou plus de la même région à des moments différents. En comparant les images, il est alors possible de détecter tous les changements susceptibles de s'être produits dans l'intervalle. L'interférométrie peut être réalisée par un seul satellite ou par deux satellites évoluant en tandem sur la même orbite (voir figure II.15). [19]

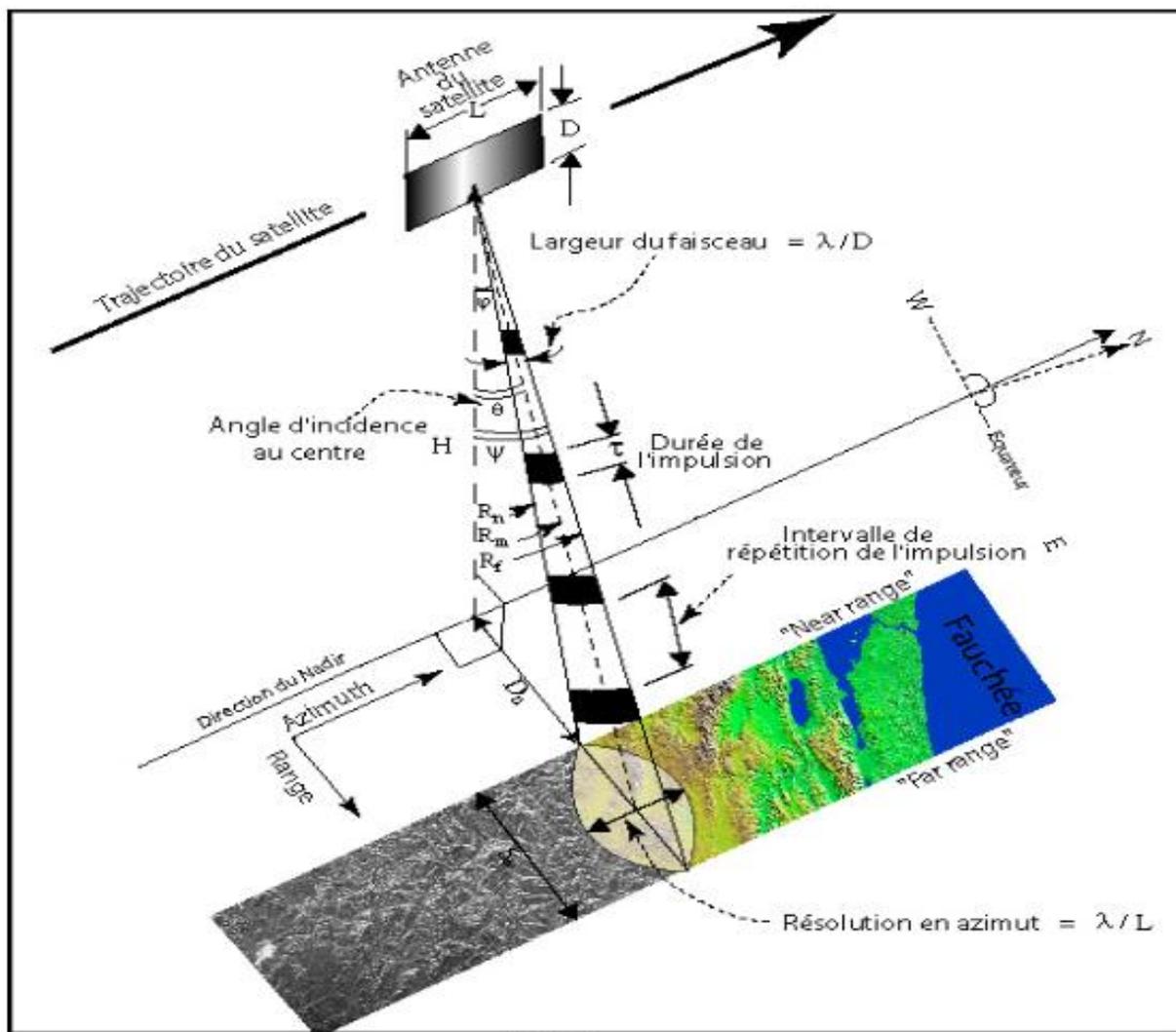


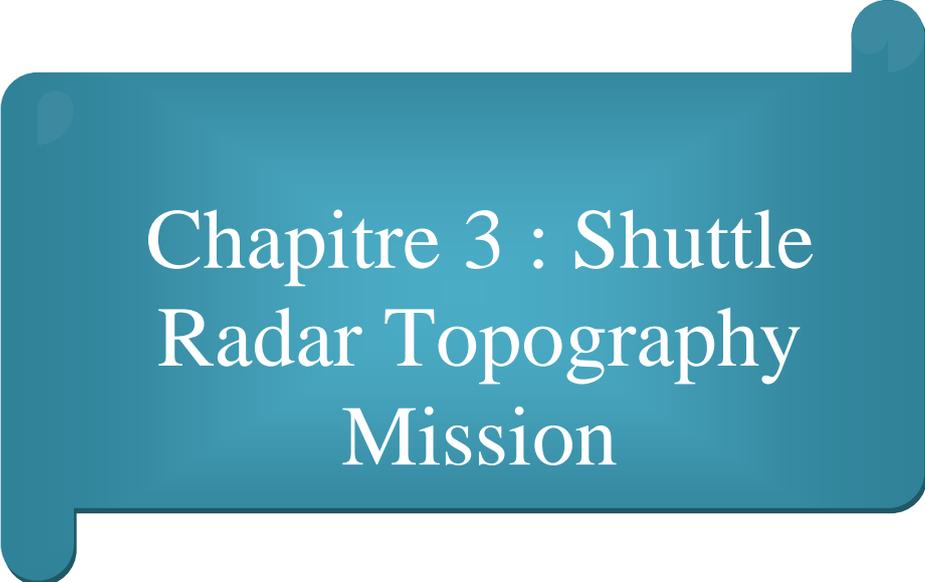
Figure II.15 : Interférométrie radar [16]

## Conclusion

L'imagerie radar est un moyen actif permettant d'observer le territoire par tout temps indépendamment de toutes conditions météorologiques. L'image radar d'amplitude apporte, à partir de la radiométrie, des informations sur les caractéristiques diélectriques et géométriques de la surface imagée.

Le principe de fonctionnement des radars repose sur l'interaction entre les ondes électromagnétiques et la matière : la diffusion des ondes électromagnétiques est fonction de la composition et de la géométrie des objets rencontrés. L'image radar ainsi formée contient une information d'amplitude et de phase relative au champ électromagnétique rétrodiffusé par chaque élément de la surface considérée. Différents paramètres physiques interviennent dans le processus de rétrodiffusion par une surface naturelle. Le rapport entre le signal émis et le signal reçu par le radar est exploité afin d'inverser l'information recueillie pour retrouver certaines caractéristiques de la scène éclairée : topographie, état de surface, rugosité, humidité, composition minéralogique, etc.

L'imagerie radar présente deux principaux avantages par rapport à l'imagerie optique : elle fonctionne par tous le temps et la résolution des images ne dépend pas de la distance à laquelle se trouve le radar. La majorité des systèmes RSO actuels opèrent en hautes fréquences (bandes X, C, ...). Parallèlement aux études menées sur l'imagerie RSO de la surface de la Terre, une nouvelle voie de recherche commence à se développer : l'imagerie radar sub-surface. Les systèmes basse fréquence existants évitent souvent certains problèmes en se limitant à des résolutions de l'ordre de 6 à 10 mètres.

A teal-colored speech bubble graphic with rounded corners and a tail pointing downwards and to the left. The text is centered within the bubble.

# Chapitre 3 : Shuttle Radar Topography Mission

## I. Introduction

Vu l'importance du produit SRTM qu'on base pour nos calculs bathymétrique, nous avons envisagé de réserver un chapitre apart et donné les explications et les concepts fondamentale sur cette émission.

Lors de la mission de la navette spatiale américaine Endeavour de février 2000 (SRTM), financée par la NASA, la carte topographique mondiale la plus précise jamais réalisée a été obtenue. Deux radars à ouverture synthétique, SIR-C (bande C) et X-SAR (bande X), ont été utilisés en mode interférométrique. Suite à cette mission, il a été acquis un MNT sur près de 80% de la surface de la terre (entre 60°N et 56°S) avec une précision sur l'altitude meilleure que 10 m.

Une carte qui montre non seulement l'emplacement des caractéristiques sur la Terre, mais aussi les informations d'élévation et la bathymétrie de ces derniers ; c'est la carte topographique.

Ces données peuvent être adaptées pour répondre aux besoins des communautés d'utilisateurs scientifiques, militaires et civiles. Mais d'autres utilisations de ces données comprennent l'amélioration de la modélisation de l'écoulement des eaux, des simulateurs de vol plus réalistes, de meilleurs emplacements pour les tours de téléphonie cellulaire, la sécurité de la navigation, et même des cartes améliorées pour les routards.

Juste au sujet de tout projet qui nécessite une connaissance précise de la forme et la hauteur de la terre peuvent bénéficier de ces données. Quelques exemples sont le contrôle des inondations, la conservation des sols, le reboisement, la surveillance des volcans, la recherche sismique, et le suivi des mouvements des glaciers.

Dans la carte ci-dessous, les couleurs des andains indiquent le nombre de fois que la zone a été imagée par SRTM. Pour les terrains, une seule fois la couverture est verte, deux fois est jaune-vert et ainsi de suite, comme indiqué dans le guide. Au cours de l'eau, le code couleur est dans les tons de bleu, comme indiqué dans la clé en bas à droite. Les zones en rouge ne sont pas être mappées. SRTM est une mission de topographie, de sorte que les données ont été principalement acquises sur la terre. De petites quantités de données ont été recueillies sur l'eau à des fins d'étalonnage (voir figure III.1). [14]

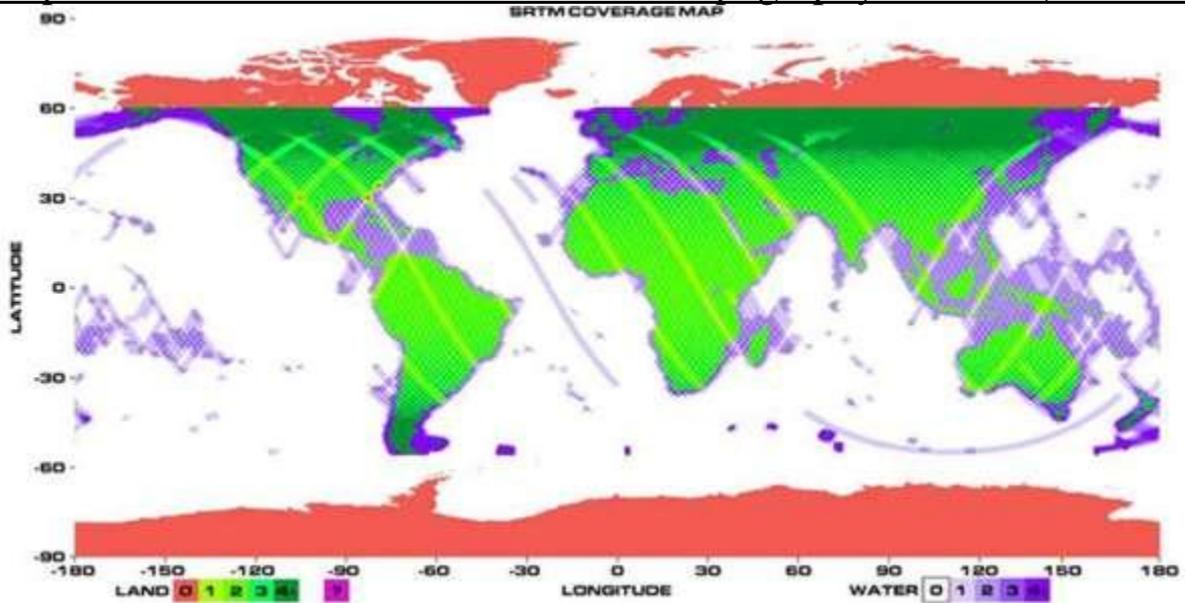


Figure III.1 : carte dérivée du SRTM [15]

## II. SRTM

SRTM est une vaste campagne d'observation de la terre, menée conjointement par la Nasa et NIMA (Agence nationale de l'imagerie et de cartographie), NGA (national geospatial-intelligence agency), l'ASI (agence spatiale italienne) qui s'est déroulée pendant 11 jours au mois de février 2000. [15]

L'objectif de ce projet est de produire des données topographiques numériques pour 80% de la surface terrestre de la Terre (toutes les terres entre 60 nord et 56 de latitude sud), avec des points de données situés tous les 1 seconde -arc (environ 30 mètres) sur une grille latitude / longitude.

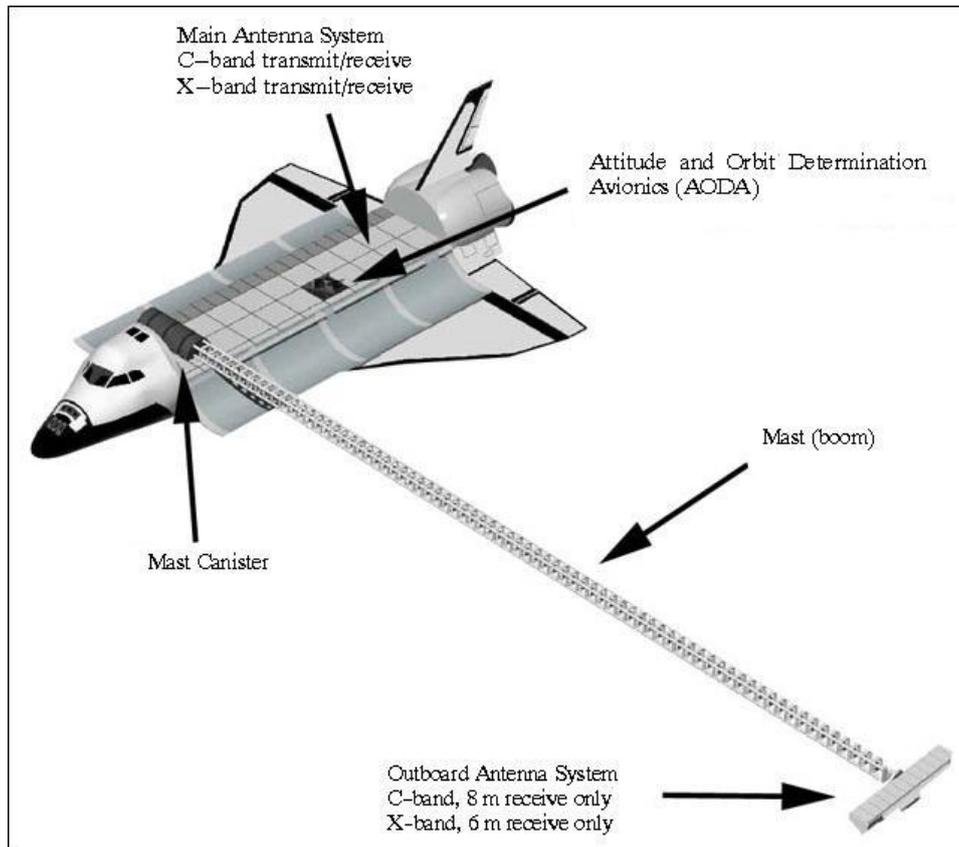
Le financement de SRTM est venu de NGA, tandis que la NASA a fourni le matériel SIR-C, le lancement de la navette, les systèmes au sol, les opérations de la mission, et le soutien de traitement de données. Le Centre aérospatial allemand (DLR) et l'ASI ont fournis le matériel X-SAR, systèmes terrestres, les opérations de la mission, et le soutien de traitement de données.



JPL

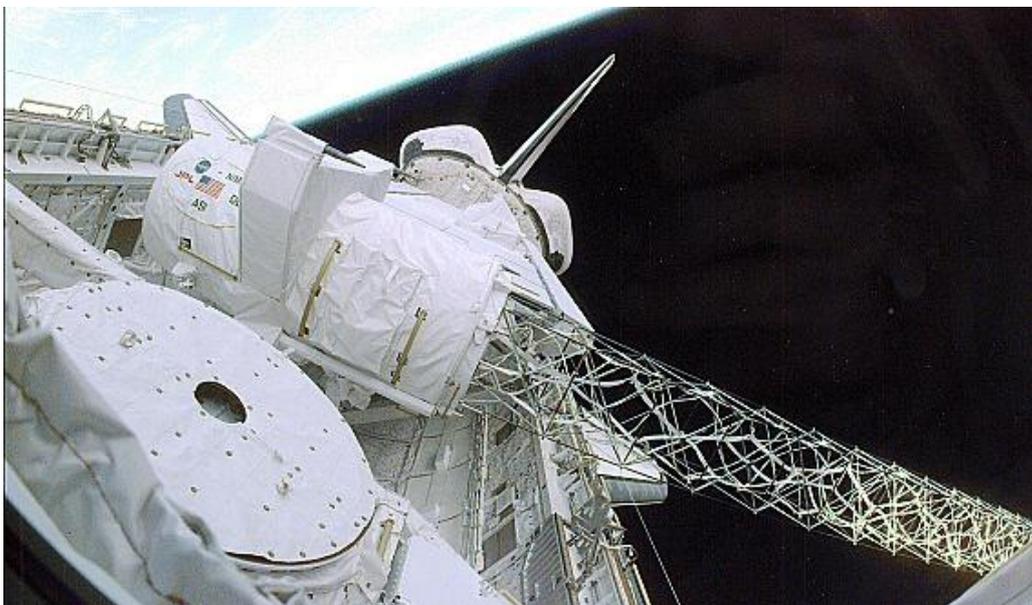


NGA également a fourni le contrôle au sol et a travaillé avec JPL pour déterminer les erreurs dans les données SRTM. NGA sera également formater, archiver et distribuer les données pour le ministère de la défense.



**Figure III.2 :** vue d'ensemble schématique du radar SRTM [14]

La précision verticale absolue des données d'élévation sera de 16 mètres (à 90 % de confiance).



**Figure III.3 :** image du matériel SRTM dans la soute d'Endeavour [14]

SRTM a fait usage d'une technique appelée interférométrie radar. En interférométrie radar, deux images radar sont prises à partir des endroits légèrement différents. Les

Pour obtenir

deux images radar prises à différents endroits du matériel SRTM est composée d'une antenne radar dans la soute de la navette et une seconde antenne radar fixé à l'extrémité d'un mât prolongé de 60 mètres (195 pieds) à partir de la navette. [14]

Les radars utilisés au cours de la mission SRTM ont été effectivement élaborés et pilotés sur deux missions de la navette qui ont eu lieu en 1994. SIR-C et le X-SAR embarqués à bord de la navette spatiale en Avril et Octobre 1994 afin de recueillir des données sur l'environnement terrestre.

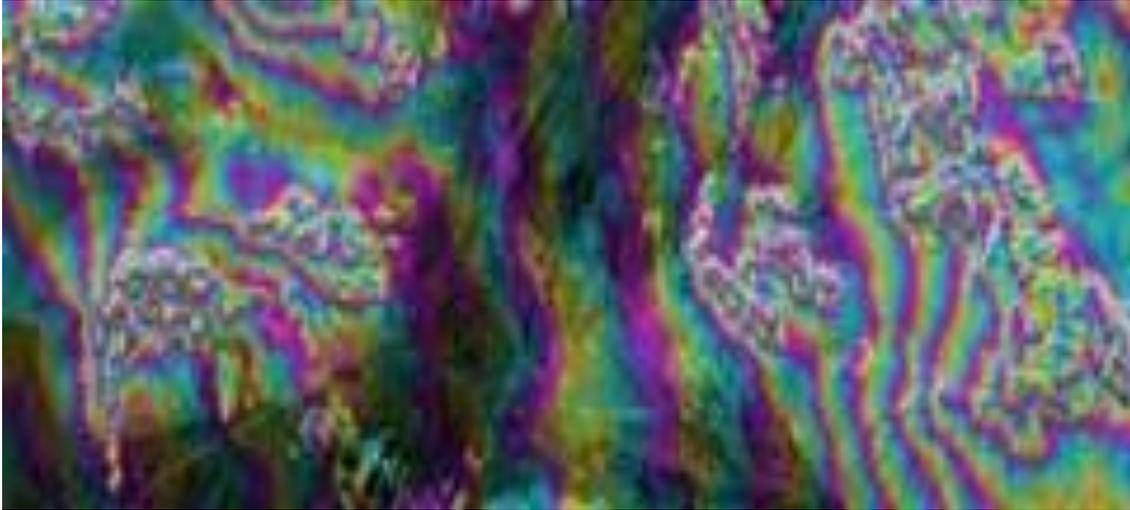
SIR-C a été développé par la NASA. X-SAR a été développé grâce à une collaboration avec les agences spatiales de l'Allemagne et de l'Italie. Alors SRTM était en fait une mission qui réutilisé du matériel de vol éprouvée ainsi que certains équipements supplémentaires qui était nécessaire pour faire le travail.

