

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD MONTFRET



Wikimedia

GLONASS

© Département d'avionique Document à des fins de formation

1

ÉNA ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE
COLLÈGE ÉDOUARD MONTFRET

Avant de débiter le cours ...



Merci !

© Département d'avionique Document à des fins de formation

2

Présentation du cours



Photo © Pierre GILLARD/2018-527290

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

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

3

Introduction



Photo © Pierre GILLARD/2018-525687

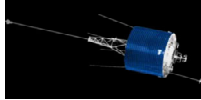
- L'Union Soviétique a toujours été pionnière dans la conquête de l'espace.
- Lorsque les études sur le GPS ont débuté aux États-Unis, celles sur le GLONASS ont suivi en U.R.S.S.
- GLONASS signifie « **GLObal NAVigation Satellite System** » (ГЛОУАСС-глобальная навигационная спутниковая система).
- Le 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 relèvements de position, de vitesse et de temps.

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

4

Historique et description



Images : auteurs inconnus

- 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



- 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 subsidés 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

- Historique de la constellation entre 1987 et 2012 :

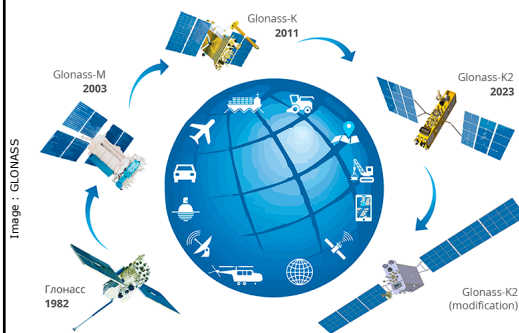


© Département d'avionique

Document à des fins de formation

7

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

Historique et description

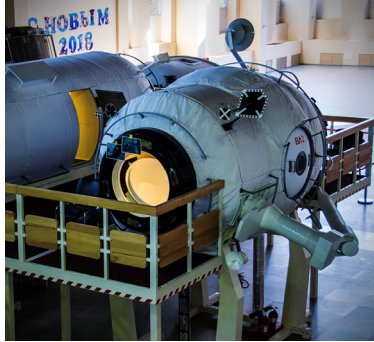


Photo © Pierre GILLARD/2018-526432



© Pierre GILLARD/2018-527228

- 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.

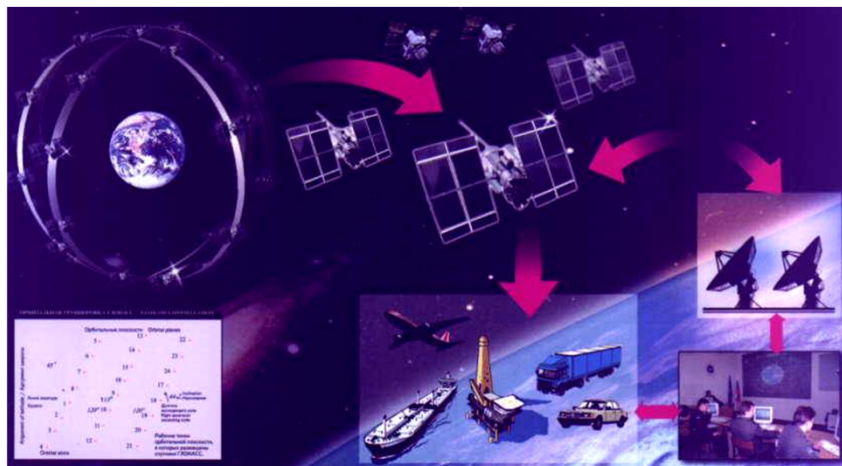
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

9

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

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

Constitution du système

Segment spatial



Tableau : GLONASS

Capabilities	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

Constitution du système

Segment spatial

Capabilities	Glionass	Glionass-M	Glionass-K	Glionass-K2
Launchers			Soyuz-2.1b, Proton-M	
Design Lifetime, years	3.5	7	10	10
Mass, kg	1500	1415	935	1600
Dimensions, m		2,71x3,05x2,71	2,53x3,01x1,43	2,53x6,01x1,43
Power, W		1400	1270	4370
Platform Design	Pressurized	Pressurized	Unpressurized	Unpressurized
Clock Stability, as per Specification/Observed	$5 \cdot 10^{-13} / 1 \cdot 10^{-13}$	$1 \cdot 10^{-13} / 5 \cdot 10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-13} / 5 \cdot 10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-14} / 5 \cdot 10^{-15}$
Satellite Crosslinks:	RF	+	+	+
	Laser	—	—	+
Search and Rescue	—	—	+	+

Tableau : GLONASS

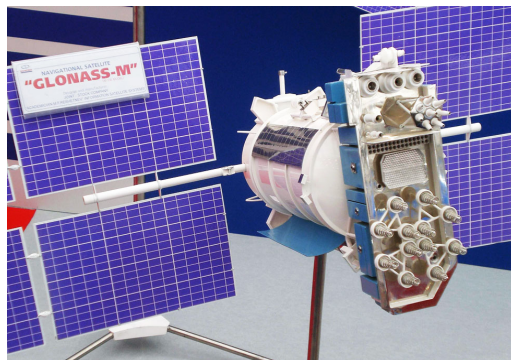
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

13

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.

