



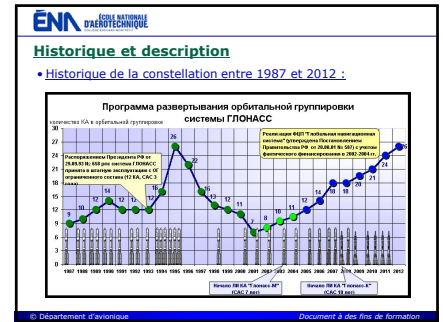
1

Introduction

- L'Union Soviétique a toujours été pionnière dans la conquête de l'espace.
- Lorsque les études sur le GPS ont débuté aux États-Unis, celles sur le GLONASS ont suivi en U.R.S.S.
- GLONASS signifie « **GLOBAL Navigation Satellite System** » (ГЛОБАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА).
- Le système GLONASS est constitué de satellites envoyant des signaux codés sur des fréquences différentes permettant à des utilisateurs au sol ou dans l'espace à proximité immédiate de la Terre d'effectuer des relevements de position, de vitesse et de temps.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

4



7



2

Historique et description

- En 1967, déjà, l'U.R.S.S. avait mis sur orbite un premier satellite de navigation « Cosmos 192 » émettant des signaux sur 150 MHz et 400 MHz.
- Il préparait la mise en place du système Tsikada (Цикада) qui, en 1979, était composé de 4 satellites placés sur des orbites circulaires à 1.000 Km (LEO).
- Il était le pendant civil du système de navigation militaire Parus.
- Avec ce système, on pouvait acquérir le signal d'un satellite toutes les 1,5 à 2 heures pour déterminer sa position en 5 à 6 minutes.
- Par la suite, Tsikada a été amélioré et a embarqué des transpondeurs COSPAS pour les balises de détresse.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

5

Historique et description

- Des satellites GLONASS-M (2003) et GLONASS-K1 (2011) de nouvelle génération ont commencé à être mis en orbite; ils disposent de deux fréquences civiles supplémentaires.
- Ils ont été suivis en 2023 par des satellites GLONASS-K2.
- Malgré que les autorités russes maintiennent et développent GLONASS, ce pays a également collaboré au système européen Galileo.
- Des lanceurs Soyouz ont, par exemple, été utilisés pour placer des satellites Galileo sur orbite, mais il y a eu des échecs.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

8

Présentation du cours

- Introduction.
- Historique et description.
- Constitution du système.
- Paramètres du système.
- Conclusions.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

3

Historique et description

- Faisant suite à Tsikada, l'U.R.S.S. a développé Uragan devenu GLONASS.
- Gérés par les militaires, ce système a été déclaré pleinement opérationnel en décembre 1995 avec 24 satellites permettant de fournir une couverture totale de la planète autant aux utilisateurs civils que militaires.
- Toutefois, après 1995, GLONASS n'a pu être maintenu à un niveau opérationnel de 24 satellites faute de subsides adéquats.
- Depuis 2007, un fonctionnement minimum à 18 satellites a malgré tout été possible.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

6

Historique et description

- Le système GLONASS est géré par les Forces Spatiales pour le compte du Gouvernement de la Fédération de Russie.
- Tout comme pour les autres systèmes GNSS, la mise en service complète du GLONASS a des retombées dans les secteurs suivants : la gestion des trafics aériens et maritimes, la géodésie et la cartographie, la surveillance du transport terrestre, les systèmes nécessitant une référence de temps fiable, la surveillance écologique ainsi que les opérations de recherche et de sauvetage.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

9

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

- Comme les autres systèmes GNSS, GLONASS est constitué des **trois segments** habituels : **spatial**, **contrôle** et **utilisateurs**.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

10

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Segment spatial

Capacités	Glonass	Glonass-M	Glonass-K	Glonass-K2
Launchers			Soyuz 2-1b, Proton-M	
Design lifetime, years	5.5	7	10	10
Mass, kg	1580	1415	935	1680
Dimensions, m		2,7x0,5x0,271	2,2x0,57x1,43	2,2x0,57x1,43
Power, W		1400	1270	4370
Platform Design	Pressurized	Pressurized	Unpressurized	Unpressurized
Clock Stability, as per Specification (Observed)	$\pm 10^{-12}$ / $\pm 10^{-11}$	$\pm 10^{-12}$ / $\pm 10^{-14}$	$\pm 10^{-12}$ / $\pm 10^{-14}$	$\pm 10^{-12}$ / $\pm 10^{-14}$
Satellite Components				
RF	+	+	+	+
Laser	+	+	+	+
Search and Rescue	+	+	+	+

