

DIRECTION des SERVICES de la NAVIGATION AERIENNE**DIRECTION des OPERATIONS****CONSIGNE N° : 16-26****OBJET : Elaboration du besoin de capacité centre - UCESN****Approbation du document**

Type	Fonction	Nom	Validation
Rédacteurs	Capacity Management	Nicolas Hinchliffe Thomas Leparlier	WORKFLOW GEODE
Vérificateurs	Chef de Domaine DO2 Adjoint au directeur des opérations	Vital Bride Gérald Regniaud	WORKFLOW GEODE
Quality Check	RMSI DO	Isabelle Couderc	WORKFLOW GEODE
Approbateur	Directeur des Opérations	Guillaume Blandel	WORKFLOW GEODE

Diffusion

MODE DE DIFFUSION DEMATERIALISE	DESTINATAIRES
Pour Action	CODIR DO
Pour Information	CHEFS CRNA CHEFS SNA RSMI ENTITES CHEFS SE CRNA CHEFS SE SNA METROPOLE CHEFS SE SNA OUTREMER ENAC infocentre-atm@enac.fr DSNA/DIR, DSEC, DTI, DSR

Gestionnaire document : DO/DIR**Date d'applicabilité du document : 01/10/2026**

Emplacement GEODE : R1 - Espace de publication DSNA > Documents > R1 - Rendre le service ATM > Assurer le service ATS > consignes DSNA DO R1

Relevé des modifications

Version du document	Date de rédaction	Motif des changements	Auteur
V0.1	8/12/2025	Création du document	Toutes
V1.0	01/09/2026	Prises en compte des remarques de chefs SE	Toutes

Références réglementaires

En tant que référentiel applicable, les documents suivants :

- NM ATFCM Users Manual
 - NM ATFCM Operations Manual
-

Table des matières

1. ELÉMENTS DE CONTEXTE.....	4
2. OBJECTIFS.....	4
3. PÉRIMÈTRE D'APPLICATION.....	4
4. LEXIQUE.....	4
5. CAPACITÉS DE RÉFÉRENCE DES SECTEURS.....	5
6. GESTION DES DONNÉES.....	5
7. IDENTIFIER LA “VRAIE” DEMANDE.....	6
7.1. BUT ET OBJECTIF.....	6
7.2. CRÉATION D'UNE RÉFÉRENCE.....	6
7.3. RECONSTRUCTION DE LA DEMANDE DE TRAFIC EN POST-OPÉRATOIRE.....	6
7.4. DEMANDE DE RÉFÉRENCE INTÉGRANT L'INCERTITUDE.....	7
8. DÉTERMINER LE BESOIN UCESN OPTIMISÉ EN POST-OPÉRATOIRE.....	8
8.1. BUT ET OBJECTIF.....	8
8.2. PRINCIPES DE L'ALGORITHME D'OPTIMISATION DES CONFIGURATIONS 4CAST.....	8
8.3. CONSTITUTION DE LA BASE HISTORIQUE.....	8
9. PRÉVISION DE LA DEMANDE DE TRAFIC FUTURE ET DU BESOIN UCESN.....	9
9.1. PRINCIPES GÉNÉRAUX.....	9
9.2. RÉALISATION DE L'APPRENTISSAGE SUPERVISÉ POUR UN HORIZON STRATÉGIQUE LONG TERME.....	9
9.2.1. <i>Prévision du trafic.....</i>	<i>9</i>
9.2.2. <i>Prévision du besoin UCESN.....</i>	<i>10</i>
9.2.3. <i>Prévision au-delà des journées record.....</i>	<i>11</i>
9.3. ÉLÉMENTS EN SORTIE DE PROCESSUS.....	11
10. SEGMENTATION EN PÉRIODES SIMILAIRES.....	12
10.1. PÉRIODISATION ANNUELLE.....	12
10.2. PÉRIODISATION HEBDOMADAIRE DES SAISONS.....	13
11. DÉFINITION DES CIBLES UCESN.....	14
11.1. PRINCIPE DE CALCUL.....	14
11.2. LISSAGE DES CIBLES UCESN.....	14
11.3. UTILISATION DE LA RÉFÉRENCE CIBLE.....	15

1. Eléments de contexte

Le plan stratégique DSNA a identifié un besoin d'amélioration de la performance opérationnelle, en particulier en termes de ponctualité, pour s'aligner sur les objectifs fixés au niveau national et européen. Depuis plusieurs années, la DSNA n'est en effet pas en position de respecter ces objectifs, ce qui, selon les mécanismes de pénalités prévus par la réglementation européenne, engendre une baisse de son taux de redevances et donc ses recettes. Au-delà de la DSNA, ces retards pénalisent fortement les opérations des compagnies aériennes et des aéroports, induisant pour ces acteurs des coûts supplémentaires et des trajectoires non optimisées, générant de fait des émissions de CO2 supplémentaires.

Le processus de gestion de l'offre de contrôle au sens du nombre de secteurs disponibles ou capacité centre, qui est au cœur de cette problématique, nécessite d'être standardisé et transparent pour l'ensemble des acteurs de la chaîne de management de la capacité qu'ils soient opérationnels, managers hiérarchiques, clients ou partenaires européens (NM notamment).

