

A futuristic cityscape at dusk. A tall, slender skyscraper with a grid-like facade stands prominently in the center. To its left, a drone flies in the sky. To its right, a white flying car with four rotors is in flight. The foreground shows a modern building with a green roof and a street with cars. The sky is a mix of blue and orange, suggesting sunset or sunrise.

MOBILITÉ URBAINE AÉRIENNE, RÊVE OU RÉALITÉ ?

LIVRE BLANC SUR L'UAM ET SES IMPLICATIONS DANS LA VILLE ET LES INFRASTRUCTURES

INTRODUCTION	1
LA MOBILITÉ URBAINE DU FUTUR	3
LA VILLE BOUGE, LES BESOINS ÉVOLUENT	3
QUEL RÔLE POUR LA MOBILITÉ AÉRIENNE URBAINE ?	4
PRINCIPAUX ACTEURS	7
PERSPECTIVES ÉCONOMIQUES	9
OBSTACLES À LEVER	12
L'ACCEPTABILITÉ SOCIALE	
LES RISQUES DE SÉCURITÉ ET DE SÛRETÉ	
UN BIAIS ÉCONOMIQUE ÉLITISTE	
ÉCOLOGIE : COMPARAISON AVEC LA VOITURE ÉLECTRIQUE	
ÉQUILIBRER COÛTS, SÉCURITÉ ET RESPONSABILITÉS DANS UN NOUVEL ENVIRONNEMENT RÉGLEMENTAIRE	
VISION UAM POUR VILLE RÉCENTE	17
LEE, ÉTUDIANT	18
AMAL, CHEF D'ENTREPRISE ET MAMAN	21
VISION UAM POUR VILLE ANCIENNE	25
JAN ET NOOR, TOURISTES	26
LUDIVINE, CADRE SUPÉRIEURE	29

SE PRÉPARER À CET AVENIR	33
PRÉPARATIONS DES AUTORITÉS D'URBANISME	33
EFFETS SUR L'UTILISATION DU FONCIER	
UN ZONAGE EN 3D	
DIALOGUE AVEC LE PUBLIC	
PRÉPARATIONS DES FOURNISSEURS D'INFRASTRUCTURE	40
EMPLACEMENT ET CONSTRUCTION DES VERTIPOINTS	
INTÉGRATION NUMÉRIQUE	
COMMUNICATIONS ET RÔLE DE LA 5G	
PRÉPARATIONS DES OPÉRATEURS	43
LE CHOIX « SMART »	
PRÉPARATIONS DES RÉGULATEURS	46
ACCEPTABILITÉ SOCIALE	
GÉRER LE BRUIT	
GARANTIR LA SÉCURITÉ ET LA SÛRETÉ	
GESTION DE L'ESPACE AÉRIEN	
DESSINER NOTRE AVENIR	49
REMARQUES ET PERSPECTIVES DES CONTRIBUTEURS EGIS	53
GLOSSAIRE DES TERMES UTILISÉS	55
LIENS ET RÉFÉRENCES	58

INTRODUCTION

L'explosion de la population urbaine et la croissance continue des mégapoles confrontent pouvoirs publics et secteur privé à l'urgence de problématiques d'infrastructure reconfigurées par des modes de transport et de mobilité innovants.

En point d'interrogation majeur, les conséquences sur le paysage urbain de la généralisation des drones autonomes. Ces appareils auront des usages multiples : mesures et relevés topographiques, gestion d'actifs d'infrastructure, fret ou transport de passagers à bord d'aéronefs capables de vol stationnaire et de décollage et atterrissage vertical. De là sont nés les concepts de mobilité aérienne urbaine (UAM) et de mobilité aérienne avancée (AAM) qui englobent le transport de passagers urbain, périurbain et rural par drones, ainsi que la livraison de colis ou de marchandises.



L'UAM (terme que nous utiliserons ici à la fois pour UAM et pour AAM) promet des trajets plus rapides à émissions faibles (ou nulles), une exploitation plus intelligente de l'infrastructure en ville et une circulation plus fluide. Toutefois, elle soulève aussi des problématiques d'acceptabilité sociale, de politique environnementale (sur le bruit et les émissions), d'utilité publique, d'utilisation de l'espace (pour les terminaux ou « vertiports ») et de responsabilité et d'assurance [1]. L'UAM exige également une gestion plus avancée du trafic, sans oublier des normes strictes de sécurité.

Ces considérations recouvrent les terrains d'expertise de nombreuses branches et métiers du groupe Egis. Parce que nous connaissons et comprenons la ville, le transport, les infrastructures et le travail opérationnel, nous apportons un regard transversal unique sur ces questions. Ce point de vue privilégié nous permet aussi d'expliquer les améliorations de conception et d'intégration à appliquer aux infrastructures de transport multimodal pour que l'UAM puisse trouver sa place dans le tissu urbain. Nous estimons que cet aspect n'a pas été suffisamment exploré jusqu'ici. Le concepteur et opérateur d'infrastructures que nous sommes est, à notre sens, idéalement positionné pour y remédier.

CE LIVRE BLANC A POUR AMBITION DE

- dresser un tableau de l'UAM aujourd'hui, ses moteurs, les aspects économiques et les obstacles à lever
- présenter une vision de l'UAM comme mode de transport intégré du futur, par les yeux de personnages imaginaires évoluant en 2035 dans deux villes offrant des services d'UAM
- réfléchir aux infrastructures nécessaires et aux modalités de leur développement.





LA MOBILITÉ URBAINE DU FUTUR

LA VILLE BOUGE, LES BESOINS ÉVOLUENT

Les responsables de l'aménagement des villes de demain le savent, ils sont face à un paysage urbain en constante évolution. En particulier, ils doivent répondre aux exigences de mobilité de populations de plus en plus nombreuses (on estime que 60 % de la population mondiale vivra en ville d'ici 2030 [2]). Dans l'organisation en réseau d'un environnement urbain toujours plus connecté, la mobilité est un levier majeur de résilience et d'habitabilité des villes, pour qu'elles puissent offrir à leurs habitants des transports aussi rapides, sûrs et écologiques que possible vers la destination de leur choix.

Les solutions de mobilité actuelles se concentrent surtout sur les moyens de transport terrestres (voiture, métro, tram, bus, vélo et marche) et, dans une moindre mesure, sur le transport maritime ou fluvial (bateaux-taxis, navettes fluviales, etc.). Les transports au sol souffrent de la congestion causée par l'insuffisance des infrastructures. Ainsi, à l'heure actuelle, les routes françaises connaissent en moyenne 70 heures par semaine d'embouteillages répartis sur l'ensemble du territoire [3]. Et les encombrements rendent à leur tour difficile d'entreprendre les campagnes de travaux publics qu'exigeraient de nouvelles infrastructures au sol car les perturbations occasionnées aggravent la situation pendant des mois, voire des années, et sont donc impopulaires.

Certes, les transports souterrains apportent une solution partielle aux problèmes de circulation mais avec un coût d'infrastructure au kilomètre très élevé et des perturbations supplémentaires pendant la (longue) période de construction. De plus, ces modes de transport exigent des ateliers, des dépôts, des entrepôts, qui accroissent la part des infrastructures artificielles et nuisent par là à la biodiversité. Enfin, les solutions de transport en commun peinent à aligner l'offre sur la demande, en particulier en banlieue éloignée où les besoins sont insuffisants pour justifier des infrastructures.

Le transport est aujourd'hui une source significative d'émissions et les agglomérations déploient des efforts importants d'amélioration de la qualité de l'air. Les combustibles fossiles sont en voie d'élimination dans de nombreux pays et l'électrification fait de plus en plus d'adeptes. Cependant, le passage à l'électrique a lui aussi des implications d'infrastructure (pour le rechargement

électrique) et les autres solutions comme l'hydrogène demandent à être développées pour s'inscrire dans les initiatives de décarbonation.

La mobilité aérienne urbaine (UAM) apparaît comme une réponse aux problèmes de circulation, au déséquilibre offre-demande et aux besoins des dispositifs de décarbonation : faire prendre de l'altitude à la mobilité urbaine met à profit l'infrastructure invisible qu'est l'espace aérien. Autrefois cantonnée à la science-fiction, l'UAM a connu des avancées importantes dans les domaines de la propulsion électrique, de l'avionique, des technologies de vol autonome, de l'intelligence artificielle et des réseaux de communication 5G. Il est raisonnable d'y voir une solution bientôt viable et peut-être même un moyen de révolutionner les infrastructures de transport de demain.

QUEL RÔLE POUR LA MOBILITÉ AÉRIENNE URBAINE ?

Des hélicoptères volent déjà tous les jours en ville. L'UAM va plus loin grâce aux eVTOL (aéronefs électriques à décollage et atterrissage vertical), pilotables à distance voire autonomes, même s'il est probable qu'un pilote à bord soit nécessaire dans un premier temps. L'UAM s'applique au transport de passagers (typiquement 2 à 4 au début) mais aussi aux colis et au fret en ville. Ce livre blanc traitera essentiellement de la mobilité des personnes.

L'UAM est au carrefour de différents segments des transports. Le secteur aéronautique commence à

s'intéresser à cette opportunité d'expansion dans l'espace aérien à très basse altitude (VLL) où les responsabilités restent à définir. Le réseau aérien pourrait aussi y trouver un moyen de combler ses manques, pour acheminer les passagers long-courriers ou internationaux jusqu'à l'aéroport et offrir aux très court-courriers (moins de 20 km) un business model rentable.

Le secteur automobile, lui, peut craindre que l'UAM n'empiète sur son marché ancien de la voiture ou y voir, au contraire, une opportunité de diversification dans l'aérien de son travail sur les véhicules autonomes. La plupart des grands constructeurs automobiles ont d'ailleurs déjà investi de manière significative dans l'UAM [4].

Celle-ci intéresse aussi les compagnies ferroviaires, stations de métro et gares offrant le site idéal de début de trajet ou de destination UAM. C'est aussi l'espoir d'infrastructures flexibles moins sujettes aux perturbations et aux retards, avec des exigences d'investissement considérablement moindres.

Il ne faut pas voir dans l'UAM un substitut aux moyens de transport existants mais une solution de plus, différente et complémentaire dans les avantages qu'elle propose aux usagers : des temps de trajet bien plus courts, prévisibles, et le plaisir de la vue que seul offre le voyage aérien.

FIGURE 1 ►
**L'UAM COMPARÉE AUX AUTRES
MODES DE TRANSPORT
(TEMPS GÉNÉRALISÉ/DISTANCE)**

Le temps généralisé en **UAM** ✈️ devrait être comparable au **train à grande vitesse** 🚄 (à accessibilité similaire), avec des temps d'accès amont/aval plus courts que pour **l'aviation conventionnelle** ✈️ et des trajets plus rapides que **le rail conventionnel** 🚆. L'UAM sera donc souvent plus adaptée aux trajets dans la fourchette 45-300 km, comme le montre le graphique ci-dessous (le temps généralisé inclut le trajet jusqu'à et depuis la station ainsi que le voyage lui-même).

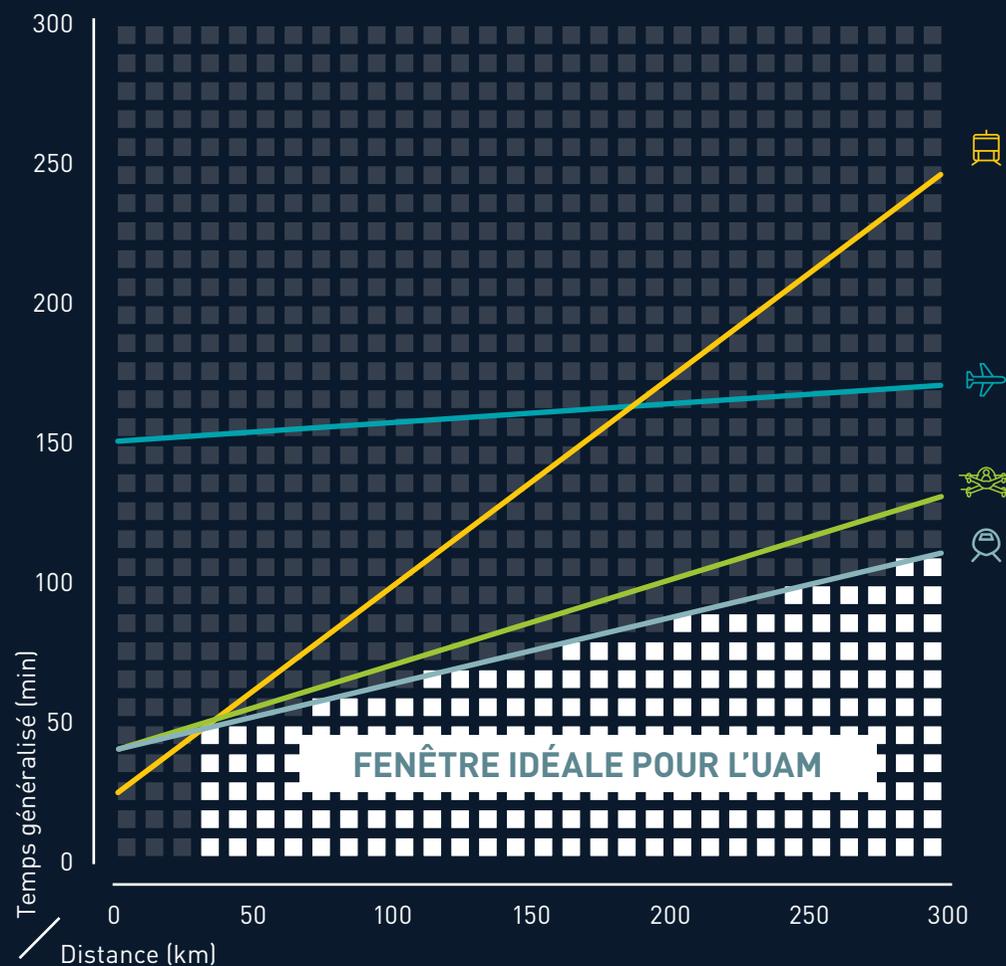


FIGURE 2 ►
USAGES ET ATTRACTIVITÉ DE L'UAM



Les déplacements régionaux ou intercités sont intégrés moins étroitement au tissu urbain, l'UAM passagers a donc plus de chances d'y faire ses débuts. À l'instar de Lilium mobilité aérienne régionale [5], certains voient les vols régionaux comme un tremplin pour l'activité court-courrier où le marché est plus important.

À ce jour, quelques usages viables apparaissent comme pertinents pour les grandes agglomérations. La figure 2 présente sur un axe chronologique possible les cas d'utilisation d'UAM et leur attractivité. Ces cas, envisagés en l'état actuel d'avancement du domaine, sont évalués selon les différents facteurs influant sur l'adoption des pratiques de transport, notamment la sécurité, les aspects économiques et les limites de capacité. Plus un cas d'utilisation a un score élevé, plus il est prêt à devenir réalité. Ainsi, la livraison sur le dernier kilomètre a une probabilité à court terme supérieure à celle du taxi aérien, plus éloigné dans l'avenir.

PRINCIPAUX ACTEURS

TOUR DE TABLE

LES CONSTRUCTEURS DE VÉHICULES

Il existe environ 300 concepts différents de véhicule dans le monde, créés par des start-up ou des entreprises bien établies (Boeing, Airbus, Lilium, Hyundai, Volocopter, EHang, pour n'en citer que quelques-unes). Elles concentrent leurs efforts sur la certification des véhicules, l'optimisation de la fabrication (notamment pour

industrialiser la production) et l'acceptabilité sociale en travaillant sur des questions comme la réduction du bruit.

LES OPÉRATEURS DE FLOTTE

TRANSPORT PASSAGERS : les opérateurs vendent l'UAM passagers comme une « ligne aérienne urbaine ». De prime abord, elle peut certes sembler concurrencer surtout le marché de niche des déplacements en hélicoptère mais à mesure que le coût horaire diminue (baisse des coûts de carburant et de maintenance et des coûts de main d'œuvre pilotes), elle est amenée à se diffuser.

TRANSPORT MARCHANDISES : la livraison de colis se développera très probablement avant le trafic passagers car les risques de sécurité sont beaucoup plus faibles. Plusieurs sociétés utilisent déjà des drones pour la livraison de marchandises et de produits médicaux coûteux.

Si on ne distingue pas encore clairement qui seront les opérateurs d'UAM, on estime que des entreprises bien établies dans le domaine de la mobilité comme Uber sont en première ligne pour exploiter des eVTOL (bien qu'Uber vienne de vendre sa division UAM à Joby Aviation à l'heure où nous rédigeons ce livre blanc).

LES CONCEPTEURS ET CONSTRUCTEURS D'INFRASTRUCTURE

Ce sont les fournisseurs des infrastructures opérationnelles (plateformes de décollage/atterrissage, stockage, recharge) d'UAM, dont certains sont des sociétés privées (ex. Skyports) se consacrant exclusivement à la conception et



l'implantation de vertiports. Comme d'autres types d'infrastructures nécessitant des investissements lourds, les vertiports ont un fort potentiel de partenariats public-privé.

LES OPÉRATEURS D'INFRASTRUCTURE

Fournisseurs de plateformes numériques et services d'intégration, gestion et contrôle des prestations de mobilité aérienne, dont gestion de l'espace aérien et des données (ex. l'UTM). Ce groupe comprend les fournisseurs de services de navigation aérienne (ANSP) traditionnels, les aéroports et les fournisseurs de gestion du trafic de drones (UTM). Toutefois, aucun consensus n'est encore atteint : vaut-il mieux adopter un système centralisé de *command and control* (livre blanc EHang [6]) ou un modèle moins réglementé de type Uber (livre blanc Uber [7]) ? Airbus, de son côté, imagine un écosystème de solutions basées sur des microservices théoriquement applicables à différents besoins (projet Altiscope).

LES MUNICIPALITÉS ET COLLECTIVITÉS LOCALES

Région, département/comté/regroupement de communes, agglomération/ ville, autres administrations territoriales en charge de la mobilité. Malgré des normes potentiellement nationales ou internationales (comme l'aviation conventionnelle), l'UAM nécessitera un réel pilotage local pour traiter ses effets (nuisances locales, construction de vertiport) et valider le développement du réseau, avec un modèle de gouvernance semblable à celui des transports bus, métro et souterrains.

Les autorités urbaines souhaiteront aussi exercer un contrôle sur l'UAM, voire, pour certaines, exploiter elles-mêmes les services ou l'infrastructure.

Singapour ambitionne d'être le premier fournisseur d'UAM d'ici la fin 2023. Les infrastructures sont en cours de construction, avec la participation de Volocopter et Skyports, et l'objectif d'un lancement en 2023 semble réalisable. En Chine, cette nouvelle mobilité a intégré les orientations stratégiques nationales et le pays devrait devenir le plus gros marché de l'UAM au monde [8] [9].

L'ÉTAT ET LES AUTORITÉS RÉGLEMENTAIRES

Les autorités réglementaires ont peiné à suivre les évolutions dans le domaine des drones. Les premières réglementations ont dû s'adapter aux

nouvelles utilisations comme les inspections d'infrastructure, l'agriculture et la cartographie. Le corpus réglementaire existant évolue mais on peut s'attendre à voir apparaître des normes et règlements spécifiques à mesure du développement de l'UAM.

Ce nouveau mode de déplacement en est encore à ses débuts et prendra des visages différents selon les pays. Pour permettre un fonctionnement transfrontalier et une diffusion des bonnes pratiques, une coopération des autorités des transports avec les instances régionales et nationales sera bienvenue, de même qu'avec les municipalités urbaines, au vu de la convergence partielle des responsabilités et des intérêts. Se doter des savoirs et outils de compréhension appropriés pour décider si l'exploitation d'un concept ou d'un véhicule donné est possible dans l'environnement local devrait être la priorité.



© Skyports 2021. Tous droits réservés.



PERSPECTIVES ÉCONOMIQUES

L'UAM était encore tout récemment un concept futuriste sans potentiel clair de rentabilité commerciale. Aujourd'hui, des plans d'activité plus ancrés dans le réel ouvrent la porte à davantage d'investissement. Certaines études de marché préliminaires prédisent même que le secteur atteindra 20 milliards \$ à la fin de la décennie, dépassant la centaine de milliers de véhicules en service d'ici 2050 [10].

Les perspectives commerciales n'en demeurent pas moins incertaines et fragiles, comme l'a montré en février 2021 la baisse de 60 % de l'action EHang après la publication par le vendeur à découvert Wolfpack Research d'un rapport mettant en cause ses relations commerciales, ses technologies et ses homologations réglementaires [11].

