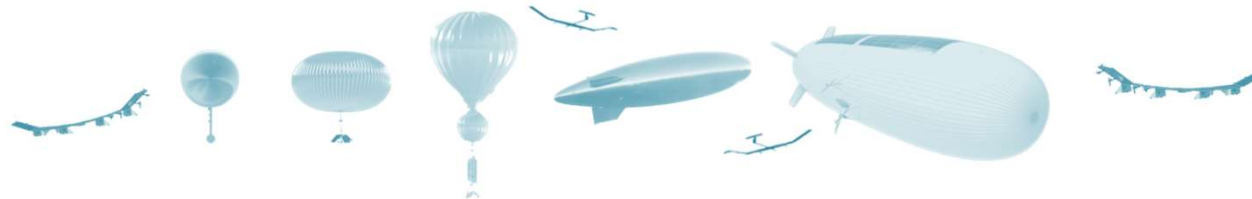




**MINISTÈRE
CHARGÉ
DES TRANSPORTS**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Quels futurs cadres réglementaires de sécurité adaptés pour quels « HAPS » ?

Atelier Paris-Saclay 'Neostars' du 14 novembre 2023



Patrice Desvallées, DGAC-DSAC, France (Direction de la Sécurité de l'Aviation Civile)

Directeur de programme, projets stratégiques émergents (DSAC/DP-PSE)

Programme manager strategic emerging projects

Direction de la sécurité de l'aviation civile

14/11/2023

SOMMAIRE



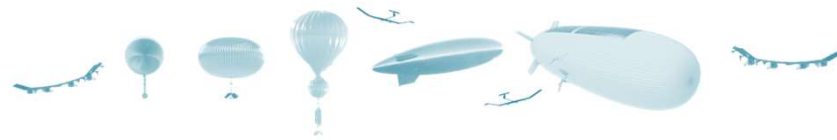
I. Contexte technologique et éclairages

- Exemples de projets de systèmes stratosphériques et de « HAPS »
- Altitude-velocity diagramme, du sol à 1000 km d'altitude
- Expérience du projet Loon de Google

II. Cadre réglementaire et juridique

- Les 6 ou 7 descriptions différentes de « HAPS », parfois divergentes
- Contexte réglementaire et éclairages
- Convention de Chicago
- Règlement drone européen (UE) n° 2019/947
- Accès et hébergement dans l'espace aérien, complexes

III. Quelques conclusions et perspectives



I. Contexte technologique et éclairages

II. Cadre réglementaire et juridique

III. Quelques conclusions et perspectives

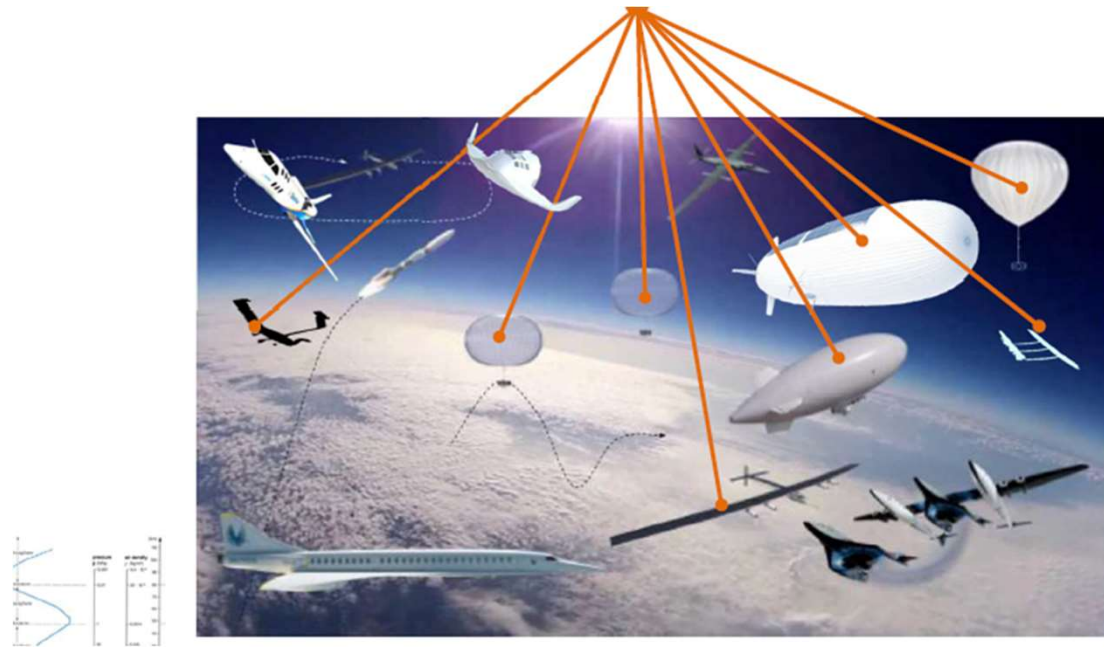
Contexte et éclairages – qq caractéristiques