2. Objectifs

La présente consigne DO décrit ainsi la méthodologie standardisée et les services centralisés qui sont mis en place au niveau national au profit des entités afin de déterminer le besoin d'offre de contrôle, représenté à chaque instant par le nombre d'Unités de Contrôle Simultanément Nécessaires (UCESN) ;

3. Périmètre d'application

Le périmètre d'application est l'ensemble des secteurs en route des CRNA de la DSNA.

NB : une application ultérieure aux SNA est envisagée, elle fera l'objet d'une mise à jour de cette consigne.

4. Lexique

L'ensemble des définitions sont basées sur celles utilisées dans les documents de référence d'Eurocontrol, notamment le manuel d'opérations ATFCM.

- Phase stratégique STRAT : Phase ATFCM et performance se déroulant jusqu'à 7 jours (inclus) avant le jour donné. Au cours de la phase stratégique se déroulent les opérations d'analyse, de planification et de coordination
- Phase pré-tactique PreTACT : Phase ATFCM qui se déroule pendant les 6 jours précédents le jour J. Au cours de la phase pré-tactique se déroulent les opérations de planification et de coordination.
- Phase tactique TACT : phase ATFCM qui se déroule le jour J
- Phase post opérations POST OPS : phase Post OPS se déroulant après la journée d'opérations et servant à analyser les écarts entre le plan prévu et la réalité. On y collecte et compare les données réelles (événements de sécurité, niveau de trafic, retards, régulations) pour identifier les causes des problèmes et points d'amélioration. Les résultats alimentent les rapports et recommandations pour optimiser la planification future
- Traffic volume (TFV) : référence géographique accompagnée de règles d'inclusion, d'exclusion ou d'omission permettant le comptage des vols associés à une localisation de référence donnée (i.e. par exemple un volume des secteurs).

- Capacité de référence : quantité de trafic, représentée en nombre de vols entrants par pas horaire, acceptable d'un point de vue opérationnel pour un Traffic Volume donné.
- Entry Counts : nombre de vols rentrant dans un Traffic Volume donné par pas horaire (H, H/20, H/10, ...).
- Occupancy Counts : nombre de vols qui se trouvent au sein d'un Traffic Volume donné à un moment précis
- Monitoring Value (MV) : valeur de surveillance du nombre de vols rentrants, par pas horaire, dans un traffic volume donné.
- Occupancy Traffic Monitoring Values (OTMVs) : valeurs de surveillance du nombre de vols se trouvant au sein d'un Traffic Volume donné à un moment précis
- Régulation : action engagée par la FMP avec le NM, seule ou en complément d'autres mesures ATFCM, visant à imposer, pour un trafic volume donné, des heures d'entrée spécifiques dans le TFV régulé permettant de contrôler la charge de trafic.
- Taux de régulation : exprimé en nombre d'aéronefs entrants par heure ou en nombre d'aéronefs présents associés à un trafic volume, le taux est fixé, en Pre-TACT ou tactique, pour maintenir la charge de trafic à un niveau équilibré
- Unités de Contrôle En route Simultanément Activées (UCESA) : nombre de secteurs ouverts en salle de contrôle sous l'autorité du chef de salle pendant la phase tactique.
- Unité de Contrôle En-route Simultanément Nécessaires (UCESN) : nombre de secteurs nécessaires pour répondre à la demande de trafic.
- Unité de Contrôle En-route Simultanément Ouvrables (UCESO) : nombre de secteurs correspondant à l'offre de contrôle. Le nombre d'UCESO, généralement exprimée par zone de qualification, est parfois appelé "capacité centre".

5. Capacités de référence des secteurs

Les capacités de référence des secteurs qui sont utilisées au sein de cette méthodologie sont déterminées par DO-EC selon la méthode décrite par la Consigne DO 18-26 « Gestion des capacités de référence des secteurs ».

6. Gestion des données

La bonne mise en œuvre des processus décrits ci-après dépend de la mise à jour régulière par les entités des données relatives aux configurations secteurs et aux Traffic Volume décrits dans les systèmes de la DSNA comme dans ceux du NM.

Pour rappel, la PRO DO 03-116-22 décrit les rôles et responsabilités des acteurs contribuant à maintenir une base environnement qui associe la dénomination des secteurs et regroupements de secteurs telle que présente dans les systèmes DSNA avec l'identifiant des TFV NM complétés des MV fixées par les centres.

En complément, il apparaît nécessaire de paramétrer finement les configurations à prendre en compte pour les optimisations. Une revue annuelle de ce paramétrage est ainsi organisée entre l'échelon central de la DO et les 5 CRNA.

7. Identifier la "vraie" demande

7.1. But et objectif

Ce chapitre détaille la méthode permettant de déterminer la quantité de trafic de référence ou "vraie" demande à laquelle chaque centre avait à répondre. Cette vraie demande est élaborée à partir de la collecte des comptages de trafic NM issus des profils CTFM des vols, effectuée de manière systématique toutes les 20 minutes sur l'ensemble des trafic volume de la DSNA.

