

QB50

Stratégie d’exploitation du satellite

Version 6

7 septembre 2016

1. Introduction 5

2. Principe de fonctionnement du satellite 6

3. Stratégie d’exploitation 7

3.1 Opération 1. : Identification du satellite 7

3.2 Opération 2 : Activer la transmission des télémesures en X25 (AX25/FX25) 8

3.3 Opération 3 : Téléchargement des données satellite (WODEX) 9

3.4 Opération 4 : chargement de l’heure vers le satellite 9

3.5 Opération 5 : Activation GPS 10

3.6 Opération 6: Identification Satellite (via GPS) 10

3.7 Opération 7 : chargement des TLE vers le satellite 10

3.8 Opération 8 : Mesure attitude 10

3.9 Opération 9 : contrôle d’attitude. 11

3.10 Opération 10 : gestion expérience 12

3.11 Opération 11 : Transpondeur FM 12

4. Stations sol : 13

5. Description des modes : 14

5.1 Mode initialisation : 16

5.2 Mode CW : 16

5.3 Mode WODEX 16

5.4 Mode vidage mémoire WODEX 17

1.1 Mode FIPEX : 18

1.2 Mode recharge batterie : 18

1.3 Mode mesure d’attitude: 18

1.4 Mode GPS: 18

Mode contrôle d’attitude : 19

1.5 19

1.6 Mode stand-by: 19

1.7 Mode relais FM: 19

2. Liste des paramètres : 20

3. Liste télécommandes : 22

**Liste des figures**

Figure 2 : identification du satellite 8

Figure 3 : Activer la transmission des télémesures en X25 (AX25/FX25) 8

Figure 4 : téléchargement données WOD 9

Figure 5 : Mesure attitude 11

Figure 7 : Diagramme de transitions de mode 15

**Liste des tableaux**

Tableau 1 : Historique du document 4

**Tableau 2 :** Liste des Paramètres 21

Tableau 4 : mode / Commande 26

**Historique du document**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Version** | **Date** | **Auteur** | **Commentaires** |  |
| 1 | 5 Octobre 2013 | G. Auvray / C. Mercier | Création du document | |
| 2 | 1 décembre 2014 | G.Auvray | Refonte complète de la stratégie | |
| 2.1 | 5 décembre 2014 | G.Auvray |  | |
| 2.2 | 6 décembre 2014 | G.Auvray | Addition commande GPS | |
| 2.3 | 19 décembre 2014 | G.Auvray |  | |
| 2.4 | 28 décembre 2014 | C. Mercier |  | |
| 2.5 | 6 janvier 2015 | G.Auvray / C. Mercier | addition mode de tests attitude | |
| 2.6 | 25 Aout 2015 | G.Auvray | Addition commandes TLE et heure | |
| 3 | 16 septembre 2015 | G.Auvray | Suppression mode detumbling. Update des modes. Légére restructuration du document | |
| 4 | 15 juin 2016 | G.Auvray | Mise à jour des TC | |

Tableau : Historique du document

**Licence associée à ce document**



Cette œuvre est mise à disposition selon les termes de la [Licence Créative Commons Paternité - Pas d’Utilisation Commerciale - Partage à l’Identique 3.0 non transcrit](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/).

En cas de recopie partielle ou complète des articles, veuillez indiquer clairement l’origine de l’information et faire un lien sur le site ou l’article d’origine.

La source de l’article est disponible sur le site [http://www.amsat-francophone.org](http://www.amsat-francophone.org/) . Consultez ce site pour avoir la dernière version de ce document.

# Introduction

L’objectif de ce document est de définir la stratégie d’exploitation du satellite afin d’être en mesure de spécifier la couche supérieure du programme de l’ODB (Ordinateur De Bord).

Il se décompose en 4 parties :

* Principe de fonctionnement du satellite
* La stratégie d’exploitation du satellite, notamment dans la première phase de prise en main du satellite suite à son éjection.
* Définition rapide des fonctions de la station sol
* Les modes et états du satellite.

# Principe de fonctionnement du satellite

Le satellite pourra fonctionner selon plusieurs modes.

Après l’éjection du satellite, les antennes sont déployées après une temporisation de 30 mn, ensuite il sera positionné automatiquement en mode CW pour permettre une identification plus facile du satellite et de recevoir plus facilement le signal en cas de signaux faibles.

La deuxième étape sera de passer en mode WODEX qui permet d’enregistrer les télémétries internes et de les décharger avec un débit de 9600 bps lors d’une visibilité station pour permettre de surveiller l’état du satellite.

Ensuite le GPS sera mis sous tension pour calculer l’orbite précise et d’identifier le satellite dans le paquet de paramètres orbitaux des satellites qui auront été lancés ensembles.

La phase suivante sera de mesurer l’attitude et de faire le contrôle d’attitude.

Quand toutes ces opérations auront été exécutées avec succès, on pourra mettre le satellite en mode expérience (FIPEX) selon des scripts définis par le VKI.

Quand le mode expérience n’est pas activé, le satellite peut etre configuré en mode relais FM pour les radios amateurs.

En permanence (sauf cas particulier du mode CW), les paramètres internes du satellite (WODEX = Whole Orbite Data Extended) sont enregistrés en mémoire et lus lors d’une visibilité station sol. La tension de la batterie est surveillée en permanence pour éviter une décharge profonde pouvant conduire à sa destruction.

# Stratégie d’exploitation

Ce chapitre définit les opérations à faire sur le satellite à chaque passage au-dessus de la station sol. En fonction de la situation, les opérations pourront s’enchaîner ou on pourra laisser passer plusieurs visibilités sol entre 2 opérations.

