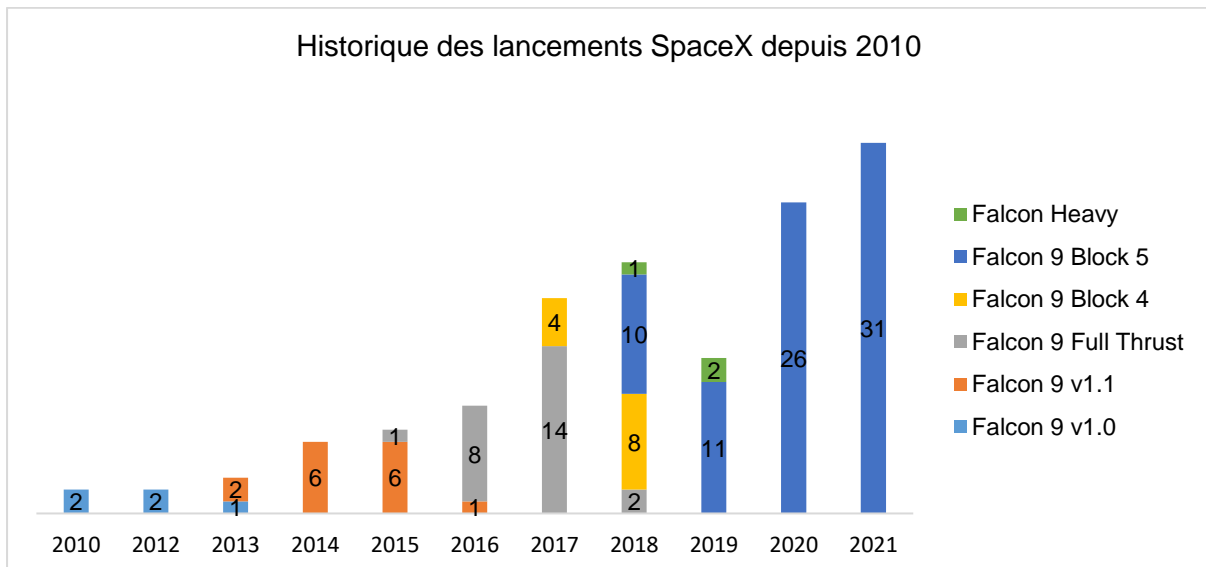




Les activités de lancement de SpaceX et ses capacités de réutilisation en 2021

Fondée en 2002 par Elon Musk, SpaceX opère actuellement deux lanceurs : un lanceur lourd, le Falcon 9 et un lanceur très lourd, le Falcon Heavy. L'objectif principal affiché par la société est la récupération et réutilisation de certains éléments des lanceurs afin de réduire les coûts, notamment les propulseurs du premier étage et les demi-coiffes. Les premiers étages des deux lanceurs utilisent le même type de propulseur : le Falcon Heavy comporte 3 propulseurs (un principal et deux d'appoint) tandis que le Falcon 9 n'en compte qu'un.

Ce premier graphique résume le nombre de vols réalisés depuis 2010. Sur les 138 vols, seuls 3 ont été conclus par un échec. Depuis le premier vol du Falcon 9 Block 5, 78 lancements ont eu lieu et ont tous abouti à un succès. Les 3 uniques vols opérationnels en Falcon Heavy ont également été réussis entre 2018 et 2019. Suivant la tendance mondiale, on constate une augmentation du nombre de vols réalisés en Falcon 9 avec 31 vols effectués (+20% par rapport à 2020) et ce malgré les différentes contraintes qui ont ralenti ou reporté certains lancements. L'entreprise a notamment été impactée en août dernier par des difficultés d'approvisionnement en oxygène liquide, utilisé dans les services hospitaliers pendant la crise de Covid-19 mais a également rencontré quelques retards associés à la production des satellites Starlink de nouvelle génération.



1. La gamme de lanceurs opérationnels

a. Falcon 9

En 2021, SpaceX a réalisé 31 vols avec son lanceur Falcon 9, à comparer aux 26 lancements réalisés en 2020 (soit une augmentation de près de 20%). Cette valeur en hausse est notamment liée au déploiement de sa méga-constellation avec 15 missions entièrement consacrées à Starlink. Cette année a également permis à SpaceX de réaliser ses deux premiers vols *rideshare*, Transporter-1 et Transporter-2 en janvier et juin 2021 facilitant ainsi l'accès à l'espace à de nombreuses startups à travers le monde. Par ailleurs, SpaceX a réalisé trois vols habités, deux à destination de la Station spatiale internationale (ISS) avec Crew-2 et Crew-3 et sa première mission habitée privée en orbite basse, Inspiration4 en septembre 2021.