7.2. Création d'une référence

Il est notoire que la quantité de trafic représentée par la "load" des comptages NM est sujette à une certaine instabilité au cours du temps. Elle évolue donc au sein d'une plage d'intérêt particulier entre H-4 et H-1. Il s'agit ici d'établir une référence qui prenne en compte, le plus fidèlement possible, les incertitudes liées à cette instabilité.

7.3. Reconstruction de la demande de trafic en post-opératoire

Dans ce qui suit, on considère que la plage d'intérêt pour l'élaboration de la demande de référence couvre la plage 4h-23h40 UTC. Pour chaque TFV, un archivage des comptages NM est effectué à H:00, H:20 et H:40 de l'ensemble des tranches d'une heure par pas de 20 minutes sur les 6 heures suivantes.

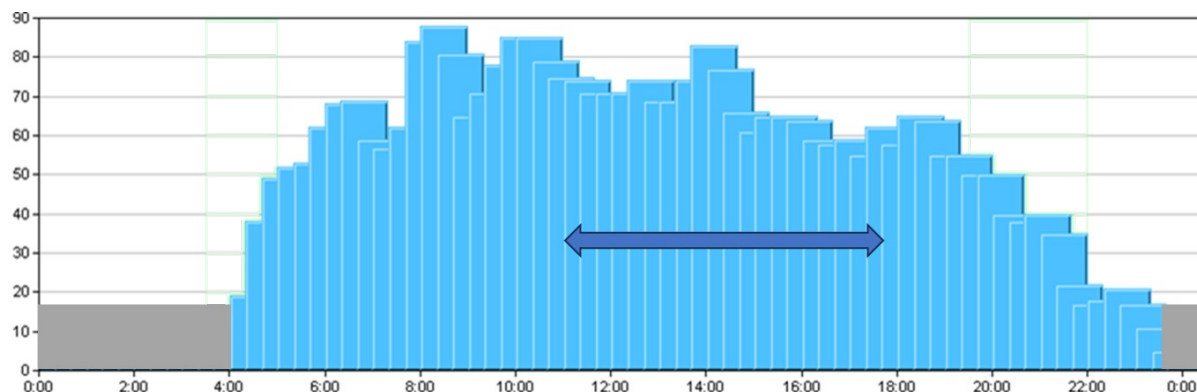


Figure 1 - : pour l'archivage de 11h00, on a toutes les tranches de 20 minutes : 11h00-12h00, 11h20-12h20, ..., 16h20-17h20, 16h40-17h40

Pour prendre en compte la variabilité dans le temps, la demande à H-x est reconstruite de la façon suivante :

- Première tranche de 04h00 à 05h00 : valeur des données de trafic enregistrées à 04h00-x pour la tranche 04h00-05h00.
- Deuxième tranche de 04h20 à 05h20 : valeurs des données enregistrées à 04h20-x pour la tranche 04h20-05h20.
- Troisième tranche de 04h40 à 05h40 : valeurs des données enregistrées à 04h40-x, pour la tranche 04h40-05-40.
- Etc...

Note : cette reconstitution de la demande ne correspond pas à une courbe de trafic vue par l'opérateur mais elle représente la façon dont il la voit bouger dans le temps.