Les opérations décrites donnent la séquence d’opérations pour la mise en exploitation du satellite :

* Opération 1. : Identification du satellite
* Opération 2 : Activer la transmission des télémesures en X25 (AX25/FX25)
* Opération 3 : Lecture (Download) des données satellite (WODEX)
* Opération 4 : chargement heure vers le satellite
* Opération 5 : Activation GPS
* Opération 6: Identification Satellite (via GPS)
* Opération 7 : chargement TLE vers le satellite
* Opération 8 : Mesure attitude
* Opération 9 : contrôle d’attitude.

Une fois le satellite mis en exploitation, les missions sont couvertes au travers des opérations suivantes :

* Opération 10 : gestion expérience (FIPEX)
* Opération 11 : Transpondeur FM

À chaque visibilité de la station sol, on pourra effectuer une opération de vidage de la mémoire de données (WODEX) quel que soit le mode de fonctionnement du satellite sauf en mode CW, recharge batterie et StandBy.

## Opération 1. : Identification du satellite

* **Objectif :** première acquisition par la station sol et trouver l’Identification Norad du satellite
* **Séquence :**
  1. Le satellite émet des télémesures en CW (Mode CW)
  2. La station sol attend la réception des télémesures CW
  3. L’opérateur de la station sol enregistre l’heure de la première réception de TLM
  4. L’opérateur effectue un test de réception TC et émission en envoyant la commande PING
  5. l’opérateur enregistre l’heure de la perte de réception des TLM
  6. L’opérateur effectue la comparaison des données en fonctions des prédictions issues des éléments képlérien prévisionnels.

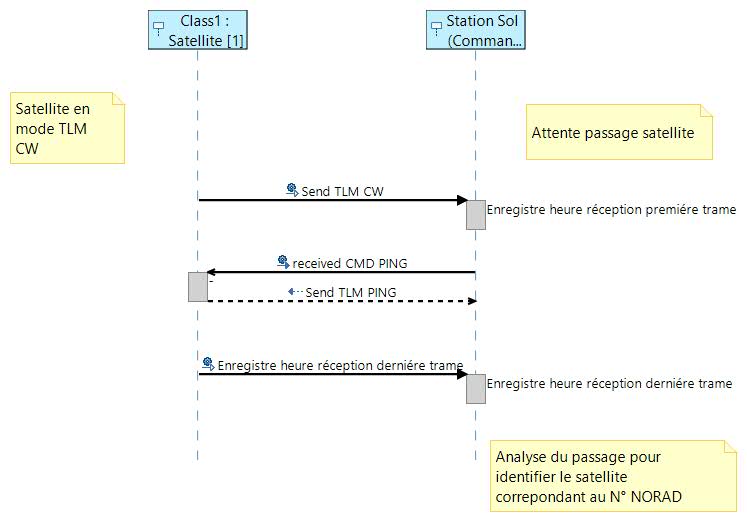


Figure : identification du satellite

## Opération 2 : Activer la transmission des télémesures en X25 (AX25/FX25)

* **Objectif :** Vérifier le bon fonctionnement du satellite
* **Séquence**:
  1. Le satellite émet les télémesures en CW
  2. La station sol attend la réception des télémesures CW
  3. Dès la première télémesure reçue, la station sol envoie la commande de passage en mode WODEX
  4. La station sol attend la réception des télémesures en AX25 (ou FX25)

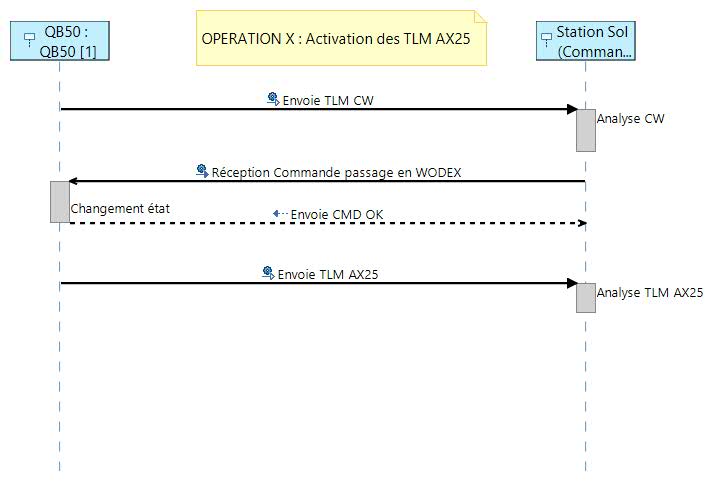


Figure : Activer la transmission des télémesures en X25 (AX25/FX25)

## Opération 3 : Téléchargement des données satellite (WODEX)

* **Objectif :** télécharger les données du satellite pour analyse. Cette opération peut se faire à chaque passage au-dessus de la station sol
* **Séquence :** 
  1. Le satellite émet les télémesures AX25.
  2. La station sol attend la réception des télémesures
  3. Dès les premières TLM reçues, la station de sol envoie une commande de vidage mémoire WODEX et enregistre les données reçues.
  4. Quand l’ensemble des données sont transmises par le satellite, il revient (continu) dans le mode précédent.

Si la durée de descente des informations est supérieure à la durée de visibilité de la station sol, les données transmises hors de la visibilité de la station sol sont perdues pour la station concernée.

Il n’y a pas de protocole de control de la bonne réception des données. La transmission se fait en mode UI (Broadcast). Toute donnée non reçue (CRC faux par exemple) est perdue.

