

SYSTÈME INTÉGRÉ DE GESTION ET DE FACTURATION DU TRAFIC AÉRIEN (ATM-RDC)

CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL ET TECHNIQUE

Projet : Conception et Développement de la Plateforme "Air Traffic Management"

Client : Régie des Voies Aériennes (RVA) - RDC

Niveau de Confidentialité : HAUTEMENT CONFIDENTIEL / DÉFENSE

Version : 1.1

1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE ET PÉRIMÈTRE

1.1 Vision du Produit

Le système "Air Traffic Management" est une solution web centralisée destinée à la surveillance en temps réel, à l'historisation forensique et à la facturation automatisée de tout mouvement aérien (civil, commercial, cargo, privé) interagissant avec l'espace aérien de la République Démocratique du Congo.

1.2 Acteurs et Utilisateurs

- **Superviseurs RVA (Kinshasa/Lubumbashi/Goma) :** Vision globale, gestion des incidents.
 - **Contrôleurs Aériens :** Surveillance opérationnelle zone par zone.
 - **Service Facturation/Comptabilité :** Validation des redevances et envoi des factures.
 - **Auditeurs d'État :** Consultation des logs et des statistiques.
 - **Administrateurs Système :** Maintenance, gestion des accès et sécurité.
-

2. ARCHITECTURE TECHNIQUE DÉTAILLÉE

2.1 Stack Technologique (Imposée)

- **Backend (Cœur logique) :** Python 3.11+ avec Framework **Flask**.
 - *Traitement asynchrone :* **Celery** + **Redis** (Indispensable pour traiter les flux de données API entrants sans bloquer l'interface).
 - *WebSockets :* **Flask-SocketIO** (Pour le push des données radar en temps réel vers le navigateur).
- **Base de Données (Stockage) :** **PostgreSQL** version 15+.
 - *Extension Spatiale :* **PostGIS** (Obligatoire pour les calculs géométriques : "Point in Polygon").
 - *TimescaleDB (Optionnel recommandé) :* Pour optimiser le stockage des séries temporelles (positions avions chaque seconde).
- **Frontend (Interface) :**
 - **HTML5 / JavaScript (ES6 Modules).**
 - **Tailwind CSS** (Design System).
 - **Moteur Cartographique :** Leaflet.js ou MapLibre GL (Open source).
- **APIs Externes (Flux de données) :**
 - *AviationStack / ADSBexchange :* Données de vol (Position, ICAO, CallSign).
 - *OpenWeatherMap / [AviationWeather.gov](https://aviationweather.gov) :* Données METAR/TAF et calques météo.
 - *Geo-API :* Données topographiques et frontières administratives.

2.2 Infrastructure et Sécurité

- **Chiffrement :** TLS 1.3 pour tous les échanges (HTTPS/WSS). Chiffrement AES-256 pour les données sensibles en base (mots de passe, clés API).
- **Architecture Réseau :** Déploiement derrière un proxy inverse Nginx.
- **Redondance :** Système de "Failover" si l'API principale de données ne répond plus (bascule sur une source secondaire ou données estimées).

3. SPÉCIFICATIONS FONCTIONNELLES DÉTAILLÉES

MODULE 1 : LE RADAR DE SURVEILLANCE TEMPS RÉEL (LIVE MONITOR)

Objectif : Fournir une situation tactique aérienne précise.

1. Moteur de Cartographie Multi-couches :

- *Couche Base* : Carte vectorielle sombre (Dark Mode) pour réduire la fatigue oculaire.
- *Couche Frontières* : Tracé précis des frontières RDC (Shapefile officiel importé via PostGIS).
- *Couche Météo (Overlay)* : Superposition des nuages, zones de turbulences, et précipitations (API Météo) avec opacité réglable (0-100%).
- *Couche Aéroports* : Affichage des principaux aéroports (FIH, FBM, GOM, etc.) avec leur statut (Ouvert/Fermé).

2. Gestion des Objets Volants (Aéronefs) :

- **Représentation** : Icône dynamique changeant selon le type (A380, Cessna, Hélicoptère) et orientée selon le cap (Heading).
- **Clusterisation** : Regroupement des icônes si le niveau de zoom est trop faible pour éviter la saturation visuelle.
- **Étiquettes Intelligentes (Data Tags)** :
 - L'utilisateur coche les données à afficher sous l'avion : *Indicatif (Callsign), Altitude (FL), Vitesse Sol (GS), Type d'appareil, Compagnie.*
- **Code Couleur État** :
 - *Vert* : En croisière stable.
 - *Jaune* : En montée/descente.
 - *Rouge* : Urgence (Code Squawk 7700).