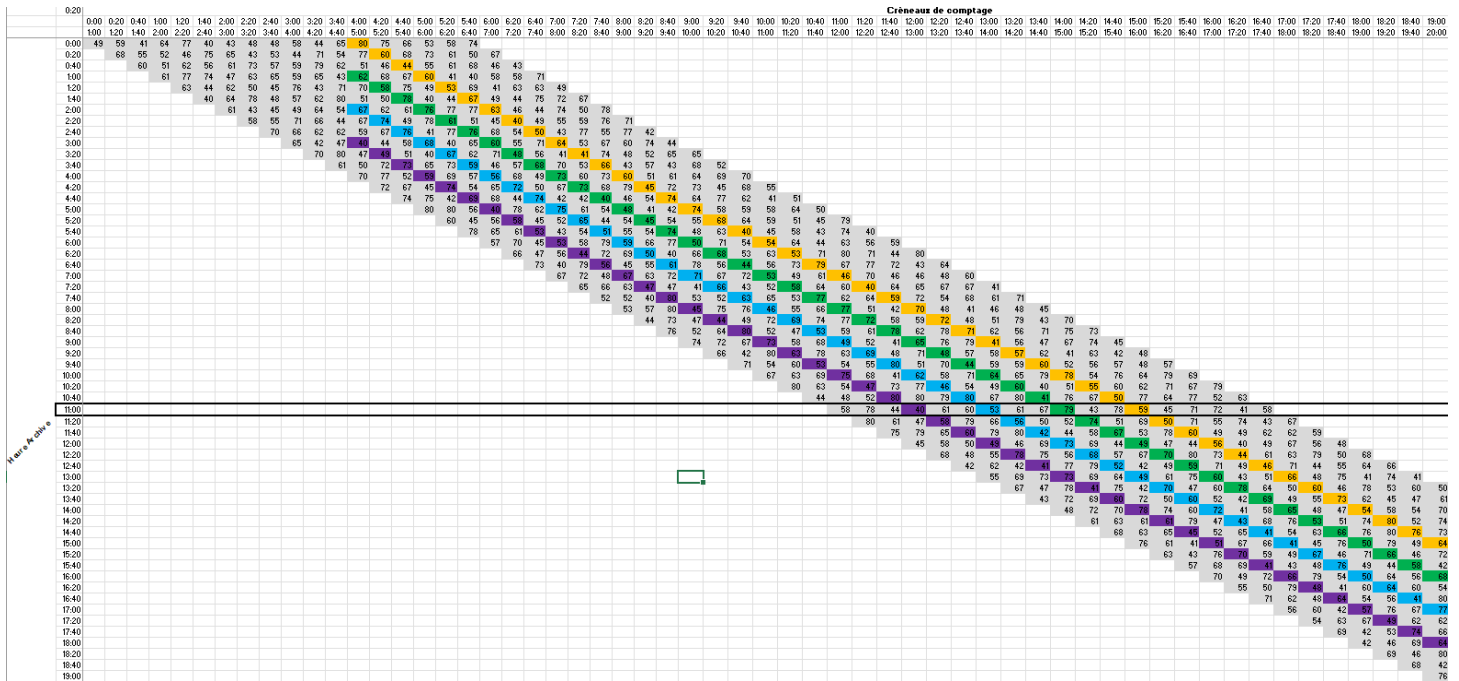


Figure 2 : Données disponibles pour un TFV donné et de la reconstruction des demandes H-4, H-3, H-2, H-1

Dans le schéma ci-dessus :

- Chaque ligne représente ainsi un archivage par tranche glissante d'une heure toutes les 20 minutes sur une durée de 6h. On retrouve la ligne des données archivées à 11h telle que décrite ci-dessus.
- La bande grise représente les données disponibles sur la journée
- La diagonale violette représente la reconstruction glissante de la demande à H-1
- La diagonale bleue, celle à H-2, la diagonale verte celle à H-3, la diagonale jaune celle à H-4

7.4. Demande de référence intégrant l'incertitude

Du processus précédent on tire, pour chaque TFV, 4 courbes de demande qui font apparaître l'instabilité telle que ressentie par un Superviseur ATFCM. A partir de la moyenne et de l'écart type pondérés, une référence intégrant l'incertitude est ainsi générée pour prendre en compte les variations et les tendances de celles-ci.

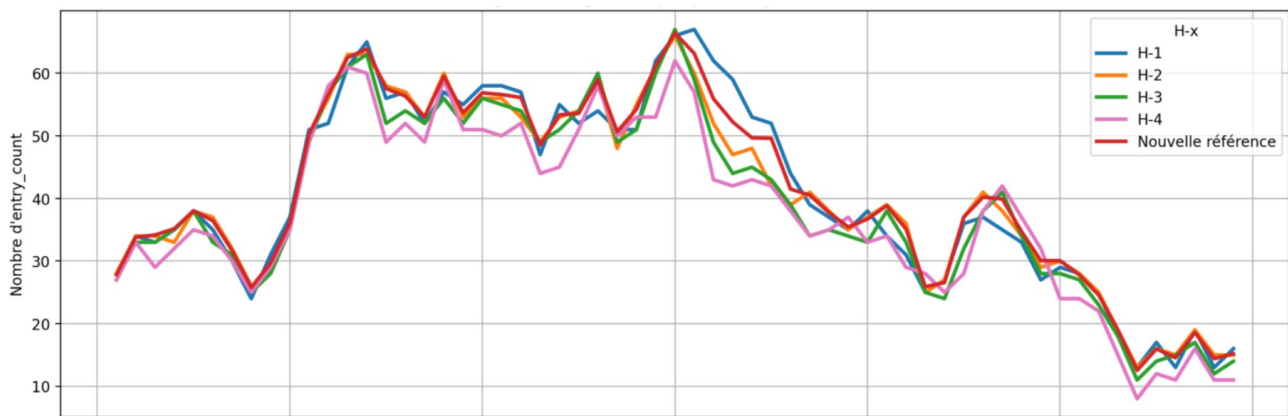


Figure 3 : illustration de la génération d'une référence intégrant l'incertitude

8. Déterminer le besoin UCESN optimisé en post-opératoire

8.1. But et Objectif

Ce chapitre détaille la méthode permettant de déterminer en phase post-opératoire le chemin optimisé, constitué d'une suite de configurations secteurs, permettant d'écouler le trafic sans contrainte de nature RH (donc sans limitation sur le nombre de secteurs disponibles).

8.2. Principes de l'algorithme d'optimisation des configurations 4CAST

L'algorithme d'optimisation 4CAST est un algorithme déterministe de recherche opérationnelle qui calcule la configuration optimale de secteurs de contrôle en fonction du trafic prévu, des capacités des secteurs élémentaires et des regroupements possibles, tels que définis dans un catalogue de configurations par ACC/UAC (ou par zone de qualification pour les centres bi-zones).

Basé sur la combinatoire et la modélisation mathématique des transitions, il explore un vaste espace de configurations possibles pour déterminer le chemin optimal de regroupements/dégroupements, en intégrant, selon le paramétrage retenu, la contrainte des ressources ATCO disponibles.

L'algorithme équilibre la charge de travail entre secteurs, garantit la stabilité temporelle et minimise le nombre de positions ouvertes, en adaptant ses critères d'optimisation au contexte d'usage (Post OPS, PreTACT, TACT ou Stratégique).