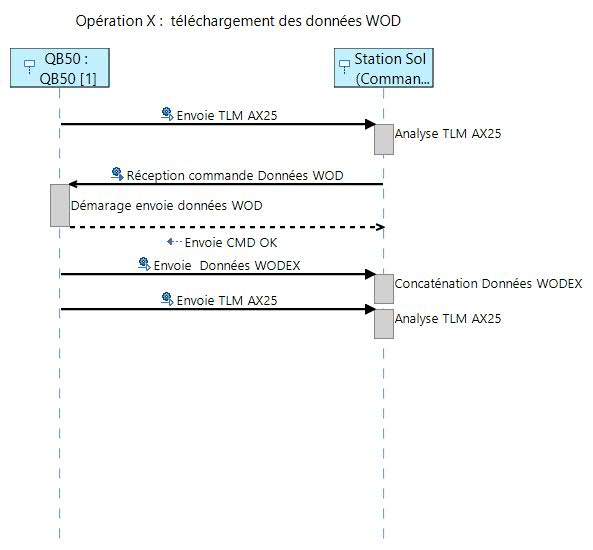


Figure 3 : téléchargement données WOD

## Opération 4 : chargement de l’heure vers le satellite

* **Objectif :** télécharger l’heure TU vers le satellite pour la mise à jour de la RTC interne.
* **Séquence :**

1. Le satellite émet les télémesures AX25.
2. La station sol attend la réception des télémesures
3. Dès les premières TLM reçues, la station de sol envoie la commande de remise à jour de l’heure du satellite.
4. Envoie de la commande de lecture des WODEX

## Opération 5 : Activation GPS

* **Objectif :** récupérer les données de position GPS du satellite
* **Séquence :** 
  1. Le satellite émet les télémesures en AX25
  2. La station sol attend la réception des télémesures
  3. Dès la première TLM reçues, la station sol envoie la commande d’activation du GPS
  4. Quand le timer d’activation du GPS est périmé, le satellite éteint le GPS
  5. Aux passages suivant au-dessus de la station sol, dès la première TLM reçues, la station de sol envoie la commande de téléchargement des données du satellite (WODEX) cf Opération3.
* **Notes :** Télécommande pour démarrer une session d’utilisation du GPS : Le GPS ne sera mis sous tension que pendant 10 à 20 mn (paramétrable) en fonction du temps de synchronisation du GPS.

## Opération 6: Identification Satellite (via GPS)

* **Objectif :** Analyser les données de position GPS du satellite
* **Séquence :**
  + Les données ont été reçues (cf. opération 3)

Calcul via la station sol des paramètres orbitaux (TLE) pour essayer d’identifier le Numéro de l’objet du satellite dans les données du NORAD.

Ces données calculées pourront ensuite être chargées dans le satellite.

## Opération 7 : chargement des TLE vers le satellite

* **Objectif :** télécharger les paramètres orbitaux vers le satellite pour permettre le contrôle d’attitude.
* **Séquence :**

1. Le satellite émet les télémesures AX25.
2. La station sol attend la réception des télémesures
3. Dès les premières TLM reçues, la station de sol envoie la commande de chargement des TLE.
4. Envoie de la commande de lecture des WODEX

## Opération 8 : Mesure attitude

* **Objectif :** Connaitre l’attitude du satellite
* **Séquence**:
  1. Le satellite émet les télémesures en X25
  2. La station sol attend la réception des télémesures
  3. Dès la première TLM reçues, la station sol envoie la commande d’activation de la carte de contrôle attitude en mode mesure d’attitude.
  4. Aux passages suivant au-dessus de la station sol, dès la première TLM reçues, la station sol envoie la commande de téléchargement des données du satellite (WODEX) cf Opération3..
  5. Quand l’ensemble des données sont transmises par le satellite, il revient dans le mode courant (mesure d’attitude).

**Nota :** Il y a 2 modes mesure d’attitude : un mode « normal » ou on n’enregistre que l’attitude (Quaternion et angle d’Euler) et un mode de test ou on enregistre en plus les valeurs brutes des capteurs (solaires, gyroscope et magnétomètre). Ce sera à l’opérateur de décider quel mode utiliser en fonction de la confiance sur les algorithmes de mesure d’attitude.

