Université de Toulouse

Master 2 Géomatique

« ScIences Géomatiques en environneMent et Aménagement » (SIGMA)

http://sigma.univ-toulouse.fr

Rapport de Stage

Etat de l'art des logiciels cartographiques de la chaine logicielle CGX

Carla Meneses de Arruda

Maître de stage : Christophe Jamme
Tuteur-enseignant : Sébastien Le Corre

Aout 2018

Résumé

La croissance exponentielle vécue par le secteur de l'aviation civil international a imposé le basculement du modèle de Gestion du Trafic Aérien (ATM) en opération pendant le XX^{e} siècle. Le développement de la technologie satellitaire, d'une nouvelle génération des systèmes de navigation et les systèmes de liaison de données ont ouvert une nouvelle perspective pour l'optimisation de l'opération aérienne et pour le développement du système CNS/ATM. Celui-ci, développé par L'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) et ses partenaires, est orienté vers un système de gestion numérique du trafic aérien mondial intégré, harmonisé et globalement interopérable. Il a fait qui le Service d'Information Aérien (AIS), avant fournisseur de produit cartographique, s'était adressé à la fourniture de service, en laissant aux agents du secteur la place pour le développement de nouveaux produits.

Pour répondre à ces besoin, CGX, une PME d'un fort potentiel d'innovation au service des métiers d'information géographique aéronautique a lancé, en 2009 la première version commercial du logiciel Data4Flight et postérieurement, en 2015, l'extension Chart4Flight dédiée à la production cartographique. Ce logiciel offre aux clients et partenaires de CGX, un outil SIG soft et performant qui puisse répondre aux réglementations de l'OACI. Afin de faire un état des lieux de la conformité cartographique de l'extension Chart4Flight orientée par Annexe 4 de l'OACI - Cartes Aéronautiques, ce stage met en place une chaine de traitement d'automatisation de templates. Les cartes produites de façon automatisée ont servi de source pour la construction d'une matrice de couverture qui rend possible une analyse quantitative du taux de conformité du logiciel par rapport la réglementation.

Abstract

The exponential growth experienced by the international civil aviation sector has forced the switchover of the Air Traffic Management (ATM) model into operation during the 20th century. The development of satellite technology, a new generation of navigation systems and data link systems have opened a new perspective for the optimization of the air operation and for the development of the CNS / ATM system. This, developed by the International Civil Aviation Organization (ICAO) and its partners, is geared towards an integrated, harmonized and globally interoperable global air traffic management system. It did that the Air Information Service (AIS), before mapping product supplier, had turned to the supply of service, leaving the sector agents room for the development of new products.

To meet these needs, CGX, an SME with a strong innovation potential at the service of aeronautical geographical information trades, launched in 2009 the first commercial version of the Data4Flight software and later, in 2015, the dedicated Chart4Flight extension. to cartographic production. This software provides CGX customers and partners with a soft and powerful GIS tool that can meet ICAO regulations. In order to make an inventory of the cartographic compliance of the Chart4Flight extension oriented by ICAO Annex 4 - Aeronautical Charts, this course sets up a template automation processing chain. Automated maps have been used as a source for the construction of a coverage matrix that makes quantitative analysis of the compliance rate of the software against the regulation possible.

Remerciements

Je tiens à mentionner toutes les personne qui on participer directement ou indirectement à la réussite de ce stage, et qui m'ont accompagné pendant toute la trajectoire de ce Master 2.

Toute d'abord je remercie ma famille, qui même loin est toujours présente dans mon cœur et qui me pousse à suivre mes rêves. Cela s'adresse aussi à Hugo Bellet, raison de mon arrivée en France et qui a été à mon côté à chaque pas de ce chemin.

Je remercie ensuite toute l'équipe pédagogique du Master 2 Sigma pour m'avoir donné les outils nécessaires à la réalisation de ce stage qui va enrichir ma vie professionnelle. C'est plein d'émotion que je remercie Messieurs Claude Monteil, Martin Paegelow et Sébastien Le Corre pour toute leur compréhension et soin qu'ils m'ont dispensé lorsque les difficultés de la vie ont frappé à ma porte. Je profite encore pour adresser à Monsieur Le Corre, tuteur-enseignant de ce stage, toute mon admiration, lui qui est porteur d'une sensibilité et d'un sens d'humanité, et qui m'a rendu des conseils précieux.

Par la suite, je remercie Monsieur Christophe Jamme, responsable logiciel cartographie et maître de ce stage qui a beaucoup contribuer à me faire comprendre la potentialité de ce sujet de stage, qui m'a ouvert les portes du Groupe CGX et m'a soutenu pendant tout le travail. Je remercie encore Alex et Julien pour le partenariat dans l'équipe de développement de Chart4Fligt, ainsi que toute la famille CGX pour la façon amicale qu'ils m'ont reçu.

Je remercie encore à la Région Occitanie pour avoir financé ma reprise d'études et de cette façon l'avoir rendu possible.

En dernier mais assez important, un grand merci à mes collègues de promo pour avoir avec moi partagé les heures de joie et de travail.

A vous tous, muito obrigada !

Table des matières

I. Préambule 1
II. Introduction 2
1. Contexte global : 2
2. Structure d'accueil : 2
3. La chaîne de logiciels CGX : 2
4. Objectifs du stage 3
a. Généraux : 3
b. Spécifiques : 3
c. Les livrables : 4
5. Gestion de Projet 4
III. Méthodologie 6
1. Cartographie et conformité à l'Annexe 4 (cf. OACI) 6
2. Sécurité de l'information aéronautique et Annexe 15 de l'OACI 7
IV. Développement 10
1. Présentation du logiciel Data4Flight et de l'extension Chart4Flight 10
2. Automatisation de templates 12
3. Gestion de bugs et évolution des outils 26
4. Matrice de couverture 28
5. Evaluation de base de données 31
V. Résultats 35
VI. Conclusion 46
Bibliographie 47
Glossaire 49

Table des illustrations

Tableau 1 – Type des cartes et respectif quantité présentée dans l'AIP Laos 12
Tableau 2– Ressources logiciels et symboles devant être développés 13
Tableau 3 – Cartes analysées dans la Matrice de couvertures et leurs fonctions 30
Tableau 4 - XXX 32

Figure 1 Architecture Data4Fligth / Chart4Fligth - Source : CGX 3
Figure 2 - Processus d'acquisition et transmission de massage à travers le langage - Source : Ecole Nationale des Sciences Géoique. Cartographie Vol 1, modifié par l'auteur. 6
Figure 3– Diagramme UML de l'entité AirportHeliport - Source : Aeronautical Information Exchange Model – AIXM 5.1 8
Figure 4– Viewer du logiciel Data4Flight - Source : Data4Flight 10
Figure 5– Viewer de extension Chart4Flight - Source : Chart4Flight 11
Figure 6- Diagramme de flux de l'automatisation des templates et construction de charte graphique 14
Figure 7– Template test construit dans la version 2.5 de Date4Flight et l'arborescence créée à partir de la reproduction de celui-ci - Source : CGX, Data4Flight 15
Figure 8– Système « Check In » / « Check Out » et la création des fichiers temporaires - Source : Data4Flight 16
Figure 9-Système de gestion de temporalité - Source : Data4Flight 16
Figure 10– Outil Reference Scale - Source : Data4Flight 17
Figure 11– Outils d'addition des objets - Source : Data4Flight 17
Figure 12- Fenêtre d'édition d'expression pour construction de condition d'affichage - Source : Data4Flight 18
Figure 13– Outils de customisation de symboles - Source : Data4Flight 18
Figure 14-Fenêtre d'affectation de symbologie et bibliothèque de symboles - Source : Data4Flight . 19
Figure 15 - Exemple d'étiquette d'équipement d'aide à la navigation - Source : CGX 19
Figure 16– Récupération de champ « Direction » originaire de l'entité « RouteAvailability »pour la création de l'étiquette directionnelle associée à la route - Source : Data4Flight 20
Figure 17 – Script python pour création d'étiquettes de route directionnelle et bibliothèque de fonctions - Source : Data4Flight 21
Figure 18-Schéma de construction des étiquettes - Source : Data4Flight 22
Figure 19-Création des étiquettes - Source : Data4Flight 23
Figure 20– Les six zones de la structure visuelle du layout - Source : Data4Flight 24
Figure 21-Apperçu de Layout List - Source : Data4Flight 24
Figure 22– Dynamic Text - Source : Data4Flight 25
Figure 23– Création de tableau dynamique - Source : Date4Flight 26
Figure 24– Diagramme de gestion de bugs et évolution du logiciel - Source CGX. Modifié par l'auteur. 27
Figure 25 – Type de carte aéronautique par phase de vol - Source : Tirée de Girardet (2014), modifié par l'auteur. 29
Figure 26 – Étiquette associé Initial Leg produit à la carte IAC Conventionel. Source : 33

I. Préambule

Depuis la fin de la deuxième guerre mondiale, le besoin de réguler l'aviation civile est devenu une condition première pour promouvoir son développement à l'échelle globale. Au cours du XX^{e} siècle plusieurs agences, associations, structures de recherche, entreprises et organisations gouvernementales ont été créés destinées à mettre en place un tel projet. L'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) a été proposée pendant la Convention de Chicago en 1944 et sa ratification a eu lieu en 1947. Le rôle de l'OACI devait être, en même temps, celui d'un régulateur, d'un médiateur et d'un financier dans tout ce qui concerne l'aviation civile internationale. Elle a eu le but de créer une base solide et un environnement égalitaire pour que les Gouvernements, qui en adoptant certains principes et arrangements commun, puissent définir les instruments normatifs les plus adaptés à leurs besoins de façon à fournir les installations et services aéronautiques nécessaires à l'implantation du transport aérien international dans leurs territoires. Le principe majeur de ce document concerne le respect de la souveraineté complète et exclusive de chaque État sur son espace aérien. Parmi les services fournis par l'État, le Service d'Information Aéronautique (AIS) est responsable de la gestion et de la fourniture des informations et des données aéronautiques nécessaire à l'exploitation de la navigation aérienne par la communauté de Gestion de Trafic Aérien (ATM). Partie intégrante de l'AIS, la Publication d'Information Aéronautique (AIP), doit « répondre aux besoins internationaux en ce qui concerne l'échange des informations aéronautiques de caractère durable qui sont essentiels à la navigation aérienne » [1].

Désormais, et pour arriver à atteindre ses objectifs d'uniformisation dans les réglementations, les normes, les procédures et l'organisation des aéronefs, le personnel, les voies aériennes et les services auxiliaires, l'OACI a publié au long des années une série de 18 annexes à la Convention de Chicago (voir l'annexe 1 de ce rapport), séparées en domaines particuliers qui présentent les normes standards et les pratiques recommandées (SARPs) concernant l'intégralité de la chaîne opérationnelle de l'aviation civile internationale. Pour spécifier les procédures nécessaires au fonctionnement des services de la navigation aérienne par les états, l'OACI a publié les Procédures pour les Services de Navigation Aérien (PANS), les manuels techniques et des nombreux documents auxiliaires.

Le modèle opérationnel de l'aviation civile du XX^{e} siècle était basé sur des vols à vue, aidé par des équipements de sol de type radar. À cette époque les informations aéronautiques ont été diffusées par la transmission des messages alphabétiques de télex et par cartes en format papier. Mais l'industrie du transport aérien a connu une croissance rapide et depuis 1977 le volume de trafic aérien a doublé tous les 15 ans. Il doit continuer à grandir à vitesse exponentielle.

Pour atteindre l'augmentation de volume du trafic en assurant la sécurité de l'opération aérienne, les avioniques se sont modernisées et l'information aéronautique a augmenté en volume et en complexité. Cependant, l'AIS était encore fortement dépendant de l'intervention humaine dans toutes les étapes de sa chaine opérationnelle. Pendant les années 80, l'ATS a constaté la situation de saturation de l'espace aérien ayant pour conséquence les retards systématiques et la multiplication des accidents. Ce scénario a demandé le développement d'un nouveau modèle de gestion pour l'aviation civile internationale.

[1]OACI. Services d'information aéronautique – OACI Annexe 15 (2013 pp 4-1)

II. Introduction

1. Contexte global :

Le développement de la technologie satellitaire, des systèmes de navigation embarquée informatisé, de la navigation de surface (RNAV), de la navigation fondée sur performance (PNB) et les systèmes de liaison de données ont ouvert une nouvelle perspective pour l'optimisation de l'opération aérienne et ont servi de fondement pour le développement du système CNS/ATM proposé par l'OACI et ses partenaires à la fin des années de 1990. Le concept CNS/ATM est orienté sur un système de gestion du trafic aérien mondial intégré, harmonisé et globalement interopérable pour tous les utilisateurs pendant toutes les phases de vol. L'OACI prévoie un horizon de planification pour l'implantation du nouveau système qui s'étend jusqu'à 2025 et au-delà. Il a un fort caractère innovant et visionnaire, comme cela est présenté dans le Plan Mondial de navigation aérienne[2] , destiné à guider la mise en œuvre des systèmes CNS/ATM par les États.

Le nouveau système bascule le but de l'AIS, qui était auparavant centré sur la fourniture de produit, vers une structure qui, à partir de «[l'] Introduction du traitement et de la gestion numériques de l'information aéronautique, (…), [de] l'utilisation du modèle d'échange d'informations aéronautiques (AIXM), [de] la transition à la publication électronique d'information aéronautique (eAIP) et [de] l'amélioration de la qualité et de la disponibilité des données »[3], cible la fourniture des services qui est nécessaire aux acteurs du secteur pour le développement de nouveaux produits.

2. Structure d'accueil :

Le groupe CGX a été créé en 1996 avec un fort potentiel d'innovation au service des métiers d'information géographique aéronautique, de la montagne, de la Défense et de la Sécurité Civile. Depuis plus de 10 ans, dans son segment CGX AERO, il produit des études techniques et développe, opère et commercialise, une chaîne d'outils informatiques à vocation métier dédiée à répondre aux besoins du secteur aéronautique en ce qui concerne :

- La gestion d'information géographique aéronautique, la transition du système AIS à AIM, la conception de procédures et trajectoires de vol aux instruments, la production cartographique, la mise à jour des AIPs et sa diffusion sur plateforme web ;
- Les études d'implantation des structures pour les aéroports, les études d'optimisation opérationnelle de service de trafic aérien, l'assistance pour que les acteurs du secteur aéronautique (public ou privé) mettent en place leur Système de gestion de sécurité aéroportuaire et d'autres conformités réglementaires ;
- Les études d'impact environnemental des structures aéroportuaire, les études prospectives et l'aide à la décision.

CGX est une PME composée d'environ 80 collaborateurs directs et opère dans plus de 46 pays.

3. La chaîne de logiciels CGX :

Pour répondre aux besoins du secteur concernant la gestion et l'interopérabilité des données géographique aéronautique structurées sur le système AIM et en conformité avec le Services d'information aéronautique – Annexe 15 de l'OACI, CGX développe depuis 2006 le logiciel Data4Flight qui a eu sa première version commerciale en 2009. En ciblant la production cartographique en conformité avec les Cartes aéronautiques - Annexe 4 de l'OACI, l'extension Chart4Flight a été développée depuis

[2]OACI. Plan mondial de navigation aérienne 2013 – 2028. Doc 9750-AN/963 (2013, pp 10)
[3]OACI. Idem (pp 52)

2014, avec une première version commerciale en 2015. Ces outils offrent aux clients et partenaires de CGX, un outil SIG soft et performant aligné au principe de l'interopérabilité utilisant des données temporelle AIXM 5.1. Son interface permet d'être connecté à la base de données en local (fondée sur un fichier SQLite) ou à distance (fondée sur un fichier PostgreSQL) (cf. figure 1).

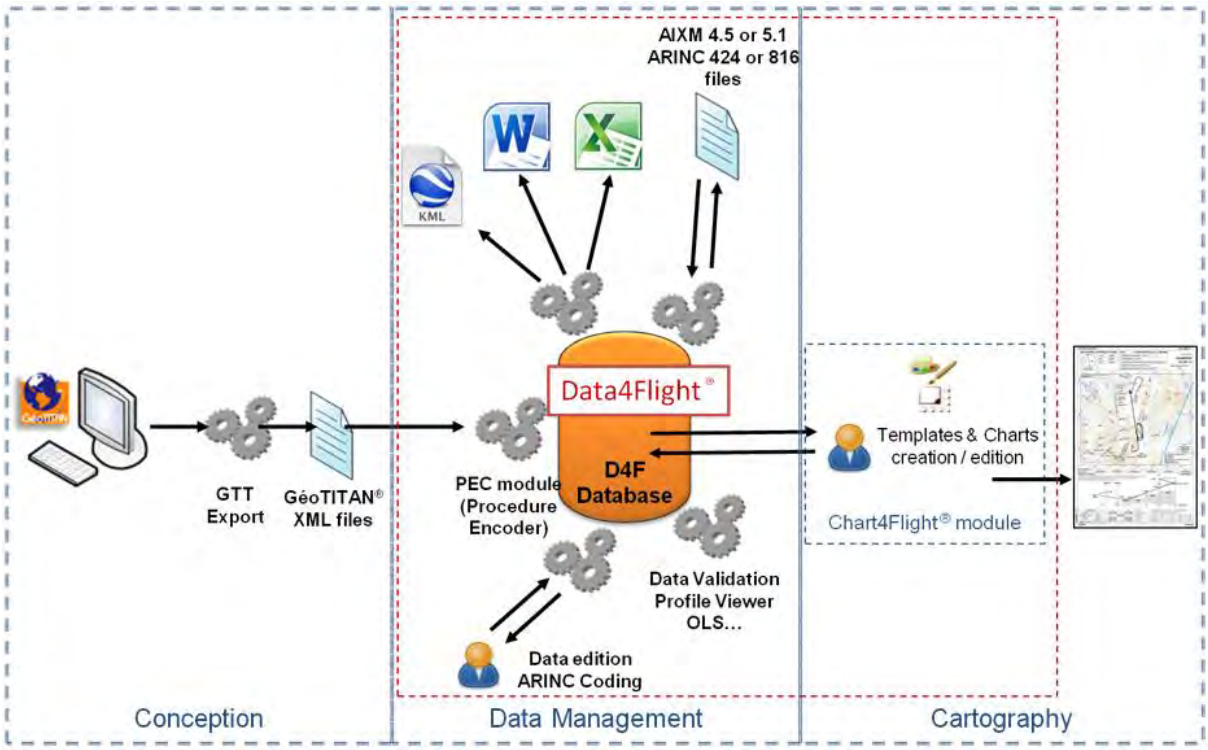


Figure 1 Architecture Data4Fligth / Chart4Fligth - Source : CGX

Ce stage s'inscrit dans le contexte d'évolution du logiciel Data4Flight et de l'extension Chart4Flight, en ce qui concerne la production cartographique, il prévoit la mise en place d'améliorations nécessaire spécifiques à la construction de la version commerciale 3.0. Au début de ce stage, la version commerciale disponible de Data4Flight a été la 2.5.

4. Objectifs du stage

a. Généraux :

Faire un état des lieux de la conformité cartographique de l'extension Chart4Flight orientée par le document Cartes Aéronautiques – Annexe 4 de l'OACI sur la représentation normalisée des 19 types de cartes réglementées par l'OACI, en proposant des axes d'amélioration du logiciel.

b. Spécifiques :

Ce stage, pour arriver à ses objectifs, a été intégré au Projet Laos qui a pour but de fournir au client un package logiciel pré paramétré, destiné à la gestion de données géographique aéronautique et à la production de cartes aéronautiques, en accord avec la réglementation présentée dans l'Annexe 4 de l'OACI et qui répondent aux besoins de chartes graphiques personnalisées du client dans le cadre de la production et la mise à jour de l'AIP Laos. Les objectifs spécifiques du stage sont :

- Analyser la dernière version publiée de l'AIP Laos pour identifier les types de cartes présents dans le document, et les outils de représentation graphique et d'affichage de valeurs qui sont

indisponibles dans le logiciel Data4Flight / Chart4Flight mais qui sont nécessaires pour la production de la totalité des cartes de l'AIP.

- Définir le pré-paramétrage des templates par type de carte de façon à configurer une interface automatisée de production des layouts qui seront alors personnalisés et en accord avec les normes réglementées et les besoins du client. C'était la première fois qu'une charte graphique personnalisée a été produite pour intégrer le catalogue de cartes par défaut du logiciel.
- Observer et tester la performance du logiciel pendant toutes les étapes du projet, de façon à rapporter à l'équipe de développement les informations concernant les dysfonctionnements des outils, les occurrences des exceptions et l'identification des axes d'amélioration ;
- Construire une matrice de couverture qui permette la quantification et la qualification du taux de conformité avec l'Annexe 4 de l'OACI des cartes aéronautiques par type, produites dans le logiciel Data4Flight / Chart4Flight. Pendant le développement du travail, et en raison de l'impact de la qualité des données sur la production cartographique, nous avons ajouté au scope du travail, l'étape d'évaluation de la base des données concernant la précision attributaire et sémantique.

c. Les livrables :

- État de l'art – évaluation du niveau de la conformité de l'extension Chart4Flight pour la production cartographique réglementée par l'Annexe 4 de l'OACI dans le cadre du Projet LAOS.
- Matrice de couverture – évaluation détaillée de la conformité ou non-conformité de chaque élément décrit dans l'Annexe 4 de l'OACI par type de carte présenté dans l'AIP Laos. Ce produit s'ajoute à la production de 6 cartes en conformité.
- Les fichiers .d4f – contiennent le pré-paramétrage des templates personnalisés des 15 types de cartes présents dans l'AIP Laos et en conformité avec l'Annexe 4 de l'OACI, intégrée à la Chart Library par défaut de Chart4Flight fournie au client.
- Piste d'amélioration – ce document est une spécification haut niveau et dresse la liste de toutes les exigences fonctionnelles et opérationnelles à prendre en compte dans le développement du logiciel.

5. Gestion de Projet

Le stage a été développé dans le segment GGX AERO et intégré à l'équipe dédiée au développement logiciel de l'extension Chart4Flight. Ce stage fait partie intégrante du Master 2 SIGMA de l'Université de Toulouse. Il est obligatoire pour la validation des crédits universitaires dans la modalité Professionnel. Il s'est déroulé sur 25 semaines, entre le 12 mars et le 31 août, pour un total de 900 heures.

Ce plan d'activité a été organisé en six étapes :

1) Démarche du stage – Présentation à l'équipe, au local de travail et aux moyens matériels mis à disposition, à savoir : ordinateur, double écran, support logiciel, connexion internet, téléphone et accès au serveur (niveau stagiaire).

2) Gestion de projet - Définition d'une stratégie de travail et construction du diagramme de Gant (voir l'annexe 2 de ce rapport). Cette étape prévoie, au moment de la finalisation du stage, une activité de bilan qui doit être réalisée avec le chef de stage de la structure d'accueil.