La NASA est ainsi le premier client de SpaceX (après sa propre constellation Starlink) avec 7 missions réalisées : 5 vers l'ISS (3 missions cargo et 2 missions habitées), la mission de défense planétaire DART et la mission d'astronomie IXPE. L'*U.S. Space Force* (USSF) a également eu recours au lanceur Falcon 9 pour mettre en orbite le GPS III-05.

Avec une répartition similaire, SpaceX avait entièrement dédiée 11 missions à sa constellation Starlink en 2020 et avait réalisé deux lancements GPS pour l'USSF et un lancement pour le *National Reconnaissance Office* (NRO). La NASA était déjà son premier client (après sa constellation) avec 6 missions réalisées : 2 missions de ravitaillement de l'ISS, 3 vols d'essais pour sa capsule Crew Dragon et une mission scientifique avec Sentinel 6 Michael Freilich.

Comme en 2020, SpaceX a pu profiter des installations du *Kennedy Space Center* de la NASA ainsi que celles de la *Cape Canaveral Space Force Station* et de la *Vandenberg Space Force Base* de l'USSF.

b. Falcon Heavy

Aucun vol n'a été réalisé en 2021 malgré une mission initialement prévue pour avril 2021 pour le compte de l'USSF. Cette mission classifiée, à destination de l'orbite géostationnaire, a été reportée par le client à 2022. Si le Falcon Heavy n'a pas volé depuis juin 2019 avec une mission de l'*U.S Air Force* (USAF), SpaceX prévoit déjà 5 lancements pour 2022 pour l'USSF, la NASA et Viasat.

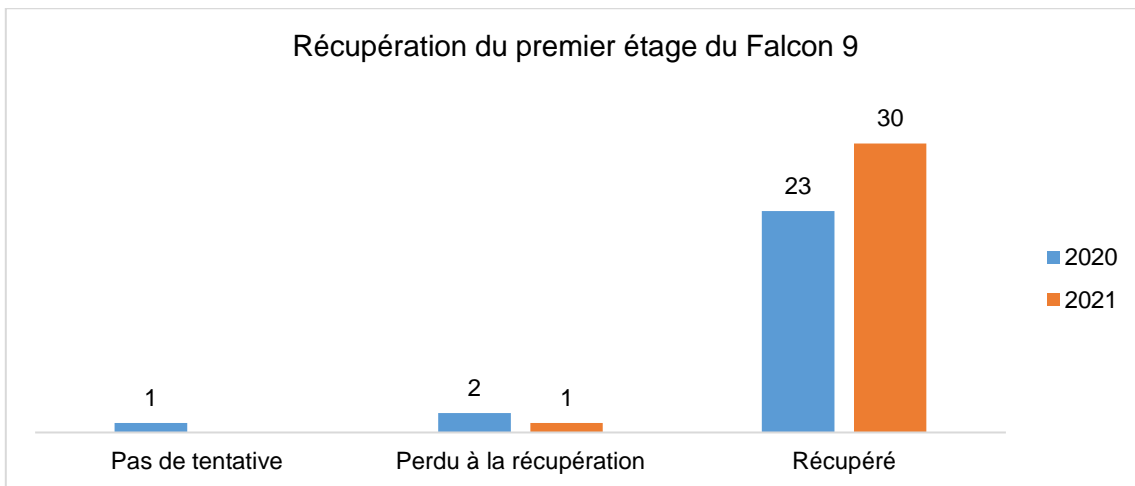
2. Falcon 9 et réutilisation

a. Premier étage

i. Récupération

Les tentatives de récupération du premier étage de Falcon 9 datent de 2010, dès les premiers vols du propulseur v1.0. La première récupération réussie a été réalisée en 2015 avec la version Full Thrust. Depuis, SpaceX a réalisé des évolutions sur son lanceur jusqu'à la version actuelle, Block 5, lancée en mai 2018. L'entreprise maîtrise désormais la technologie de récupération du premier étage avec 71 récupérations sur les 78 vols réalisés sur ce modèle.

En 2021, seule une récupération de premier étage a échoué sur les 31 lancements, portant à 97% le taux de réussite, et donc en augmentation par rapport à 2020 et aux 2 échecs (92% de réussite). Enfin, si la récupération peut être réalisée à l'aide de bateaux barges ou sur terre sur le port de lancement, l'entreprise favorise les récupérations en mer : un seul atterrissage sur une base terrestre a eu lieu en 2021 contre 4 en 2020.