SRTM a été lancé sur une orbite avec une inclinaison de 57 degrés. Cela a permis la couverture à l'ensemble de la surface terrestre de la Terre qui se situe entre 60 degrés nord et 56 degrés de latitude sud pour être couverts par le SRTM. Ceci est environ 80% de la masse terrestre de la Terre. [14]

## **II.1 L'interférométrie**

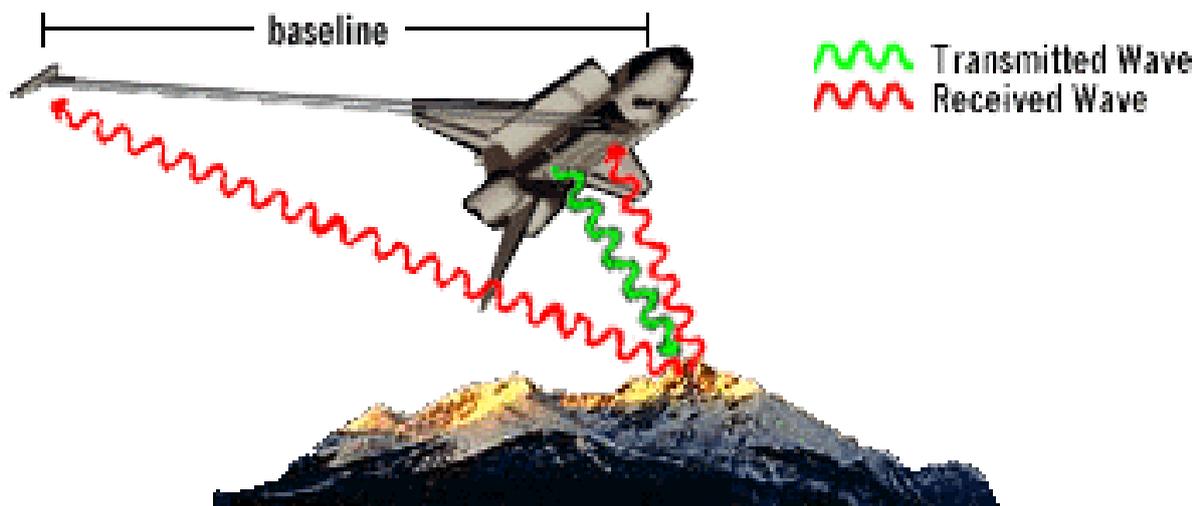
L'interférométrie est l'étude des motifs d'interférence créés par la combinaison de deux ensembles de signaux radar. Si vous avez déjà vu une flaque d'eau avec un film d'huile sur elle, vous avez probablement des bandes de couleur sur la surface remarqué. Ces bandes de couleur sont causées par des rayons lumineux qui se réfléchi sur les surfaces lisses de l'huile et de l'eau sous-jacente, la production de motifs d'interférence. [16]

Lorsque deux ensembles de données radar interférométriques sont combinés le premier produit fabriqué est appelé un interférogramme (également appelé une carte de frange). Une carte de frange ressemble à ces bandes de couleur que vous voyez dans un film d'huile (voir figure III.4).



**Figure III.4 :** Portion d'interférogramme SIR-C [16]

SRTM était une mission d'interférométrie ligne de base fixe. Cela signifie que deux ensembles de données radar ont été prélevés en même temps, et les antennes qui ont collecté les données ont été séparés par une distance fixe. Dans la mission SRTM, l'antenne principale à bord de la navette spatiale a recueilli un ensemble de données et l'autre ensemble de données a été recueilli par l'antenne extérieure située à l'extrémité du mât de 60 mètres (200 pieds) voir figure III.5).



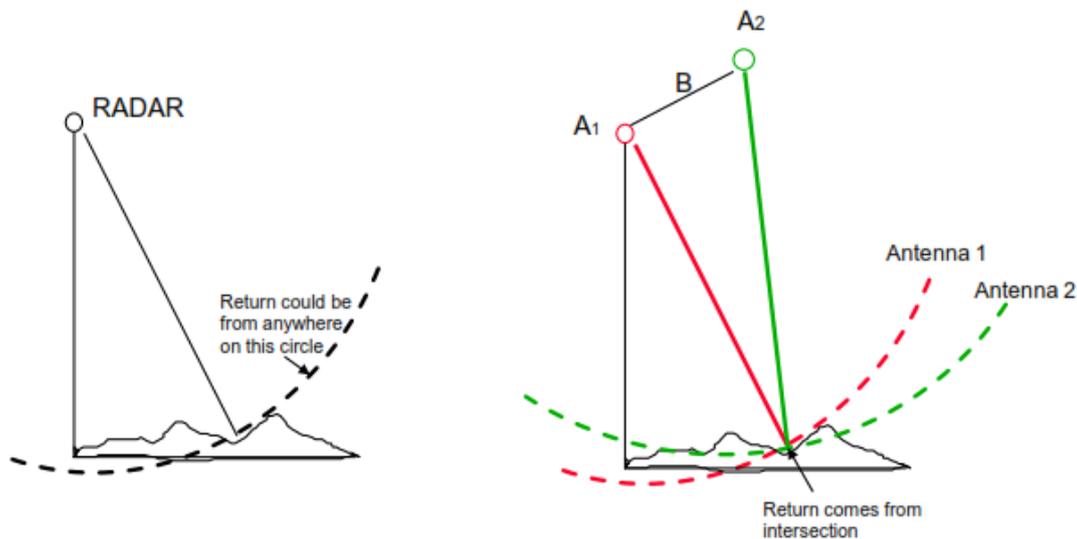
Radar signals being transmitted and received in the SRTM mission (image not to scale).

**Figure III.5 :** Les signaux radar étant transmis et reçus à la mission SRTM [16]

### II.1.1 Principe de l'interférométrie :

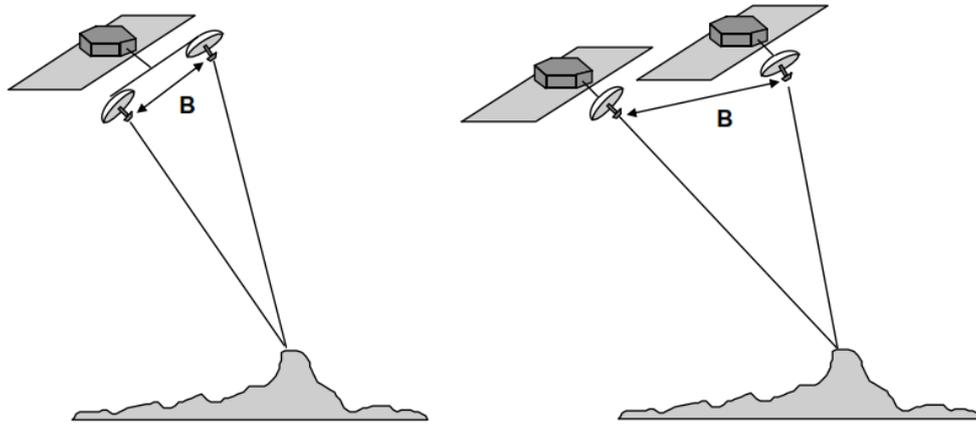
Pour SRTM, l'antenne principale située dans la soute de la navette spatiale illumine une partie de la surface de la Terre. Mais au lieu d'utiliser les rayons lumineux, un faisceau d'ondes radar est transmis. Lorsque les ondes radar frappent la surface de la Terre, les rayons étaient dispersés dans diverses directions. Ces ondes diffusées ont été recueillies par les deux antennes SRTM.

La distance initiale entre l'antenne principale et l'antenne extérieure est connue avec une grande précision et reste constante. Ce qui change est la distance à la surface de la Terre par rapport aux deux antennes. Dans le faisceau radar réfléchi, le point qui représente l'endroit où la réflexion a eu lieu était légèrement différent entre les principales et hors-bord antennes (voir figure III.6) [17]



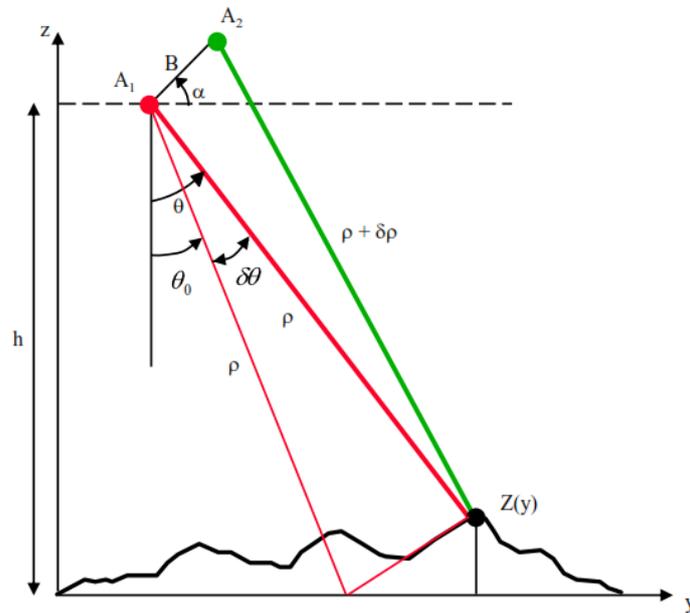
**Figure III.6 :** A gauche l'utilisation d'un seul Radar, A droite l'utilisation de deux radar (interférométrie SAR) [17]

Par ailleurs il faut faire une distinction entre l'interférométrie issue de deux cycles de passage du satellite, et d'un seul cycle avec deux radars, le cas de la mission SRTM. (Voir figure III.7)



**Figure III.7 :** image indiquée à gauche ligne de base simultanée (deux radar) ; A droite ligne de base créée par deux cycles de passage. [17]

La figure suivante (8) présente un schéma plus détaillé sur la ligne de base simultanée



**Figure III.8 :** schéma sur la ligne de base simultanée [17]

La différence de phase selon la figure ci-dessus est définie comme suite :

$$\phi_1 = \frac{4\pi}{\lambda} \rho; \phi_2 = \frac{2\pi}{\lambda} (2\rho + \delta\rho)$$

$$\Rightarrow \Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta\rho$$

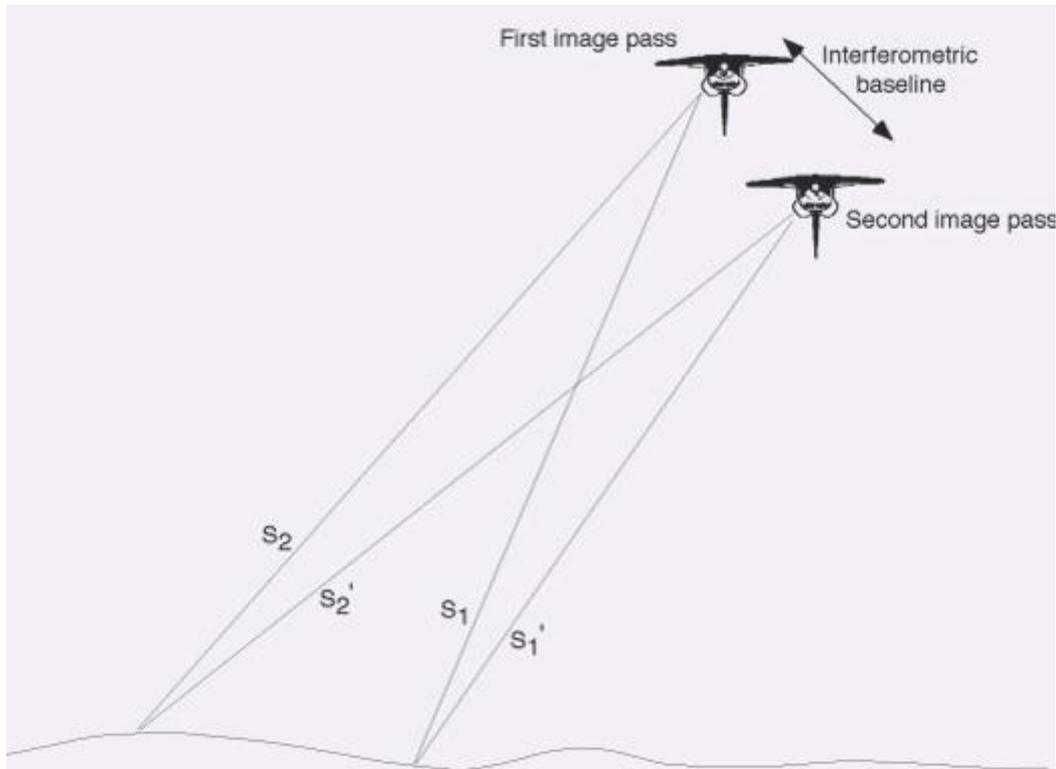


Figure III.9 : L'interférométrie de la navette spatiale [17]

Pour la navette spatiale la base est B (Interférométricbaseline, voir figure 9) et trop inférieure au vecteur de visée, ceci implique :

$$(\rho + \delta\rho)^2 = \rho^2 + B^2 - 2\rho B \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta + \alpha\right)$$

$$\Rightarrow \delta\rho \approx -B \sin(\theta - \alpha)$$

$$\Rightarrow \Delta\phi = -\frac{2\pi}{\lambda} B \sin(\theta - \alpha)$$

La différence de phase est directement proportionnelle à la longueur de la base.

L'élévation d'un point sur l'image est calculée à partir de la formule suivante :

$$\delta\theta \approx \frac{z(y)}{\rho \sin \theta_0} \quad \longrightarrow \quad z(y) = h - \rho \cos \theta$$

L'ambiguïté de la hauteur est déterminée de la formule suivante :

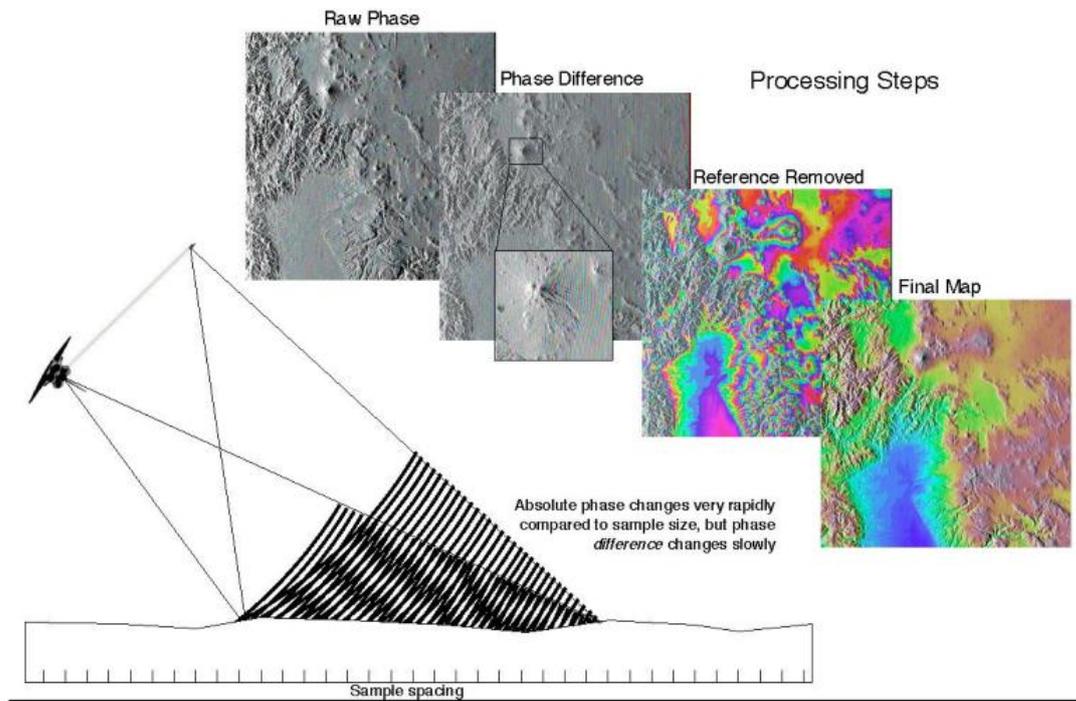
$$h_a = \frac{\lambda \rho \sin \theta_0}{B \cos(\theta_0 - \alpha)}$$

Si  $h_a$  est minime, ceci dit que la sensibilité à la topographie est bonne.

**Source d'erreurs d'élévation :** Elle est peut être calculée par l'ensemble des dérivés d'erreur sur les paramètres décrits dans la formule suivante :

$$\sigma_z^2 = \left(\frac{\partial z}{\partial h}\right)^2 \sigma_h^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial \rho}\right)^2 \sigma_\rho^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial \alpha}\right)^2 \sigma_\alpha^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial \lambda}\right)^2 \sigma_\lambda^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial \phi}\right)^2 \sigma_\phi^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial B}\right)^2 \sigma_B^2$$

Bien entendu, il existe d'autres traitements approfondis afin d'aboutir au résultat final soit le MNT, comme le montre la figure ci-dessous, pour notre zone d'étude nous pouvons donc facilement exploiter Le fichier SRTM pour savoir en chaque point son altitude (voir figure III.10).



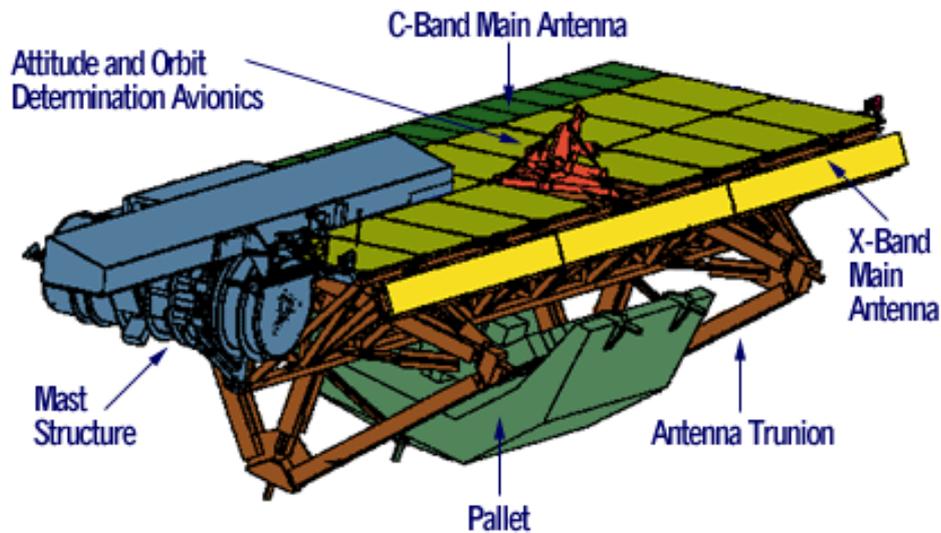
**Figure III.10 :** Les différentes phases de traitement d'image pour la mission d'SRTM avant le produit final

## II.2 Système de radar SRTM

L'instrument de SRTM est composé de trois sections, l'antenne principale de radar, le mât et l'antenne radar hors-bord.

### II.2.1 L'antenne principale de radar

L'antenne principale de SRTM a été placée dans la soute de la navette spatiale Endeavour. Il contenait deux types de panneaux de radar, bande C et en bande X, et les deux transmiss reçoivent des signaux radar (voir figure III.11). [18]



**Figure III.11** : Schématique d'antenne principale [19]

L'antenne principale se compose en fait de deux antennes et l'avionique qui a calculé la position des antennes. Chaque antenne est constituée de panneaux spéciaux qui peuvent transmettre et recevoir des signaux radar.

### II.2.1.1 Antenne radar en bande C

Une antenne a été appelé l'antenne en bande C et pourrait transmettre et recevoir des longueurs d'onde de radar qui sont de 5,6 centimètres de long. Au cours de la mission, le radar en bande C, avec une largeur de bande (largeur du faisceau radar sur la surface de la Terre) de 225 kilomètres, balayé environ 80% de la surface terrestre de la Terre. [19]

Les données en bande C sont en cours de traitement au JPL de faire une carte quasi mondiale topographique de la Terre.

### II.2.1.2 Antenne radar bande X

L'autre antenne est l'antenne en bande X. Cette antenne peut transmettre et recevoir des longueurs d'onde de radar qui sont 3 centimètres de long. Le radar en bande X, avec une largeur de bande de 50 kilomètres, va produire des cartes topographiques à une résolution légèrement plus élevée que les données en bande C, mais ne sera pas une couverture quasi mondiale. [19]

Les données en bande X sont traitées et distribuées par le DLR.