3. Filtres de Visualisation (Scope) :

- *Géographique* : "Focus Kinshasa", "Focus Katanga", "Tout le Pays", "Tout le Continent".
- *Opérateur* : Afficher uniquement les avions de "Congo Airways" ou "Air France".
- *Altitude* : Filtrer par tranche (ex: Afficher uniquement les vols au-dessus de 30 000 pieds).

MODULE 2 : RADAR DE SURVOL & "GEOFENCING" (OVERFLIGHT TRACKER)

Objectif : Monétiser l'espace aérien traversé sans atterrissage.

1. Algorithme de Détection d'Intrusion (The Watchdog) :

- Le système vérifie chaque seconde si les coordonnées (Lat, Long) d'un avion intersectent le polygone "RDC".
- **Trigger "Entrée" :** Dès que `ST_Contains(RDC_Polygon, Plane_Point) == True` :
 - Création d'un ID de session unique (Session_Overflight_ID).
 - Démarrage du **Chronomètre (Timer)**.
 - Enregistrement du point d'entrée (Lat/Long/Alt/Heure).
- **Trigger "Sortie" :** Dès que l'avion quitte le polygone :
 - Arrêt du Chronomètre.
 - Calcul de la durée exacte (`Delta T`).
 - Enregistrement du point de sortie.

2. Traçabilité de la Trajectoire (Snapshot) :

- Stockage du "Fil d'Ariane" : Une série de points GPS est enregistrée toutes les 30 secondes en base de données pour reconstruire la ligne de vol exacte sur une carte statique (preuve en cas de contestation).

3. Logique de Facturation Survol :

- Vérification automatique : Si `Aéroport_Départ != RDC` ET `Aéroport_Arrivée != RDC` .
- Calcul du coût prévisionnel selon la formule paramétrable :
 - `Coût = (Distance_Parcourue_RDC * Taux_KM) + (Poids_Appareil * Taux_Tonnage)` .

MODULE 3 : RADAR AÉROPORTUAIRE & MOUVEMENTS (ATM TERMINAL)

Objectif : Gérer les taxes d'atterrissage, de stationnement et balisage.

1. File d'Attente (Inbound Queue) :

- Détection anticipée (200km avant la frontière) des vols déclarant une destination RDC (via API Plan de Vol).

- Affichage d'une liste "Arrivées Prévues" avec ETA (Estimated Time of Arrival).

2. Cycle de Vie "Atterrissage" (Landing Cycle) :

- **Phase 1 (Approche)** : Entrée dans l'espace aérien → Tracking temps réel.
- **Phase 2 (Touchdown)** : Détection de l'altitude < altitude aéroport + Vitesse décélérante. Enregistrement de l'heure exacte d'atterrissage.
- **Phase 3 (Taxi & Parking)** : Détection vitesse < 5 nœuds. Statut passe à "Au Sol".
- **Calcul Stationnement** :
 - Un compteur "Temps au sol" démarre dès l'arrêt moteur (ou arrêt mouvement).
 - Il s'arrête au moment du mouvement "Pushback" (redémarrage).

3. Gestion des Vols Nationaux vs Internationaux :

- Le système classe automatiquement le vol en comparant l'origine et la destination avec une table de référence des aéroports RDC.
- *Règle* : Si Origine = RDC et Destination = RDC alors "Vol Domestique" (Tarification différente).

MODULE 4 : SYSTÈME DE FACTURATION AUTOMATISÉE

Objectif : Transformer les données techniques en documents financiers.

1. Moteur de Tarification (Paramétrable par Admin RVA) :

- Interface de gestion des taux (CRUD) :
 - Prix par Unité de Service (Route charge).
 - Prix par Tonne (MTOW).
 - Prix Stationnement (1ère heure gratuite, puis X\$ / heure).
 - Surtaxe de nuit (Horaire configurable, ex: 18h00 - 06h00).