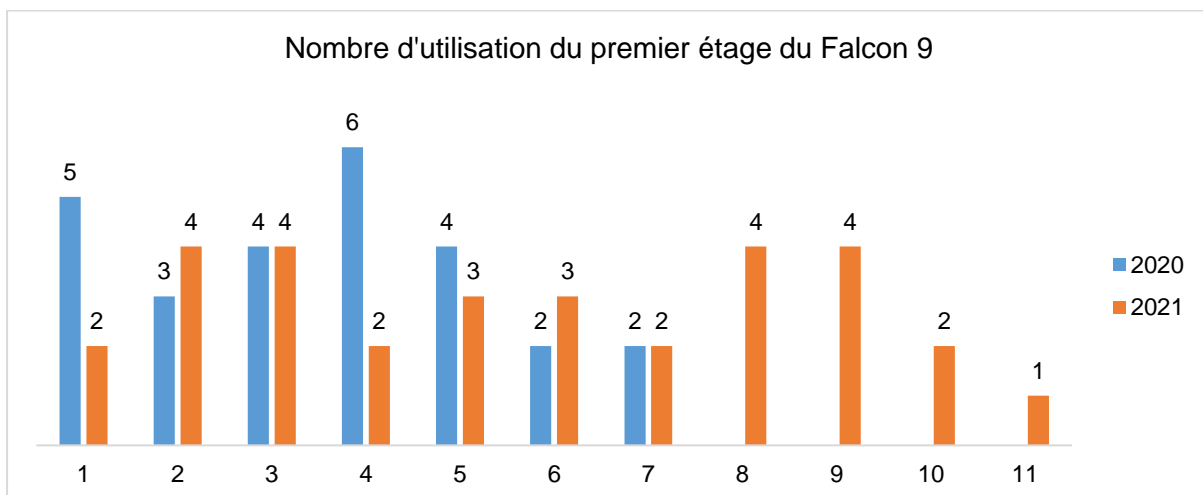


ii. Réutilisation

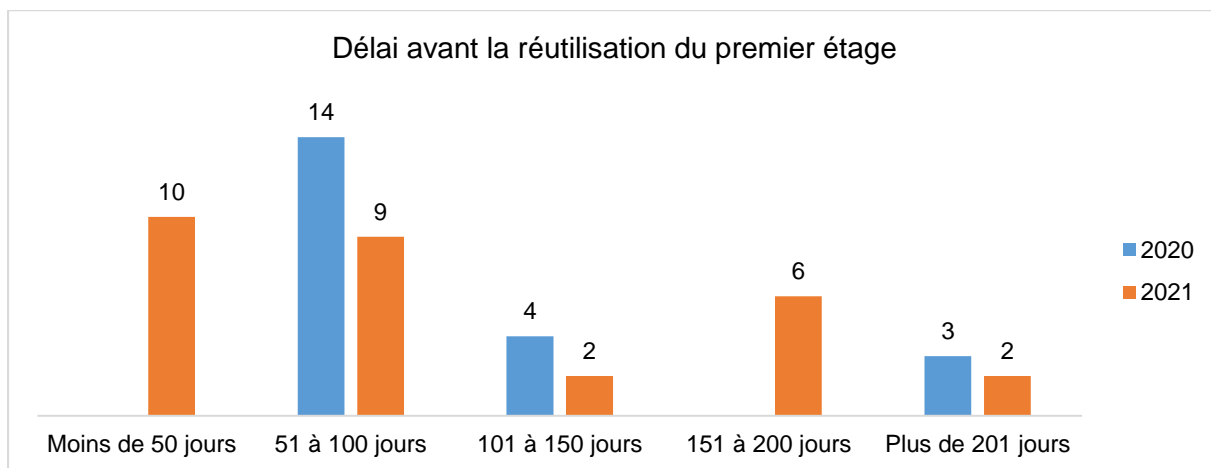
Après récupération, le premier étage est remis en état avant d'être réutilisé. Le délai entre deux vols et le nombre de réutilisations d'un même premier étage sont des éléments importants à considérer pour connaître les capacités de réutilisation de SpaceX.

En 2021, **plus de 90% des vols ont été réalisés avec un premier étage déjà utilisé** (soit 29 vols sur 31) contre 80% pour 2020 (21 vols sur 26). Cette augmentation s'explique aussi par une cadence de vols plus élevée et donc un fort besoin de lanceurs. Ainsi avec 31 vols réalisés **en 2021, SpaceX n'a eu recours qu'à deux premiers étages neufs**.

SpaceX a ainsi atteint en décembre 2021 le record de **11 utilisations d'un même premier étage** (après avoir franchi en mai le palier des 10 utilisations) avec l'espoir d'arriver à 100 utilisations dans les prochaines années. Cette augmentation du nombre d'utilisations est largement éprouvée par le déploiement de la constellation Starlink qui permet à SpaceX de tester les limites de son lanceur à moindre risque. En effet, la majorité des missions Starlink (14 sur 15) ont été lancées avec un premier étage déjà utilisé au moins 5 fois. À noter que les premiers étages utilisés en 2021 avaient en moyenne déjà volé plus de 4 fois contre seulement 2 fois en 2020.