## II.2.2 MÂT

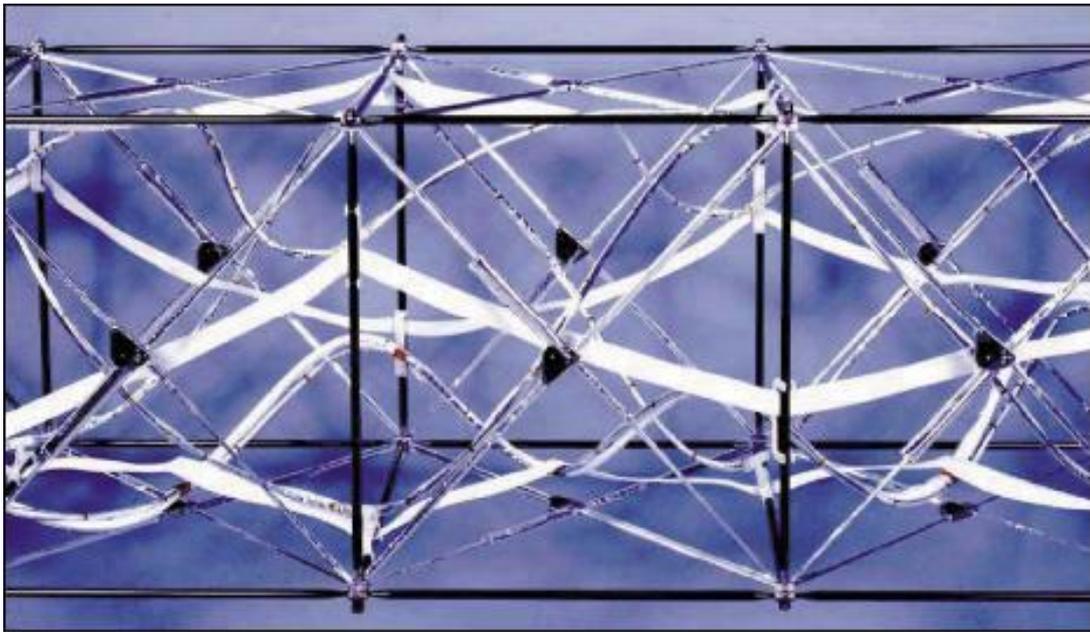
Le mât SRTM à condition que la distance de base entre l'antenne principale et l'antenne extérieure. Dans l'espace, le mât avec l'antenne hors-bord attachés à son extrémité déployée de sa cartouche dans la baie de charge utile pour un plein de 60 mètres (200 pieds). Le mât de SRTM est la plus grande structure rigide à avoir jamais volé dans l'espace. (Voir figure III.12). [18]



**Figure III.12 :** Mât avec quelques premiers jours de la cartouche déployés [19]

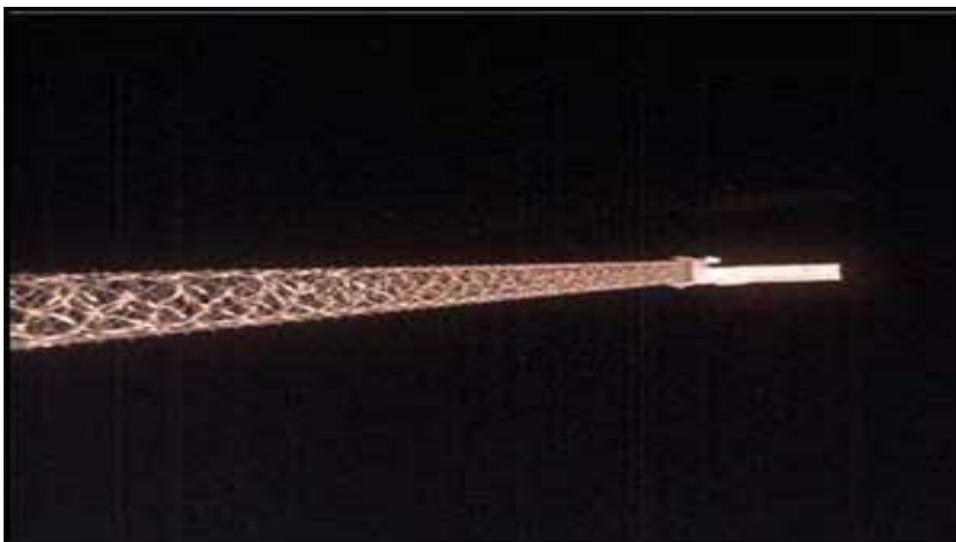
Le mât utilisé sur la mission SRTM est le Able déployable articulé mat (ADAM) construit par la société d'ingénierie AEC-Able, Inc. de Goleta, Californie. Le mât est une structure en treillis qui se compose de 87 sections en forme de cube, appelées baies. La cartouche abritait le mât lors du lancement et de l'atterrissage, et elle a également comme fonction de déployer et rétracter le mât. [19]

Le mât a été déployé et rétracté par un moteur entraîné écrou dans le bidon de mât. Cet écrou a tiré le mât de sa configuration repliée et dans sa configuration déployée. Un astronaute à l'intérieur de la navette spatiale a lancé le déploiement du mât. Le mât aurait également été déployé manuellement à l'aide d'un moteur à main.



**Figure III.13 :** Vue détaillée du mât [14]

Une fois dans l'espace et après les portes de la soute de la navette Endeavour ont été ouverts, le mât a été déployé à son plein de 60 mètres (200 pieds) de longueur. L'antenne hors-bord, qui est restée dans sa position escamotée au sommet du mât, est alors retournée lentement sur l'extrémité du mât dans sa position de fonctionnement. Les opérations de cartographie ont commencé peu de temps après. (Voir figure III.14). [19]



**Figure III.14 :** Le mât de 60 mètres avec l'antenne extérieure dans l'espace [19]

### II.2.3 Antennehors-bord

L'antenne SRTM hors-bord est fixée à l'extrémité du mât. Il contenait deux types de panneaux de radar, C-SIR et X-SAR, elle reçoit les signaux radar, mais elle ne les transmet pas.



**Figure III.15 :** antenne hors-bord attaché à cartouche pour le vol de navette [16]

La structure de l'antenne extérieure est reliée à l'extrémité du mât. Il contenait deux antennes, en bande C et X-Band, deux Global Positioning System (GPS) antennes, Light Emitting Diode (LED) cibles, et un réflecteur coin-cube. Les deux antennes extérieures seulement reçoivent des signaux radar. [18]

La longueur d'onde des signaux radar reçu par l'antenne hors-bord dans les bandes C et X est égale :

- Bande C : 5.6 centimètres
- Bande X : 3 centimètres

Les antennes GPS ont été utilisées pour recueillir de l'information de position précise pour la navette spatiale.

### **III. Le système LAPHO (Attitude et Orbit Determination Avionique)**

Un ajout important à la SIR-C / X-SAR matériel d'origine de la mission était la capacité LAPHO. Ce système a été nécessaire pour obtenir des données sur la longueur et l'orientation du mât et de l'emplacement et de l'orientation de la navette en coordonnées inertiel géocentrique. Ces facteurs sont essentiels à la création d'une carte topographique numérique précise automatiquement sans points de contrôle au sol.

Le bord LAPHO est composée d'une série de capteurs (cible tracker, une nouvelle configuration du système de récepteur GPS, appelé BlackJack pour la détermination de l'orbite et l'attitude, à quelques mètres de distance, les unités de référence inertielle, et suiveur stellaire) (voir figure III.16) pour recueillir l'attitude et l'information de position. Le débit de données LAPHO est 8.192 kbit / s. Les connaissances de base sur les deux intérieurs et

extérieurs des paires d'antennes est connu au sein de 3mm, la connaissance angulaire d'alignement est meilleur que 9 sec arc.

La fonction principale du système LAPHO était de fournir une histoire de temps après le vol de la ligne de base interférométrique pour une utilisation dans le traitement de reconstruction topographique.

Pour SRTM, LAPHO était tenu de fournir une estimation de la longueur interférométrique de référence, l'attitude et la position avec une précision de 2 mm, 9 sec arc, et 1 m (à 90%, ou  $1.6\sigma$ , niveau de confiance), respectivement. Ces exigences doivent être respectées pendant toute la totalité de la mission chaque fois que les radars ont été la collecte de données, à un meilleur taux de 0,25 Hz.

Le réflecteur coin-cube a été utilisé par l'unité électronique de mesure de distance sur la LAPHO pour mesurer la longueur du mât à moins de 3 millimètres.

Au cours du développement de l'instrument, cependant, LAPHO a pris l'exigence supplémentaire pour soutenir les opérations de la mission, y compris la vérification du déploiement en vol mât, alignement de l'antenne, et l'optimisation de la navette de contrôle d'attitude. Pour obtenir la mesure la plus précise de la longueur du mât, SRTM utilise un ensemble de télémètres, appelé EDM (électronique Distance de mesure) unités.

Le télémètre travail en faisant rebondir un faisceau de lumière sur un réflecteur spécial coin-cube sur l'antenne hors-bord et en mesurant le temps de déterminer la distance.

[14]

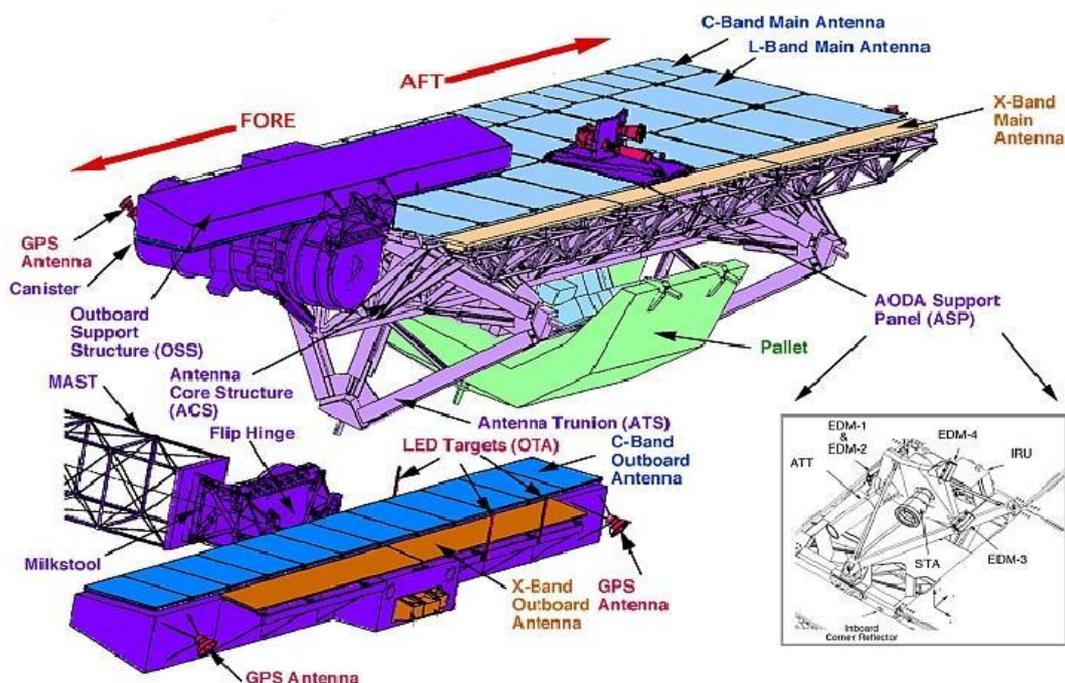


Figure III.16 : Architecture du système de LAPHO [14]

## IV. Format de publication du produit SRTM

### IV.1 Historique

La description qui suit concerne la précision du SRTM du coté topographique, sinon il existe des produits SRTM pour la bathymétrie océanique;

La première version de SRTM Les données ont été fournies dans le modèle 1 degré numérique d'élévation (DEM) tuiles du serveur ftp USGS en septembre 2003.

Les données ont été réalisé continent par continent, Pour les États- Unis, elles ont été mises à disposition au 1 sec- arc avec une résolution (environ 30m à l'équateur), est publié en premier en août 2005 est mise en ligne la version 2 de SRTM qui corrige sur le territoire des États-Unis

La plupart partie du monde a été couverte par cet ensemble de données allant de 54 degrés sud jusqu'à 60 degrés de latitude nord, sauf pour la région Moyen-Orient et l'Afrique du Nord. La couverture manquante du Moyen-Orient a été achevée en Août 2015.

- dans les pays qui disposaient déjà de données de cette résolution, elles étaient souvent payantes et inaccessibles au grand public, comme en France où le montant minimal d'une commande à l'IGN est de 400 Euros (catalogue IGN 2003). Exception notable : les États-Unis où les DEM 1 degré et 7.5 minutes de l'USGS étaient déjà disponibles en résolution au moins équivalente ;
- dans beaucoup de régions du monde et notamment dans les zones tropicales, soit il n'y avait pas de données du tout, soit elles étaient disponibles uniquement sous forme de cartes papier, datant dans certains pays de l'ère coloniale.

Le 23 septembre 2014, la Maison-Blanche a annoncé que la pleine résolution des données (SRTM1) sera disponible sur l'ensemble du Globe courant 2015. Lors de cette annonce effectuée à New York lors d'un colloque des Nations unies, les données du continent africain et des régions environnantes ont été mises à disposition. Dès novembre 2014, une nouvelle édition des données SRTM sera mise en ligne incluant l'Amérique du Sud et du Nord, la plupart de l'Europe et des îles du Pacifique Est. [20]

## IV.2 La qualité du SRTM

Un bémol tout de même, les données ont été volontairement altérées (résolution de 30 mètres à l'origine) avant d'être mises en libre. Initialement, le gouvernement des États-Unis avait même bloqué leur distribution, en évoquant les menaces terroristes pesant sur leurs intérêts dans le monde.

Cela montre bien que les données cartographiques prennent une place capitale dans les activités de renseignement. L'information géographique devient une donnée stratégique d'importance pour maîtriser un théâtre d'opération, d'où ces régulations.

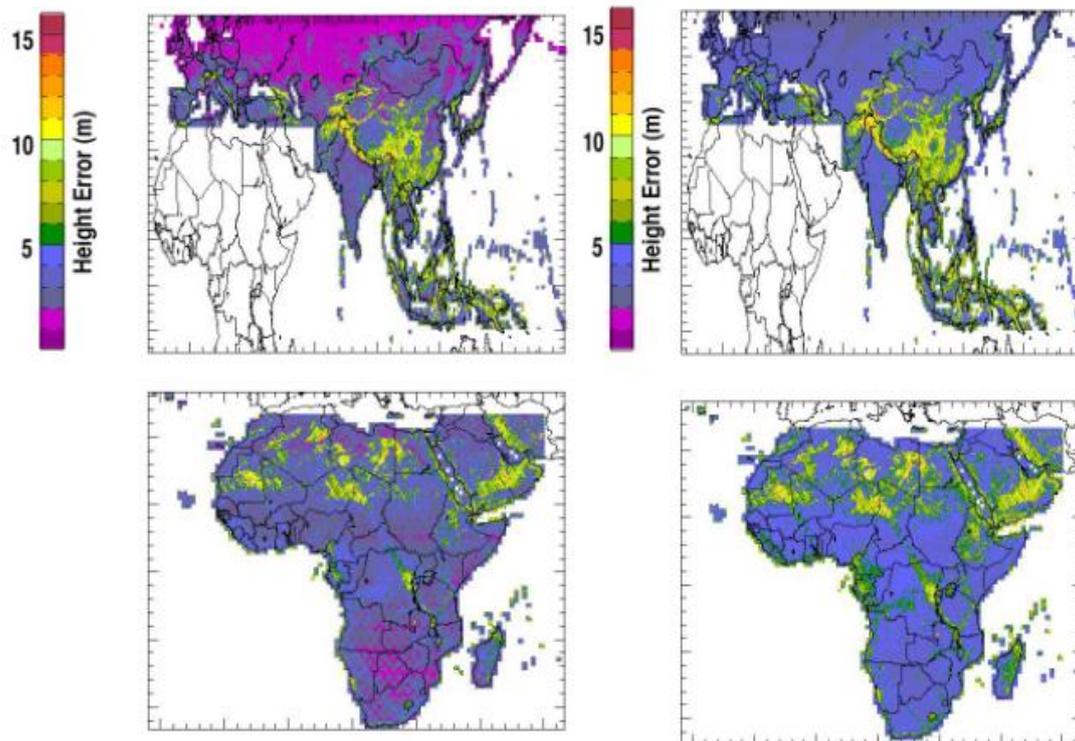
Par ailleurs le format SRTM a un défaut majeur : il s'agit d'une version bêta récente, et l'éditeur (la NASA) n'a pas encore eu le temps de lui appliquer des traitements de correction des données ; les données livrées sont brutes. Or la correction des données est une étape fondamentale dans la création d'un MNT. En effet, l'exactitude des relevés topographiques est fortement dépendante des méthodes d'acquisition spatiales.

Dans le cas de l'interférométrie radar, les zones de rivage le long des côtes sont très mal interprétées en raison des vagues et la navette doit faire plusieurs passages au-dessus de la zone voulue pour minimiser ce défaut ainsi que pour éliminer les zones cachées au rayon du radar embarqué par le relief avoisinant. L'objectif fixé par la mission était de couvrir par au moins deux passes sous un angle différent l'ensemble des terres émergées comprises entre les latitudes 56° Sud et 60° Nord. 99,96 % de ces terres ont bénéficié d'au moins un passage et 94,59 % de deux, mais seuls 50 % environ de ces terres ont été survolées au moins une troisième fois.

Pour rendre les fichiers SRTM exploitables, il faut donc les retravailler afin de remplir les zones vides, supprimer les incohérences (altitudes trop hautes ou trop basses) et retrouver les lignes de rivages. Pour ces dernières, la NGA a créé les fichiers SRTM Water Body Data (SWBD).

La deuxième version du SRTM a été mise afin de corriger une grande partie des défauts (vides et aberrations de mesures) de la version 1 (voir figure 17)

Il faut aussi prendre en compte la précision de plus ou moins 20 m en planimétrie (X et Y) et plus ou moins 16 m en Z (pour les altitudes) pour le SRTM3.

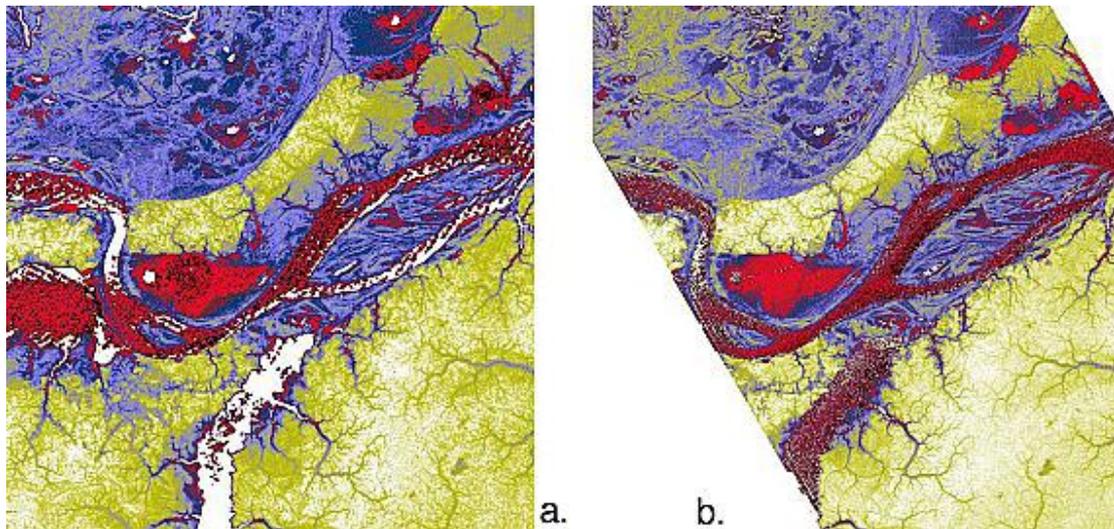


**Figure III.17:** de gauche Erreurs relatif en élévation et de droite Erreurs absolue en élévation [14]

Du côté hydrologique c'est encore pire, le contenu de la différence de réfraction de l'eau douce ou de mer à les ondes en bande X et bande C utilisé en SRTM, des études ont été mené sur des zones différentes dans le monde à titre d'exemple le lac amazonien , dans ce qui suit voici les résultats ou les constats mené sur cette recherche (voir figure III.18) dans le bassin centrale d'Amazonie la bande X (b) était plus performante par rapport à la bande C (a), certaines parties des zones du canal sont manquantes (les zones en blanc) . [14]

L'altitude sur les surfaces d'eau dans les deux MNE (modèle Numérique d'Elevation) est dégradée par rapport à la terre environnante. Le rouge représente les élévations les plus bas, suivis par le bleu et le jaune pour les plus hautes altitudes. Les scènes sont à environ 50 km à travers.

