



HAL
open science

Application potentielle des véhicules de mobilité aérienne avancée au service d'aide médicale d'urgence

Julian Alberto Espejo Diaz, Edgar Alfonso-Lizarazo, Jairo R. Montoya-Torres,
François Guillet

► **To cite this version:**

Julian Alberto Espejo Diaz, Edgar Alfonso-Lizarazo, Jairo R. Montoya-Torres, François Guillet. Application potentielle des véhicules de mobilité aérienne avancée au service d'aide médicale d'urgence. Cahiers de la logistique, 2023, 4, pp.37-47. hal-04363018

HAL Id: hal-04363018

<https://normandie-univ.hal.science/hal-04363018v1>

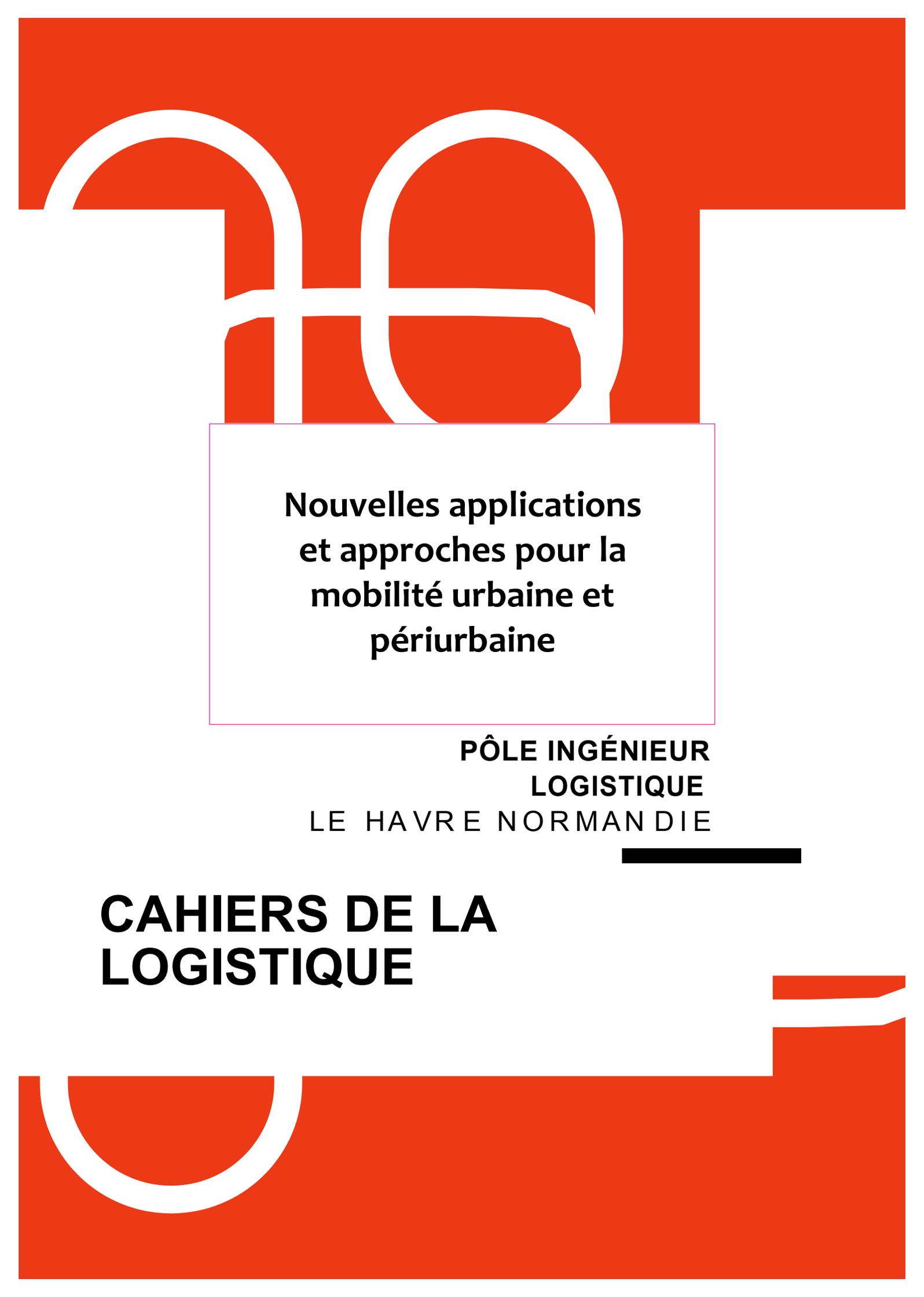
Submitted on 23 Dec 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License



**Nouvelles applications
et approches pour la
mobilité urbaine et
périurbaine**

**PÔLE INGÉNIEUR
LOGISTIQUE
LE HAVRE NORMANDIE**

**CAHIERS DE LA
LOGISTIQUE**

**CAHIERS DE LA
LOGISTIQUE
CL2023 – N° 04**

**Nouvelles applications et approches pour
la mobilité urbaine et périurbaine**

Décembre, 2023
Copyright © 2023, ISEL



La présente publication est protégée par le code de la propriété intellectuelle et plus précisément ses articles relatifs au respect du droit d’auteur.

