

Direction Adjointe de la direction Technique Numérique
Groupe d'Etudes et d'Information sur les Phénomènes
Aérospatiaux Non identifiés

DTN/DA2/GP

Toulouse, le 04/07/2022

NOTE D'ENQUÊTE

OBSERVATIONS LIEES A FALCON 9



PARIS - Les Halles
SIÈGE
2, place Maurice Quentin
75039 Paris Cedex 01
☎ +33 (0)1 44 76 75 00

PARIS - Daumesnil
DIRECTION DES LANCEURS
52, rue Jacques Hillairet
75612 Paris Cedex
☎ +33 (0)1 80 97 71 11

TOULOUSE
CENTRE SPATIAL DE TOULOUSE
18, avenue Édouard Belin
31401 Toulouse Cedex 9
☎ +33 (0)5 61 27 31 31

GUYANE
CENTRE SPATIAL GUYANAIS
BP 726
97387 Kourou Cedex
☎ +594 (0)5 94 33 51 11

RCS Paris B 775 665 912
Siret 775 665 912 000 82
Code APE 731 Z
N° identification :
TVA FR 49 775 665 912

Certains lancements de satellites de la constellation Starlink par le lanceur Falcon 9 de SpaceX donnent lieu à des observations impressionnantes et à de nombreux signalements auprès du GEIPAN.

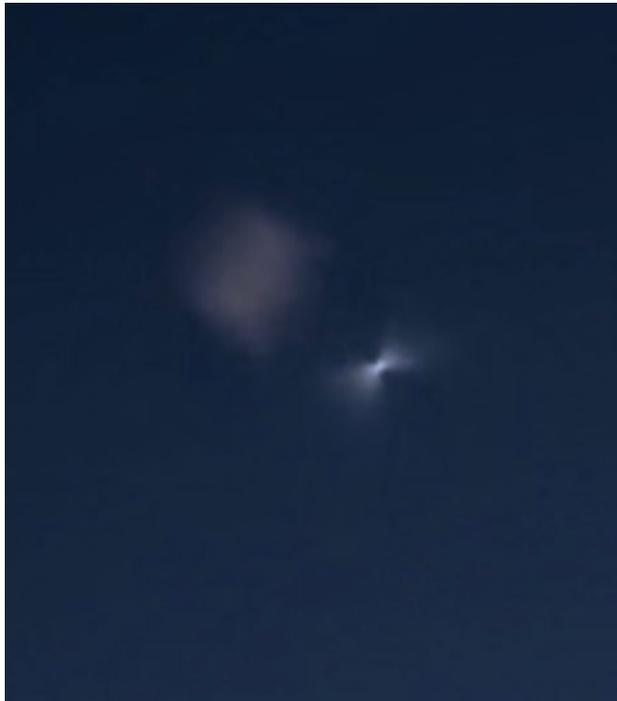
Ces observations sont de deux types « point lumineux, barre, boule lumineuse ou évanescence, halo, papillon ... » et « série ou ligne de points très lumineux ». L'analyse du GEIPAN et l'explication des phénomènes sont détaillées ci-dessous pour chacun de ces deux types d'observations.

1. PREMIERE CATEGORIE D'OBSERVATIONS : POINT LUMINEUX, BARRE, BOULE LUMINEUSE OU EVANESCENTE, HALO, PAPILLON ...

Les citations ci-dessous sont extraites des très nombreux témoignages reçus lors des observations du 4 mai 2021 (80 témoignages) et du 21 avril 2022 (65 témoignages).

« bloc nuageux contenant une barre et un point lumineux, se déplaçant en bloc », « halo lumineux avec au centre lumière plus intense », « boule lumineuse énorme aux contours un peu flous qui s'est mise à grossir, deux faisceaux lumineux (comme un énorme nœud papillon) partaient de cette boule et une barre très fine sur le côté la suivait », « un point lumineux avec un nuage devant », « espèce de lune avec un nuage devant », « cela ressemblait au début à un drone qui venait vers nous puis ensuite le "drone" avait comme des phares qui allumaient son passage dans le ciel, c'était très clair et très visible, l'objet s'est légèrement arrêté et une lumière plus forte a scintillé »....

Exemple de photos de l'observation du 21 avril 2022 :



Extraits d'une vidéo de l'observation du 21 avril 2022



En s'appuyant sur les experts CNES de la surveillance de l'espace et des lanceurs, le GEIPAN a analysé ces observations et a pu les expliquer par des événements qui se produisent lors de la séquence de désorbitation du deuxième étage du lanceur Falcon 9 de la société SpaceX.