Chose qu'on peut inspirer sur notre zone d'étude sauf qu'il y a une différence sur la qualité des eaux et les profondeurs.



**Figure III.18** : MNT du bassin central Amazon [14]

### IV.3 format des fichiers

Le SRTM est publié sous plusieurs formats comme produit final, c'est-à-dire après traitement de génération du MNT. Il s'agit du **SRTM 90** ou **SRTM3 second d'arc**, car il représente la résolution au niveau du plan de l'équateur terrestre. Ce produit est téléchargeable depuis des sites officiels tel que :

- <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>
- <http://www.viewfinderpanoramas.org/dem3.html>

Pour le **SRTM 30** ou **SRTM1second d'arc** qui représente une amélioration par rapport au SRTM90 est téléchargeable depuis :

- <http://earthexplorer.usgs.gov/>

Il existe aussi d'autres produits plus précis tel que le **SRTM30\_PLUS** et **SRTM 15\_plus** téléchargeable depuis :

- [http://topex.ucsd.edu/WWW\\_html/srtm30\\_plus.html](http://topex.ucsd.edu/WWW_html/srtm30_plus.html)

Le SRTM30\_PLUS est dans la version V11 publié en 29 Novembre 2014, il est fourni en deux formats :

- 1) Format topo30 : Présente un seul fichier (13.5 Go) ; il peut être lu par le logiciel GMT (Generic Mapping Tools)
- 2) Format SRTM30

Le répertoire appelé SRTM30 a les mêmes données dans SRTM30 format initial composé de 33 carreaux est décrit ci-dessous :

Les données - 33 fichiers de signés entiers de 2 octets pour l'élévation globale (> 0) et la profondeur (<0). Les élévations mondiales sont une copie exacte de la grille SRTM30 fournies à l'emplacement suivant. Notre contribution est de remplir les zones océaniques avec une estimation de la profondeur.

- <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov>

Le SRTM15\_PLUS est disponible en 2 formats :

- 1) topo15.grd le format net cdf à utiliser dans GMT

topo15.grd: Remarque: Dérivé de la résolution shorelinen complète

- 2) topo15.grd: enregistrement en format de fichier Grille :

- topo15.grd nf (# 18) au format GMT netCDF (float) (COARDS conforme) [DEFAULT]
- topo15.grd: x\_min: -180 x\_max: 180 x\_inc: ,00416666666667 nom: longitude [degrees\_east] nx: 86401
- topo15.grd: Y\_MIN: -90 y\_max: 90 y\_inc: ,00416666666667 nom: latitude [degrees\_north] ny: 43201
- topo15.grd: z\_min: -10927,5117188 z\_max: 8726 Nom: z
- topo15.grd: facteur d'échelle : 1 décalage additionné: 0

2) Le second format sera le format USGS HDR. Est en cours de traitement par le fournisseur (USGS).

## Conclusion

A travers ce chapitre nous pouvons conclure que les données SRTM sont très intéressantes vue qu'elles couvrent la majorité du globe terrestre de vue qu'elles présentent des références altimétriques pour l'ellipsoïde et pour le géoïde malgré que la méthode d'acquisition est accès compliqué ,et concernant le format d'exploitation est publié gratuitement sur l'internet sauf qu'il faut faire attention sur la qualité et la précision fournisse.

A teal-colored callout box with rounded corners and a drop shadow, containing the chapter title.

## Chapitre 4 : Application et résultats

## **I. Introduction**

Après avoir présenté notre zone d'étude dans le premier chapitre, et les concepts de base en Télédétection et spécialement en SRTM. Nous pouvons ainsi entamer notre application par l'organigramme (voir page suivante) décrivant notre démarche et méthodologie afin d'aboutir aux résultats souhaités. Nous signalons que les certaines phases et taches ne sont pas forcément séquentielle.

Pour un but organisationnelle de ce mémoire, nous avons jugé utile de séparer les rapports de traitement informatique effectué sous les logiciels Covadis et Surfer, dans des annexes à part en fin de ce manuscrit. Seul les chiffres et les résultats finals seront discutés ci-après.

Autrement dit, dans ce qui suit nous allons présenter essentiellement les résultats graphiques tout en donnons les justificatives de notre démarche de traitement. Nous avons enrichi notre démarche par des constats et des commentaires qui sont indispensables pour les analyses déductives. Notons que certains points de traitement intermédiaires ne seront pas présentés ; tel que l'interchangeabilité entre les applications et les logiciels utilisés (Globalmapper, Surfer, Google earth, AutoCAD, Covadis).

## **II. Méthode de traitement d'image**

### **II.1 Téléchargement des données**

Les données a téléchargées sont de deux type : celle du SRTM et de LANDSAT ; cette dernière va nous permettre la délimitation des extensions de débordement des eaux de la sebkha ainsi que les délimitations géométrique de la sebkha par rapport des terres agricoles ou urbanisés mitoyennes.

En ce qui concerne le SRTM ; cette donnée est indispensable pour la création de la bathymétrie de notre lac ainsi que la topographie de la région, avec une résolution que nous discuterons en détails dans ce qui suit.

#### **II.1.1 Images LANDSAT**

Le produit LANDSAT est accessible via le site d'USGS officiellement, il est fourni sous plusieurs formes selon les besoins.

Il est possible de choisir l'image depuis la date en cours jusqu'à 40 ans en arrière avec une moyenne d'une image acquise par le satellite au minimum par mois. Sauf que la taille d'une image multi spectrale dépasse les 1 Go et chaque bande d'elle est au moyenne de 100

Mo, ces images sont dédiées bien entendu pour les traitements telle que la classification et le filtrage.

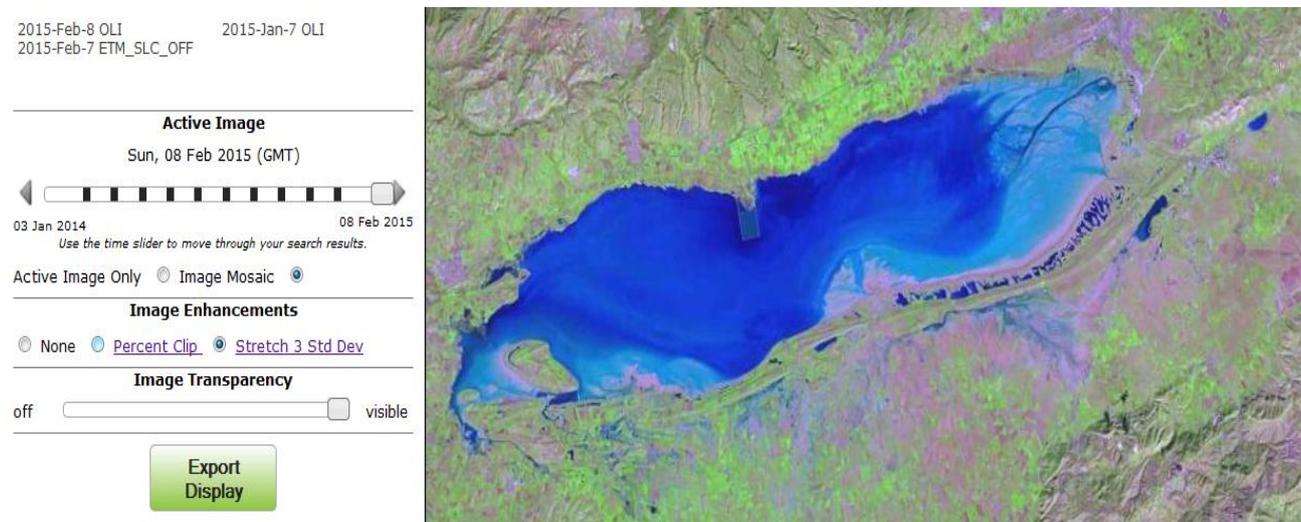
Nous avons besoin au moins d'une de ces images afin d'établir le traitement de composition colorée et de rehaussement (Pansharpening) de la résolution spatiale (voir figure IV.1).



**Figure IV.1 : image LANDSAT**

Pour notre application, notre objectif tel cité en haut, est une discrimination de la terre émergée par l'eau par rapport au reste, ce qui ne nécessite pas un traitement statistique mais une photo-interprétation visuelle est assez suffisante.

Pour cela, USGS fournit des produits moins légers sous le site LANDSATLOOK, prétraités avec une légende dynamique permettant la visualisation multi-date. Nous avons choisi l'image de la date 08 février 2015 (voir figure IV.2).



**Figure IV.2 : Mosaïque d'image LANDSAT (ETM et OLI) de la grande sebkha d'ORAN du 07 et 08 février 2015**

## II. SRTM

Contrairement aux images LANDSAT, SRTM présente un seul produit daté de la mission de février 2000 de la navette spatiale, mais ce seul document est fourni sous plusieurs résolutions et formats. (Voir détails en chapitre 3).

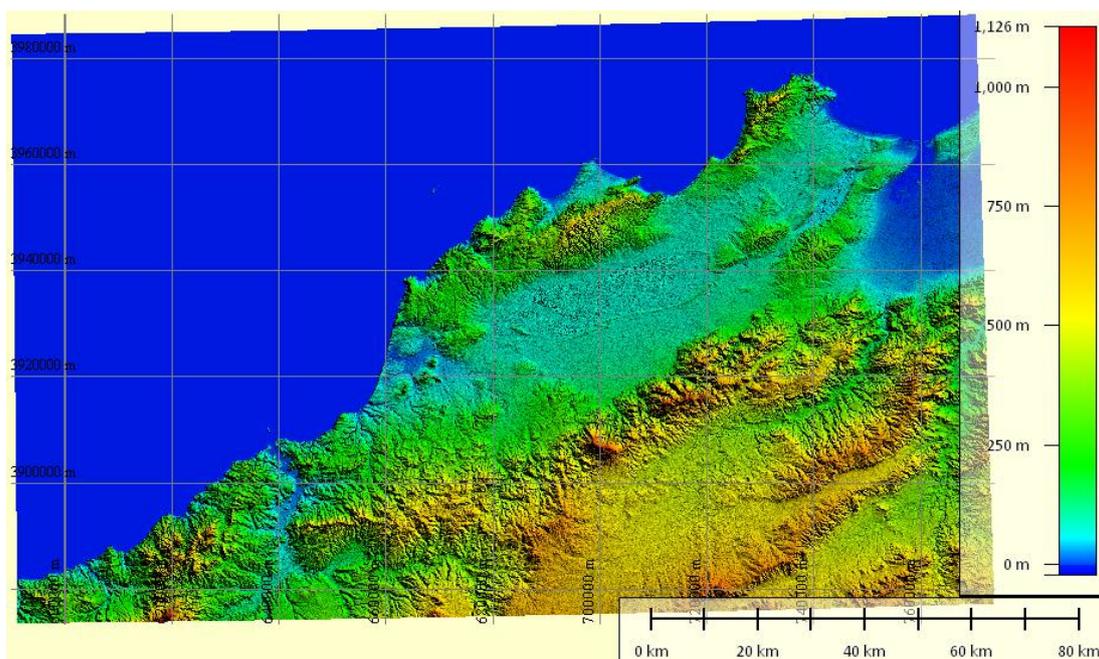
La résolution d'une seconde d'arc n'est publiée et laissé d'accès libre sur internet sauf en Novembre 2014 c'est à dire 14 ans après sa production, ceci reforme l'importance stratégique de tel produit.

Le fichier téléchargé à partir du USGG.gov représente un SRTM amélioré dit : SRTM 30 plus, il couvre une zone de 111x90km<sup>2</sup>, par ailleurs une petite partie de l'ouest de la grande sebkha n'est pas couverte par ce fichier, il faut donc associer deux fichier zone à savoir :

n35\_w001\_1arc\_v3.dt2

n35\_w002\_1arc\_v3.dt2

Ou même : n35\_w001\_1arc\_v3.tif et n35\_w001\_1arc\_v3.tif pour des images géo-référencier (géoTiff ; avec valeur de Z (altitude intégrée) (voir figure IV.3).



**Figure IV.3 :** SRTM 1'' arc de la région ouest ( Oran / Ain Témouchent )

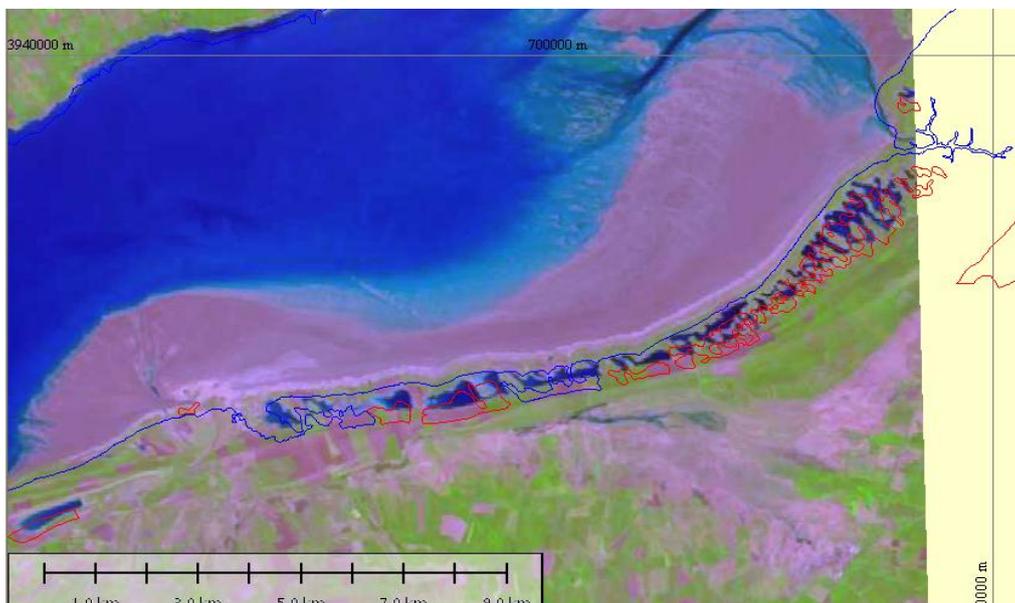
## III. Delimitation et Découpage de la zone

### III.1 Délimitation de la Sebkha par image Landsat

La détermination du périmètre exacte de ce grand lac est une étape délicate vue qu'elle présente des difficultés relatives à la résolution spatiale et spectrale de l'image LANDSAT , nous rappelons que c'est une étude d'un phénomène naturel dynamique dans le temps et dans

l'espace, les eaux pluviales peuvent inondées des terres agricoles mitoyens du lac dans certaines période de l'année, et peuvent constituer un seul tissu de couverture d'eau avec la grande sebkha, ce qui pose un problème de décision formelle : jusqu'à où délimiter la sebkha ? Au point le plus éloigné enregistré inondé par les eaux pour cette année ou des années passé ; ou même pour les 40 ans antérieurs dont on a les images landsat1 archivé de la zone ?

Mieux encore ! On remarque dans la figure 4 que sur le côté sud est du lac l'existence de 26 lacs de superficie allant de 2 à plus de 70 ha répartie le long d'une quinzaine de kilomètre, dont un talweg d'une altitude d'une dizaine de mètre, empêchant l'écoulement et la liaison avec la grand sebkha malgré les 200 m qui les séparent seulement(voir figure IV. 4). Ce qui pose une question en plus : incluant nous ces lacs à la sebkha dans sa superficie et ces quantités d'eaux ?



**Figure IV.4:** prise d'écran délimitation image Landsat

### III.2 Découpage de SRTM

Afin de créer un MNT et d'alléger le processus de traitement, le passage de découpage et l'extraction de la zone d'étude est indispensable, par conséquent, on a procédé par un découpage rectangulaire 45 x 22.5 km dont l'altitude se limite de 48m à 707 m au lieu de 0 à 1126 m (voir figure IV.5).

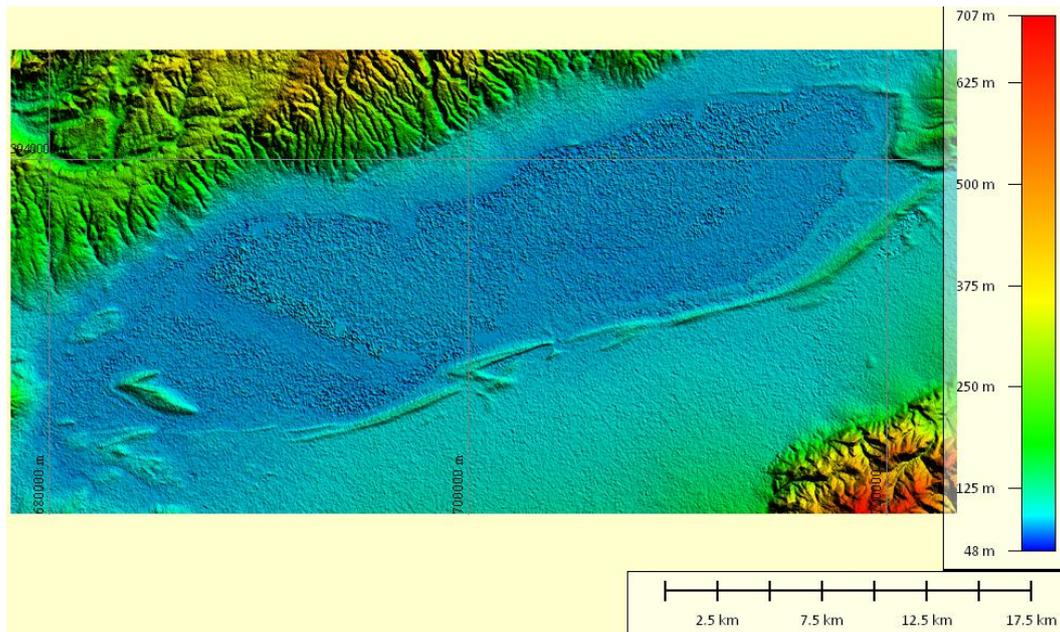


Figure IV.5 : découpage du SRTM suivant la zone d'étude

#### IV. Génération de MNT sous Covadis

##### IV. 1. exportation en format XYZ

L'autocad ne peut pas lire le fichier .DEM, Problème de projection cartographique de 1297063 points avec équidistance de 30 mètres c'est pour ça en fait l'exportation en fichier XYZ (voir figure IV.6).