Les auteurs demeurent seuls responsables du contenu de leur œuvre. Ils garantissent disposer des autorisations nécessaires de la part des tierces parties titulaires de droits sur des œuvres partiellement ou globalement reproduites. Les droits moraux et patrimoniaux sur l’œuvre demeurent attachés à leurs auteurs.

Afin de faciliter le partage et l’utilisation de leur création, les auteurs autorisent les utilisateurs à :

- Télécharger et imprimer une copie de la présente publication à des fins d’études, de recherche, de diffusion de la culture scientifique et de partage des connaissances ;
- Distribuer gratuitement et sans aucune contrepartie l’URL identifiant la publication.

La présente publication, et l’URL associée ne peuvent en aucun cas être distribuées ou utilisées dans le cadre d’une activité à but lucratif ou à des fins commerciales. Aucune modification du contenu de l’œuvre n’est autorisée.

APPLICATION POTENTIELLE DES VÉHICULES DE MOBILITÉ AÉRIENNE AVANCÉE AU SERVICE D'AIDE MÉDICALE D'URGENCE

**Julián Alberto Espejo-Díaz^{1,2}, Edgar Alfonso-Lizarazo¹, Jairo R. Montoya-Torres²,
François Guillet¹**

¹Université Jean Monnet Saint-Étienne, LASPI

F-42023, Saint-Étienne, France

julian.alberto.espejo.diaz@univ-st-etienne.fr, edgar.alfonso.lizarazo@univ-st-etienne.fr,
guillet@univ-st-etienne.fr

²Universidad de La Sabana, School of Engineering, Research group Logistics Systems
Campus Universitario, Puente del Comun, Km. 7 Autopista Norte, Bogota, Colombia

jairo.montoya@unisabana.edu.co

RESUME

Les développements les plus récents dans la technologie de mobilité aérienne avancée laisse présager que des aéronefs tels que les véhicules à décollage et atterrissage vertical électriques (eVTOL pour l'abréviation anglaise) seront bientôt largement utilisés. Un des secteurs d'application prometteurs est celui des services médicaux d'urgence. Ces types de véhicules ont le potentiel à se déplacer rapidement vers les sites d'urgence avec la possibilité d'effectuer des missions à un coût inférieur à des hélicoptères. Un aspect important de l'intégration de cette technologie dans les services médicaux d'urgence consiste à déterminer les emplacements des zones de décollage et d'atterrissage, communément appelées vertiports. Dans cette étude, nous présentons une méthodologie pour localiser des vertiports au sein d'un réseau de soins de santé afin d'améliorer la couverture des services médicaux d'urgence en particulier dans les zones difficiles d'accès. La méthodologie a été appliquée au contexte de la région Auvergne-Rhône-Alpes en France. Les résultats montrent que l'autonomie opérationnelle de véhicules eVTOL est un facteur crucial influençant grandement l'adoption de cette technologie dans le transport aéromédical d'urgence.

MOTS CLÉS: Services médicaux d'urgence, mobilité aérienne avancée, clustering, problème d'emplacement d'installations.

ABSTRACT

The most recent developments in advanced air mobility technology indicate that aircraft, such as electric vertical take-off and landing (eVTOL) vehicles, will soon find widespread use across various sectors. An area where this innovation holds significant promise is in emergency medical services. These types of vehicles have the potential to reach emergency sites quickly. Additionally, it is forecasted that they can perform emergency missions at a lower cost compared to helicopters. An important aspect in the integration of this technology into emergency medical services is determining the locations for take-off and landing areas, commonly known as vertiports. In

this study, we present a methodology for locating vertiports within a healthcare network to improve coverage of emergency medical services in hard-to-reach areas. The methodology is evaluated using data from the Auvergne-Rhône-Alpes region in France. The findings suggest that the autonomy of eVTOL vehicles is a crucial factor influencing the adoption of this technology in emergency aeromedical transport.

KEYWORDS: Emergency medical services, advanced air mobility, clustering, facility location problem.

1. Introduction

Le Service d'Aide Médicale Urgente (SAMU) est un service essentiel dans les sociétés qui assurent des soins médicaux aux patients qui ne peuvent pas se rendre par eux-mêmes dans un établissement de santé. À cette fin, des équipes de paramédicaux sont envoyées sur les lieux des patients dans des véhicules d'urgence, tels que des ambulances. Un facteur critique dans les SAMU est le temps de réponse, plus il est long, plus les conséquences peuvent être critiques, en particulier pour les patients victimes d'un accident ou d'un traumatisme (Mell et al., 2017). Par conséquent, on s'attend à ce que les équipes de paramédicaux arrivent sur les lieux de l'urgence le plus rapidement possible. Le retard dans la réponse dépend de plusieurs facteurs. Le type de véhicules d'urgence utilisé apparaît comme un facteur essentiel (Reuter-Oppermann et al., 2017). Chappelle et al. (2018) souligne d'ailleurs l'intérêt de l'utilisation des services aériens au sens large pour améliorer l'efficacité du SAMU dans des zones difficiles d'accès.