3) Étude préliminaire - La construction du répertoire bibliographique s'est concentrée sur la documentation OACI concernant la gestion de données géographiques et la production des cartes aéronautiques, parmi d'autres documents. Les principaux sont :

- Cartes aéronautiques – Annexe 4 de l' OACI
- Services d'information aéronautique – Annexe 15 de l'OACI
- Aeronautical Chart Manual – Doc 8697
- Aeronautical Information Services Manual – Doc 8126
- World Geodetic System — 1984 (WGS-84) Manual — Doc 9674
- Plan mondial de navigation aérienne 2013 / 2028 – Doc 9750
- Feuille de route pour la transition de l'AIS à AIM

De façon à introduire les concepts aéronautiques, de présenter au stagiaire la chaîne logiciel CGX et de le familiariser aux principales fonctionnalités du logiciel Data4Flight / Chart4Flight, s'ajoutait à cette étape l'accompagnement d'une série de 6 séances de formation interne offerte par la structure d'accueil, à savoir :

- Démonstration interne GeoTitan (2 hs);
- Accompagnement formation cliente AIP Arruba GeoTitan / Chart4Flight (4 hs);
- Accompagnement formation cliente AIP Thailande Chart4Flight (12 hs);
- Initiation Aéronautique : concepts de base (6 hs);
- Temporalité, gestion des données et production cartographique dans AGC (12 hs);
- Résolution de 16 cahiers d'exercices Data4Flight4F / Chart4Flight (12 hs);

4) Logiciel Data4Flight / Chart4Flight : Automatisation de templates, production de cartes en conformité et remplissage de la matrice de couverture – cette étape est composée de la mise en place d'une chaîne de traitement pour la construction des templates pré-paramétrés concernant 11 types de cartes présentés dans l'AIP Laos. Elle a compté ainsi avec la production des 6 cartes en conformité avec l'Annexes 4 de l'OACI parmi les 11 types, à savoir la carte EnRoute (ENR) , la carte d'Approche aux instruments conventionnelle (IAC conventionnel), la carte d'Approche aux instruments RNAV (IAC RNAV), la carte de Départ normalisée aux instruments (SID conventionnel), la carte d'Arrivée normalisée aux instruments (STAR RNAV) et la carte d'Approche à vue (VAC). Cela a permis la construction d'une matrice de couverture ayant une approche comparative entre les cartes présentées dans l'AIP Laos, les cartes en conformité du Data4Flight / Chart4Flight, et les cartes présentées dans l'AIP Toulouse-Blagnac de la SIA France utilisé comme référence européenne. Cette étape a été riche en échange avec l'équipe de développement et les spécialistes de conception de procédure de vol.

5) Évaluation de la base de données – Initialement la cinquième étape a été prévue pour ré-appliquer les étapes décrites précédemment au logiciel AIP GIS Charting qui utilise une interface serveur ESRI dans le cadre du Projet Croatia. Cependant, en raison d'une redéfinition des agendas des Projets et de la constatation du fait que ce double travail n'ajoutait pas de gains méthodologiques significatifs pour les objectifs du présent stage, au détriment du temps nécessaire pour le faire, il a donc été décidé de le remplacer par l'évaluation de la base de données concernant la précision attributaire et sémantique, celle-ci ayant un aspect directement impactant sur la production cartographique et, par conséquent, sur le taux de conformité des cartes.

6) Rédaction du rapport de stage

III. Méthodologie

1. Cartographie et conformité à l'Annexe 4 (cf. OACI)

« L'information géographique procède de tous les phénomènes auxquels on peut attacher une localisation »,[4] et la cartographie représente ces phénomènes sur la carte. « Puisque la carte utilise une symbolique conventionnelle pour transmettre un message, on peut la considérer comme un langage » [5]. En tant que langage, elle présuppose un émetteur, un message et un récepteur ou lecteur. Le succès de la communication de la carte consiste en effet à ce que le cartographe, en se servant de la symbolique conventionnelle, organise l'information. De cette façon le lecteur, possédant la connaissance de la symbolique, décrypte la carte et en extraie l'information pour récréer un modèle mental au plus proche du phénomène réel (cf. figure 2).

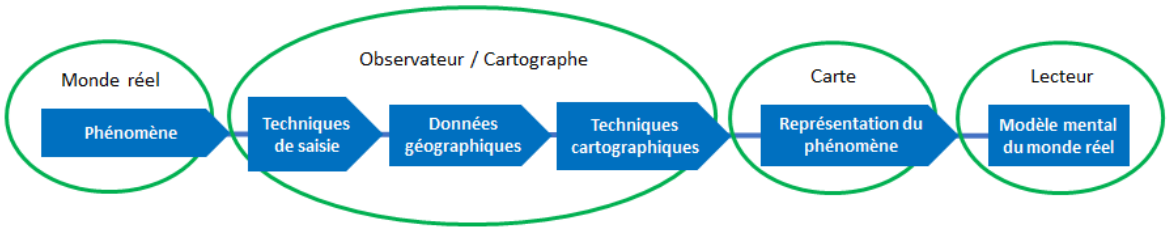


Figure 2 - Processus d'acquisition et transmission de message à travers le langage - Source : Ecole Nationale des Sciences Géoique. Cartographie Vol 1, modifié par l'auteur.

Le processus de décryptage lorsqu'il est appliqué à la cartographie aéronautique exige de la part des données un maximum de complétude et de fiabilité pour réduire au minimum la subjectivité du lecteur et assurer une compréhension précise du message transmis par la carte. La carte aéronautique a des fonctions opérationnelles et est destinée aux pilotes et à l'équipage du Contrôle de Trafic Aérien (ATC), étant la principale source d'information en cas de panne des équipements de guidage ou de communication. Elle fournit des informations concernant les installations et les services de navigation aérienne qui peuvent être utilisés.

Les normes et les recommandations contenues dans l'Annexe 4 de l'OACI ont pour but de conventionner une symbolique cartographique aéronautique précise concernant la spécification de couverture, le format, l'identification, le contenu, la symbologie normalisée et l'utilisation de couleurs de façon à assurer l'opérationnalité et la sécurité de l'exploitation des services aériens. Elles fournissent aussi, au-delà des informations bidimensionnelles communes à la plupart des cartes, des systèmes tridimensionnels concernant le service de circulation aérienne. L'OACI réglemente 19 types de cartes :

1. Carte d'obstacles d'aérodrome — OACI type A (Application des limites d'emploi des avions) ;
2. Carte d'obstacles d'aérodrome — OACI type B ;
3. Carte de terrain et d'obstacles d'aérodrome — OACI (Électronique) ;
4. Carte topographique pour approche de précision — OACI ;
5. Carte de croisière — OACI ;

[4] IGN – Ecole Nationale des Sciences Géographique. Cartographie Vol 1 : sémiologie graphique et conception cartographique. 1999 (pp 2).
[5] IGN – Idem.

6. Carte régionale — OACI ;
7. Carte de départ normalisé aux instruments (SID) — OACI ;
8. Carte d'arrivée normalisée aux instruments (STAR) — OACI ;
9. Carte d'approche aux instruments — OACI ;
10. Carte d'approche à vue — OACI ;
11. Carte d'aérodrome/d'hélistation — OACI ;
12. Carte des mouvements à la surface de l'aérodrome — OACI ;
13. Carte de stationnement et d'accostage d'aéronef — OACI ;
14. Carte aéronautique du Monde au 1/1 000 000 — OACI ;
15. Carte aéronautique au 1/500 000 — OACI ;
16. Carte aéronautique au 1/500 000 — OACI ;
17. Carte de tracé de navigation — OACI ;
18. Système de visualisation des cartes aéronautiques électroniques — OACI ;
19. Carte d'altitude minimale pour le vol sous surveillance ATC — OACI.

2. Sécurité de l'information aéronautique et Annexe 15 de l'OACI

Le rôle et l'importance de l'information aéronautique a beaucoup changé à cause du développement des nouvelles technologies de navigation et d'information. L'AIS traditionnel, qui saisit la plupart des données plus d'une fois dans différents ordinateurs à l'aide d'un clavier et qui a été centré sur le produit, a basculé vers un service de plus grande portée. Il s'agit de l'AIM qui est centré sur les données structurées et les transferts des fichiers numériques sur réseaux informatique. De cette façon l'AIS est devenu « un des services habilitant les plus utiles et les plus importants » [6] de l'ATM, en permettant « aux fournisseurs de services de navigation aérienne d'augmenter le volume de trafic qu'ils peuvent traiter simultanément, dans le même espace, en toute sécurité » [7] .

Pour réduire au minimum les informations aéronautiques altérées ou erronées qui nuisent à la sécurité du trafic aérien et pour assurer un degré élevé de qualité, d'intégrité et de cohérence des informations nécessaire à la bonne opération de l'ATM, le plus grand changement apporté par l'AIM est « l'intensification du recours à la technologie informatique pour la gestion des informations et l'importance accrue accordée à la forme numérique des données dans tous les processus destinés à la gestion des informations. Tant les produits graphiques que les éléments textuels [reposent] sur la même définition standard sous-jacente de données atomiques géoréférencées » [8]. Cela, demande comme élément central, une « normalisation précise des éléments de données atomiques en termes de noms de champs, de types de champs et de définitions des champs. (…) De plus, des groupes structurés standard de champs doivent être définis en termes de caractéristiques, d'attributs et d'associations » [9]. Pour cela et de façon à instaurer l'interopérabilité, le modèle d'échange d'informations aéronautiques (AIXM) a été développé en utilisant l'UML, comme présente dans la figure 3, et la représentation des données en XML qui permet son échange par protocole internet.

[6] OACI. Feuille de route pour la transition de l'AIS à l'ATM (2009 pp 1-1).
[7] Idem (pp 1-2).
[8] OACI. Services d'information aéronautique – OACI Annexe 15 (2013 pp 1-1)
[9] Idem (pp 1-3,4).

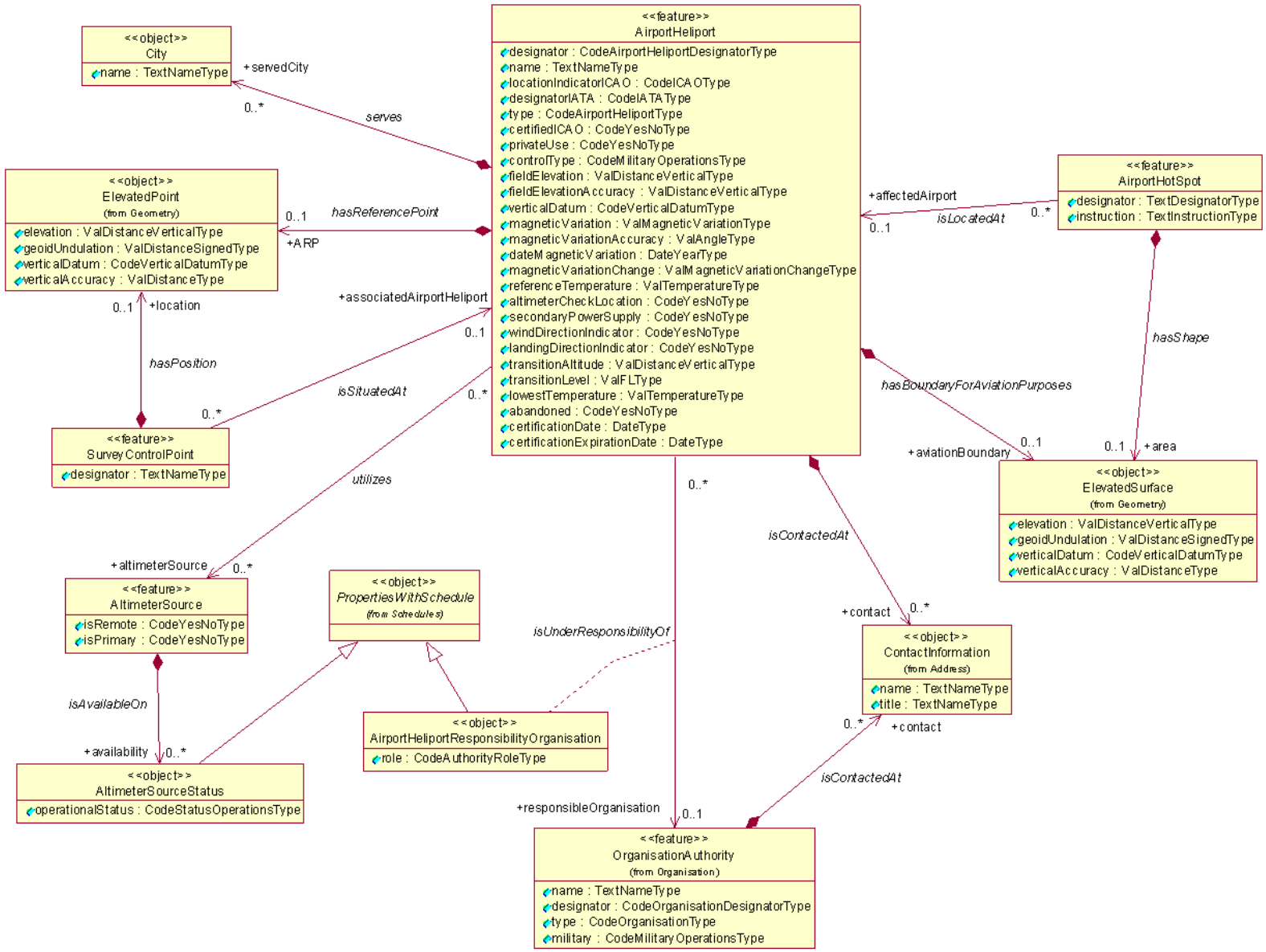


Figure 3– Diagramme UML de l'entité AirportHeliport - Source : Aeronautical Information Exchange Model – AIXM 5.1

L'Annexe 15 de l'OACI a eu sa quatorzième édition publiée en 2013, et il comporte les normes et recommandations nécessaires pour orienter l'implantation et opération de l'AIS en conformité avec la conception AIM. Il détermine l'exigence de la qualité des données en tant que précision, résolution, intégrité et traçabilité et la mise en place des techniques pour la détection des erreurs, la sûreté des données et l'authentification. Il définit les quatre dimensions de l'information géographique aéronautique : latitude, longitude, altitude et temps. Ces éléments sont indiqués en détail dans le Manuel du Système géodésique mondial – (WGS-84) Doc 9674 de l'OACI. La dimension temporelle montre le caractère dynamique de l'information aéronautique, une fois que les modifications des structures aéroportuaires, la définition de nouvelles procédures où les événements de courte durée sont inévitables, ils impactent l'opération du trafic aérien et demandent la mise à jour des cartes contenues dans l'AIP. Cette mise à jour est mise en place par la régularisation et le contrôle de la diffusion des renseignements aéronautiques (AIRAC) qui consiste à un système ayant pour but « la notification à l'avance, sur la base de dates communes d'entrée en vigueur, de circonstances impliquant des changements importants dans les pratiques d'exploitation » [10]. L'AIRAC a un cycle de 28 jours entre chaque publication et il doit subsister dans le nouveau système, mais la diffusion de telles données qui exige la vérification, la validation, la surveillance et la correction avant sa diffusion, ne subit pas le même délai.

[10] Disponible sur https://ext.eurocontrol.int/aixmwiki_public/bin/view/AIXM/Diagram_AirportHeliport.

IV. Développement

1. Présentation du logiciel Data4Flight et de l'extension Chart4Flight

Le logiciel Data4Flight et l'extension Chart4Flight sont les ressources premières pour la mise en place de la chaîne de traitement proposée par ce stage, mais sont aussi son objet d'analyse principal. Pour comprendre cela, il est nécessaire de faire une présentation rapide des principales fonctionnalités qui implique directement le travail ici développé.

Parmi d'autres fonctionnalités, Data4Flight permet à travers la fenêtre « DataTree » (cf. Figure 4) ❶, la visualisation des données structurées en arborescence afin d'illustrer la hiérarchie, les relations et les liens entre les différentes entités de données. Par la fenêtre « Data list attributes » ❷ il est possible encore de visualiser son contenu attributaire. Les modules de stockage et calcul prennent en compte le système géographique mondial ❸ associé au système de gestion des coordonnées. Son module de calcul géodésique ❹ est basé sur « GeodEasy », bibliothèque développée par travail collaboratif entre SIA et IGN. L'affichage géographique est basé sur DotSpatial et dispose de toutes les fonctionnalités basiques d'un SIG (déplacement, zoom, sélection, recherche de données, etc.) ❺. Les vecteurs, les images, et les modèles de terrain sont supportés. À travers la fenêtre « Legend » ❻ il est possible de manipuler les couches de données et de leur attribuer la symbologie. Il possède aussi un ensemble d'outils et d'extensions pour la construction de profils de procédures de vol, la connexion à la base de données et la gestion de projets, l'import / export des formats supportés, la gestion de données et d'édition cartographique, d'édition de shapefile et d'un modèle de codage de procédures basées sur le concept ARINC 424 ❼, en plus des outils classiques de gestion de fichier ❽.

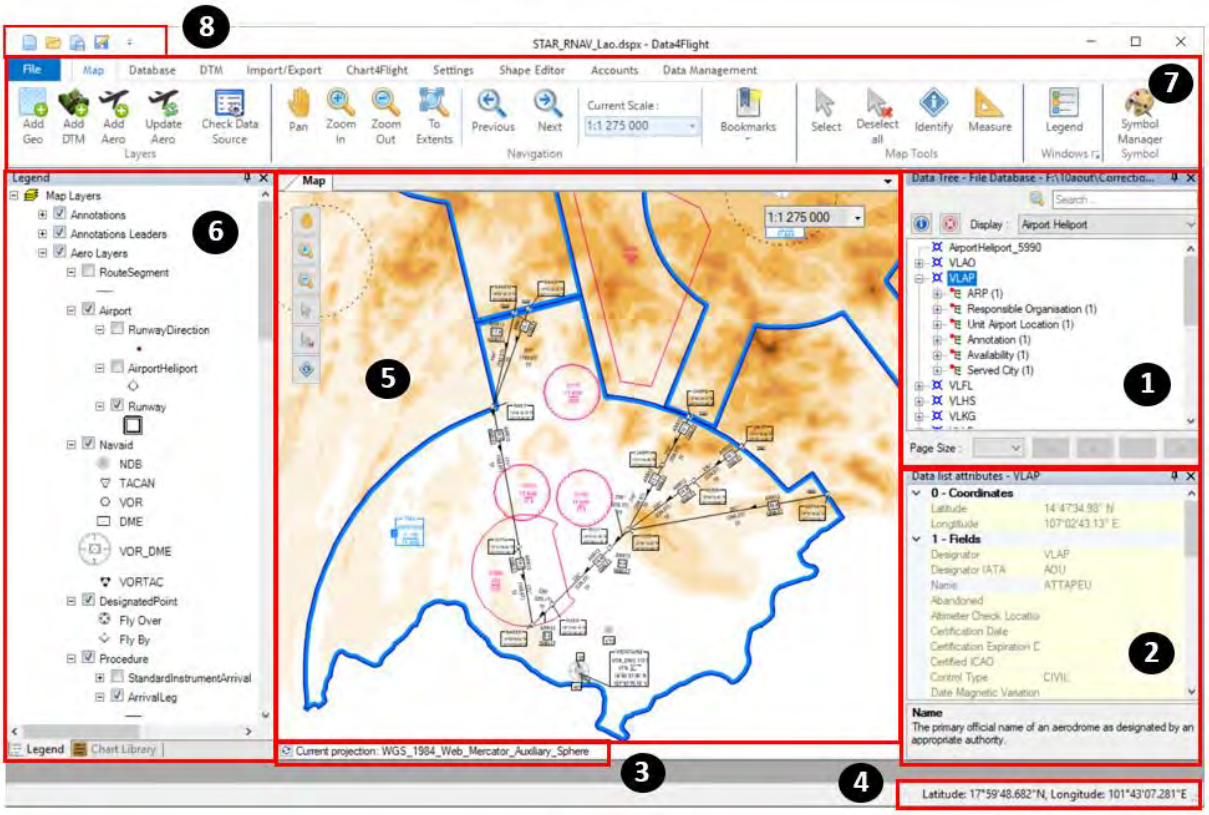


Figure 4– Viewer du logiciel Data4Flight - Source : Data4Flight

L'extension Chart4Flight ❾, intégrée aux fonctionnalités de Data4Flight, est dédiée à la création et la gestion des cartes aéronautiques. Elle dispose des fonctionnalités basiques d'un SIG en ce qui concerne la gestion de couche, l'attribution de symbologie et la production de templates. Elle fournit un catalogue de cartes ❿ et leurs templates, ainsi qu'une gestion partagée et collaborative pour tous les utilisateurs. Ce catalogue fonctionne comme une interface automatisée des templates par type de carte, définie par l'utilisateur. Cette interface permet la sélection des entités géographiques, la définition de leurs conditions d'affichage et d'affectation de la symbologie, l'attribution des propriétés de polices et de leur emplacement. Elle permet aussi la récupération des données et l'affectation de script python. Ce dernier étant destiné à la conversion, au calcul des valeurs et à la création des étiquettes. L'outil « Layout » ⓫ crée un fichier de layout, qui permet la construction d'une charte graphique personnalisée, liée au template et qui stocke sa configuration dans le fichier .d4f. Il est composé d'un ensemble d'outils d'édition de layout ⓬ qui met à disposition les fonctions de déplacement, zoom et sélection, ainsi que l'import des objets dynamiques (échelle graphique, graticule, table dynamique, texte dynamique et variation magnétique) et des éléments statiques (texte, image, forme et rose d'orientation). A travers la fenêtre « LayoutList » ⓭ il est possible de visualiser les éléments qui composent le layout et de les organiser par groupe. Le contenu et les propriétés de chaque élément sont visualisés à travers la fenêtre « Properties » ⓮. Il possède aussi la fenêtre « Page » ⓯ qui présente la viewer du layout (Cf. figure 5).

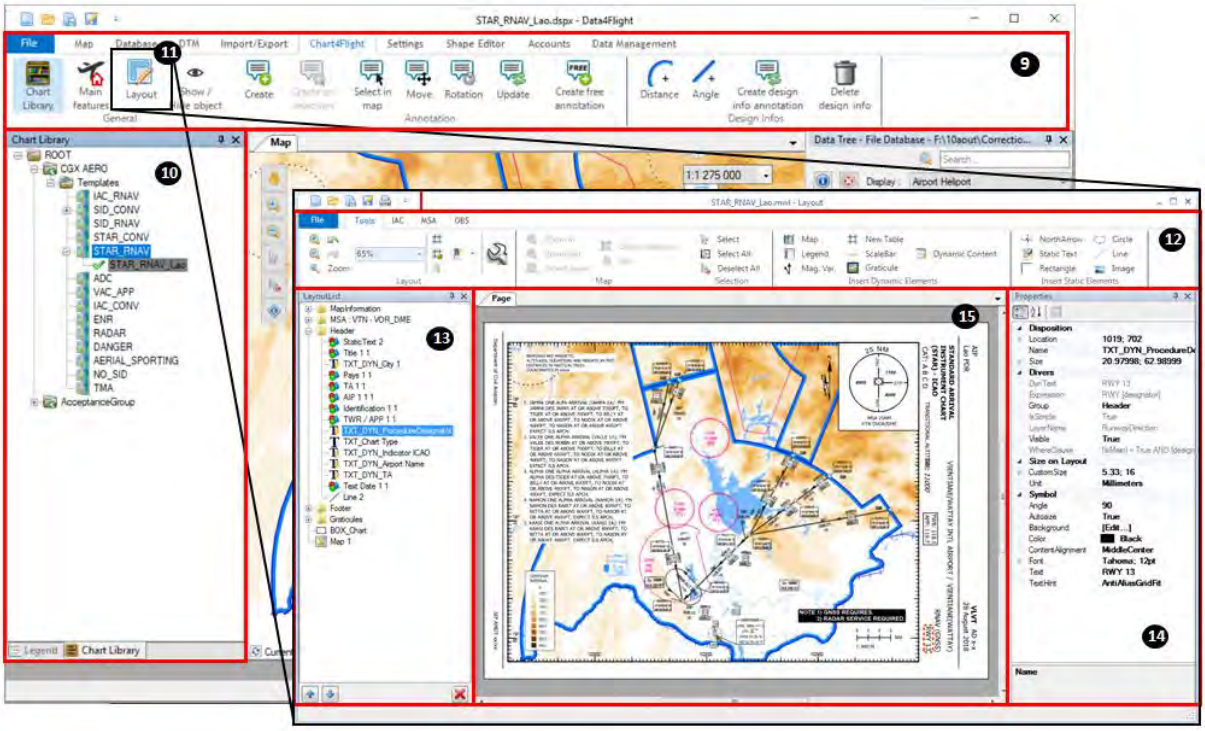


Figure 5– Viewer de extension Chart4Flight - Source : Chart4Flight

Des outils utilisés dans la chaîne de traitement pour l'automatisation de templates, seront présentés dans la section suivante.