Reprenons le tour d'horizon des acteurs du marché de l'UAM. Quels modèles économiques peuvent s'offrir à eux ? Où dégageront-ils des recettes ? Ces questions intéresseront vivement les investisseurs potentiels.

BUSINESS MODELS ET SOURCES DE REVENUS

LES CONSTRUCTEURS DE VÉHICULES

Les fabricants d'eVTOL vendront aux opérateurs directement ou via des sociétés de leasing. Certains décideront éventuellement de devenir opérateur.

Les poids lourds comme Airbus, Boeing, Embraer ou Hyundai inventorient les diverses solutions, en testant à la fois le vol automatique et différents concepts d'aéronefs, du multicoptère à la voilure fixe. L'investissement dans les appareils eVTOL a résisté à la pandémie de covid-19 et poursuivi sa croissance à raison d'environ 1 milliard \$ par an [12] ; 24 sociétés ont déjà fait voler des eVTOL multi-passagers.

Les constructeurs visent un prix de vente entre 300 000 \$ et 1 million \$ par appareil et une capacité de production de milliers d'unités par an [13]. La fabrication devrait être moins rapide que pour une voiture mais plus que pour un hélicoptère, avec des circuits d'approvisionnement plus courts et plus flexibles que dans l'aviation conventionnelle, grâce à une forte automatisation de la fabrication et à l'impression 3D. Une fois la certification obtenue, les chaînes de production ne perdront pas de temps, si la demande est au rendez-vous. Ce nouveau marché profitera aux régions où sont déjà implantées les industries automobile ou aéronautique car leur profil attirera les constructeurs d'eVTOL.

LES OPÉRATEURS DE FLOTTE

Transport de passagers : les opérateurs d'UAM achèteront ou loueront des véhicules eVTOL et vendront les billets aux passagers. Le prix du billet couvrira les coûts d'investissement (ex. véhicules, systèmes de réservation) et les charges d'exploitation (assurance, maintenance, etc.). L'augmentation du nombre de vols permettra des économies d'échelle sur les coûts d'exploitation.

Transport de marchandises : dans les zones rurales ou excentrées, la livraison sur le dernier kilomètre sera plus économique par drone bien que des subventions puissent rester nécessaires. Elle sera en revanche problématique en milieu urbain, les environnements denses compliquant les conditions de livraison. De plus, le poids de la cargaison est habituellement limité à 350 kg à ce jour.

LES CONCEPTEURS ET CONSTRUCTEURS D'INFRASTRUCTURE

L'infrastructure pour l'UAM comprend les sites de décollage et d'atterrissage (ou « vertiports »), la fourniture en énergie (recharge) et le stockage et la maintenance. Ces actifs nécessitant des investissements lourds pourront appartenir à la municipalité ou voir le jour via un partenariat public-privé

(PPP). Typiquement, les vertiports seraient aménagés sur le toit des gares, parcs de stationnement et immeubles existants. En zone densément peuplée, acquérir assez de sites pour développer un réseau exploitable pourrait se révéler difficile. Pourtant, si ce problème est résolu, l'avantage sera majeur pour les propriétaires immobiliers, en mesure de proposer (contre rémunération) un point de décollage et d'atterrissage aux eVTOL.

La priorité des gestionnaires de patrimoine immobilier est de maximiser la valeur pour les investisseurs et le portefeuille classique inclut différents types de biens, dont des tours à usage mixte abritant des bureaux et des logements ou des locaux commerciaux. L'installation d'un vertiport sur le toit pourrait représenter un moyen novateur et lucratif de valoriser une partie de l'immeuble souvent oubliée, qui deviendrait source de revenus locatifs stables mais aussi de revenus secondaires liés au trafic passagers (ex. espaces publicitaires, commerces, services de retrait de colis en magasin ou même locaux de coworking).

L'activité des sociétés de taxi aérien ou de livraison nécessitera également des services de communication et d'électricité aux vertiports, services qui devront être fournis par l'infrastructure UAM.

LES OPÉRATEURS D'INFRASTRUCTURES

L'intégration, la gestion et la supervision des prestations de mobilité aérienne représentent un segment de marché à part entière, pour lequel il semble difficile de faire l'économie d'un modèle de contrôle pensé comme un « système de systèmes ». Le visage que prendra le marché dépendra fortement du modèle adopté : centralisation du commandement et du contrôle des opérations ou libéralisation et coexistence de multiples opérateurs d'infrastructure façon Uber.

Les ANSP, qui contrôlent l'espace aérien supérieur pour le compte des États, plaident pour le droit de contrôler le trafic urbain (et, on imagine, d'en tirer des revenus), avec notamment l'argument qu'il faut l'intégrer avec le trafic aérien existant*.

Les fournisseurs de communication (sociétés de télécommunications), eux, sont en position de force car ils sont seuls capables de localiser les véhicules et de communiquer avec eux. Par ailleurs, de nouveaux prestataires d'UTM (comme AirMap et Altitude Angel) mettent au point des outils comme les systèmes d'UTM, afin de contrôler et organiser le trafic des drones.

* On considère que les conceptions actuelles de contrôle du trafic aérien sont inadaptées à l'activité en ville. Pour fournir ce service, les ANSP d'aujourd'hui auraient donc à évoluer considérablement.



© Airbus 2021. Tous droits réservés.

LES MUNICIPALITÉS ET COLLECTIVITÉS LOCALES

Les villes et les autorités locales souhaitent assurer la sécurité publique tout en favorisant la croissance économique et la mobilité. Elles pourraient chercher à limiter le nombre d'eVTOL et s'engageront sans doute dans des PPP pour garantir l'articulation des vertiports et des politiques d'urbanisme. Les PPP permettront le lancement de cette activité nécessitant des investissements lourds et le développement de l'UAM selon plusieurs axes, comme la gestion de portefeuille immobilier et la gestion technique et opérationnelle (réseau électrique, gestion du trafic aérien ou sûreté et sécurité).

Les municipalités travaillant sur des concepts de ville intelligente (*smart city*) auraient tout intérêt à intégrer l'UAM au réseau urbain pour améliorer son interconnexion, une fois la faisabilité en centre-ville validée.

L'ÉTAT ET LES AUTORITÉS RÉGLEMENTAIRES

Les autorités compétentes en matière de sécurité devront prendre en compte l'UAM dans les normes nationales. Dans les zones transfrontalières comme les villes MAHHL (Maastricht, Aix-la-Chapelle, Hasselt, Heerlen, Liège) [14], l'alignement réglementaire est impératif.

OBSTACLES À LEVER

L'UAM a mûri grâce aux progrès technologiques des dernières années, dont voici quelques exemples.

- Le concept de propulsion électrique distribuée (DEP) a bien avancé. La DEP utilise des propulseurs à alimentation électrique uniquement reliés électriquement à la source d'énergie, ce qui présente plusieurs avantages par rapport aux systèmes conventionnels de propulsion : la performance en décollage/atterrissage vertical, le rendement propulsif nettement supérieur à celui des moteurs à réaction ou à piston et la simplicité de conception des propulseurs qui améliore la sécurité et facilite la maintenance.
- Une meilleure performance des batteries* permet de voler sur de plus longues distances et de transporter plus de marchandises ou de passagers. En outre, les batteries coûtent de moins en moins cher : le prix du kWh est inférieur de 80 % à ce qu'il était il y a 10 ans.
- L'autonomie a fait l'objet de recherches très poussées dans le secteur automobile récemment. Elle est assurée en ce qui concerne les drones militaires.

* Augmentation moyenne de capacité batterie : ~3 % par an.

- L'amélioration de la connectivité joue également un rôle important dans le déploiement de l'UAM. L'environnement urbain et l'espace aérien à très basse altitude (VLL) soulèvent des difficultés nouvelles pour l'industrie aéronautique. Les véhicules devront donc s'adapter, comme avant eux les poissons à la vie dans l'eau. Cela concerne surtout la couverture du signal et les interférences. Les constructeurs s'intéressent aux réseaux mobile pour le lien de communication de *command and control* (C2 link) plutôt qu'aux canaux conventionnels qui pourraient se révéler inadaptés. L'introduction de la 5G promet une bien meilleure connectivité entre véhicules. De plus, les nouveaux systèmes d'augmentation du signal et services de positionnement de haute précision (HAP) facilitent la navigation et la surveillance, essentielles dans un environnement d'une telle densité.

Pourtant, la seule disponibilité des technologies ne donne pas la certitude de l'émergence d'un marché et de nombreux obstacles restent à dépasser. Cette partie décrit les principaux.

L'ACCEPTABILITÉ SOCIALE

L'adhésion du public fait partie des obstacles majeurs, surtout dans les sociétés occidentales où les drones sont moins bien acceptés [15]. Il y a notamment l'inquiétude d'une fracture entre les bénéficiaires de l'UAM (les passagers qui gagnent du temps) et ceux qui en subiront le plus les effets (les personnes « coincées »

au sol, sur qui le bruit et la pollution visuelle auront le plus d'impact). Les autres types de transports urbains (la voiture et les transports en commun) ne séparent pas aussi nettement les deux groupes. Il faudra peut-être innover pour rééquilibrer la situation, par exemple en offrant des trajets gratuits aux populations impactées dans les couloirs aériens très fréquentés. Avant que l'exploitation commerciale UAM puisse décoller, les régulateurs devront fournir un gros travail pour élaborer des normes qui soient acceptables et pour les opérateurs et pour les personnes subissant les nuisances sonores.

L'innovation sera également nécessaire pour contrôler et surveiller des indicateurs-clés. On peut imaginer d'intégrer des capteurs et outils de suivi dans un « observatoire de la mobilité », nouveau ou existant comme dans les villes les plus

modernes, pour surveiller la pollution sonore due à ces véhicules d'un nouveau type. Les couloirs aériens devront être tracés pour la sécurité du survol des zones denses d'une part mais aussi de manière que le bruit de ces appareils volants se fonde dans le bourdonnement de la circulation au sol, lui-même destiné à diminuer avec l'adoption des véhicules électriques.

Les soucis de pollution visuelle devront aussi être réglés. Le processus sera dynamique puisque les couloirs aériens, les bâtiments et les portails de sécurité évolueront en permanence. L'acceptabilité du déploiement futur de l'UAM aux yeux du public passera par la compatibilité de l'usage des couloirs aériens et l'intégration des réseaux locaux de transport, sans oublier la prise en compte du bruit dans les politiques d'aménagement et l'équité d'accès.



© Lillium 2021. Tous droits réservés.

LES RISQUES DE SÉCURITÉ ET DE SÛRETÉ

L'aviation jouit d'un excellent niveau de sécurité grâce à ses efforts concertés et constants d'amélioration, dans tous les domaines du secteur : processus de certification coûteux appliqués à la construction, l'exploitation et l'entretien des aéronefs, obligations de qualifier et de former les personnels navigants et de maintenance, et haute performance des systèmes essentiels à la sécurité. L'attractivité commerciale de l'UAM est liée à l'accessibilité, à la rentabilité et à « l'hyper-commodité ». Toutes ces caractéristiques sont davantage associées à la voiture qu'au transport aérien dans sa forme actuelle. Il reste à voir si le public acceptera le niveau de risque correspondant, plus élevé.

La sécurité repose sur des piliers multiples et variés, parmi lesquels des garde-fous techniques, humains ou opérationnels. Tous font l'objet d'un contrôle rigoureux par les régulateurs et autres organismes de gouvernance. Il est important d'examiner les effets sur tous ces volets de l'introduction de l'UAM.

- Un environnement urbain encombré ne permet pas de compter uniquement sur le principe « Voir/Détecter et Éviter » pour prévenir les collisions. L'UAM devra donc suivre les principes de gestion de l'espace et du trafic aériens appliqués par l'aviation

conventionnelle pour opérer en toute sécurité malgré une circulation dense. Toutefois, si des systèmes non humains, autonomes ou hautement automatisés sont responsables de ces mesures de protection, une très haute fiabilité dans tous les cas de figures opérationnels possibles doit être garantie et démontrée. Pour satisfaire à toutes ces exigences, les concepts d'ATC tels que nous les connaissons pourraient bien être insuffisants une fois appliqués à l'UAM.

- L'emploi grandissant de matériaux de pointe dans les eVTOL, les nouvelles technologies de propulsion et de stockage de l'énergie et la prépondérance de la question de l'autonomie auront des implications majeures pour les mécanismes de certification qui devront trouver une souplesse d'adaptation et ne pas se laisser distancer par les avancées technologiques.
- L'infrastructure de communication, navigation et surveillance de l'aviation conventionnelle doit changer en profondeur pour livrer des performances comparables à aujourd'hui, sans parler des améliorations nécessaires pour supporter les futurs volumes élevés de trafic UAM dans les canyons urbains. La difficulté ne s'arrête pas là : l'information météorologique doit être générée hyper-localement pour permettre des prévisions

exactes et se prémunir des variations micrométéorologiques qui affecteraient les performances de vol des eVTOL.

Enfin, en particulier dans le contexte de l'avènement des technologies autonomes, il est impératif d'offrir une protection adéquate à l'ensemble du système aérien et à ses composants contre tous les types de menaces, y compris de cyberattaques. Il convient de ne pas minimiser les implications sur le plan opérationnel et pour la sécurité d'une offensive informatique d'envergure affectant des pans entiers du système aérien. Cette considération appellera assurément une approche intégrée de la conception du système, de son exploitation, de la vigilance et de la réponse aux attaques pour mettre en place les capacités de remédiation adaptées. Les infrastructures militaires ou sensibles demanderont aussi à être protégées et les forces armées et les services de police doivent figurer parmi les parties prenantes de tout projet d'UAM.

Dans l'immédiat, développeurs et opérateurs de technologies UAM seront soumis aux réglementations existantes, que ce soit du point de vue de la certification, de la formation et la qualification ou de la planification. Les développeurs tels que les concepteurs de vertiports suivront les mêmes règles d'urbanisme qu'aujourd'hui et les routes aériennes seront celles actuellement en place pour les opérateurs d'hélicoptères.



© Bradley Wentzel 2021. Tous droits réservés.

Les avantages économiques et sociétaux de l'UAM pourront prendre réalité à la condition d'une introduction et d'une intégration sûres de technologies et modes d'exploitation nouveaux, sans entamer la réputation de sécurité bâtie patiemment par le secteur aérien au cours des 50 dernières années. Cela exigera une feuille de route lisible, soutenue par toutes les principales parties prenantes, y compris les États, les régulateurs et autres organes de gouvernance.

UN BIAIS ÉCONOMIQUE ÉLITISTE

Actuellement, le coût par passager est plutôt élevé, comparé aux autres modes de transport. L'UAM serait donc limitée à la frange la plus riche de la population. Selon un rapport de la NASA [16], un eVTOL 5 places avec pilote coûtera environ 6,25 \$ par mille-passager, à comparer au coût d'un trajet au volant d'une voiture (aujourd'hui environ 0,50 \$ par mille) et à celui comme passager d'un Uber (1 à 2 \$ par mille). La performance de l'eVTOL (nombre de passagers, distance, vitesse, etc.) est liée aux performances énergétiques comme la capacité de la batterie ou son efficacité. La technologie doit encore progresser pour accroître le nombre maximum de passagers et réduire les coûts d'exploitation afin que les tarifs baissent et la gamme des utilisations possibles s'élargisse.

ÉCOLOGIE : COMPARAISON AVEC LA VOITURE ÉLECTRIQUE

Le respect de l'environnement est un des arguments en faveur du développement de l'UAM. Il n'en demeure pas moins qu'un eVTOL ne pourra pas rivaliser avec une petite voiture électrique sur le terrain de l'efficacité énergétique. Ses émissions de CO₂ seront bien plus faibles qu'un hélicoptère mais probablement plus élevées que pour une voiture électrique. On estime qu'un eVTOL aura

besoin de 0,2 à 1 kWh/mille [17] (et en trajet urbain environ 0,5 kWh/mille [18]), comparé à 0,3 kWh/mille pour les voitures (0,2 pour une petite voiture en ville) [19]. En outre, les modalités d'application aux eVTOL du schéma éviter-remplacer-améliorer (*avoid – shift – improve, ASI*) [20] d'efficacité environnementale des transports ne sont pas immédiatement perceptibles (par comparaison avec les transports publics et/ou la voiture électrique).

ÉQUILIBRER COÛTS, SÉCURITÉ ET RESPONSABILITÉS DANS UN NOUVEL ENVIRONNEMENT RÉGLEMENTAIRE

Plusieurs grandes villes du monde s'intéressent au potentiel de l'UAM mais les enjeux étant importants, les gouvernements hésitent.

Après des débuts laborieux, des cadres réglementaires pour les drones et l'UAM apparaissent enfin. Plusieurs pays ont par exemple publié des concepts d'exploitation d'UAM, comme l'Australie à la fin 2020 [21]. Les initiatives récentes pour fixer des règles de circulation des drones ont toutefois mis en lumière combien il est difficile de rédiger un cadre réglementaire qui ne bride pas un marché encore émergent par des coûts trop importants imposés aux constructeurs, tout en garantissant un niveau de sécurité acceptable, y

compris concernant des cas d'utilisation futurs qui restent encore à imaginer.

S'agissant du véhicule lui-même, les critères de navigabilité devront incorporer les problématiques liées aux technologies nouvelles comme la propulsion électrique ou le pilotage autonome embarqué par intelligence artificielle, sans grand retour d'expérience préalable. Le marché de l'UAM peut se développer dans les conditions actuelles mais un cadre réglementaire spécifique permettra son expansion par la suite.

Autre dossier encore ouvert : qui aura la responsabilité de l'espace aérien* ? Les principes directeurs et les règles de partage de l'espace aérien à très basse altitude, en dessous de 500 pieds, sont encore en cours d'élaboration et la plupart des vols en drone s'effectuent en régime d'exception. L'étape suivante est d'étendre le fonctionnement aux appareils eVTOL transportant des passagers. Sur les volets technologie et procédure, les difficultés seront liées à l'interaction et à la coopération des systèmes humains et autonomes.

* Sur la question plus large de la gestion de l'espace aérien du futur, voir le livre blanc Egis *Wanted: Airspace guardian*.

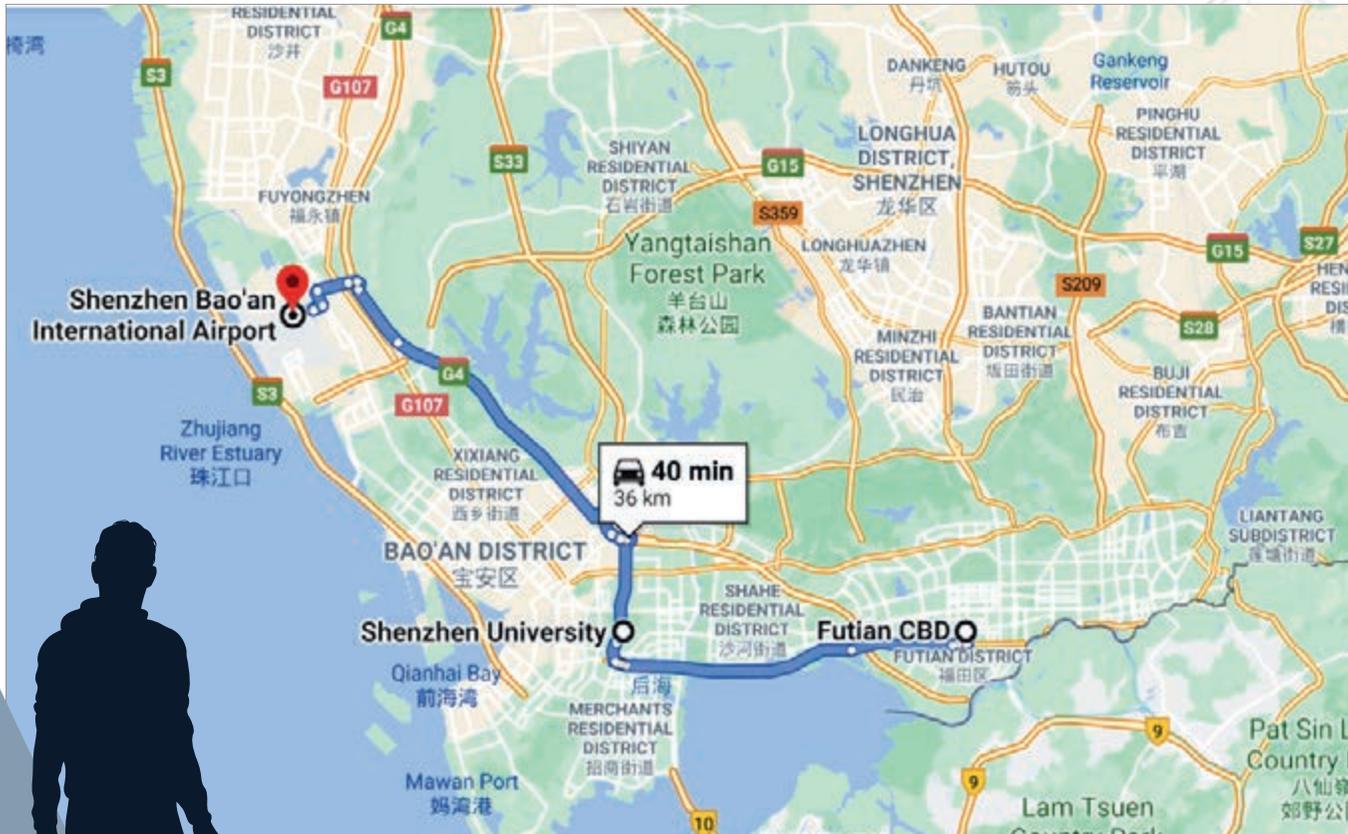
VISION UAM POUR UNE VILLE RÉCENTE

La discussion a montré que, malgré des tendances fortes en faveur de l'UAM, plusieurs freins doivent encore être levés avant qu'elle puisse faire partie du quotidien. Si cette vision devient réalité, quel visage prendra-t-elle ? Nous avons imaginé à quoi pourraient ressembler en 2035 deux villes candidates à l'UAM et les effets possibles sur la vie de différents profils d'habitants fictifs.