Enfin, le délai entre chaque utilisation a été réduit avec en moyenne **94 jours entre deux utilisations** en 2021 contre 114 jours en 2020. Un nouveau record a été atteint, à deux reprises, avec une **réutilisation d'un premier étage en seulement 27 jours** – le minimum était de 51 jours en 2020. À noter que près de la moitié des lancements ont été réalisés avec un premier étage utilisé il y a moins de 70 jours.

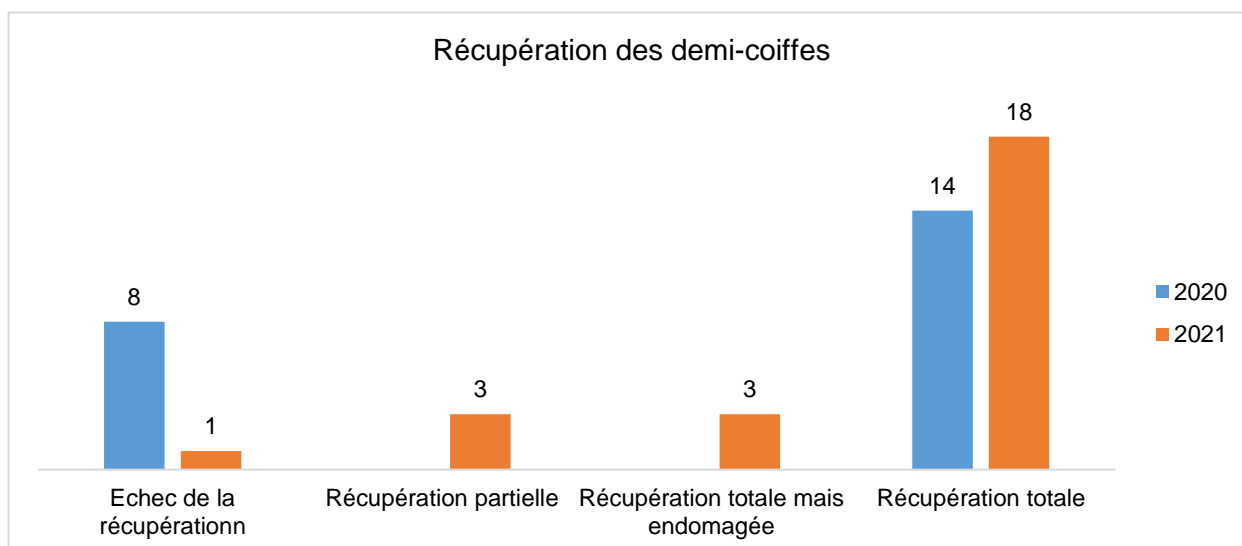


b. Coiffe

Programme expérimental dès 2017, la récupération et la réutilisation des coiffes font désormais partie intégrante des missions SpaceX depuis 2020. Après plusieurs échecs début 2020, les capacités de de SpaceX se sont grandement améliorées. A noter qu'en prenant en compte les vols avec une capsule Dragon (habitée ou cargo), seuls 25 vols ont nécessité une coiffe en 2021 contre 22 en 2020.

i. Récupération

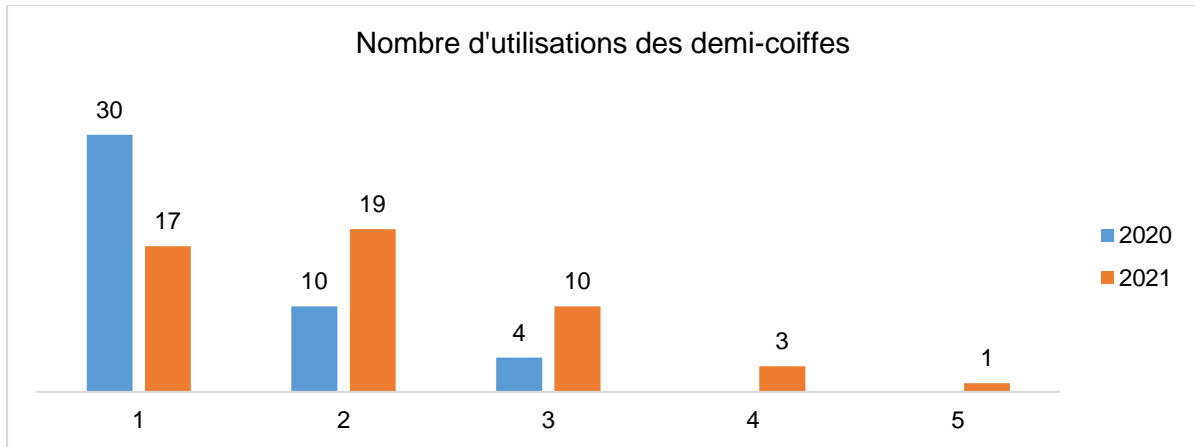
Les coiffes sont le deuxième élément du Falcon 9 récupéré et réutilisé par SpaceX par des bateaux avec filet ou directement en mer. L'année 2021 a été marquée par l'arrêt de la récupération par filet, jugée trop dangereuse et pas assez efficace. Le design des demi-coiffes a ainsi été amélioré afin de réduire les infiltrations d'eau une fois en mer et donc assurer une protection optimale de la demi-coiffe avant récupération. Une modification de la flotte maritime de SpaceX a par ailleurs été nécessaire avec le démantèlement des bateaux avec filet, Ms. Tree and Ms. Chief, au profit d'anciens bateaux transformés pour être plus adaptés à la récupération en mer, Bob et Doug.



