

# Accommodation et intégration des drones dans l'espace aérien : du qualitatif au quantitatif

Le Parlement a approuvé l'acquisition du drone Hermes 900 HFE dans son programme d'armement 2015. Dénommé ADS 15 (Aufklärungsdrohnensystem 15 ou système de drones de reconnaissance 15) en Suisse, le drone doit être équipé d'un système anticollision lui permettant d'opérer dans tout l'espace aérien suisse sans aucune limitation. Cette innovation technique représente également un challenge pour l'autorité de l'aviation militaire (Military Aviation Authority, MAA) chargé de certifier le drone et d'approuver ses opérations.

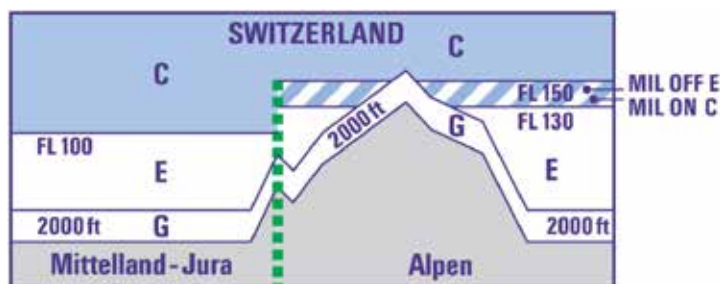
**Text:** Xavier Comby

L'intégration des drones dans l'espace aérien est un challenge qui occupe les autorités de l'aviation depuis de nombreuses années déjà. La problématique s'est encore accentuée avec l'arrivée sur le marché de minidrones pouvant être utilisés par des privés, élargissant ainsi le spectre des opérations jusque-là essentiellement réservées aux militaires et n'incluant que des drones de grandes dimensions.

Le DDPS a un rôle de pionnier depuis l'introduction du système de drones de reconnaissance 95 (ADS 95). En effet, l'ADS 95 a été le premier drone à opérer dans l'espace aérien mixte suisse, civil et militaire, sous certaines conditions malgré tout. Ce haut fait ne vient pas d'une performance technique, le drone étant équipé assez sommairement, mais est dû uniquement à une approche pragmatique de la gestion des risques de collision aérienne. L'accommodation de l'ADS 95 dans l'espace aérien suisse a été basée sur des analyses de sécurité successives, qui, au fil du temps, ont permis de lever certaines restrictions. Une d'entre elles est cependant toujours restée : l'obligation pour le drone d'être suivi dans certaines opérations par un avion avec un observateur à son bord qui assure la fonction de voir et être vu (see and avoid). Ce rôle est particulièrement critique dans les espaces aériens non contrôlés (souvent également non couverts par les radars du contrôle aérien) et où opèrent des aéronefs non coopératifs (c.-à-d. sans système de surveillance et donc invisibles pour les contrôleurs de l'espace aérien). Pour des raisons de conditions météo, le drone est souvent obligé d'opérer sous la couverture nuageuse et se retrouve dans ces espaces pour les missions qui lui sont attribuées, en particulier la surveillance par senseurs optiques d'objectifs au sol, en soutien de la police ou des gardes-frontières.

## Sense and Avoid (SAA) pour ADS 15

Les exigences relatives à la fonction «voir et être vu» font partie du cahier des charges du nouveau système de drones



**ATS AIRSPACE CLASSIFICATION Switzerland and Liechtenstein**

C	D	E	G	CONDITIONS FOR VFR
ATC/TFC INFO	TFC INFO	TFC INFO O/R	FIS	Services provided
●				Separation IFR/VFR
●	●			RTF and ATC CLR prior entry compulsory
●	●	●	●	MAX speed below FL100: 250kt IAS

Les espaces aériens E et G offrent des services limités de contrôle aérien, et la présence de trafics non coopératifs (sans radio ni transpondeur) y est autorisée.