2. Automatisation de templates

L'automatisation de templates pour la construction d'une charte graphique personnalisée possède plusieurs avantages. Parmi eux on retrouve : une efficacité accrue, une minimisation des erreurs et une réduction du temps de construction de layouts, mais aussi la fixation d'une identité visuelle, la standardisation des symboles, des calculs, des conversions, des affichages des valeurs et de la légende. En plus l'utilisateur peut avoir la sécurité d'être en conformité avec la normalisation cartographique de l'Annexe 4 de l'OACI. Cependant, cette automatisation, malgré ses avantages, n'exclue pas le besoin d'un opérateur spécialiste en cartographie aéronautique.

Cette étape comporte une tâche initiale d'évaluation du contenu cartographique de l'AIP Laos. D'abord il a été vérifié quelles sont les cartes présentées, leurs types et leurs particularités. Comme on peut le vérifier sur le tableau 1, l'AIP Laos contient un total de 49 cartes correspondant à 11 types différents. Il est important de remarquer que pour la construction des templates, les cartes IAC, SID et STAR, se divisent en 2, concernant les types de procédure conventionnel et RNAV. Donc, pour les 11 types de carte, a été construit 14 templates qui serviront à la production automatisée des 49 cartes de l'AIP Laos et de ses modifications postérieures. Selon la déclaration du client, les cartes de l'AIP publiée ont été faites en utilisant des logiciels conventionnels d'édition d'images statique, qui ne prennent pas en compte les attributs des données géographiques, et par conséquent ne satisfaisaient pas les exigences de la qualité de l'information aéronautique en tant que précision, résolution, intégrité et traçabilité.

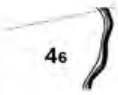
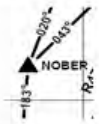
Tableau 1 – Type des cartes et respectif quantité présentée dans l'AIP Laos

Cartes par type	
Type	Quantité
Radar System	1
Danger	2
Aerial Sporting	1
Route (Lower and Upper)	2
ADC	4
IAC	15
SID	13
STAR	7
TMA	2
Non-SID	1
Approche à vue	1
Total des Cartes	49

Source : AIP Laos. Modifié par l'auteur.

La tâche suivante a été d'indiquer les ressources logicielles et de symbologie non fournies par défaut dans Chart4Flight mais qui sont nécessaires à la production cartographique. Le résultat a été envoyé à l'équipe de développement pour l'amélioration du logiciel, comme indiqué dans la figure 2.

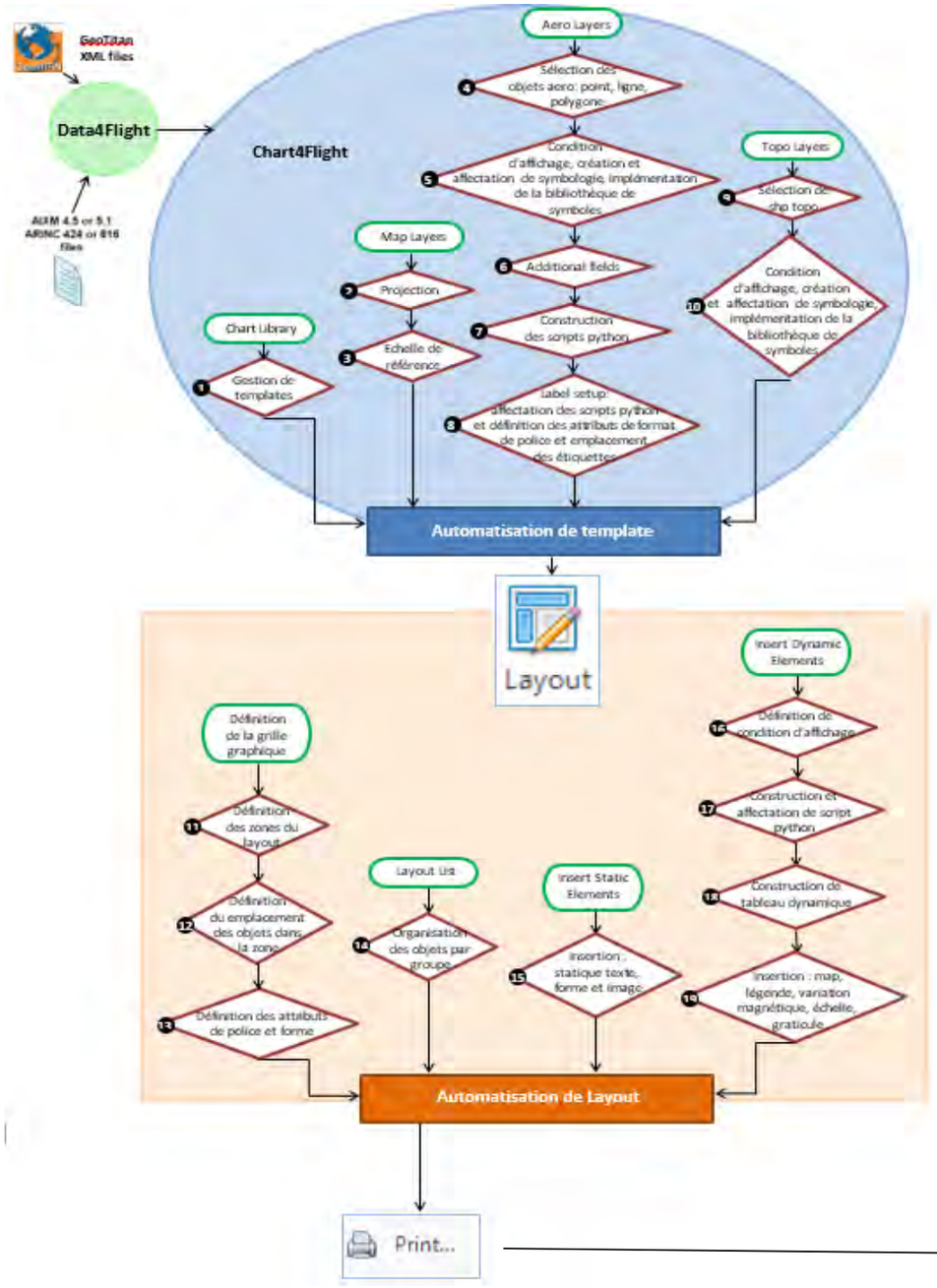
Tableau 2– Ressources logiciels et symboles devant être développés

Outil	Symbologie	Etiquettes
Construire zone tampon à partir d'un point et outil de fusion.	Construire rose compass avec orientation magnetique.	Bordure hexagonal relationé au champ de direction du segment
Construire outil de modification de géometrie	Construction d'arc de contour du point integrée au segment	Intégrer le code morse à l'étiquète;
 Calcule et intégration de l'Area Minimun Altitude (AMA) à la quadricule correspondante;	Amélioration des flèches directionelles disponibles	
	Construire le symbole de système d'atterrissage aux instruments ILS pour la carte et pour le profil;	
	Construire le symbole "NOT TO SCALE" pour la carte et le profil;	
	 Mask de segment pour affichage de symbole et d'éttiquète	

Source : AIP Laos. Modifié par l'auteur

Jusqu'à ce moment-là, l'outil « Circle Géodésique » pour la construction de zone tampon, le symbole de rose compasse avec système de rotation et le code morse (créés comme caractère de police) ont été développés, testés et intégrés au système. La bordure hexagonale pour la création des étiquettes directionnelles des routes a été développée en script python. Les autres sont en cours de développement.

L'automatisation des templates en elle-même s'est déroulée en deux moments distincts, utilisant chacun, une interface : a) construction des templates par type de carte dans l'interface de Date4Flight, en utilisant les outils de l'extension de Chart4Flight, et ; b) construction des layouts dans l'interface « Layout » de l'extension Chart4Flight. La figure 6 présente le diagramme de flux de toute la chaîne de traitement, intégrant ces deux moments et le produit final.



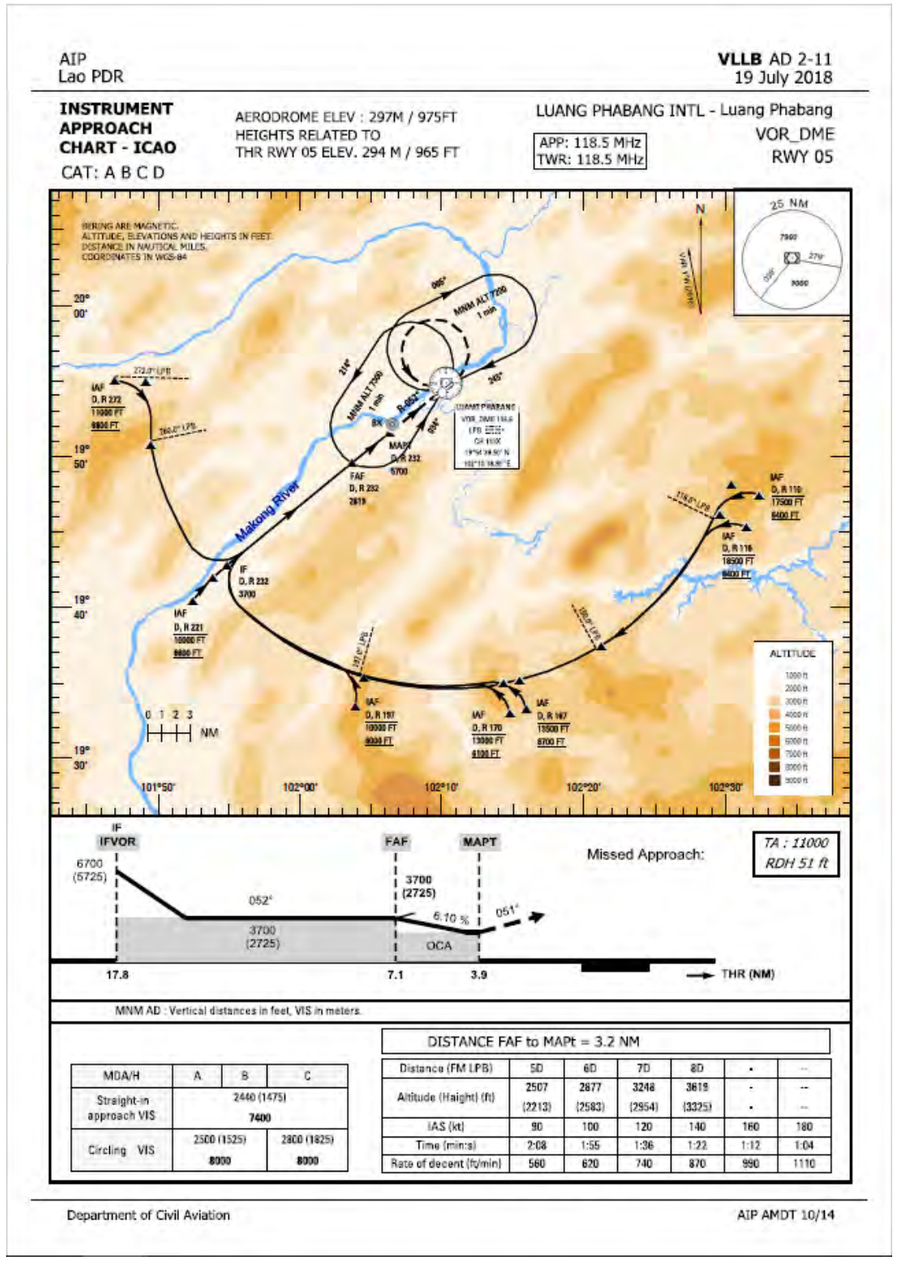


Figure 6- Diagramme de flux de l'automatisation des templates et construction de charte graphique

Ensuite, nous présentons chaque tâche de la chaîne de traitement.

❶ *Gestion de template :*

Avant tout, nous avons créé une arborescence contenant les 14 templates concernant les 11 types de carte de l'AIP Laos dans une base de données en format .d4f destinée à recevoir les paramétrages et pour être postérieurement intégrée au système. On va l'appeler la « base modèle ». Cette base modèle ne contenait pas de données, seulement le paramétrage. Pour tester les attributs de paramétrage avec la base de données test, qu'on va appeler « base test », une deuxième fenêtre du programme a été ouverte en parallèle et un fois que les tests ont été satisfaisant, le paramétrage a été reporté dans la base modèle. Chaque template a été reproduit à partir d'un template de test, construit dans la version 2.5 du logiciel, comme présenté dans la figure 7.

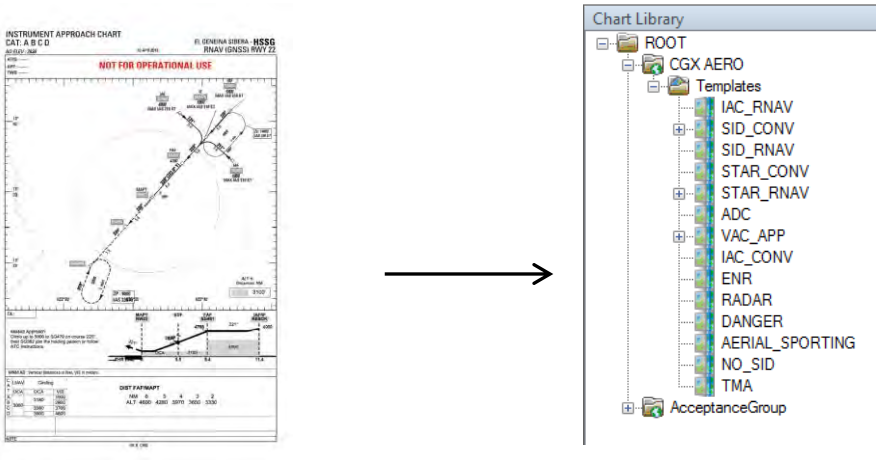


Figure 7– Template test construit dans la version 2.5 de Date4Flight et l'arborescence créée à partir de la reproduction de celui-ci - Source : CGX, Data4Flight

Chaque nouveau template est stocké dans la base de données en format d4f. C'est afin que l'utilisateur puisse le visualiser et manipuler chaque template, que le logiciel utilise un système « Check In » / « Check Out » . Le Check Out crée un dossier temporaire en local, contenant un fichier d'index (.dspx), un fichier de paramétrage du template (.mwl) et un fichier de configuration de système (config) qui enregistre les modifications. À la fin de la manipulation, le Check In bascule les modifications du dossier temporaire local à la base de données et efface les dossiers temporaires. Les étiquettes sont créées comme des géométries indépendantes stockées dans dossier -Anno. Cette structure est présentée dans la figure 8 :

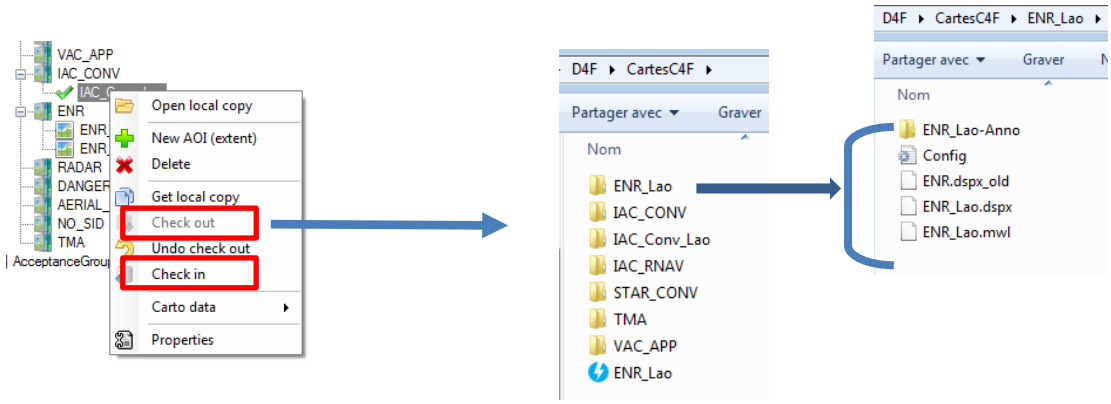


Figure 8– Système « Check In » / « Check Out » et la création des fichiers temporaires - Source : Data4Flight

❷ *Projection, ou encore, paramétrage de système*

Le paramétrage de système commence avec la définition et la vérification des systèmes de référence communs de la navigation aérienne comme indiqué dans l'Annexe 15 de l'OACI. Ils comprennent :

- Système de référence horizontal : selon l'Annexe 15 de l'OACI, les données doivent être fournies en Système géodésique mondial – 1984 (WGS-84), ayant les coordonnées géographiques (latitude, longitude) publiées selon ce référentiel. Le logiciel est paramétré par défaut à WGS-1984 Web Mercator Auxiliaire Sphere qui couvre la surface du globe. Au cas où un autre système de projection est requis, une reprojection doit être faite.
- Système de référence verticale : le système recommandé est le niveau moyen de la mer (MSL). Si la carte utilise un autre système de référence vertical, cela doit être indiqué textuellement sur la carte.
- Système de référence temporelle : il utilise le calendrier grégorien et le temps universel coordonné (UTC) pour définir la période valable des ensembles de données. Le logiciel dispose d'un système de gestion de temporalité comme présenté dans la figure 9 :

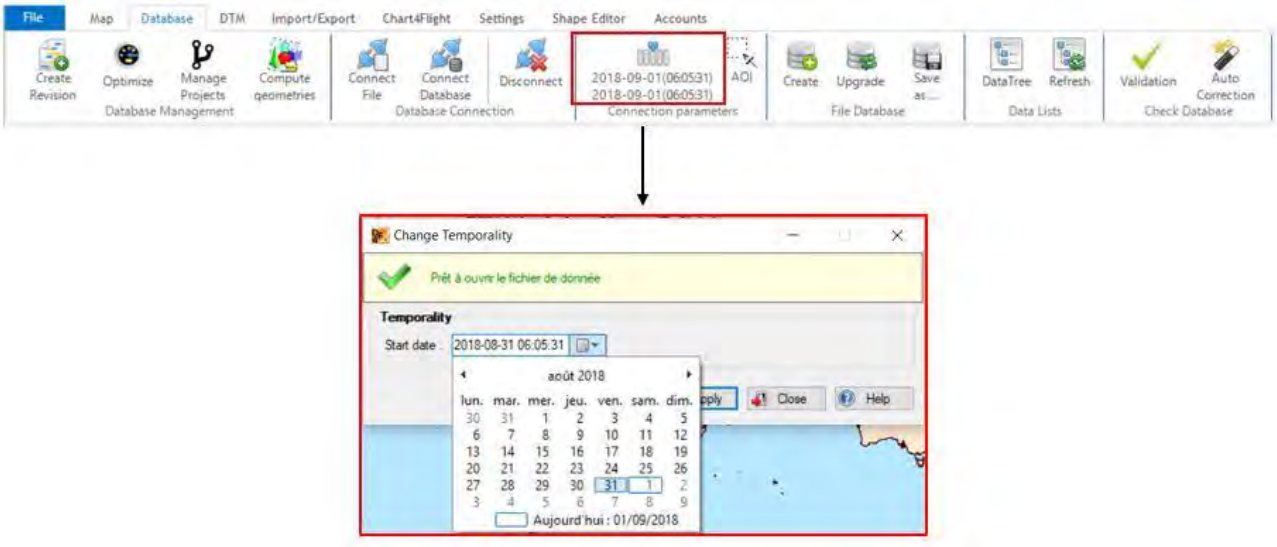


Figure 9-Système de gestion de temporalité - Source : Data4Flight

❸ *Échelle de référence*

L'attribution d'une échelle de référence sert à fixer les paramétrages de symbologie, label et étiquette à l'échelle de présentation du layout. L'échelle de référence a été définie par défaut à 1:500.000, mais elle doit être ajusté selon le type de carte et la zone représentée. Il peut arriver que lorsque le template est chargé, les géométries ne s'affichent pas. Cela peut être réglé en effaçant l'échelle de référence et en la réattribuant de nouveau. L'outil est présenté dans la figure 10.

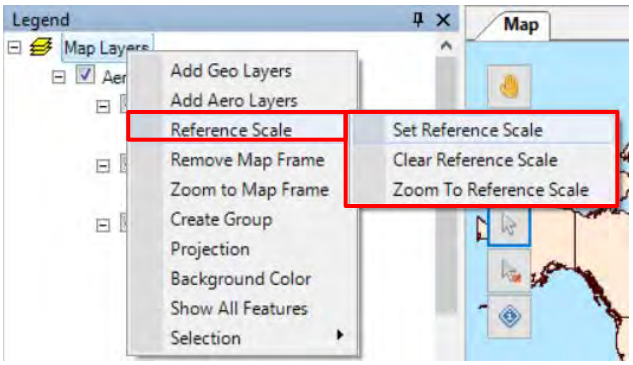


Figure 10– Outil Reference Scale - Source : Data4Flight

❹ *Sélection des objets Aero : point, ligne, polygone*

Le logiciel supporte les géométries (point, ligne et polygone), les rasters et les DTMs. Cette tâche suit les spécifications contenues dans la section « Renseignements aéronautiques » pour chaque type de carte présentée dans l'Annexe 4 de l'OACI. L'information est diffuse et nous devons parcourir toute la section de cette Annexe pour lister les éléments. L'outil et la fenêtre de légende sont présenté dans la figure 11.

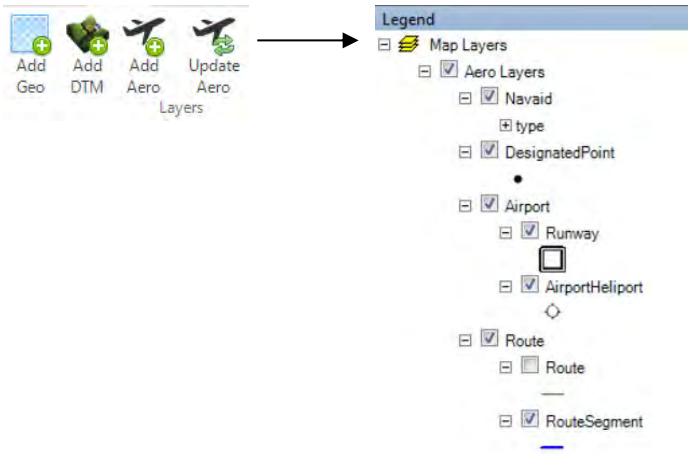


Figure 11– Outils d'addition des objets - Source : Data4Flight

❺ Condition d'affichage, création et affectation de symbologie et implémentation de la bibliothèque de symboles appliqué aux Aero Layers.

Les Aero Layers sont les objets concernant l'opération aérienne (aérodromes, aide à la radionavigation, route aérienne, parmi d'autres). Une des caractéristiques des cartes aéronautiques est que chaque élément géographique doit être affiché en fonction de ses différents attributs et selon la spécification contenue dans chaque type de carte. La fenêtre de propriétés de la couche, présenté dans la

figure 12, donne accès à l'éditeur d'expression, L'expression d'affichage est construite en langage SQL, et supporte tous les expressions mise à disposition par ce langage.