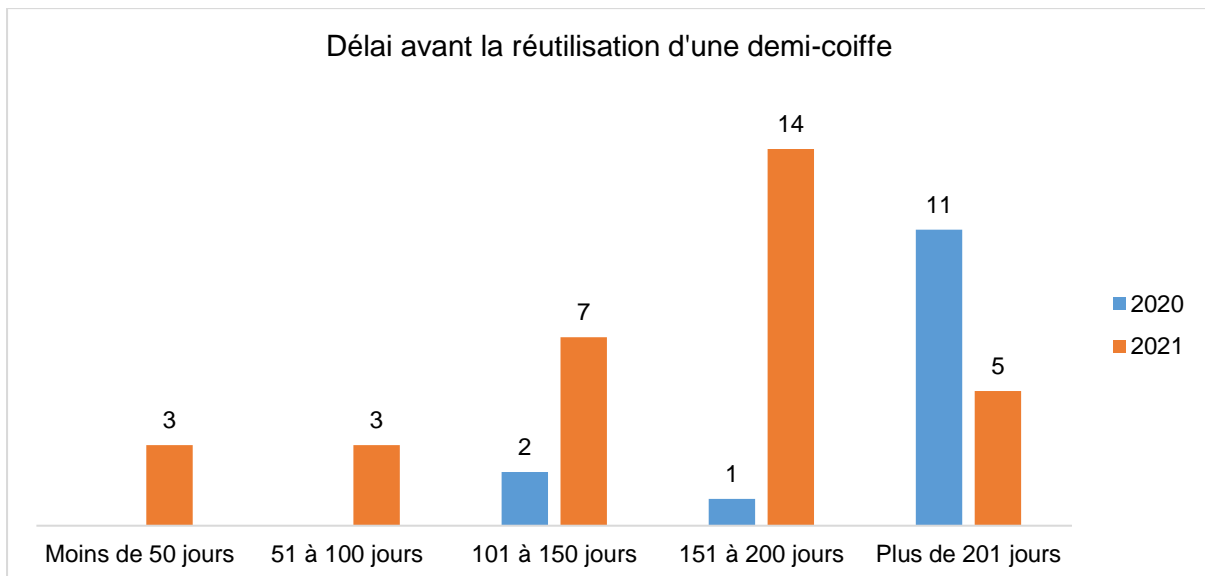
En 2021, le taux de récupération des demi-coiffes est donc en augmentation avec 72% de récupération totale (96% en prenant en compte la récupération partielle) contre 64% en 2020.

ii. Réutilisation























La réutilisation des demi-coiffes s'est fortement intensifiée et améliorée en 2021 avec près de 70% des vols (17 vols sur 25) effectués avec une coiffe réutilisée contre 36% en 2020 (8 vols sur 22). SpaceX a également atteint un nouveau record avec une demi-coiffe utilisée pour la 5^{ème} fois en 2021.





























Par ailleurs, les capacités de réutilisation ont été améliorées et ont permis de réduire les délais de réutilisation d'une demi-coiffe. En 2020, la majorité des coiffes réutilisées avait été immobilisée plus de 200 jours alors qu'en 2021 la majorité des coiffes réutilisées ont été immobilisées moins de 200 jours. Ainsi, en 2021, plus de la moitié des vols ont été réalisés avec une demi-coiffe utilisée il y a moins de 150 jours avec un délai de réutilisation moyen de 103 jours et un record de seulement 41 jours atteint.