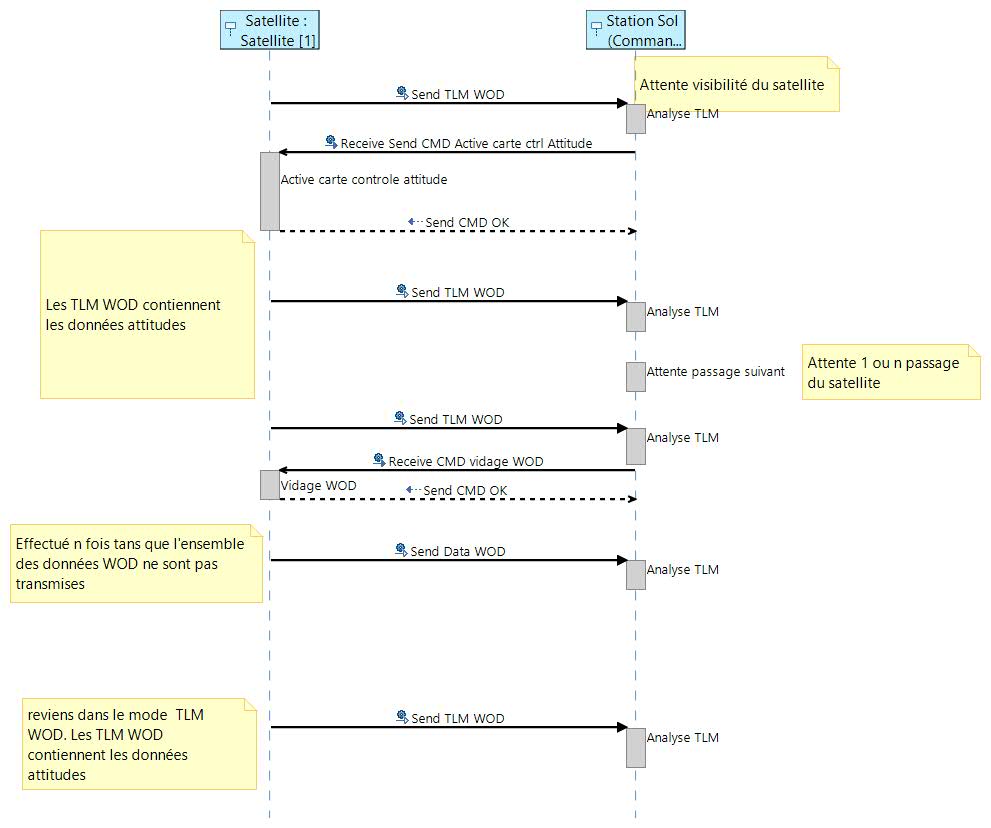


Figure : Mesure attitude

**Remarque :** la station sol doit avoir une fonction d’analyse de l’attitude du satellite.

## Opération 9 : contrôle d’attitude.

* **Objectif :** effectuer le contrôle d’attitude du satellite
* **Séquence :**

1. Le satellite émet les télémesures WODEX en AX25.
2. La station sol attend la réception des télémesures
3. Dès la première TLM reçues, la station sol envoie la commande passage en mode contrôle d’attitude (activation de la carte contrôle d‘attitude en mode contrôle d’attitude)
4. Aux passages suivant au-dessus de la station sol, dès la première TLM reçues, la station sol station sol envoie la commande de Vidage mémoire des WODEX.
5. Au niveau station sol, analyse des données WODEX et mesure d’attitude. Attendre que l’attitude soit dans la fourchette définie dans l’ICD QB50 pour que la sonde FIPEX puisse être activée.
6. Selon le paramètre d’activation du mode contrôle d’attitude, le satellite reste dans ce mode ou repasse en mode mesure d’attitude.

**Remarque :** la station sol doit avoir une fonction d’analyse de l’attitude du satellite.

**Nota :** Il y a 2 modes contrôle d’attitude: un mode « normal » ou on n’enregistre que l’attitude (Quaternion et angle d’Euler) et un mode de test ou on enregistre en plus les valeurs brutes des capteurs (solaires, gyroscope et magnétomètre et angle de correction pour les magnétotorqueur). Ce sera à l’opérateur de décider quel mode utiliser en fonction de la confiance sur les algorithmes de mesure d’attitude.

## Opération 10 : gestion expérience

* **Objectif :** Activation de la sonde FIPEX
* **Séquence :**

1. Le satellite émet les télémesures en AX25
2. La station sol attend la réception des télémesures
3. Dès la première TLM reçues, la station sol envoie la commande d’activation de la sonde FIPEX selon un des scripts en mémoire.
4. Aux passages suivant au-dessus de la station sol, dès la première TLM reçues, la station sol envoie la commande de Vidage mémoire des WODEX.
5. Quand le script de la sonde FIPEX est terminé le satellite repasse en mode contrôle d’attitude.

## Opération 11 : Transpondeur FM

* **Objectif :** Activation du transpondeur FM (Relais FM)
* **Séquence :**

1. Le satellite émet les télémesures en AX25
2. La station sol attend la réception des télémesures
3. Dès la première TLM reçues, la station sol envoie la commande d’activation du mode FM.
4. Quand le mode FM a expiré le satellite repasse en mode WODEX.

# Stations sol :

Les télémesures peuvent être reçues par des stations radioamateurs qui pourront transférer les informations reçues vers un site de collecte de données.

Seule la station officielle du projet et les éventuelles stations ayant eu l’autorisation peuvent envoyer des commandes vers le satellite.

La station sol devra :

* recevoir les TLM (WODEX)
* Décoder et afficher les WODEX
* Mettre les WODEX en mémoire locale
* Faire le calcul des TLE à partir des donnés GPS lues par le satellite
* Afficher l’attitude du satellite (animation)
* Convertir les WODEX en WOD (format demandé par e VKI)
* Transmettre les WOD dans la base de données du VKI
* Enregistrer les données FIPXEX
* Transmettre des données FIPEX dans la base de données du VKI
* Passer toutes les télécommandes vers le satellite
* La station sol devra pouvoir etre commandée en remote depuis un PC extérieur au site.

# Description des modes :

Le diagramme ci-dessous précise les différents modes de fonctionnement du satellite avec les conditions de transitions d’un mode à un autre.

Pour certain modes comme les modes imbriqués dans le mode WODEX, on a conservé la notion de mode (ou tâche) plutôt que de les traiter comme une simple commande.

Le détail de chaque mode est décrit dans le document Dossier technique du calculateur Cubesat.