Nous traiterons ici du phénomène du 21 avril 2022, sachant que celui du 4 mai 2021 s'explique de la même manière.

Le 21 avril 2022 depuis Cap Canaveral, SpaceX procède au lancement d'un Falcon 9, à 13h51 heure locale, soit 19h51 heure française. Ce lancement est la mission Starlink L4-14a. Elle a pour but la mise en orbite de 53 satellites Starlink.

Le site de SpaceX nous donne les premiers événements de la chronologie :

- T+00:00: décollage
- T+02:35: séparation premier et deuxième étages
- T+02:42: allumage moteur du deuxième étage
- T+06:12: allumage de trois moteurs du premier étage (pour ralentir l'étage)
- T+06:32: extinction des moteurs du premier étage
- T+08:01: allumage d'un moteur du premier étage (pour atterrissage)
- T+08:23: atterrissage du premier étage
- T+08:48: extinction du moteur du deuxième étage (altitude de 168km)
- T+45:25: rallumage du moteur du deuxième étage (pour circulariser l'orbite)
- T+45:26: extinction du moteur du deuxième étage
- T+59:49: séparation du bloc de satellites Starlink

Événements suivants non communiqués par SpaceX.

L'équipe Surveillance de l'espace du CNES a pu de son côté établir (grâce au premier lot d'éphémérides Starlink, publié le 22/04 vers 4hTU et au NOTAM MELBOURNE FIR/FIC/ACC/COM/MET #: F1048/22) que :

- la séparation du bloc de satellites Starlink à 20h51 (T+59:49) s'est effectuée au sud de l'Australie,
- la rentrée du deuxième étage s'est effectuée une orbite plus tard dans l'Océan Indien ou dans le Pacifique au sud de l'Australie, dans la zone définie par le NOTAM,
- la zone de retombée du deuxième étage définie dans le NOTAM implique un boost de rentrée (deuxième rallumage du moteur du deuxième étage) environ une demi orbite avant, c'est-à-dire vers 21h45 au-dessus ou à proximité de la France.

Analysons l'ensemble de ces éléments.

Après la séparation du premier et du deuxième étage à T+02:35, le premier étage redescend sur Terre se pose 6 minutes plus tard sur une barge au large de Cap Canaveral, pour être réutilisé pour un lancement ultérieur.

Le moteur du deuxième étage est allumé juste après la séparation et pousse pendant 6 minutes afin de continuer à prendre de l'altitude et d'atteindre la bonne orbite. Après son extinction, il continue pendant environ 36 minutes en phase balistique (moteur éteint) jusqu'à son rallumage d'une seconde, 45 minutes après le décollage. Ce rallumage (ou boost)

de 1 seconde a pour but de circulariser l'orbite de ce deuxième étage avant de procéder au largage de la grappe des Starlink.

Environ 15 minutes après ce boost, c'est le déploiement du bloc de Starlinks (sans dispenseur, les satellites sont empilés, « stackés »). L'étage est mis en rotation, puis la « barre de maintien » des satellites est larguée et les satellites petit à petit s'éloignent du lanceur et les uns des autres. Le largage a lieu au sud de l'Australie.

Le deuxième étage et les satellites qui se séparent progressivement les uns des autres évoluent alors sur des orbites proches. Les satellites rejoignent alors leur position définitive sur leur orbite finale à 550 km d'altitude.

Intervient ensuite vers 21h45 le deuxième rallumage du moteur du deuxième étage, rallumage ayant pour but de procéder à une rentrée contrôlée de l'étage (dans l'Océan Indien ou dans le Pacifique au sud de l'Australie). Ce rallumage (ou boost de désorbitation) a lieu pendant la seconde orbite lors du deuxième passage au-dessus de l'Europe et dans ce cas précis au-dessus ou à proximité de la France. L'étage est alors à une altitude de 320 km.

Juste après l'extinction moteur, le second étage est passivé : les gaz présents dans les réservoirs sont éjectés afin de diminuer la pression avant la fin de la mission pour minimiser les risques d'explosion lors de la rentrée atmosphérique qui va suivre. Cette éjection est faite de façon symétrique de part et d'autre de l'étage, voir schéma ci-dessous :



On déduit de ces divers éléments que les observations qui ont été faites ce 21 avril 2022 (et également le 4 mai 2021) sont les suivantes :

- boule lumineuse ou évanescence, halo ... : bulle de gaz formée par les gaz éjectés sur un temps court (quelques secondes tout au plus) éclairée par le soleil et observée par diffusion de la lumière venant du soleil sur fond noir (pour l'observateur, le soleil vient de se coucher) ;
- papillon : éjection symétrique des gaz (et éventuellement d'ergols en phase gazeuse) contenus dans les réservoirs (voir schéma) ;
- point brillant : zone plus intense « au milieu du papillon » : endroit où ces gaz ne sont pas encore dispersés (voir schéma).