- La première ville (dans ce chapitre) est une ville « nouvelle », qui prend modèle sur Shenzhen, en Chine. Il s'agit d'une agglomération relativement récente, ce qui permet à l'UAM de s'installer dès le début dans les infrastructures et le tissu urbain.
- La deuxième (chapitre suivant) est ancienne, elle est basée sur Paris, en France. Cette ville est établie de longue date, l'UAM doit donc trouver à s'intégrer dans un environnement déjà très contraint.



LEE l'étudiant

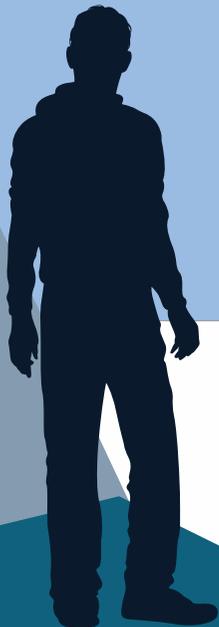


© Données Google Map 2021

1

Lee est étudiant et vit sur le campus, à 30 minutes de route de l'aéroport où il travaille à mi-temps dans une entreprise de logistique. Sa petite amie, Sofi, vit dans le quartier central des affaires (QCA) à deux heures de route. Lee utilise beaucoup les transports en commun et ne possède ni voiture ni vélo.

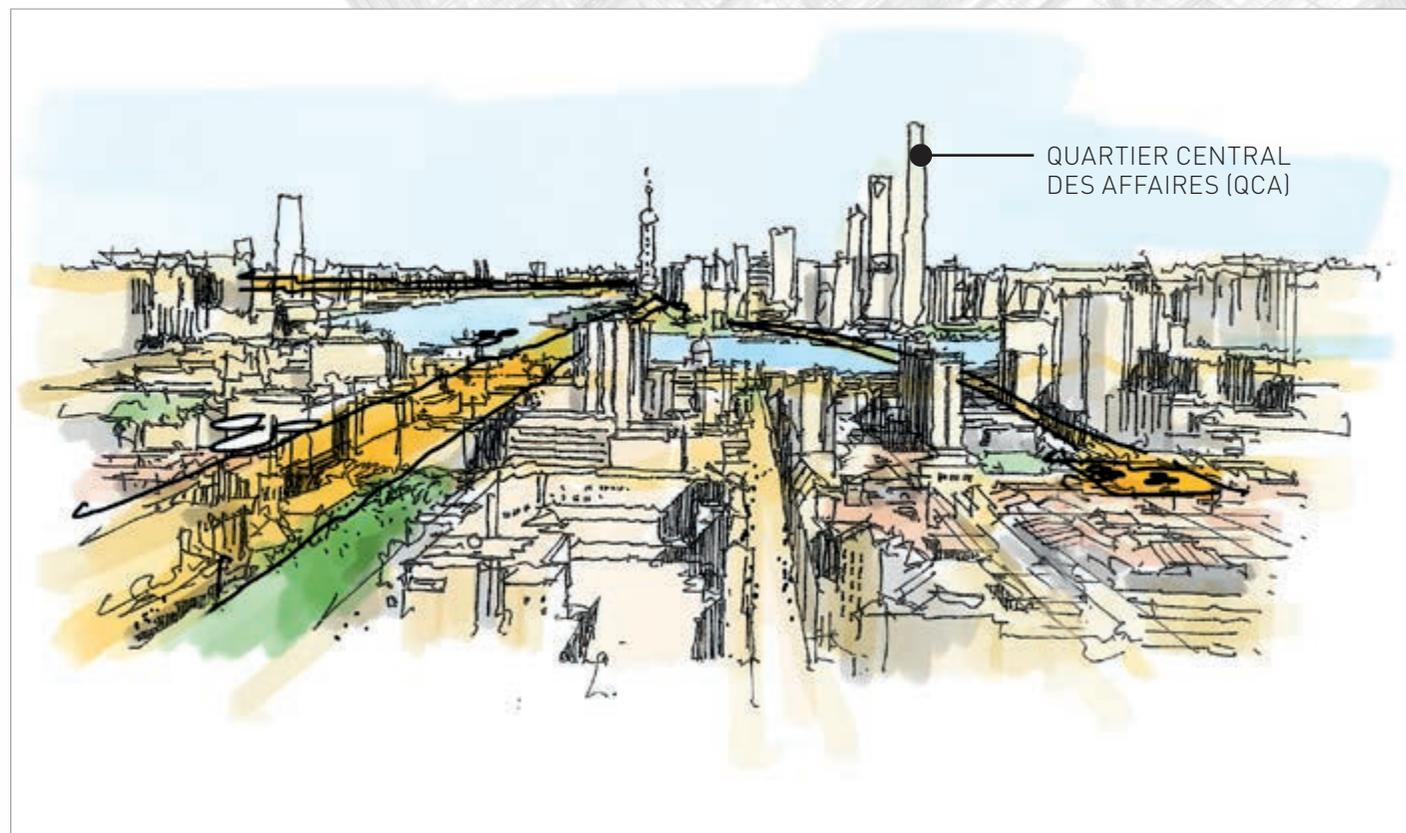
Lee est réveillé à 8 h par sa montre qui lui rappelle qu'il a un cours à 9h30 et un essai pour l'équipe de football à 14 h et que le début de son service à l'aéroport est à 16 h. Il prend une trottinette électrique devant son bâtiment pour aller en cours (il n'y a pas de place dans le bus électrique).



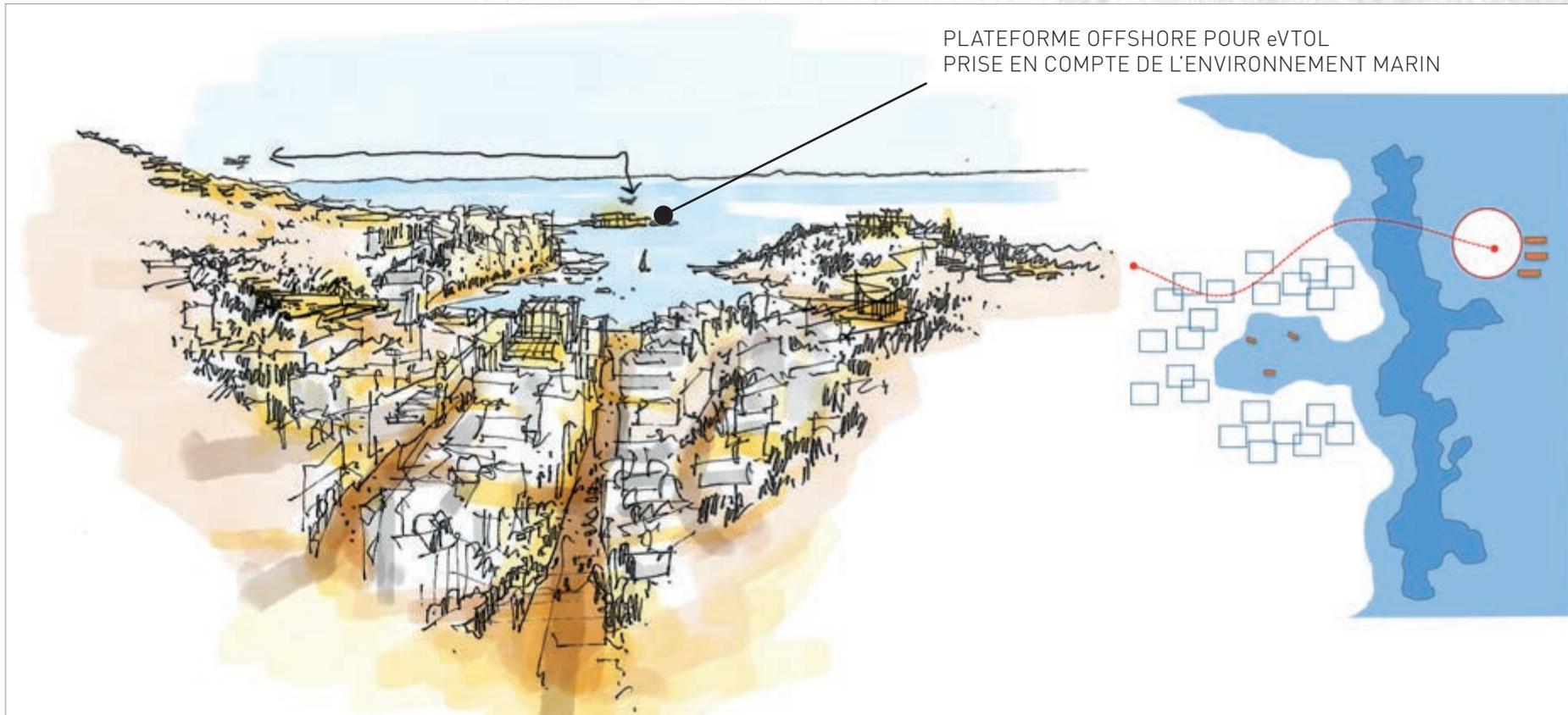
2 Après la fin du cours, il marche jusqu'au terrain de sport où il achète un repas énergétique au distributeur automatique : il avait passé commande pendant son cours pour être sûr d'avoir ce qu'il voulait.

Après le football, Lee attrape l'e-bus vers l'aéroport pour prendre son service. Son travail pour l'entreprise de logistique consiste dans le chargement des drones qui livrent des colis urgents entre les différents quartiers et le QCA de la ville.

Ce week-end, Lee a prévu de voir sa copine. Le quartier où habite Sofi est mal desservi par le train et le métro mais les e-bus, véhicules électriques et navettes aériennes eVTOL compensent là où les transports ferrés manquent.



 COULOIRS AÉRIENS



PLATEFORME OFFSHORE POUR eVTOL
PRISE EN COMPTE DE L'ENVIRONNEMENT MARIN

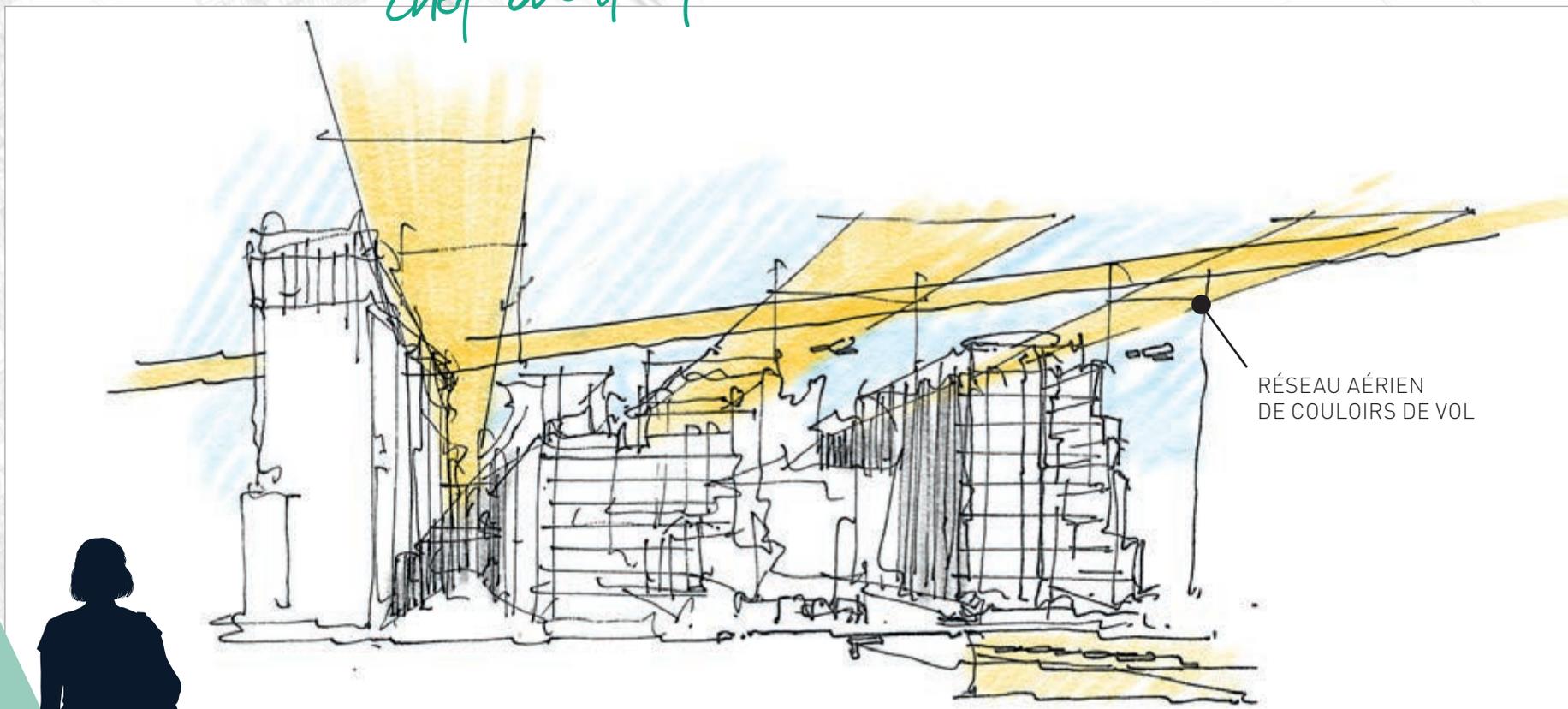
3 Une appli de mobilité intégrée pour toute la ville fournit des données en temps réel sur tous les modes de transport et la tarification dynamique. Parfois, la navette aérienne coûte moins cher qu'un taxi classique, surtout quand l'indicateur de qualité de l'air déclenche les subventions municipales en faveur des transports verts.

4 Ce week-end, c'est l'anniversaire de Sofi et Lee lui a préparé une surprise : un tour en bateau dans la baie. Ils iront avec le tout nouveau taxi aérien autonome conçu pour préserver la zone marine protégée d'un trafic excessif sur l'eau. Il a réservé pour que le taxi vienne les chercher à l'immeuble de Sofi et les dépose directement au ponton d'embarquement. De bons moments en perspective !

■ COULOIRS AÉRIENS

AMAL

chef d'entreprise et maman



RÉSEAU AÉRIEN
DE COULOIRS DE VOL

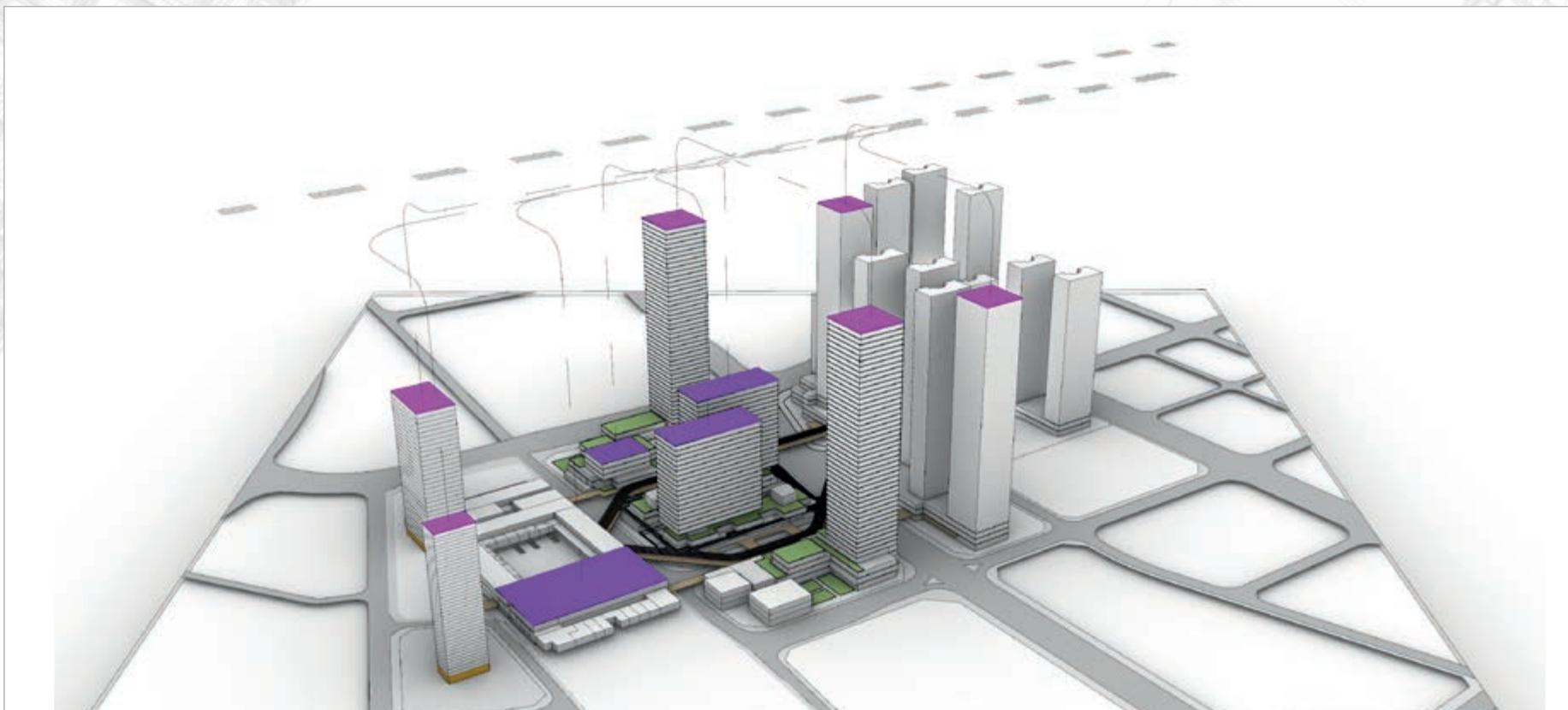
1 Amal dirige une grande société d'événementiel à Shenzhen. Elle vit avec sa famille dans une zone verte périurbaine récente. Par la route, aller à Shenzhen peut prendre entre 50 minutes et 1 heure et demie selon le moment, Amal mélange donc la voiture et les déplacements domicile-travail en navette aérienne, surtout quand sa journée commence tôt ou finit tard.

■ COULOIRS AÉRIENS

2

Elle dépose ses enfants à l'école dans l'immeuble voisin qu'elle rejoint par la passerelle aérienne, bien pratique pour ne pas avoir à descendre jusqu'au niveau de la rue, puis prend l'ascenseur jusqu'au *sky lobby* où se trouve le vertiport. Elle a réservé son vol pour le bureau sur l'appli Shenzhen Shuttle. C'est

un peu plus cher que d'habitude, parce qu'il y a beaucoup de demande aujourd'hui et que c'est l'heure de pointe, mais cela lui permettra d'arriver au ponton flottant de la navette aérienne juste à côté de son travail dans le centre en moins de 20 minutes.



3

La priorité du jour est une réunion avec l'équipe municipale des transports en préparation d'un concert. La ville recevra des centaines de milliers de visiteurs le temps d'une soirée et Amal doit rencontrer les fournisseurs de vertiports et de navettes aériennes pour optimiser les lieux de prise en charge et de débarquement des passagers pour l'occasion. Il faudra les coordonner avec les zones de stationnement et les nœuds de transport ferrés mais l'administration municipale dispose d'un jumeau numérique complet du système de transport, son « observatoire de la mobilité », qui aide beaucoup pour l'organisation et la gestion en temps réel, donc Amal n'anticipe pas de difficulté.