Les récents développements dans la technologie des véhicules à décollage et atterrissage vertical électriques (eVTOL pour l'abréviation anglaise) laissent présager que ces types de véhicules feront partie intégrante des sociétés dans les années à venir. Ce type de véhicule fait partie du paradigme de la Mobilité Aérienne Avancée (MAA) qui vise à rendre les opérations des services aériens sûres, efficaces et accessibles dans les zones urbaines, rurales et suburbaines (Cohen et al., 2021). Ce travail explore l'utilisation potentielle des aéronefs de MAA dans le cadre du SAMU.

Actuellement, certains prestataires de soins de santé effectuent le transport aéromédical en utilisant des hélicoptères. Ces véhicules se déplacent plus rapidement que les ambulances terrestres, ce qui peut améliorer le taux de survie des patients traumatisés. Cependant, le coût du transport aéromédical en hélicoptère est élevé. Le coût moyen par vol variait entre 6000 et 13000 USD en 2016 (U.S. Government Accountability Office, 2017). Les coûts élevés et le manque de réglementation de ce service font que, dans certains cas, les patients reçoivent des factures de milliers de dollars pour ce service (Kelly, 2020). Par ailleurs, moins de 2% des missions d'urgence sont effectuées en utilisant des hélicoptères aux États-Unis au cours d'une année, par conséquent une utilisation reste très limitée (Association for Air Medical Services, 2017; NEMSIS, 2019). Les coûts des missions utilisant des véhicules MAA semblent par contre entrevoir des économies intéressantes. L'entreprise de transport Uber a estimé des coûts de vol par heure des véhicules MAA de l'ordre de 662 USD/h, soit moins que les 1253 USD/h des hélicoptères actuels (Garrow et al., 2021). De plus, avec certaines améliorations technologiques dans la technologie MAA, le transport aéromédical effectué par des aéronefs eVTOL pourrait être encore plus économique (Goyal and Cohen, 2022).

Le travail synthétisé dans ce document explore le choix de l'emplacement des vertiports pour les véhicules eVTOL utilisés pour les services médicaux d'urgence avec pour objectif l'amé-

lioration de la couverture dans les zones difficiles d'accès. Il s'agit de zones rurales ou éloignées où l'accès par voie terrestre est long.

Le reste de cet article est organisé comme suit. La Section 2 contextualise l'étude tandis que la Section 3 présente les travaux connexes sur le problème d'emplacement des vertiports. Ensuite, la Section 4 est dédiée à la méthodologie pour localiser les vertiports dans un réseau de santé afin d'améliorer la couverture des services médicaux d'urgence dans les zones difficiles d'accès. La Section 5 introduit une étude de cas, tandis que la section 6 montre les résultats de la méthodologie proposée dans cette étude de cas. Enfin, la section 7 regroupe les conclusions.

2. Contexte

Les principaux éléments de la mobilité aérienne avancée concernés par ce travail sont les vertiports et les aéronefs eVTOL. Ces aéronefs sont équipés de moteurs électriques, ce qui leur permet de décoller et d'atterrir verticalement. Par conséquent, les aéronefs eVTOL ne nécessitent pas de pistes, les rendant adaptés aux opérations dans des villes denses. Actuellement, il y a un intérêt significatif pour le développement de telles conceptions pour des services tels que les taxis aériens à la demande. Des exemples d'aéronefs de ce type sont le CityAirbus NextGen d'Airbus (Airbus, 2022) et le Volocity de Volocopter (Volocopter, 2022) présenté dans la Figure 1.



FIGURE 1 – Aéronef Volocity (Volocopter, 2022)

Les vertiports peuvent être considérés comme les aéroports spécifiquement conçus pour les véhicules de MAA. La Figure 2 présente la vision de l'infrastructure future future d'un vertiport (Groupe ADP, 2022). Actuellement, plusieurs projets visent à construire des vertiports pour tester les opérations MAA. Un exemple de ce type d'initiatives est la plateforme d'essai de terminal passager pour les futures opérations eVTOL de Groupe ADP et Skyports (Groupe ADP, 2022). Ce vertiport est situé sur l'aérodrome de Pontoise-Cormeilles-en-Vexin dans le département du Val-d'Oise, à quelques kilomètres au nord de Paris, en France. Notamment, la société Volocopter a effectué des vols d'essai avec ses prototypes eVTOL sur ce vertiport. Le projet vise à déployer une flotte de dix VoloCity (aéronefs de Volocopter) et à mettre en place cinq vertiports supplémentaires d'ici 2024.