Quelques considérations et caractéristiques souvent envisagées pour les concepts et projets de « HAPS » actuellement étudiés dans le monde :

- Aéronefs lents (V-air : 0 à max ~ 150 / 180 km/h) et persistants (plusieurs jours, semaines ou mois)
- Généralement sans personne à bord (ni équipage, ni passagers)
- Manœuvrants ('x,y,z' ou seulement contrôle sur 'z') ou non manœuvrants
- Nouvelles finalités « non-transport » civiles et/ou militaires :
 - surveillance/observation (*remote-sensing*), télécommunications, finalité scientifique (météorologie)
 - Les Etats souverains survolés peuvent ne pas autoriser certaines finalités au-dessus de leur territoire
- Deux sous-catégories souvent citées : *Lighter-than-air (LTA: ballons, dirigeables)*, *Heavier-than-Air (HTA)*
- Altitudes considérées (le plus souvent dans la stratosphère) :
 - Plancher : non défini, souvent 19km visés, parfois trop lourds, volent plus bas (Loon, FL500 !)
 - Plafond : limite max de flottabilité de 53km (BU60-1 de la JAXA, 2022)
- Montées et descentes : entre ~2 et 6 heures (selon ConOps)
- Différents niveaux d'automatisation (sol et/ou bord, parfois avec IA&ML)
- Flottes, constellations (N x machines) parfois envisagées par certains porteurs de projets
- Energie embarquée et motorisations électriques, énergie solaire (parfois pile à combustible H2)
- Dispositifs prévus pour la sécurité des fins de mission, et des situations non-nominales et d'urgence
- Infrastructure sol : terrain, ou petite piste (abords dégagés).
- Forte sensibilité à l'aérologie, du sol à la haute altitude