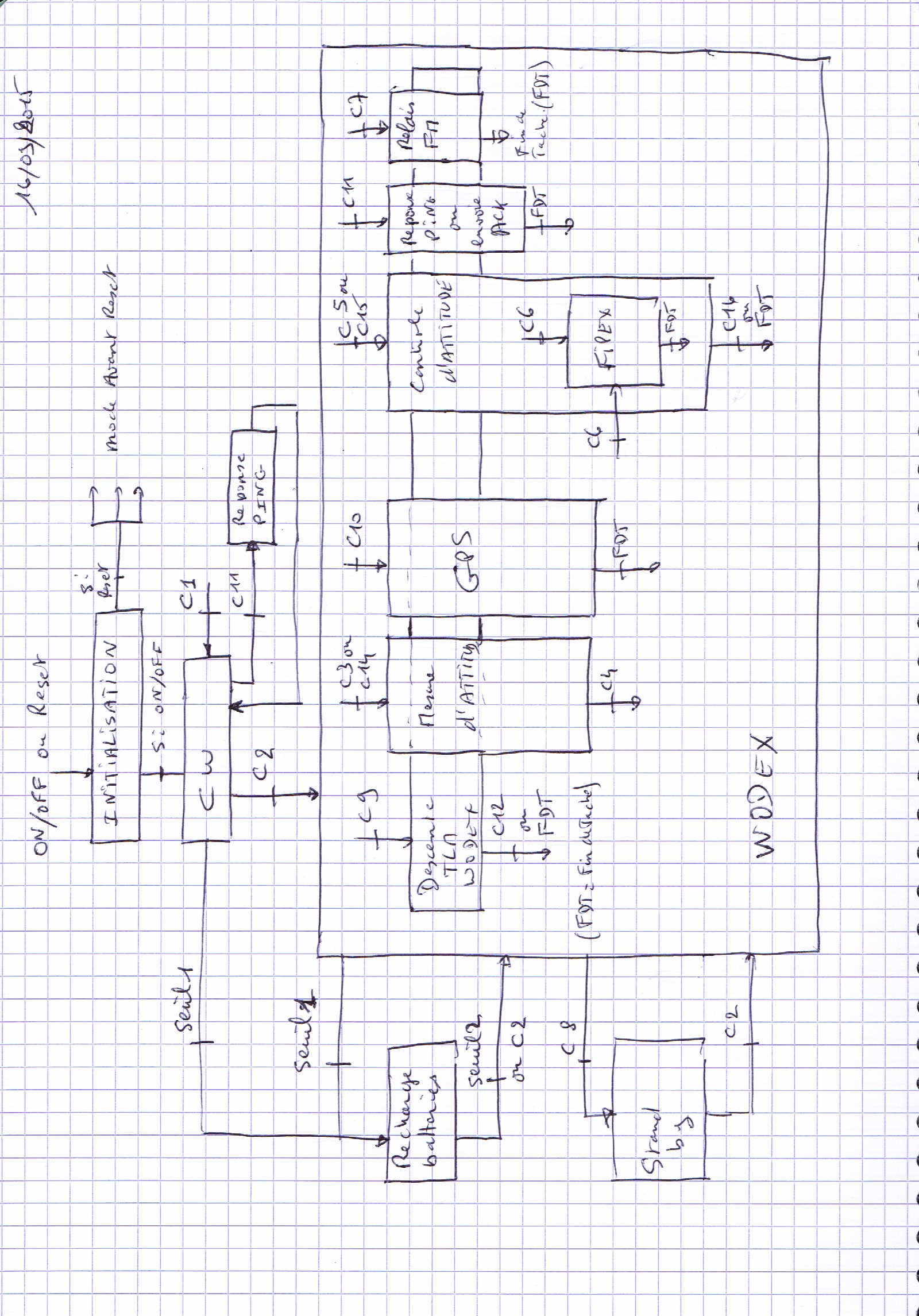


Figure  : Diagramme de transitions de mode

## Mode initialisation :

* **Objectif :**
* Initialiser le satellite et passer dans le mode CW après ouverture des antennes (cas d’une première mise sous tension ou dans le mode précédant dans le cas d’un reset (détecté car les antennes déjà sorties).

* **Activités**
* Séquence des opérations internes après la mise sous tension ou après un reset, l’ODB :
* Initialise les ports du processeur
* Lecture du port du nom du satellite (FR01 ou FR05)
* Incrémente le compteur de reset
* Vérifie que l’on n’était pas en mode StandBy avant l’événement.
  + Si c’était le cas, reste en mode standby
  + Test si antenne déjà sorties -> bascule dans le mode avant Reset
  + Sinon démarre la séquence d’ouverture des antennes
  + Passe en mode CW.

## Mode CW :

* **Objectif :**
* Le satellite a activé le minimum de fonction et transmet des données (télémesures) en CW
* **Activité :**
* Mesure les données et les enregistres
* transmet les données en CW
* **Ne sont Transmis en morse que :**
  + - Indicatif réduit du satellite : FR1 ou FR5. Les indicatifs complets sont : ON0FR1 ou ON0FR5
    - Valeur tension batterie
    - Courant générateurs solaires
    - Courant consommé par le satellite
    - Température batterie.
* Le codage est décrit en détail dans la spécification de l’ODB.
* Le cycle de répétition sera paramétrable et mis à 30 s par défaut (Paramètre 1). Il pourra varier de 10 à 60 s par pas de 5s (11 valeurs)
* Ce mode sera actif tant qu’il n’y aura pas d’autre commande.
* La tension batterie est vérifiée à chaque lecture des données

## Mode WODEX

* **Objectif :**
* Le satellite enregistre les données de télémétries interne WODEX (ADC + registres d’états) et transmet ces données en AX25 (ou FX 25 si opérationnel).
* Ce mode de fonctionnement est en fait un fonctionnement que l’on retrouvera en fond de tache pour tous les modes opérationnels et non dans les modes de sécurité (recharge batterie et StandBy) et dans le mode CW qui a sa séquence particulière de lecture des données internes.
* **Activité :**
* L’ODB lit et enregistre les WODEX (ADC + registres d’états) toutes les minutes.
* Les WODEX lues précédemment sont transmises toutes les minutes et aux temps intermédiaires paramétrables. (Paramètre 2) ou selon une récurrence qui dépend du mode en cours.
* Pour ces temps intermédiaires, on répétera les WODEX lut à la minute ronde précédente.
  + Temps intermédiaire 1 : une répétition à 30s
  + Temps intermédiaire 2 : 3 répétition toutes les 15s
  + Temps intermédiaire 3 : 7 répétition toutes les 7.5 s
* Si le GPS la carte ADCS ou la FIPEX sont activés, les données de ces cartes sont ajoutées aux WODEX.
* Les données sont enregistrées sur une durée continue de 3 jours. La valeur de 3 jours est paramétrable à 1 ou 2 jours. (Paramètre 4). Au-delà de 3 jours, les données les plus anciennes sont remplacées par les nouvelles.
* Sur réception d’une télécommande, il sera possible de descendre les données WODEX en mémoire lors d’une visibilité de la station sol (voir chapitre vidage mémoire).
* Surveillance de la tension batterie

À chaque lecture des WODEX (ADC), une opération de surveillance de la tension batterie sera faite (seuil définit par le paramètre 7). Si la tension descend en dessous de ce seuil, le satellite passe en mode recharge.