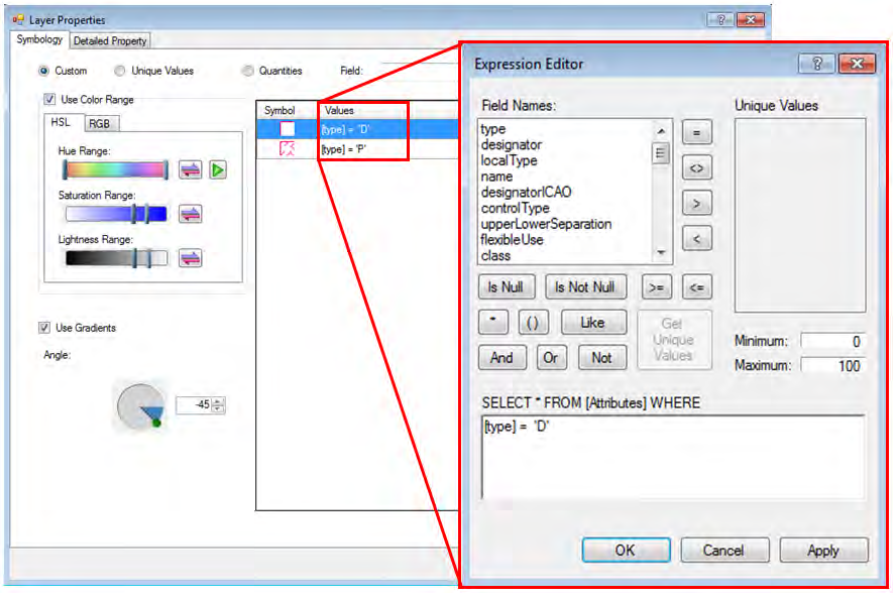


Figure 12- Fenêtre d'édition d'expression pour construction de condition d'affichage - Source : Data4Flight

La tâche suivante a été l'affectation de symbologie. Cette tâche a suivi les spécifications contenues dans l'appendice 2 de l'Annexe 4 de l'OACI déterminant la symbologie qui doit être associée à chaque géométrie. Pour cette tâche nous avons évalué les symbologies requises dans cette Annexe mais qui ont été encore indisponible dans la version 2.5 de Chart4Flight. La liste de symbologie absente a été transmise à l'équipe de développement, et en partenariat avec eux, nous avons construit, en utilisant les ressources graphiques disponible dans le logiciel, la symbologie requise. Le logiciel met à disposition de l'utilisateur un outil de customisation de symboles qui permet l'association de symboles, ses paramétrages classiques (couleur, épaisseur, inclination) et l'insertion de caractères, de formes ou d'images, comme présenté dans la figure 13.

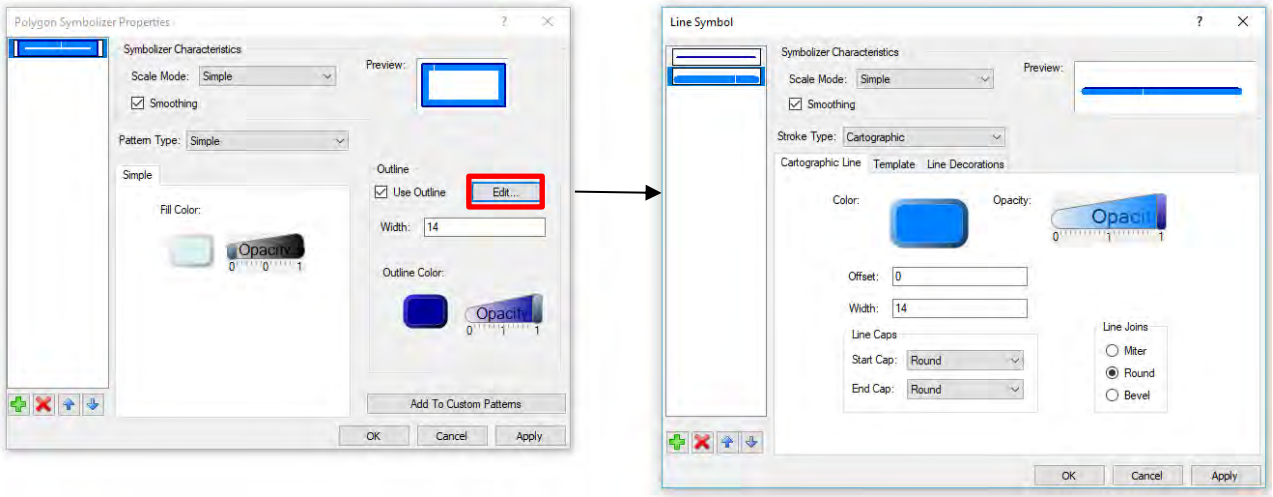


Figure 13– Outils de customisation de symboles - Source : Data4Flight

Une fois le nouveau symbole créé, s'en est suivi l'implémentation de la bibliothèque des symboles, comme présenté dans la figure 14. Cela a été intégré au logiciel pour être fourni au client.

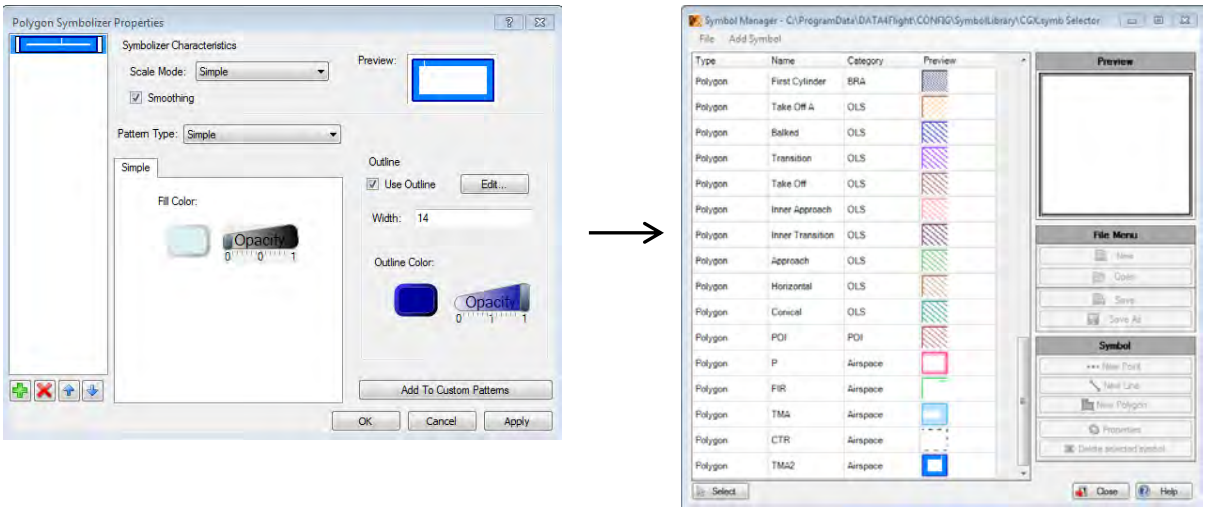


Figure 14-Fenêtre d'affectation de symbologie et bibliothèque de symboles - Source : Data4Flight

6 Additional fields

Les étiquettes sont des composants importants pour la cartographie aérienne, car elles présentent les informations requises pour l'exécution des procédures pour lesquelles la carte est destinée. Elles présentent aussi, les informations pour usage des équipements de radiocommunication, comme présenté dans la figure 15. Ses spécifications sont normalisées par l'Annexe 4 de l'OACI et leurs bonnes constructions facilite la lecture par le pilote. Sa construction peut être complexe et mobilise des valeurs de champs provenant de différentes entités.

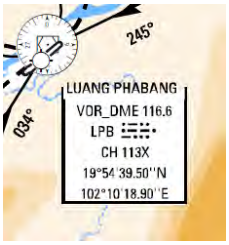


Figure 15 - Exemple d'étiquette d'équipement d'aide à la navigation - Source : CGX

Le modèle AIXM, basé sur l'UML a pour principale caractéristique une organisation hiérarchique complexe entre les associations et les classes (objets ou entités) premières et secondaires. Par exemple, une route aérienne (Route) contient plusieurs segments de route (RouteSegment). Chaque segment de route contient des informations qui réfèrent à sa disponibilité temporelle (RouteAvailability), et parmi les informations de disponibilité temporelle on trouve le champ qui indique la direction de la route. Pour créer une étiquette directionnelle de la route et l'afficher en association à celle-là, il faut récupérer le champ dans l'entité d'origine et le stocker dans l'entité de destination. Si la relation d'héritage possède plusieurs niveaux, il faut répéter cette action jusqu'à l'entité à laquelle la valeur doit être associée pour la création de l'étiquette. Cette action peut être réalisée pour la base modèle pour ne pas exiger la donnée ajoutée car il pioche directement dans le modèle AIXM, et sa structure est stockée dans le dossier de paramétrage du template. Elle est présentée dans la figure 16 appliquée à la base de test.

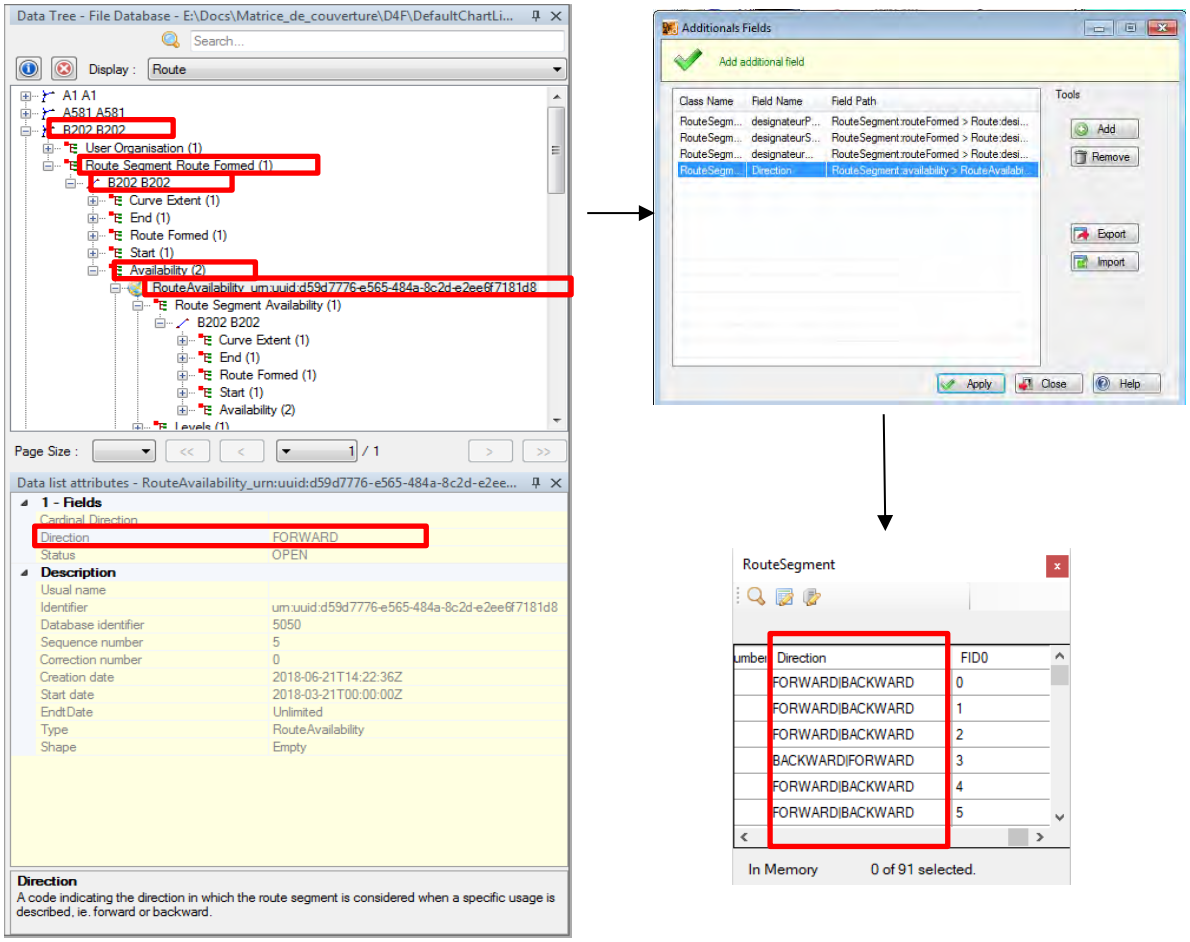


Figure 16– Récupération de champ « Direction » originaire de l'entité « RouteAvailability »pour la création de l'étiquette directionnelle associée à la route - Source : Data4Flight

7 Construction des scripts python

Dans ce travail, la création du script python a été associée à la création des étiquettes complexes. Ce script nous servira à récupérer, calculer et convertir des valeurs de différents champs, et pour créer des configurations spécifiques pour les étiquettes, comme elles sont réglementées dans l'Annexe 4 de l'OACI et pour lesquelles le logiciel ne dispose pas d'un modèle pré-formaté. La fenêtre « Expressions » dans l'outil « Feature Labeler » a été développée pour la version 3.0, et est passée par une phase de test logiciel pour régler des soucis concernant la taille de la fenêtre qui ne permettait pas la saisie de l'expression. Il a été aussi ajouté à cet outil une bibliothèque de fonctions pour alléger le traitement de création des étiquettes. En raison de la sémantique du champ, les champs qui en grande partie sont des valeurs composées (valeur numérique plus unité de mesure alphabétique par exemple), et aussi en raison de la typologie du champ, qui est toujours en string, les actions de conversion de type de champs (de string à float par exemple), et les splits ont été nombreux. Cette tâche a été réalisée en partenariat avec l'équipe de développement. Un bon exemple est le script crée pour l'affichage des étiquettes de route directionnelle, comme présenté dans la figure 17.

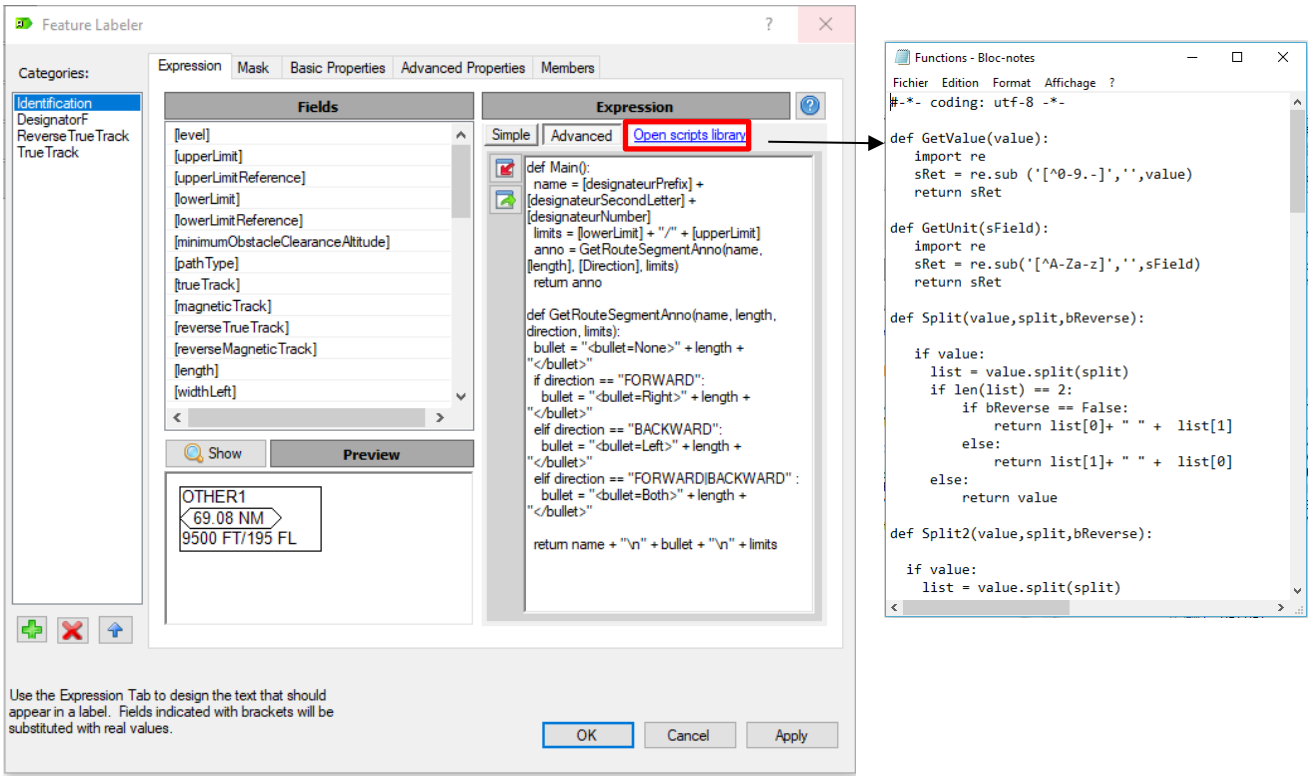


Figure 17 – Script python pour création d'étiquettes de route directionnelle et bibliothèque de fonctions - Source : Data4Flight

Malgré toute la potentialité de l'outil, il est incapable de faire des calculs et des croisements entre les champs d'une seule entité, toutes les données utilisées dans le script doivent être contenues dans la même table attributaire. Au cas où il serait nécessaire de croiser les champs d'entités différentes, il faut récupérer le champ en utilisant « Additional Field ».

8 Label Setup et création des étiquettes: affectation de script python, définition des attributs de format de police et de l'emplacement des étiquettes

Après la création des symboles et des scripts python, la tâche suivante pour la création des étiquettes a été leur affectation. Chaque étiquette est composée d'une ou plusieurs catégories de label. Dans l'outil « Feature Labeler » chaque catégorie de label peut être composée d'un simple affichage d'un ou plusieurs champs, ou encore des scripts python pour la construction d'une étiquette complexe. En outre, cet outil permet le choix de la famille de la police, et de ses attributs classiques (taille, couleur, style), l'affectation de background, de borde et rotation, l'emplacement des étiquettes et la construction des expressions pour condition d'affichage. Pour cela, il a été considéré que l'usage de la carte est fait en grande partie pour le pilote dans la cabine de l'avion, pendant la trajectoire de vol, et parfois en condition de stress en environnement de luminosité réduit. La figure 18 présente le schéma concernant cette tâche pour la carte IAC Conventionnelle. Cette action a été réalisée pour la base modèle afin de ne pas exiger la donnée ajoutée, car son contenu est stocké dans le dossier de paramétrage du template.

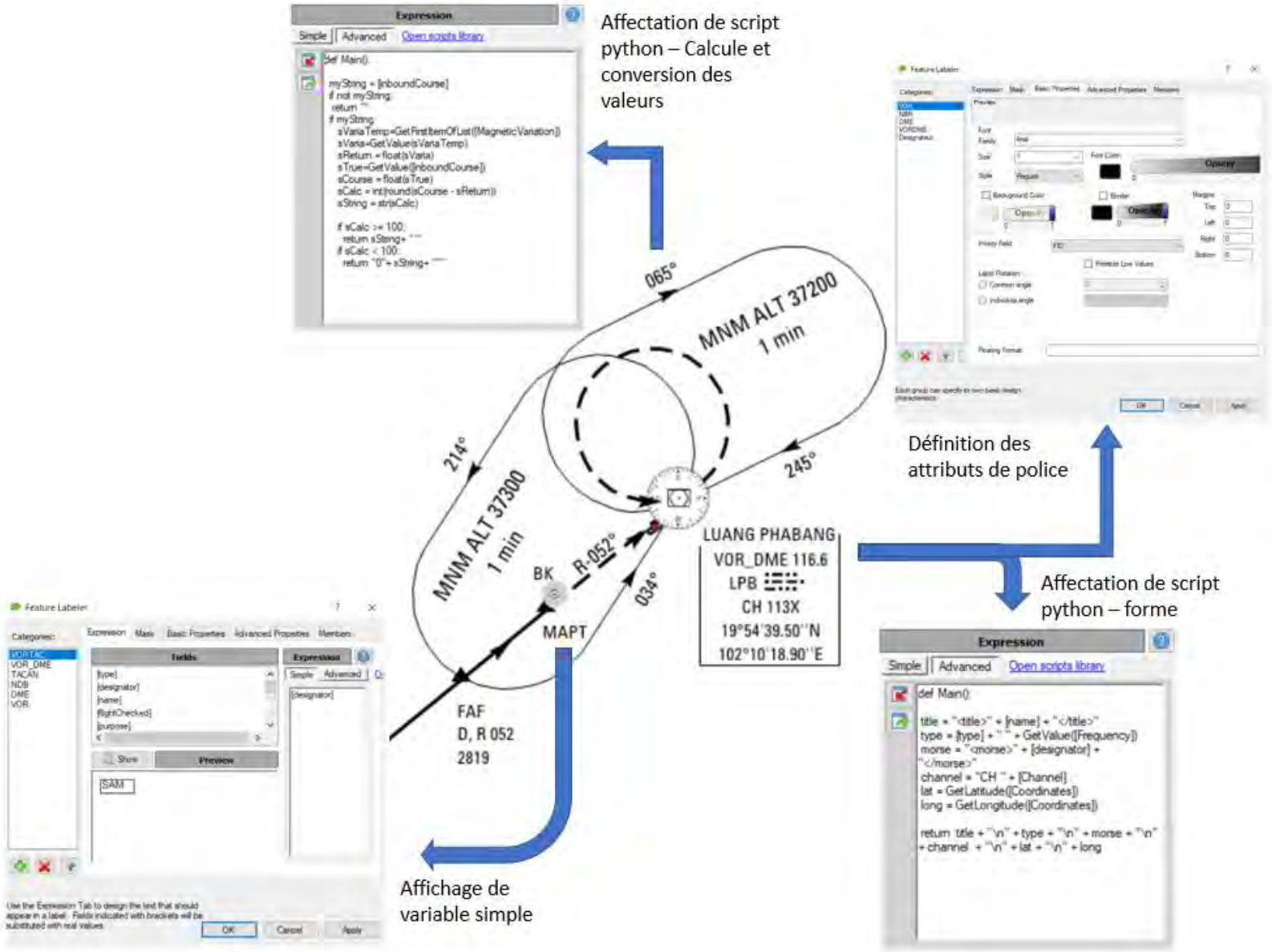


Figure 18-Schéma de construction des étiquettes - Source : Data4Flight

Une fois défini le paramétrage des étiquettes, elles ont été créées en utilisant la base de test via l'outil « Create », comme présenté dans la figure 19.