Conditions extrêmes de la stratosphère

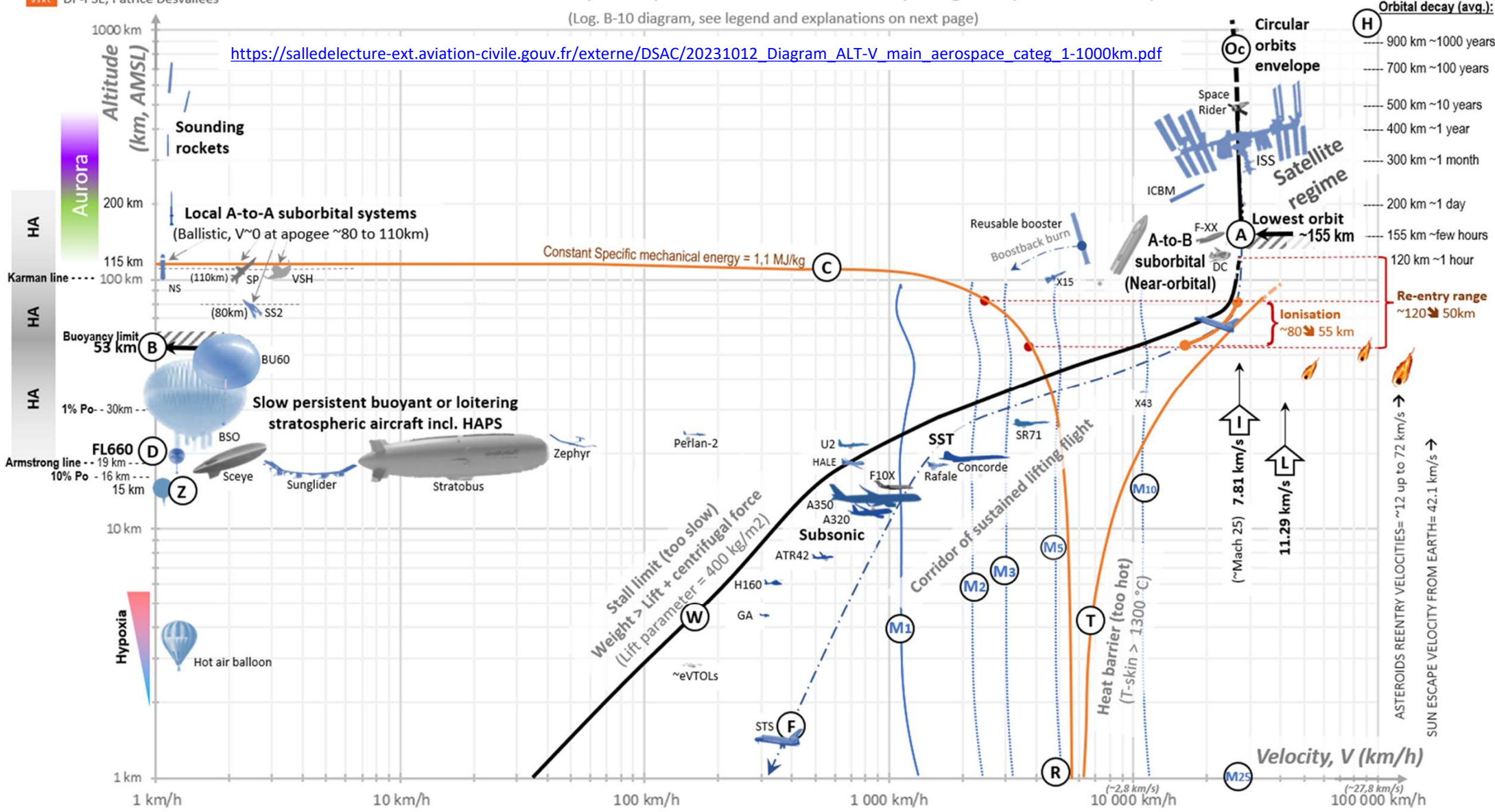


- Opérations stratosphériques, typiquement entre 18 et ~50 km
- L'aviation d'affaires et les jets militaires peuvent évoluer jusqu'au FL520/530 (~16km)
- A 20 km d'altitude : température ~ -45° C, pression ~55 hPa (vs 1013 hPa AMSL) = ~5%
- Impact des radiations, notamment pour des vols longue endurance

Main classes of Aerospace systems, Altitude-Velocity diagram (1 to 1000km)

(Log. B-10 diagram, see legend and explanations on next page)

https://salledelecture-ext.aviation-civile.gouv.fr/externe/DSAC/20231012_Diagram_ALT-V_main_aerospace_categ_1-1000km.pdf



Orbital decay (avg.):

- 900 km ~1000 years
- 700 km ~100 years
- 500 km ~10 years
- 400 km ~1 year
- 300 km ~1 month
- 200 km ~1 day
- 155 km ~few hours
- 120 km ~1 hour

Re-entry range ~120 → 50 km

Ionisation ~80 → 55 km

ASTEROIDS REENTRY VELOCITIES = ~12 up to 72 km/s

SUN ESCAPE VELOCITY FROM EARTH = 42.1 km/s

Main classes of Aerospace systems, Altitude-Velocity diagram (1 to 1000km)

Color code for figured craft:



(blue) Maturity is state-of-the-art (operational or not anymore): Already flew at targeted Alt.& V.



(gray) Maturity is R&D phase.

Co-authors: Patrice Desvallées (DGAC),
Nicolas Bérend (ONERA), Marie-Christine
Bernelin and Marc Valès (Dassault Aviation),
Christophe Chavagnac (ArianeGroup).

Diagram Legends:

- Each aerospace system is represented in the diagram by the point [Altitude; Velocity] at its highest specific (embedded) mechanical energy (Eme) during a nominal operation.
- Making the best of both Earth very deep gravity well and thick atmosphere, only ultra-high performance state-of-the-art aerospace systems can fly very high and/or ultra fast.
- The ICAO contracting States recognize that 'every State has complete and exclusive sovereignty over the airspace above its territory' (Chicago Convention, Art.1), while in international Law, there is an absence of an explicit delimitation between the sovereign Airspaces and Outer Space.

Diagram notable points and curves:

- **(A)**: ~155 km = Lowest 'stable' non-propelled circular Earth orbit, $V=7.81$ km/s (28 110 km/h), $E_{me}=32$ MJ/kg, orbital decay and re-entry after only a few 87-minutes orbits (~few hours).
- Armstrong line: altitude (around 19km) above which atmospheric pressure is sufficiently low that water (and blood) boils at normal temperature of the human body.
- **(B)**: 53 km = Balloon Max theoretical buoyancy altitude (JAXA, BU 60-1, Ø54m, 23 May 2002: <https://www.isas.jaxa.jp/e/special/2003/yamagami/03.shtml>).
- **(C)**: Specific (embedded) mechanical energy threshold (iso-Eme curve ~ 1.1 MJ/kg): beyond this curve, a thermal protection system(TPS) is usually needed to survive re-entry heating.
- **(D)**: FL660 = UTA ceiling (Upper Traffic Area) in most of Europe, FL195-FL660= Class-C (Controlled airspace), UIR above FL660= Class-G airspace until UNL (Unlimited).
- **(F)**: Re-entry and descent [Alt.; V]-trajectory envelope of the Space Shuttle STS (from ISS, at $E_{me}=33$ MJ/kg). Ionisation (& blackout) during~13min, from ~80km to ~55km altitude.
- **(H)**: orbital lifetime - mean duration for an average non-propelled space object/ satellite in a circular orbit to fall back down to Earth.
- **I**: Circular orbital velocity at 155km altitude = 7.81 km/s (=28 116 km/h or ~Mach 25). • **L**: Earth escape velocity at 100km = 11.27 km/s (=40 557 km/h).
- Karman line: FAI conventional altitude limit of 100km (AMSL) separating aeronautics records from space ones (it is not an int'l legal delimitation between airspaces and outer space).
- **(M1)** curve: constant Mach 1, **(M2)**: Mach 2, etc. • **(Oc)**: envelope [Alt.; V] of Earth circular orbits. • **(R)**: Rifle bullet speed (~ 1.3 km/s, or 4 700 km/h).
- **(T)**: Heat barrier [$T_{skin} > 1300^{\circ}\text{C}$]. • **(W)**: Stall limit, Weight> lift + centrifugal force [hyp. lift parameter = 400 kg/m²] (Ref.: [IAC-21-E4.2.4](#), N. Bérend, ONERA, 2021 [incl. M.&Gazley, 1956]).
- **T/W** Corridor of continuous flight with aerodynamic lift (area between **T** and **W** curves): theoretical technology limitations for sustained lifting flight to or from space.
- **(Z)**: Loon balloons (project cancelled on 21 Jan.2021) were heavier and flying lower (~FL500-FL650) than originally envisaged (FL600-FL900), while business or military jets can fly at FL520+.

Acronyms used:

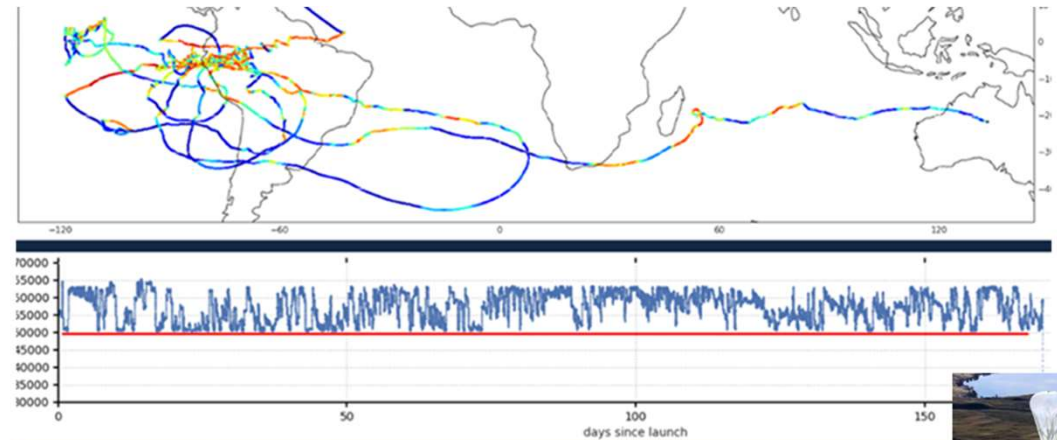
- Eme = Specific (embedded) mechanical energy (kinetic + potential)= $(E_k + E_p)/\text{Mass}$ (Joule/kg), Earth Orbital $E_{me} \geq 32$ MJ/kg. • ATR 42-600: regional turboprop airliner.
- AMSL: Altitude (Above Mean Sea Level). • A2B: suborbital Earth-to-Earth (up to 'near-orbital' ~7.2 to 7.7 km/s). • BSO: Open Strato. Balloon (CNES). • DC: DreamChaser, A2B suborbital (Sierra Sp.).
- eVTOLs: electric vertical take-off and landing projects. • F-XX: A2B suborbital (Dassault Aviation). • GA: piston airplane (general aviation). • H160: medium utility helic. (Airbus Helicopters).
- HA : Higher Airspace (tentative definition [EASA HAO-TF]: a volume of the airspace typically above altitudes where the majority of air services, including ATC/ANS, are provided today).
- HALE: turbojet HALE RPAS. • HAPS: High Altitude Platform Systems projects, slow persistent stratospheric unoccupied aircraft (~18 to ~35 km) – purposes: scientific, remote sensing, telecomm.
- ICBM: Intercontinental Ballistic Missile (~ 6 to ~7,7 km/s). • ISS: International Space Station. • LEO: Low Earth Orbit (~155 km to 2000 km). • NS: NewShepard (Blue Origin).
- $P_o = 1$ atm= 1013 hPa (pressure). • Rafale: Supersonic fighter jet, 1500 km/h, 15km alt. • SP: SpacePlane (A2A suborbital, ArianeGroup). • SS2: SpaceShipTwo (A2A suborbital, Virgin G.).
- SR71: hypersonic aircraft (Lockheed), 33m, 66t, 25.9km, Mach 3.2 (in 1976), heating.150°C (canopy) up to 560°C (nozzle). • SST: Supersonic Transport (air-breathing propulsion).
- STS: Space Transp. System (NASA). • VSH: 'Véh. Suborbital Habité' (A2A, Dassault Aviation). • X43(B52): NASA test vehicle, Mach 9.6 at 33km. • X15(B52): NASA test vehicle, 4867 km/h at 107.8km.