de reconnaissance 15 (ADS 15) afin de pouvoir opérer dans tout l'espace aérien suisse sans restrictions. L'ADS 15 revendique l'accès à l'espace aérien sous les mêmes conditions que les autres utilisateurs, et cela implique qu'une solution technique remplace l'observation humaine, le «see and avoid» devenant «Sense and Avoid» (SAA). Cette revendication est justifiée par le spectre des opérations prévues pour l'ADS 15 et l'impossibilité de limiter l'espace aérien suisse aux seuls utilisateurs militaires. La Military Aviation Authority (MAA) est l'autorité de l'aviation militaire qui approuve les opérations de l'ADS 15, en consultation avec l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) pour les questions d'intégration avec le trafic aérien civil. L'intégration du drone ADS 15 est prévue en trois phases :



Drone de reconnaissance 15 (ADS15).

une accommodation similaire à l'ADS 95 (avec les mêmes restrictions), suivie de l'introduction du système SAA limité aux trafics coopératifs dans un premier temps et finalement étendu aux trafics non coopératifs, cela devant permettre l'intégration totale du drone. Cette approche séquentielle permet de limiter les risques tout en accumulant durant chaque phase suffisamment d'heures de vol pour justifier le passage à l'étape suivante.

### Normes de certification pour les systèmes Sense and Avoid

Le bureau de certification d'armasuisse en charge de la certification d'ADS 15 travaille depuis de nombreuses années dans le cadre du groupe de travail de l'OTAN «Sense and Avoid Specialist Team» (SAA ST) au développement d'un standard technique pour les systèmes SAA afin de réduire les risques liés à la certification. En 2018, une recommandation de normalisation OTAN (STANREC AEP-101) a été publiée et sert de référence pour de nombreux États. Sous l'impulsion, entre autres, des représentants d'armasuisse, ce STANREC a été complété début 2021 par un «Performance-Based Standard» (PBS) qui liste les exigences techniques ainsi que les différentes méthodes de vérification du système SAA. La contribution de la Suisse au développement de ce standard est majeure et très appréciée des autres participants. La Suisse est, avec les États-Unis, un des seuls participants ayant un programme de développement d'un système SAA en cours. D'un autre côté, la Suisse profite de l'expérience d'acteurs majeurs représentés dans ce groupe, comme Eurocontrol (organisation européenne pour la sécurité du trafic aérien) ou encore les Lincoln Labs du Massachusetts Institute of Technology (institution à l'origine du système d'alerte de trafic et d'évitement de collision, TCAS).

### Approche quantitative de la sécurité

Contrairement à l'approche qualitative qui ne permet que d'accommoder les drones, le standard élaboré par les



#### Standard PBS

Le standard PBS n'est pas prescriptif comme le sont typiquement les standards de l'industrie aéronautique. Il est au contraire basé sur les performances minimales des systèmes SAA qui sont à démontrer, sans exigences spécifiques sur le design de tels systèmes. Ce standard est actuellement revu par l'industrie aéronautique des pays membres de l'OTAN et de ses partenaires et devrait être annexé à la recommandation de standardisation AEP-101 dans un premier temps, avant de devenir un accord de normalisation OTAN (STANAG) ultérieurement. Le groupe de travail de l'OTAN s'entretient régulièrement avec des représentants de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) afin de s'assurer que le standard militaire soit en ligne avec un possible futur standard civil.

autorités militaires exige une approche quantitative, plus appropriée pour démontrer l'impact de l'intégration des drones sur le niveau de sécurité de l'espace aérien. Cette approche est similaire à ce qui a été fait lors du développement du TCAS et de ses versions ultérieures (TCAS II, ACAS X) et nécessite l'élaboration de modèles propres à l'espace aérien considéré ou alors représentatif de celui-ci.

Le risque de collision est composé d'un risque ambiant (la probabilité pour le drone de croiser un autre usager sur sa route) multiplié par la probabilité de détecter et d'éviter l'autre aéronef. De manière conservatrice, les analyses ne considèrent pas la possibilité que l'autre aéronef prenne les mesures d'évitement, mais uniquement le drone.