FIGURE 2 – Exemple d’un projet de futur vertiport (Groupe ADP, 2022)

3. Études Connexes

Au cours des dernières années, plusieurs études ont été menées sur le problème d’emplacement des vertiports. Shin et al. (2022) ont déterminé les emplacements des vertiports en utilisant un modèle de localisation de hub qui a été résolu à l’aide d’un algorithme heuristique basé sur un algorithme génétique et ont évalué leur approche dans une étude de cas sur les services de taxis aériens. De plus, Chen et al. (2022) ont développé un modèle de hub pour représenter le problème d’emplacement des vertiports et l’ont résolu à l’aide d’un algorithme heuristique. Jeong et al. (2021) ont proposé une méthodologie pour le problème d’emplacement des vertiports qui prend en compte l’effet du bruit des aéronefs dans les zones résidentielles. Dans (Rath and Chow, 2022), les auteurs ont proposé une méthodologie pour l’emplacement des vertiports ou des hubs pour les taxis aériens transportant des passagers vers les aéroports. Les auteurs ont modélisé le problème comme un «p-hub median problem» qui intègre les préférences du consommateur. Yu et al. (2023) proposent une méthodologie qui prend en compte les capacités des vertiports tout en minimisant la congestion du trafic dans les réseaux hybrides (air-sol). Les auteurs ont abordé le problème comme un modèle mathématique avec des contraintes d’équilibre bilinéaires. Amitanand Sinha and Rajendran (2023) ont proposé une méthodologie d’emplacement des vertiports pour les services de taxis aériens en tenant compte de l’accès des clients aux installations routières et des coûts d’opération des vertiports. Il est à noter qu’un nombre limité de recherches ont exploré l’utilisation d’aéronefs eVTOL pour effectuer le transport aéromédical dans les services médicaux d’urgence. Des études telles que (Espejo-Díaz et al., 2023; Goyal and Cohen, 2022; Mihara et al., 2021) concluent que la mise en œuvre réussie du transport aéromédical à l’aide de véhicules eVTOL dépend de l’amélioration de la sécurité de ces aéronefs et de la garantie de la compétitivité de leurs coûts et l’autonomie opérationnelle des aéronefs eVTOL.

4. Méthodologie

La Figure 3 présente la méthodologie d'emplacement de vertiports pour les SAMU en trois phases.

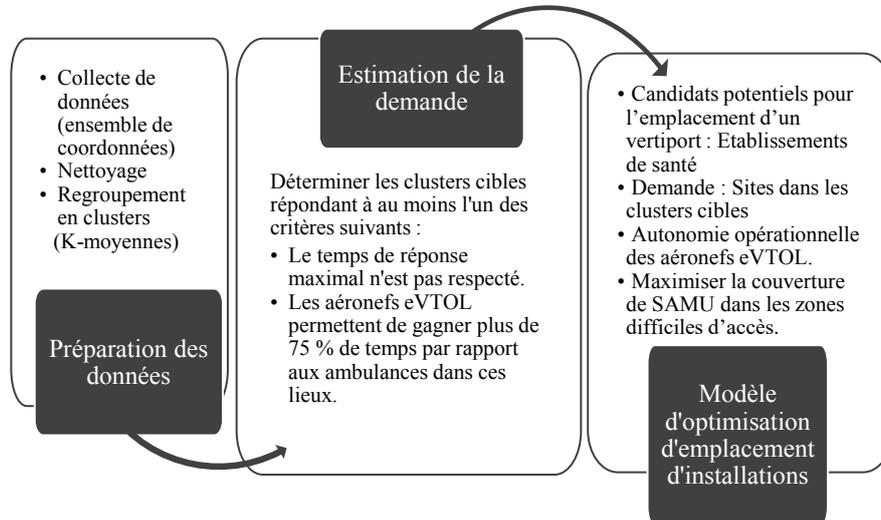


FIGURE 3 – Méthodologie pour déterminer l'emplacement des vertiports

La première phase de cette méthodologie est la préparation des données. Tout d'abord, les coordonnées géographiques des sites où des urgences médicales peuvent survenir dans la région étudiée sont collectées. Étant donné que les urgences médicales peuvent survenir presque partout, le nombre de sites d'urgence potentiels est élevé et peut atteindre des millions de points de données. L'étape suivante de cette phase consiste à nettoyer, formater les données ou à corriger les coordonnées qui se trouvent en dehors de la région étudiée. La dernière étape de cette phase consiste à regrouper les sites d'urgence potentiels en clusters. La raison de ce regroupement est de réduire la dimensionnalité des données pour diminuer le coût computationnel des décisions d'emplacement des installations. Dans ce travail, nous utilisons l'algorithme K-moyennes présenté dans (Bock, 2008) pour regrouper les sites potentiels en K clusters de sites d'urgence potentiels.

La deuxième phase de cette méthodologie consiste à identifier les zones difficiles d'accès. Pour ce faire, nous déterminons quels clusters répondent à au moins l'un des critères suivants. Le premier critère est que le temps de déplacement de l'ambulance terrestre la plus proche dépasse un temps de réponse déterminé (par exemple 30 minutes). Le deuxième critère est que les aéronefs eVTOL permettent de gagner plus de 75% de temps par rapport aux ambulances dans ces clusters.