Le rendez-vous est dans son endroit préféré, le prestigieux Vertitower Forest, où les VIP viennent profiter de la nature au cœur de la ville. Le rooftop offre un terrain d'atterrissage discret pour une confidentialité maximum et des salles de réunion qui se réservent via l'application exclusive des membres du club Elite Shenzhen.

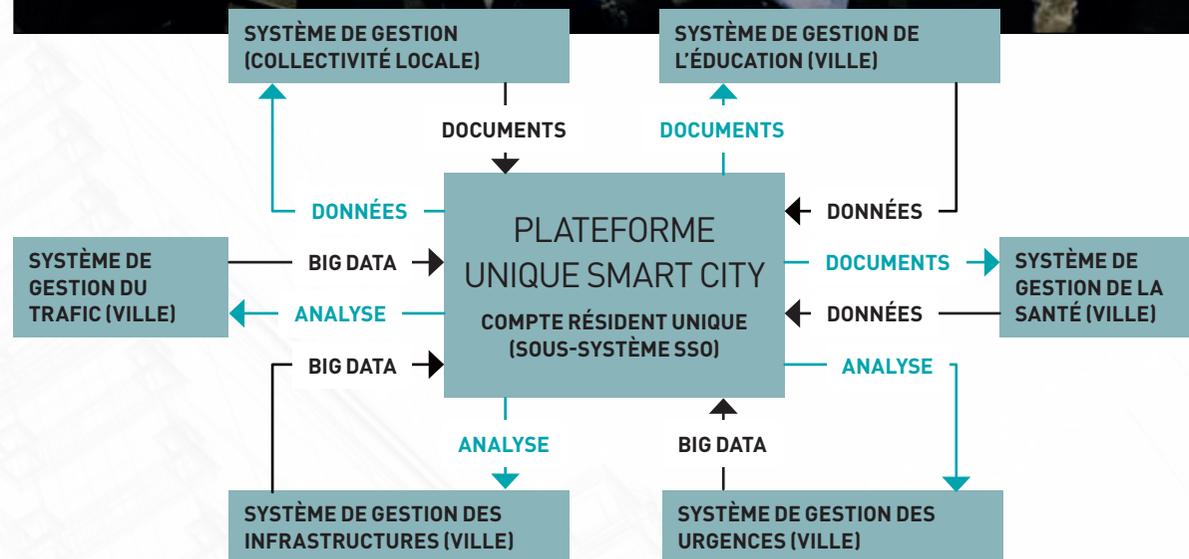
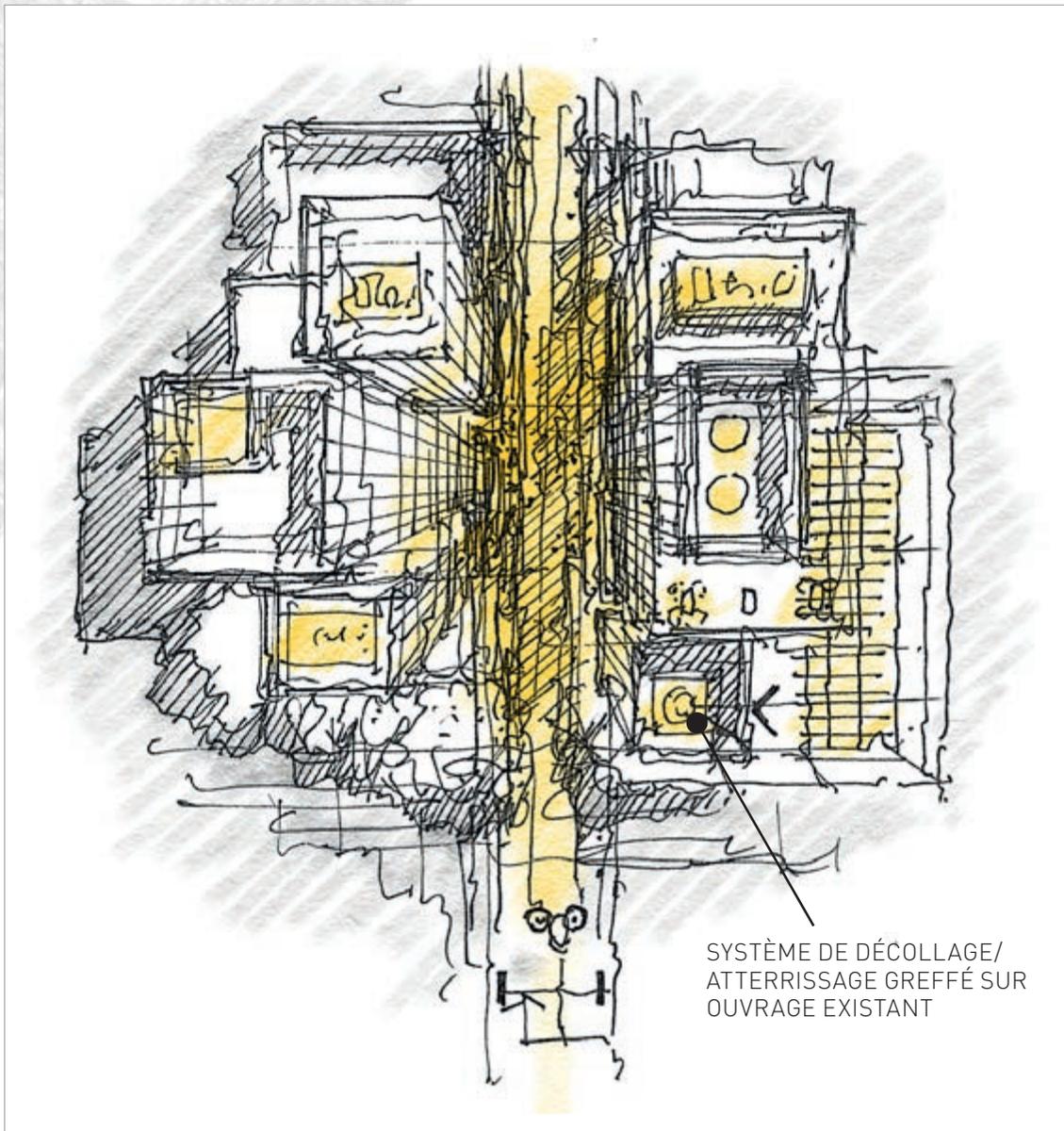


FIGURE 9 ▲
EXEMPLE D'ARCHITECTURE DE PLATEFORME DE MOBILITÉ (PROJET RÉEL)



SYSTÈME DE DÉCOLLAGE/
ATERRISSAGE GREFFÉ SUR
OUVRAGE EXISTANT

4

La journée a été longue. Amal a encore un rendez-vous avant de rentrer : direction le salon de coiffure, dans une banlieue proche de chez elle ! Cette fois-ci, elle prend le métro. C'est plus économique et, de toute façon, les alertes météo dynamiques annoncent des retards sur les navettes aériennes à cause du vent. Mais Amal en profite pour réserver une course flexible en navette pour 19 h. L'appli la guidera vers la navette disponible la plus proche en service à ce moment-là.

Quand elle sort de chez le coiffeur, le vent est tombé. Heureusement car il y a à nouveau de la circulation et qu'elle préférerait rentrer par la voie des airs. Elle suit les instructions vocales dans son oreillette jusqu'au vertiport à deux pâtés de maison, passe à la ferme urbaine du sous-sol pour acheter des légumes frais puis se dirige vers le *sky lobby* et la maison...

La navette approche, les publicités du vertiport scintillent dans la nuit : un nouveau restaurant vient d'ouvrir dans le quartier, peut-être que ça plairait aux enfants ?

COULOIRS AÉRIENS

VISION UAM POUR UNE VILLE ANCIENNE

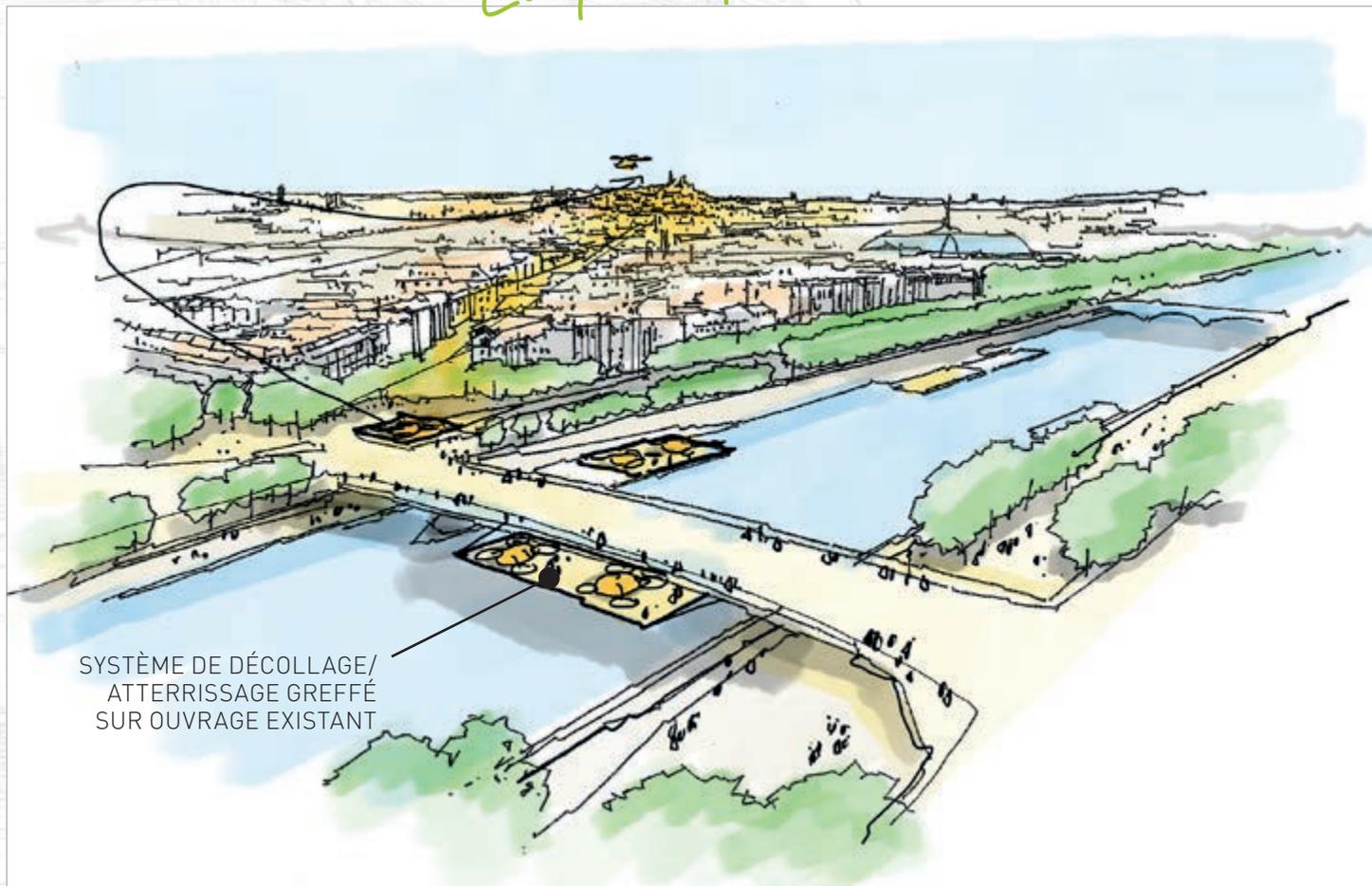
À quoi pourrait ressembler la mobilité aérienne dans une ville bien enracinée, au tissu déjà très contraint comme Paris ? Cette partie explore les possibilités de l'UAM, vues par les yeux de deux touristes et d'une cadre supérieure.



JAN ET NOOR

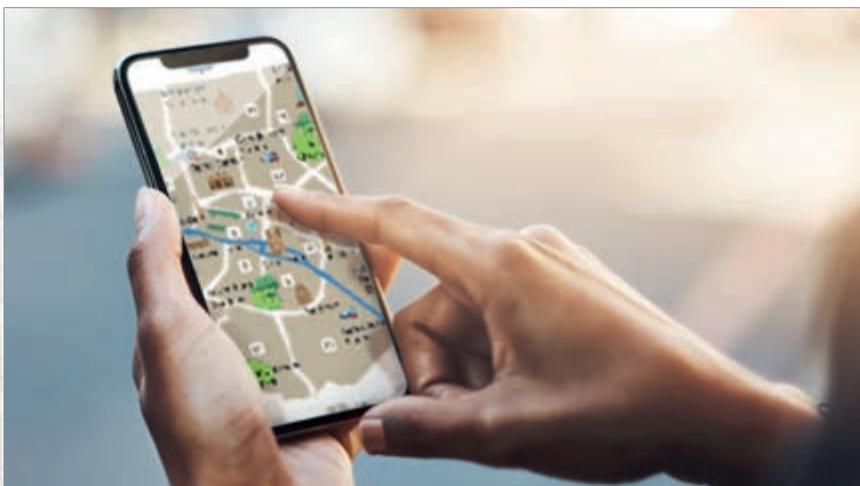
Les touristes

1 Jan et Noor sont en visite à Paris. Jan était déjà venu il y a une quinzaine d'années, sans pouvoir voir tout ce qu'il voulait, d'où son envie de revenir. Il est aussi curieux de découvrir les changements apportés par les Jeux olympiques de 2024. C'est en revanche la première visite de Noor, qui veut surtout voir les grands sites touristiques de la ville. Ils ont loué un studio à l'intérieur de Paris et comptent sur les transports en commun pour se déplacer pendant leur séjour.



COULOIRS AÉRIENS

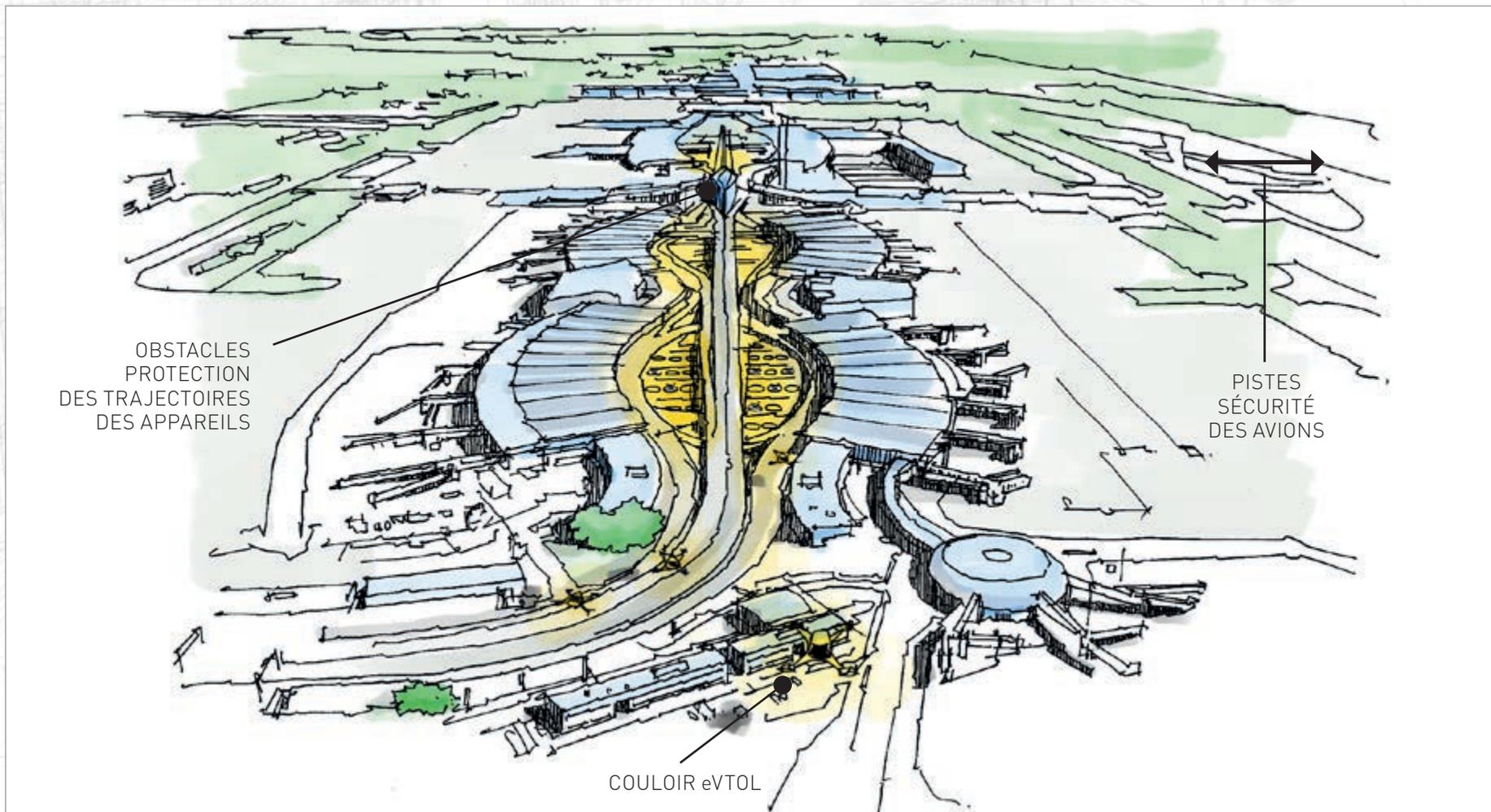
2 À leur arrivée à l'aéroport de Roissy-Charles de Gaulle, Jan et Noor se mettent en route vers leur location grâce à une appli de mobilité spécialement conçue pour les touristes et reçoivent leur billet sous forme de codes QR. L'appli les guide du terminal de l'aéroport à la gare CDG Express. Ils scannent leur code QR à l'entrée et rejoignent le quai, où un train les emmène jusqu'à la gare de l'Est. De là, ils suivent les instructions de l'appli jusqu'à l'arrêt du bus qui les mènera à leur studio.



3 Une fois installés, ils préparent leurs visites des prochains jours. Parmi les suggestions de l'appli de mobilité, Jan remarque une promotion d'une société proposant des visites « Paris vu du ciel » en eVTOL. Malgré la réduction, l'excursion entamerait sensiblement leur budget de vacances mais l'expérience promet d'être inoubliable. Jan saute le pas et réserve le vol pour une journée à la météo prometteuse.



4 Après plusieurs journées épuisantes à arpenter Paris à pied et à visiter des monuments, Jan et Noor se rendent à l'embarquement de leur balade en eVTOL, au bord de la Seine, juste à quelques pas de leur studio. Le vol est confortable, plus calme qu'ils ne s'y attendaient, grâce aux moteurs électriques, sans être aussi silencieux qu'en montgolfière. Ils apprécient tous les deux le panorama sur tous les sites célèbres de la ville mais le meilleur moment est l'atterrissage dans les jardins du château de Versailles. Ils ne sont pas prêts d'oublier ce souvenir magique !