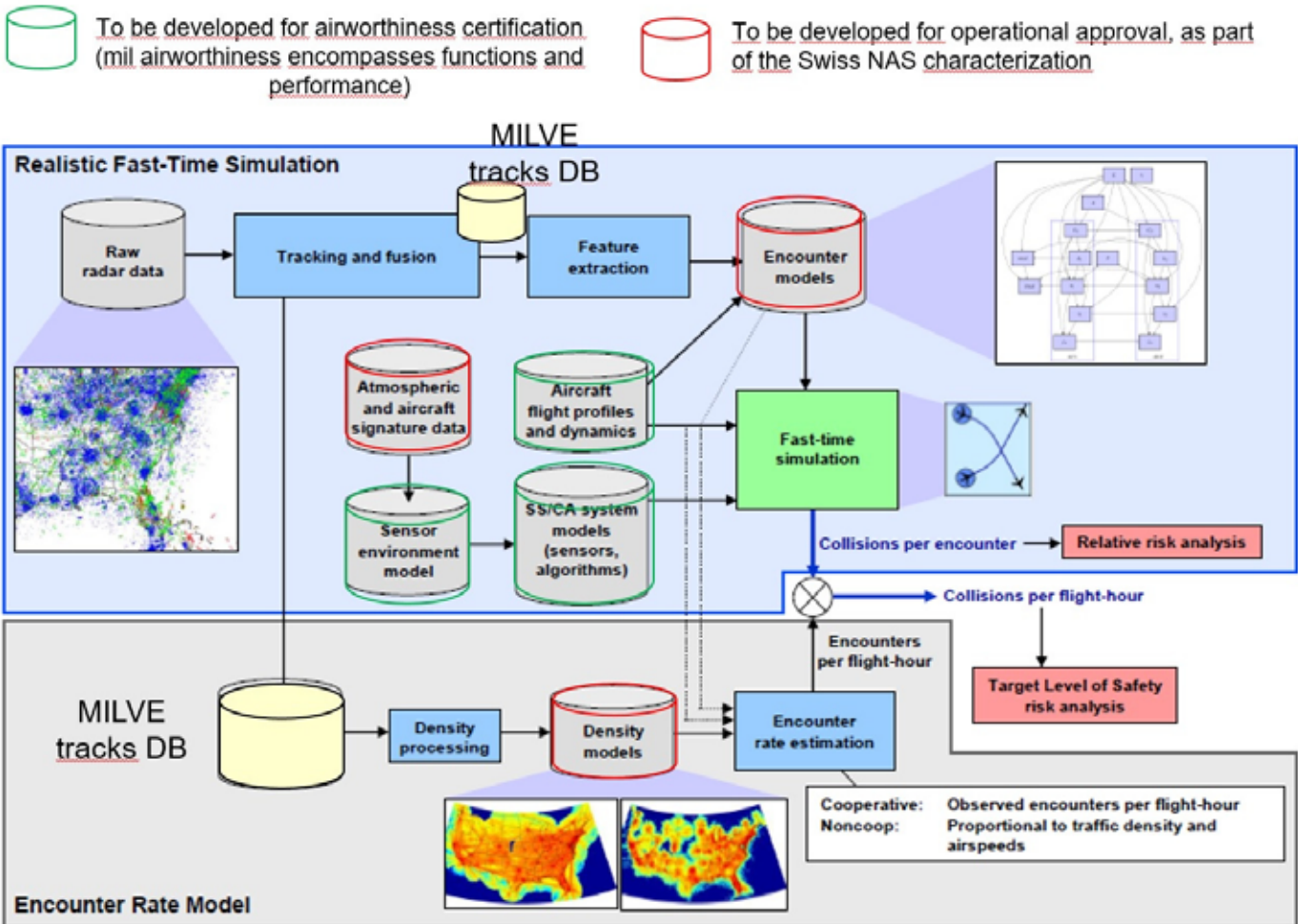
Le risque ambiant dépend principalement de la densité du trafic aérien ainsi que des vitesses des aéronefs en question. La densité de trafic varie elle en fonction de l'altitude, du lieu, de la date et de l'heure considérée. L'influence des conditions météorologiques se retrouve indirectement dans les facteurs susmentionnés.