La dernière phase consiste à déterminer les installations médicales dans lesquelles l'emplacement d'un vertiport augmenterait la couverture des SAMU dans les zones difficiles d'accès représentées par les clusters cibles. Ce travail utilise une adaptation du problème de couverture maximale de Owen and Daskin (1998). L'objectif de ce modèle d'optimisation est de sélectionner un ensemble des installations de manière à maximiser les éléments couverts par au moins une installation, sous certaines contraintes. Il est à noter que, dans ce problème, le paramètre de couverture dépend de la manière dont les eVTOL d'urgence sont utilisés pour répondre aux urgences. Dans ce travail, un cluster cible est couvert par un emplacement potentiel de vertiport si la distance Haversine entre le cluster cible et l'emplacement potentiel de vertiport est inférieure à la moitié

de l'autonomie opérationnelle de l'aéronef eVTOL. En d'autres termes, le cluster est couvert par l'emplacement potentiel de vertiport si l'autonomie opérationnelle de l'aéronef eVTOL permet une mission aller-retour vers le cluster cible.

5. Cas d'application

La méthodologie présentée a été testée à travers des données de la région Auvergne-Rhône-Alpes. En France, chaque département dispose d'une unité SAMU qui répond aux demandes locales d'aide médicale d'urgence afin de déterminer une réponse appropriée en fonction de la nature de la demande. Si nécessaire, ils peuvent envoyer des unités SMUR (Service Mobile d'Urgence et Réanimation) qui disposent de véhicules de réponse rapide, d'ambulances et d'hélicoptères pour se rendre sur les sites d'urgence. Il existe 48 unités SMUR dans la région Auvergne-Rhône-Alpes (SAMU Urgences de France, 2022). Précisons qu'en France, le délai d'arrivée maximal sur les sites d'urgence est de 30 minutes pour les zones rurales (Ministère des Solidarités et de la Santé, 2015). Dans cette étude de cas, les établissements potentiels ou candidats à l'emplacement d'un vertiport sont des établissements de santé dotés de service des urgences ou d'unités SMUR. Les coordonnées géographiques des sites où des urgences médicales peuvent survenir dans la région ont été collectées à partir de la plateforme ouverte des données publiques françaises disponible sur <https://www.data.gouv.fr/fr>. En utilisant le logiciel QGIS™, un total de 5495903 paires de coordonnées ont été exportées et regroupées en 10000 clusters (en utilisant l'algorithme k-moyennes) représentant les sites potentiels où des urgences peuvent survenir. De plus, nous avons identifié l'emplacement des unités SMUR dans la région Auvergne-Rhône-Alpes. La Figure 4 présente la carte de la région avec l'emplacement des clusters et des unités SMUR dans la région.

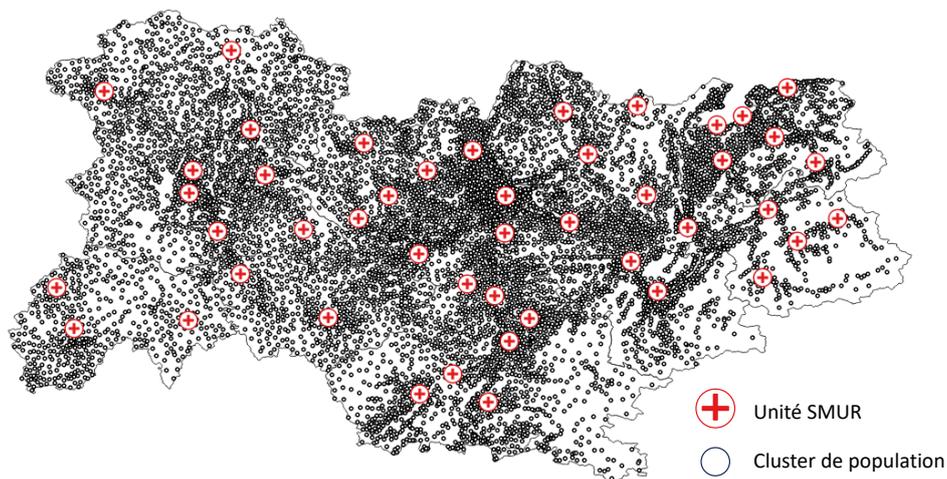


FIGURE 4 – Clusters de population et unités SMUR dans la région Auvergne-Rhône-Alpes

La phase suivante de la méthodologie consiste à déterminer les zones difficiles d'accès représentées par les clusters cibles. Pour le premier critère, nous avons obtenu le temps de déplacement entre l'unité SMUR la plus proche de chaque cluster en utilisant l'API Google Maps Distance Matrix. Cette API fournit le temps de déplacement et la distance entre les emplacements en tenant compte des données historiques sur le trafic et le réseau routier (Google, 2022). Nous rappelons que si le temps de déplacement entre le cluster et l'unité SMUR la plus proche est supérieur à

30 minutes, le cluster est classé comme une zone difficile d'accès (clusters ciblés). Le deuxième critère est que les aéronefs eVTOL permettent de gagner plus de 75% de temps par rapport aux ambulances dans ces clusters. Pour évaluer ce dernier critère, des paramètres tels que le temps de préparation de l'ambulance entre la réception de l'appel et le début du transport, le temps de déplacement ont été pris en compte. La Figure 5 présente la carte de la région avec l'emplacement des clusters cibles et l'emplacement des vertiports candidats (unités SMUR).