Ce type d'observation est possible lorsque :

- Il y a une rentrée contrôlée du second étage (il semble que ce soit systématique pour les lancements en orbite basse, mais pas pour les lancements GTO), avec rallumage du moteur du deuxième étage et passivation des réservoirs ;
- Ce rallumage est réalisé à proximité de la France ;
- La nuit vient de tomber au sol mais que l'étage est toujours éclairé par le soleil, ce qui permet d'éclairer les gaz et (potentiellement les ergols) éjectés de l'étage propulsif, soit un coucher du soleil de l'ordre de 1 heure avant l'événement.

NB : A noter que ce phénomène est couramment observé lors des rentrées du second étage Falcon 9 sans forcément être observable depuis la France.

2. OBSERVATION D'UNE SERIE OU LIGNE DE POINTS TRES LUMINEUX

Photo extraite du site : <https://meprises-du-ciel.fr/satellites-starlink/>



Lorsque le bloc de satellites Starlink est largué autour de 300 km d'altitude, les dizaines de satellites (53 à 60) se séparent les uns après les autres, ils sont ensuite placés sur une orbite de stationnement vers 350-400 km avant de rejoindre orbite finale à 550 km. Juste après la séparation, comme ils n'évoluent pas tous à la même vitesse, certains d'entre eux sont en avance sur les autres, ils évoluent alors en file.

Dans des conditions très particulières d'observation, lorsque le soleil est couché, les satellites sont éclairés sur fond sombre (de nuit).

Cela donne alors lieu à l'observation d'une série de points lumineux qui se suivent.

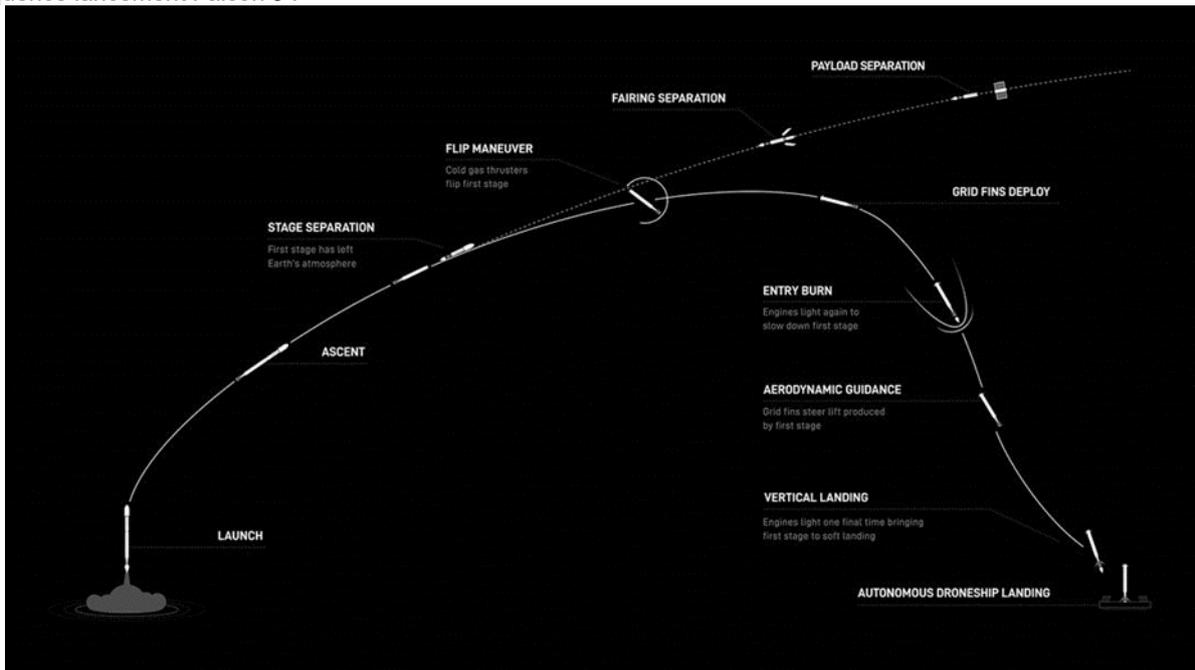
Ce type d'observation est possible lorsque :

- le soleil vient de se coucher, les satellites sont éclairés sur fond sombre (pour l'observateur c'est la nuit)
- leur orbite est au-dessus de la France
- ils ne sont pas dans l'ombre portée de la Terre.