5

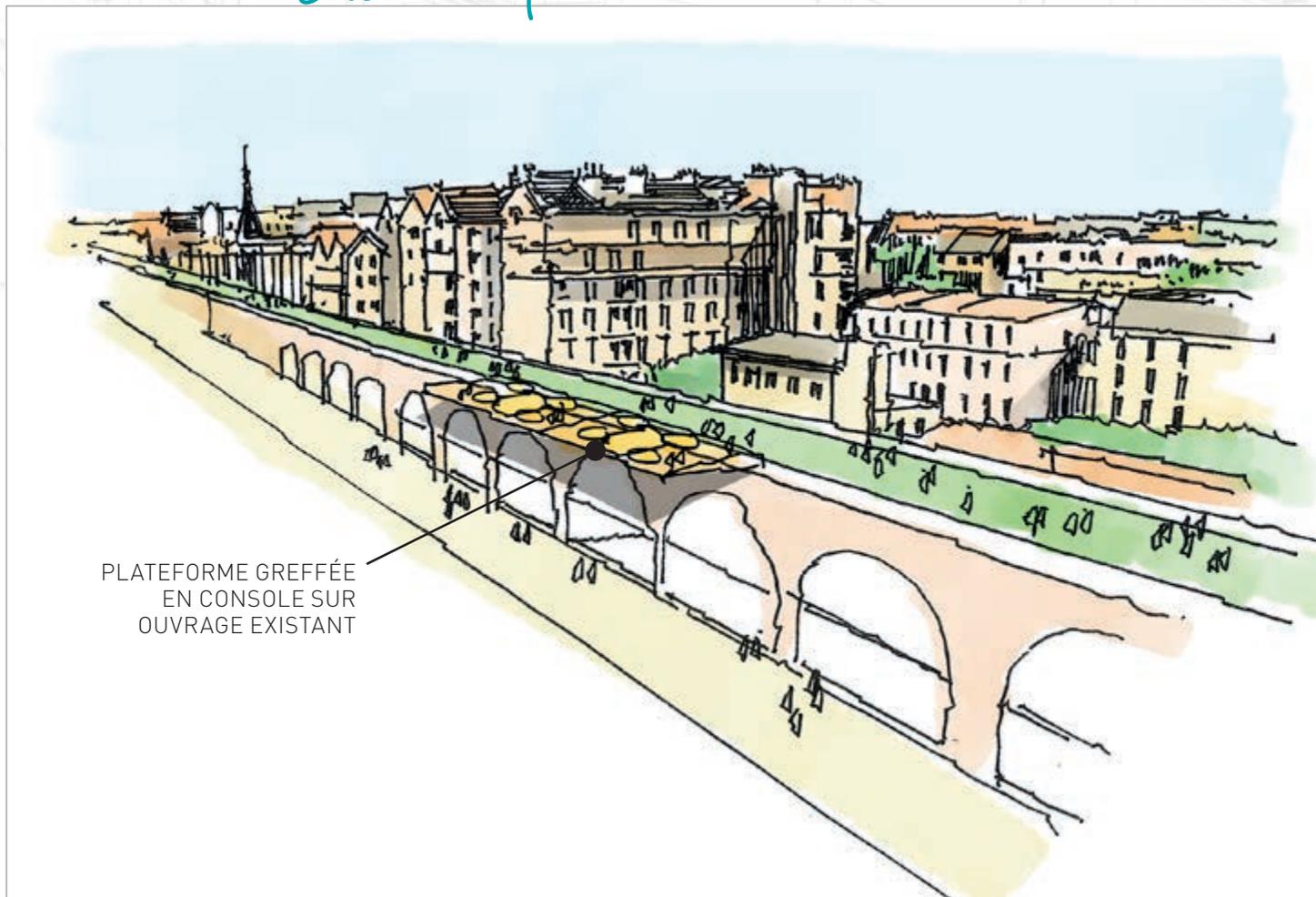
Ils ont tellement aimé le tour en eVTOL qu'au moment de décider, à la fin de leur séjour, comment se rendre à l'aéroport, ils choisissent de prendre la navette UAM directe de Gare de Lyon à Charles de Gaulle. Ils diront au revoir à Paris depuis le ciel, comme des oiseaux.

■ COULOIRS AÉRIENS

LUDIVINE

cadre supérieure

1 Ludivine travaille dans le quartier d'affaires de La Défense mais a choisi de vivre dans Paris car elle aime sortir et profiter de l'offre culturelle de la capitale. Dans le cadre de son travail, elle voyage parfois à l'étranger et utilise le service très pratique de navette aérienne entre La Défense et l'aéroport Charles de Gaulle ou la gare du Nord.



PLATEFORME GREFFÉE
EN CONSOLE SUR
OUVRAGE EXISTANT

COULOIRS AÉRIENS

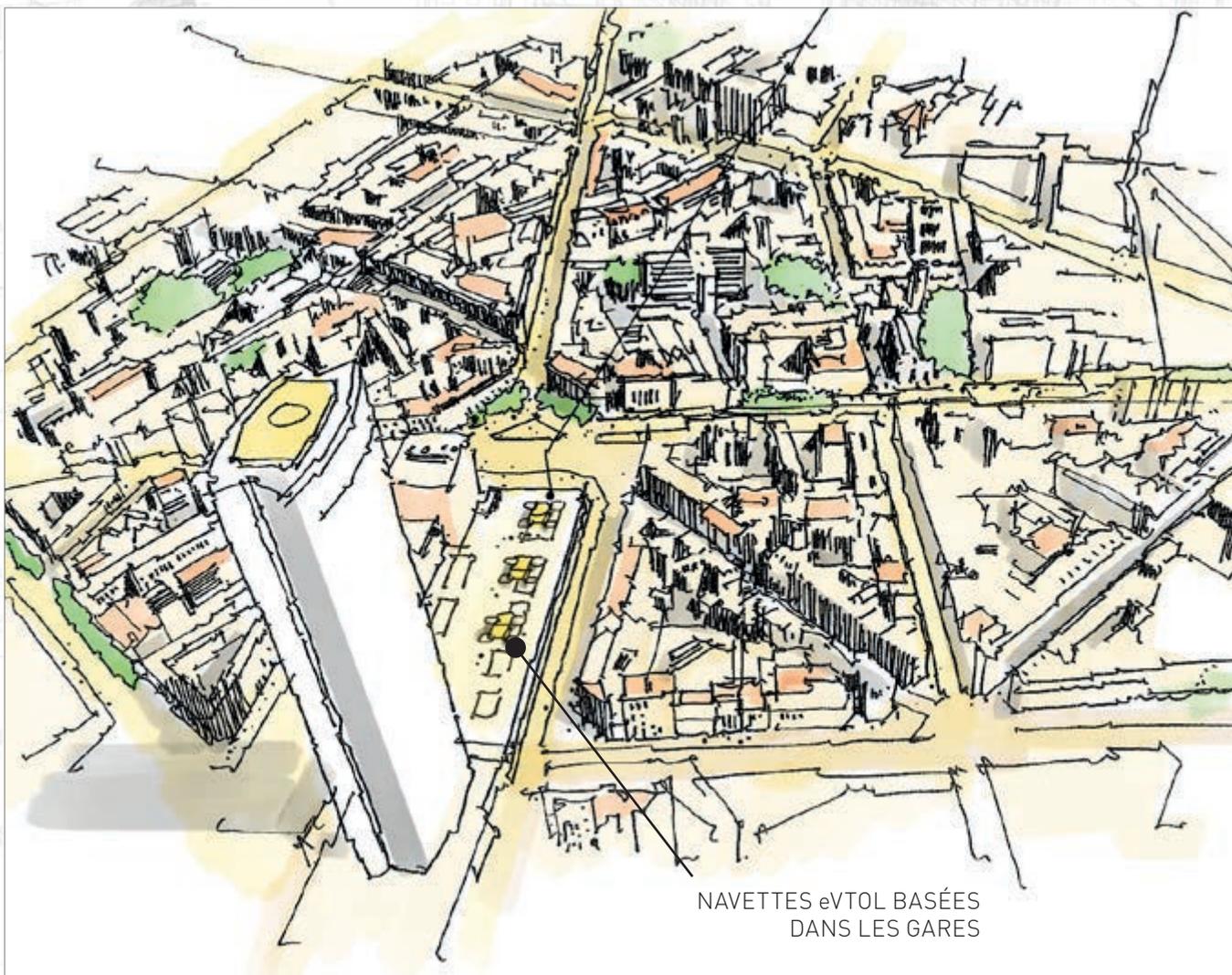


2

Pour ses déplacements intra-muros, Ludivine est abonnée à un service de mobilité qui lui permet d'optimiser son temps de trajet. Ce matin, elle démarre la journée en télétravail mais à 9h15, elle reçoit sur son téléphone une notification indiquant qu'elle doit assister à une réunion urgente, avec en pièce jointe une suggestion d'itinéraire et la combinaison la plus rapide de moyens de transport. Elle accepte la proposition, ce qui déclenche automatiquement une série de réservations et de paiements.

Le voyage commence à la station de métro la plus proche, vers le périphérique. Une fois qu'elle est sortie du métro, son appli de mobilité l'oriente vers un point de rendez-vous de covoiturage pour un trajet vers La Défense et informe le conducteur qu'elle est sur le point d'arriver. À mi-chemin, elle reçoit une nouvelle notification de l'appli mobilité : la circulation ralentit sur les prochains kilomètres à cause d'un accident, elle va être en retard à sa réunion. Elle décide d'abandonner son covoiturage pour la fin du trajet et saute dans un eVTOL à proximité pour arriver à l'heure.





NAVETTES eVTOL BASÉES
DANS LES GARES

3

Le soir, après une longue journée, elle n'a qu'une idée, rentrer aussi vite que possible. Le trafic est encore dense à cette heure et les métros encore bondés. Elle opte donc pour une navette UAM, plus chère, jusqu'à la gare la plus proche de chez elle. Admirer la ville depuis le ciel compense la différence de prix et ces trajets sont toujours l'occasion de discuter avec les autres passagers, ce qui arrive rarement dans le métro.

■ COULOIRS AÉRIENS



© Airbus 2021. Tous droits réservés.



© Hyundai Motor Group 2021. Tous droits réservés.



© Bradley Wentzel 2021. Tous droits réservés.



SE PRÉPARER À CET AVENIR

PRÉPARATIONS DES URBANISTES

L'UAM offre aux décideurs municipaux la possibilité de réinventer la ville : repenser l'utilisation du foncier, donner au projet de développement territorial une orientation d'avenir, reconverter le patrimoine existant, inverser la tendance dans les quartiers en déclin et améliorer la qualité de vie de la population. L'addition de l'espace aérien dans le paysage de la ville donne aux autorités chargées de l'aménagement urbain une dimension supplémentaire sur laquelle jouer. Cette opportunité exigera de se doter d'outils et de compétences inédits et ouvrira un nouveau champ de décisions à prendre.

Les urbanistes auront à traiter de plusieurs aspects : le dialogue avec la population et la question de l'acceptation de l'UAM par le public, la durabilité environnementale et économique, la conformité réglementaire, le zonage, la gestion du trafic et l'intermodalité. La densité urbaine sera également un facteur déterminant. Les villes « nouvelles » hyperdenses comme celles d'Asie et du Moyen-Orient (présentant des distributions discrètes de tours indépendantes logeant environ 10 000 personnes par km² [22]) ne prendront pas les mêmes décisions d'urbanisme que les villes européennes compactes et polycentriques de moyenne hauteur comme Barcelone, Paris, Berlin ou Athènes (contenant des pâtés de maisons traditionnels en îlot, accueillant 3 000 à 6 000 habitants au km²).

- Les modèles urbains à très faible densité, comme la Broadacre City (1932) de Frank Lloyd Wright, seront plus technologiquement viables avec l'UAM comme alternative à la voiture.
- Dans les environnements à densité moyenne, un vertiport multimodal dédié s'intégrerait dans la démarche de proximité des quartiers à usage mixte accueillant un tissu de logements socialement divers et de commerces.



© Skyports. Tous droits réservés.

- Le zonage vertical deviendra la norme dans les espaces à très haute densité. La taille des bâtiments des mégapoles mondiales évoluera vers le modèle « ville-immeuble ». L'UAM sera donc cruciale dès la conception et un facteur important pour la valeur immobilière (comme on l'a vu plus haut avec l'exemple d'Amal).

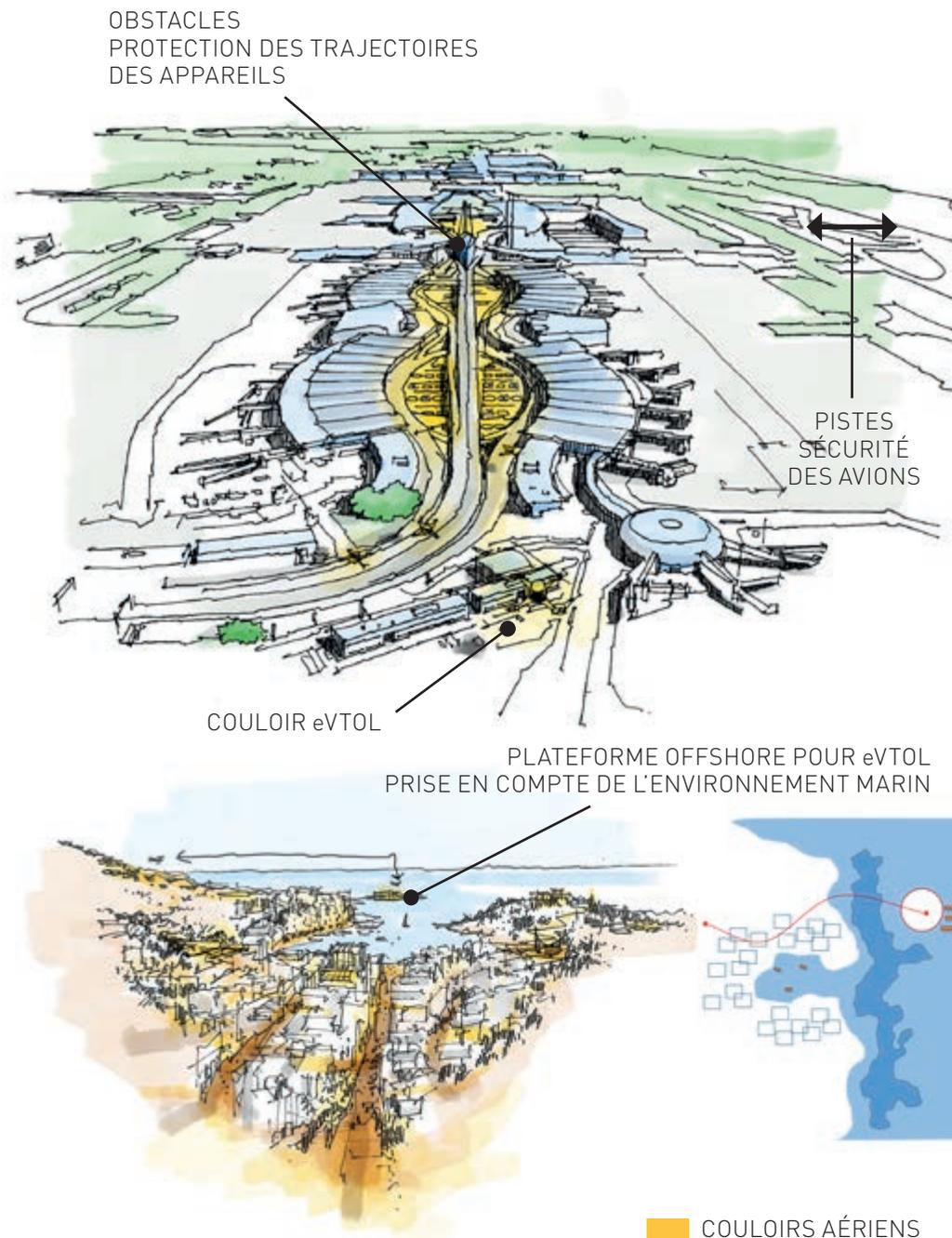
EFFETS SUR L'UTILISATION DU FONCIER

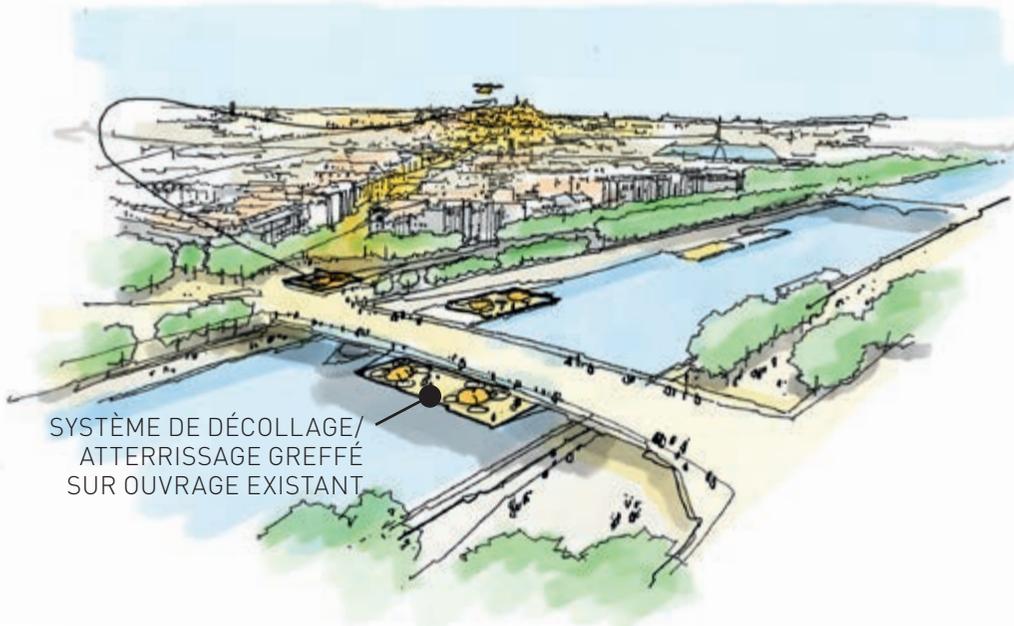
Si, dans un premier temps, l'UAM utilisera surtout les infrastructures existantes comme les toits, il lui faudra par la suite un maillage de vertiports qui doivent impérativement s'intégrer avec les utilisations actuelles et les concentrations d'activité, en particulier avec :

- les aéroports existants
- les nœuds intermodaux de transports en commun, le *transit-oriented development* (TOD) [23] pour le métro, le rail à grande vitesse, etc., soit par la création de nouvelles possibilités de TOD soit en consolidant l'existant
- les ports à trafic pendulaire de ville-lisière (*edge city*) dans divers types et densités de tissu résidentiel et à usage mixte
- les zones de tourisme, loisirs et événementiel
- les parcs d'activités et campus de recherche « exurbains »
- les plateformes logistiques et les zones industrielles.

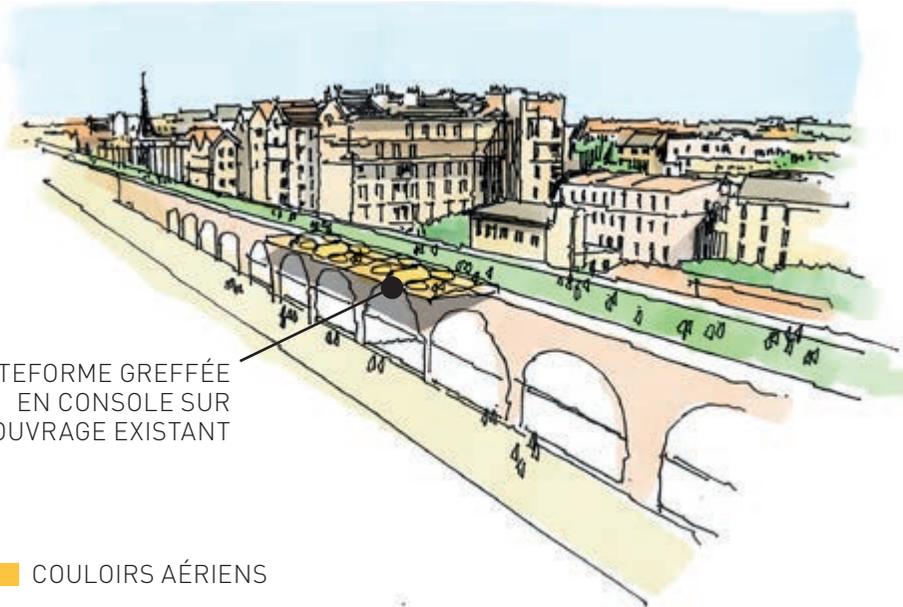
FIGURE 5 ►

EXEMPLES DE TERRAINS DÉDIÉS AU DÉVELOPPEMENT DE VERTIPORTS





SYSTÈME DE DÉCOLLAGE/
ATERRISSAGE GREFFÉ
SUR OUVRAGE EXISTANT



PLATEFORME GREFFÉE
EN CONSOLE SUR
OUVRAGE EXISTANT

■ COULOIRS AÉRIENS

Les décisions sur les vertiports (emplacement, exploitation et connectivité avec les autres transports) seront cruciales et susceptibles de modifier l'équilibre entre investissements public et privé. En particulier, la question de l'intégration supposera :

- ou de réserver des terrains spécifiquement pour le développement de vertiports, typiquement dans les zones périurbaines ou villes-lisière à faible valeur (exemples figure 5)
- ou d'adapter les usages du foncier (et des plans/cours d'eau) et le bâti existants, comme les ponts et pontons fluviaux (voir figure 6)
- ou de prévoir dès la conception une planification flexible pour intégrer les surfaces, consoles, ascenseurs ultrarapides, etc. nécessaires (figures 6 et 7).