Reference IAC papers:

- IAC-2021 paper, IAC-21.D2.4.10, "At crossroads of aeronautics and space": <https://hal.science/hal-03464294v1/document>
 - Explanatory video: <https://www.youtube.com/watch?v=E3PQf9V-spg> / weblink to diagram (23 Aug. 2021) in the video description.
- IAC-2021 paper, IAC-21-E4.2.4 (ONERA), "The Missing Calculation behind the Original Kármán Line Definition": <https://hal.science/hal-03420278v1/document>

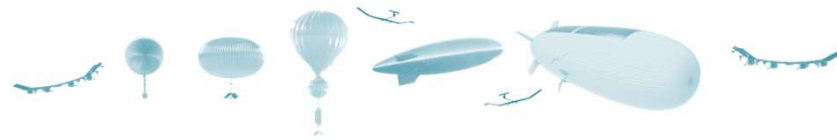
Expérience du projet Loon de Google (de 2014 à janvier 2021)

- Projet de constellation de ballons strato (He, Ø 15m) expérimentaux non certifiés, destinés à la fourniture d'internet (zones reculées)
- Accord bilatéraux signés avec chaque Etat survolé (dt ANSP)
- Durée de vie ballons : de 2 à 6 mois
- Altitudes visées initialement : FL600-FL900
 - Plus lourds, les ballons volaient plus bas : FL500-FL650 → Or des bizjets et avions militaires évoluent à FL520+
- Max ~80 à 90 ballons simultanément en l'air (2021)
- Contrôle partiel de l'altitude (ballonnet), IA&ML pour aller de A vers B avec les vents d'altitude
- Plusieurs descentes incontrôlées dans le monde (dont FIR-Brest) : situations dangereuses
- Projet Loon abandonné début 2021, malgré l'accès large d'Alphabet/Google aux financements et aux technologies de pointe
- Loon library (publique) : <https://x.company/projects/loon/the-loon-collection/>



In the 2014-2020 period, several crashes or uncontrolled descents of experimental balloons (Loon) created some dangerous situations in various FIRs around the world, including in France (Brest FIR), continental Europe, USA, Canada, Mexico, Central and South America, Africa, Indian Ocean ..





I. Contexte technologique et éclairages

II. Cadre réglementaire et juridique

III. Quelques conclusions et perspectives

Les 6 ou 7 descriptions actuelles de « HAPS », parfois divergentes



1 - Proposed preliminary definition, EASA HAO Roadmap (23 mars 2023): <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/137741/en>

High Altitude Platform Systems (HAPS) - **Manned** or unmanned aircraft intended to be operated in the higher airspace, also designated as “High Altitude Pseudo Satellites”. Slow aircraft **not exceeding the maximum buoyancy altitude** that can be lighter-than-air (**LTA**, like balloons, airships) or heavier-than-air (**HTA**, like motorized gliders).

2 - Proposed tentative description considered by EASA informal HAO-TF (Jan. 2023):

High Altitude Platform Systems (HAPS) – **Slow** aircraft intended to be operated in the HA, **generally** without people on-board, and **not exceeding the maximum buoyancy altitude**. They can be lighter-than-air (**LTA**, like balloons, airships) or heavier-than-air (**HTA**, like motorized gliders).

3 - Proposed preliminary description considered in the HAO ATM ConOps of the ECHO European research project (27 June 2023):

https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/D4.3_ConOps_1.0_public.pdf

High-altitude platform systems (HAPS) – Aircraft, **including** UAS, intended to be operated in the **stratosphere**.

4 - ITU definition of ‘HAPS’ (Radio Regulations, Definition No. 1.66A): <https://life.itu.int/radioclub/rr/art1.pdf>

High Altitude Platform Station (HAPS) - a **station** located on an object at an altitude of 20-50 km and at a **specified, nominal, fixed point relative to the Earth**.