[F:\DATA\SRTM downloaded\sebkha1seconarc.xyz]			
view Search Document Project Tools Window Help			
1297020	723353.656	3924261.113	534.973
1297021	723353.656	3924230.301	537.354
1297022	723353.656	3924199.489	544.798
1297023	723353.656	3924168.676	549.987
1297024	723353.656	3924137.864	550.786
1297025	723353.656	3924107.052	547.774
1297026	723353.656	3924076.239	538.624
1297027	723353.656	3924045.427	525.301
1297028	723353.656	3924014.615	515.276
1297029	723353.656	3923983.802	507.841
1297030	723353.656	3923952.990	502.493
1297031	723353.656	3923922.178	501.281
1297032	723353.656	3923891.365	500.438
1297033	723353.656	3923860.553	493.038
1297034	723353.656	3923829.740	481.853
1297035	723353.656	3923798.928	472.279
1297036	723353.656	3923768.116	461.821
1297037	723353.656	3923737.303	450.03
1297038	723353.656	3923706.491	440.946
1297039	723353.656	3923675.679	433.138
1297040	723353.656	3923644.866	426.596
1297041	723353.656	3923614.054	420.514
1297042	723353.656	3923583.242	411.989
1297043	723353.656	3923552.430	405.522

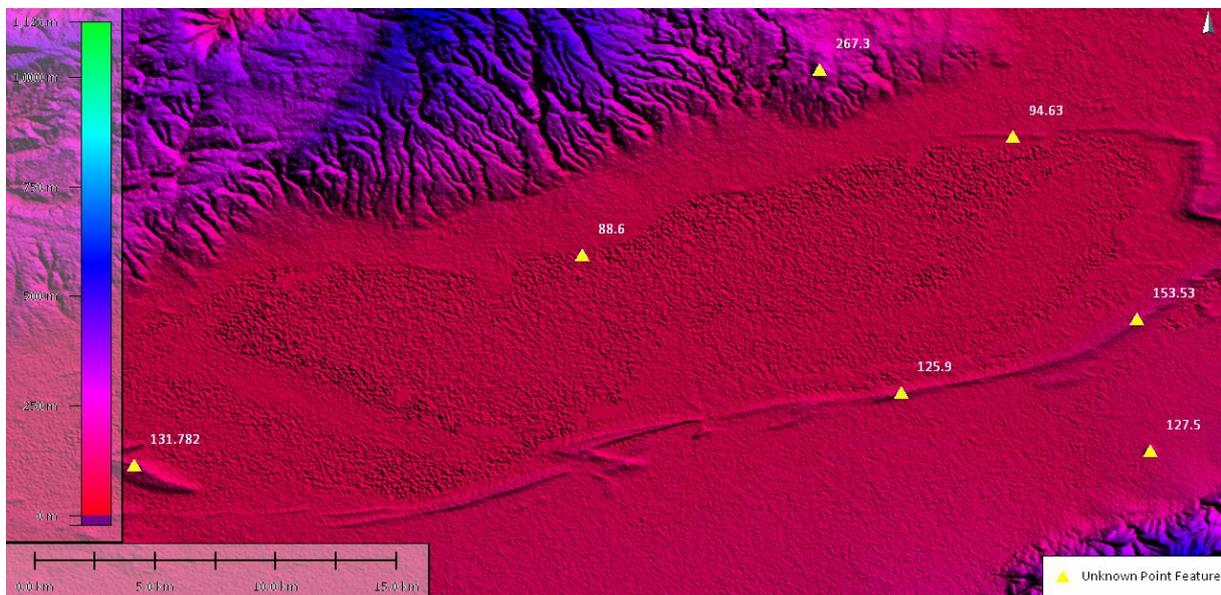
Figure IV.6 : Extrait du fichier XYZ entracte à partir du SRTM globale

## V. Mesures terrestre

Des missions topographiques sont nécessaires pour un tel projet, puisqu'ils vont nous aider à valider nos données spatiales. Par ailleurs et comme mentionné dans l'introduction de ce mémoire ; cette opération est assez difficile.

Nous avons ainsi programmé deux sorties sur terrain, l'une pour reconnaissance et l'autre pour l'élaboration des relevés topographiques.

A titre préparatoire, nous avons recueilli les coordonnées des points géodésique entourant la grande Sebka (voir figure IV.7).



**Figure IV.7 :** Points géodésiques 2eme ordre

Pour faciliter la tâche topographique nous avons choisie deux bornes géodésiques les plus proches ; soit le point 351 au niveau de Djazira d'une altitude 131.782 m et le point 003, borne géodésique existante à la bordure de la Sebka au niveau de Bouyakour (voir tableau IV.1).

**Tableau IV.1:** différence d'altitude dans les bornes géodésiques

N°	X	Y	Z	Z .SRTM	Différence
351	685007.12	3928566.21	131.782	126.782	5.000
003	699950.90	3937649.00	88.600	79.355	9.245

Nous remarquons clairement que les altitudes SRTM et ceux de la carte topographique sont différentes et non constantes.

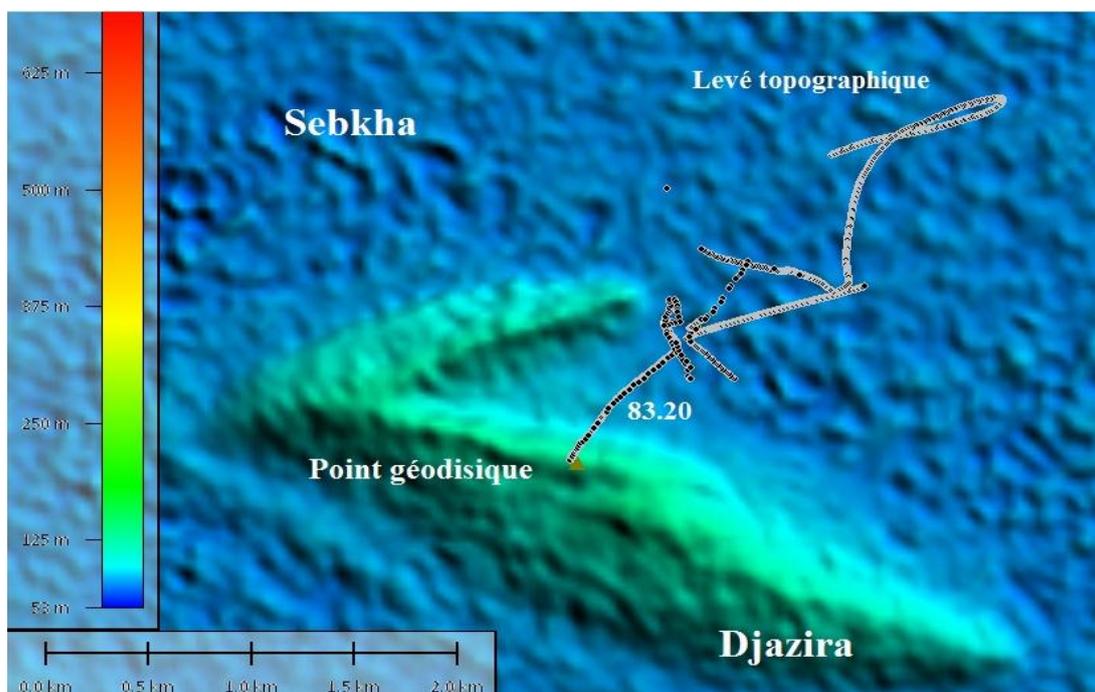
Ceci est due à l'ondulation du géoïde, qui représente la différence entre la référence altimétrique du SRTM, soit l'ellipsoïde IAGRS80 (système de référence WGS84), et la référence altimétrique de la carte d'état-major (Géoïde local), système Nord Sahara 59.

Par ailleurs, le SRTM présente deux radars, l'un d'eux à une référence géoïdale (géoïde globale ED50) et l'autre l'ellipsoïde IAGRS80.

Même dans ce cas il existe une différence entre le géoïde globale et le géoïde local, ce qui explique bien la différence d'altitude entre le SRTM et la carte sur le même point.

- **Levé topographique**

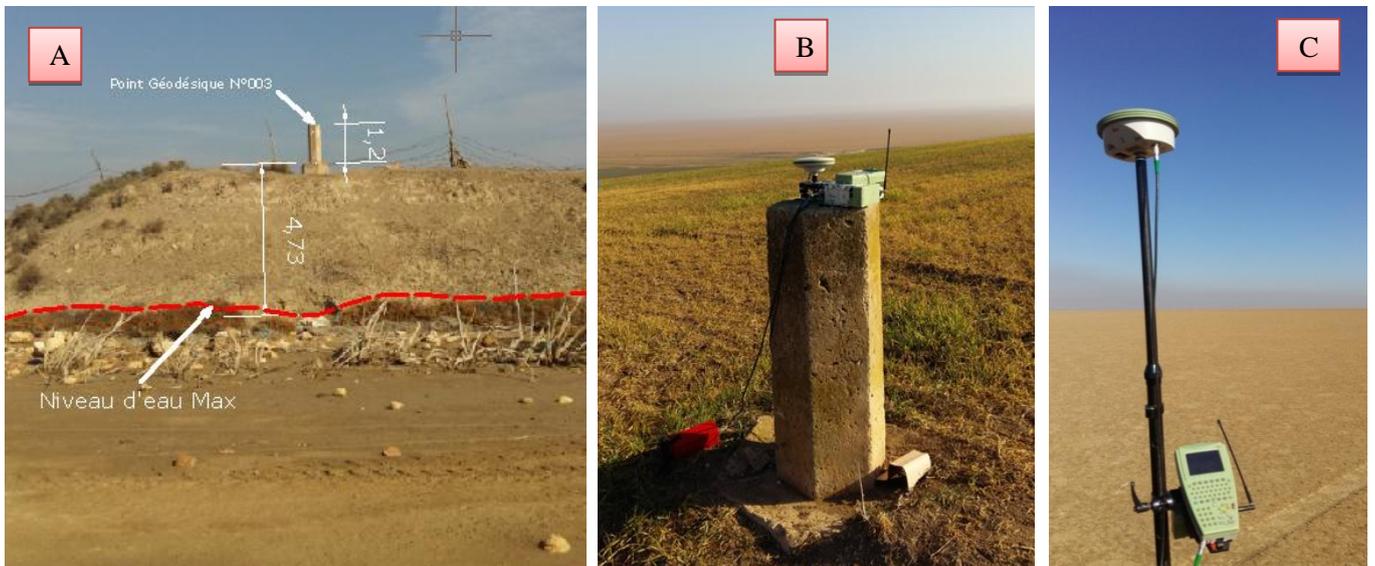
Suivant le relevé topographique effectué par GPS de précision (photo B et C) ; l'altitude de la Sebka est de 83.20m au niveau de Djazira. (Voir figure IV.8 et IV.9).



**Figure 8** : itinéraire de relevé topographique au niveau de la sebka

Pour le point 003 de Bouyakour, nous avons déterminé l'altitude de 83.40 m de la Sebka en utilisant la photo prise sur la borne (Photo A).

Ce qui implique que les mesures sur ces deux points sont identiques à quelque centimètre près. Mais ceci n'induit pas que le terrain entre ces point est plat, tout en signalons que les deux point sont distant de 17 km l'un par rapport à l'autre.



**Figure IV.9** :A. Borne géodésique de Bouyakour ; B. GPS sur le point géodésique de Djazira ; C. Récepteur GPS dans la Sebkha

Par contre sur les cartes d'état-major les incohérences de niveaux de délimitations sont remarquables, sur le côté Nord Est et Sud-Ouest il s'agit de différence de 3 à 4 m (voir les deux extraits de la carte (figure IV.10).



**Figure IV.10** : Carte d'état-major

Malheureusement, ces mesures sont trop insuffisantes pour valider les données du SRTM qui couvre un périmètre de plus de 100 km et une surface de 300 km<sup>2</sup>.

Afin de profiter de ces mesures pour des travaux ultérieurs tel que l'auscultation, des tiges en fer ont été implanté sur les endroits de mesure lors de la sortie. (Voir figure IV.11)



**Figure IV.11** : photo sur les positions des Tige témoin dans le talus de la Sebkha, coté Djazira

## VI. Etude qualitative du SRTM

L'utilisation des données SRTM offerte par la NASA est comme toutes données géo-spatiales, doivent être bien étudiées soit sur le plan de leurs méthodologie d'acquisition, ou sur le plan de traitement informatique. Ceci est nécessaire pour mettre un indice de qualité et les limites d'utilisation.

Pour notre cas ; Nous avons besoin de ces données pour l'élaboration d'une carte bathymétrique pour la grande Sebkha. Cette dernière est la base de tous nos calculs ultérieurs.

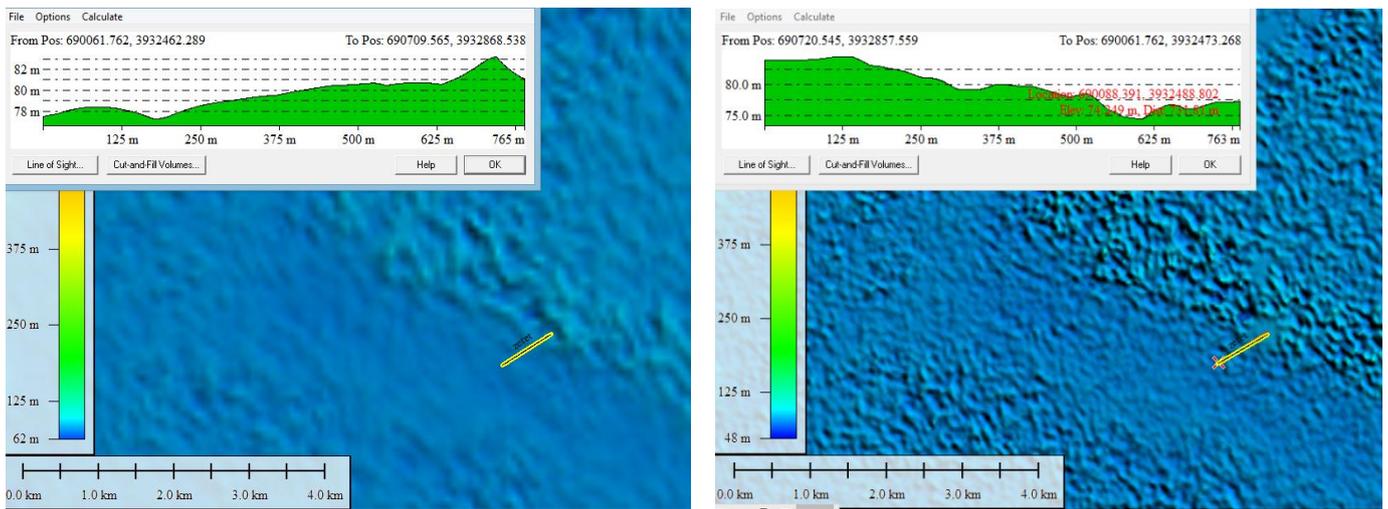
Quand on parle ainsi d'une carte ; on doit définir avec exactitude l'échelle planimétrique et altimétrique. Par conséquent ; la question qui s'impose ; comment passé d'un MNT issu d'un SRTM définit des résolutions spécifiques sur le plan équatoriale de la terre à une échelle métrique sur notre zone d'étude ?

Cette ambigüité ; a mené plusieurs chercheurs dans divers domaines à établir des études dans divers emplacement de notre planète pour faire ressortir la précision du SRTM.

Malheureusement ; et à travers notre recherches Bibliographique ; nous pouvons affirmer que le produit SRTM divert dans sa qualité d'un endroit à un autre suivant la morphologie du

Terrain (pente/azimut), la qualité et le type du sol. De ce faite nous somme obligé d'élaborer notre propre indice de qualité pour la zone d'étude.

### VI.1 Comparaison entre SRTM 30 et SRTM 90



SRTM 90

SRTM 30

Figure IV.12 : prise d'écran sur le résultat graphique (global mapper)

On remarque que le MNT sur les deux portions de la même zone se diffère,

L'aspect flou est sur le SRTM 90, ce qui représente un terrain moins accidentés par rapport au SRTM 30.

### IV.2 Comparaison par profil

Si on génère un profil en long pour le SRTM 90 et le SRTM 30 pour le même axe on aura les résultats graphiques suivant dans la figure 13 et 14 :

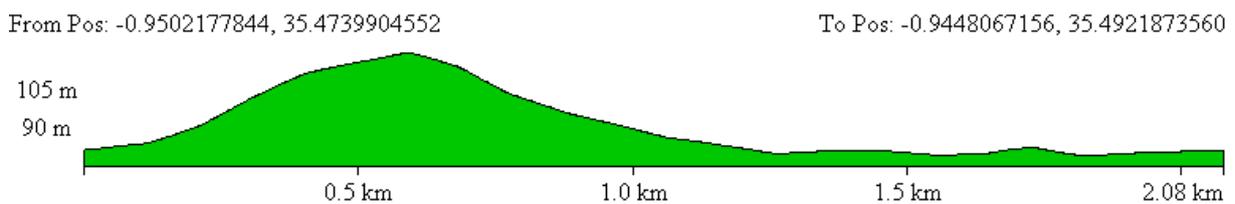
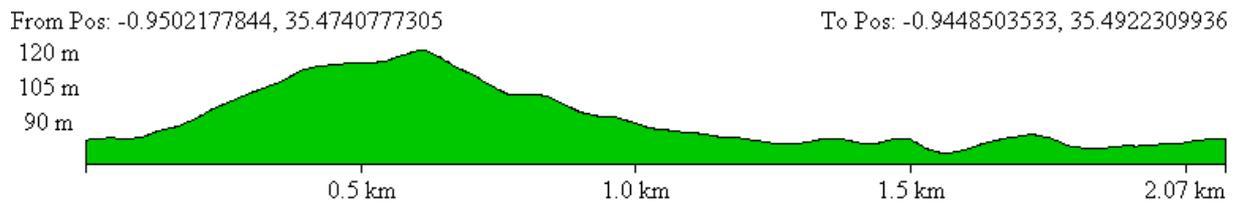


Figure IV.13 : SRTM 90 (3 seconde d'arc)

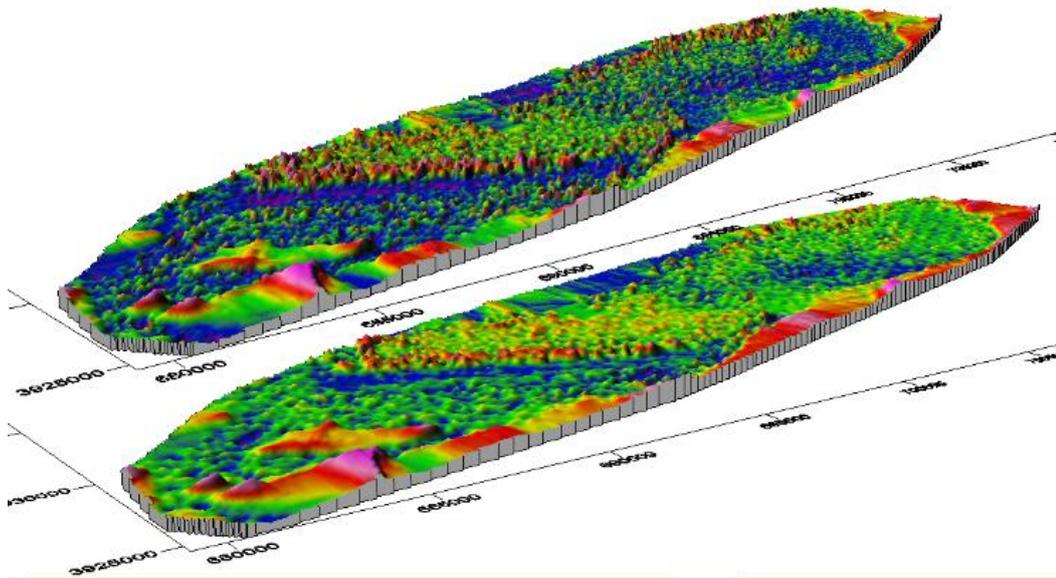


**Figure IV.14** : SRTM 30 (1 seconde d'arc)

### IV.3 Différence entre les surfaces 3D du SRTM 30 et 90

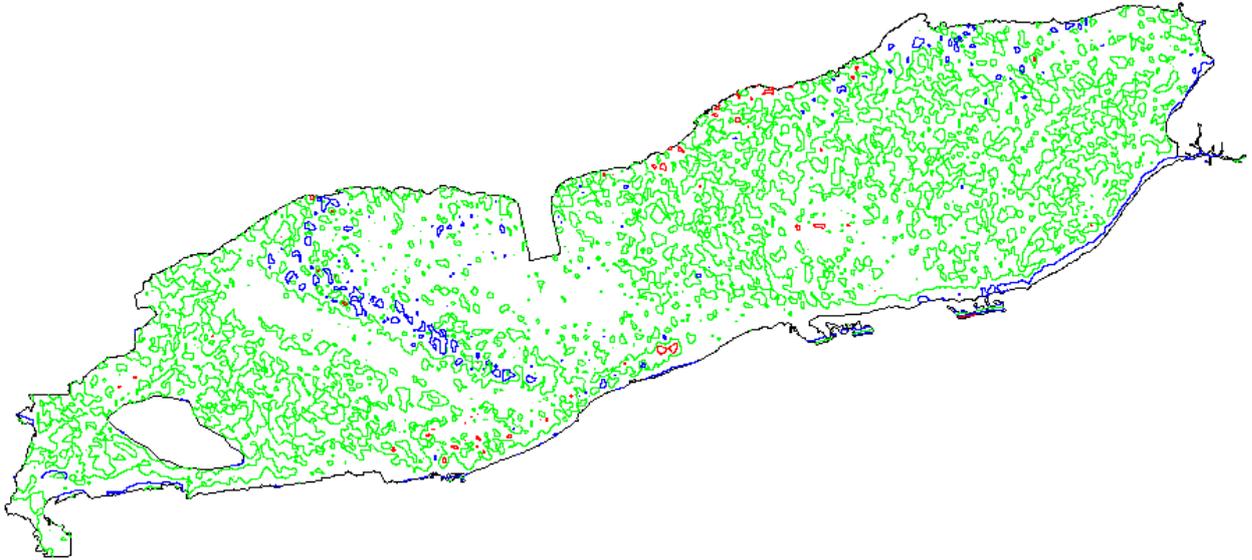
Pour calculer cette différence on doit assemble les deux MNT dans le même référentiel spatiale (planimétrie et altimétrie).