© Département d'avionique Document à des fins de formation

13

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Segment de contrôle

- Le système GLONASS est contrôlé par un **ensemble de stations au sol** appelé « GCS – Ground Control Complex ».
- Le **centre de contrôle du système** (SCC – System Control Center) est établi à Krasnoznamensk (Golitsyno) près de Moscou.
- Il y a une **horloge de référence** à Schelkovo.
- Plusieurs **stations de télémétrie, de poursuite et de commande** (TT&C – Telemetry, Tracking & Command Centers) sont réparties sur le territoire russe.
- Un ensemble de **stations de surveillance et de mesures** (MS – Monitoring and Measuring Stations) complète le **segment au sol**.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

16

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Segment spatial

- Le système GLONASS est prévu pour fonctionner avec au minimum **24 satellites** répartis sur **trois plans orbitaux** répartis à 120° .
- Sur chaque plan orbital, les **8 satellites** sont également répartis à 45° les uns des autres.
- Les orbites se situent à une altitude de **19,100 km** et sont inclinées de $64,8^\circ$.
- Un satellite effectue un **tour complet** sur son orbite en environ **11 heures et 15 minutes**.
- La disposition des satellites permet la **visibilité de 5 satellites** au minimum pour tout **utilisateur** situé sur la **Terre**.



© Département d'avionique Document à des fins de formation

11

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Segment spatial



Satellite URAGAN-M

- Les satellites GLONASS sont équipés d'horloges au Césium dont l'erreur de fréquence ne dépasse pas **15 nanosecondes**.
- Des **corrections d'horloge** interviennent **deux fois par jour**.


© Département d'avionique Document à des fins de formation

14

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Segment de contrôle



- Les **TT&C** contrôlent les données et vérifient les paramètres des satellites en vue.
- Celles-ci sont envoyées au **SCC** qui détermine ensuite les **corrections à apporter** et les **modifications à inclure** dans les données de navigation émises par les satellites.
- Les **modifications** ainsi que les **nouvelles données** sont envoyées aux satellites par trois « **Upload Stations** » (ULS).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

17

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Segment spatial



Capacités	Glonass	Glonass-M	Glonass-K	Glonass-K2
Time of Deployment	1982-2005	2003-2016	2011-2018	2017+
Status	Decommissioned	In use	Design maturation based on in-orbit validation	In development

Constellation GLONASS actuelle

© Département d'avionique Document à des fins de formation

12

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Segment spatial



Satellite URAGAN-K

- La référence de temps **GLONASS System Time** est basée sur une **horloge à Hydrogène** située à **terre**.
- Chaque satellite GLONASS émet des **données de navigation** destinées aux utilisateurs.

© Département d'avionique Document à des fins de formation



15

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Segment utilisateurs

- Le système GLONASS propose **deux types de services de navigation** :
 - SP Précision Standard** : gratuit, destiné à tous les utilisateurs civils
 - HP Haute Précision** : destiné aux militaires et services gouvernementaux.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

18

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Paramètres du système

Organisation des fréquences

- On a attribué à chaque satellite GLONASS un numéro de canal que l'on désigne habituellement par « n » ou « k ».
- Dans le cas d'un service SP, on parle d'une fréquence L1 (différente du GPS !) établie suivant la règle suivante :

$$L1 = 1602 \text{ MHz} + (n \times 0,5625 \text{ MHz})$$
- Dans le cas de L1, « n » va de -7 à +6.
- Ceci montre que chaque satellite GLONASS émet sur une fréquence qui lui est propre.
- Toutefois, certains satellites pourraient avoir la même fréquence, mais, dans ce cas, ils seraient placés aux antipodes les uns des autres sur le même plan orbital.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