5 – Tentative terminology considered in the HAPS Alliance terminology paper (Draft, Dec. 2022):

HAPS (High Altitude Platform Systems) - HAPS are **attended Autonomous Fleet** Systems, which include a fleet of craft (i.e., one or more uncrewed vehicles) that have **some degree of autonomy in the execution** of component tasks that lead to completion of an Operator assigned goal and are to **some degree attended**.

6 - JARUS tentative description (Draft, Nov. 2023):

High Altitude Platform System - HAPS is **a highly-automated** aircraft system, **without people on board**, designed for **persistent** high-altitude operations, carried out mostly in the stratosphere. They can be lighter-than-air (LTA, buoyant aircraft, balloons, motorized airships) or heavier-than-air (HTA, fixed-wing motorized aircraft).

7 - ESA website tentative description:

High-Altitude Pseudo-Satellite (HAPS) — an uncrewed **airship, plane or balloon** watching over Earth from the **stratosphere**. Operating **like satellites** but from closer to Earth, HAPS are the ‘missing link’ between drones flying close to Earth’s surface and satellites orbiting in space.

Note: when using the term ‘stratosphere’ or ‘stratospheric’, it is useful to recall that the lower boundary of the stratosphere is the ‘tropopause’, and that the tropopause altitude usually varies from around 17km above the equator down to around 6km above the poles. Airlines flying polar routes often cruise at 11-13km altitudes, about two times higher than the tropopause at polar latitudes.

Contexte et éclairages



La stratosphère
n'est pas une 'zone
libre de règles'

Pour définir un futur cadre international potentiellement adapté, il importe d'abord de savoir quelles machines et quels 'ConOps' sont considérés sous l'acronyme « HAPS » : or, quelque 6 ou 7 descriptions préliminaires différentes sont aujourd'hui envisagées (cf. planche). Aucune définition internationale (ni OACI, ni AESA).

Les « HAPS » sont bien des 'aéronefs' : donc l'ensemble du droit aérien s'applique, notamment la Convention de Chicago (cf. planche), les 19 annexes OACI et 6 PANS, les règles de l'Air (Annexe 2, SERA), etc.

[OACI, Ann.7] « Aéronef » - Tout appareil qui peut se soutenir dans l'atmosphère grâce à des réactions de l'air autres que les réactions de l'air sur la surface de la terre.

Ce qui n'est pas
prévu par le droit
aérien est a priori
non autorisé (sauf
dérogation des
Etats concernés.)

Nota : Des règles spécifiques existent également sur les ballons libres non habités (BLNH) : mais selon le degré de contrôle de l'altitude et de la trajectoire du HAPS considéré (LTA), il ne rentrerait peut être plus dans la catégorie BLNH ..

Les « HAPS » seraient aussi (majoritairement) des '**aéronefs sans équipage à bord**' (déf. AESA) :

[Règlement (UE) 2018/1139] « Aéronef sans équipage à bord » (UA) : tout aéronef exploité ou destiné à être exploité de manière autonome ou à être piloté à distance sans pilote à bord.

Le règlement 'drones' européen **Règlement (UE) 2019/947 s'applique aux « HAPS »**.(cf. planches dédiées)

Convention de Chicago



Quelques articles de la Convention de Chicago (1944) particulièrement pertinents pour les « HAPS » :

Article premier - Souveraineté

o Les États contractants reconnaissent que chaque État a la souveraineté complète et exclusive sur l'espace aérien au-dessus de son territoire.

Article 8 - Aéronefs sans pilote

o Aucun aéronef pouvant voler sans pilote ne peut survoler sans pilote le territoire d'un État contractant, sauf autorisation spéciale dudit État et conformément aux conditions de celle-ci. Chaque État contractant s'engage à faire en sorte que le vol d'un tel aéronef sans pilote dans des régions ouvertes aux aéronefs civils soit soumis à un contrôle qui permette d'éviter tout danger pour les aéronefs civils.

Article 31 - Certificats de navigabilité

o Tout aéronef employé pour la navigation internationale doit être muni d'un certificat de navigabilité délivré ou validé par l'État dans lequel il est immatriculé.

Article 36 - Appareils photographiques

o Tout État contractant peut interdire ou réglementer l'usage d'appareils photographiques à bord des aéronefs survolant son territoire.