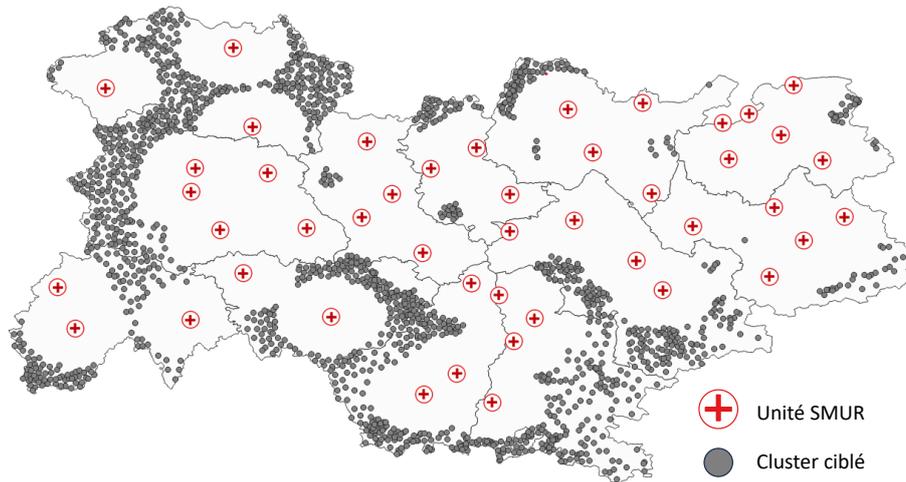


FIGURE 5 – Zones difficiles d'accès (clusters cibles) et unités SMUR dans la région Auvergne-Rhône-Alpes

6. Résultats

Nous avons testé la méthodologie présentée à la Section 4 dans l'étude de cas en tenant en compte deux types de propulsion d'eVTOL, à savoir « Lift and cruise » et « tilt rotor », avec des autonomies opérationnelles respectives de 65 km et 120 km. La Figure 6 montre le pourcentage des zones difficiles d'accès couvertes en faisant varier le nombre de vertiports. Nous pouvons conclure que l'autonomie opérationnelle des aéronefs eVTOL a un impact significatif sur le pourcentage des zones difficiles d'accès couvertes pour SAMU.

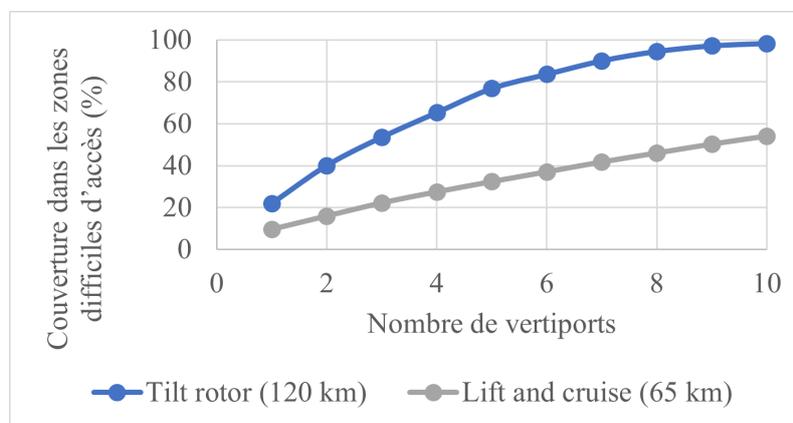


FIGURE 6 – Pourcentage des zones difficiles d'accès couvertes en fonction du nombre de vertiports

La Figure 7 présente un exemple de solutions de la méthodologie dans l'étude de cas de la région Auvergne-Rhône-Alpes avec les emplacements des 3 et 8 vertiports exploitant des avions « tilt rotor » (autonomie opérationnelle de 120km).

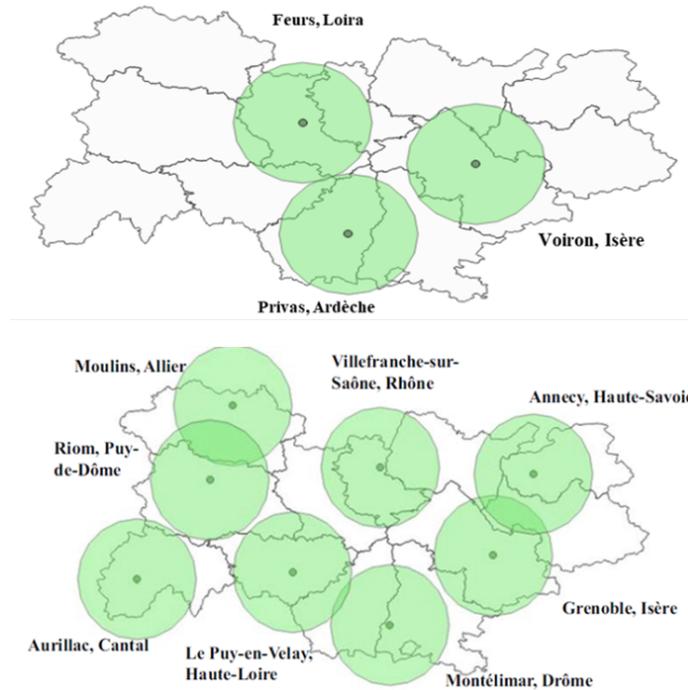


FIGURE 7 – Emplacement géographique des vertiports dans les unités SMUR avec des avions eVTOL (autonomie opérationnelle de 120 km)