## Mode vidage mémoire WODEX

Sur commande de la station sol, la mémoire est transmise au sol jusqu'à ce qu’elle soit vide. Les données transmises sont effacées. La transmission se fait en 9600bps AX25 (ou FX25 si c’est opérationnel). La transmission s’arrête quand la mémoire est vide. La lecture des WODEX et mise en mémoire continue pendant ce temps. On peut interrompre le processus de transmission des données tout en laissant le TX en émission pendant cette opération de lecture enregistrement des WODEX.

Ce mode est actif même si les autres modes : mesure d’attitude, contrôle d’attitude, GPS, FIPEX et Relais FM sont activés. À vérifier les priorités quand 2 actions interviennent en même temps.

* + La transmission commencera par les données les plus récentes.
  + Dès qu’une donnée est transmise, elle est effacée de la mémoire.
* Les données WODEX sont composées des informations suivantes
  + Les valeurs des convertisseurs Analogique Digital (ADC)
  + Les 2 registres d’états (modes et état des équipements)
  + Les données GPS (si le GPS est ou a été activé)
  + Les données expérimentales (si l'expérience est activée)
  + Les données d’attitude du satellite.

## Mode FIPEX :

* **Objectif :**
* Le satellite réalise les expériences selon des scénarios préenregistrés.
* **Activité :**
* La sonde FIPEX sera activée selon un des 7 scripts mis en mémoire (paramètre 3).
* Le contrôle d’attitude sera activé un certain temps avant l’activation de la sonde FIPEX (à définir).
* La transmission des WODEX lues est active. Les données de la sonde FIPEX sont enregistrées avec les WODEX mais non transmises.
* À la fin de l’exécution des scripts, le satellite passe en mode contrôle d’attitude.

## Mode recharge batterie :

* **Objectif :**
* Le satellite ne fonctionne qu’avec les fonctions minimales pour permettre la recharge des batteries.
* **Activité :**
* Après détection du seuil de tension batterie faible, seuil1 (paramètre 13) = V\_BAT\_Min le satellite passe en mode recharge. Toutes les fonctions sont désactivées. Il n'y a plus de transmission, mais les WODEX sont toujours enregistrées.
* Quand la batterie passe au-dessus d’un seuil programmable, seuil 2 (paramètre 12) =V\_BAT\_1 ou sur commande du sol, le satellite repasse en mode WODEX.

## Mode mesure d’attitude:

La carte de contrôle d’attitude est activée en mode lecture d’attitude.

Les valeurs de l’attitude (quaternions et angles d’Euler) seront lues toutes les minutes, 30 s ou 15s synchronisé avec les WODEX.

La lecture toutes les minutes, 30s ou 15 s sera paramétrée. (Paramètre 5)

La durée de ce mode sera permanente en attente d’une commande directe de fin de mode.

Il y a un mode de mesure d’attitude simple ou ne sont enregistrés que les Quaternions et angle d’Euler et un mode mesure d’attitude ou sont enregistrés en plus les valeurs brutes des capteurs (magnétique, gyromètre, angle solaire).

## Mode GPS:

Le GPS sera mis en service pendant une durée limitée. Cette durée sera paramétrable entre 10 et 30 minutes. Le paramètre par défaut sera 15 mn avec des pas de 5 minutes (10, 15, 20, 25 et 30mn). (Paramètre 6)

Les trames GPS lues seront les trames NMEA GPGGA (heure, position et altitude) et les trame GPZVA (donnant la date). On lira une trame toutes 30 secondes.

Les données valides seront enregistrées à la suite des WODEX.

A la première lecture de l’heure valide du GPS, l’ODB remettra à l’heure la RTC du processeur.

## Mode contrôle d’attitude :

L’ODB active la carte contrôle d’attitude en mode contrôle d’attitude. La mesure d’attitude est incluse dans le mode contrôle d’attitude.

Les valeurs de l’attitude seront lues toutes les minutes, 30 s ou 15s synchronisé avec les WODEX.

La lecture toutes les minutes, 30s ou 15s sera paramétrée. (Paramètre 5).

Ces valeurs seront misent en mémoire avec les WODEX.

Le temps de mode de contrôle d’attitude sera un mode paramétré (paramètre 10). Il pourra être entre 15 et 360 mn (4 orbites) par pas de 15 mn (24 valeurs). Valeur par défaut : 0 (mode permanent).

La sortie de ce mode se fait par expiration de la tache ou sur commande.

## Mode stand-by:

Ce mode est classé dans les modes non opérationnels.

Le mode stand-by est un mode télécommandé par le sol et est un mode permanent. On ne peut sortir de ce mode que par une commande du sol. Le seul mode de sortie est le mode WODEX.

Le satellite désactive tous les circuits inutiles et ne fait plus aucune transmission.

Les WODEX sont toujours enregistrés mais non transmises. On ne fait pas de surveillance de seuil batterie.

## Mode relais FM:

* **Objectif :**
* Le satellite permet aux radioamateurs d'utiliser le transpondeur.
* **Activité :**
* L’ODB active le mode relais FM. Le fonctionnement détaillé du mode FM sera décrit dans la spécification de l’ODB.
* Les WODEX sont actifs en sous tache, mais la transmission des WODEX ne sera faite que toutes les 2 minutes, paramétrable de 1 à 4 mn (paramètre 9).
* Le temps de mode relais FM sera un mode paramétré. Il pourra être entre 1 et 96 orbites (6 jours) (paramètre 11). À la fin du temps, le satellite passe en mode WOD.