8.3. Constitution de la base historique

Le processus décrit précédemment permet ainsi pour chaque journée traitée en post-opératoire, d'alimenter une base de données historiques :

- Des demandes de références pour chaque TFFV auxquelles chaque centre avait à répondre.
- Des configurations optimisées et du nombre de secteurs nécessaires associés pour répondre à cette demande.

En dehors de cas très particuliers (COVID, ...), la profondeur temporelle de cette base devrait être de l'ordre de 3 années, considérant qu'au-delà, les modifications de la structure du trafic sont suffisamment importantes pour déprécier la valeur de référence des données plus anciennes.

9. Prévvision de la demande de trafic future et du besoin UCESN

9.1. Principes généraux

En fonction de l'horizon de prévision nécessaire, l'évaluation de la demande future s'appuie sur des outils distincts :

- Pour répondre à un horizon stratégique de long terme (Année N+1 par ex), on utilise un processus d'intelligence artificielle basique d'apprentissage supervisé. En entrée de cet apprentissage supervisé, on retrouve :
 - o Les données de la base historique construite à l'étape précédente ;
 - o Les prévisions d'évolution de trafic STAFOR de nature macroscopique élaborées par le NM ;
 - o Un certain nombre d'éléments qui permettent de caractériser les journées qui sont décrits ci-après.
- Pour répondre à un horizon stratégique de moyen terme (quelques semaines), le NM produit de façon hebdomadaire les données des Rolling NOP pour les 8 semaines à venir sur la base des informations fournies par les compagnies aériennes quant à leur prévision de trajets (à distinguer des plans de vols) complétées d'une estimation de trafic "Business Aviation / General Aviation".

Dans les deux cas, l'objectif est de produire :

- Une prévision de trafic global par zone et par jour ;
- Une prévision de besoin UCESN par zone et par jour.

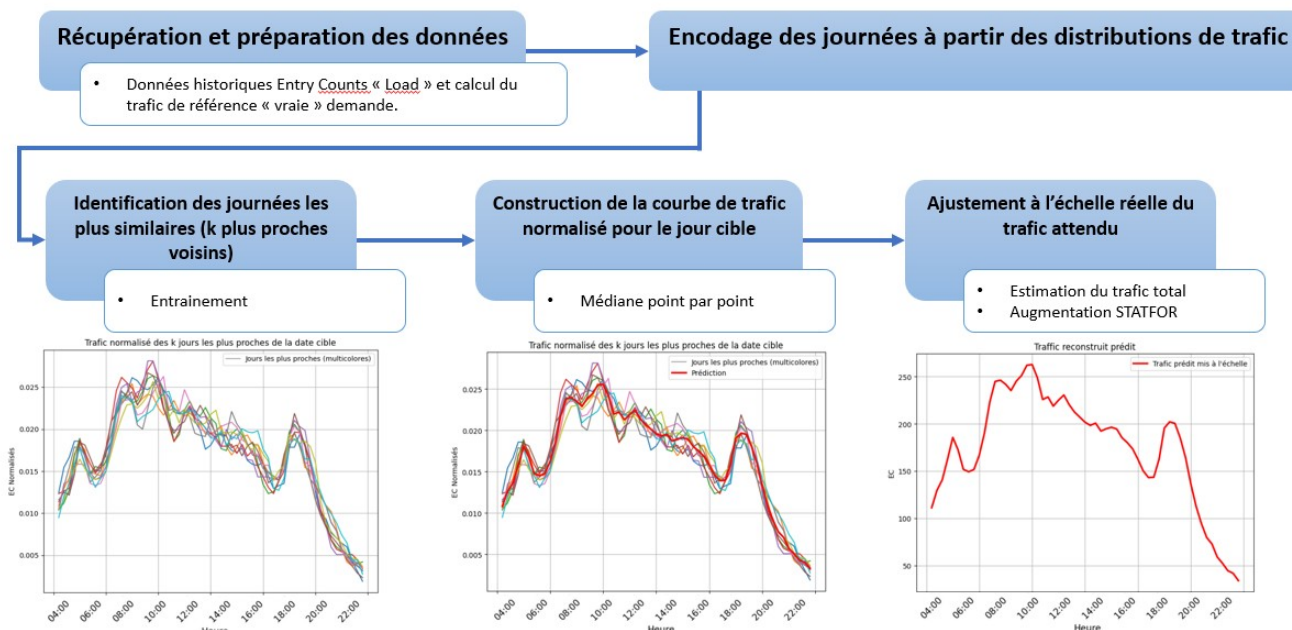
9.2. Réalisation de l'apprentissage supervisé pour un horizon stratégique long terme

9.2.1. Prévvision du trafic

L'analyse des données historiques confirme que la distribution du trafic aérien suit des tendances en fonction d'un certain nombre de caractéristiques (features) permettant de caractériser la journée ou la période considérée : la date, le jour de la semaine et la saison. Pour prévoir un trafic futur, on adopte ainsi une stratégie basée sur la similarité historique : on va prédire le trafic pour le jour cible en se basant sur les jours de la base de données qui lui sont semblables.