A savoir les deux surfaces générées par surfer ci-dessous (voir figure IV.15) :

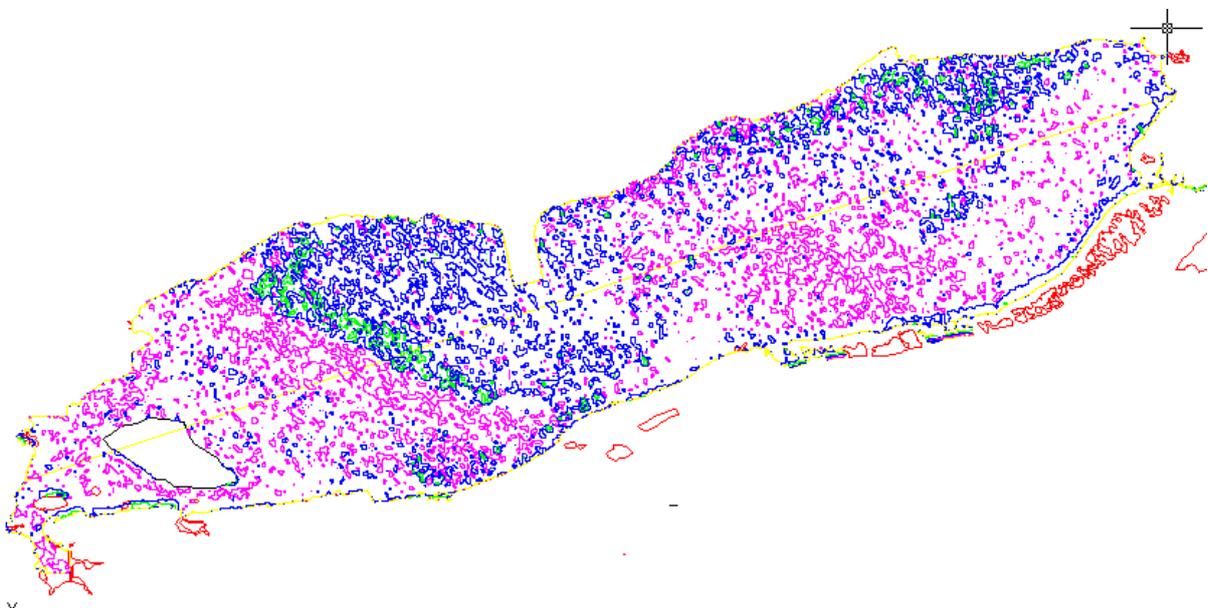


**Figure IV.15** : surface 3D du SRTM 30 et 90 de la grande sebkha d'Oran

En utilisant le logiciel Covadis, nous pouvons calculer les courbes de niveau et généré les cartes orographique par le SRTM 30 et SRTM 90 (Voir figure IV.16).

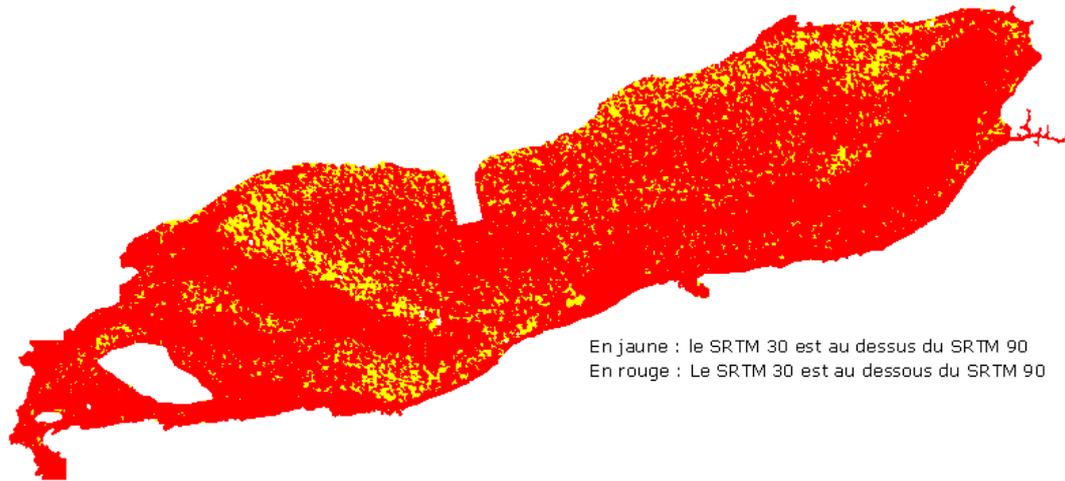


**Figure IV.16 :** Carte bathymétrique par SRTM 90



**Figure IV.17 :** Carte bathymétrique par SRTM 30

En ajustant les deux surfaces par l'option de calcul de cubature sur Covadis on aura les résultats graphiques suivant :



**Figure IV.18 :** Résultat graphique de calcul de cubature entre le SRTM 90 et SRTM 30

#### IV.4 Résultats de comparaison

Suivant le rapport de cubature, La différence entre la surface 3D du SRTM 30 et celui de 90 est de  $170503.95\text{m}^2$  ce qui représente une similitude surfacique de 99.943 % sur un zone de  $300\text{ km}^2$ .

Par ailleurs le MNT du SRTM 90 est décallé de  $-2.82\text{ m}$  en altimétrie sur le point le plus bas par rapport à  $72.704\text{ m}$ , point altimétrique enregistré sur le SRTM 30. Cette écart est légèrement proportionnelle pour le point le plus haut la zone d'étude soit  $-1.67\text{m}$ . Si cet écart est proportionnel pour tout les points altimétriques homologues des deux surface on pourra déduire que la précision altimétrique du SRTM 30 est identique du SRTM90, mais chaque point est différent de l'autre. Ces deux surface ne sont ni parallèle ni identique, les résultat graphique de calcul de cubature entre les deux surfaces 3D montrent clairement la manière dont laquelle la surface 3D du SRTM 30 survole, intersecte et se plonge au dessous du SRTM 90 d'une façon très aléatoire ( voir figure précédente) . Cette analyse est observable seulement après le déplacement du MNT du SRTM 90 de  $+2.82\text{ m}$  et ceci pour mettre les deux surface proche l'une de l'autre en altimétrie.

Le SRTM 30 présente beaucoup de variation morphologique de terrain par rapport au SRTM 90, qui présente moins de crue brutale ainsi qu'une ondulation topographique proche de la réalité vue à partir des points de mesures effectuées.

Vu les résultats discutés nous allons choisir le MNT SRTM90 comme bathymétrie de base dans la deuxième phase de calcul.

## VII. Simulation de remplissage

Nous avons envisagé de simuler le remplissage de la sebkha par les eaux pluviales afin de valider les résultats bathymétriques de ce lac.

Cette opération est effectuée par deux procédures :

- Assemblage des images multi dates de LANDSAT, ce qui représente une simulation n 2D.
- Simulation 3D par l'utilisation du logiciel Glober Mapper.

### VII.1 Simulation 2D

Objectif de la vidéo : connaître les zones les plus bas par rapport aux plus haut à travers les stagnations des eaux pluviales ainsi que la trajectoire des écoulements provenant des oueds. En plus connaître l'ordre d'évaporation qui est relative aux profondeurs des eaux (voir figure IV.19).

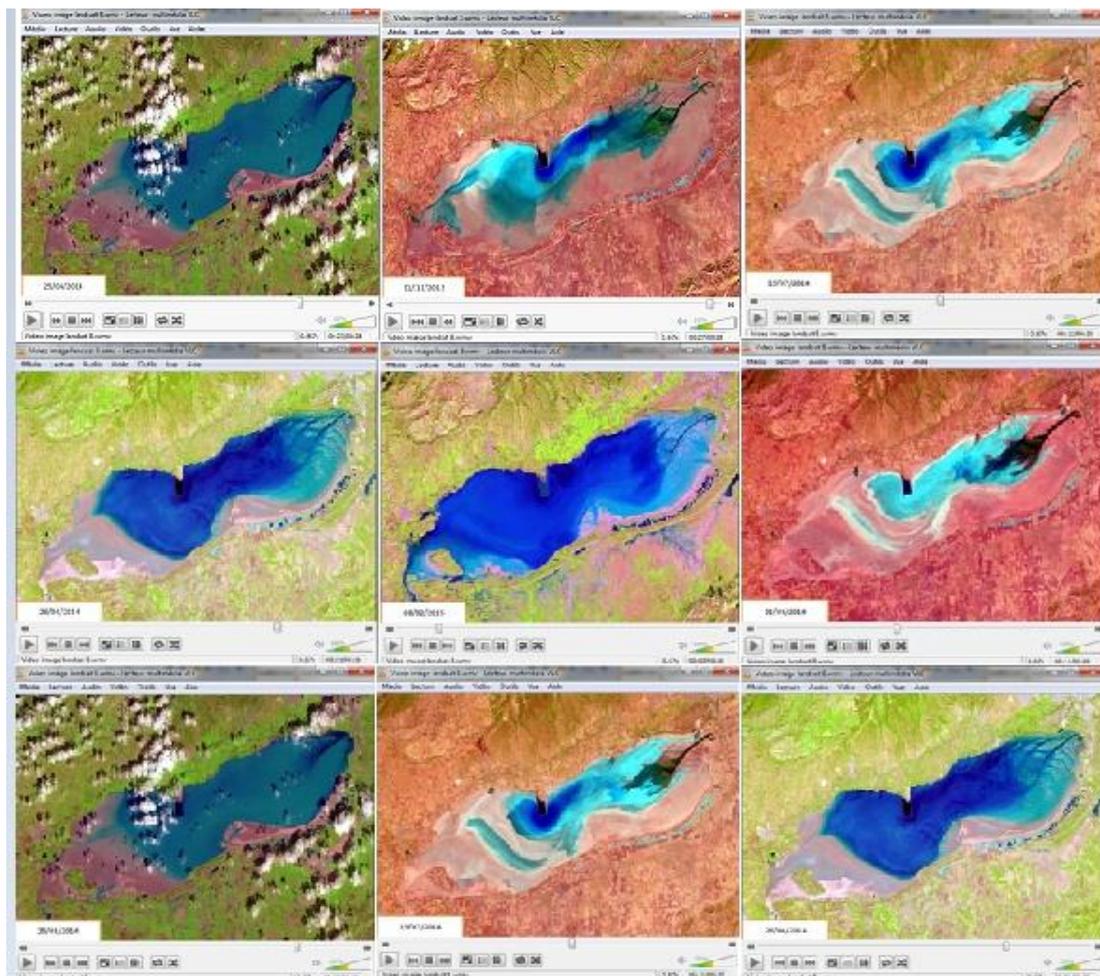


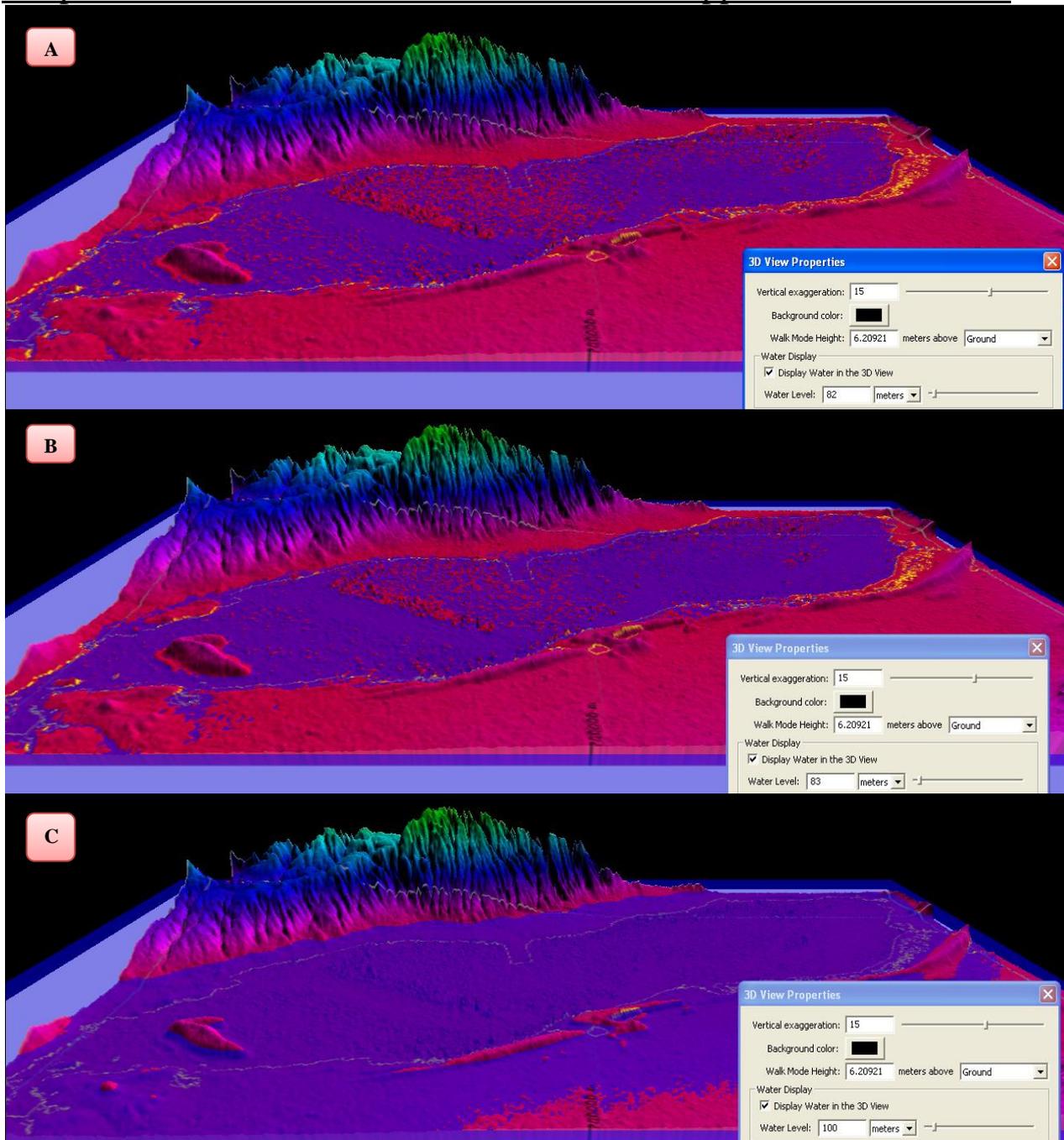
Figure IV.19 : capture sur vidéo d'assemblés des images LANDSAT

A travers cette video d'image LANDSAT (Janvier 2013 au Février 2016 ; image géoréférencié, format géo-tif), La Sebkha ne se remplit pas à 100%, c'est-à-dire suivant le périmètre déterminé par la carte d'état-major, ou par la nature du sol, ou même par tous les ouvrages et les références bibliographiques.

Donc le calcul de volume est variable suivant les limites de stagnation des eaux ; mais ceci ne peut être élaboré sauf au moment de prise de vue par le satellite LANDSAT soit chaque 17 jours (cycle de passage) ; sans oublier, les pourcentages de couverture nuageuse qui peuvent gêner l'exploitation de toutes les images en chaque cycle de passage.

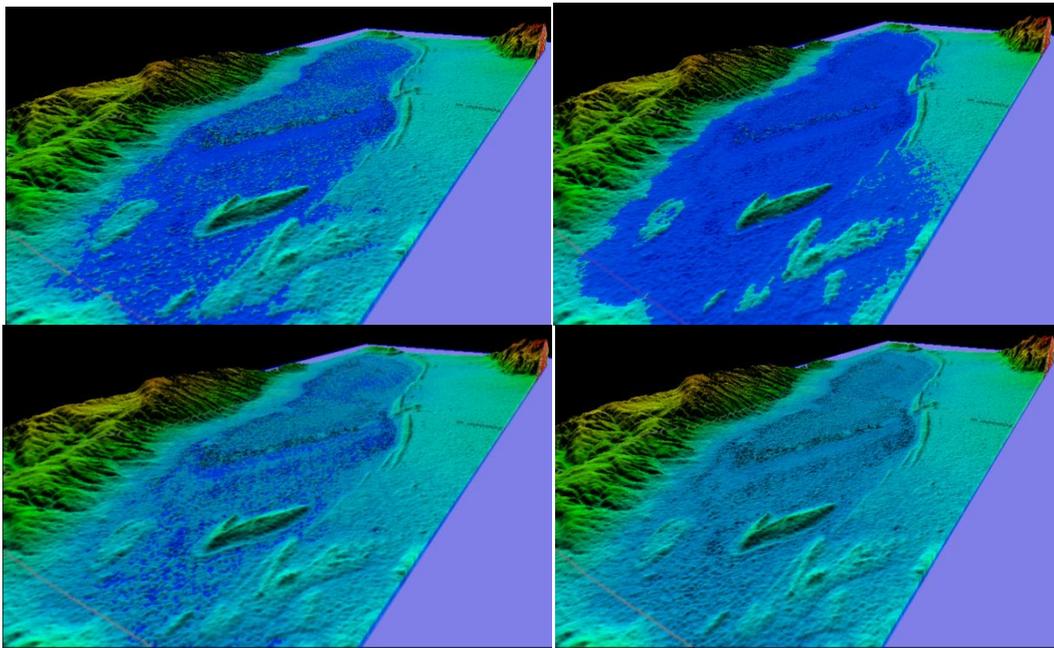
## VII.2 Simulation 3D

Cette simulation est effectuée par le logiciel Global Mapper V 13.2, (figure IV.20) on peut remarquer nettement qu'elle est tout à fait différente du processus de remplissage réel vu par les images LANDSAT multi-date. Ceci est dû au programme de simulation du logiciel qui ne prend pas en considération l'alimentation de la sebkha que par les eaux pluviales sur la surface du lac et non pas par les réseaux hydrographiques entourant, ou en d'autres termes, il ne fait qu'augmenter le niveau des mers suivant une altitude demandée.



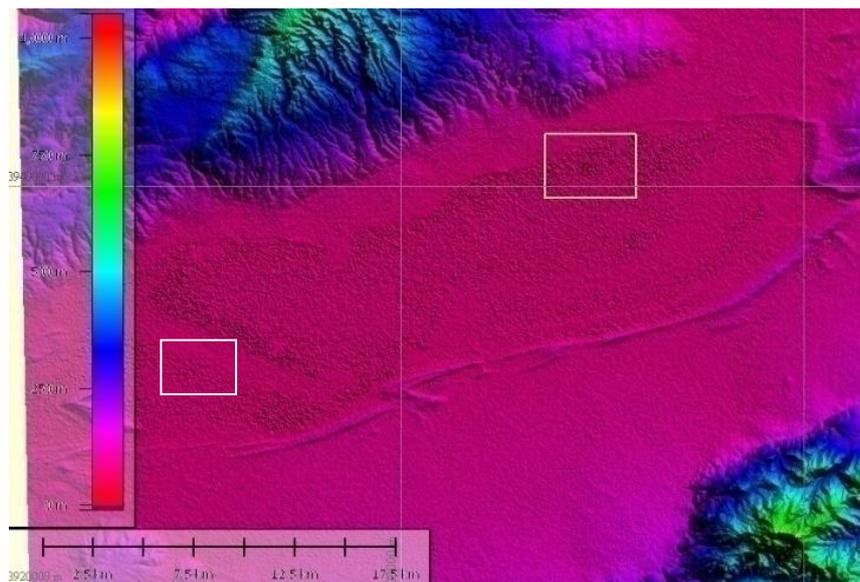
**Figure IV.20 :** simulation de remplissage avec des altitudes prédéfini (A : 82m ; B : 83m ; C : 100m) avec point de prise de vue côte sud.

En comparant les différents scénarios de remplissage nous remarquons que ce lac présente des bosses et des creux (ensemble de cuvette) au lieu d'être une cuvette ou plan a pente régulière, l'eau s'installe apparemment sur la superficie totale en même temps ; seul les points (bosse ou îles) ayant quelques centimètre ou mètre en plus ce retarde d'être couvert.