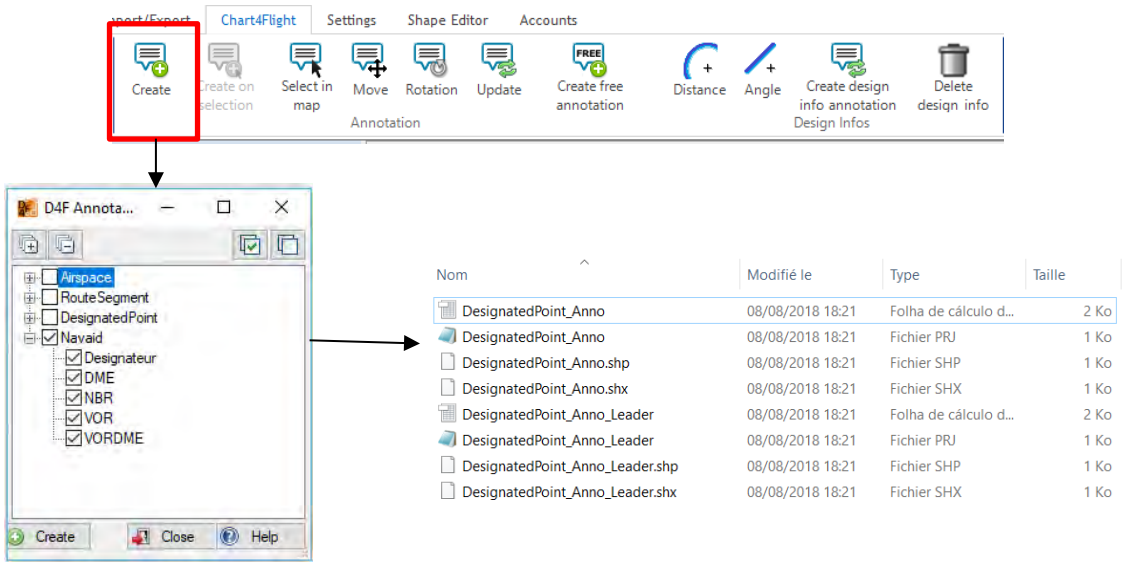


Figure 19-Création des étiquettes - Source : Data4Flight

Les étiquettes sont créées comme une géométrie spatiale liée au centre de l'objet duquel elle a hérité par un trait (leader). Les leaders sont aussi créés comme une géométrie. Cette action pendant la phase de test a provoqué la chute de performance du logiciel, et aussi, assez souvent, l'occurrence des exceptions suivie de la fermeture du logiciel. Après notification de l'équipe de développement, le leader a été identifié comme la cause du problème et la création de cet objet a été mise indisponible temporairement.

❾ et ❿ Condition d'affichage, création et affectation de symbologie et implémentation de la bibliothèque de symboles appliquée aux Topo Layers

Les Topo Layers sont tous les objets qui sont ajoutés mais qui ne concernent pas l'opération aérienne. En général ils concernent entre autres la topographie, le réseau hydrographique, le réseau routier, la tâche urbaine. Les tâches 9 et 10 correspondent au même traitement précédemment présenté par les tâches 4 et 5, mais appliquées aux Topo Layers.

Après la conclusion de cette tâche, on passe à l'interface de layout pour la création de la charte graphique.

⓫ , ⓬ et ⓭ Définition des zones du layout et de l'emplacement des éléments dans la zone, des attributs de police et de forme.

Ces tâches ont été réalisées en fonction des spécifications de chartes graphiques personnalisées définies par le client et en accord avec l'Annexe 4 de l'OACI observant les particularités de chaque type de carte.

Comme le montre la figure 20, le layout a été structuré en six zones, à savoir :

- Header – composé par des élements statiques et dynamiques qui permettent l'identification du document de l'AIP, de son pays d'origine, du type de la carte, des catégories d'aéronefs, des altitudes de référence et de la date de modification. Si la carte représente une procédure, il sera ajouté le type de procédure, l'aérodrome de référence de la procédure et la ville de localisation.
- Map information – comprend la map, la légende, la barre d'échelle, le graphique des altitudes minimas, la variation magnétique et des informations d'unités de référence et de système de projection.
- Graticule – il est composé de graticules à 3 niveaux d'intervalles réguliers (1 degré, 30 et 5 minutes).
- Profil – il se compose du profil de la procédure, des valeurs de seuil et de l'altitude de transition.
- Tableaux – il comporte des tableaux statiques et dynamiques.
- Footer – permet l'identification de l'organisme responsable pour l'AIP et donne une information sur le nombre de page.

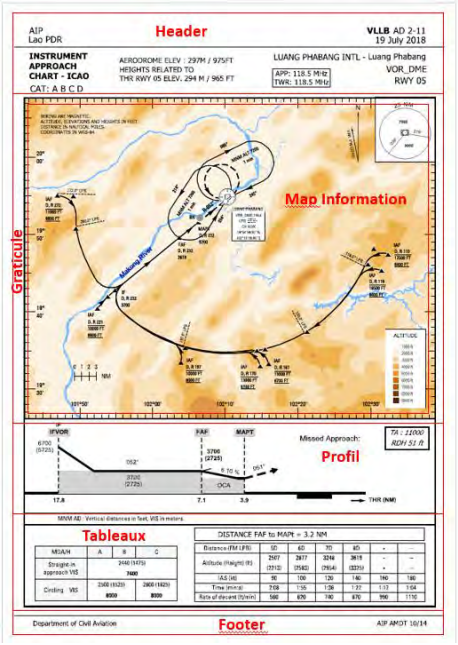


Figure 20– Les six zones de la structure visuelle du layout - Source : Data4Flight

⓮ Organisation des éléments par groupe

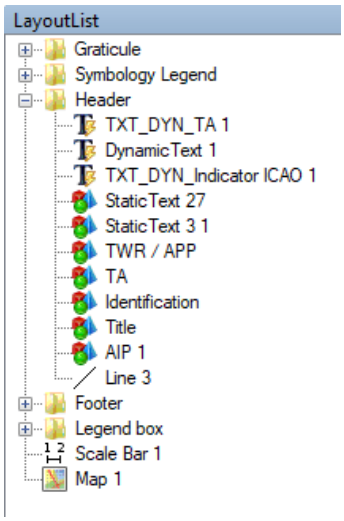


Figure 21-Apperçu de Layout List - Source : Data4Flight

Cette tâche a été développée tout au long du paramétrage du layout. La fenêtre « LayoutList » (cf. figure 21) est une ressource utile qui permet l'organisation des objets qui composent le layout de façon à le rendre plus lisible. Pour le Projet Laos le Layout List a été organisé par zone, sauf les groupes créés automatiquement, comme le Symbol Legend.

⓯ Insertion : statique texte, forme et image

Le composant d'automatisation est le but premier dans cette étape, mais l'automatisation ne peut pas tout prévoir, et pour cette raison il est important de rendre disponible, pour l'utilisateurs, des outils de saisie manuelle, d'édition, de forme et d'importation d'image. Le logiciel rend disponible un ensemble d'outils basic qui ont bien répondu aux besoins du présent travail. Le « statique texte » a été utilisé majoritairement pour la saisie des informations comme : le nom des documents, l'organisme responsable pour l'AIP et le nombre de pages. Ces informations ne sont pas contenues dans la base de données.

⓰ et ⓱ Définition de conditions d'affichage, construction et affectation des scripts python

Dans la même logique d'action que celle qui a été présentée dans les tâches 5 et 7, l'interface « Layout » met à disposition de l'utilisateur un outil d'affichage d'informations complexes basé sur la création et l'affectation de scripts python associé à une condition d'affichage. L'outil possède encore une fenêtre de preview qui visualise l'information qui doit être affichée par le script. La création d'étiquette n'est pas requise ici, et les fonctions principales du script sont la conversion et le calcul de valeurs. Comme précédemment, l'outil est seulement capable de faire des calculs et croisement entre champs d'une seule entité. Pour les cartes de procédures il est très important que le champ « IsMain » soit renseigné car il détermine quelles entités sont impliquées dans la procédure représentée par la carte, et il permet l'affichage automatique des champs comme : le nom et l'identificateur OACI de l'aérodrome, le type de la procédure et la production de profil (présentation de l'outil dynamique cf. figure 22).

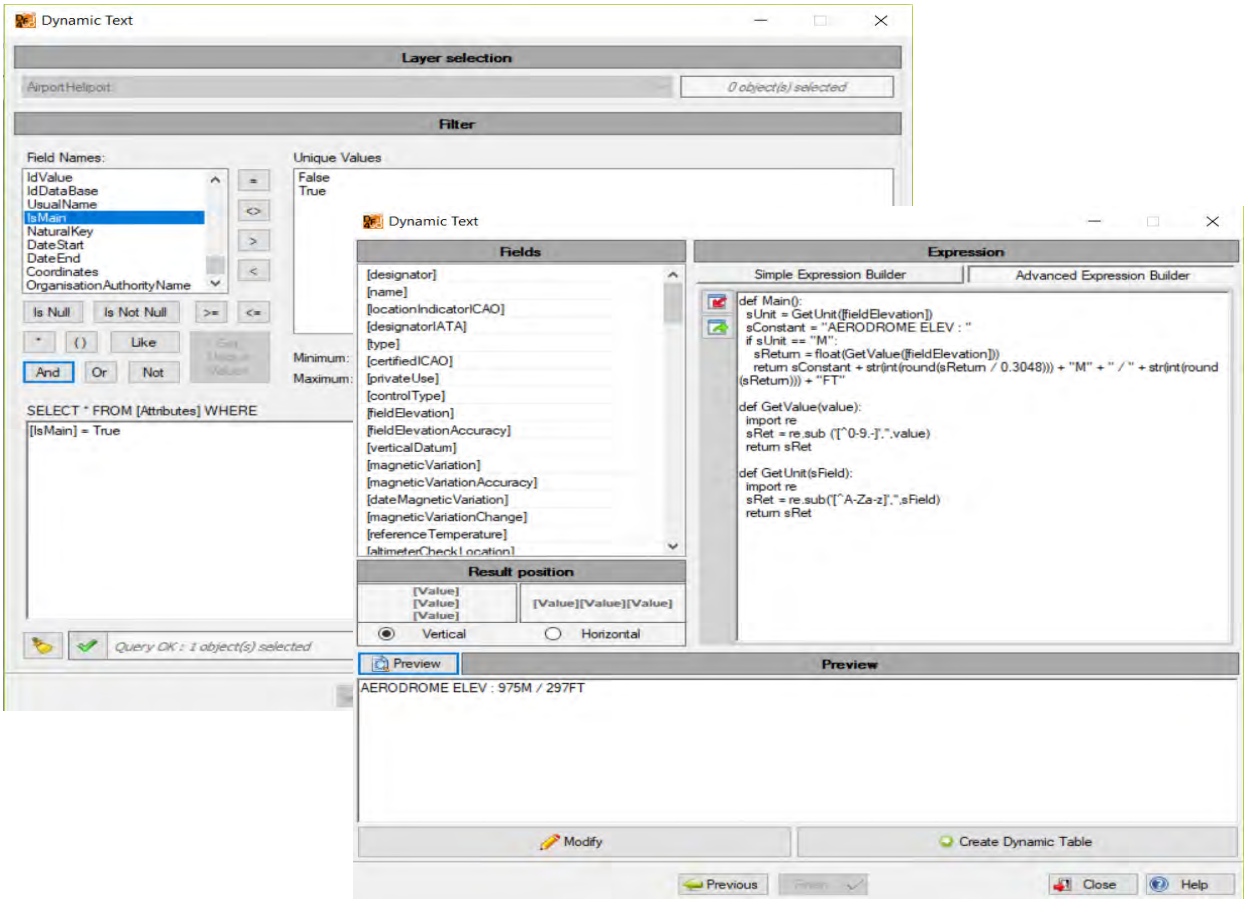


Figure 22– Dynamic Text - Source : Data4Flight

⓲ Construction de tableaux dynamiques

La construction de tableaux dynamiques permet la création des tableaux de calcul dont l'affichage de valeur est dynamique. Pour chaque cellule, l'utilisateur peut associer un champ ou affecter un script python pour la conversion et le calcul de valeur, comme ci-dessous dans la figure 23.

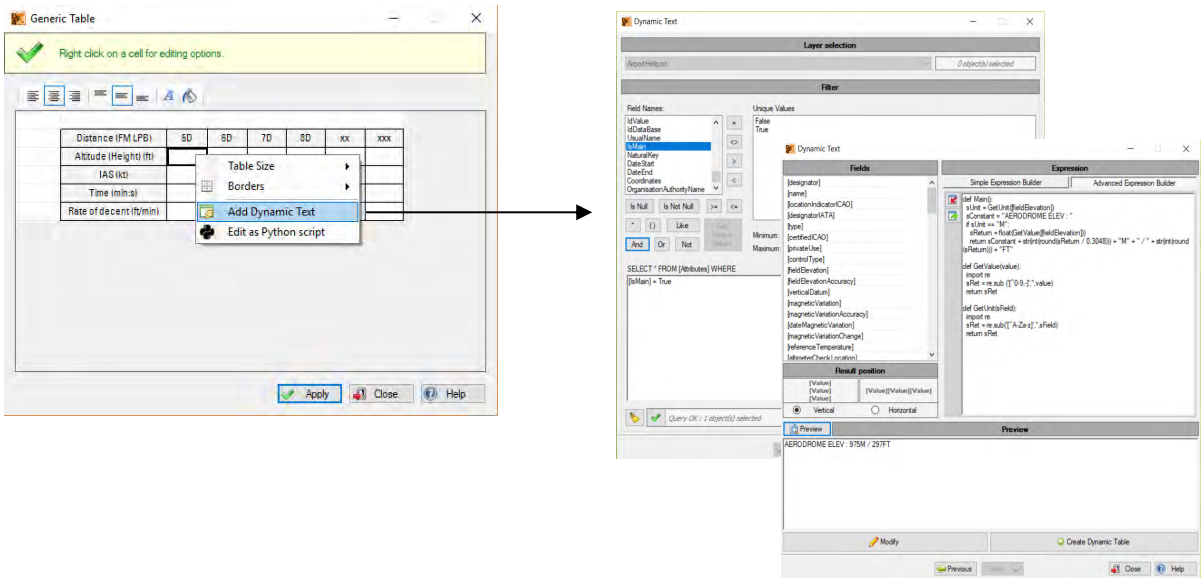


Figure 23– Création de tableau dynamique - Source : Date4Flight

Malgré la potentialité de l'outil il se présente instable pendant les tests, et génère l'occurrence des exceptions. Cet outil est actuellement en phase d'évolution grâce à l'équipe de développement.

⓳ Insertion : map, légende, variation magnétique, échelle et graticule

Toutes les insertions de cette tâche sont des éléments dynamiques pour lesquels l'interface « Layout » dispose d'un ensemble d'outils très pratiques qui demandent des paramétrages simples (graticule) et la définition d'emplacements.

3. Gestion de bugs et évolution des outils

Un des points clés de ce stage est de participer au processus d'évolution du logiciel. Pendant l'étape d'automatisation de templates nous avons parcouru toute la chaîne de traitement en faisant des tests avec une base de données non officielle, et nous avons eu l'opportunité de vérifier le comportement de Date4Fligth / Chart4Flight dans différentes situations, en apprenant ses faiblesses et son potentiel. Pour être efficace, cette étape du travail devait être bien structurée, car elle se passe en parallèle d'autres étapes et en change constant avec l'équipe de développement.

La gestion des bugs chez CGX se fait dans le Redmine, une plateforme web open source de gestion collaborative de projet, elle est très utile pour le suivi des tâches. Elle est basée sur le serveurs interne et demande un niveau d'accès qui n'est pas disponible pour les stagiaires. Alors, les échanges avec l'équipe de développement ont été faits par mail, chat ou communication orale. La construction de ce

produit était possible en récupérant les notes personnelles et les messages, ainsi qu'en consultant les Redmines fournis par le maître de stage à posteriori.

Dès qu'un dysfonctionnement d'outil ou que l'occurrence des exceptions sont détectés, la possibilité d'amélioration du logiciel est entrevue. Un ticketing est produit contenant : la date, le type de l'occurrence, le statut, la priorité, le sujet et la description. Ce ticketing est envoyé au chef de projet qui attribue la tâche à un membre de l'équipe de développement. Dès que la correction est faite ou que l'outil est développé, il est envoyé à la cartographie pour la procédure de test. S'il fonctionne bien il est intégré au logiciel, sinon l'équipe de développement continue à l'améliorer, ou la fonctionnalité / l'outil est désactivé. Le pas suivant est la fermeture du redmine. La figure 24 présente le diagramme de gestion de bugs et l'évolution du logiciel ici décrit.

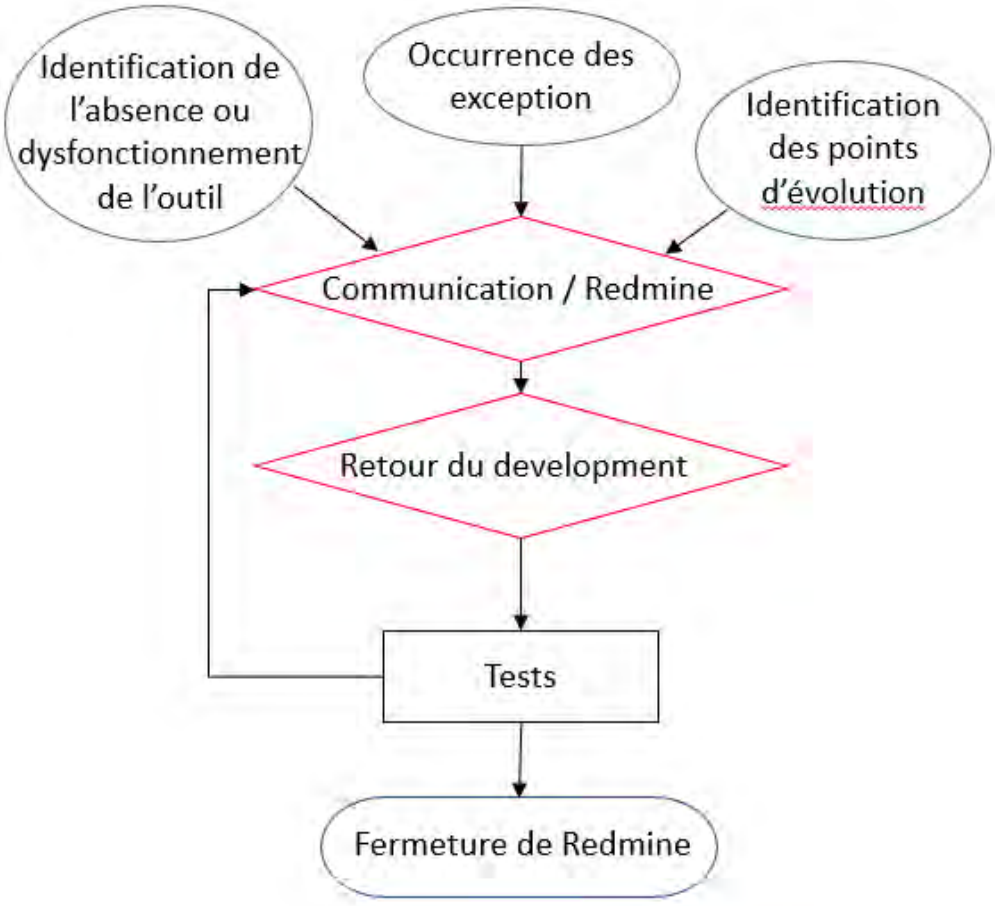
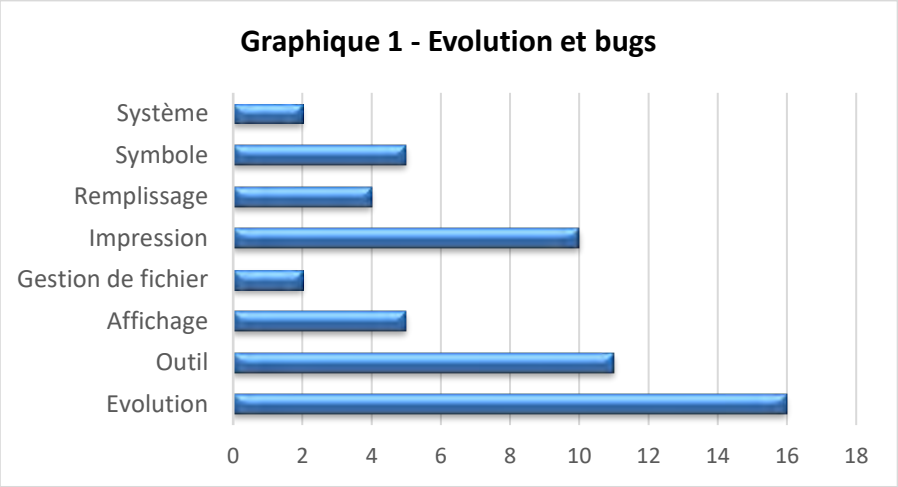


Figure 24– Diagramme de gestion de bugs et évolution du logiciel - Source CGX. Modifié par l'auteur.

Dans le cadre du Projet Laos, les vérifications des dysfonctionnements, de l'absence de ressources dans le logiciel, de l'occurrence des exceptions ou du projet d'amélioration du logiciel se sont passés pendant quatre moments différents, à savoir :

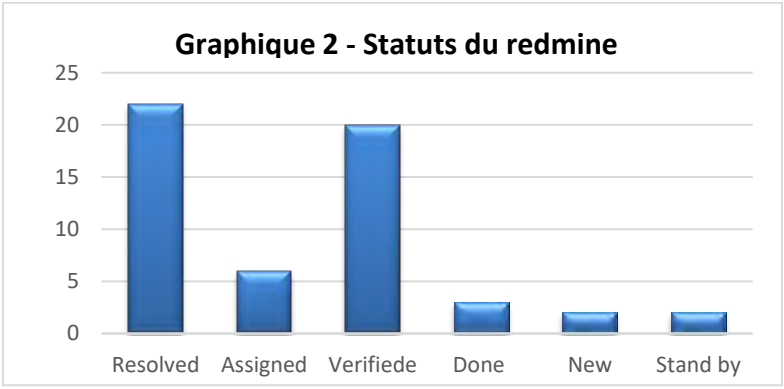
- Lorsque on charge la base de données.
- Pendant la production des cartes en conformité .
- Pendant les teste des fonctions / outils retournés du développement.
- Pendant le passage de cahier de test FAT Laos.

Pendant ces quatre moments il a été enregistré 55 ouvertures de redmine. Pour mieux comprendre l'ensemble des registres et le processus d'évolution du logiciel, les 55 redmine ont été catégorisés en 8 classes selon la fonctionnalité ciblée. La majorité des redmines concernent l'évolution du logiciel, présente un résultat cohérent par rapport l'effort de vérification des ressources absentes dans le logiciel et nécessaires à la production des cartes qui puisse répondre aux spécifications de l'AIP Laos et en conformité avec l'Annexe 4 de l'OACI. Parmi les 11 registres de dysfonctionnement des outils, 4 ont été associés à la création et la gestion de templates et 5 ont été associés aux outils d'édition de Chart4Flight. Le total des résultats par catégorie est présenté dans le graphique 1



Source : CGX.

Parmi les 55 redmine ouverts, jusqu'à la date de finalisation des tests, 22 ont été réglés, mais 20 ont été vérifiés sans que l'équipe de développement puisse les reproduire systématiquement pour identifier la source du bug. Le total des résultats par statut est présenté dans le graphique 2



Source : CGX.

4. Matrice de couverture

Les Annexes de l'OACI, y compris l'Annexe 4, sont composé par *Normes* et *Pratiques Recommandées.* La norme est « Toute spécification, …, dont l'application uniforme est reconnue nécessaire à la sécurité ou la régularité de la navigation aérienne internationale » [11], et toute différence ou non-conformité doit être notifiée à l'OACI par les États contractants. La pratique recommandée est « Toute spécification, …, dont l'application uniforme est reconnue souhaitable dans l'intérêt de la sécurité, de la régularité ou de l'efficacité de la

[11] OACI. Cartes aéronautiques –OACI Annexe 4 (2009 pp 2-1).

navigation aérienne internationale » [12]. Pour la construction de la matrice de couverture, nous n'avons pris en considération que les normes, pour comprendre qu'elles sont celles qui impactent le plus directement l'opération aéronautique.

Parmi les 11 types de carte qui sont présentés dans l'AIP Laos, 6 sont réglementés par l' OACI, à savoir la carte de départ normalisé aux instruments (SID), la carte de croisière (ENR), la carte d'arrivée normalisée aux instruments (STAR), la carte d'approche à vue et la carte d'approche aux instruments (IAC). Ces cartes ont pour fonction de fournir les renseignements nécessaires à chaque phase de vol, comme présenté dans la Figure 25. Le Projet Laos a fourni des données nécessaires pour la production cartographique de ces 6 cartes.

