

1

4

Diagram illustrating the deployment of the GLONASS orbital constellation from 1987 to 2012. The Y-axis shows the number of satellites (1 to 27) and the X-axis shows the years. The plot shows the sequence of launches, with labels for each satellite and the date of launch. A legend at the bottom right provides details on the GLONASS system.

Programma развертывания орбитальной группировки системы ГЛОНАСС

Развертывание 30-го ГЛОНАСС-спутника запланировано в 2013 году. Всего запланировано 27 спутников. Планируется, что к 2015 году система ГЛОНАСС будет иметь полную орбитальную группировку.

Развертывание 30-го ГЛОНАСС-спутника запланировано в 2013 году. Всего запланировано 27 спутников. Планируется, что к 2015 году система ГЛОНАСС будет иметь полную орбитальную группировку.

Легенда:

- Начало ГЛОНАСС-спутника (ГС) (КАС-1)
- Начало ГЛОНАСС-спутника (ГС) (КАС-2)

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 paraît la mise en place du système Tsikada (Узкада) 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.

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.

8

ENAv ÉCOLE NATIONALE D'AVIATIONNISTIQUE

Présentation du cours



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

3

Historique et description

- Faisant suite à Tsikada, l'U.R.S.S. a développé Uragan devenu **GLONASS**.
- Géré 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 subsidies adéquats.
- Depuis 2007, un fonctionnement minimum à 18 satellites a malgré tout été possible.

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.

9

ENA 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

ENA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Segment spatial

Capacités	Glonass	Glonass M	Glonass K	Glonass K2
Launchers			Soyouz-2.1b, Proton-M	
Design/ lifetime, years	3.5	7	10	10
Mass, kg	1500	1415	935	1600
Dimensions, m		2.71x0.95x2.71	2.33x0.87x1.40	2.33x0.87x1.40
Power, W		1400	1270	4370
Platform Design	Pressurized	Pressurized	Unpressurized	Unpressurized
Clock Stability as per Specification/ Observed	$\pm 10^{-12} / \pm 10^{-12}$	$\pm 10^{-12} / \pm 10^{-14}$	$\pm 10^{-12} / \pm 10^{-14}$	$\pm 10^{-12} / \pm 10^{-15}$
Satellite Crosslinks:	—	—	—	—
Power	—	—	—	—
Search and Rescue	—	—	—	—

© Département d'avionique Document à des fins de formation

13

ENA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Segment de contrôle

© Département d'avionique Document à des fins de formation

- 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 Krasnoyarsk (Golitsyno) près de Moscou.
- Il y a une horloge de référence à Schelkovo.
- Plusieurs stations de télémesure, 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**) complètent le **segment au sol**.

© Département d'avionique Document à des fins de formation

16

ENA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Segment spatial

© Département d'avionique Document à des fins de formation

- 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°**.
- 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

ENA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Segment spatial

© Département d'avionique Document à des fins de formation

- 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

ENA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Segment de contrôle

© Département d'avionique Document à des fins de formation

- 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

ENA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Segment spatial

© Département d'avionique Document à des fins de formation

Capacités	Glonass	Glonass M	Glonass K	Glonass K2
Time of Deployment	1982-2005	2003-2016	2011-2018	2014+
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

ENA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Constitution du système

Segment spatial

© Département d'avionique Document à des fins de formation

- 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

ENA 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

ENÀ 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 1) 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