Le risque propre à la détection et l'évitement d'un autre aéronef dépend quant à lui de l'efficacité du système SAA, à savoir des capteurs pour la détection et de sa logique d'évitement. ADS 15 incorpore des capteurs coopératifs (ADS-B in, TAS, FLARM) mais également un radar afin de détecter les trafics non coopératifs (sans transpondeur). Ce risque est exprimé par un rapport (nommé «risk ratio») quantifié au travers de simulations de type Monte Carlo. Les trajectoires du drone ainsi que des trajectoires représentatives d'aéronefs de l'espace aérien considéré sont simulées, sans et avec le système SAA. Les simulations exigent des modèles dynamiques du drone ainsi que des modèles de performance des capteurs et de la logique SAA. Après avoir proprement implémenté ces modèles, les simulations sont répétées des millions de fois, en variant les différents paramètres qui influencent les trajectoires (comme par exemple le taux de montée) mais de façon à représenter statistiquement les aéronefs de l'espace aérien considéré. Les analyses sont complétées par des essais en vols, ces derniers étant limités à la vérification de l'efficacité du système SAA à des cas standards (requis par les normes) ou alors extrêmement rares (propre à l'espace aérien) ou spécifiques au drone en

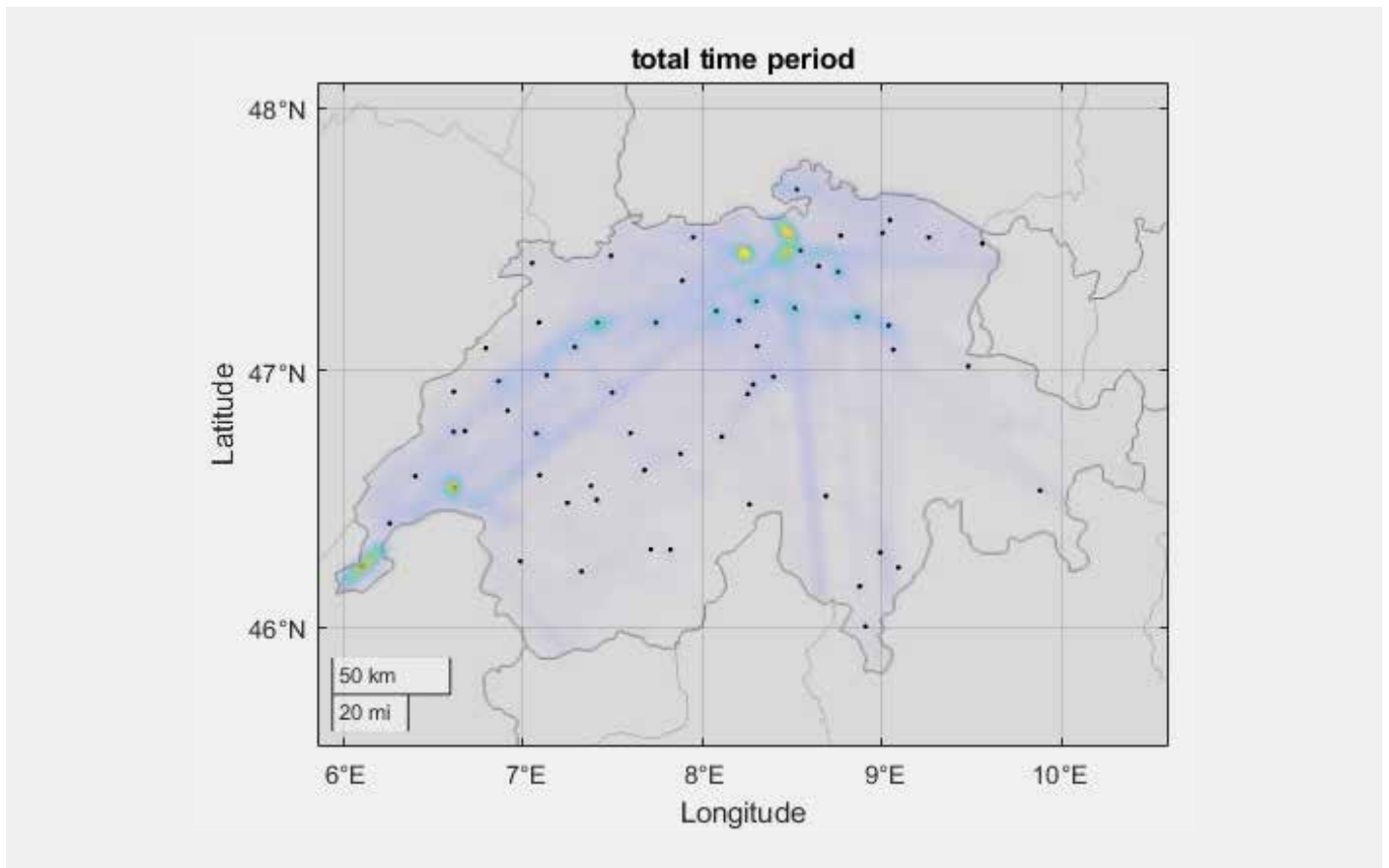
question. Sur la base de ces analyses et ces tests, de possibles restrictions opérationnelles peuvent être définies afin de garantir le niveau de sécurité.