FIGURE 6 ◀

EXEMPLES D'ADAPTATION DU BÂTI ET DES USAGES EXISTANTS DU FONCIER ET DES COURS D'EAU

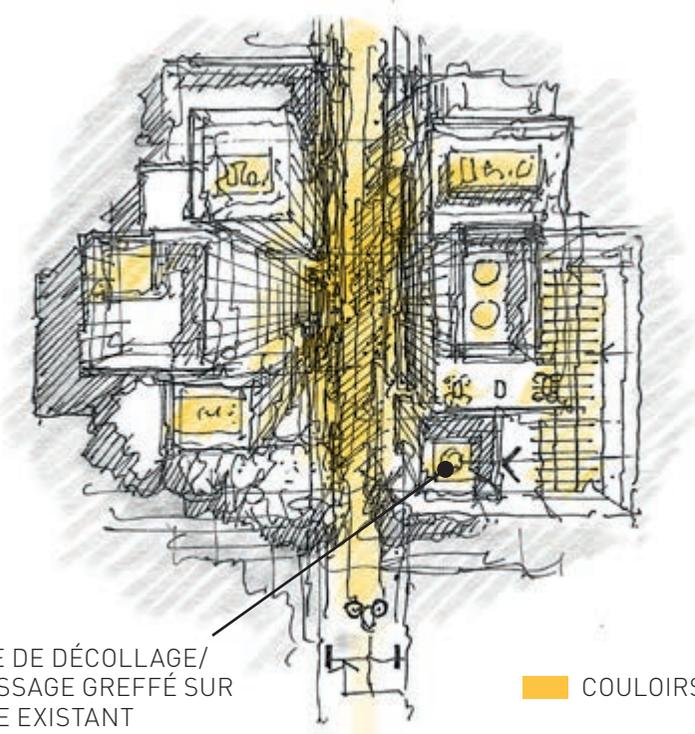
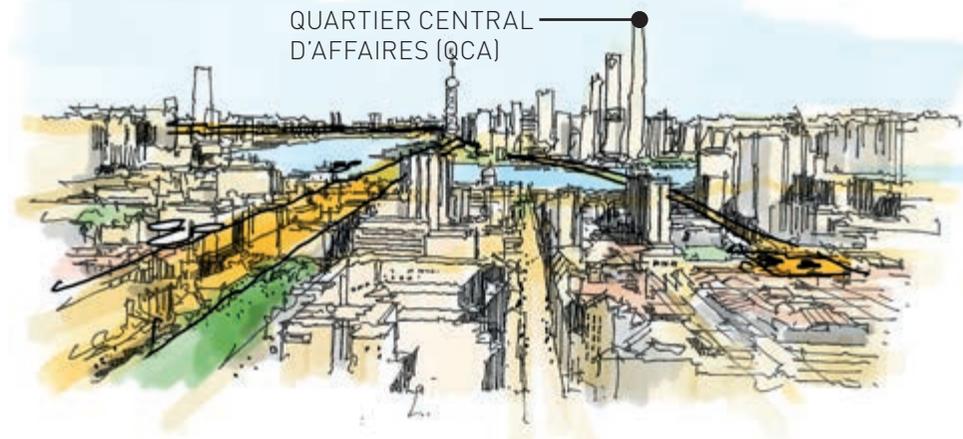
FIGURE 7 ►
**EXEMPLES DE PLANIFICATION
 FLEXIBLE INTÉGRANT LES
 VERTIPTS DÈS LE DÉBUT**

Le potentiel d'influence de l'UAM sur le marché immobilier secondaire est énorme : on a constaté que pour les transports terrestres, la présence d'un hub multimodal avait tendance à faire monter la valeur du foncier à ses abords immédiats. Les réseaux UAM pourraient bien avoir le même effet. L'accès aux nouveaux couloirs aériens basse altitude, surtout aux intersections majeures avec le réseau terrestre, dessinerait des zones de croissance des prix de l'immobilier, par exemple :

- au vertiport principal des QCA de grandes villes, qu'on peut imaginer au sommet d'un hub important de transports au sol
- au vertiport de l'aéroport ou
- à un vertiport de fret multimodal.

Mais le même raisonnement peut s'appliquer à une carte en 3D de valeur des surfaces selon leur étage, avec une augmentation partout où l'accès aux routes aériennes est possible*. Il s'agit essentiellement d'un nouveau segment de marché.

* de même que l'immobilier grimpa en flèche au percage des boulevards haussmanniens à travers le Paris médiéval. Le fait est peu connu mais cette modernisation était avant tout une opération immobilière, qui se révéla très lucrative.

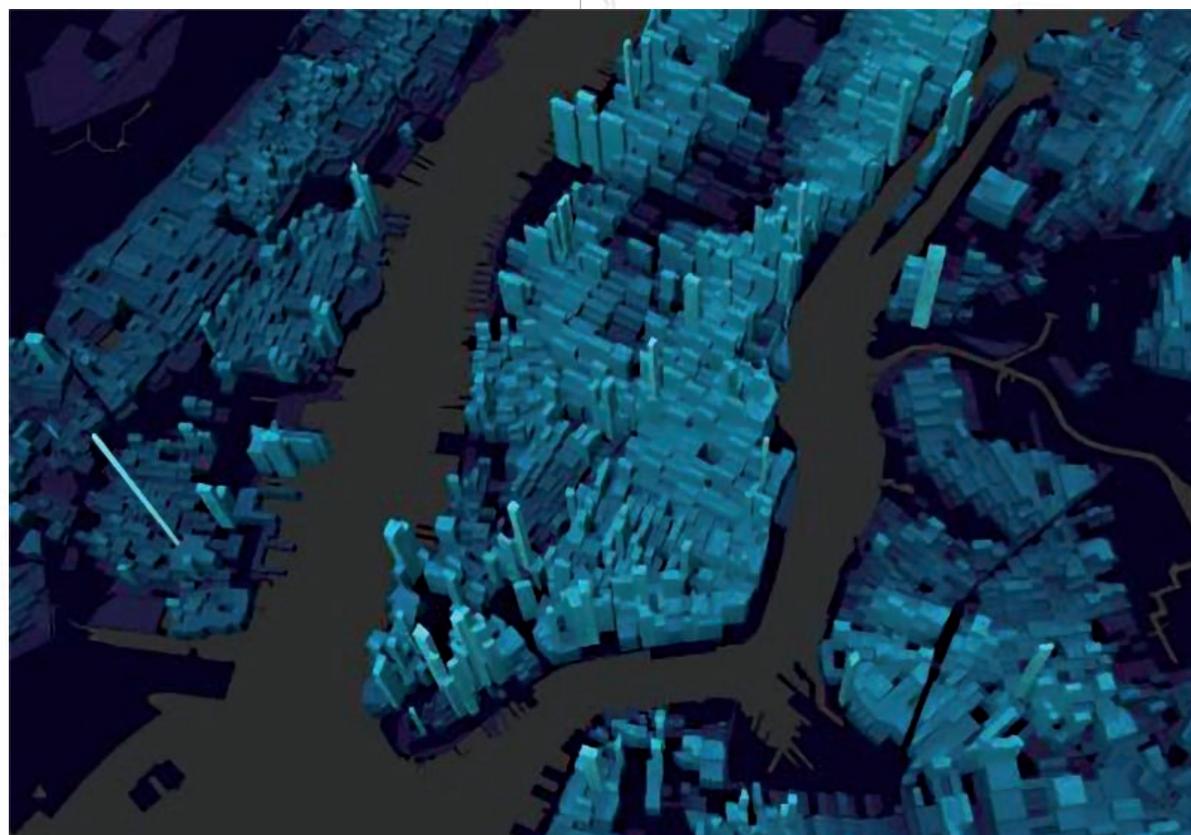


L'UAM apporte aussi la possibilité de relier des territoires montagneux périurbains où les transports ferrés ou souterrains ne sont pas rentables à cause de la géographie. Des villages à flanc de collines difficiles d'accès pourraient se transformer en zones très recherchées pour l'immobilier.

Les agglomérations et les partenariats privés qui identifieront ces opportunités avant les autres et contrôleront le foncier et l'accès aux routes aériennes seront aux premières loges pour profiter des augmentations de valeur du terrain et des surfaces bâties dans la géographie 3D démultipliée des emplacements les plus recherchés. De nouvelles technologies d'imagerie et de traitement des données pourraient être utiles pour cartographier les corrélations entre densité de population et revenu, valeur immobilière, hauteur des immeubles et tracés possibles des couloirs aériens (ex. en figure 8, ci-contre).

UN ZONAGE EN 3D

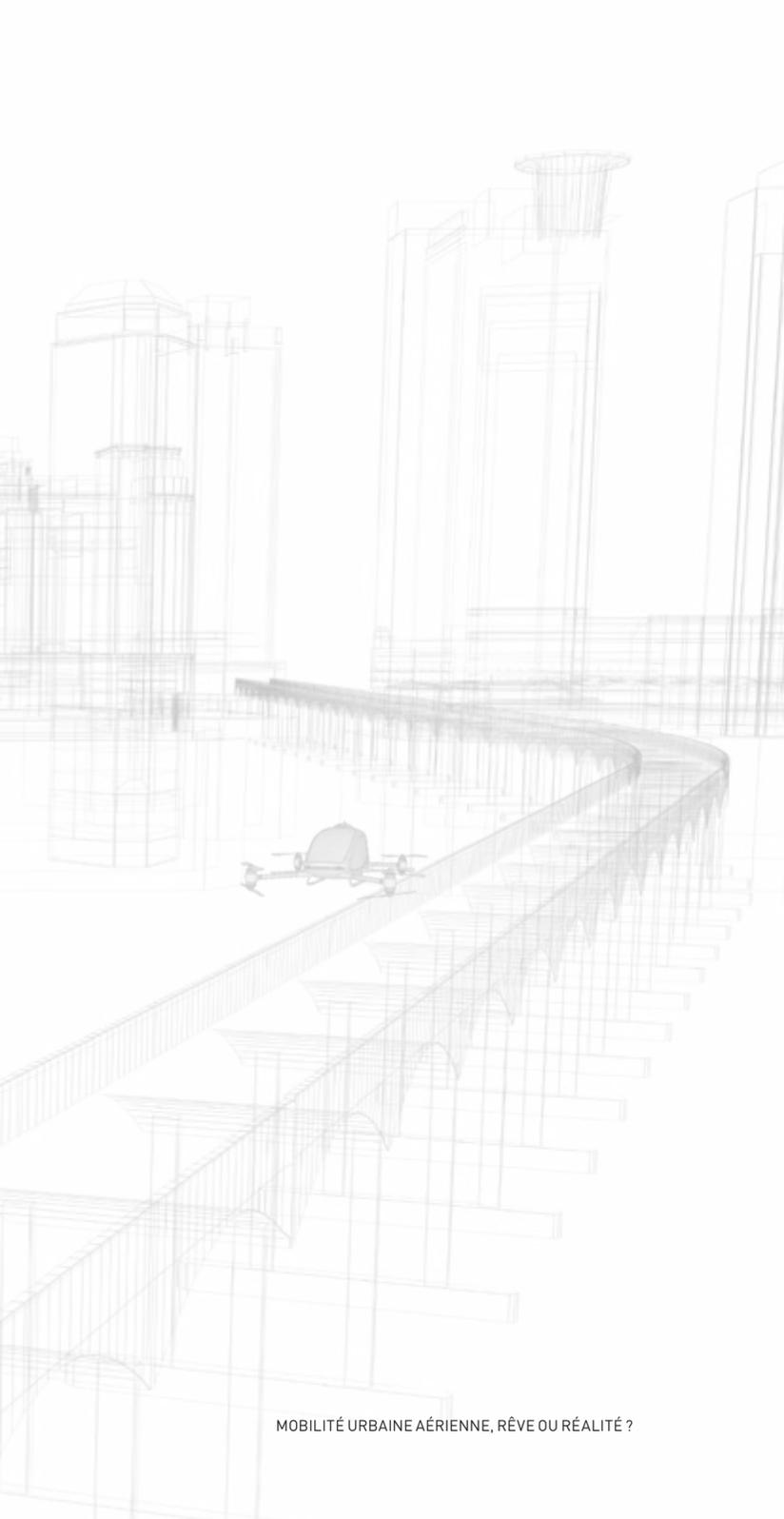
Les aires urbaines devront repenser le zonage : on peut dire que le plan classique de transports multimodaux intégrés, en 2D, passe à la 3D (liaisons verticales). L'accès aux couloirs aériens pourrait bientôt peser autant que l'accessibilité routière. Le passage d'un réseau 2D de nœuds et de lignes terrestres (*hub and spoke* en langage aérien) à un réseau 3D de couloirs aériens et de routes terrestres, polycentrique, avec des jonctions mixtes, est une révolution.



© Mapbox 2021. © OpenStreetMap 2021. Tous droits réservés.

Avec le temps, le réseau UAM connaîtra une différenciation par fonction. Des études d'Airbus et MVRDV [24] évoquent une superposition de réseaux spécialisés (commercial, R&D, tourisme et loisirs, logistique, etc.) chacun avec ses points de départ et ses destinations et sa distribution particulière dans le plan 2D et l'espace 3D de l'agglomération.

FIGURE 8 ▲
CARTE EN RELIEF DES DENSITÉS DE POPULATION À MANHATTAN (LA HAUTEUR DES IMMEUBLES N'EST PAS REPRÉSENTÉE)



La prise en compte de la diversité des besoins et des usagers supposera de déterminer les couloirs, les mécanismes de partage, la gestion et le contrôle du ciel urbain et donc d'élaborer un modèle 3D des voies aériennes spécifique à chaque région métropolitaine. Ce plan ne doit toutefois pas être disjoint de la planification 2D des transports terrestres multimodaux.

Les emplacements à privilégier pour les vertiports seront notamment indiqués par la topographie 3D des principaux couloirs d'UAM articulés avec les points nodaux existants de transports terrestres multimodaux.

Les urbanistes doivent se pencher sur les différents scénarios d'UAM intégrant au mieux les vertiports dans leur ville, en prenant en compte les facteurs environnementaux, sociaux et pratiques et en identifiant les zones possibles d'implantation de vertiport et d'intégration au réseau de transports.

Ce plan doit préserver une certaine flexibilité car les inconnues sont nombreuses, à la fois en matière de projets UAM et d'autres questions d'urbanisme. Il pourra ensuite informer les décisions d'infrastructure et d'investissement dans la phase de transition vers l'UAM.

DIALOGUE AVEC LE PUBLIC

Pour apaiser les inquiétudes des habitants concernant les impacts visuels et sonores et remporter l'adhésion, les municipalités devront ouvrir le dialogue avec le public, y compris les commerces et entreprises locaux. Plusieurs

volets pertinents pour l'acceptabilité sociale, dont la sécurité, doivent aussi être envisagés au niveau national ; ce point est traité dans la partie Préparations des régulateurs (page 46). Les autorités en charge de l'urbanisme souhaiteront naturellement traiter les problématiques locales (ex. les nuisances sonores pour les habitants ou les perturbations subies par les commerces proches des vertiports) prioritaires pour la population de leur ville. Elles auront donc tout intérêt à organiser la concertation sur place, pour comprendre les enjeux locaux et leur inscription dans le cadre de réflexion national. On peut imaginer diverses mesures locales, comme les comités de concertation de quartier, pour accompagner l'introduction de l'UAM dans la ville.

L'adhésion du public ne se limite pas aux ressentis individuels et à la perception des risques et des bénéfices ; ce processus est social avant tout [25]. L'acceptabilité peut reposer sur des positions et documentations présentées par des experts (et les médias) dont la terminologie et les formulations sont souvent difficiles à comprendre pour les non-initiés. Les gens doivent donc se fier à l'information collectée et interprétée par d'autres. C'est là que la confiance prend toute son importance.

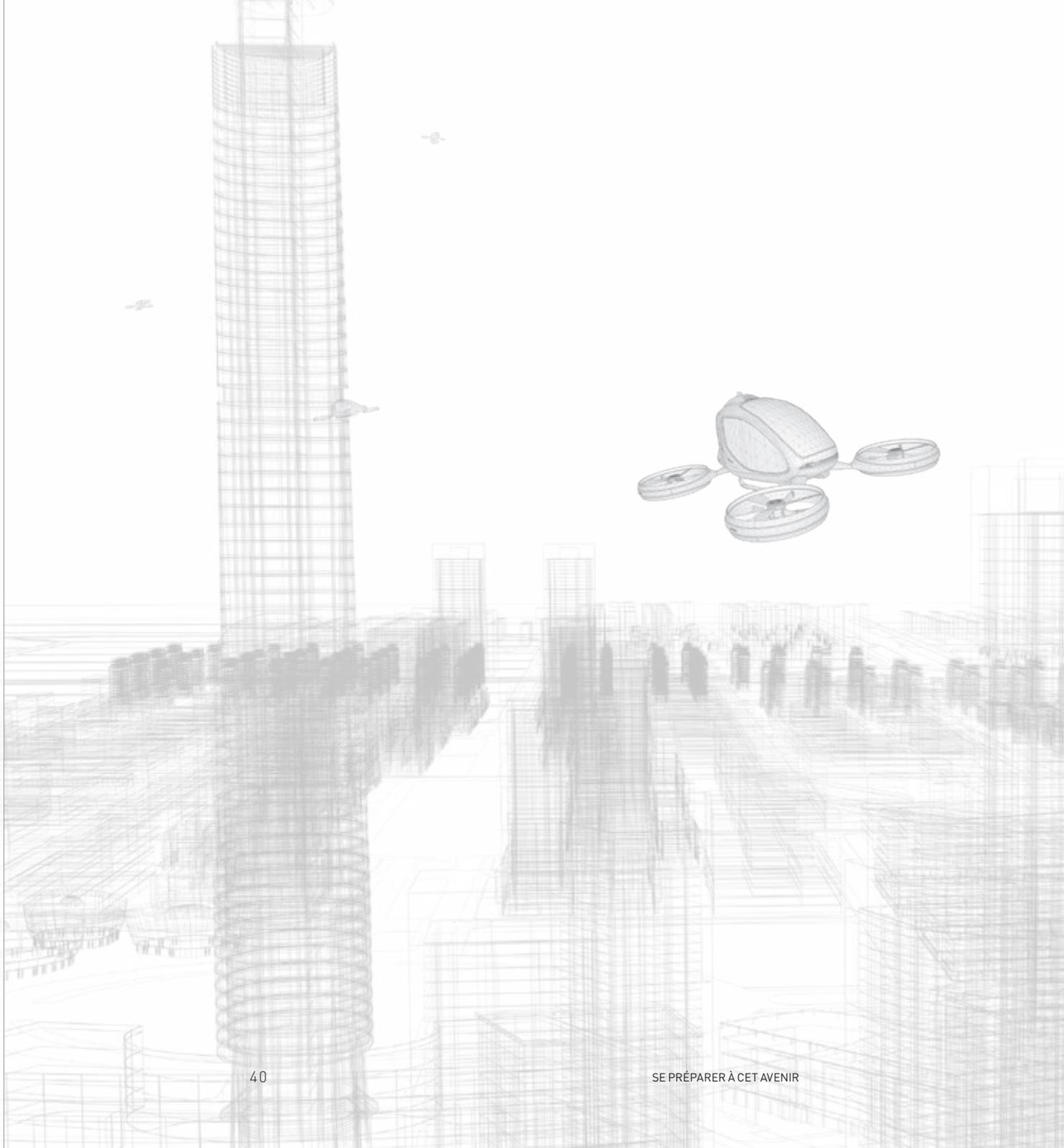
Un manque de confiance dans les décideurs, les autorités ou les régulateurs concernant la protection du citoyen, la juste répartition des risques et des bénéfices ou les effets annoncés peut dissuader le public d'apporter sa coopération et freiner l'adoption de l'UAM.

À l'inverse, la confiance peut avoir pour résultats une meilleure tolérance à l'incertitude, l'envie d'explorer les opportunités et l'ouverture aux idées nouvelles. C'est la confiance qui permet de prendre des décisions et de profiter des avantages de technologies pionnières sans avoir besoin de comprendre tous les détails.

Par conséquent, construire la confiance, ouvrir des canaux de communication et d'information et utiliser un langage accessible seront des composantes essentielles de l'introduction de l'UAM.

PRÉPARATIONS DES FOURNISSEURS D'INFRASTRUCTURE

Bien que l'emprise physique ne soit pas comparable à celle de la route ou du rail, les infrastructures UAM n'en restent pas moins des investissements gourmands en capital. Construire un réseau de vertiports aux quatre coins de villes densément peuplées exige une planification détaillée et les acquisitions foncières peuvent se révéler difficiles. Les vertiports ont des besoins spécifiques d'infrastructure, comme l'accès à l'énergie pour le rechargement et à la 5G pour les communications. Il se peut également qu'il faille tenir compte de facteurs micro-météorologiques comme les configurations de vent dans les zones de décollage et d'approche et reporter les vols ou avertir les passagers du risque de rafales soudaines.



