

5. IMPLEMENTATION DE L'ALGORITHME SGP4 POUR LA REALISATION DU LOGICIEL DE PREVISION

Dans le but de connaître avec précision la position des satellites durant leur passage au dessus de notre station de réception, nous avons réalisé un logiciel qui permet de calculer la position (X,Y,Z) des satellites défilant ainsi que leur vitesse (V_x, V_y, V_z) dans le repère ECI à n'importe quel moment (antérieur ou ultérieur à la date et heure actuelles), et à partir de n'importe quelle localisation.

Le LAAR-TRACK permet également de fournir la position (Élévation et Azimut) que doit avoir l'antenne pour pointer un satellite défilant à basse attitude (ayant une période orbitale < 225 mn) durant toute sa période de visibilité, tel que les satellites de la série NOAA, en utilisant le propagateur SGP4.

5.1. Présentation de l'interface

L'interface du logiciel LAARTRACK est présentée comme suit :

The screenshot shows the LAAR-TRACK software interface. It features a title bar 'LAAR-TRACK : algorithme de prevision' and a main window titled 'Orbitographie des satellites artificiels' with the subtitle 'Modélisation des perturbations orbitales'. The interface is annotated with numbered callouts (1-10) pointing to various input fields and data displays. Callout 1 points to the station coordinates (Latitude: +37.35, Longitude: -0.39, Alt. (km): 100). Callout 2 points to the satellite selection dropdown menu showing 'NOAA 19'. Callout 3 points to the two lines of TLE data for NOAA 19. Callout 4 points to the TLE Epoch field (12295.47462075). Callout 5 points to the Julian Day (295) and Year (2012) fields. Callout 6 points to the fractional part of the epoch (47462075) and the date and time of prediction (22/10/2012 22:23:32). Callout 7 points to the 'Temp. écoulé en secondes' field. Callout 8 points to the 'AZIMUT (°)' and 'ELEVATION (°)' tables. Callout 9 points to the 'SGP4 Test' output. Callout 10 points to the 'X', 'Y', 'Z' position and velocity data. A 'Prévision' button is located at the bottom right of the main window. The footer of the window reads 'L.A.A.R. Laboratoire d'Analyse et d'Application des Rayonnements'.

- 1 Coordonnées de la station de réception (longitude, latitude and altitude).
- 2 Choix du satellite à pointer.
- 3 Les deux lignes (TLE) correspondant au satellite sélectionné.
- 4 Epoque du fichier TLE (Jour Julien + année).
- 5 Extraction de la partie fractionnelle pour le calcul de l'époque (Heure, minute et seconde).
- 6 Choix de la date et de l'heure de prévision.
- 7 Intervalle de calcul (Dans cet exemple, toutes le 2 secondes pendant 2 minutes)
- 8 L'élévation que doit avoir l'antenne pour pointer le satellite.
- 9 L'azimut que doit avoir l'antenne pour pointer le satellite.
- 10 Position et vitesse du satellite calculées à la date et heure demandée

Pour réaliser la prévision de passage d'un satellite défilant à basse orbite, il suffit de :

- Choisir le satellite dans la liste présentant tous les satellites de la série NOAA (de TIROS1 à NOAA19)
- Renseigner les coordonnées de la station de réception (Latitude (°) , Longitude (°) et Altitude (m))
- Fixer la date et heure de prévision.
- Cliquer sur le bouton « Prévision » pour afficher la position de l'antenne en site et en azimut, à un intervalle de temps prédéterminé par l'utilisateur. Cet intervalle est fixé par défaut à deux secondes.

5.2. Validation des résultats

Pour la validation du logiciel réalisé, nous avons effectué une comparaison entre les résultats obtenus par le LAARTrack (azimut et élévation) , avec ceux que donnent le logiciel WxTrack développé par David TAYLOR, et considéré comme l'un des logiciels les plus performants et les plus utilisés en orbitographie.