Annexe : Tableau des lancements SpaceX en 2021

| Date | Lanceur | Site de lancement | Nationalité charge utile | Charge utile | Opérateur Charge utile | Orbite | Mission | Premier étage | | | Coiffes | | |
|---|------------------|----------------------------|---|-------------------------|-----------------------------|--------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| | | | | | | | | Nb d'utilisations précédentes | Nb jours depuis dernière utilisation | État de la récupération | Nb d'utilisations précédentes | Nb jours depuis dernière utilisation | État de la récupération |
| 8 JAN | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Türksat 5A | Türksat | GTO | Télécommunications | 3 | 76 | Succès Plateforme en mer | 1 et 1 | 191 et 171 | Récupération totale mais endommagée |
| 20 JAN | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Starlink (x60) | SpaceX | LEO | Télécommunications | 7 | 38 | Succès Plateforme en mer | 1 et 2 | 167 et 155 | Échec |
| 24 JAN | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Starlink (x10) | SpaceX | SSO | Télécommunications | 4 | 49 | Succès Plateforme en mer | 0 et 0 | N/A | Succès |
| | | |  | Exoport | Exolaunch | SSO | Dépoyeur | | | | | | |
| | | |  | ION CubeSat Carrier 2 | D-Orbit | SSO | Dépoyeur | | | | | | |
| | | |  | GHGSat-C2 | GHGSat | SSO | Observation de la Terre | | | | | | |
| | | |  | Hawk-2a, 2b, 2c | HawkEye 360 | SSO | Démonstrateur techno | | | | | | |
| | | |  | ICEYE (x2) | ICEYE | SSO | Observation de la Terre | | | | | | |
| | | |  | Izanami | iQPS | SSO | Observation de la Terre | | | | | | |
| | | |  | Whitney 1, 2 | Capella Space | SSO | Observation de la Terre | | | | | | |
| | | |  | XR-1 | ICEYE-US | SSO | Observation de la Terre | | | | | | |
| | | |  | ARCE-1A, 1B, 1C | University of South Florida | SSO | Démonstrateur techno | | | | | | |
| | | |  | ASELSAT | ASELSAT | SSO | Observation de la Terre | | | | | | |
| | | |  | Astrocast (x5) | Astrocast SA | SSO | Télécommunications | | | | | | |
| | | |  | Charlie | Aurora Insight | SSO | Surveillance | | | | | | |
| | | |  | Flock 4s (x48) | Planet Labs | SSO | Observation de la Terre | | | | | | |
| | | |  | Hiber Four | Hiber | SSO | Observation de la Terre | | | | | | |
| | | |  | IDEASSat | NSPO / NCU | SSO | Démonstrateur techno | | | | | | |
| | | |  | Kepler (x8) | Kepler | SSO | Télécommunications | | | | | | |
|  | Lemur-2 (x8) | Spire Global | SSO | Observation de la Terre | | | | | | | | | |
|  | PIXL-1 | DLR / TESAT | SSO | Démonstrateur techno | | | | | | | | | |
|  | Prometheus 2.10 | U.S. Department of Defense | SSO | Démonstrateur techno | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------|------------------|---------------|---|----------------|----------------------------------|-----|-------------------------|---|-----|--------------------------------|--------|------------|-------------------------------------|
| | | |  | PTD-1 | NASA Ames / Tyvak | SSO | Démonstrateur techno | | | | | | |
| | | |  | SOMP-2b | TU Dresden | SSO | Démonstrateur techno | | | | | | |
| | | |  | SpaceBEE (x36) | Swarm Technologies | SSO | Télécommunications | | | | | | |
| | | |  | UVSQ-SAT | UVSQ | SSO | Démonstrateur techno | | | | | | |
| | | |  | V-R3x (x3) | NASA | SSO | Télécommunications | | | | | | |
| | | |  | YUSAT | NSPO | SSO | Démonstrateur techno | | | | | | |