Pour estimer le trafic à une date cible, on procède en deux étapes :

- Identifier des journées comparables en recherchant des jours présentant des caractéristiques proches du jour cible au sens de la distribution i.e. la forme de la courbe
- Reconstituer le trafic en s'appuyant sur la médiane de chaque pas horaire des distributions observées pour ces journées similaires et en le remettant à l'échelle en tenant compte de la variation estimée par NM dans les études STATFOR.



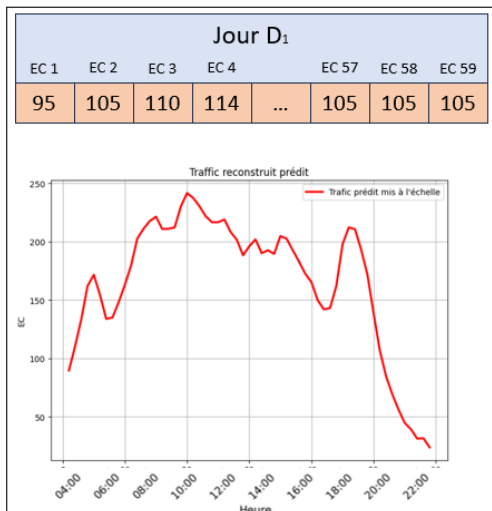
9.2.2. Prévission du besoin UCESN

Dans ce qui précède, la prévision de trafic ne descend pas à la granularité du secteur, l'incertitude d'une telle ambition serait trop importante. Il n'est donc pas possible de chercher à optimiser un chemin de configurations sur cette seule base. On va donc là aussi s'appuyer sur un modèle d'apprentissage qui va faire une relation directe entre le niveau de trafic prédit sur la zone et le nombre de secteurs nécessaires par pas horaire (courbe des UCESN).

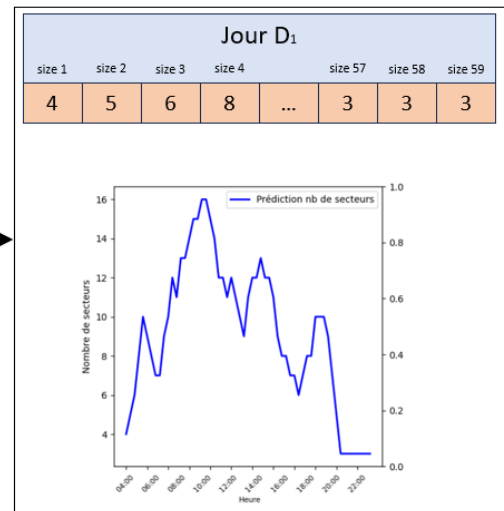
Par ailleurs, l'analyse des facteurs (les features) qui influencent le plus le nombre de secteurs montre que seules les données relatives au trafic ont une importance pour cette prédiction. En particulier, la quantité de trafic sur la journée, qui pèse à 85% sur le résultat, éclipse totalement la date (2%), le jour de la semaine (1%), le mois (1%) ou la saison (1%). Une valeur aléatoire sans valeur opérationnelle pèserait même davantage que ces dernières (10%).

In fine, pour estimer le besoin UCESN sur une date donnée dans le futur, on s'appuie sur les prévisions du trafic centre pour chaque pas horaire fourni à l'étape précédente que le modèle d'apprentissage supervisé va rapprocher des courbes UCESN de la base historique :

Entrée du modèle : Un vecteur de 59 valeurs représentant les entry counts de chaque période de la journée



Sortie du modèle : Un vecteur de 59 valeurs représentant le nombre de secteur à ouvrir à chaque période



9.2.3. Prédiction au-delà des journées record

Pour estimer le nombre de secteurs à ouvrir pour des niveaux de trafic supérieurs à ceux présents dans les données d'entraînement, il est nécessaire de générer des données synthétiques représentant des trafics supérieurs au maximum observé dans l'historique.