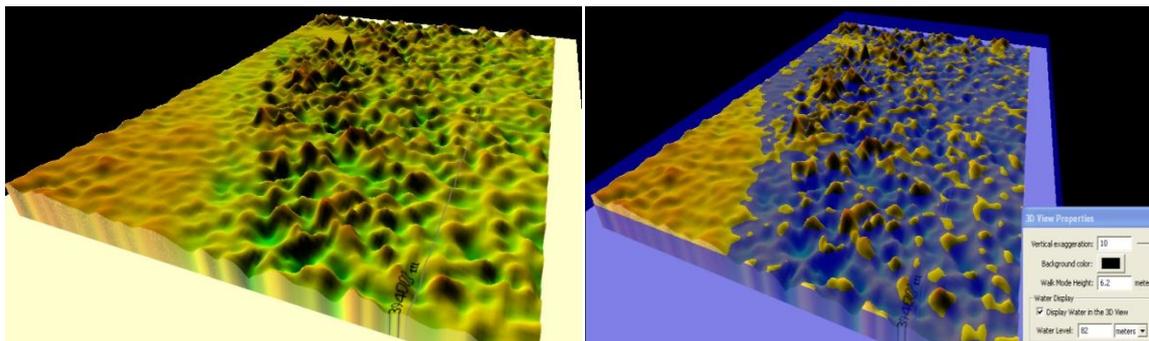
**Figure IV.21** : simulation de remplissage de la grande sebkha avec point de prise de vue côte sud-ouest

Mieux encore ; des dizaines de bosse de dénivelé variant entre 0 a10 m, ne sont jamais couverte par l'eau. C'est à dire que la bathymétrie du lac est assez compliqué, elle représente des déformations et une morphologie de terrain peu accidenté ; et cette surface change dans le temps avec les accumulations des alluvions des oueds alimentant ce lac. Pour voir le phénomène à grande échelle nous avons découpé le MNT sur deux zones test (voir figure IV.22).

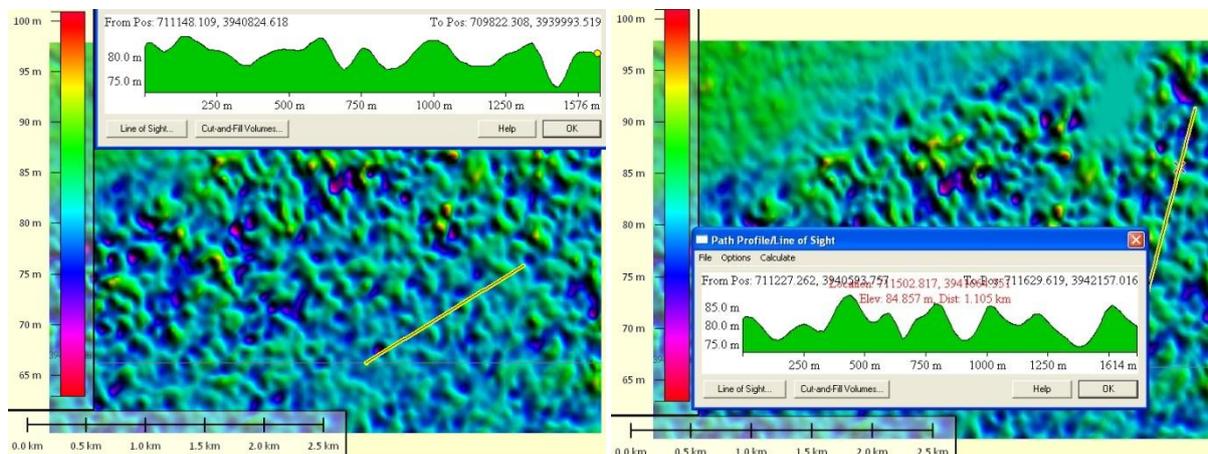


**Figure IV.22** : découpage des MNT sue deux zones test dans deux zones différentes

Par conséquent, ce lac peut quasiment être immergé par l'eau avec des niveaux altérés de celui-ci. Il ne s'agit pas donc de calculer le volume d'eau entre le MNT bathymétrique et un plan horizontale, qui représente le niveau d'eau en repos pour une altitude maximale enregistré sur la délimitation de la sebkha ; Mais de calculer le volume par rapporta un MNT qu'on doit définir et générer par des parcelles de plan horizontaux respectant les différents critères ; à savoir, les limites exactes de la sebkha avec leurs altitudes correspondantes, influence de la courbure terrestre et la géométrie de bosses et de creux (voir figure 23 et 24).



**Figure IV.23 :** Simulation de remplissage sur la zone test nord est



**Figure IV.24 :** axe de profil de simulation sur la zone teste Nord Est

Si on simule le niveau d'eau à 110m, le niveau le plus haut enregistré dans le côté Sud Est du lac, des centaines d'hectare voir les villages mitoyens seront inondés par l'eau hors du vrai périmètre de la grande sebkha ! si on fait l'inverse c'est à dire. 71 m le point le plus bas enregistré dans le coté nord Est, la majorité de la sebkha ne sera couverte par l'eau ! Mais la problématique ne cesse de s'accroître, les limites de la sebkha ne sont matérialisées par des barrières géographiques tels que des talus ou des crêtes ou même par un changement brutale

en altimétrie, sauf dans le coté Sud-est, zone déjà présenté dans le paragraphe précédant le reste des 100 km linéaire de périmètre peuvent être excédé et dépassé sans aucune contrainte

altimétrique, pourtant suivant l’archive du serveur d’imagerie satellitaire, le périmètre maximale est bien stable (voir figure IV.25).

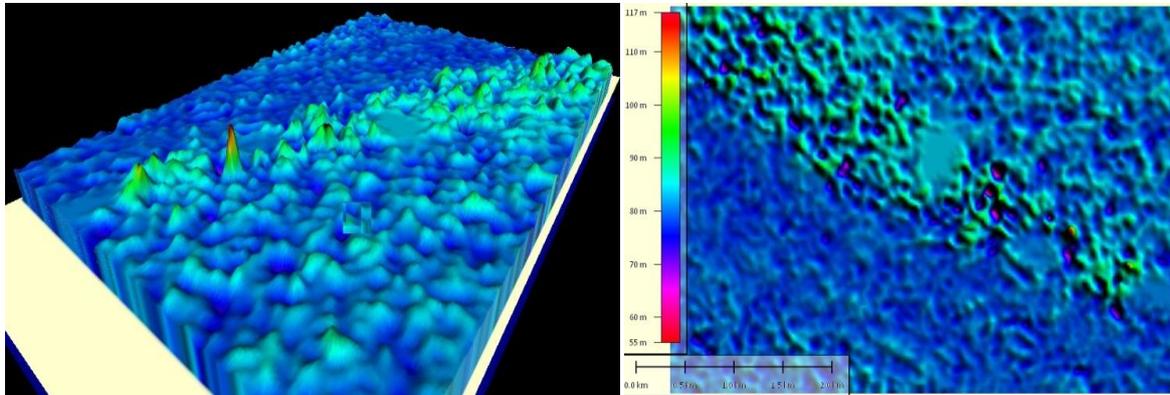


Figure IV.25 : simulation de remplissage sur la zone test sud-est

Si ce périmètre représente les mêmes altitudes, le problème volumique de l’eau sera résolu facilement par calcul d’un MNT par rapport à un plan horizontal comme déjà expliqué ci-dessus.

Ceci renforce notre constat sur la variation du niveau de la surface d’eau à l’échelle géométrique de la sebkha (voir figure IV.26).

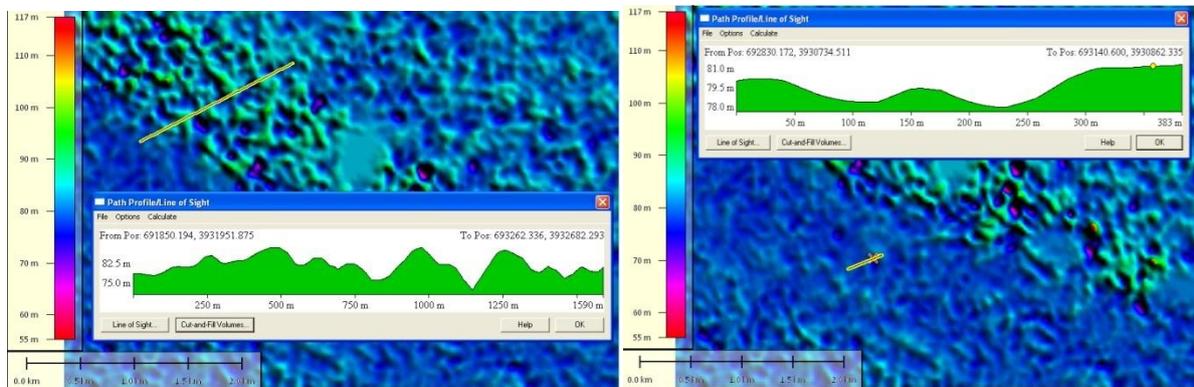


Figure IV.26 : axe de profil de simulation sur la zone teste Sud Est

## VIII. Résultat récapitulatif

Suivant les simulations et les calculs effectués sur plusieurs niveaux (voir tableau IV.1 et annexe pour plus de détails) on a pu déduire ces résultats :

**Tableau IV.1:** Résultat de calcul de volume

Altitude SRTM	Volume d'eau
83 m avec terrain plat et 10 cm de remplissage	30 000 000 m <sup>3</sup>
83 m avec terrain plat et 1 m de remplissage	300 000 000 m <sup>3</sup>
90 m	2 232 967 895.458 m <sup>3</sup>
95 m	3 800 766 173.123 m <sup>3</sup>
106	7 149 857 978.595 m <sup>3</sup>
109	7 932 053 766.942 m <sup>3</sup>

Pour combiner les mesures topographiques et les observations de terrain, nous avons simulé à titre indicatif la Sebka comme étant un terrain extrêmement plat avec Altitude de 83m. Ce qui nous donne à travers le calcul de cubature sur Covadis 30 million m<sup>3</sup> pour un remplissage de 10 cm homogènement répartie de la totalité de la Sebka.

Nous avons choisie d'ajouter 1m à cette valeur (1 m de remplissage) selon les hauteurs de talus observés au niveau des mesures topographiques, donc le volume sera de l'ordre de 300 million m<sup>3</sup>.

Soit à 10 ou 1 m nous pouvons dire que ces quantités sont assez considérables et non exagérés par rapport à la simulation faite sur les altitudes déduit par SRTM de 90 à 109 m.

# Conclusion Générale

## Conclusion Générale

Afin de conclure ce travail, nous devons revenir aux points de notre mémoire, il s'agit de soulever certaines problématiques dans le but de fournir un volume d'eau du grand lac « La sebkha d'Oran ».

En effet, le chapitre III intitulé SRTM, n'est qu'une présentation du système de mesure altimétrique utilisé par la navette spatiale Endouwer ; nous avons découvert que le couple de radar embarqué sur ce vecteur est assez compliqué que l'on croyait. Soit au niveau d'instrumentations spatiales ou dans le produit final, le Modèle numérique de terrain qui doit être étudié par soin pour faire ressortir sa qualité d'exactitude et de précision.

En effet la référence altimétrique utilisée par un des radars (en Bande X) est le modèle mathématique de la terre (Ellipsoïde WGS84) par ailleurs le deuxième radar installé à 60m sur le Mat de la navette utilise la bande C et le modèle physique de la terre (le géoïde ED50), ces deux produits sont fusionnés par interférométrie pour nous fournir le MNT appelé SRTM 30 ou 90.

Tous ces détails techniques sont abordés dans le troisième chapitre afin de justifier l'étude de qualité détaillée dans le dernier chapitre.

Après analyse approfondie nous avons conclu ce point par un point inattendu, le MNT avec la résolution de 90 m est mieux adapté que celui issu de la résolution 30 m dans notre zone bien entendue.

Malgré cette déduction, le deuxième point de la problématique mentionné dans notre introduction, représentait pour nous un déficit incontournable. La date de prise de mesure altimétrique au niveau de la sebkha par la navette était entre le 11 et le 21 février 2000. La Sebkha était à moitié pleine ce qui pose le problème d'hétérogénéité de son sol et en conséquence l'hétérogénéité de la réaction des ondes en bande X ou C avec ce type de sol, Autrement dit l'altération altimétrique résultante.

Donc même le MNT du SRTM 90 m nous pose des problèmes de qualité de la carte bathymétrique.

Les opérations topographiques programmées en décembre 2015 ; devraient soulever cette problématique, nous avons confirmé la complexité de terrain étudié. En effet cette opération a fait valider ces dites.

Cette complexité à plusieurs volets, nous a conduit à générer des modèles de remplissage par traitement informatique basé sur les MNT discutés ci-dessus. Et d'élaborer une vidéo de la Sebkhha vue par LANDSAT 8 pour 03 ans avec un intervalle minimum de 17 jours.

Nous avons conclu que son remplissage est assez différent d'un terrain assez réduit en superficie ou un barrage d'eau. En plus nous avons constaté qu'elle n'est jamais remplie à 100 % par rapport aux limites déterminées.

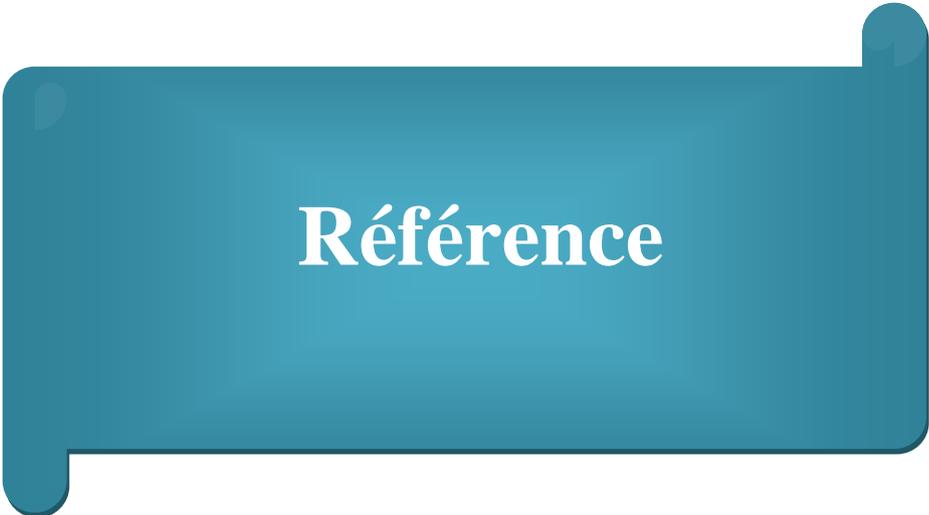
Tous ces traitements et ces conclusions nous ont permis en parallèle de calculer des volumes d'eau pour des niveaux altimétriques allant de 82 m à 109 m. et les chiffres mentionnés dans le tableau VIII.1, offre une nouvelle vue de ce lac. Qui peut contenir presque la totalité des eaux de tous les barrages en Algérie suivant le modèle SRTM 30. Et même la station de dessalement la plus grande en Algérie (celle de Mactaa ) lui faudra au moins 1 mois pour remplir 1 m de la grand sebkhha d'Oran.

Mieux encore 10 cm d'eau de la grand sebkhha d'Oran pourra remplir le barrage de beni behdal.

Malheureusement, et à travers ces chiffres attirants ; la grande sebkhha d'Oran, est rien qu'un bon coin pour les décharges publiques actuellement, soit des décharges solides ou liquides. Nous confirmons à travers nos sorties sur terrain qu'aucune réaction de protection n'est prise dans ce sens.

Enfin, nous jugeons que ce travail pourra servir pour les perspectives suivantes :

- Détermination d'une carte bathymétrique plus précise par l'utilisation d'autre type d'imagerie radar ou par d'autres technologies terrestres telles que les drones, la lasergrammétrie, le lidar ...etc
- Etude de drainage pour les eaux de la Sebkhha
- Etude de réaction des bandes X et C avec les eaux
- Etude de qualité des sols au niveau de la Sebkhha
- Rapport écologique de la Sebkhha
- Etudes de la pollution des eaux pluviales par les rejets d'eaux usées dans la sebkhha par voie spatiales
- Surveillance géodésique de l'élargissement de la Sebkhha
- Etude de la dynamique géométrique de la sebkhha, planimétrie et/ Altimétrique

A teal-colored callout box with rounded corners and a drop shadow, containing the word 'Référence' in white serif font.

**Référence**



- [1] : **MOUSSA, Kacem.***Etude d'une Sebkhha : la sebkhha d'Oran (ouest Algérien)*, thèse sciences de la terre de géographie et d'aménagement du territoire, Oran : Université d'Oran, 2006, 205 p.
- [2] : **MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DU DEVELOPPEMENT RURAL**, fiche descriptive RAMSAR sur les zones humides, *Sebkhha d'Oran 23.000 hectares*, 28 Janvier 2001, disponible sur format PDF.
- [3] : **Sogreah.***Étude d'aménagement intègre de la grande sebkhha d'Oran. Mission 4. Analyse des différents scenarios d'aménagements et choix d'une stratégie d'aménagement.* Ministère des Ressources en Eau. Algérie **2004, 117 p.**
- [4] : **HASSANI, Moulay Idriss.** *Hydrogéologie d'un bassin endoréique semi-aride (le bassin de la grande sebkhha d'Oran)*, thèse Géologie appliquée de doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle, Grenoble : université de Grenoble, 28/10/1987, 304 p.
- [5] : **BENZIANE, Ahmed.** Problèmes géologiques et hydrogéologique de la Sebkhha d'Oran, Université d'Oran, 1983.
- [6] : **BARKAT, Saïd.** *ATLAS des zones humides Algériennes d'importance internationale*, Editeur : direction générale des forets, 2004, 107 p.
- [7] : **SOLETANCHE.** La grande sebkhha d'Oran : géologie et hydrogéologie.*Entreprise de fondation hydrauliques et travaux*, Paris et Alger, 1950.
- [8] : **OUTTARA, ZanaInzan.***Suivi par télédétection de l'évolution des formations végétales et du stock de carbone*, mémoire diplôme d'agronomie approfondie option eau et foret, Yamoussoukro (Cote d'Ivoire) : institut Félix Houphouët-Boigny, 2012
- [9] : **La trousse de sensibilisation à l'environnement du Nil.** *Les technologies d'observation de la terre, télédétection passive ou active.*
- [10] : **Ressources naturelles Canada.** *Géométrie de visée et résolution spatiale*, modifié le 29/02/2016, disponible sur : <<http://www.rncan.gc.ca/accueil> >.
- [11] : **WOLF, Christan** éditeur et **VAILLANT, Pierre** traducteur en langue française, *Radartutorial.eu histoire du radar*, 2011, disponible sur : <<http://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab07.fr.html>>.
- [12] : **Théorie radar, in WIKIPEDIA.** *Caractéristiques du signal radar.* Modifier le Mars 2016, Diponible sur : [https://fr.wikipedia.org/wiki/caract%C3%A9ristiques\\_du\\_signal\\_radar](https://fr.wikipedia.org/wiki/caract%C3%A9ristiques_du_signal_radar)>

- [13] : **AIRBUS DEFENCE & SPACE**. L'interférométrie radar a synthèse d'ouverture, 2015, disponible sur : <http://www.space-airbusds.com/fr/actualites/interferometrie-radar-a-synthese-d-ouverture.html>.
- [14] : **WILEY, John and sons, Inc.** *AGU.Publications*. 1999-2016. Disponible sur : <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2005RG000183/full>.
- [15] : **RAMIREZ, Eric, NASA/JPL**. *From space parts to new mission*. Modifié en 2016. Disponible sur : <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/spareparts.html>
- [16] : **RAMIREZ, Eric, NASA/JPL**. *Instrument Interferometry*. Modifié en 2016. Disponible sur : <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/instrumentinterferometry.html>
- [17] : **RAMIREZ, Eric, NASA/JPL**. *Radar system overview*. Modifié en 2016. Disponible sur : <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/radaroverview.html>.
- [18] : **RAMIREZ, Eric, NASA/JPL**. *Instrument*. Modifié en 2016. Disponible sur : <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/mainantenna.html>.
- [19] : **RAMIREZ, Eric, NASA/JPL**. *Mast*. Modifié en 2016. Disponible sur : <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/mast.html>.
- [20] : **Cartographie, in WIKIPEDIA**. *Shuttle Radar Topography Mission*, Modifier le 2016, Disponible sur : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Shuttle\\_Radar\\_Topography\\_Mission](http://fr.wikipedia.org/wiki/Shuttle_Radar_Topography_Mission).