EMPLACEMENT ET CONSTRUCTION DES VERTIPORTS

Il existe des vertiports pour les appareils eVTOL. Juridiquement parlant, aux États-Unis du moins, ils ont le même statut que les héliports, bien que le réapprovisionnement en carburant, la maintenance et le stockage des hélicoptères n'y soient pas autorisés. Leur conception est donc sujette aux normes internationales [26], tandis que d'autres normes ont aussi des conséquences pour la hauteur des bâtiments environnants.

Les fournisseurs d'infrastructure devront prendre en compte ces normes mais aussi surveiller leur évolution ainsi que la publication de nouvelles réglementations. Respecter les normes de conception et de construction sera plus facile dans les villes récentes où elles peuvent être prévues dès le départ. Dans les villes historiques, des recherches pointues devront identifier les zones adaptées à l'application de ces normes.

Bien que les réglementations applicables aux vertiports actuels soient celles des héliports, cette situation est amenée à changer avec l'apparition de normes spécifiques. Certaines caractéristiques-clés sont différentes : les appareils d'UAM seront plus légers et souvent plus petits, les exigences d'espace et de portance différeront et des équipements supplémentaires devront être présents, pour la recharge électrique des véhicules, la prise en charge des marchandises et des passagers et l'installation de postes de pilotage à distance.

La conception fera l'objet d'exigences rigoureuses sur la sécurité de l'UAM, comme la prise en compte et la remédiation des risques spécifiques aux eVTOL, par exemple le risque d'incendie dû à l'emballement thermique de la batterie. Un travail spécifique sur la sécurité devra réduire le risque d'une collision d'un eVTOL avec une construction au cours du décollage ou de l'atterrissage en ville. Il faudra également prévoir des sites de stationnement d'urgence dans la ville en cas de besoin ou de fermeture temporaire du vertiport. Une évaluation spécifique (appelée « dossier de sécurité ») devra apporter la preuve que tous les volets de l'exploitation sont sécurisés. Envisager au plus tôt les aspects de sécurité facilitera le déploiement ultérieur de l'offre de service.

On peut imaginer tout un éventail de plans de vertiport (comme ceux de Skyports [27] ou d'Urban-Air Port [28]) en fonction des services proposés par le ou les opérateurs eVTOL et de l'environnement urbain. Par exemple, dans les villes verticales denses, les vertiports peuvent être plus utiles sur les grands immeubles existants. Ils auront une ou deux aires d'atterrissage et ne seront pas des lieux de passage à haute fréquentation. Là où des surfaces planes plus grandes sont disponibles, comme dans certaines villes anciennes dont la hauteur est moindre, il pourrait y avoir plus de vertiports « multipad » dotés de six à dix aires d'atterrissage. Ceux-ci seront destinés aux nœuds de transport à transit plus élevé et il sera sans doute intéressant de les positionner



© Urban-Air Port et small. Tous droits réservés.

à proximité de points névralgiques existants, comme les infrastructures de chemin de fer ou les centres de congrès. Les fournisseurs d'infrastructure doivent se préparer à ces deux types de déploiement.

Un seul vertiport peut desservir les environs ou plusieurs vertiports peuvent être implantés dans un large périmètre urbain et servir à différents opérateurs. Selon les normes futures sur les vertiports, certains pourraient aussi fonctionner comme héliports et accueillir une gamme plus large d'appareils. Leurs fonctions peuvent être différentes : arrêt sur une ligne passagers, couplé à une aire de chargement de fret ou zone de maintenance rattachée à un dépôt d'eVTOL.

Il faut aussi prendre en compte les besoins en énergie des opérateurs UAM. Les solutions de recharge rapide nécessiteront une puissance significative. Les constructeurs de vertiport devront donc considérer la capacité du réseau électrique et d'autres sources d'énergie pour garantir une alimentation suffisante. Le volet énergétique de la planification, comme d'autres en jeu ici, exigera une concertation rapprochée avec l'administration de la ville.

Comme dans le cas des aéroports, la conception, la construction et l'exploitation de vertiport bénéficieront de la transformation numérique à l'œuvre dans le domaine des bâtiments et travaux publics. Les techniques de bâti immobilier modélisé (BIM) aideront à faire les bons choix grâce à la simulation interactive et à la réversibilité de toutes les solutions choisies.

L'interopérabilité des logiciels de BIM favorise la collaboration et la communication entre tous les interlocuteurs, assure des gains de productivité (gestion des coûts et du temps) par l'intégration des données numériques et des visuels en 3D et améliore les performances techniques et énergétiques des infrastructures. Les fournisseurs devraient d'ores et déjà analyser comment le BIM peut accélérer le déploiement des vertiports à l'avenir.

INTÉGRATION NUMÉRIQUE

La plateforme numérique supportant des infrastructures intelligentes naîtra de l'intégration des systèmes anciens mais aussi de l'ensemble des informations liées à la mobilité. Ce point est crucial pour que l'UAM trouve sa place dans le réseau général des transports urbains : les flux de données entre opérateurs offriront de nouveaux services de mobilité aux habitants, pour optimiser l'efficacité du réseau et réduire la dépendance aux véhicules personnels. La transition numérique s'appuiera sur l'interopérabilité des différents systèmes des opérateurs de transport et verra le développement de plateformes comme la MaaS (*Mobility as a Service* ou mobilité à la demande), c'est-à-dire le déploiement de services numériques selon une approche de service. Ceci ouvrira la porte à des interconnexions intelligentes avec les systèmes de transport existants, en particulier si les vertiports sont proches des stations

de métro, arrêts de bus, parkings et autres terminaux de transport.

Il peut être plus facile de coordonner les différents moyens de transport dans les villes récentes, puisqu'elles peuvent être pensées dans cette optique. Des applis d'accès aux transports en ville sont déjà disponibles, qui intègrent progressivement plus de composantes des réseaux. Ces applis seront l'interface privilégiée par laquelle le public utilisera le réseau UAM comme un élément parmi d'autres dans la planification d'itinéraires multimodaux (comme nous l'avons envisagé dans les exemples sur Shenzhen et Paris).

Les fournisseurs d'infrastructure devraient préparer leur offre dans le sens de l'intégration à la fois numérique et physique.

COMMUNICATIONS ET RÔLE DE LA 5G

Les réseaux de communication à haute intégrité et faible latence représenteront une infrastructure centrale dans l'exploitation des véhicules. En théorie, la 5G ne convient pas à l'UAM. Elle est principalement prévue pour des fréquences à trop courte portée et son cœur de marché suppose des infrastructures ciblant le sol (pas le ciel). Même si les antennes étaient adaptées aux véhicules UAM, la densité du réseau devrait être très élevée, trop d'antennes-relais seraient donc visibles depuis le ciel, compliquant potentiellement le *handover*

(transfert intercellulaire). Enfin, l'argument commercial essentiel de la 5G, son très haut débit de données, est complètement inutile pour la plupart des cas d'utilisation d'UAM (et particulièrement d'UTM).

La 4G, voire la 3G, a déjà fait la preuve qu'elle suffisait [29]. Par conséquent, pourquoi la 5G est-elle si souvent présentée comme un élément déterminant pour l'UTM ? Il y a trois raisons à ça.

1. À mesure du déploiement de la 5G, la 2G est abandonnée, ce qui libère les fréquences qu'elle utilisait (aux caractéristiques de propagation bien plus intéressantes du point de vue de l'aérien), qui peuvent ainsi être réutilisées.
2. La 5G utilise des antennes directionnelles à formation de faisceaux (*beamforming*) qui ne fonctionnent que parce que la 5G possède, de manière native, des capacités indépendantes de positionnement de très grande précision.
3. La 5G est conçue pour fournir une latence très faible pour les cas d'utilisation Véhicule-à-Tout (V2X) dans le domaine automobile.

Si les opérateurs d'infrastructure peuvent offrir un service combinant ces trois caractéristiques de la 5G, avec des performances garanties, il sera un catalyseur majeur pour l'UAM.

PRÉPARATIONS DES OPÉRATEURS

Les opérateurs d'eVTOL et fournisseurs de services d'UAM devront aussi échanger des données avec le responsable local de la gestion de l'espace aérien. Dans un contexte où le ciel des zones urbaines est occupé par toutes sortes d'appareils pilotés, autonomes ou automatiques, la gestion sûre et fluide des flux de trafic exigera des instances de régulation et de contrôle. Les principes qui ont structuré la gestion du trafic dans l'aviation conventionnelle se trouveront appliqués à l'espace aérien urbain au niveau local.

Envisagé sous l'angle de l'infrastructure, l'environnement urbain présente un certain avantage, par rapport aux zones peu peuplées et aux mers que survolent les avions conventionnels, car les possibilités de soutien opérationnel sont multiples, à l'heure où les promesses des réseaux sans fil 5G et de l'Internet des objets se concrétisent. Les technologies de contrôle traditionnel du trafic aérien (ex. surveillance radar ou communication vocale par VHF) ne peuvent pas fonctionner dans un environnement urbain dense. De nouveaux standards doivent donc être inventés. Toutefois, la 5G pourrait ne pas respecter les normes traditionnelles de sécurité. En tout état de cause, de nouvelles approches seront nécessaires.

LE CHOIX « SMART »

Pour s'adapter efficacement à l'UAM, les villes devront faire le choix de l'intelligence. Il suppose la numérisation au-delà de la construction ou de l'exploitation : l'infrastructure elle-même doit être intelligente pour améliorer ses performances et augmenter sa valeur en tant qu'actif. Par la combinaison d'infrastructures physiques (comme les routes, les voies ferrées et les bâtiments) et numériques (capteurs, réseaux sans fil, BIM), l'approche « smart » transformera tous les actifs de transport en pourvoyeurs d'information, sources de prise de décision plus efficace et de performance améliorée des actifs existants.

À l'avenir, les systèmes des villes ne seront plus vus comme de simples outils de gestion du trafic mais comme de véritables plateformes de gestion de la mobilité où seront intégrés transports en commun, piétons, vélos et véhicules aériens.

La plateforme de gestion de la mobilité du futur doit impérativement prévoir un observatoire de la mobilité. La création d'un jumeau numérique (ou « hyperviseur ») de la plateforme assurera l'interopérabilité des outils et la continuité numérique dans les processus d'échange d'information. Elle mettra à disposition des villes les ressources de l'intelligence artificielle (IA) pour simuler et prévoir les flux de trafic et anticiper les événements exceptionnels comme les festivals, concerts, défilés et processions.

Les hyperviseurs font désormais partie des équipements essentiels de tout centre

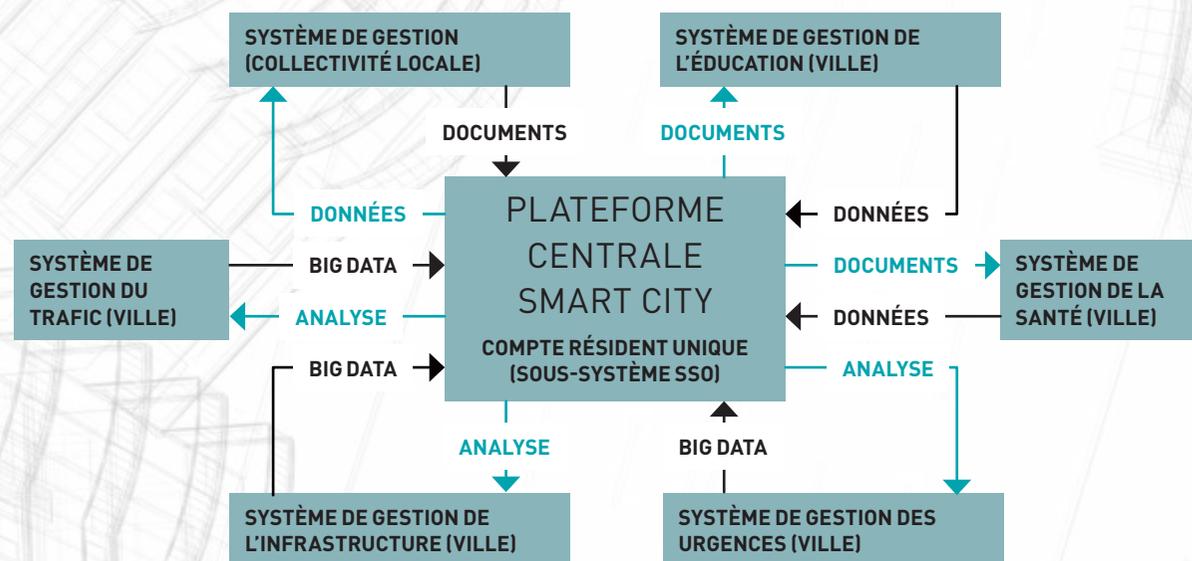


FIGURE 9 ▲
EXEMPLE D'ARCHITECTURE DE PLATEFORME DE MOBILITÉ (PROJET RÉEL)

opérationnel car ils offrent aux superviseurs une vision globale des flux de véhicules et de l'état des infrastructures via des capteurs distants et des caméras. Les systèmes d'information géographique (SIG) fourniront un modèle 3D fidèle de l'environnement urbain où évoluent les eVTOL, enrichi de données spatialisées qui optimiseront l'exploitation et la maintenance.

Combiner les technologies SIG et BIM permet d'imaginer des outils livrant une vision complète des infrastructures et opérations dans une ville, grâce à un jumeau numérique du réseau de transports dans son entièreté. La science des données et l'IA permettront aux superviseurs d'explorer sans se perdre et de comprendre les quantités énormes de données à leur disposition et les assisteront dans la prise de décision en cas de problème.

Dans le domaine de l'UAM, l'observatoire de la mobilité devra tenir compte des contraintes réglementaires et structurelles des villes et des zones de survol et articuler ces couloirs aériens avec les infrastructures terrestres dont les différents flux de transports (voiture, transports collectifs, piétons, vélos) seront synchronisés aux flux aériens.

L'offre de services des villes de demain est conditionnée à leur organisation selon ce type d'architecture mais aussi à l'adoption d'un réseau IP multifonctions fédérateur, d'équipements distincts mais interopérables, de pilotes pour les objets connectés ou d'interfaces de programmation (API), assurant les échanges entre logiciels.



© EHang 2021. Tous droits réservés.



© EHang 2021. Tous droits réservés.

PRÉPARATIONS DES RÉGULATEURS

Les problématiques intéressant les régulateurs sont la gestion de l'espace et du trafic aériens, la conception et la construction des vertiports et les questions de gestion du bruit, de sécurité informatique et de protection de la vie privée.

ACCEPTABILITÉ SOCIALE

Il est essentiel à son déploiement en masse que l'UAM soit acceptée par le public. Les habitants peuvent être mal à l'aise à l'idée de drones évoluant sous leurs fenêtres ou les survolant

de près quand ils marchent dans la rue. Leur perception du risque peut être renforcée en cas d'accidents en ville, comparé à l'aviation où la majorité des accidents se produisent à l'écart des zones habitées. La population peut aussi percevoir l'UAM comme une porte ouverte aux atteintes à la vie privée. Et comme évoqué plus haut, les habitants peuvent s'opposer à la construction de vertiports dans leur quartier si ceux-ci sont perçus comme la chasse gardée des classes sociales fortunées.

Les régulateurs doivent comprendre ces inquiétudes et mettre en place des cadres réglementaires adaptés qui favoriseront l'adhésion du public. Un des moyens d'améliorer

l'acceptabilité sociale est par exemple de donner la priorité à l'UAM pour les services médicaux et d'urgence (ex. livraisons pour greffes d'organe) en complément des ambulances automobiles.

Aujourd'hui, les régulateurs doivent ouvrir le dialogue avec le public, expliquer quels sont les scénarios possibles et recueillir opinions et commentaires. Ils pourront à partir de là soumettre différentes propositions de réglementation aux exploitants UAM, urbanistes et fournisseurs d'infrastructures mais aussi à la population.

GÉRER LE BRUIT

Le bruit produit par les appareils constitue un aspect à part dans l'acceptabilité sociale. Les normes de certification sonore dans l'aérien

traditionnel se basent sur le niveau effectif de bruit perçu (EPNL), applicable aux avions et aux hélicoptères et défini par l'OACI comme un indicateur numérique unique des effets subjectifs sur les êtres humains du bruit des aéronefs. À proximité des aéroports, le bruit est souvent évalué grâce à différentes mesures comme le LDEN qui calcule le niveau de bruit sur 24 heures avec des coefficients pour les différents moments de la journée ou de la nuit. D'autres mesures existent et il n'est pas établi qu'elles, ou d'autres, correspondront au cas de l'UAM. L'EPNL est conçu pour exprimer la nuisance du grondement d'un moteur d'avion mais à réaction, pas électrique. Le LDEN mesure l'effet cumulé du bruit au cours de la journée mais n'est pas nécessairement adapté aux drones qui circulent à moins de quelques centaines de mètres d'habitations.

Un autre facteur de complexité s'agissant d'UAM est la perspective tout à fait réaliste de plusieurs appareils eVTOL volant dans une même zone. Depuis le sol, ce scénario pourrait donner l'impression que le son arrive de tous les côtés et rebondit sur les façades, et ce même si le niveau sonore absolu, mesuré en décibels, de chaque aéronef est individuellement acceptable.

Les régulateurs devront prendre en compte tous ces facteurs et d'autres dans l'élaboration de régimes de contrôle du bruit pour l'UAM. Il serait utile qu'ils entament dès maintenant une réflexion concertée avec l'industrie et le milieu universitaire pour qu'une meilleure compréhension des impacts sonores d'UAM



© Lilium 2021. Tous droits réservés.

informe les décisions futures. Même si les eVTOL sont considérablement plus silencieux que les aéronefs classiques, les faire accepter peut rester difficile.

GARANTIR LA SÉCURITÉ ET LA SÛRETÉ

Des problématiques de sécurité nouvelles apparaîtront avec les véhicules autonomes opérant aux vertiports. La réglementation actuelle devra donc évoluer pour y répondre, définir les critères à respecter par les vertiports et proposer des méthodes acceptables par lesquelles les concepteurs et constructeurs de vertiports pourront apporter la preuve de la conformité de leur infrastructure.

Comme on l'a déjà noté, les perceptions du risque dans le public peuvent différer en matière d'UAM comparé à l'aérien conventionnel. Ceci est dû en partie à la localisation (en ville en zone très peuplée) et en partie au risque d'un taux d'accident en apparence élevé, si la fréquence des trajets augmente de façon spectaculaire.

Les normes de sécurité pourraient donc avoir à changer sensiblement à l'avenir, voire à être beaucoup plus exigeantes qu'elles ne le sont aujourd'hui.

L'innovation très dynamique sur le marché de l'UAM (déjà constatée actuellement et vraisemblablement amenée à durer) posera

aussi problème pour les normes de sécurité. Celles-ci reflètent habituellement l'état des opérations, matériaux et procédures en usage au moment de leur rédaction ; leur élaboration et leur validation peuvent prendre des années. Dans un marché connaissant des transformations rapides et profondes, les régulateurs auront du mal à suivre. Un bon exemple du problème est l'arrivée de l'intelligence artificielle et des appareils autonomes. Dans quelques années, les aéronefs pourraient bien se piloter eux-mêmes mais la réglementation correspondante n'existe pas à l'heure actuelle.

Les régulateurs doivent anticiper les modalités qui leur permettront de superviser cet environnement en préparation et dialoguer avec l'industrie sur les points les plus épineux, tels que la gestion de la sécurité dans un contexte de forte innovation.

GESTION DE L'ESPACE AÉRIEN

Le ciel au-dessus de la ville doit être approché comme une ressource aux parties prenantes variées dont l'utilisation efficace exige des règles et un organisme d'arbitrage. La gestion de l'espace aérien dépassera aussi la simple attribution de portions de l'espace aux exploitants d'aéronefs. Elle devra traiter de questions comme la réduction des effets du bruit sur les populations, la protection de la vie privée des habitants et la sécurisation des sites sensibles de la zone urbaine. Étant donné

la concentration des obstacles et la nature dynamique du milieu urbain, le transfert des technologies employées actuellement pour le contrôle aérien ne sera pas possible. De nouveaux capteurs et réseaux de communication et de données seront indispensables.