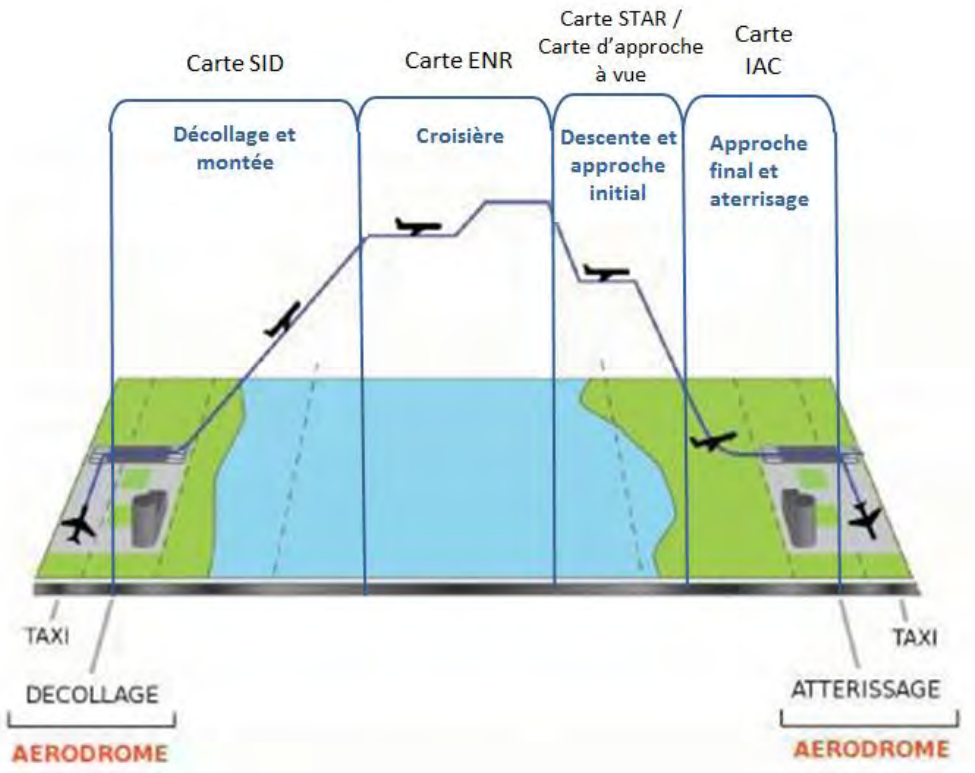


Figure 25 – Type de carte aéronautique par phase de vol - Source : Tirée de Girardet (2014), modifié par l'auteur.

Les aspects graphiques essentiels de chaque type de carte sont en relation directe avec la fonction et le type de procédure qu'elle représente. C'est la fonction, présentée dans le tableau 3, qui détermine les éléments qu'elles doivent contenir.

[12] Idem.

Tableau 3 – Cartes analysées dans la Matrice de couvertures et leurs fonctions

Type de carte	Fonction
Carte de croisière — OACI	Cette carte donnera aux équipages de conduite des renseignements visant à faciliter la navigation le long des routes ATS, conformément aux procédures des services de la circulation aérienne.
Carte de départ normalisé aux instruments (SID) — OACI	Cette carte donnera à l'équipage de conduite des renseignements lui permettant de se conformer à l'itinéraire désigné de départ normalisé aux instruments, depuis la phase de décollage jusqu'à la phase de croisière.
Carte d'arrivée normalisée aux instruments (STAR) — OACI	Cette carte donnera à l'équipage de conduite des renseignements lui permettant de se conformer à l'itinéraire désigné d'arrivée normalisée aux instruments, depuis la phase de croisière jusqu'à la phase d'approche.
Carte d'approche aux instruments — OACI	Cette carte donnera aux équipages de conduite des renseignements leur permettant d'exécuter une procédure approuvée d'approche aux instruments vers la piste d'atterrissage prévu, y compris des renseignements sur la procédure d'approche interrompue et, le cas échéant, sur les circuits d'attente associés à ces procédures.
Carte d'approche à vue — OACI	Cette carte donnera aux équipages de conduite des renseignements leur permettant de passer de la phase de croisière, ou de la phase de descente en vue de l'approche, à la piste d'atterrissage prévue, par repérage à vue.

Source : OACI. Cartes aéronautiques – OACI Annexe 4

La matrice de couverture, qui peut être consultée dans l'annexe 4 de ce rapport, permet d'analyser en détail le niveau de conformité des cartes aéronautiques en référence à l'Annexe 4 de l'OACI sur ce qui concerne la fonction, la spécification de couverture, le format, l'identification, le contenu, la symbologie normalisée et l'utilisation de couleurs. Elle profite de la présentation des normes disposée en liste pour créer une matrice de check list. Elle est composée des logos et du nom de la carte, de la date et des sources des documents utilisées, de leur sections dans l'Annexe 4 de l'OACI et du texte de la norme analysée. Le statut de conformité présente des captures d'écrans pour la visualisation de l'information représenté liée à la norme. La relation des données minimales nécessaires pour répondre à l'exigence a été aussi verifiée. Ce dernier point a servi de source d'information pour l'étape d'évaluation de la base de données de la carte IAC. Pour cette étape du travail nous avons utilisé comme document de guidage les Cartes aéronautiques – Annexe 4 de l'OACI et l'Aeronautical Chart Manual – Doc OACI 8697.

De façon à créer une analyse comparative, la matrice a été construite en observant, les cartes de domaine public de l'AIP Laos publié par le Département d'Aviation Civile du Laos, les cartes produites dans le logiciel Data4Flight / Chart4Flight en utilisant la base de donnés en format AIXM 5.1 (fournie pour servir de base de test pendant l'automatisation des templates et la création de la charte graphique personnalisée), mis en parallèle avec les cartes de domaine public de l'AIP de l'aérodrome Toulouse Blagnac publié par la SIA France. Pour la carte ENR il a été ajouté dans la matrice, à titre d'illustration, les cartes et les exemples fournis par l'Aeronautical Chart Manual – Doc OACI 8697. L'objectif de la production des cartes dans cette étape a été de parcourir toute la chaîne de traitement nécessaire pour sa production, en remarquant les limites et les potentialités du logiciel en fonction d'un résultat graphique qui représente un taux maximal de conformité cartographique.

Pour être un domaine très particulier qui cible l'utilisateur spécialiste, la majorité des symboles représentés dans les cartes aéronautiques ne figurent pas dans les cartes destinées au grand public, et exigent des connaissances spécifiques. Pendant la construction de la matrice de couverture nous avons

remarqué que l'analyse des normes en détail, telle qu'elles ont été proposées, exige de la part de l'analyste une maîtrise approfondie des conceptions cartographiques, des systèmes de projection géographique, des fonctionnalités du logiciel Data4Flight / Chart4Flight, de la définition de chaque classe d'élément représenté dans les cartes aéronautiques et leurs contenu attributaire, de la relation spatiale entre eux, et des différents types de procédures. L'acquisition de connaissances nécessaires a été faite à travers une lecture exhaustive des documents de guidages, indiqués précédemment, de la documentation technique contenu dans la bibliographie, mais il était fondamental que l'équipe de développement consulte les spécialistes en cartographie aéronautiques et les concepteurs de procédures de vol qui intègrent l'équipe de CGX AERO.

De façon à construire une analyse quantitative, le statut de conformité a été classifié en :

- Not applicable
- Missing
- Incomplete
- Agreement

La somme et le pourcentage ont été calculés pour la construction des graphiques qui sont présentés dans le chapitre de résultats.

5. Evaluation de base de données

La production cartographique est fortement tributaire de la disponibilité et de la qualité de données, et en envisageant cela, l'Annexe 15 de l'OACI affirme le besoin de la vérification et validation des données aéronautiques pour assurer la bonne opération du trafic aérien. Pendant l'étape d'automatisation de templates et, plus précisément lors de la production des cartes en conformité, l'impact des problèmes liés au taux de renseignement des champs et à la standardisation sémantique pour la production d'une information fiable est devenu clair.

Dans ce sens-là, ce stage a proposé une étape d'évaluation de la qualité attributaire et sémantique de la base de données test utilisée pour la production cartographique du Project Laos. Nous nous sommes servis de la liste des entités géographiques et de leurs champs respectifs, qui composent un ensemble de données minimales nécessaires à la production de la carte IAC, et qui a été listé pendant la construction de la matrice de couverture. Le tableau complet de données minimales, construit pour l'évaluation de la base de données de la carte IAC, peut être consulté dans l'annexe 4 de ce rapport.

La carte IAC Conventionnel a été produite en important 11 entités géographique, chacune possédant différents nombres de champs et d'objets, comme présenté dans le Tableau 4. Cette étape ne propose pas une investigation exhaustive de la qualité de la base de données, mais, avant tout, pour offre un exercice méthodologique qui peut être appliqué dans une situation analogue.

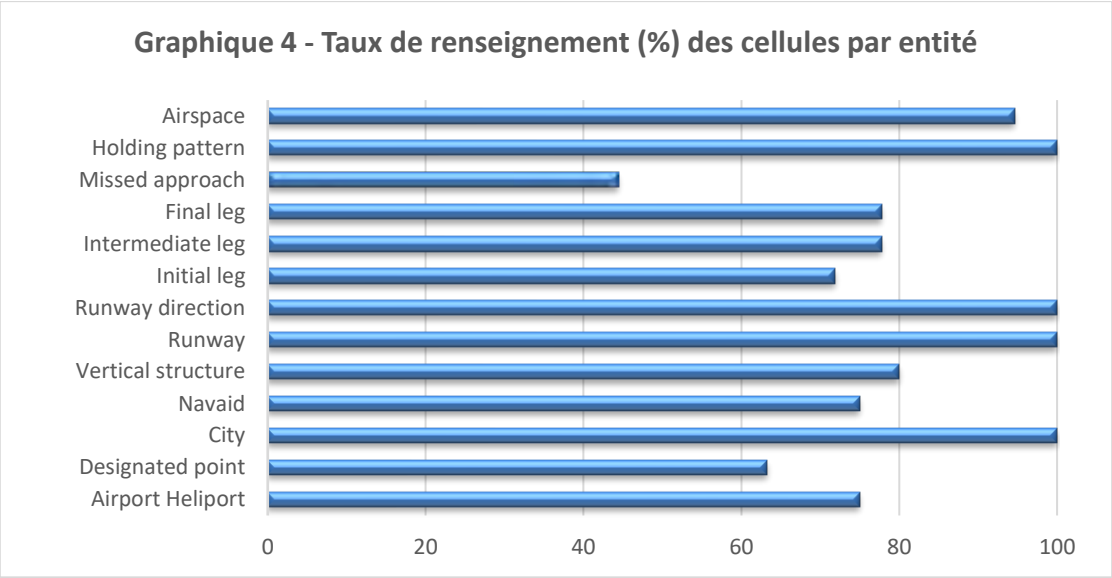
Tableau 4 – Les entités géographiques impliqués dans la production de la carte IAC

Entités	Nombre de champs	Nombre d'objets	Nombre des cellules	Cellules renseignes
Airport Heliport	10	12	120	90
Designated point	7	14	98	62
City	1	1	1	1
Navaid	7	36	252	189
Vertical structure	2	5	10	8
Runway	1	1	1	1
Runway direction	3	1	3	3
Initial leg	9	17	153	110
Intermediate leg	9	1	9	7
Final leg	9	1	9	7
Missed approach	9	1	9	4
Holding pattern	8	1	8	8
Airspace	6	25	150	142

Source : L'auteur

Pour cette carte, l'entité Airport est celle qui a fourni la plus grande variété d'information pour la création des étiquettes et affichage des valeurs. Elle a été beaucoup requise notamment pour l'affichage des valeurs dans le layout. Une analyse quantitative intéressante mais que en raison du temps limité pour la réalisation do présent travail n'était pas fait, c'est la vérification du taux d'impact de chaque champs pour le production de l'ensemble des étiquettes et les affichage dans le layout, car un champs peut être impliqué dans la création d'un ou plusieurs types d'étiquettes, et aussi l'inverse, une étiquette peut être composée d'un ou de plusieurs champs.

Lorsque on analyse le taux de renseignement, on voit que les entités qui ont tenu à 100% sont majoritairement celles qui ont participé avec un unique champ pour les affichages d'information, sauf Holding pattern qui a fourni 8 champs. Parmi les entités ayant la participation la plus significative pour la production des étiquettes (c'est-à-dire qui ont eu plus de volume de valeur de champ récupéré pour la production des étiquettes), on constate que Navaid, Initial leg et Airport ont eu un taux de renseignement entre 60 et 80%, seulement Airspace est arrivé à presque 100%.



Source : L'auteur

L'impact de l'absence d'information requise pour la production cartographique est la construction d'une carte incomplète, comme on peut le voir pour l'étiquette montré dans la figure 24.

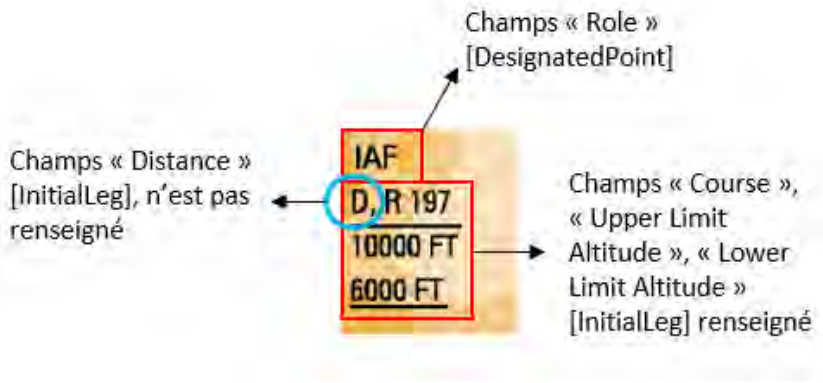


Figure 26 – Étiquette associé Initial Leg produit à la carte IAC Conventionel. Source :

Concernant l'analyse sémantique on a vérifié une diversité de format où on trouve :

- Classes d'attribut
- Booléen
- Chaine de caractères
- Code 2 chiffres
- Code 4 lettres
- Date (Année)
- Signe (+ ou -) + valeur (int ou float) + unité (DEG)
- Time (S)
- Valeur (int ou float) + unité (NM)
- Valeur (int ou float) + unité (DEG)
- Valeur (int ou float) + unité (MHZ ou KHZ)
- Valeur (int ou float) + unité (% ou °)
- Valeur (int) + "X"

- Valeur (int ou float)+ unité (FT ou M) ou (GND)
- Valeur (int) + unité (KT)
- WKT

La sémantique des champs met en évidence une majorité de valeurs composées qui peuvent varier entre des signe (+ ou -), valeurs en float ou intégrer des unités de mesures. En général les champs composés, pour qu'ils soient affichés dans les étiquettes ou comme information dans le layout, demandent des calculs et des conversions pour lesquels des scripts python doivent être construits.

V. Résultats

Ce chapitre de résultats est consacré à faire un bilan de la chaîne de traitement, présenter le taux de conformité sortie de la matrice de couverture et indiquer les pistes d'amélioration du logiciel.

D'abord, une recherche bibliographique a été faite et nous avons vérifié que la documentation OACI couvre tous les spectres de l´exploitation de l´aviation civile. Cette documentation est complexe et présente un langage normatif dans sa grande majorité, ce qui pour un non spécialiste de l´aviation civile représente un défi. En plus, il arrive fréquemment qu'un document fasse appelle à un autre document, ou encore qu'incorpore dans une réglementation, partie d'autre réglementation sans une autre juste en faisant une indication de la section du document. Ce rapport de stage indique l´ensemble des documents OACI nécessaire pour la production cartographique aéronautique ou qui concernent la documentation normative, les manuels techniques et la présentation des concepts.

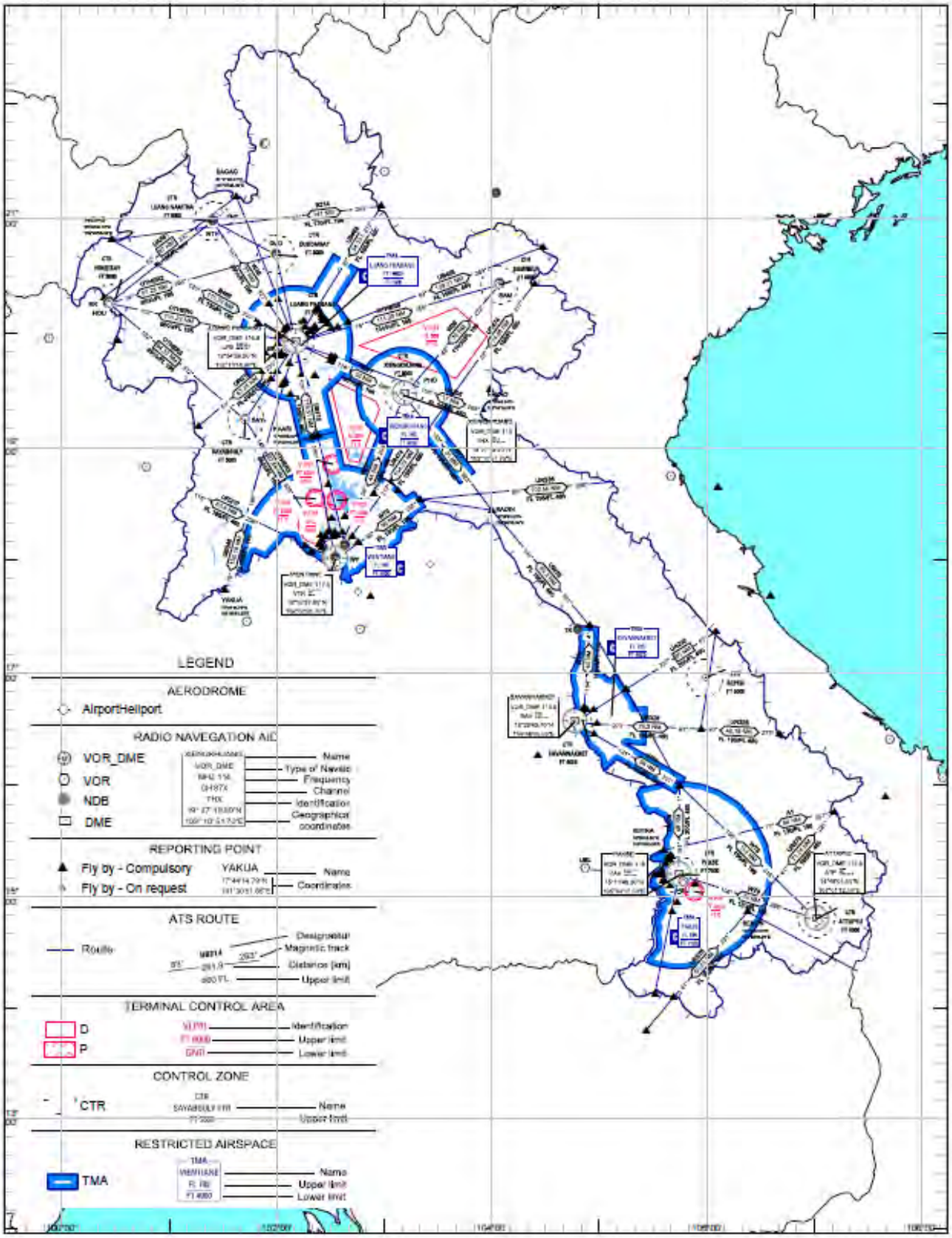
Pendant la mise en place de la chaîne de traitement pour l'automatisation de templates, nous avons observé le potentiel et les limites de Data4Flight et de l'extension Chart4Flight. Ce logiciel a pour principal avantage d'être léger et compatible avec d'autres logiciels en second plan. Par contre il répond moyennement lorsqu'on l'utilise en double fenêtre. Son interface graphique est propre et son système d'encapsulation des fonctions le rend sûr et facile à manipuler. Le logiciel répond bien en ce qui concerne l´intégration de module de l'extension Chart4Flight dans Data4Flight. Nous n'avons pas observé de soucis concernant l'incompatibilité entre les deux modules. Cependant certaines fonctions en DotSpatiel sont encore instables dans Data4Flight, comme par exemple le zoom que n'encadre pas la bonne zone lorsqu'elle est sélectionnée à l'aide de la souris. Le système « Check In / Check Out » marche bien mais il n'est pas intuitif. L'option « Undo Check Out » qui doit effacer les modifications lorsque l'utilisateur est en mode d'édition, garde toujours les fichiers temporaires et risque d'écraser le contenu de la base de données à la prochaine rentrée en mode d´édition. Concernant l'interopérabilité, le logiciel répond bien en exportant et en important les formats de fichiers supportés.

L'étape d'automatisation de templates a atteint ses objectifs, à savoir :

- La définition d´une chaîne de traitement pour mettre en place la construction de templates.
- La vérification des ressources logiciel et des symboles nécessaires pour la production cartographe en conformité avec l´Annexe 4 OACI.
- La production de 14 templates et layouts associés à la production de 49 cartes présentées dans l'AIP Laos et leurs modifications postérieure dans le respect de la réglementation contenues dans l'Annexe 4 OACI qui en répondait aux spécifications du client.

En effet la production des templates s'est passée en parallèle de la construction de la matrice de couverture. Ce parallélisme a eu pour résultat la production de 6 cartes en conformité présentes ci-dessous.