ENÀ ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Paramètres du système

Organisation des fréquences

Capacités	GLONASS	GLONASS-M	GLONASS-K	GLONASS-K2
Signal Type	FDMA and CDMA	FDMA and CDMA	FDMA and CDMA	FDMA and CDMA
Open Access Signals (or FDMA Signals Center Frequency Values are Prescribed)	L1OF (1602 MHz) L1OF (1592 MHz) L1OF (1582 MHz) L1OF (1572 MHz) L1OF (1562 MHz) L1OF (1552 MHz) L1OF (1542 MHz) L1OF (1532 MHz) L1OF (1522 MHz) L1OF (1512 MHz) L1OF (1502 MHz) L1OF (1492 MHz) L1OF (1482 MHz) L1OF (1472 MHz) L1OF (1462 MHz) L1OF (1452 MHz) L1OF (1442 MHz) L1OF (1432 MHz) L1OF (1422 MHz) L1OF (1412 MHz) L1OF (1402 MHz) L1OF (1392 MHz) L1OF (1382 MHz) L1OF (1372 MHz) L1OF (1362 MHz) L1OF (1352 MHz) L1OF (1342 MHz) L1OF (1332 MHz) L1OF (1322 MHz) L1OF (1312 MHz) L1OF (1302 MHz) L1OF (1292 MHz) L1OF (1282 MHz) L1OF (1272 MHz) L1OF (1262 MHz) L1OF (1252 MHz) L1OF (1242 MHz) L1OF (1232 MHz) L1OF (1222 MHz) L1OF (1212 MHz) L1OF (1202 MHz) L1OF (1192 MHz) L1OF (1182 MHz) L1OF (1172 MHz) L1OF (1162 MHz) L1OF (1152 MHz) L1OF (1142 MHz) L1OF (1132 MHz) L1OF (1122 MHz) L1OF (1112 MHz) L1OF (1102 MHz) L1OF (1092 MHz) L1OF (1082 MHz) L1OF (1072 MHz) L1OF (1062 MHz) L1OF (1052 MHz) L1OF (1042 MHz) L1OF (1032 MHz) L1OF (1022 MHz) L1OF (1012 MHz) L1OF (1002 MHz) L1OF (992 MHz) L1OF (982 MHz) L1OF (972 MHz) L1OF (962 MHz) L1OF (952 MHz) L1OF (942 MHz) L1OF (932 MHz) L1OF (922 MHz) L1OF (912 MHz) L1OF (902 MHz) L1OF (892 MHz) L1OF (882 MHz) L1OF (872 MHz) L1OF (862 MHz) L1OF (852 MHz) L1OF (842 MHz) L1OF (832 MHz) L1OF (822 MHz) L1OF (812 MHz) L1OF (802 MHz) L1OF (792 MHz) L1OF (782 MHz) L1OF (772 MHz) L1OF (762 MHz) L1OF (752 MHz) L1OF (742 MHz) L1OF (732 MHz) L1OF (722 MHz) L1OF (712 MHz) L1OF (702 MHz) L1OF (692 MHz) L1OF (682 MHz) L1OF (672 MHz) L1OF (662 MHz) L1OF (652 MHz) L1OF (642 MHz) L1OF (632 MHz) L1OF (622 MHz) L1OF (612 MHz) L1OF (602 MHz) L1OF (592 MHz) L1OF (582 MHz) L1OF (572 MHz) L1OF (562 MHz) L1OF (552 MHz) L1OF (542 MHz) L1OF (532 MHz) L1OF (522 MHz) L1OF (512 MHz) L1OF (502 MHz) L1OF (492 MHz) L1OF (482 MHz) L1OF (472 MHz) L1OF (462 MHz) L1OF (452 MHz) L1OF (442 MHz) L1OF (432 MHz) L1OF (422 MHz) L1OF (412 MHz) L1OF (402 MHz) L1OF (392 MHz) L1OF (382 MHz) L1OF (372 MHz) L1OF (362 MHz) L1OF (352 MHz) L1OF (342 MHz) L1OF (332 MHz) L1OF (322 MHz) L1OF (312 MHz) L1OF (302 MHz) L1OF (292 MHz) L1OF (282 MHz) L1OF (272 MHz) L1OF (262 MHz) L1OF (252 MHz) L1OF (242 MHz) L1OF (232 MHz) L1OF (222 MHz) L1OF (212 MHz) L1OF (202 MHz) L1OF (192 MHz) L1OF (182 MHz) L1OF (172 MHz) L1OF (162 MHz) L1OF (152 MHz) L1OF (142 MHz) L1OF (132 MHz) L1OF (122 MHz) L1OF (112 MHz) L1OF (102 MHz) L1OF (92 MHz) L1OF (82 MHz) L1OF (72 MHz) L1OF (62 MHz) L1OF (52 MHz) L1OF (42 MHz) L1OF (32 MHz) L1OF (22 MHz) L1OF (12 MHz) L1OF (2 MHz) L1OF (1 MHz) L1OF (0.5 MHz)			
Restricted Access Signals	L1SF (1610 MHz) L1SF (1537 MHz) L1SF (1237 MHz)	L1SF (1590 MHz) L1SF (1530 MHz) L1SF (1230 MHz)	L1SF (1570 MHz) L1SF (1510 MHz) L1SF (1210 MHz)	L1SF (1550 MHz) L1SF (1590 MHz) L1SF (1250 MHz)

© Département d'avionique Document à des fins de formation

22

ENÀ 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

ENÀ ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Paramètres du système

Organisation des fréquences

- Dans le cas d'un service HP, on parle d'une fréquence L2 (différente du GPS 1) 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

ENÀ ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Paramètres du système

Les données de navigation



© Département d'avionique Document à des fins de formation

- 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

ENÀ ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE



© Département d'avionique Document à des fins de formation

Merci de votre attention

© Département d'avionique Document à des fins de formation

26

ENÀ ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Paramètres du système

Organisation des fréquences

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

A chaque ligne correspond un satellite !

	L1	L2	L3
Fréquence	1602,0000	1246,0000	1204,7040
nf	0,5625	0,4375	0,4233
n = -7	1598,4625	1246,9375	1201,7430
n = -6	1598,0000	1246,5000	1200,3125
n = -5	1599,1875	1248,8125	1202,5890
n = -4	1599,7500	1249,2500	1203,0120
n = -3	1600,3125	1249,6875	1203,4350
n = -2	1600,8750	1245,1250	1203,8580
n = -1	1602,0000	1248,0000	1204,2810
n = 0	1602,0000	1248,0000	1204,7040
n = 1	1602,5625	1248,4375	1205,1270
n = 2	1603,1250	1248,8750	1205,5500
n = 3	1603,6875	1247,3125	1205,9730
n = 4	1604,2500	1247,7500	1206,3960
n = 5	1604,8125	1248,1875	1206,8190
n = 6	1605,3750	1248,6250	1207,3420
n = 7	1207,6650		
n = 8	1208,2275		
n = 9	1208,7900		
n = 10	1209,3525		
n = 11	1209,9150		
n = 12	1209,7800		

© Département d'avionique Document à des fins de formation

21

ENÀ ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

Paramètres du système

Les données de navigation



© Département d'avionique Document à des fins de formation

- Les éphémérides correspondent aux coordonnées exactes des satellites (x, y, z et leurs dérivées première et seconde) suivant le système de référence géocentrique P-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