# Liste des paramètres :

Les paramétres peuvent etre envoyés de façon individuelle avec une commande de la forme

P#,X

# correspond au numéro du parametre et X la valeur du paramétre.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Paramètre | Description | Valeur | Valeur par défaut |
| 1 | Cycle de répétition de la CW | De 10s à 60 s par pas de 5 s (11 valeurs de 0 à 10). | 30 s (valeur 4) |
| 2 | Transmissions intermédiaires des WODEX | Temps intermédiaire 1 : une répétition à 30s  Temps intermédiaire 2 : 3 répétition toutes les 15s  Temps intermédiaire 3 : 7 répétition toutes les 7.5 s  Temps intermédiaire 0 : répétition toutes les 1mn 30s | 7.5s (valeur4) |
| 3 | Numéro du script FIPEX | Entre 1 et 7 | Valeur par défaut : 1 |
| 4 | Vitesse de descente des WODEX | 1= Wodex 1200  2= Wodex 9600 | Défault : 1 |
| 5 (inactif) | Cycle de lecture des mesures d’attitudes | Entre 15s et 1 minutes par pas de 15s (4 valeurs) | Valeur par défaut 60s |
| 6 | Non utilisé |  |  |
| 7 | Seuil tension batterie faible V\_BAT\_Min | Valeur de 5.4 à 6.0V par pas de 0.1V (7 valeurs) | Valeur par défaut 6.0V |
| 8 | Non utilisé |  |  |
| 9 | WODEX en mode relais FM | toutes les 2 minutes, paramétrable de 1 à 4 mn par pas de 1mn (4 valeurs) | Valeur par défaut : 2 (valeur) |
| 10 | Temps de contrôle d’attitude | entre 15 et 360 mn (4 orbites) par pas de 15 mn (25 valeurs, de 0 à 24). | Valeur par défaut : 0 (mode permanent). |
| 11 | temps du mode relais FM | 1 et 96 orbites (6 jours) par pas de 90 mn (1 orbite). 96 valeurs | Valeur par défaut : 16 orbites |
| 12 | Seuil tension batterie pour sortir du mode recharge.  V\_BAT\_1 | Valeur de 6.4V à 6.8V (5 valeurs)… | Valeur par défaut : 1 ( 6.4V) |
| 13 | Passage mode TLM base 64 | 0 :mode hexa  1 : mode base 64 |  |
| 14 | Température PA max  T\_PA\_MAX | 8 valeurs de 0 à 7 | Valeur par défaut : 1 |
| 15 | T\_PA\_Min | 6 valeurs de 0 à 5 | Valeur par défaut : 4 |
| 32 | Niveau de puissance en CW | De 1 à 4  1 = 0.5W, 2 = 1W  3= 1.5W, 4 = 2W | De 1 à 4  1 = 0.5W, 2 = 1W  3= 1.5W, 4 = 2W |
| 33 | Niveau de puissance en mode WODEX 1200 ou WODEX 9600 | De 1 à 4  1 = 0.5W, 2 = 1W  3= 1.5W, 4 = 2W | Valeur par défaut : 1 |
| 34 | Niveau de puissance en mode relais | De 1 à 4  1 = 0.5W, 2 = 1W  3= 1.5W, 4 = 2W | De 1 à 4  1 = 0.5W, 2 = 1W  3= 1.5W, 4 = 2W |
| 35 | Tempo TLM en mode relais | 1= 1mn, 2 = 2 mn | Défaut : 1 |
| 36 | Durée descente WOD en mn | De 1 à 15 | Défault : 5 |
| 37 | Durée de descente valeurs capteurs bruts ADCS |  |  |

**Tableau 2 :** Liste des Paramètres

# Liste télécommandes :

Cette liste ne représente que les commandes opérationnelles.

A ces commandes opérationnelles, il faudra rajouter les commandes de tests spécifiques de la sonde FIPEX.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Description | Syntaxe | Paramètre | Signification Paramètre |
| Passage en mode CW | C1, X, Y | X de 0 à 10  Y de 1 à 4 | X= paramètre 1  Y = niveau de puissance (P32) |
| Passage en mode WOD  1200 (attention coupe les autres modes ADCS ou FIPEX) | C2, X, Y | X de 1 à 3  Y de 1 à 4 | X= paramètre 2  Y = niveau de puissance (P33) |
| Passage en mode WOD 96 (attention coupe les autres modes ADCS ou FIPEX) | C3, X,Y | X de 1 à 3  Y de 1 à 4 | X= paramètre 2  Y = niveau de puissance (P33) |
| Active l’ADCS et passage en mode mesure d’attitude en définissant le cycle | C4,X | X de 1 à 4 (pas de 15s). De 15s à 60s | Par défault toutes les 60s  X =P5 |
| Passage en mode contrôle d’attitude réduit. Active uniquement les bobines | C5,d, X, Y,Z | d, durée activation bobines en mn  X,Y,Z : PWM de -100 à +100 | d au maximum de 45 mn |
| Passage en mode FIPEX | C6, X | X de 1 à 7 | X= paramètre 3  Par default 1 |
| Passage en mode Relais FM | C7, X, Y | X de 1 à 96  Y de 1 à 4 | X= paramètre 11  Y = niveau de puissance (P34) |
| Passage en mode Standby | C8 |  |  |
| Descente des télémétries (vidage WODEX en 9600) | C9, Y, Z | Y de 1 à 4  Z de 1 à 15 | Y = niveau de puissance (P33)  Z= durée (P36) |
| Descente des télémétries (vidage WODEX en 1200) | C10, Y, Z | Y de 1 à 4  Z de 1 à 15 | Y = niveau de puissance (P33)  Z= durée (P36) |
| PING | C11, X | X de 1 à 99 | X valeur renvoyé dans le retour du PING |
| Arrêt vidage données WODEX | C12 |  |  |
| Effacement données FIPEX (SU) en mémoire (Req ICD QB50-SYS-1.4.9) | C13 |  |  |
| Mode mesure d’attitude tests  Valeurs capteurs  (non actif) | C14, X, Y | X de 1à 3 | X = paramètre 5  Y= paramètre 37 |
| Mode contrôle d’attitude tests  Valeurs capteurs + actuateurs  (non actif) | C15, X, Y | X de 1 à 24  Y de 1 à 3 | X=paramètre 10  Y= paramétre 5 |
| Fin mode contrôle d’attitude  (pas implémenté) | C16 | Pas utile |  |
| Chargement TLE | T,xxxxx | Détails ci-dessous |  |
| Init RTC | H,xxxx | Détails ci-dessous |  |
| Envoie script FIPEX | FX,yyyyyyyy | X de 1 à 7 (num du script)  Yyyyyy : data |  |