7. Conclusions

Ce travail a exploré une application potentielle de la technologie de mobilité aérienne avancée dans les services de santé. Plus précisément, ce travail a présenté une méthodologie pour localiser des vertiports pour les avions eVTOL dans le but d'améliorer l'accès au SAMU dans les zones difficiles d'accès. Cette méthodologie est composée d'analyses de données, d'algorithmes de regroupement et de modèles d'emplacement d'installations. Les principaux résultats de l'application de la méthodologie à une étude de cas inspirée de la région Auvergne-Rhône-Alpes en France montrent que l'autonomie des avions eVTOL utilisés pour le SAMU est l'un des facteurs les plus importants de sa mise en œuvre. De plus, les résultats montrent que le transport aéromédical utilisant des avions eVTOL améliorant l'efficacité du SAMU dans les zones difficiles d'accès, devrait être effectué avec des avions ayant une autonomie opérationnelle minimale de 120 km.

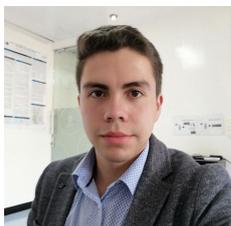
Références

Airbus (2022). Vahana, Our single-seat eVTOL demonstrator. <https://www.airbus.com/en/innovation/low-carbon-aviation/urban-air-mobility/cityairbus-nextgen/vahana>. consulté le 05 décembre 2023.

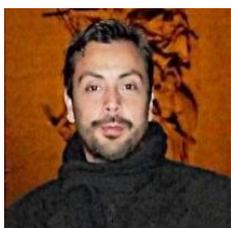
- Amitanand Sinha, A. and Rajendran, S. (2023). Study on facility location of air taxi skyports using a prescriptive analytics approach. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 18 :100761.
- Association for Air Medical Services (2017). The Atlas Database of Air Medical Services (ADAMS). <https://aams.org/page/research>. consulté le 05 décembre 2023.
- Bock, H.-H. (2008). Origins and extensions of the k-means algorithm in cluster analysis. *Electronic Journal for History of Probability and Statistics*, 4(2).
- Chappelle, C., Li, C., Vascik, P. D., and Hansman, R. J. (2018). Opportunities to Enhance Air Emergency Medical Service Scale through New Vehicles and Operations. In *2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*, Reston, Virginia. American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Chen, L., Wandelt, S., Dai, W., and Sun, X. (2022). Scalable Vertiport Hub Location Selection for Air Taxi Operations in a Metropolitan Region. *INFORMS Journal on Computing*, 34(2) :834–856.
- Cohen, A. P., Shaheen, S. A., and Farrar, E. M. (2021). Urban Air Mobility : History, Ecosystem, Market Potential, and Challenges. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(9) :6074–6087.
- Espejo-Díaz, J. A., Alfonso-Lizarazo, E., and Montoya-Torres, J. R. (2023). Improving access to emergency medical services using advanced air mobility vehicles. *Flexible Services and Manufacturing Journal*.
- Google (2022). Distance Matrix API overview. <https://developers.google.com/maps/documentation/distance-matrix/overview>. consulté le 05 décembre 2023.
- Goyal, R. and Cohen, A. (2022). Advanced Air Mobility : Opportunities and Challenges Deploying eVTOLs for Air Ambulance Service. *Applied Sciences*, 12(3) :1183.
- Groupe ADP (2022). First integrated vertiport inaugurated in Paris, epicentre of sustainable Advanced Air Mobility (AAM) in Europe. <https://presse.groupeadp.fr/first-vertiport-pontoise/?lang=en>. consulté le 05 décembre 2023.
- Jeong, J., So, M., and Hwang, H.-Y. (2021). Selection of Vertiports Using K-Means Algorithm and Noise Analyses for Urban Air Mobility (UAM) in the Seoul Metropolitan Area. *Applied Sciences*, 11(12) :5729.
- Kelly, M. (2020). Sky-High Air Ambulance Prices. *Annals of Emergency Medicine*, 76(5) :A17–A20.
- Mell, H. K., Mumma, S. N., Hiestand, B., Carr, B. G., Holland, T., and Stopyra, J. (2017). Emergency Medical Services Response Times in Rural, Suburban, and Urban Areas. *JAMA Surgery*, 152(10) :983.
- Mihara, Y., Pawnlada, P., Nakamoto, A., Nakamura, T., and Nakano, M. (2021). Cost Analysis of eVTOL Configuration Design for an Air Ambulances System in Japan. Technical report.