19

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Paramètres du système

Organisation des fréquences

Capacités	GLONASS	GLONASS M	GLONASS K	GLONASS K2
Signal Type	FSMA	FSMA + CDMA for SPS (S1)	FSMA and CDMA	FSMA and CDMA
Open Access Signals for GNSS Signals (Center Frequency Values are Provided)	L1 (1575.42 MHz) L2 (1246.00 MHz)	L1 (1575.42 MHz) L2 (1246.00 MHz) L3 (1204.704 MHz) for SPS	L1 (1575.42 MHz) L2 (1246.00 MHz) L3 (1204.704 MHz) for SPS	L1 (1575.42 MHz) L2 (1246.00 MHz) L3 (1204.704 MHz)
Restricted Access Signals	L1 (1575.42 MHz) L2 (1246.00 MHz)	L1 (1575.42 MHz) L2 (1246.00 MHz)	L1 (1575.42 MHz) L2 (1246.00 MHz) L3 (1204.704 MHz) for SPS	L1 (1575.42 MHz) L2 (1246.00 MHz) L3 (1204.704 MHz)
Future - GLONASS				L1 (1575.42 MHz) L2 (1246.00 MHz) L3 (1204.704 MHz)

© Département d'avionique Document à des fins de formation

22

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Conclusions



- Le système GLONASS a été développé avant la chute de l'Union des Républiques Socialistes Soviétiques: il était un symbole de fierté et de propagande pour les Soviétiques.
- Le contexte actuel fait que chaque acteur important du monde géopolitique dispose ou est en voie de disposer de son propre système GNSS géré en totale indépendance, même s'il peut y avoir des collaborations sporadiques.
- Ainsi, les Russes coopèrent avec les Chinois au sujet des GNSS.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

25

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Paramètres du système

Organisation des fréquences

- Dans le cas d'un service HP, on parle alors d'une fréquence L2 (différente du GPS !) établie suivant la règle suivante :

$$L2 = 1246 \text{ MHz} + (n \times 0,4375 \text{ MHz})$$
- Dans le cas de L2, « n » va également de -7 à +6.
- Depuis 2006, une troisième fréquence L3 a été ajoutée :

$$L3 = 1204,704 \text{ MHz} + (n \times 0,423 \text{ MHz})$$
- Dans le cas de L3, « n » va de -7 à +12.
- Le numéro de canal « n » reste le même pour un même satellite, et donc, aussi, pour les trois fréquences.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

20

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Paramètres du système

Les données de navigation



- Les données de navigation transmises par les satellites sont les suivantes :
 - La diffusion des éphémérides.
 - Les décalages temporels relatifs des horloges des satellites par rapport au GLONASS System Time et au Temps Universel Coordonné (UTC).
 - Les repères temporels.
 - L'almanach du système GLONASS.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

23

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE



Merci de votre attention

© Département d'avionique Document à des fins de formation

26

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Paramètres du système

Organisation des fréquences

- L'ensemble des fréquences L1, L2 et L3 :

Fréquence	L1	L2	L3
1602.0000	1246.0000	1204.704	
n = -7	1598.0625	1242.9375	1202.7430
n = -6	1598.5950	1243.3750	1203.1605
n = -5	1599.1275	1243.8125	1203.5780
n = -4	1599.6600	1244.2500	1203.9955
n = -3	1600.1925	1244.6875	1204.4130
n = -2	1600.7250	1245.1250	1204.8305
n = -1	1601.2575	1245.5625	1205.2480
n = 0	1601.7900	1246.0000	1205.6655
n = 1	1602.3225	1246.4375	1206.0830
n = 2	1602.8550	1246.8750	1206.5005
n = 3	1603.3875	1247.3125	1206.9180
n = 4	1603.9200	1247.7500	1207.3355
n = 5	1604.4525	1248.1875	1207.7530
n = 6	1604.9850	1248.6250	1208.1705
n = 7	1605.5175	1249.0625	1208.5880
n = 8	1606.0500	1249.5000	1209.0055
n = 9	1606.5825	1250.0000	1209.4230
n = 10	1607.1150	1250.4375	1209.8405
n = 11	1607.6475	1250.8750	1210.2580
n = 12	1608.1800	1251.3125	1210.6755

A chaque ligne correspond un satellite !

L1 : Signal C/A + data SP.
Signal P + data HP.
L2 : Signal C/A + data SP (>2004).
Signal P + data HP (>2004).
L3 : Signal C/A + data SP (>2017).
Signal P + data HP (>2017).

© Département d'avionique Document à des fins de formation

21

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Paramètres du système

Les données de navigation



- Les éphémérides correspondent aux coordonnées exactes des satellites (x, y, z et leurs dérivées première et seconde) suivant le système de référence géocentrique PZ-90 (une corrélation vers le système WGS-84 semble être en cours).
- L'almanach contient toutes les données relatives aux satellites GLONASS y compris les éléments liés au calcul des orbites suivant les lois de Kepler ainsi que les témoins de dysfonctionnement.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

24