# Annexes

**CALCUL DE CUBATURES ENTRE DEUX MODELES NUMERIQUES DE TERRAIN**

cubature avec MNT90 déplacé de +2.82m

Nom du dessin : cubature 30-90  
 Ecriture du listing le 02/03/2016 à 21:35:46  
 Opération effectuée : calcul brut

**Caractéristiques des modèles numériques**

Calque MNT1	MNSEbkhatotal5
Calque MNT2	Mnt_90

	MNT 1	MNT 2
Nombre de faces	65301	68309
Altitude mini	72.704 m	72.701 m
Altitude maxi	99.065 m	100.212 m
Surface totale 2D	299652959.42 m <sup>2</sup>	300142619.88 m <sup>2</sup>
Surface totale 3D	299886914.78 m <sup>2</sup>	300207059.11 m <sup>2</sup>
Surface utile 2D	299637225.48 m <sup>2</sup>	299637225.48 m <sup>2</sup>
Surface utile 3D	299871174.01 m <sup>2</sup>	299700670.06 m <sup>2</sup>

**Résultats du calcul de cubatures MNT1 → MNT2**

Surfaces 2D	
Avec déblai :	74150675.31 m <sup>2</sup>
Avec remblai :	225486550.17 m <sup>2</sup>
Sans écart :	0.00 m <sup>2</sup>
Total :	299637225.48 m <sup>2</sup>

Volumes	
Déblai :	89939202.934 m <sup>3</sup>
Remblai :	284002300.622 m <sup>3</sup>
Total :	373941503.556 m <sup>3</sup>

Surfaces 3D	
Avec déblai :	74258274.88 m <sup>2</sup>
Avec remblai :	225612899.14 m <sup>2</sup>
Sans écart :	0.00 m <sup>2</sup>
Total :	299871174.01 m <sup>2</sup>

Vol. corrigés	
Déblai :	92187683.008 m <sup>3</sup>
Remblai :	284002300.622 m <sup>3</sup>
Total :	376189983.629 m <sup>3</sup>

**CALCUL DE CUBATURES ENTRE DEUX MODELES NUMERIQUES DE TERRAIN**

Comparaison SRTM 90 m et SRTM 30 m sur la grande Sebka d'Oran

Nom du dessin : MNT SRTM30 sans erreurs  
 Ecriture du listing le 01/03/2016 à 20:52:26  
 Opération effectuée : calcul brut

**Caractéristiques des modèles numériques**

Calque MNT1	MNT 30
Calque MNT2	Mnt 90

	MNT 30	MNT 90
Nombre de faces	65301	68309
Altitude mini	72.704 m	69.881 m
Altitude maxi	99.065 m	97.392 m
Surface totale 2D	299652959.42 m <sup>2</sup>	300142619.88 m <sup>2</sup>
Surface totale 3D	299886914.78 m <sup>2</sup>	300207059.11 m <sup>2</sup>
Surface utile 2D	299637225.48 m <sup>2</sup>	299637225.48 m <sup>2</sup>
Surface utile 3D	299871174.01 m <sup>2</sup>	299700670.06 m <sup>2</sup>

69503.95

**Résultats du calcul de cubatures MNT30 → MNT90**

Surfaces 2D	
Avec déblai :	295697254.53 m <sup>2</sup>
Avec remblai :	3939970.95 m <sup>2</sup>
Sans écart :	0.00 m <sup>2</sup>
Total :	299637225.48 m <sup>2</sup>

Volumes	
Déblai (jaune) :	653731248.469 m <sup>3</sup>
Remblai (rouge) :	2817370.305 m <sup>3</sup>
Total :	656548618.774 m <sup>3</sup>

Surfaces 3D	
Avec déblai :	295926642.13 m <sup>2</sup>
Avec remblai :	3944531.88 m <sup>2</sup>
Sans écart :	0.00 m <sup>2</sup>
Total :	299871174.01 m <sup>2</sup>

Vol. corrigés	
Déblai :	670074529.681 m <sup>3</sup>
Remblai :	2817370.305 m <sup>3</sup>
Total :	672891899.985 m <sup>3</sup>

<b>Data Set Attribute</b>	<b>Attribute Value</b>
<a href="#">Landsat Scene Identifier</a>	LC81980352014324LGN00
<a href="#">WRS Path</a>	198
<a href="#">WRS Row</a>	035
<a href="#">Target WRS Path</a>	198
<a href="#">Target WRS Row</a>	035
<a href="#">Full or Partial Scene</a>	FULL
<a href="#">Nadir/Off Nadir</a>	NADIR
<a href="#">Data Category</a>	NOMINAL
<a href="#">Bias Parameter File Name OLI</a>	LO8BPF20141120102926_20141120111402.01
<a href="#">Bias Parameter File Name TIRS</a>	LT8BPF20141120102532_20141120111455.01
<a href="#">Calibration Parameter File</a>	L8CPF20141001_20141231.01
<a href="#">RLUT File Name</a>	L8RLUT20130211_20431231v09.h5
<a href="#">Roll Angle</a>	-.001
<a href="#">Station Identifier</a>	LGN
<a href="#">Day/Night</a>	DAY
<a href="#">Data Type Level 1</a>	L1T
<a href="#">Sensor Identifier</a>	OLI_TIRS
<a href="#">Date Acquired</a>	2014/11/20
<a href="#">Start Time</a>	2014:324:10:38:07.5224690

**MNT - STATISTIQUES DU CHARGEMENT ET DU CALCUL**

Nom du fichier dessin : F:\DATA\plan SEBKHA\mnt SRTM90  
Listing effectué le : 20/02/2016 à 16:59:32

Points chargés : oui	
Provenance des points	Base graphique AutoCAD
	Points de type topographiques et AutoCAD
	dans le(s) calque(s) TOPOJIS
Filtre altimétrique	
Points d'altitude nulle	Ignorés
Elimination des points doubles	Tolérance : 0.001
	Mode automatique (indifférent)
	Avec création d'un cercle d'erreur

Récapitulatif du chargement	
Nombre de points lus	41007
Nombre de points lus à Z = 0	0
Nombre de points doubles	0
Nombre de points conservés après filtrage	41007
Nombre de points et sommets utilisables	41007
Distance moyenne entre points	142.384 m
Coordonnées minimales	678458.013 3923995.948 m
Coordonnées maximales	720658.013 3943695.948 m
Altitude minimale	69.334 m
Altitude maximale	170.252 m

Périmètre calculé : oui	
Paramètre de hauteur	0.00001
Paramètre de longueur	284.768
Nombre de côtés	1025
Nombre de faces prévues	80987
Périmètre dessiné : oui	
	Dans le calque TN MNTGLOBAL

Faces calculées : oui	
	80987 faces calculées
	80987 faces activées
Aire 2D	406285000.000 m <sup>2</sup>
Aire 3D	406407183.382 m <sup>2</sup>
Faces dessinés : oui	
	Dans le calque TN MNTGLOBALE
Echelle de dessin	1.000
Dimensions minimales	678458.01 3923995.95
Dimensions maximales	720658.01 3943695.95
Altitude minimale	69.334 m
Altitude maximale	170.252 m

**MNT - STATISTIQUES DU CHARGEMENT ET DU CALCUL**

Nom du fichier dessin : F:\DATA\plan SEBKHA\plan SEBKHA MNT sans iles  
Listing effectué le : 17/02/2016 à 20:40:34

Points chargés : oui	
Provenance des points	Base graphique AutoCAD
	Points de type topographiques et AutoCAD
	dans le(s) calque(s) plan_eau
Filtre altimétrique	> 82.500 m et < 83.500 m
Points d'altitude nulle	Ignorés
Elimination des points doubles	Tolérance : 0.001
	Mode automatique (indifférent)
	Avec création d'un cercle d'erreur

Récapitulatif du chargement	
Nombre de points lus	4845
Nombre de points lus à Z = 0	0
Nombre de points doubles	0
Nombre de points conservés après filtrage	681
Nombre de points et sommets utilisables	681
Distance moyenne entre points	1042.253 m
Coordonnées minimales	679256.122 3924639.872 m
Coordonnées maximales	719310.219 3943109.008 m
Altitude minimale	82.503 m
Altitude maximale	83.499 m

Périmètre calculé : oui	
Paramètre de hauteur	0.00001
Paramètre de longueur	2084.506
Nombre de côtés	55
Nombre de faces prévues	1305
Périmètre dessiné : oui	
	Dans le calque TN MNT85-83

Faces calculées : oui	
	1305 faces calculées
	1305 faces activées
Aire 2D	223539440.263 m <sup>2</sup>
Aire 3D	223542246.820 m <sup>2</sup>
Faces dessinés : oui	
	Dans le calque TN MNT82-83
Echelle de dessin	1.000
Dimensions minimales	679256.12 3924639.87
Dimensions maximales	719310.22 3943109.01
Altitude minimale	82.503 m
Altitude maximale	83.499 m

**CALCUL DE CUBATURES ENTRE UN MODELE NUMERIQUE ET UN PLAN HORIZONTAL**

Calcul volume eau

Nom du dessin : plan SEBKHA MNT  
 Ecriture du listing le 25/11/2015 à 09:52:02

Caractéristiques du modèle numérique

Calque	MNSebkhatotal5
Nombre de faces	66045
Altitude mini	68.431 m
Altitude maxi	113.677 m
Surface totale 2D	300866297.12 m <sup>2</sup>
Surface totale 3D	301108609.04 m <sup>2</sup>

Résultat du calcul de cubatures avec un plan horizontal à 109.000 m

Surfaces 2D	
En-dessous du plan	: 300858995.31 m <sup>2</sup>
Au-dessus du plan	: 7301.81 m <sup>2</sup>
Sans écart	: 0.00 m <sup>2</sup>
Total	: 300866297.12 m <sup>2</sup>

Volumes	
En-dessous du plan	: 7932044862.13 m <sup>3</sup>
Au-dessus du plan	: 8904.806 m <sup>3</sup>
Total	: 7932053766.94 m <sup>3</sup>

Surfaces 3D	
En-dessous du plan	: 301101247.36 m <sup>2</sup>
Au-dessus du plan	: 7361.68 m <sup>2</sup>
Sans écart	: 0.00 m <sup>2</sup>
Total	: 301108609.04 m <sup>2</sup>

**MNT - STATISTIQUES DU CHARGEMENT ET DU CALCUL**

Nom du fichier dessin : F:\DATA\plan SEBKHA\plan SEBKHA MNT50 m  
Listing effectué le : 03/12/2015 à 21:33:43

Points chargés : oui	
Provenance des points	Base graphique AutoCAD
	Points de type topographiques
	dans le(s) calque(s) TOPOJIS
Filtre altimétrique	> 65.000 m et < 115.000 m
Points d'altitude nulle	Ignorés
Elimination des points doubles	Tolérance : 0.001
	Mode automatique (indifférent)
	Avec création d'un cercle d'erreur

Récapitulatif du chargement	
Nombre de points lus	331495
Nombre de points lus à Z = 0	0
Nombre de points doubles	0
Nombre de points conservés après filtrage	260736
Nombre de points et sommets utilisables	260736
Distance moyenne entre points	56.273 m
Coordonnées minimales	678930.272 3923730.849 m
Coordonnées maximales	720630.272 3943530.849 m
Altitude minimale	65.059 m
Altitude maximale	115.000 m

Périmètre calculé : oui	
Paramètre de hauteur	0.00001
Paramètre de longueur	112.546
Nombre de côtés	1548
Nombre de faces prévues	519922
Périmètre dessiné : oui	
	Dans le calque TN MNT global

Faces calculées : oui	
	519922 faces calculées
	519922 faces activées
Aire 2D	654066250.000 m <sup>2</sup>
Aire 3D	654892565.414 m <sup>2</sup>
Faces dessinés : oui	
	Dans le calque TN MNTd
Echelle de dessin	1.000
Dimensions minimales	678930.27 3923730.85
Dimensions maximales	720630.27 3943530.85
Altitude minimale	65.059 m
Altitude maximale	115.000 m

**CALCUL DE CUBATURES ENTRE UN MODELE NUMERIQUE ET UN PLAN HORIZONTAL**

Calcul volume eau

Nom du dessin : plan\_eau\_ExportCAD  
 Ecriture du listing le 24/11/2015 à 20:24:04

Caractéristiques du modèle numérique

Calque	MNSEbkhatotal5
Nombre de faces	66045
Altitude mini	68.431 m
Altitude maxi	113.677 m
Surface totale 2D	300866297.12 m <sup>2</sup>
Surface totale 3D	301108609.04 m <sup>2</sup>

Résultat du calcul de cubatures avec un plan horizontal à 90.000 m

Surfaces 2D	
En-dessous du plan	: 297321323.25 m <sup>2</sup>
Au-dessus du plan	: 3544973.87 m <sup>2</sup>
Sans écart	: 0.00 m <sup>2</sup>
Total	: 300866297.12 m <sup>2</sup>

Volumes	
En-dessous du plan	: 2224272103.76 m <sup>3</sup> 1
Au-dessus du plan	: 8695791.697 m <sup>3</sup>
Total	: 2232967895.45 m <sup>3</sup> 8

Surfaces 3D	
En-dessous du plan	: 297548828.11 m <sup>2</sup>
Au-dessus du plan	: 3559780.93 m <sup>2</sup>
Sans écart	: 0.00 m <sup>2</sup>
Total	: 301108609.04 m <sup>2</sup>

**CALCUL DE CUBATURES ENTRE UN MODELE NUMERIQUE ET UN PLAN HORIZONTAL**

Calcul volume eau

Nom du dessin : plan\_eau\_ExportCAD  
 Ecriture du listing le 24/11/2015 à 20:20:51

**Caractéristiques du modèle numérique**

Calque	MNSebkhatotal5
Nombre de faces	66045
Altitude mini	68.431 m
Altitude maxi	113.677 m
Surface totale 2D	300866297.12 m <sup>2</sup>
Surface totale 3D	301108609.04 m <sup>2</sup>

**Résultat du calcul de cubatures avec un plan horizontal à 95.260 m**

<b>Surfaces 2D</b>	
En-dessous du plan	: 300455638.73 m <sup>2</sup>
Au-dessus du plan	: 410658.39 m <sup>2</sup>
Sans écart	: 0.00 m <sup>2</sup>
<b>Total</b>	<b>: 300866297.12 m<sup>2</sup></b>

<b>Volumes</b>	
En-dessous du plan	: 3799449604.01 m <sup>3</sup> 7
Au-dessus du plan	: 1316569.106 m <sup>3</sup>
<b>Total</b>	<b>: 3800766173.12 m<sup>3</sup></b> 3

<b>Surfaces 3D</b>	
En-dessous du plan	: 300695044.30 m <sup>2</sup>
Au-dessus du plan	: 413564.74 m <sup>2</sup>
Sans écart	: 0.00 m <sup>2</sup>
<b>Total</b>	<b>: 301108609.04 m<sup>2</sup></b>

**CALCUL DE CUBATURES ENTRE UN MODELE NUMERIQUE ET UN PLAN HORIZONTAL**

Calcul volume sable

Nom du dessin : plan\_eau\_ExportCAD  
 Ecriture du listing le 24/11/2015 à 20:08:36

Caractéristiques du modèle numérique

Calque	MNSebkhatotal5
Nombre de faces	66045
Altitude mini	68.431 m
Altitude maxi	113.677 m
Surface totale 2D	300866297.12 m <sup>2</sup>
Surface totale 3D	301108609.04 m <sup>2</sup>

Résultat du calcul de cubatures avec un plan horizontal à 106.400 m

Surfaces 2D	
En-dessous du plan	: 300851647.90 m <sup>2</sup>
Au-dessus du plan	: 14649.22 m <sup>2</sup>
Sans écart	: 0.00 m <sup>2</sup>
Total	: 300866297.12 m <sup>2</sup>

Volumes	
En-dessous du plan	: 7149820781.70 m <sup>3</sup> 7
Au-dessus du plan	: 37196.887 m <sup>3</sup>
Total	: 7149857978.59 m <sup>3</sup> 5

Surfaces 3D	
En-dessous du plan	: 301093794.24 m <sup>2</sup>
Au-dessus du plan	: 14814.80 m <sup>2</sup>
Sans écart	: 0.00 m <sup>2</sup>
Total	: 301108609.04 m <sup>2</sup>

**CALCUL DE CUBATURES ENTRE UN MODELE NUMERIQUE ET UN PLAN HORIZONTAL**

Calcul volume eau 10 CM

Nom du dessin : sebkha 83 m  
 Ecriture du listing le 29/01/2016 à 19:57:20

**Caractéristiques du modèle numérique**

Calque	MNTinitial
Nombre de faces	10600
Altitude mini	83.032 m
Altitude maxi	83.032 m
Surface totale 2D	304842442.92 m <sup>2</sup>
Surface totale 3D	304842442.92 m <sup>2</sup>

**Résultat du calcul de cubatures avec un plan horizontal à 83.132 m**

Surfaces 2D	
En-dessous du plan	: 304842442.92 m <sup>2</sup>
Au-dessus du plan	: 0.00 m <sup>2</sup>
Sans écart	: 0.00 m <sup>2</sup>
Total	: 304842442.92 m <sup>2</sup>

Volumes	
En-dessous du plan	: 30489602.850 m <sup>3</sup>
Au-dessus du plan	: 0.000 m <sup>3</sup>
Total	: 30489602.850 m <sup>3</sup>

Surfaces 3D	
En-dessous du plan	: 304842442.92 m <sup>2</sup>
Au-dessus du plan	: 0.00 m <sup>2</sup>
Sans écart	: 0.00 m <sup>2</sup>
Total	: 304842442.92 m <sup>2</sup>

**Résultat du calcul de cubatures avec un plan horizontal à 83.042 m**

Surfaces 2D	
En-dessous du plan	: 304842442.92 m <sup>2</sup>
Au-dessus du plan	: 0.00 m <sup>2</sup>
Sans écart	: 0.00 m <sup>2</sup>
Total	: 304842442.92 m <sup>2</sup>

Volumes	
En-dessous du plan	: 3053782.988 m <sup>3</sup>
Au-dessus du plan	: 0.000 m <sup>3</sup>
Total	: 3053782.988 m <sup>3</sup>

Surfaces 3D	
En-dessous du plan	: 304842442.92 m <sup>2</sup>
Au-dessus du plan	: 0.00 m <sup>2</sup>
Sans écart	: 0.00 m <sup>2</sup>
Total	: 304842442.92 m <sup>2</sup>

**MNT - STATISTIQUES**

Nom du fichier dessin : F:\DATA\plan SEBKHA\sebkha 83 m  
 Listing effectué le : 29/01/2016 à 19:47:21

Calque(s) du M.N.T.	MNTinitial
Nombre de faces	10600
Nombre de côtés	19248
Nombre de sommets	8666
Nombre de sommets à Z = 0	0
Nombre de contours externes	84
Nombre de contours internes	1
Dimensions minimales	679171.35 3924639.87
Dimensions maximales	720367.71 3943121.28
Altitude minimale	83.032 m
Altitude maximale	83.032 m
Surface minimale 2D des faces	0.264 m <sup>2</sup>
Surface maximale 2D des faces	22174799.362 m <sup>2</sup>
Longueur minimale 2D des côtés	2.626 m
Longueur maximale 2D des côtés	9360.985 m
Aire 2D du MNT	304842442.919 m <sup>2</sup>
Aire 3D du MNT	304842442.919 m <sup>2</sup>
Nombre de faces planes (Z constant)	10600
Nombre de faces doubles	0
Nombre de faces petites (ignorées)	0
Nombre de faces verticales (ignorées)	0
Nombre de faces activées	10600
Nombre de faces désactivées	0

**MNT - STATISTIQUES DU CHARGEMENT ET DU CALCUL**

Nom du fichier dessin : F:\DATA\plan SEBKHA\sebkha delim ns  
 Listing effectué le : 29/01/2016 à 17:44:12

Points chargés : oui	
Provenance des points	Base graphique AutoCAD
	Points de type topographiques et AutoCAD
	dans le(s) calque(s) 0
Filtre altimétrique	> 82.500 m et < 83.500 m
Points d'altitude nulle	Ignorés
Elimination des points doubles	Tolérance : 0.001
	Mode automatique (indifférent)
	Avec création d'un cercle d'erreur

Récapitulatif du chargement	
Nombre de points lus	4856
Nombre de points lus à Z = 0	0
Nombre de points doubles	0
Nombre de points conservés après filtrage	681
Nombre de points et sommets utilisables	681
Distance moyenne entre points	1042.253 m
Coordonnées minimales	679256.122 3924639.872 m
Coordonnées maximales	719310.219 3943109.008 m
Altitude minimale	82.503 m
Altitude maximale	83.499 m

Périmètre calculé : oui	
Paramètre de hauteur	0.00001
Paramètre de longueur	2084.506
Nombre de côtés	55
Nombre de faces prévues	1305
Périmètre dessiné : oui	
	Dans le calque TN MNT

Faces calculées : oui	
	1305 faces calculées
	1305 faces activées
Aire 2D	223539440.229 m <sup>2</sup>
Aire 3D	223542246.788 m <sup>2</sup>
Faces dessinés : oui	
	Dans le calque TN_MNTini2
Echelle de dessin	1.000
Dimensions minimales	679256.12 3924639.87
Dimensions maximales	719310.22 3943109.01
Altitude minimale	82.503 m
Altitude maximale	83.499 m