2. Génération de Facture (PDF Generator) :

- Le système génère un PDF formaté avec en-tête RVA.
- **Contenu de la facture** :

- Informations Compagnie (Nom, Adresse, IATA Code).
 - Détails du vol (Numéro, Date, Matricule Avion).
 - Détails Techniques (Heure Entrée/Sortie, Durée, Distance, Poids).
 - Carte miniature de la trajectoire (Preuve visuelle).
 - Montant HT, TVA, Montant TTC.
 - **Mode d'envoi** : Possibilité d'envoyer automatiquement par email à la compagnie ou de télécharger pour impression.
-

MODULE 5 : ANALYSE DE DONNÉES & STATISTIQUES (BI)

1. Tableaux de Bord Dynamiques :

- Graphiques en courbes : Évolution du trafic (Jours/Semaines/Mois).
- Diagrammes circulaires (Pie charts) : Répartition par compagnie aérienne.
- Histogrammes : Pics d'affluence horaire (pour gestion du personnel RVA).

2. Exportation Avancée :

- Le moteur d'exportation doit permettre des requêtes SQL complexes via une interface simple.
 - *Exemple* : "Sortir la liste de tous les Boeing 737 ayant survolé le Katanga en Novembre 2025 entre minuit et 4h du matin".
 - Formats : CSV (pour Excel), JSON (pour API tierce), PDF (Rapport officiel).
-

MODULE 6 : ADMINISTRATION, SÉCURITÉ ET AUDIT (LOGGING)

Objectif : "Qui fait quoi, quand et comment ?"

1. Gestion des Utilisateurs (RBAC - Role Based Access Control) :

- **SuperAdmin** : Accès config système, tarifs, création utilisateurs.
- **Contrôleur** : Vue Radar, Détails Vols.
- **Facturation** : Vue Factures, Exports financiers.

- **Observateur** : Vue Radar (Lecture seule, sans détails sensibles).

2. Journalisation Forensique (Audit Trail) :

- Chaque clic et chaque requête est loguée dans une table `audit_logs` inaltérable.
 - *Données loguées* : `User_ID` , `IP_Address` , `Action` (ex: "Consultation détail vol AF123"), `Timestamp` , `User_Agent` .
 - Visualisation des logs pour l'Admin avec filtres de recherche.
-

4. DÉTAILS DE L'IMPLÉMENTATION LOGICIELLE (Backend Logic)

4.1 Modèle de Données (Schéma Conceptuel Simplifié)

- **Table** `Aircraft` : (ICAO, Registration, Model, Operator, MTOW).
- **Table** `FlightSession` : (FlightID, AircraftID, StartTime, EndTime, Type [Overflight/Landing], Status).
- **Table** `TrajectoryPoint` : (SessionID, Timestamp, Lat, Long, Alt, Speed).
Attention : Table volumineuse, partitionnement requis.
- **Table** `Invoice` : (InvoiceNumber, FlightSessionID, Amount, GeneratedAt, Status [Sent/Paid]).
- **Table** `TariffRules` : (RuleName, Formula, EffectiveDate).

4.2 Tâches de Fond (Background Workers - Celery)

- **Worker** `fetch_api_data` : Tourne toutes les 5 à 10 secondes. Interroge AviationStack, compare avec la base locale, met à jour les positions.
 - **Worker** `check_geofence` : Pour chaque avion mis à jour, exécute la requête spatiale PostGIS. Si changement d'état (In/Out), déclenche les événements.
 - **Worker** `generate_invoice` : Tourne une fois le vol terminé (statut "Completed"). Calcule le prix et génère le PDF.
-

5. ERGONOMIE ET UI (User Interface)

- **Philosophie** : "Glass Cockpit". Design sombre, professionnel, typographie monospace pour les chiffres.

- **Responsive :**
 - *Desktop* : Vue complète avec barre latérale d'outils.
 - *Mobile/Tablette* : Vue simplifiée, idéale pour les contrôles au sol (agents sur le tarmac vérifiant un stationnement).
- **Performance :** Chargement asynchrone (AJAX) des listes pour ne jamais recharger la page entière.

6. PHASE DE VALIDATION ET LIVRAISON

Le projet sera livré en trois phases :

1. **MVP (Minimum Viable Product)** : Radar temps réel + Détection Entrée/Sortie (Test sur 1 mois).
 2. **Module Financier** : Intégration des règles de calcul et génération PDF.
 3. **Module BI & Security Hardening** : Statistiques avancées et audit de sécurité final.
-