Bien qu'on anticipe l'obligation que les drones volant en ville soient capables de détecter et d'éviter par eux-mêmes d'autres aéronefs, la complète automatisation de ces fonctions ne sera pas atteinte à court terme. Les environnements urbains verront une coexistence des drones autonomes et des hélicoptères et eVTOL avec pilote. Dans ce contexte, il faudra des contrôleurs aériens pour réguler le trafic et des outils de support pour leur permettre de communiquer avec les pilotes et de suivre les vols.

Confrontée aux problèmes de congestion dans certaines portions de l'espace aérien, l'aviation conventionnelle a mis en place des compétences, des outils et des procédures pour réguler les flux d'appareils aussi efficacement que possible et pour mettre en correspondance la demande des compagnies aériennes et la capacité du contrôle aérien. Envisagée sous l'angle de l'UAM et de la MaaS, la gestion des flux prend une tout autre dimension puisque le transport aérien ne sera qu'une composante de l'offre globale de mobilité, sans compter qu'il faudra assurer la ponctualité pour des correspondances fluides et sereines.



DESSINER NOTRE AVENIR

Le concept d'UAM fait la promesse de trajets rapides à émissions faibles (voire nulles) et d'une réduction de la congestion urbaine. Si sa mise en œuvre est réussie, il offrira des services innovants de mobilité, complémentaires des transports au sol et capables de relier les zones périurbaines éloignées, en réponse à la demande.



© Airbus 2021. Tous droits réservés.

Le battage médiatique autour de l'UAM n'a jamais été aussi intense et nombreux sont ceux qui s'interrogent sur le devenir réel de ses promesses. Pour le moment, l'UAM soulève autant de questions qu'elle n'apporte de réponses et bien des obstacles se dressent encore sur sa route. Obstacles liés aux aspects économiques, à l'acceptabilité sociale, aux politiques environnementales (sur le bruit et les émissions), à l'utilité publique, à l'utilisation de l'espace et aux considérations de responsabilité et d'assurance.

Les barrières au développement du marché de l'UAM sont loin d'être insurmontables, en particulier à la lumière des solutions déjà apportées dans certains cas par les premières

utilisations des drones (pour les tâches d'inspection, la photographie aérienne, etc.). Notre position est que l'UAM relève davantage de la réalité d'un futur proche que du rêve, bien qu'on puisse difficilement avoir des certitudes sur l'ampleur ou la chronologie de la maturation du marché. Certaines prévisions semblent tomber dans l'excès d'optimisme. Le marché de l'UAM a plus de chances de décoller d'abord dans certaines parties de l'Asie, où pouvoirs publics et industrie partagent les mêmes orientations et une bonne organisation et où les pionniers trouvent des conditions favorables. C'est peut-être aussi la région où la demande est la plus forte à cause d'une croissance démographique et d'un développement urbain rapides. On y adopte de plus en plus l'approche

de *transit-oriented development* (TOD) avec des projets de bâtiments à usage mixte qui se prêtent bien aux services d'UAM. Les différents sites d'intérêt seront reliés entre eux et les passagers trouveront des offres de commerces, de services, de loisirs et de transports en commun parfaitement combinées. Rien de surprenant peut-être dans le fait qu'on voie dans cette région les avancées les plus nettes sur les vols de démonstration, la fabrication et la certification.

D'autres parties du monde, comme le Moyen-Orient, réalisent de belles avancées à la mesure de leurs ambitions et de leur croissance rapide. Elles seront très probablement au premier rang dans la réalisation des projets d'UAM.

Si personne n'est en mesure de prédire à quoi ressemblera le marché dans les années à venir, nous avons cherché dans ce livre blanc à exposer une vision qui prenne en compte à la fois le point de vue d'utilisateurs potentiels et les contraintes placées sur l'infrastructure urbaine. Cette vision est déclinée dans deux environnements assez différents, d'une part une ville moderne, du type de Shenzhen en Chine, avec une croissance rapide et de nouvelles infrastructures en train de sortir de terre, et d'autre part une ville historique, comme Paris, où l'UAM viendrait ajouter une dimension supplémentaire à un tissu urbain déjà développé et complexe.

Nous avons adopté une démarche de travail collaboratif, sur mesure et étayé techniquement, qui définit l'offre de services la plus adaptée au contexte local. Service touristique parisien ou solution flexible aux zones de lacunes d'infrastructure à Shenzhen, la mobilité aérienne urbaine a un avenir. Avenir qui devra s'adapter aux besoins locaux et à l'environnement bâti. Nous anticipons que le développement commencera par les drones de fret, s'étendra à la mobilité aérienne régionale et aux navettes aéroportuaires, avant d'atteindre les villes à partir de 2030, selon une feuille de route qui variera selon les régions.

Bien sûr, nous avons conscience que l'UAM, quand elle sera devenue réalité, ne ressemblera pas en tout point à notre vision, mais envisager différents scénarios permet de réfléchir aux moyens de se préparer. Bien que de nombreux acteurs soient concernés par cette étape de préparation, nous avons donné la priorité aux urbanistes, aux constructeurs d'infrastructure, aux opérateurs et aux régulateurs. Voici les principales mesures à mettre en place.

- Développer un écosystème collaboratif autant sur le volet technique (véhicule x infrastructure x plateforme numérique x plateforme multimodale) que du point de vue de la gouvernance pour conduire à plus de coopération entre tous les acteurs en présence (y compris ceux qui se feront jour par la suite)

- Veiller à l'intégration des vertiports, en leur réservant des terrains, en adaptant les utilisations actuelles du foncier (et des cours et plans d'eau) ou en les prenant en compte dès la phase de conception grâce à une planification flexible
- Repenser le zonage dans les aires urbaines, au moment où les couloirs aériens rattrapent en importance l'accessibilité routière et où on passe d'un réseau 2D à un réseau 3D intégré polycentrique avec des jonctions mixtes
- Établir une relation de confiance avec le public par un dialogue ouvert, l'information et l'éducation et un langage accessible. Des tables rondes locales peuvent être un moyen d'accompagner l'introduction de l'UAM dans la ville et d'éviter qu'elle ne devienne un marché élitiste de niche au potentiel jamais réalisé.
- Utiliser des techniques comme le BIM pour faire les bons choix d'implantation des vertiports, selon des critères comme l'accès à l'électricité, les communications, la gestion des phénomènes micrométéorologiques et l'évolution des services à mesure de la maturation du marché

- S'assurer de la disponibilité de réseaux de communication à intégrité élevée et à faible latence, infrastructure essentielle à l'UAM
- Fournir des solutions de positionnement, navigation et synchronisation (PNT) résilientes à la hauteur du défi présenté par l'environnement urbain, pour permettre la navigation suivant un routage adaptatif
- Combiner les technologies SIG et BIM pour créer des outils offrant une vue à 360° de l'infrastructure et du fonctionnement des transports dans une ville donnée, par exemple un jumeau numérique complet du réseau de mobilité et des facteurs qui l'impactent
- Du côté des villes, faire le choix « smart », qui recouvre la numérisation de la construction et l'exploitation d'une infrastructure mais aussi de l'infrastructure elle-même. C'est un moyen d'optimiser la prise de décision, par exemple via un observatoire de la mobilité comme plateforme de gestion sur laquelle les villes feraient des simulations et des prévisions de flux de trafic et se prépareraient aux grands événements et manifestations.
- Du côté des régulateurs, traiter les questions de gestion de l'espace et du trafic aériens, de conception et de construction des vertiports ainsi que les problématiques de nuisances sonores, de sécurité

informatique et de protection de la vie privée et, par conséquent, mettre en place les cadres réglementaires pour gérer le bruit et traiter les lacunes de la réglementation actuelle en matière de sécurité

Notre compréhension des villes, des transports, des infrastructures et des opérations a équipé les contributeurs à ce livre blanc, issus de toutes les branches du groupe Egis, de la largeur de vue et d'une perspective privilégiée pour mener cette réflexion et cette analyse de l'UAM. C'est ce point de vue, à la fois global et indépendant, qui nous a donné les moyens de discerner en quoi la conception et l'intégration des infrastructures de transport multimodal doivent progresser pour que l'UAM trouve pleinement sa place dans le tissu de la ville.

L'intégration de concepts d'aviation dans l'infrastructure urbaine est un vrai défi, à notre avis sous-estimé jusqu'à présent, bien que des opérateurs comme Volocopter reconnaissent la nécessité d'inventer de A à Z une chaîne de valeur spécifique [30]. Que la ville soit moderne ou historique, la pleine intégration de l'UAM au tissu urbain est la seule voie pour en faire un concept commun, aux bases économiques solides, avalisé par les politiques, acceptable et accepté sur le plan social et le plan écologique.



REMARQUES ET PERSPECTIVES DES CONTRIBUTEURS EGIS

MOBILITÉS

« Egis a une longueur d'avance sur le sujet. Nous travaillons avec nos équipes de production sur une nouvelle urbanisation des données et des systèmes. L'UAM s'inscrit parmi les autres modes de transport et demande une réelle interactivité entre données et applications. Nous l'intégrerons à nos modèles à mesure de son développement, pour mieux en comprendre l'intérêt et les applications dans une ville. »

Pascal Seum Souk, Yves Cohen

VILLE

« Les réseaux intégrés, multimodaux et pilotés par IA, des schémas de transports terrestres des villes d'aujourd'hui s'appuient sur des transports en commun variés, à grande capacité. L'UAM saura y trouver sa place et, ce faisant, modifiera le système terrestre existant. La faisabilité de l'intégration des eVTOL aura un effet majeur sur les modalités de cette transformation ; quoi qu'il en soit, l'approche ne sera pas la même que pour les véhicules à plus grande capacité. »

Ion Besteliu, Isabelle Lopez

EXPLOITATION

« L'UAM en est à ses débuts mais ouvre déjà des possibilités inédites très intéressantes d'utilisation des bâtiments privés et des espaces publics au service d'une offre de mobilité plus complète. »

Patricia Yammine

BÂTIMENTS

« On peut facilement adapter les bâtiments aux véhicules UAM, très légers. La difficulté est dans le trajet des passagers du toit à l'accès sur la rue, au rez-de-chaussée. Nous pensons donc que des structures plus légères installées sur les ponts ou les équipements très fréquentés par les piétons (centres commerciaux ou de congrès) seront préférables en centre-ville, parallèlement aux sites hors de la ville. L'environnement urbain du futur aura sans doute connu une lente évolution à partir de notre réalité actuelle plutôt qu'un bouleversement brutal. »

Matthieu Angenieux, Jason Easter, Leonard Milford

CONSEIL

« Identifier un site candidat à l'UAM ne représente que la moitié du travail : mettre sur pied les bonnes équipes et les structures de gouvernance adaptées pour lancer le projet, là est la vraie difficulté. »

Noémie Bercoff

TRANSPORT FERROVIAIRE

« L'UAM ajoute une 3^e dimension, celle du ciel, et je suis convaincu qu'en cela, elle saura bientôt offrir une composante complémentaire intelligente intégrée aux systèmes existants de transports des villes. »

Stéphane Dumarty

AVIATION

« L'UAM pourrait révolutionner les villes, le potentiel est là, mais le scénario d'une transformation graduelle est plus réaliste. Bien qu'il soit passionnant de rêver une ville future totalement différente, à court terme, les développements les plus utiles émergeront par une croissance organique. »

Andrew Burrage, Jan Cernan, Éric Denèle, Richard Derrett-Smith, Hervé Drevillon, James Hanson, Nick McFarlane, Vincent Vimard

GLOSSAIRE

TERME	DÉFINITION
AAM	<i>Advanced Air Mobility</i> , mobilité aérienne avancée. Concept de transport aérien par appareils eVTOL. L'AAM étend le concept d'UAM en intégrant des cas d'utilisation non spécifiques au fonctionnement en milieu urbain.
ANSP	<i>Air Navigation Service Provider</i> , fournisseur de services de navigation aérienne. Organisation fournissant des services de gestion du trafic aérien (gestion de l'aéronef en vol ou sur l'aire de manœuvre d'un aéroport)
API	<i>Application Programming Interface</i> , interface de programmation. Logiciel permettant à deux applications de communiquer
ATC	<i>Air Traffic Control</i> , contrôle de la circulation aérienne. Services fournis aux aéronefs au sol ou en vol dans un espace aérien contrôlé et services d'information aux aéronefs dans l'espace aérien non contrôlé
BIM	<i>Building Information Modelling</i> , bâti immobilier modélisé. Génération et gestion de représentations numériques de caractéristiques physiques et fonctionnelles d'un lieu
Broadacre City	Concept de développement urbain ou périurbain proposé par Frank Lloyd Wright
C2	Liaison de communication de commande et contrôle (<i>Command and Control</i>) sans charge utile (<i>control and non-payload communication</i> , CNPC) établi entre l'aéronef et le télépilote, servant à contrôler les mouvements de l'appareil. La liaison C2 n'est pas utilisée pour transmettre de la charge utile (c'est-à-dire du son, de la vidéo, etc.).

TERME	DÉFINITION
CDG	Aéroport de Paris-Charles de Gaulle (Roissy, nord de Paris)
CO ₂	Dioxyde de carbone. Un des principaux gaz à effet de serre liés au réchauffement climatique
Code QR	De l'anglais <i>Quick Response code</i> , code à réponse rapide. Type de code-barres, lisible par un appareil électronique numérique, stockant des données sous forme de pixels d'une matrice carrée
DEP	<i>Distributed Electrical Propulsion</i> , propulsion électrique distribuée. Système de propulsion d'aéronef à alimentation électrique où les moteurs sont répartis en plusieurs endroits de l'appareil
EPNL	<i>Effective Perceived Noise Level</i> , niveau effectif de bruit perçu. Niveau instantané de bruit perçu (PNL) corrigé pour les irrégularités spectrales et la durée
eVTOL	<i>Electric Vertical Take Off and Landing</i> , [appareil] électrique à décollage et atterrissage vertical. Aéronef électrique ou hybride capable de vol stationnaire et de décoller et atterrir verticalement
HAP	<i>High Accuracy Positioning</i> , positionnement de haute précision, par la combinaison des technologies du système mondial de navigation par satellite (GNSS) et de cinématique en temps réel (RTK)
Hub and spoke	Réseau dont tous les points sont reliés via un seul site intermédiaire, appelé « nœud » ou « hub »

TERME	DÉFINITION
Hyperviseur	Jumeau numérique du réseau de mobilité qui permet de visualiser et corréliser en temps réel toutes les données produites par les systèmes sous-jacents et d'améliorer l'efficacité de la gestion opérationnelle
IA	Intelligence artificielle
IP	<i>Internet Protocol</i> , protocole internet. Ensemble de protocoles d'adressage et de routage des données
L _{DEN}	Mesure du bruit qui intègre le niveau sonore sur 24 heures mesuré à plusieurs moments qui sont pondérés différemment pour le calcul
MaaS	<i>Mobility as a Service</i> , mobilité comme service. Intégration de différents moyens de transport au sein d'un service unique de mobilité disponible à la demande
MAHHL	Villes de Maastricht, Aix-la-Chapelle, Hasselt, Heerlen et Liège qui ont collectivement adhéré à l'Initiative de mobilité aérienne urbaine visant à améliorer les services publics et la connectivité dans la région
Multipad	Aires d'atterrissages multiples intégrées
NASA	<i>National Aeronautics & Space Administration</i> , administration nationale de l'aéronautique et de l'espace, aux États-Unis
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale. Agence de l'ONU qui étudie et organise les principes et techniques de navigation aérienne internationale et encourage la planification et le développement du transport aérien international pour une croissance sûre et ordonnée

TERME	DÉFINITION
Périphérique	Route périphérique à deux voies et à accès limité, à Paris en France
PPP	Partenariat public-privé. Forme de coopération entre plusieurs entités des secteurs public et privé
QCA	Quartier central des affaires
SIG	Systèmes d'information géographique. Système informatique qui analyse et affiche les données spatiales et géographiques
SSO	<i>Single Sign-on</i> , authentification unique. Méthode permettant à l'utilisateur de se connecter à plusieurs applications informatiques grâce à un seul identifiant
Systèmes de propulsion conventionnelle	Moteurs fonctionnant à l'essence, au diesel, au kérosène ou au carburant pour fusée
TOD	<i>Transit-Oriented Development</i> , développement immobilier s'appuyant sur les réseaux de transports en commun. Stratégie de planification et de conception visant à maximiser le nombre de types différents d'espace (résidentiel, commercial et de loisirs) à distance de marche des transports en commun, notamment gares ferroviaires et plateformes multimodales

TERME	DÉFINITION
UAM	<i>Urban Air Mobility</i> , mobilité aérienne urbaine. Système de transport urbain à la demande hautement automatisé utilisant des drones de transport passagers. Le terme inclut aussi souvent les drones de livraison de colis et marchandises
UTM	<i>UAS (Unmanned Aircraft System) Traffic Management</i> , gestion du trafic des drones. Système de gestion du trafic aérien pour les aéronefs sans équipage télécommandés ou autonomes
V2X	<i>Vehicle to Everything</i> , Véhicule à Tout. Technologie permettant aux véhicules d'échanger des informations entre eux, avec les infrastructures et les piétons
Vertiport	Plate-forme permettant les opérations des drones eVTOL de l'UAM
VLL	<i>Very Low Level</i> , très basse altitude. Volume de l'espace aérien situé à moins de 500 pieds au-dessus du niveau du sol (hors constructions)
VTOL	<i>Vertical Take-Off and Landing</i> , [appareil] à décollage et atterrissage vertical. Aéronef capable de vol stationnaire et de décoller et atterrir verticalement

LIENS ET RÉFÉRENCES

- [1] <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=d9c55828-a451-458e-9a84-0f733d847bae>
- [2] https://www.who.int/gho/urban_health/situation_trends/urban_population_growth/en/
- [3] <https://inrix.com/press-releases/2661/>
- [4] <https://www.hyundai.com/au/en/why-hyundai/concept-cars/urban-air-mobility>
- [5] [Lilium » Why we don't plan to operate flights under 20km](#)
- [6] <https://www.ehang.com/app/en/EHang%20White%20Paper%20on%20Urban%20Air%20Mobility%20Systems.pdf>
- [7] <https://www.uber.com/elevate.pdf>
- [8] <https://www.asianskymedia.com/news/2020/11/2/chinese-evtol-amp-uam-market-update>
- [9] <https://dronelife.com/2020/11/30/chinas-state-council-urges-acceleration-of-urban-air-mobility/>
- [10] <https://www.unmannedairspace.info/urban-air-mobility/roland-berger-close-100000-passenger-drones-flying-2050/>
- [11] <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2021-02-17/spac-mania-flying-cars-are-an-extremely-expensive-ride-for-investors>
- [12] Vertical Flight Society (VFS)
- [13] <https://evtol.com/news/why-uber-thinks-evtol-air-taxis-will-be-affordable/>
- [14] https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/news/2018-09-25-mahl-cities-maastricht-aachen-hasselt-heerlen-li%C3%A8ge-collectively-join_en
- [15] <https://www.straitstimes.com/singapore/singaporeans-more-accepting-of-drones-than-those-in-west-but-concerns-remain>
- [16] https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/bah_uam_executive_briefing_181005_tagged.pdf
- [17] <https://www.nature.com/articles/s41467-019-09426-0/figures/4>
- [18] « Electric VTOL Configurations Comparison », *Aerospace*, 2019 [tableau 17]
- [19] Département de l'Énergie des É-U 2015, AIE 2020
- [20] https://www.transformative-mobility.org/assets/publications/ASI_TUMI_SUTP_iNUA_No-9_April-2019.pdf
- [21] <https://www.airservicesaustralia.com/embraerx-and-airservices-australia-release-concept-of-operations-for-urban-air-mobility/>
- [22] <https://futurecitiesenviro.springeropen.com/articles/10.1186/s40984-016-0021-3>
- [23] https://en.wikipedia.org/wiki/Transit-oriented_development
- [24] <https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/urban-air-mobility.html>
<https://www.mrvd.nl/projects/421/airbus-uam>
- [25] https://www.researchgate.net/publication/221988639_Social_acceptance_of_carbon_dioxide_storage
- [26] Réglementation de l'OACI, annexe 14, volume II Hélistations
- [27] <https://skyports.net/>
- [28] <https://www.urbanairport.co.uk/>
- [29] <https://www.unmannedairspace.info/utm-industry-leader-interview/the-idea-that-5g-can-enable-bylos-missions-is-something-of-a-myth-gokul-srinivasan/>
- [30] <https://press.volocopter.com/images/pdf/Volocopter-WhitePaper-2-0.pdf>



www.egis.fr

Egis
15, avenue du centre
CS 20538 Guyancourt
78286 Saint-Quentin-en-Yvelines Cedex
France

communications.aviation@egis-group.com