Règlementation européenne, dont Reg.(UE) 2019/947 (Drones)

Règlement européen de 2019 sur les drones (UAS) : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0947>

Trois catégories d'exploitation UAS selon les risques : **Open, Specific or Certified operations**

La DGAC a élaboré des guides en français donnant des détails sur les exigences européennes applicables pour les catégories ouverte et spécifique de drones aériens (incluant les scénarios standard) :

- Guide sur la catégorie Ouverte :
 - https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Guide_categorie_Ouverte.pdf
- Guide sur la catégorie Spécifique (incluant les scénarios standard) :
 - https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Guide_categorie_Specifique_0.pdf

SORA / Estimation des risques (air, sol) des exploitations spécifiques de drones (SORA, *Specific operation Risk Assessment*) :

- Guide français de mise en œuvre de la SORA pour les drones/UAS :
 - https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Guide_de_mise_en_oeuvre_SORA.pdf
- Par ailleurs, concernant les règles de l'air 'SERA' (Règles de l'air communes européennes) :
 - https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/sera_complet_version01072023.pdf
- Pour les 'Unmanned free balloons (UFB)', l'AMC7 (*Acceptable Means of Compliance*) récent à l'Article 11 du Reg. 2019/947 (*Rules for conducting an operational risk assessment*) prévoit (<https://www.easa.europa.eu/en/downloads/138681/en> [p. 70]) :

"An operation using an unmanned free balloon that complies with the provisions defined in Appendix 2 to Regulation (EU) No 923/2012 (SERA) is considered meeting the safety objectives of the operational risk assessment laid down in Article 11 and thus implies compliance with this Article".

Hébergement dans l'espace aérien complexe

Concepts préliminaires ATM pour la haute altitude, étudiés aux USA (ETM), et en Europe (projet ECHO)



Chaque Etat est souverain sur son espace aérien, dont sa structuration/classification



En France (et presque toute l'UE), Classe-C du FL195 au FL660 (hist. Concorde), Classe-G au-dessus du FL660 jusqu'à illimité (UNL)

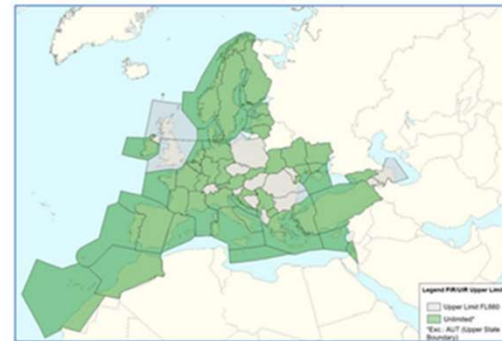


Figure 3 European FIR/UIRs – published lateral and vertical limits as per AIRAC 2204

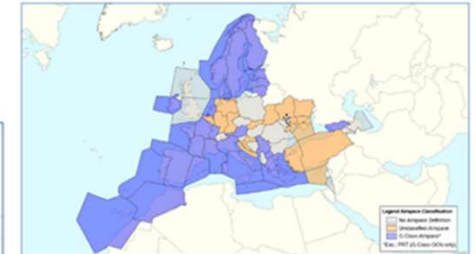


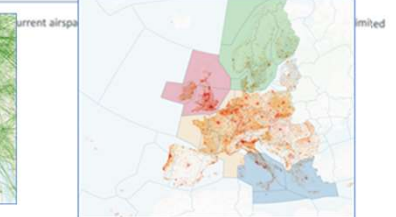
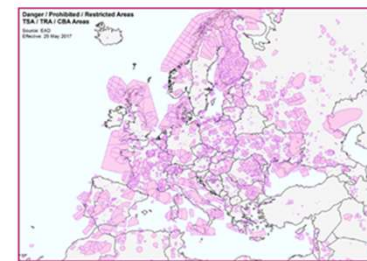
Figure 4 States' published airspace classification above FL660 to unlimited as per AIRAC 2204



Espace aérien très dense et complexe en Europe continentale, nombreuses zones restreintes et militaires, trafic très important, question de l'accès à l'espace aérien (ressource rare très demandée)



Pour les vols d'essais (espace aérien ségrégué pour montées/descentes), il importe que le porteur de projet travaille en amont avec les Etats concernés (dont autorisations 'cross-border') et les services de navigation aérienne (pour minimiser les perturbations sur le trafic aérien)





I. Contexte technologique et éclairages

II. Cadre réglementaire et juridique

III. Quelques conclusions et perspectives

Quelques conclusions et perspectives (1/2)

- Les HAPS représentent un domaine prospectif émergent tiré par qq innovations technologiques (batteries et matériaux plus légers, numérique, capteurs, etc.)
- Le CNES-Ballons parmi les pionniers de la stratosphère, dès les années 1960s
- L'acronyme « HAPS » n'a pas encore de définition internationale ou européenne (ni OACI, ni AESA)
- Alors que des projets de HAPS sont périodiquement abandonnés, d'autres apparaissent :
 - A divers niveaux de maturité technologique, de manœuvrabilité, prédictibilité, fiabilité
 - Marché de niche, modèle d'affaires délicat ('Loon' non satisfaisant)
- Ce sont le plus souvent des 'aéronefs sans équipage à bord' : le règlement Reg.(UE)2019/947 s'applique
- De futurs cadres réglementaires potentiellement adaptés aux « HAPS » dont futur cadre de gestion du trafic aérien (ANC/ATM) à haute altitude (y.c. autres HAO), restent à développer par l'OACI et l'AESA/EU (la DGAC y contribuera aux côtés des acteurs français)
- Les ressources des '*Rulemaking authorities*' (OACI, AESA) sont limitées, hiérarchisation des priorités (ex. autres sujets, nouveaux arrivants, etc.)