**Statistiques de l'espace aérien**

Les Forces Aériennes suisses enregistrent et archivent chaque jour des données liées à la situation aérienne dans le pays. Pour conduire les analyses requises dans le cadre de la certification du système SAA de l'ADS 15, la MAA considère entre autres les données MILVE (MILitäre Luftbild VErarbeitung, système militaire de visualisation de la situation aérienne) qui sont relatives aux trafics aériens détectés par les radars primaires, secondaires, civils et militaires ainsi que les radars d'approche des aéroports militaires. Ces données sont classifiées et ne peuvent être utilisées que sous certaines conditions. Selon les estimations de la MAA, une quantité de données de trois ans est nécessaire pour obtenir des résultats statistiquement robustes. L'étude de ces données délivre également des statistiques nécessaires au développement du système SAA. Par exemple, le nombre maximal de trafic dans un certain volume autour du drone a dû être spécifié très tôt dans le développement



Les simulations prévues pour l'intégration de l'ADS 15 dans l'espace aérien suisse sont nombreuses et relativement complexes (schéma adapté du MIT LL).



Exemple de statistique: densité de trafic (hot spots).


du système SAA mais n'a pu être validé que plus tard, en se basant sur les données MILVE. De même les performances des aéronefs dans l'espace aérien (par exemple la vitesse maximale des trafics non coopératifs) ont pu être quantifiées grâce aux données MILVE et font partie intégrante du standard OTAN.

### Compétences statistiques et informatiques internes à armasuisse

Les analyses des données MILVE requièrent des compétences en statistiques et en programmation informatique. À cet égard le bureau de certification du MAA est soutenu par les spécialistes du groupe Recherche opérationnelle et analyse de systèmes (ORSA) d'armasuisse Sciences et technologies. En étroite collaboration, les experts du bureau de certification et les spécialistes du groupe ORSA sont en train de développer un outil informatique pour les analyses des données. Le code de cet outil a été récemment porté sur la plateforme open source GitHub, en vue d'étendre la collaboration à d'autres organisations. Dans ce cas, des données MILVE modifiées et déclassifiées peuvent être utilisées pour valider le code développé par des organisations externes aux DDPS, protégeant ainsi les aspects de sécurité que ces données contiennent.

L'effort est conséquent et devrait s'étaler sur de nombreuses années encore. La priorité est donnée actuellement au programme ADS 15, mais d'autres applications sont prévues. L'étude des risques associés à certaines routes aériennes ou

réseaux tels le «Low Flight Network» des Forces Aériennes suisses ou encore aux opérations de minidrones civils ou militaires sont des applications concrètes qui peuvent directement profiter des modèles développés.

Le rôle de pionnier du DDPS dans l'acquisition, la certification et les opérations de drones, débuté il y a presque 40 ans avec l'ADS 95, se poursuit aujourd'hui avec l'ADS 15. Le savoir-faire acquis profitera à long terme à d'autres utilisateurs de l'espace aérien suisse. 



#### L'Autorité de l'Aviation Militaire (MAA)

La MAA est l'organe compétent et indépendant en matière de régulation et de surveillance de l'aviation militaire. Elle se compose de trois domaines principaux, à savoir la navigabilité, les opérations aériennes ainsi que la gestion du trafic aérien et infrastructure, qui sont complétés par la gestion de la sécurité aérienne qui mène les investigations en cas d'accidents. Le bureau de certification d'armasuisse fait partie de l'autorité de la navigabilité et est responsable entre autres de la certification de tous les systèmes aéronautiques militaires suisses. Six personnes composent ce bureau (quatre ingénieurs de certification et deux inspecteurs de navigabilité).