| 4 FEV | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Starlink (x60) | SpaceX | LEO | Télécommunications | 4 | 27 | Succès Plateforme en mer | 1 et 1 | 158 et 219 | Récupération totale mais endommagée |
| 16 FEV | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Starlink (x60) | SpaceX | LEO | Télécommunications | 5 | 59 | Échec | 0 et 0 | N/A | Récupération totale mais endommagée |
| 4 MAR | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Starlink (x60) | SpaceX | LEO | Télécommunications | 7 | 99 | Succès Plateforme en mer | 3 et 2 | 149 et 198 | Succès |
| 11 MAR | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Starlink (x60) | SpaceX | LEO | Télécommunications | 5 | 46 | Succès Plateforme en mer | 1 et 2 | 110 et 88 | Succès |
| 14 MAR | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Starlink (x60) | SpaceX | LEO | Télécommunications | 8 | 53 | Succès Plateforme en mer | 1 et 1 | 49 et 49 | Succès |
| 24 MAR | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Starlink (x60) | SpaceX | LEO | Télécommunications | 5 | 48 | Succès Plateforme en mer | 1 et 1 | 229 et 123 | Succès |
| 7 AVR | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Starlink (x60) | SpaceX | LEO | Télécommunications | 6 | 27 | Succès Plateforme en mer | 3 et 1 | 133 et 183 | Récupération partielle |
| 23 AVR | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Crew-2 | SpaceX / NASA | ISS | Équipage ISS | 1 | 159 | Succès Plateforme en mer | N/A | N/A | N/A |
| 29 AVR | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Starlink (x60) | SpaceX | LEO | Télécommunications | 6 | 36 | Succès Plateforme en mer | 0 et 0 | N/A | Succès |
| 4 MAI | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Starlink (x60) | SpaceX | LEO | Télécommunications | 8 | 61 | Succès Plateforme en mer | 2 et 0 | 41 et N/A | Récupération partielle |
| 9 MAI | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Starlink (x60) | SpaceX | LEO | Télécommunications | 9 | 56 | Succès Plateforme en mer | 1 et 1 | 185 et 185 | Succès |
| 15 MAI | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Starlink (x52) | SpaceX | LEO | Télécommunications | 7 | 38 | Succès Plateforme en mer | 1 et 1 | 153 et 147 | Récupération partielle |
| | | |  | Capella 6 | Capella Space | LEO | Observation de la Terre | | | | | | |
| | | |  | Tyvak-0130 | Tyvak / LLNL | LEO | Observation de la Terre | | | | | | |
| 26 MAI | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Starlink (x60) | SpaceX | LEO | Télécommunications | 1 | 186 | Succès Plateforme en mer | 4 et 2 | 83 et 73 | Succès |
| 3 JUIN | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | CRS-22 | NASA | ISS | Cargo ISS | 0 | N/A | Succès Plateforme en mer | N/A | N/A | N/A |
| 6 JUIN | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | SXM-8 | Sirius XM | GTO | Télécommunications | 2 | 44 | Succès Plateforme en mer | 0 et 0 | N/A | Succès |
| 17 JUIN | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | GPS III-05 | USSF | MEO | Navigation | 1 | 224 | Succès Plateforme en mer | 0 et 0 | N/A | Succès |
| 30 JUIN | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Starlink (x3) | SpaceX | SSO | Télécommunications | 7 | 62 | Succès Pas de tir terrestre | 2 et 2 | 108 et 146 | Succès |
| | | |  | Aurora | Orbital Sidekick / Astro Digital | SSO | Observation de la Terre | | | | | | |