Tableau : Liste des commandes opérationelles

* **Envoie script FIFEX :**

Commande :

* caractère F suivit du numéro du script.
* Caractère virgule suivit des données du script.

* **Envoie des TLE vers le satellite.**

Voir chapitre 7.1.1 du document Dossier Technique du calculateur Cubesat Version 12.

Commande :

T, 1 39761U 14028A 14171.54665439 .00000010 00000-0 00000+0 0 954 ;

2 39761 82.4506 332.0600 0018715 253.3426 106.5620 12.42613507 3514

Au total il y a 2+69+1+69 = 141 caractères à transmettre.

Ces paramètres s’appellent des TLE (Two Lines Elements Set). Ils sont donnés par le NORAD ou calculé par la station sol à partir des positions GPS.

Une explication des TLE sont données sur le site :

<http://perso.numericable.fr/~wolf424/univers.ovni/rentrees/elements_kepleriens.html>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Two-Line_Elements>

Ces 2 lignes contiennent 69 caractères (y compris les espaces), longueur fixe.

Exemple d’une page de TLE de satellite.

<https://celestrak.com/NORAD/elements/cubesat.txt>

Exemple des paramètres de QB50P2.

<https://celestrak.com/NORAD/elements/cubesat.txt>

QB50P2

1 40032U 14033Y 14353.42992669 .00004580 00000-0 53287-3 0 5444

2 40032 97.9666 248.2513 0013378 50.7336 309.5089 14.85739879 27087

* **Initialisation de l’horloge interne du satellite :**

Commande :

L’heure et la date seront transmises sous la forme suivante :

H,JJ,MM,AAAA,HH,mm,ss

JJ= jour

MM : mois

AAAA : année

HH : heure

mm : minutes

ss : secondes

* **Paramétres modifiables par télécommandes :**

Voir la description dans le document Dossier technique du calculateur Cubesat.

Paramètre 14 (T\_PA\_MAX) :

Température Max du PA

Commande : P14, X

X valeur de 0 à 7

0=73°C; 1=75°C; 2=77°C ; 3=79°C ; 4=81°C ; 5=83°C ; 6=85°C ; 7=87°C

Valeur par défaut : 75°C

Paramètre 15 (T\_PA\_Min) :

Température Min du PA

Commande : P15, X

X valeur de 0 à 5

0= 60°C ; 1=62°C ; 2=64°C ; 3=66°C ; 4=68°C ; 5=70°C

Paramètre 4 :

Nombre de jours d’enregistrement des WODEX

Commande : P4, X (X de 1 à 3)

1= 1jour ; 2= 2jours ; 3= 3jours

Valeur par défaut : 3

Paramètre 7 :

Seuil de tension batterie faible (V\_BAT\_Min)

Commande : P7, X (X de 1 à 7)

1= 5.4V ; 2=5.5V ; 3= 5.6V ; 4= 5.7V ; 5=5.8V ; 6=5.9V ; 7=6V

Valeur par défaut : 7

Paramètre 12 :

Seuil tension batterie pour sortir du mode recharge (V\_BAT\_1)

Commande : P12, X (X de 1 à 5)

1= 6.4V ; 2= 6.5V ; 3= 6.6V ; 4= 6.7V ; 5=6.8V

Valeur par défaut : 1

Le tableau ci-dessous indique quelle commande peut être prise en compte dans un mode donné.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Commande | MODE | | | | | | | |
| Initialisation | CW | Stanby | Wodex | Contrôle d’attitude | Fipex | Relay FM | Recharge batteries |
| Passage en mode CW |  |  |  | X |  |  |  |  |
| Passage en mode WODEX |  | X | X |  |  |  |  | X |
| Activation Mesure d’attitude |  |  |  | X |  |  |  |  |
| Activation contrôle d’attitude |  |  |  | X |  |  |  |  |
| Passage en mode FIPEX |  |  |  | X | X |  | X |  |
| Passage en mode Relais FM |  |  |  | X |  |  |  |  |
| Passage en mode Standby |  |  |  | X |  |  |  |  |
| Descente des télémétries (vidage WODEX) |  |  |  | X | X | X | X |  |
| Passage en mode GPS |  |  |  | X |  |  |  |  |
| PING |  | X |  | X | X | X | X |  |
| Arrêt Vidage Données WOD |  |  |  | X | X | X | X |  |
| Effacement données FIPEX (SU) en mémoire (Req ICD QB50-SYS-1.4.9) |  |  |  | x | x | X |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Tableau : mode / Commande