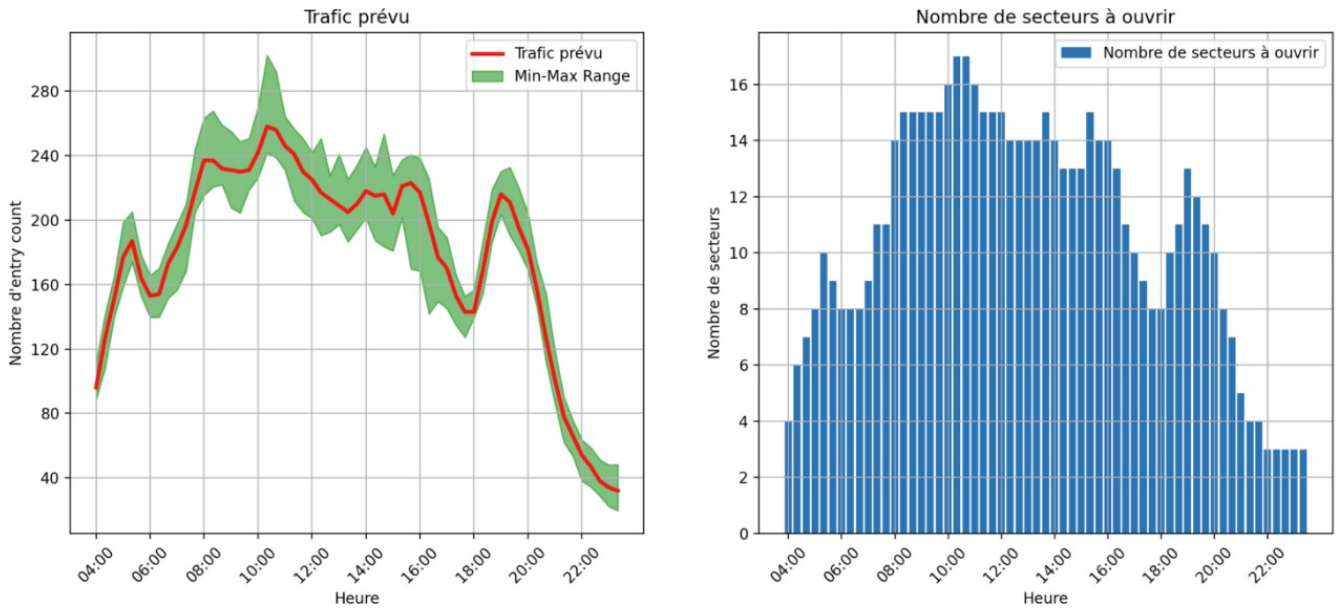
Un modèle de régression linéaire appliqué sur chaque secteur du centre permet ainsi à partir du trafic total quotidien de générer des entry counts sur l'ensemble des pas horaires. Des données de trafic allant jusqu'à +10% par rapport au trafic quotidien maximum observé sont ainsi ajoutés. Elles sont complétées par le résultat de l'optimisation des configurations et viennent s'ajouter à la base décrite précédemment qui est ainsi « augmentée ».

Cette augmentation du jeu de données permet ainsi un entraînement du modèle de prédiction du nombre de secteurs afin d'améliorer ses performances sur des niveaux de trafic élevés.

9.3. Éléments en sortie de processus

Pour chaque journée de la période à prévoir, on obtient donc :

- Une courbe du trafic centre et un trafic total prévus ;
- Une courbe des UCESN prévus ;



10. Segmentation en périodes similaires

10.1. Périodisation annuelle

Des étapes précédentes, on tire ainsi facilement les résultats pour l'ensemble de l'année :

	Date	04-01	05-01	06-01	07-01	08-01	09-01	10-01	11-01	12-01	01-02	02-02	03-02	04-02	05-02	06-02	07-02	08-02	09-02	10-02	11-02	12-02	01-03	02-03	03-03	04-03	05-03	06-03	07-03	08-03	09-03	10-03	11-03	12-03	01-04	02-04	03-04	04-04	05-04	06-04	07-04	08-04	09-04	10-04	11-04	12-04	01-05	02-05	03-05	04-05	05-05	06-05	07-05	08-05	09-05	10-05	11-05	12-05	01-06	02-06	03-06	04-06	05-06	06-06	07-06	08-06	09-06	10-06	11-06	12-06	01-07	02-07	03-07	04-07	05-07	06-07	07-07	08-07	09-07	10-07	11-07	12-07	01-08	02-08	03-08	04-08	05-08	06-08	07-08	08-08	09-08	10-08	11-08	12-08	01-09	02-09	03-09	04-09	05-09	06-09	07-09	08-09	09-09	10-09	11-09	12-09	01-10	02-10	03-10	04-10	05-10	06-10	07-10	08-10	09-10	10-10	11-10	12-10	01-11	02-11	03-11	04-11	05-11	06-11	07-11	08-11	09-11	10-11	11-11	12-11	01-12	02-12	03-12	04-12	05-12	06-12	07-12	08-12	09-12	10-12	11-12	12-12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
jeud	04/01/2006	3	3	3	3	3	3	7	8	6	5	5	6	6	8	10	10	10	10	11	11	11	11	11	10	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

L'objectif de cette partie est de concevoir un outil d'aide à la décision capable de segmenter l'année en saisons.

Contrairement à un découpage calendaire classique, le but est de regrouper les journées présentant les besoins opérationnels les plus similaires. Cette segmentation permettra d'établir, pour chaque saison, un tour de service spécifique.

Chaque journée étant modélisée par un vecteur reprenant le nombre d'UCESN à offrir sur la chaque période, on va calculer de la distance entre toutes les paires de jours et ainsi construire une matrice de ces distances. C'est en explorant cette matrice qu'on identifie les ruptures optimales pour définir les saisons.