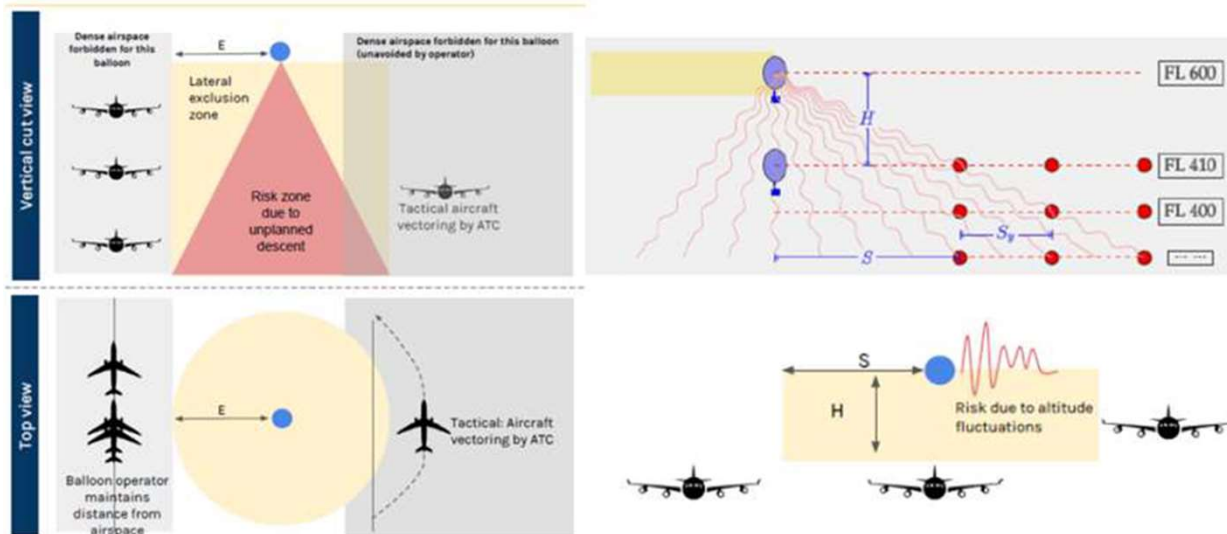
- Les lâchers de ballons strato. à vocation scientifique/météo (ex. NASA, CNES) se font souvent en petit nombre et depuis des régions peu peuplées (Nord Canada, Suède arctique, etc.) : réduction des risques air & sol
 - dossiers de demande d'autorisation envoyés par voie diplomatique (~1an avant) aux Etats potentiellement survolés

Quelques conclusions et perspectives (2/2)

- Défis : sécurité, sûreté (security, incl. Cyber), protection environnementale, spectre, responsabilités
- Le ballon espion au-dessus des USA (en février 2023) a marqué les esprits
- Les finalités 'non-transport' des HAPS ne seront pas forcément acceptables pour les Etats survolés
- Les descentes incontrôlées de ballons expérimentaux Google Loon ont générés des situations dangereuses dans diverses FIRs mondiales (abandon du projet le 21 janvier 2021)
- impératifs de souveraineté et de sécurité nationale
- La masse est un facteur itératif, lutte permanente contre l'alourdissement (souvent observé au cours des développements), compromis 'masse/sécurité' très délicat à trouver
- Conditions extrêmes à 20 km d'altitude : pression, températures, radiations
- Problématique du gaz porteur des HAPS-LTA (He, H₂) : H₂ cher et +risqué, Hélium rare et +cher (concurrence d'autres secteurs), certains ballons utilisent jusqu'à 1000 m³ d'He (BPS) ou plus de 1,2 million de m³ (BSO) - récupération et recyclage du gaz porteur difficiles

- La DGAC (DTA, DSAC, DSNA) accompagne l'innovation dans l'aviation et les acteurs français, dont ceux du domaine émergent des « HAPS » (parmi les HAO, ou autres '*new entrants*')
- Depuis début 2021, la DGAC co-anime (avec MESR et MINARM) un réseau thématique national sur les opérations à très haute altitude (RTN-HAO).

MERCI



MERCI