Les résultats sont résumés dans le tableau 3.2 donné ci-dessous.

Satellite	Date et Heure	WXTRACK		LAAR-Track	
		Azimut(°)	Élévation(°)	Azimut(°)	Élévation(°)
NOAA15	16 septembre 2011 04 :30 :50	178.9	-11.7	178.7	-11.5
NOAA15	16 septembre 2011 06 :30 :50	197.8	-54.6	197.7	-54.3
NOAA15	16 septembre 2011 08 :30 :50	111.5	-69.2	111.4	-69
NOAA15	16 septembre 2011 10 :30 :50	70.9	-31.8	71	-31.5
NOAA15	16 septembre 2011 12 :30 :50	351.1	-15.4	351.3	-15.2
NOAA15	16 septembre 2011 14 :30 :50	324.3	-54.9	324.1	-54.7
NOAA15	16 septembre 2011 16 :30 :50	149.7	-84.2	149.6	-84
NOAA15	16 septembre 2011 18 :30 :50	184.6	-48.1	184.6	-48
NOAA15	16 septembre 2011 20 :30 :50	251.3	-26.9	251.1	-26.7
NOAA15	16 septembre 2011 22 :30 :50	335.8	-25.9	335.7	-25.6
NOAA15	20 septembre 2011 04 :30 :50	174	0.2	174.1	0.4
NOAA15	20 septembre 2011 06 :30 :50	202.1	-47.4	202.1	-47.3
NOAA15	20 septembre 2011 08 :30 :50	133.6	-71.1	133.7	-71
NOAA15	20 septembre 2011 10 :30 :50	80.9	-37.4	80.7	-37.3
NOAA15	20 septembre 2011 12 :30 :50	8.7	-10.7	8.6	-10.6
NOAA15	20 septembre 2011 14 :30 :50	329.1	-47.8	329	-47.4

NOAA15	20 septembre 2011 16 :30 :50	41.1	-87	41	-87
NOAA15	20 septembre 2011 18 :30 :50	177.4	-54.7	177.2	-54.5
NOAA15	20 septembre 2011 20 :30 :50	239.1	-31.6	239	-31.5
NOAA15	20 septembre 2011 22 :30 :50	321	-27.8	321	-27.6
NOAA18	26 septembre 2011 04 :30 :50	212.8	-33.8	212.6	-33.5
NOAA18	26 septembre 2011 06 :30 :50	180.6	-67.3	180.5	-67
NOAA18	26 septembre 2011 08 :30 :50	107.2	-49.5	107	-49.4
NOAA18	26 septembre 2011 10 :30 :50	70.4	-9.1	70.2	-9
NOAA18	26 septembre 2011 12 :30 :50	344	-24.7	343.8	-24.5
NOAA18	26 septembre 2011 14 :30 :50	0.2	-63	0.1	-62.8
NOAA18	26 septembre 2011 16 :30 :50	124.8	-72.5	124.6	-72.4
NOAA18	26 septembre 2011 18 :30 :50	197.1	-51.2	196.9	-51
NOAA18	26 septembre 2011 20 :30 :50	268	-43.4	267.9	-43.3
NOAA18	26 septembre 2011 22 :30 :50	338.3	-34.5	338.2	-34.4
NOAA19	28 septembre 2011 04 :30 :50	41.6	-45.3	41.4	-45.1
NOAA19	28 septembre 2011 06 :30 :50	356.7	-12.4	356.6	-12.3
NOAA19	28 septembre 2011 08 :30 :50	294.2	-38.7	294	-38.5
NOAA19	28 septembre 2011 10 :30 :50	252.7	-74.5	252.5	-74.4
NOAA19	28 septembre 2011 12 :30 :50	166.7	-55.5	166.5	-55.4
NOAA19	28 septembre 2011 14 :30 :50	196	-18.5	196	-18.3
NOAA19	28 septembre 2011 16 :30 :50	305.4	-11	305.3	-10.8
NOAA19	28 septembre 2011 18 :30 :50	21.8	-29.2	21.7	-28.9
NOAA19	28 septembre 2011 20 :30 :50	96	-33.7	95.9	-33.4
NOAA19	28 septembre 2011 22 :30 :50	164.4	-46.5	164.3	-46.4
NPP [+]	10 Janvier 2012 04 :30 :50	241.3	-21.1	241.25	-20.8
NPP [+]	10 Janvier 2012 06 :30 :50	213.8	-60.3	213.7	-60.1
NPP [+]	10 Janvier 2012 08 :30 :50	135.1	-54.9	135	-54.7
NPP [+]	10 Janvier 2012 10 :30 :50	110.2	-12.5	110.1	-12.3
NPP [+]	10 Janvier 2012 12 :30 :50	350.8	-11.8	350.7	-11.7
NPP [+]	10 Janvier 2012 14 :30 :50	9.4	-51.8	9.4	-51.6