Pour piloter l'optimisation i.e. trouver le découpage temporel qui optimise le coût global, on distingue deux niveaux de mesure :

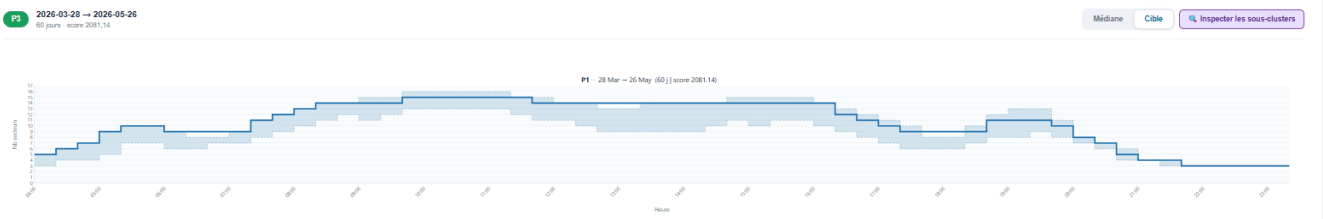
- Le coût d'une saison (indicateur local) : Il mesure la cohésion interne d'un segment. Chaque journée supplémentaire ajoute ses distances avec tous les jours déjà présents dans le segment pour lequel on cherche à minimiser la somme des coûts.
- Le coût de la partition (indicateur global) : Pour l'ensemble des saisons, il s'agit de minimiser la somme du coût de chaque saison

Partitionnement de la période
Découpage en saisons homogènes et contribution de chaque période au score total.



10.2. Périodisation hebdomadaire des saisons

La sous-clusterisation vise à affiner la segmentation en regroupant les jours de la semaine au sein de chaque saison, afin d'identifier si certains jours présentent des profils de trafic suffisamment similaires pour être traités ensemble.



L'objectif est double :

- Optimiser les tours de service : Si les lundis et mardis d'une saison ont des profils identiques, un seul tour de service ou quota d'absence peut leur être appliqué.
- Identifier les jours atypiques : Certains jours (ex.: vendredis en période de pont) peuvent nécessiter un traitement spécifique.

Pour chaque saison définie, l'algorithme compare les profils UCESN des 7 jours de la semaine (lundi → dimanche) et propose un regroupement optimal en 2 ou 3 sous-clusters.



La méthodologie appliquée pour la sous-clusterisation est déroulée sous la séquence suivante :

- Exploration des combinaisons : Toutes les partitions possibles des 7 jours en 2 ou 3 groupes sont évaluées (ex. : (1,6), (2,5), (3,4) pour 2 groupes).
- Critère de similarité : Pour chaque combinaison, on calcule un score de cohésion basé sur la distance entre les profils UCESN des jours du groupe.
 - o Score faible = Les jours du groupe sont très similaires.
 - o Score élevé = Les jours du groupe sont trop différents.

Sélection de la meilleure partition : La combinaison minimisant le score global (somme ou pire cas des scores des sous-clusters) est retenue.

Objectif : Éviter qu'un sous-cluster ne contienne des jours trop dissemblables.

11. Définition des cibles UCESN

11.1. Principe de calcul

Cette section définit la méthode pour établir une référence cible d'offre UCESN par saison, afin de dimensionner le besoin UCESN. L'objectif est de garantir que l'offre couvre la quasi-totalité des besoins opérationnels tout en évitant une surallocation de ressources.

Pour chaque saison identifiée, la référence cible est déterminée à partir des profils UCESN historiques des journées appartenant à cette saison.

Les règles suivantes s'appliquent pour chaque pas horaire de 20 minutes :

- De 04h00 à 08h40 UTC (1st Wave) : Percentile 95% de la distribution des UCESN observées.

Justification : La période matinale est critique et considérée comme prioritaire par Eurocontrol, un seuil élevé (95%) permet de couvrir 95% des situations réelles, limitant ainsi les risques de retard ATFCM sur cette période.

- À partir de 09h00 UTC : Percentile 85% de la distribution des UCESN observées.

11.2. Lissage des cibles UCESN

Le lissage de la courbe UCESN vise à éliminer les artefacts (pics ou creux isolés) tout en préservant les tendances réelles du trafic.

La courbe UCESN est traitée selon les principes suivants, appliqués par saison :

- Filtre médian glissant : Chaque point de la courbe est remplacé par la médiane des valeurs voisines dans une fenêtre paramétrable (ex. : ± 2 pas horaires, soit ± 40 minutes). Effet : Supprime les pics ou creux isolés (ex. : une erreur de comptage à 10h20) sans affecter les valeurs extrêmes réelles (début/fin de journée).
- Comblement des creux étroits : Les creux plus étroits que la fenêtre de lissage sont comblés pour éviter des baisses temporaires non significatives (ex.: un creux de 20 minutes).
- Écrêtage des pics étroits : Les pics plus étroits que la fenêtre de lissage sont écrêtés pour éviter des hausses temporaires.

- Invariance en début de journée : Tant que le nombre de secteurs n'a pas commencé à diminuer depuis 04h00 UTC, la courbe UCESN n'est pas modifiée. La priorité sur la 1st Wave en début de journée est une période critique pour la performance ATFCM, toute réduction prématurée de l'offre pourrait entraîner une sous-capacité.

Le lissage est appliqué après le calcul de la référence cible et la finalisation du besoin UCESN périodisé.

11.3. Utilisation de la référence cible

La courbe de référence ainsi générée sert de :

- Base pour la construction des tours de service : Chaque saison a un profil type, utilisé pour définir les effectifs nécessaires.
- Outil de comparaison en post-opératoire : En superposant les UCESN aux UCESO dans le NOP et en TACT, on identifie les écarts et on ajuste les prévisions futures.

Indicateur de performance : Un écart systématique entre la référence et la réalité peut révéler un déséquilibre structurel (ex. : sous-dimensionnement chronique).