| | | | | |
|---|-------------------------|---|-----|-------------------------|
|  | Capella 5 | Capella Space | SSO | Observation de la Terre |
|  | Hawk (x3) | HawkEye 360 | SSO | Démonstrateur techno |
|  | ICEYE (x4) | ICEYE | SSO | Observation de la Terre |
|  | ION Satellite Carrier 3 | D-Orbit | SSO | Dépoyeur |
|  | ÑuSat (x4) | Satellogic | SSO | Observation de la Terre |
|  | Sherpa-FX2 | Spaceflight Industries | SSO | Dépoyeur |
|  | Sherpa-LTE1 | Spaceflight Industries | SSO | Dépoyeur |
|  | Tanker-001 Tenzing | Orbit Fab / Accion Systems | SSO | Démonstrateur techno |
|  | TUBIN | TU Berlin | SSO | Démonstrateur techno |
|  | Umbra-2001 | Umbra Lab | SSO | Démonstrateur techno |
|  | YAM-2 | Loft Orbital | SSO | Démonstrateur techno |
|  | YAM-3 | Loft Orbital | SSO | Démonstrateur techno |
|  | ARTHUR-1 | Aerospacelab | SSO | Observation de la Terre |
|  | Astrocast (x5) | Astrocast SA | SSO | Télécommunications |
|  | Centauri 4 | Fleet Space | SSO | Télécommunications |
|    | D2/AtlaCom-1 | NanoAvionics / Dragonfly Aerospace / Space JLTZ | SSO | Démonstrateur techno |
|  | EG-3 | EchoStar | SSO | Télécommunications |
|  | Faraday Phoenix | In-Space Missions | SSO | Démonstrateur techno |
|  | Ghalib | Marshall Intech | SSO | Démonstrateur techno |
|  | GNOMES-2 | PlanetIQ | SSO | Observation de la Terre |
|  | KSM-2 (x4) | Kleos Space | SSO | Navigation |
|  | Lemur-2 (x6) | Spire Global | SSO | Observation de la Terre |
|  | LINCS 1, 2 | GA-EMS | SSO | Télécommunications |
|  | Lynk 6 | Lynk | SSO | Démonstrateur techno |
|  | Mandrake 2A, 2B | DARPA | SSO | Télécommunications |
|  | Napa-2 | RTAF | SSO | Observation de la Terre |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------|------------------|---------------|---|--------------------|---------------------------------------|-----|----------------------|---|-----|-----------------------------|--------|------------|--------|
| | | |  | NEPTUNO | Elecnor Deimos | SSO | Démonstrateur techno | | | | | | |
| | | |  | PACE-1 | NASA | SSO | Démonstrateur techno | | | | | | |
| | | |  | PAINANI-II | CISESE | SSO | Démonstrateur techno | | | | | | |
| | | |  | QMR-KWT | Orbital Space | SSO | Science | | | | | | |
| | | |  | SPARTAN | EnduroSat | SSO | Démonstrateur techno | | | | | | |
| | | |  | SpaceBEE (x28) | Swarm Technologies | SSO | Télécommunications | | | | | | |
| | | |  | Tiger-2 | OQ Technology | SSO | Télécommunications | | | | | | |
| | | |  | TROPICS Pathfinder | NASA | SSO | Météorologie | | | | | | |
| | | |  | W-Cube | Reaktor Space Lab | SSO | Démonstrateur techno | | | | | | |
| 29 AOU | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | SpaceX CRS-23 | NASA | ISS | Cargo ISS | 3 | 84 | Succès Plateforme en mer | N/A | N/A | N/A |
| | | |  | Binar-1 | Curtin University | LEO | Démonstrateur techno | | | | | | |
| | | |  | CAPSat | UIUC | LEO | Démonstrateur techno | | | | | | |
| | | |  | CUAVA-1 | CUAVA | LEO | Démonstrateur techno | | | | | | |
| | | |  | Maya-3 et 4 | DOST / Kyushu Institute of Technology | LEO | Démonstrateur techno | | | | | | |
| | | |  | NanoRocks-2 | UIPR | LEO | Education | | | | | | |
| | | |  | SPACE HAUC | UMass Lowell | LEO | Démonstrateur techno | | | | | | |
| 14 SEP | Falcon 9 Block 5 | Vandenberg |  | Starlink (x51) | SpaceX | LEO | Télécommunications | 9 | 133 | Succès Plateforme en mer | 1 et 2 | 269 et 249 | Succès |
| 16 SEP | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Inspiration4 | SpaceX | LEO | Tourisme spatial | 2 | 90 | Succès Plateforme en mer | N/A | N/A | N/A |
| 11 NOV | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | SpaceX Crew-3 | SpaceX / NASA | ISS | Equipage ISS | 1 | 161 | Succès Plateforme en mer | N/A | N/A | N/A |
| 13 NOV | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Starlink (x53) | SpaceX | LEO | Télécommunications | 8 | 182 | Succès Plateforme en mer | 2 et 1 | 188 et 193 | Succès |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|------------------|--|-------------------|-------------------------------------|-----|-------------------------|----|-----|-----------------------------|--------|------------|--------|
| 24 NOV | Falcon 9 Block 5 | Vandenber g |  | DART | NASA | SUN | Défense planétaire | 2 | 182 | Succès Plateforme en mer | Neuves | N/A | Succès |
| | | |  | LICIACube | Agence spatiale italienne | SUN | Défense planétaire | | | | | | |
| 2 DEC | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Starlink (x48) | SpaceX | LEO | Télécommunications | 8 | 155 | Succès Plateforme en mer | Neuves | N/A | Succès |
| | | |  | BlackSky 12 et 13 | BlackSky | LEO | Observation de la Terre | | | | | | |
| 9 DEC | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |   | IXPE | NASA / Agence spatiale italienne | LEO | Science | 4 | 102 | Succès Plateforme en mer | Neuves | N/A | Succès |
| 18 DEC | Falcon 9 Block 5 | Vandenber g |  | Starlink (x52) | SpaceX | LEO | Télécommunications | 10 | 223 | Succès Plateforme en mer | 2 et 3 | 282 et N/C | Succès |
| 19 DEC | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | Türksat 5B | Türksat | GTO | Télécommunications | 2 | 38 | Succès Plateforme en mer | 1 et 1 | 185 et 185 | Succès |
| 21 DEC | Falcon 9 Block 5 | Cap Canaveral |  | SpaceX CRS-24 | NASA | ISS | Cargo ISS | 0 | N/A | Succès Plateforme en mer | N/A | N/A | N/A |

Légende Orbite

GTO : Orbite géosynchrone
 ISS : Orbite de desserte de la Station Spatiale Internationale
 LEO : Orbite basse
 MEO : Orbite moyenne
 SSO : Orbite héliosynchrone
 SUN : Orbite héliocentrique