NPP [+]	10 Janvier 2012 16 :30 :50	98.1	-67.3	98	-67.1
NPP [+]	10 Janvier 2012 18 :30 :50	186	-56.4	185.9	-56.1
NPP [+]	10 Janvier 2012 20 :30 :50	264.6	-53	264.5	-52.9
NPP [+]	10 Janvier 2012 22 :30 :50	338.2	-41.2	338.1	-41

Tableau 3.2. comparaison entre l'azimut et l'élévation obtenus par le LAARTrack , avec ceux que donnent le logiciel WxTrack pour les satellites NOAA

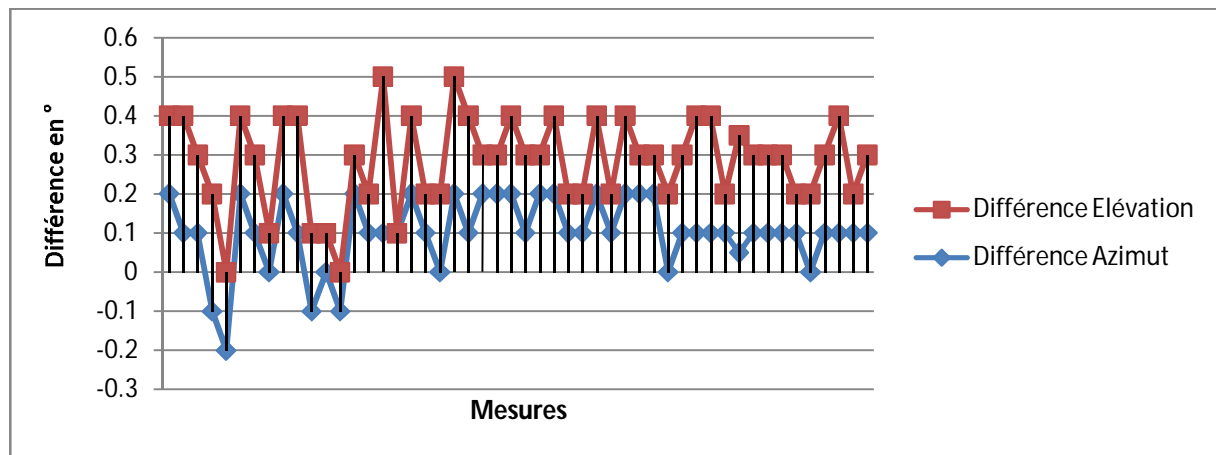


Figure 3.11. Erreur en site et en azimut suite à la comparaison entre les logiciels LAARTrack et WxTrack

A partir de la figure 3.11., nous remarquons que la différence des résultats obtenus avec le logiciel WxTrack et le logiciel LAAR-Track, que nous avons implémenté en utilisant le propagateur SGP4, est très faible :

- L'erreur en azimut varie de -0.2° à 0.2° , ce qui est très faible, et ne peut en aucun cas perturber la réception des images car le pas de déplacement de l'antenne est de 1.25° sur le plan horizontal.
- L'erreur en Elévation est un peu plus importante, variant de -0.2° à 0.5° , mais cela reste correct, car aucune perte du signal ne peut être causée par cette différence.