ENR 6.1 - LOWER EN-ROUTE CHART - ICAO



INSTRUMENT APPROACH CHART - ICAO

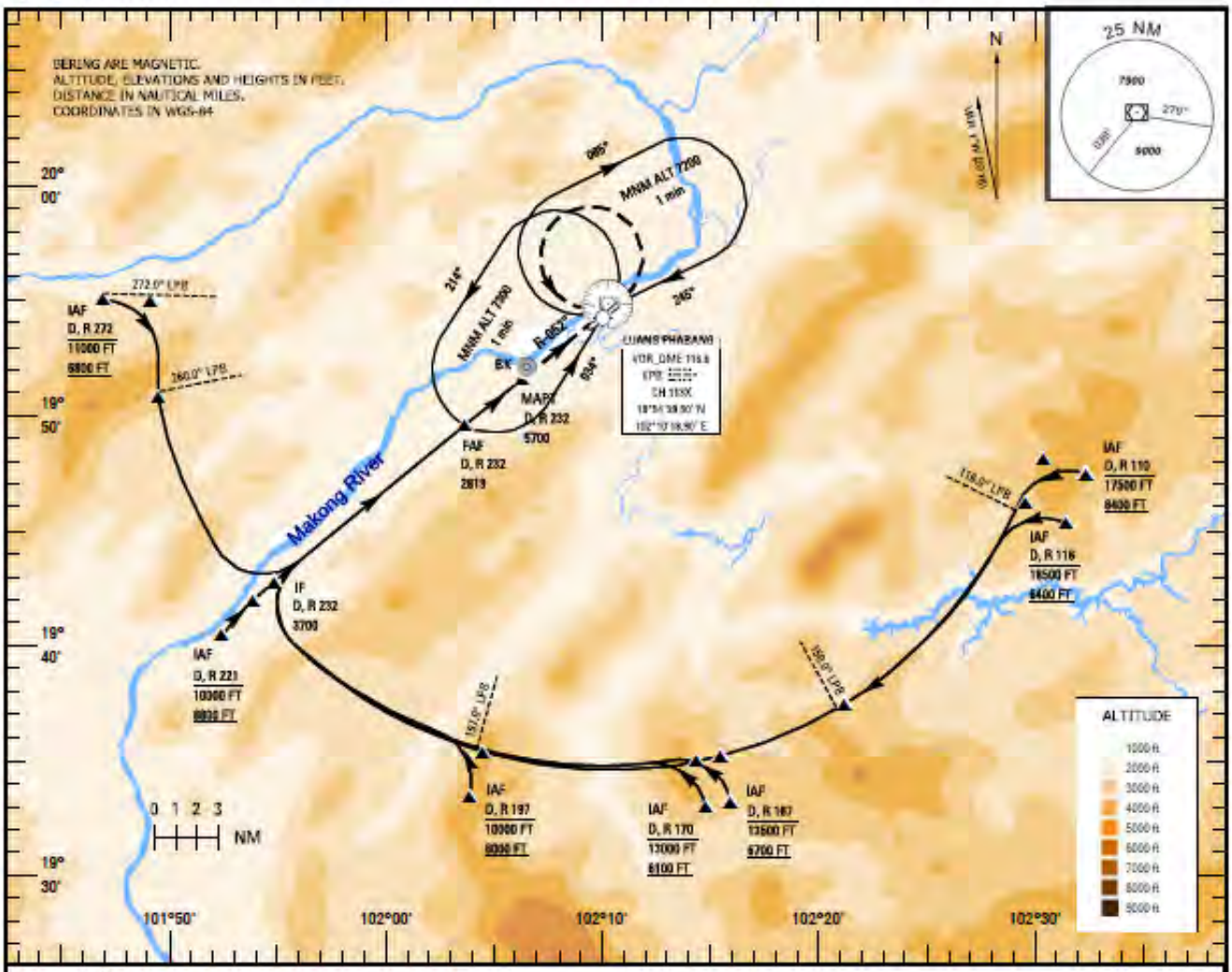
CAT: A B C D

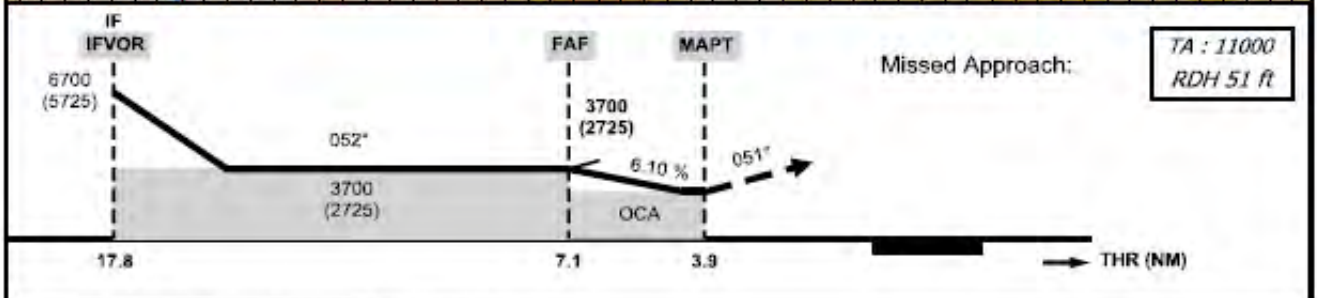
AERODROME ELEV : 297M / 975FT
HEIGHTS RELATED TO
THR RWY 05 ELEV. 294 M / 965 FT

LUANG PHABANG INTL - Luang Phabang

APP: 118.5 MHz
TWR: 118.5 MHz

VOR_DME
RWY 05





MNM AD : Vertical distances in feet, VIS in meters.

MDA/H	A	B	C
Straight-in approach VIS	2440 (1475) 7400		
Circling VIS	2500 (1525) 8000		2800 (1825) 8000

DISTANCE FAF to MAPt = 3.2 NM

Distance (FM LPB)	5D	6D	7D	8D	·	--
Altitude (Haight) (ft)	2507 (2213)	2877 (2583)	3248 (2954)	3619 (3325)	· ·	-- --
IAS (kt)	90	100	120	140	160	180
Time (min:s)	2:08	1:55	1:36	1:22	1:12	1:04
Rate of decent (ft/min)	560	620	740	870	990	1110

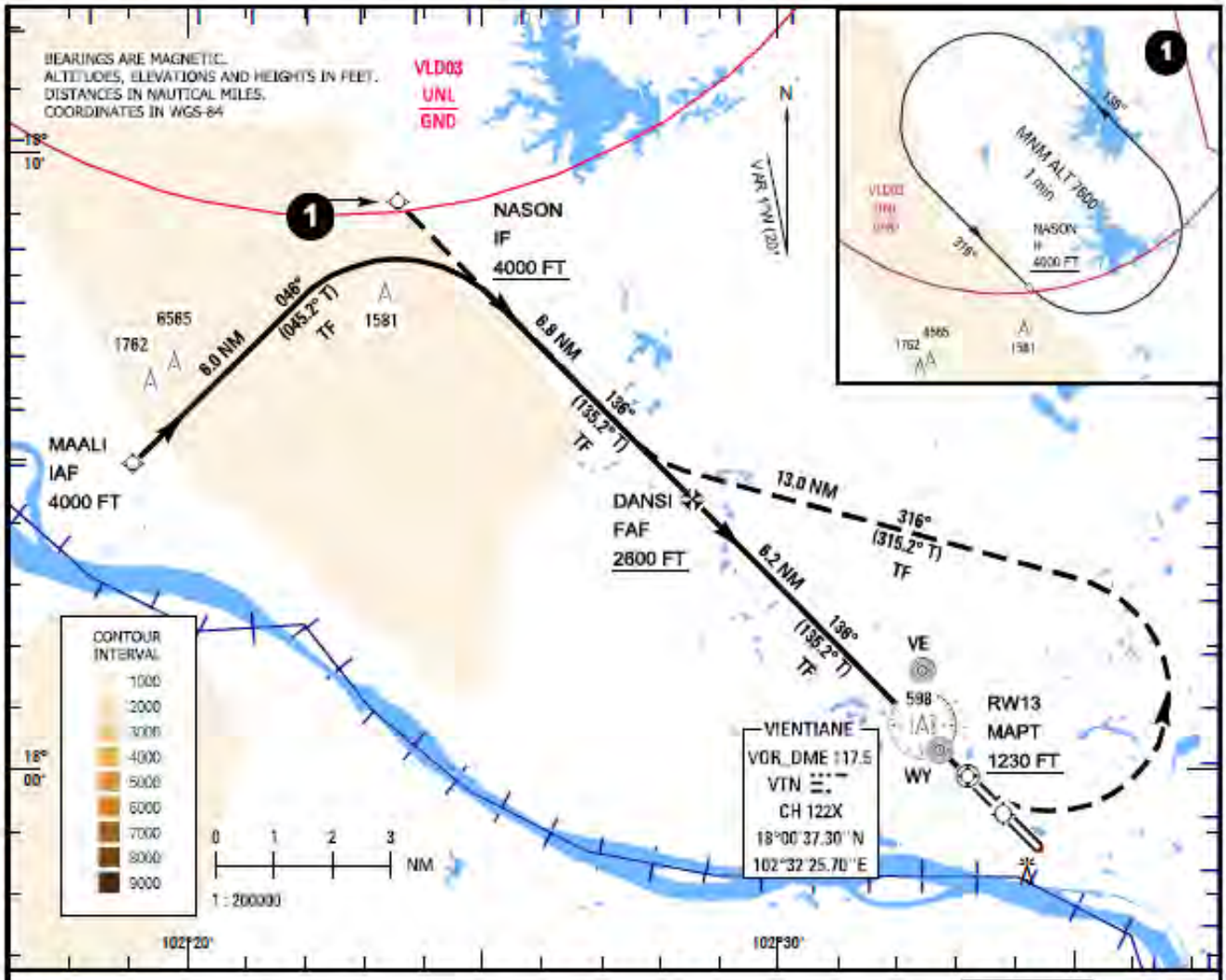
INSTRUMENT APPROACH CHART - ICAO
CAT: A B C D

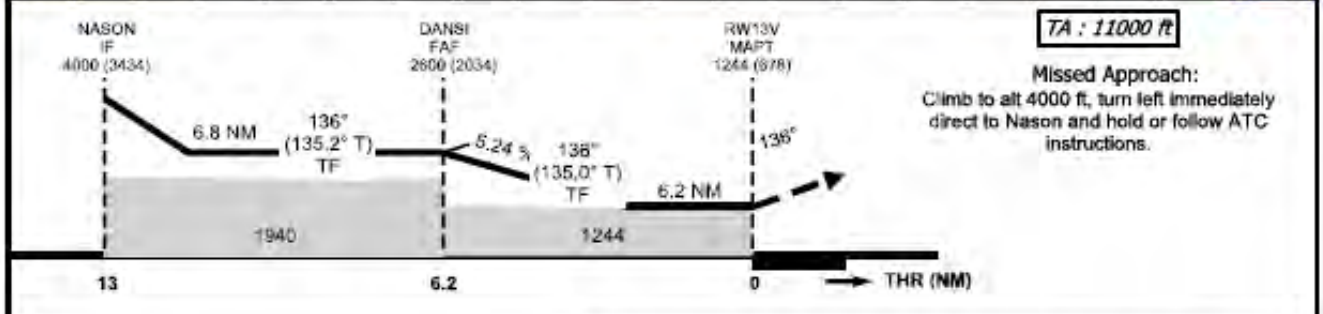
VIENTIANE/WATTAY INTL AIRPORT / VIENTIANE(WATTAY)

AERODROME ELEV : 566 FT
HEIGHTS RELATED TO
THR RWY 13 - ELEV 566 FT

TWR: 118.1
APP: 119.7

RNAV
RWY 13





TA : 11000 ft

Missed Approach:
Climb to alt 4000 ft, turn left immediately direct to Nason and hold or follow ATC instructions.

OCA (H)				
ACFT CAT	A	B	C	D
LNAV	1244 (678			
CIRCLING	1500 (934			

CIRCLING IS ONLY IN THE NORTH EAST OF RWY

DIST TO MAPT	NM	FAF	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0	MAPt
HGT	FT	2034	1652	1334	1016	697	678	678

SPEED (GS)	KT	80	108	135	162
FAF-MAPT 6.2NM	MIN:S	4:39	3:26	2:45	2:17
RATE OF DESCENT	FT/S	4.8	6.5	8.2	9.8

FOR DATA TABULATION SEE VERSO

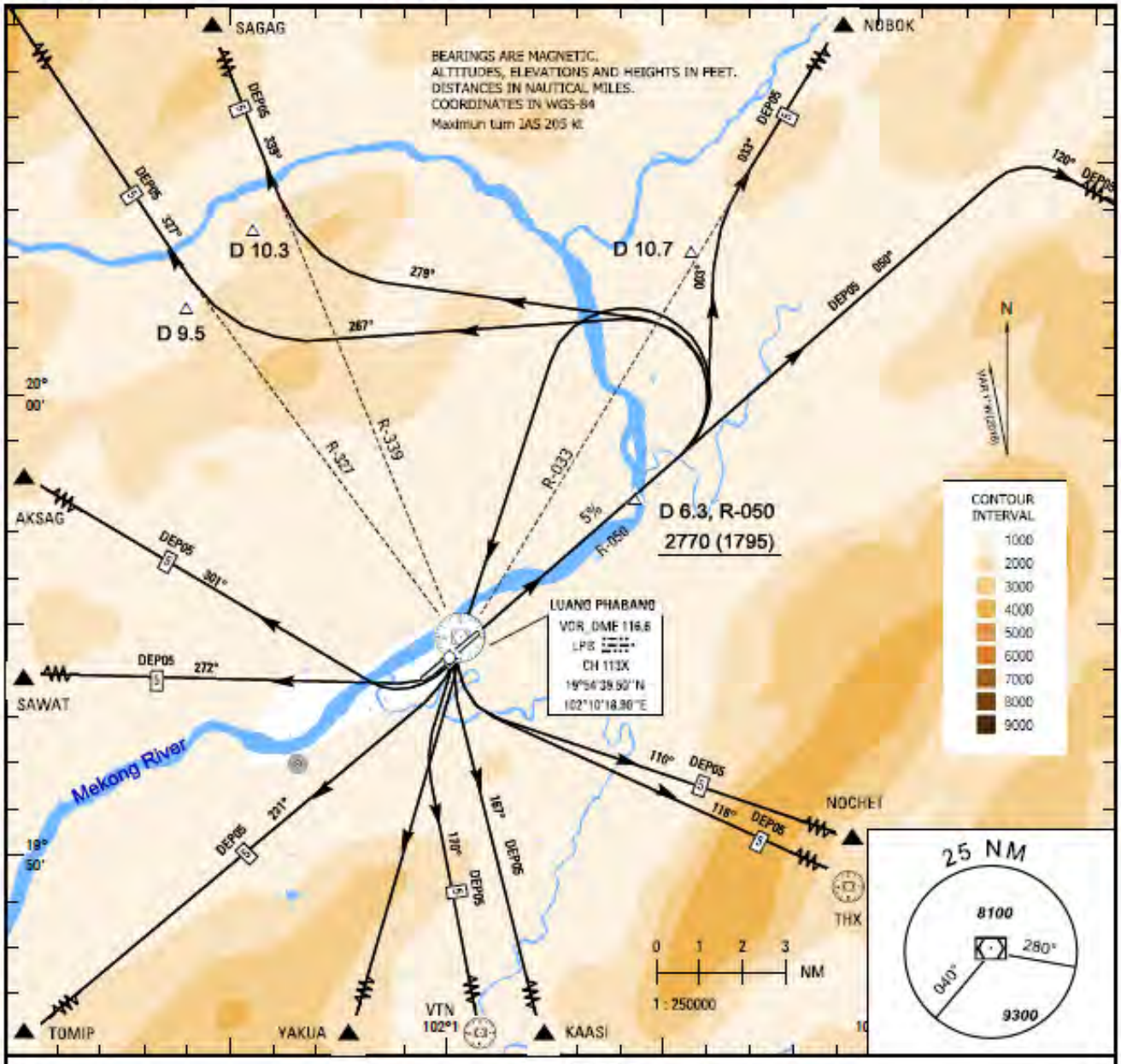
STANDARD INSTRUMENT DEPARTURE CHART
SID - ICAO
CAT: A B C D

TRANSITION ALTITUDE
11000 FT

LUANG PHABANG INTL / LUANGPHABANG

TWR: 118.5 MHz
APP: 118.5 MHz

SID
RWY 05



RWY 05

1. **NOBOK DEPARTURE (NBK1A):** After departure, climb on runway heading to 2770ft or above (D6.3) then turn left to intercept B468 (R-033) at D10.7 to NOBOK. (PDG is not less than 5% until 2770ft)
2. **LAPON DEPARTURE (LAP1A):** After departure, climb on runway heading to 7300ft or above then turn right to intercept B465 (R-069) to LAPON. (PDG is not less than 5% until 7300ft)
3. **NOHET DEPARTURE (NET1A):** After departure, climb on runway heading to 2770ft or above (D6.3) then turn left to LPB VOR/DME and intercept A206 (R-110) to NOHET. (PDG is not less than 5% until 2770ft)
4. **THX DEPARTURE (THX1A):** After departure, climb on runway heading to 2770ft or above (D6.3) then turn left to LPB VOR/DME and intercept W77 (R-116) to THX. (PDG is not less than 5% until 2770ft)
5. **KAASI DEPARTURE (KAS1A):** After departure, climb on runway heading to 2770ft or above (D6.3) then turn left to LPB VOR/DME and intercept W35 (R-167) to KAASI. (PDG is not less than 5% until 2770ft)
6. **VTN DEPARTURE (VTN1A):** After departure, climb on runway heading to 2770ft or above (D6.3) then turn left to LPB VOR/DME and intercept B218 (R-170) to VTN. (PDG is not less than 5% until 2770ft)
7. **YAKUA DEPARTURE (YAK1A):** After departure, climb on runway heading to 2770ft or above (D6.3) then turn left to LPB VOR/DME and intercept B346 (R-197) to YAKUA. (PDG is not less than 5% until 2770ft)
8. **TOMIP DEPARTURE (TOM1A):** After departure, climb on runway heading to 2770ft or above (D6.3) then turn left to LPB VOR/DME and intercept R215 (R-231) to TOMIP. (PDG is not less than 5% until 2770ft)

STANDARD ARRIVAL INSTRUMENT CHART (STAR) - ICAO

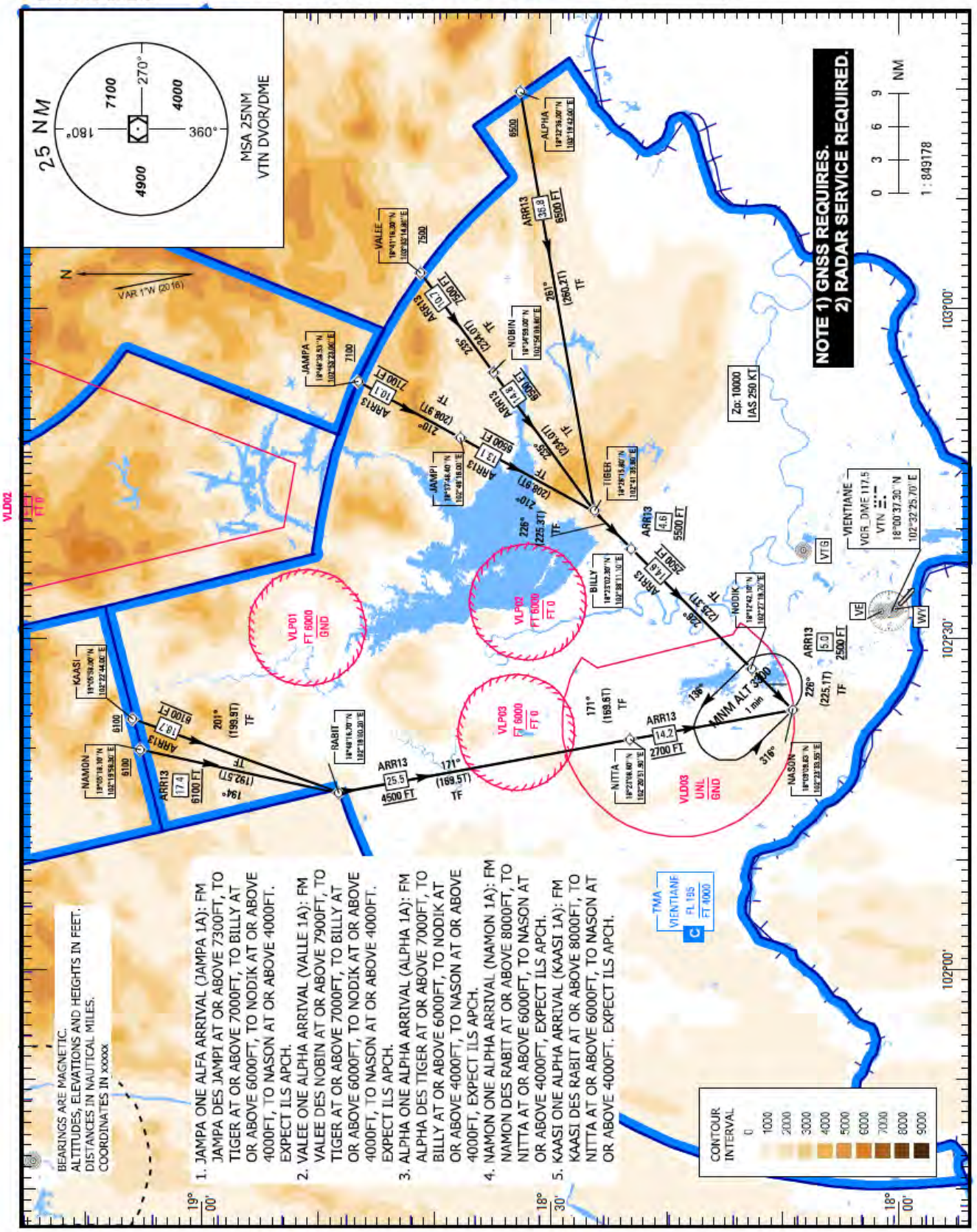
VIENTIANE/WATTAY INTL AIRPORT / VIENTIANE(WATTAY)

RNAV (GNSS)
RWY 13

CAT: A B C D

TRANSITIONAL ALTITUDE: *TA : 11000*

TWR: 118.1
APP: 119.7



1. JAMPA ONE ALFA ARRIVAL (JAMPA 1A): FM JAMPA DES JAMPI AT OR ABOVE 7300FT, TO TIGER AT OR ABOVE 7000FT, TO BILLY AT OR ABOVE 6000FT, TO NODIK AT OR ABOVE 4000FT, TO NASON AT OR ABOVE 4000FT. EXPECT ILS APCH.
2. VALEE ONE ALPHA ARRIVAL (VALLE 1A): FM VALEE DES NOBIN AT OR ABOVE 7900FT, TO TIGER AT OR ABOVE 7000FT, TO BILLY AT OR ABOVE 6000FT, TO NODIK AT OR ABOVE 4000FT, TO NASON AT OR ABOVE 4000FT. EXPECT ILS APCH.
3. ALPHA ONE ALPHA ARRIVAL (ALPHA 1A): FM ALPHA DES TIGER AT OR ABOVE 7000FT, TO BILLY AT OR ABOVE 6000FT, TO NODIK AT OR ABOVE 4000FT, TO NASON AT OR ABOVE 4000FT, EXPECT ILS APCH.
4. NAMON ONE ALPHA ARRIVAL (NAMON 1A): FM NAMON DES RABIT AT OR ABOVE 8000FT, TO NITTA AT OR ABOVE 6000FT, TO NASON AT OR ABOVE 4000FT, EXPECT ILS APCH.
5. KAASI ONE ALPHA ARRIVAL (KAASI 1A): FM KAASI DES RABIT AT OR ABOVE 8000FT, TO NITTA AT OR ABOVE 6000FT, TO NASON AT OR ABOVE 4000FT. EXPECT ILS APCH.