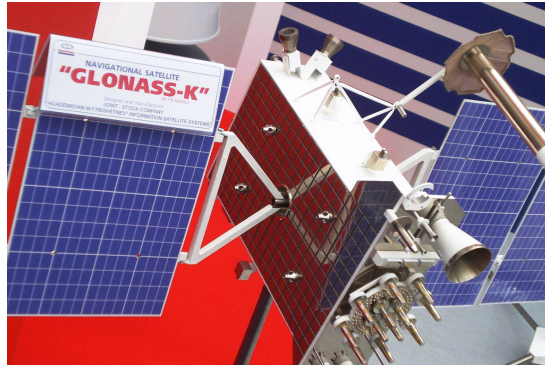
© Département d'avionique

Document à des fins de formation

14

Constitution du système

Segment spatial

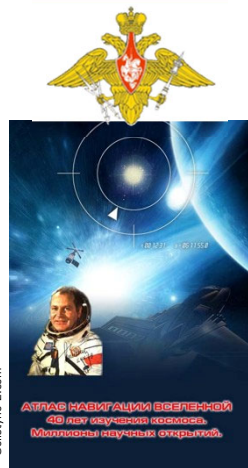


Satellite URAGAN-K

- 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.

Constitution du système

Segment de contrôle



Centre Gherman TITOV

- 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 (Golystyno) 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*) complètent le segment au sol.

Constitution du système

Segment de contrôle

Image : Navipedia (ESA)



- 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

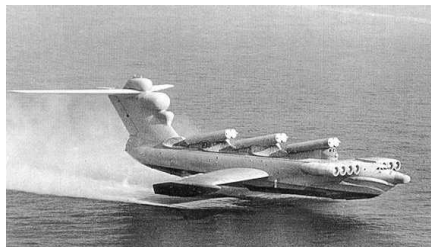
17

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

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, certain satellites pourraient avoir la même fréquence, mais, dans ce cas, ils seraient placés aux antipodes les uns des autres sur le même plan orbital.

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.

Paramètres du système

Organisation des fréquences

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

À 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 P₂ + data HP (>2017).

	L1 MHz	L2 MHz	L3 MHz
Fcentrale	1602,0000	1246,0000	1204,704
ΔF	0,5625	0,4375	0,423
n = -7	1598,0625	1242,9375	1201,7430
n = -6	1598,6250	1243,3750	1202,1660
n = -5	1599,1875	1243,8125	1202,5890
n = -4	1599,7500	1244,2500	1203,0120
n = -3	1600,3125	1244,6875	1203,4350
n = -2	1600,8750	1245,1250	1203,8580
n = -1	1601,4375	1245,5625	1204,2810
n = 0	1602,0000	1246,0000	1204,7040
n = 1	1602,5625	1246,4375	1205,1270
n = 2	1603,1250	1246,8750	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	1207,2420
n = 7			1207,6650
n = 8			1208,0880
n = 9			1208,5110
n = 10			1208,9340
n = 11			1209,3570
n = 12			1209,7800

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

21

Paramètres du système

Organisation des fréquences

Capabilities	Glionass	Glionass-M	Glionass-K	Glionass-K2
Signal Type	FDMA	FDMA (+CDMA for SVs 755-761)	FDMA and CDMA	FDMA and CDMA
Open Access Signals (for FDMA Signals Center Frequency Values are Provided)	L1OF (1602 MHz)	L1OF (1602 MHz) L2OF (1246 MHz) L3OC (1202 MHz) for SVs 755+	L1OF (1602 MHz) L2OF (1246 MHz) L3OC (1202 MHz) L2OC (1248 MHz) for SVs 17L+	L1OF (1602 MHz) L2OF (1246 MHz) L1OC (1600 MHz) L2OC (1248 MHz) L3OC (1202 MHz)
Restricted Access Signals	L1SF (1592 MHz) L2SF (1237 MHz)	L1SF (1592 MHz) L2SF (1237 MHz)	L1SF (1592 MHz) L2SF (1237 MHz) L2SC (1248 MHz) for SVs 17L+	L1SF (1592 MHz) L2SF (1237 MHz) L1SC (1600 MHz) L2SC (1248 MHz)

Tableau : GLONASS

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

22

Paramètres du système

Les données de navigation



Photos © Pierre GILLARD/2017-703973/2010-17668

Collection Pierre GILLARD

- 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

Paramètres du système

Les données de navigation



Photos © Pierre Gillard/023283/004562/2017-614600

- 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

Conclusions



Patrimoine Militaire Canadien



- 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



Photo © Pierre GILLARD/2018-527220

Merci de votre attention

© Département d'avionique

Document à des fins de formation

26