La cause de ces erreurs ne peut pas être engendrée par les paramètres d'entrée des algorithmes de prévision (les éléments orbitaux), car nous avons utilisé les mêmes fichiers TLE pour les deux logiciels. Elle ne peut donc être produite que par l'utilisation de deux algorithmes de prévision différents.

6. AUTOMATISATION DE LA STATION DE RECEPTION NOAA HRPT

La motivation principale de l'automatisation de la station de réception des images NOAA HRPT est d'améliorer la qualité des images reçues, et de libérer l'opérateur qui devait être présent à chaque passage des satellites pour diriger l'antenne manuellement via son boîtier de commande.

A cet effet nous avons réalisé une interface chargée d'effectuer l'asservissement du moteur de l'antenne sur le plan horizontal (variation de l'azimut) et sur le plan vertical (variation de l'élévation).

Nous allons dans ce qui suit, détailler la chaîne complète, matérielle et logicielle, nécessaire à la poursuite automatique.

6.1. Le principe de la poursuite automatique

La poursuite automatique du satellite peut se résumer en trois étapes :

- Récupération de la position de l'antenne.
- Comparaison avec les valeurs calculées par un logiciel de prévision.
- Asservissement de l'antenne.

Ces étapes sont résumées dans le schéma synoptique suivant :

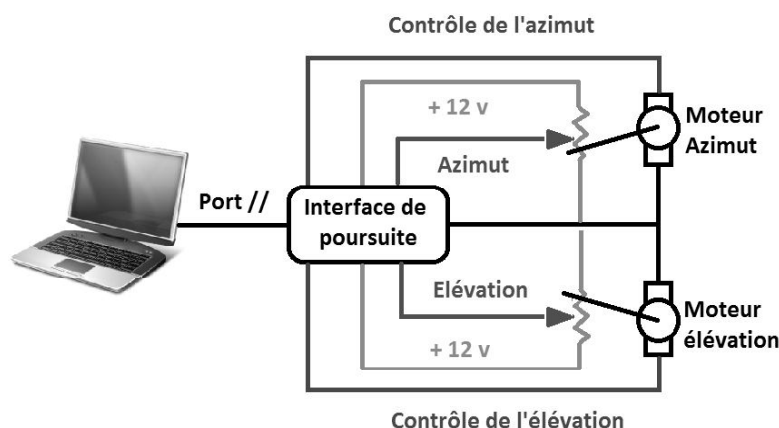


Figure 3.12. Schéma synoptique de la poursuite automatique d'un satellite

L'information « position de l'antenne », en site et en azimut est récupérée via le pupitre de commande du rotor de l'antenne. Le signal analogique reçu est converti en signal numérique par la l'interface de poursuite et est envoyé par la suite vers le PC où est installé le logiciel de prévision. Ce dernier compare la position de l'antenne actuelle avec la position qu'elle doit avoir pour pointer le satellite (calculée par le même logiciel de prévision).

La même interface asservi le rotor de l'antenne de façon à ce que les valeurs lues sur les potentiomètres correspondent aux valeurs calculées par le logiciel de prévision. L'élément clé de la chaîne d'automatisation est l'interface, qui assure la communication entre la partie matérielle et logicielle de la chaîne.

6.2. L'interface de poursuite

6.2.1. Schéma électronique de l'interface

L'interface de poursuite que nous avons réalisé a été réalisée en s'inspirant du montage utilisé par fodtrack [FOD04]. Le cœur de ce montage est basé sur le double convertisseur Analogique/Numérique TLC7528 qui assure la correspondance entre le logiciel de prévision et le rotor de l'antenne de réception.



Figure 3.13. L'interface de poursuite KIT-LAAR26