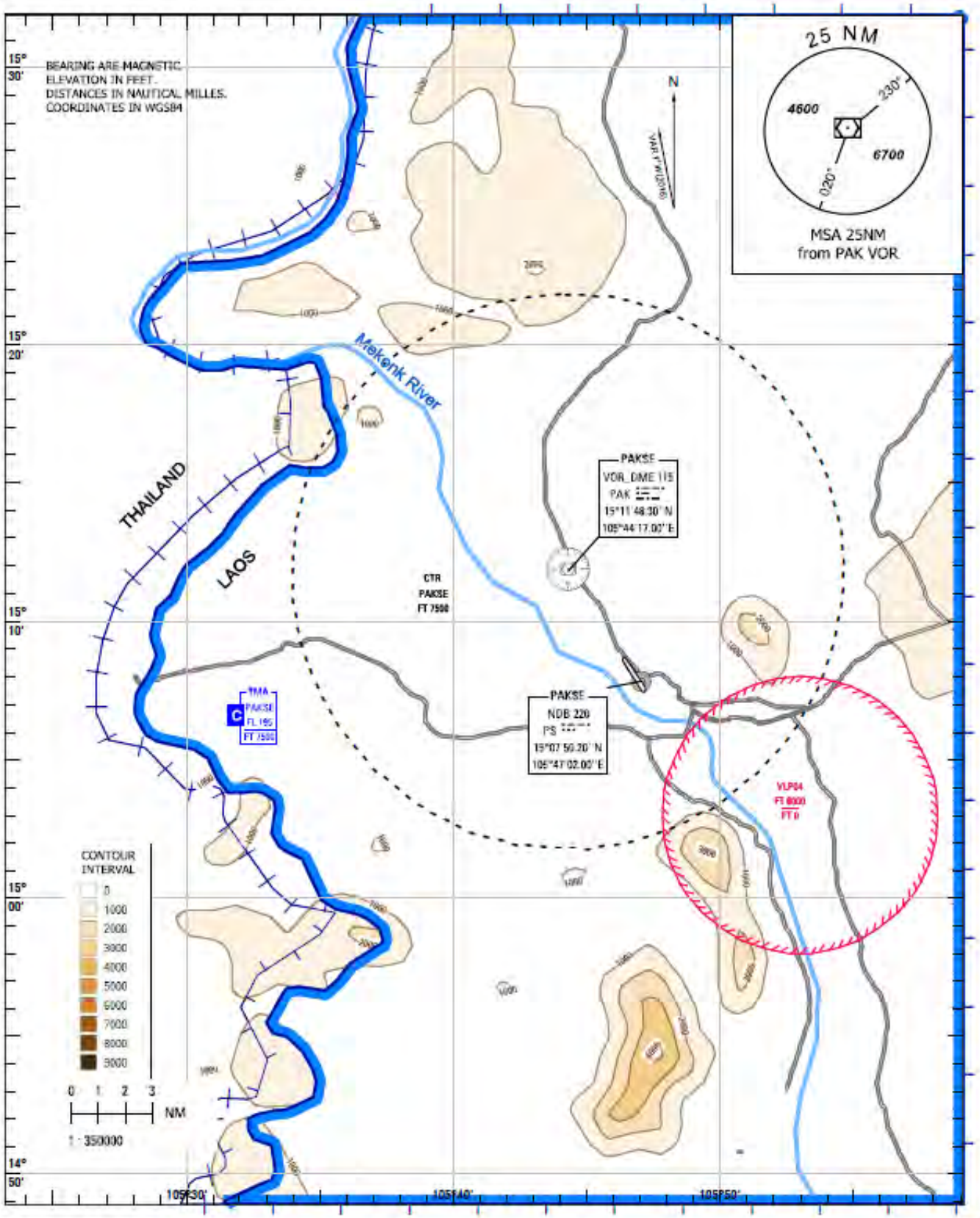
BEARINGS ARE MAGNETIC.
ALTITUDES, ELEVATIONS AND HEIGHTS IN FEET.
DISTANCES IN NAUTICAL MILES.
COORDINATES IN xxxxx

CHAMPASAK/PAKSE INTL / PAKSE

VISUAL APPROACH CHART (VAC) - ICAO

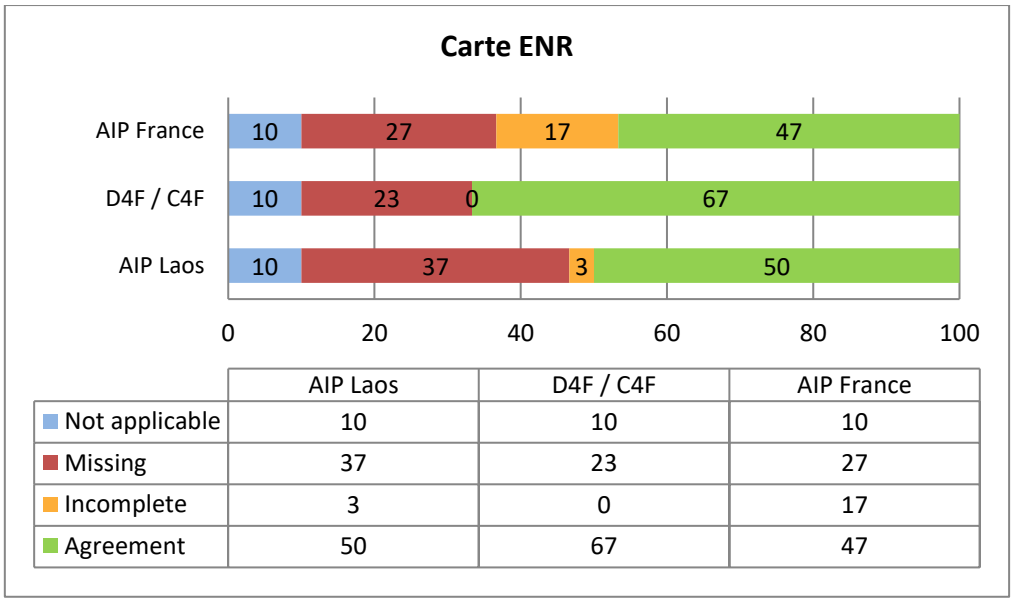
AERODROME ELEVATION: *341 ft*

TWR: 118.5
APP: 118.5

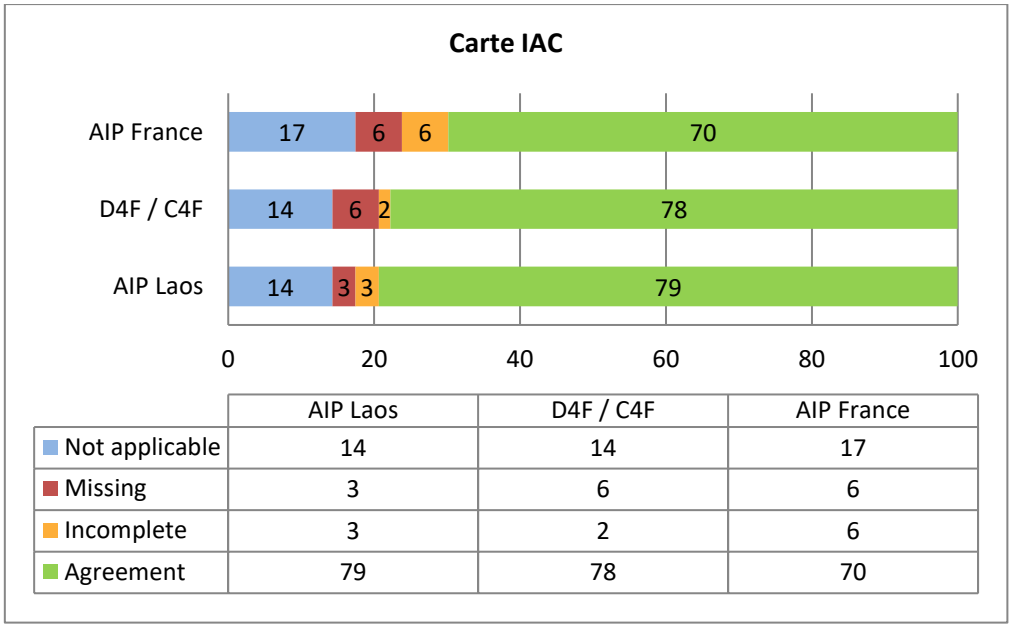


Après la finalisation de la matrice de couverture, le statut de la conformité a été catégorisé pour faire une analyse statistique des 5 types des cartes.

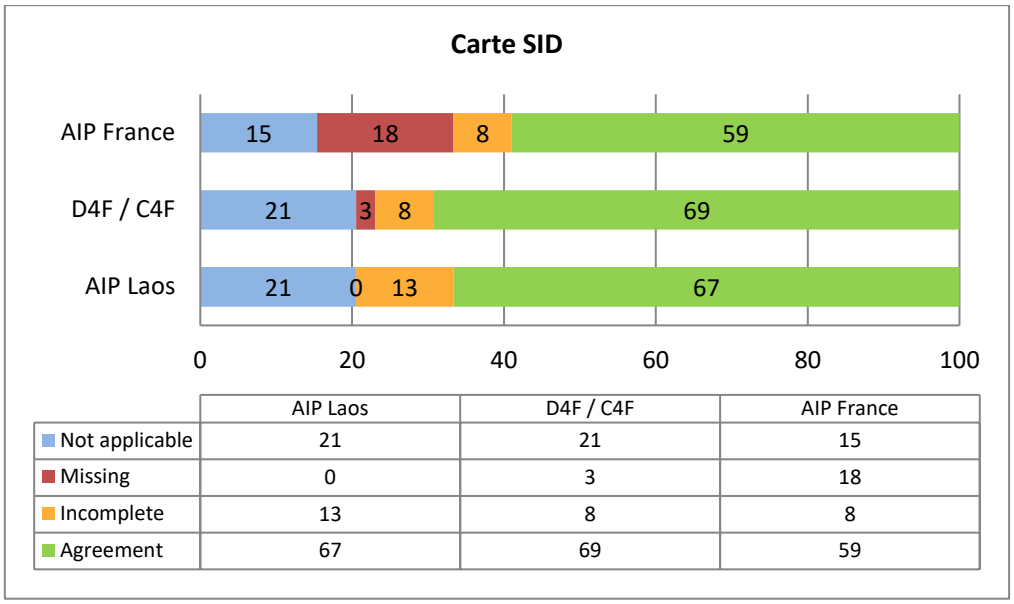
Le résultat quantitatif a indiqué des cartes en conformité qui ont été produit sur Data4Flight / Chart4Fligth ont présenté, à l'exception de la carte IAC, des taux de conformité plus élevé que les cartes de l'AIP Laos. Résultat similaire est vérifié lorsque on compare les cartes en conformité et les cartes de l'AIP Toulouse-Blagnac. A ce point-là, est important remarquer que la SIA France possède ses propres réglementation en suivant la normalisation de l'Eurocontrol. Un point important, est de faire la relation de la catégorie « Missing » avec l'absence de renseignement des champs dans la base de données.



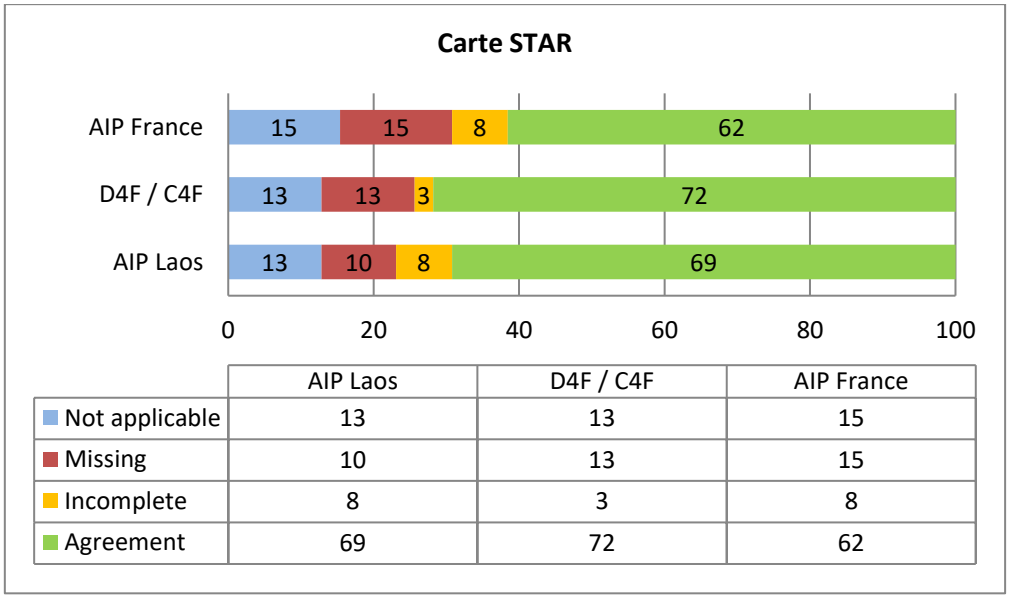
	AIP Laos	D4F / C4F	AIP France
Not applicable	10	10	10
Missing	37	23	27
Incomplete	3	0	17
Agreement	50	67	47



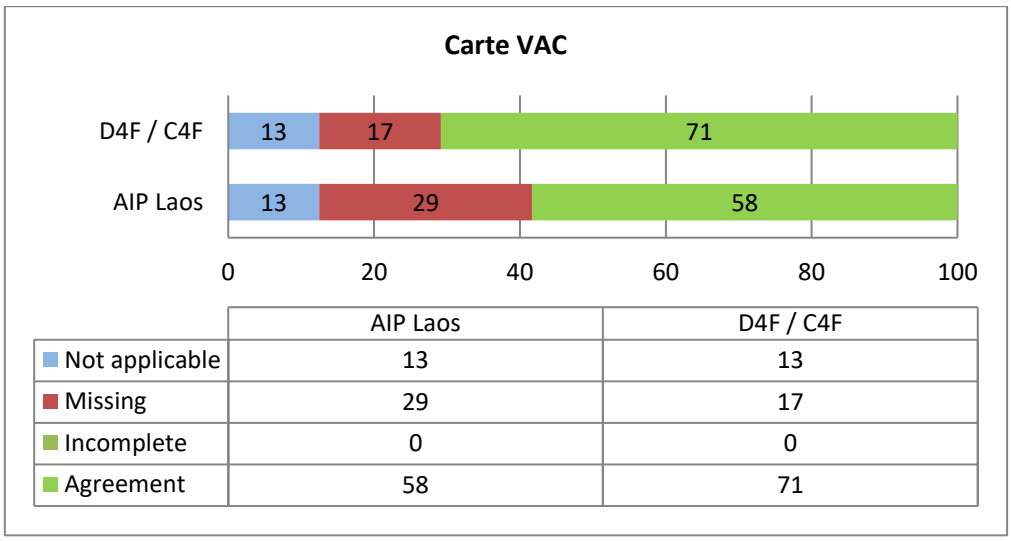
	AIP Laos	D4F / C4F	AIP France
Not applicable	14	14	17
Missing	3	6	6
Incomplete	3	2	6
Agreement	79	78	70



	AIP Laos	D4F / C4F	AIP France
Not applicable	21	21	15
Missing	0	3	18
Incomplete	13	8	8
Agreement	67	69	59



	AIP Laos	D4F / C4F	AIP France
Not applicable	13	13	15
Missing	10	13	15
Incomplete	8	3	8
Agreement	69	72	62



	AIP Laos	D4F / C4F
Not applicable	13	13
Missing	29	17
Incomplete	0	0
Agreement	58	71

Pendant l'évaluation de la base de données, notamment l'analyse sémantique, il a été observé que le champs construit de façon composte, c'est-à-dire, que les champs contenant différentes valeurs (signe, chiffre et unité de mesures) ne répondent pas à la définition des données atomiques géoréférencées qui détermine que chaque champ ne doit contenir qu'une seule valeur. Lors d'un échange avec l'équipe de développement, j'ai été informé que lors du développement du logiciel, pour le rendre plus léger et performant, il a été fait le choix de concaténer automatiquement les champs qui stockent les différentes valeurs d'un attribut pour former un champ de valeur composé. Malgré le fait que cette action aurait pu être une solution pour faire monter la performance du logiciel, elle est un inconvénient pour la cartographie car pour la manipulation et l'affichage de valeurs il faut, à travers la construction de script pyton, renverser cette concaténation.

De façon à contribuer à l'évolution du logiciel, ce travail de stage indique 5 pistes d'amélioration :

- Lorsque de l'action de « Undo Check Out » les fichiers temporaires sont effacés ;
- Donnée l'option à l'utilisateur de n'avoir pas la concaténation des champs en respectant la définition de données atomiques géoréférencées ;
- Renseignement systématiquement des champs « IsMain » pour faciliter l'affichage des entités liées aux procédures ;
- Mettre en place plus de ressource de dessin dans l'interface de Chart4Flight.
- Construction d'outil qui permet la vérification des données minimales de la base de données.

VI. Conclusion

La transition de l'AIS à l'AIM vient d'être mise en cours et ouvre des grosses opportunités pour le développement de nouveaux produits et services de géotechnologie dans le secteur aéronautique. Le groupe CGX et sa chaine logiciel s'encadrent dans ce contexte et se présentent comme un groupe en croissance dans le marché. Les objectifs du stage sont directement liés à l'aspect de croissance du groupe une fois qu'il fait une analyse qualitative de son produit par rapport à la règlementation à laquelle il est tributaire, et qualifie celui-ci devant les agents du secteur.

La chaine de traitement développée par ce travail de stage, peut devenir le standard pour la production de templates a être ajouté à la documentation fournie au client, ou encore servir de feuille de route pour l'équipe interne. Son résultat a été plutôt satisfaisant une fois que les tests avec d'autres bases de données réalisées par l'équipe de développement ont rendu de bons résultats et l'ensemble des templates a été déjà intégré à la version 3.0 du logiciel.

Les objectifs professionnels du stage qui était l'ouverture d'une nouvelle branche professionnelle pour la géomatique dans le secteur aéronautique a été satisfaisant car mon intégration au groupe CGX est déjà en cours.

Bibliographie

ANTUNES Maria Jorge Ferreira Antunes. Plano de voo apoiado em sistemas de informaçao géografica. Universidade de Lisboa. Mestrado en engenharia geografica. 2008

CGX. Description de Chart4Flight. Document interne. 2018.

CGX. Description de Data4Flight. Document interne. 2018.

DETEC Département fédéral de l'environement, des transports, de l'énergie et de la communication. Cartes conformes au droit de la navigation aérienne (cartes et plans aéronautiques) Documentation « modèle de géodonnées minimal » . 2012.

HURTER Christhophe. Caractérisation de visualisation et exploration interactive des grandes quantités de données multidimentionnelles. Thèse doctorat de l'Université de Toulouse. 2010.

IGN / ECOLE NATIONALE DES SCIENCES GEOGRAPHIQUES. Cartographie. Volume 1 Semiologie graphique et conception cartographique. 1999.

MARQUES Vitor Manuel de Almeida. Reestruturaçao do serviço de informaçao aeronautica da força aérea portuguesa. Instituto de Estudos Superiores Militares: curso de promoçao a oficial superior da força aérea. 2009.

ICAO. Aeronautical Charts Annex 4 to the Convention on International Civil Aviation. Eleventh Edition. 2009.

ICAO. Aeronautical Chart Manual. Doc 8697 – AN/889. Advanced third edition. 2015.

ICAO. Aeronautical Information Service Manual. Doc 8126 - AN/872. Sixth edition. 2003.

ICAO. World Geodesical System – 1984 (WGS-84) Manual. Second edition. 2002.

OACI. Plan mondial de navigation aérienne 2013 – 2028. Doc 9750 – AN/963. Quatrième édition. 2013.

OACI. Convention relative à l'aviation civile internationale. Doc 7300/9.

OACI. Feuille de route pour la transition de l'AIS à AIM. Première édition. 2009.

OACI. Service d'information aéronautique Annexe 15 à la Convention relative à l'aviation civile internationale. Quatorzième édition. 2013.

PETIT Ophélie, BILLON Pierrik, FOLLIN Jean-Michel. Evolution de la qualité des données OpenStreetMap sur la Sarthe et réflexion sur le processus de contribution. Revue XYZ nombre 131. 2e trimestre 2012.

TOUYA Guillaume, GIRRES Jean-François. Premiers éléments d'évaluation de la qualité des données OpenStreetMap en France. SAGEO 09. 2009.

UMS RIATE. Généralités liées à OpenStreetMap et la complétude des données. Rapport techinique. 2016.

Aeronautical Information Exchange Model AIXM 5.1. https://ext.eurocontrol.int/aixmwiki_public/bin/view/Main/AIXM_Classes

L'avionaire https://www.lavionnaire.fr/

Glossaire

AIRAC. Acronyme (régularisation et contrôle de la diffusion des renseignements aéronautiques) désignant un système qui a pour but la notification à l'avance, sur la base de dates communes d'entrée en vigueur, de circonstances impliquant des changements importants dans les pratiques d'exploitation.

Amendement d'AIP. Modification permanente de l'information publiée dans l'AIP.

Classification de l'intégrité (données aéronautiques). Classification basée sur le risque que peut entraîner l'utilisation de données altérées. Les données aéronautiques sont classées comme suit :

a) *données ordinaires :* données dont l'utilisation, si elles sont altérées, entraîne une très faible probabilité que la poursuite du vol et l'atterrissage d'un aéronef comportent un risque sérieux de catastrophe ;
b) *données essentielles :* données dont l'utilisation, si elles sont altérées, entraîne une faible probabilité que la poursuite du vol et l'atterrissage d'un aéronef comportent un risque sérieux de catastrophe ;
c) *données critiques :* données dont l'utilisation, si elles sont altérées, entraîne une forte probabilité que la poursuite du vol et l'atterrissage d'un aéronef comportent un risque sérieux de catastrophe.

Données aéronautiques. Faits, concepts ou instructions aéronautiques représentés sous une forme conventionnelle convenant à la communication, à l'interprétation ou au traitement.

Gestion de l'information aéronautique (AIM). Gestion dynamique intégrée des informations aéronautiques par la fourniture et l'échange, en collaboration avec toutes les parties, de données aéronautiques numériques ayant fait l'objet d'un contrôle de la qualité.

Gestion du trafic aérien (ATM). Gestion dynamique intégrée de la circulation aérienne et de l'espace aérien (comprenant les services de la circulation aérienne, la gestion de l'espace aérien et la gestion des courants de trafic aérien) — de façon sûre, économique et efficace — par la mise en œuvre d'installations et de services sans discontinuité en collaboration avec toutes les parties et faisant intervenir des fonctions embarquées et des fonctions au sol.

Information aéronautique. Information résultant de l'assemblage, de l'analyse et du formatage de données aéronautiques.

Intégrité (données aéronautiques). Degré d'assurance qu'une donnée aéronautique et sa valeur n'ont pas été perdues ou altérées depuis la création de la donnée ou sa modification autorisée.

Navigation de surface (RNAV). Méthode de navigation permettant le vol sur n'importe quelle trajectoire voulue dans les limites de la couverture d'aides de navigation basées au sol ou dans l'espace, ou dans les limites des possibilités d'une aide autonome, ou grâce à une combinaison de ces moyens.

Note.— La navigation de surface englobe la navigation fondée sur les performances ainsi que d'autres opérations qui ne répondent pas à la définition de la navigation fondée sur les performances.

Navigation fondée sur les performances (PBN). Navigation de surface fondée sur des exigences en matière de performances que doivent respecter des aéronefs volant sur une route ATS, selon une procédure d'approche aux instruments ou dans un espace aérien désigné.

Note.— Les exigences en matière de performances sont exprimées dans des spécifications de navigation (spécification RNAV, spécification RNP) sous forme de conditions de précision, d'intégrité, de continuité, de disponibilité et de fonctionnalité à respecter pour le vol envisagé, dans le cadre d'un concept particulier d'espace aérien.

Principes des facteurs humains. Principes qui s'appliquent à la conception, à la certification, à la formation, aux opérations et à la maintenance aéronautiques et qui visent à assurer la sécurité de l'interface entre l'être humain et les autres composantes des systèmes par une prise en compte appropriée des performances humaines.

Publication d'information aéronautique (AIP). Publication d'un État, ou éditée par décision d'un État, renfermant des informations aéronautiques de caractère durable et essentielles à la navigation aérienne.

Qualité des données. Degré ou niveau de confiance que les données fournies répondent aux exigences de leurs utilisateurs en matière de précision, de résolution et d'intégrité.

Service de radionavigation. Service fournissant des informations de guidage ou des données de position au moyen d'une ou de plusieurs aides radio à la navigation pour assurer l'efficacité et la sécurité de l'exploitation des aéronefs.

Service d'information aéronautique (AIS). Service chargé de fournir, dans une zone de couverture définie, les données aéronautiques et les informations aéronautiques nécessaires à la sécurité, à la régularité et à l'efficacité de la navigation aérienne.

Supplément d'AIP. Pages spéciales de l'AIP où sont publiées des modifications temporaires de l'information contenue dans l'AIP.

Système intégré d'information aéronautique. Système sur papier ou sur support électronique, composé des éléments suivants :

— AIP, y compris ses mises à jour ;
— suppléments d'AIP ;
— NOTAM et PIB ;
— AIC ;
— listes récapitulatives et listes des NOTAM valides.