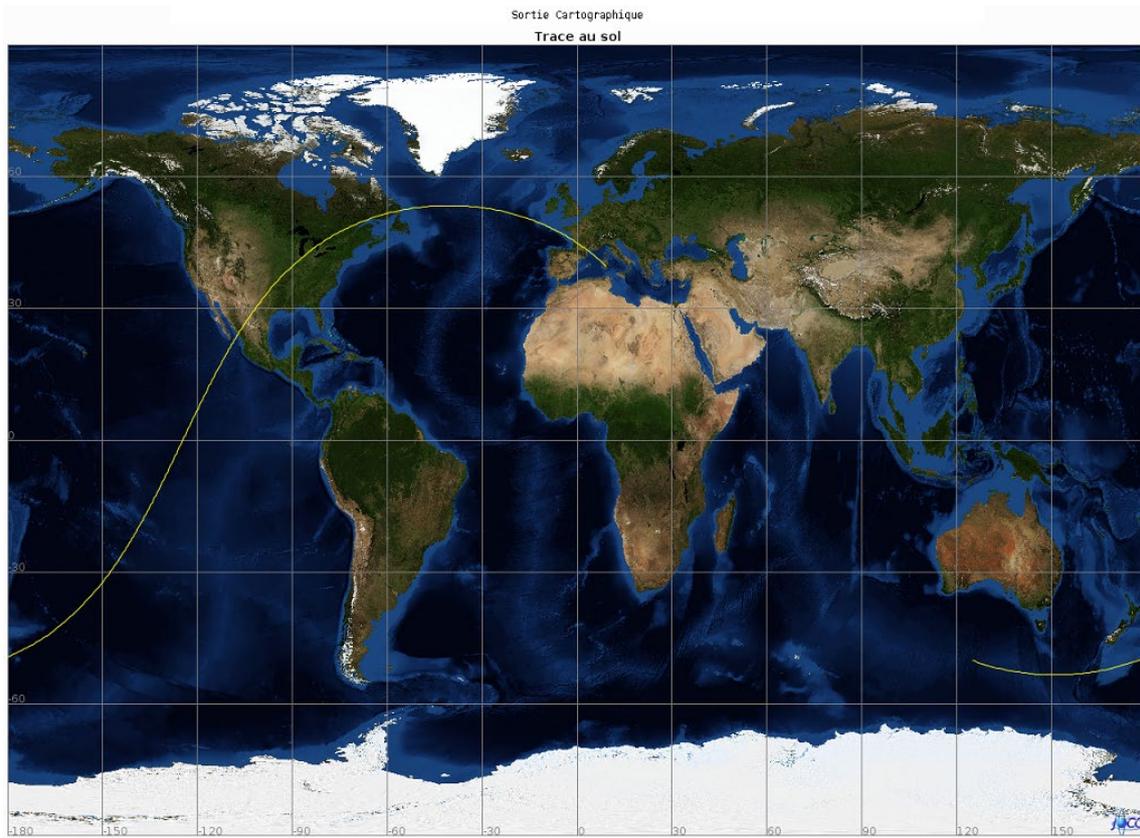
Cela dépend donc de la configuration du soleil, de l'observateur et de la trajectoire.

Ces trains de satellites peuvent être visibles de quelques jours à deux semaines en fonction des cas.

ANNEXE
Falcon 9 (lancement 21 avril 2022)
Séquence lancement Falcon 9 :



Trace au sol entre le largage des satellites (au Sud de l'Australie), et le survol de la France (observation du boost de désorbitation du deuxième étage), par le service surveillance de l'espace du CNES:



Zone de retombée du deuxième étage telle que définie dans le NOTAM:



Lancement Falcon 9 L4-14 du 21 avril 2022

<https://spaceflightnow.com/2022/04/21/Falcon-9-starlink-4-14-live-coverage/>

Exemple de déploiement sur un autre lancement :

<https://www.youtube.com/watch?v=5h2t9Oyg2o0>

Starlink



Starlink est une constellation de satellites permettant l'accès à Internet par satellite, déployée et gérée par le constructeur aérospatial américain SpaceX, reposant sur plusieurs milliers de satellites de télécommunications placés sur une orbite terrestre basse.

Explication de déploiement et de la mise en orbite définitive des Starlink :

<https://www.youtube.com/watch?v=VIQr1UyhWk>

♦ FIN DU DOCUMENT ♦