- Ministère des Solidarités et de la Santé (2015). Circulaire interministérielle DGOS/R2/DGSCGC no 2015-190 du 5 juin 2015 relative à l'application de l'arrêté du 24 avril 2009 relatif à la mise en œuvre du référentiel portant sur l'organisation du secours à personne et de l'aide médicale urgente. https://solidarites-sante.gouv.fr/fichiers/bo/2015/15-07/ste_20150007_0000_0045.pdf. consulté le 05 décembre 2023.
- NEMSIS (2019). National Emergency and Medical Services Information System (NEMSIS) 2019 Data Report. <https://nemsis.org/wp-content/uploads/2022/05/NEMSIS-Annual-Public-Data-Report-2019.pdf>. consulté le 05 décembre 2023.
- Owen, S. H. and Daskin, M. S. (1998). Strategic facility location : A review. *European Journal of Operational Research*, 111(3) :423–447.
- Rath, S. and Chow, J. Y. (2022). Air taxi skyport location problem with single-allocation choice-constrained elastic demand for airport access. *Journal of Air Transport Management*, 105 :102294.
- Reuter-Oppermann, M., van den Berg, P. L., and Vile, J. L. (2017). Logistics for Emergency Medical Service systems. *Health Systems*, 6(3) :187–208.
- SAMU Urgences de France (2022). Structures d'urgence. <https://www.samu-urgences-de-france.fr/fr/sudf/annuaires/autres/>. consulté le 05 décembre 2023.
- Shin, H., Lee, T., and Lee, H.-R. (2022). Skyport location problem for urban air mobility system. *Computers & Operations Research*, 138 :105611.
- U.S. Government Accountability Office (2017). Air ambulance : Data Collection and Transparency Needed to Enhance DOT Oversight. <https://www.gao.gov/products/gao-17-637>. consulté le 05 décembre 2023.
- Volocopter (2022). Volocopter opens first public volocity exhibition in asia. <https://www.volocopter.com/newsroom/first-volocopter-exhibition-asia/>. consulté le 05 décembre 2023.
- Yu, Y., Wang, M., Mesbahi, M., and Topcu, U. (2023). Vertiport Selection in Hybrid Air-Ground Transportation Networks via Mathematical Programs with Equilibrium Constraints. *IEEE Transactions on Control of Network Systems*, pages 1–12.

Biographie des auteurs



Julián Alberto Espejo-Díaz est doctorant en Génie Industriel à l'Université Jean Monnet de Saint-Étienne en France et doctorant en Logística y Gestión de Cadenas de Suministro à l'Universidad de la Sabana en Colombie. Ses recherches se concentrent sur l'application de méthodologies de recherche opérationnelle dans des domaines tels que la mobilité aérienne avancée, le transport, la logistique humanitaire et les chaînes d'approvisionnement alimentaire.



Edgar Alfonso-Lizarazo, docteur en Génie Industriel de l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne-France, est actuellement Maître de conférences à l'Université Jean Monnet, Saint-Étienne-France. Ses travaux de recherche au laboratoire LASPI (Laboratoire d'Analyse des Signaux et Processus Industriels) portent sur la modélisation, simulation et optimisation des systèmes de soins et des services de santé.



Jairo R. Montoya-Torres est professeur titulaire à l'Universidad de La Sabana, Colombie, où il agit également en tant que Directeur à la Recherche et à l'Enseignement de la Faculté de Génie, ainsi que Directeur du programme de doctorat en ingénierie et directeur du programme de doctorat en logistique et gestion de la chaîne d'approvisionnement. Il est titulaire d'un doctorat en Génie Industriel de l'Ecole des Mines de Saint-Etienne et de l'Université Jean Monnet de Saint-Etienne, France, et d'un diplôme de master en Génie Industriel et Gestion de l'Institut National Polytechnique de Grenoble (Grenoble INP), France. Ses intérêts de recherche actuels incluent la conception et gestion de chaînes d'approvisionnement à l'aide de nouvelles technologies, la logistique urbaine durable et la résilience logistique, ainsi que la planification des opérations à l'aide de procédures d'optimisation, de simulation et hybrides. Sa page Web personnelle et son adresse e-mail sont <https://jrmontoya.wordpress.com/> et jairo.montoya@unisabana.edu.co



François Guillet a obtenu le doctorat en traitement du signal de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, en 1990. De 1991 à 1994, il a été chef du département de génie industriel et de maintenance, Institut Académique de Technologie de Roanne, Université Jean Monnet (UJM) de Saint-Etienne, Roanne, France. En 1995, il contribue à la création du Laboratoire d'Analyse des Signaux et des Processus Industriels (LASPI). Professeur des universités depuis 2003, il a dirigé le LASPI entre 2003 et 2015. Il a été responsable du master Génie Industriel à l'UJM de 2011 à 2020. Il est actuellement Directeur Adjoint du LASPI.