

*Le développement des drones remet en question les technologies avioniques. Une autre manière de penser les aéronefs du futur, dans leur pilotages, leur formes et leur fonctions*

## L'avion automatique

Les drones sont des avions semi-automatiques. Il n'y a pas de pilote à bord. Celui-ci reste à terre. Cependant, certains drones peuvent être programmés pour être autonomes du décollage à l'atterrissement.

Les militaires sont certainement à la pointe du progrès en matière d'aéronefs automatiques, mais leur domaine n'est a priori pas partageable avec l'aviation civile.

Au civil, il faudra longtemps avant que des passagers payants acceptent de voyager dans des avions commerciaux sans pilote. Le fret n'a pas ces angoisses et la technologie du vol automatique est bientôt mature. Il restera à maîtriser la cohabitation sur les voies de circulation aéroportuaires dont la réglementation internationale est trop rigide pour évoluer rapidement.

.... A moins que, puisque la construction d'un aéroport spécifique pour le fret coûte moins cher qu'un avion gros porteur, et probablement moins cher que les adaptations des aéroports actuels à la cohabitation avec de l'aviation automatique, le lobby des transports sache presser les gouvernements pour la mise en oeuvre d'aéroports spécifiques, contre l'action des défenseurs de l'environnement. Au-delà de ces polémiques attendues, l'avion de transport de fret automatique n'est pas soumis à la même exigence de rapidité que le gros porteur de passagers. Dans ce cas, les avions automatiques peuvent être plus lents, moins bruyants et à décollage et atterrissage courts. Il suffirait alors de d'aménager des petites pistes existantes à ce type de transport.

Pour l'histoire, le Breguet 941, inventé dans les années 60, décollait ses 20 tonnes en 200 m, volait à 400 km/h et atterrissait en 120 m.



Avec les technologies d'aujourd'hui, on peut rêver d'un avion automatique relativement silencieux, emportant 20t de fret en conteneur multimode normalisé, décollant sur 500m et volant à 600 km/h, avec 1000 km d'autonomie à pleine charge. Ces caractéristiques sont à optimiser. Par ailleurs, si l'avion est automatique, il est plus facile, et beaucoup moins coûteux en investissement et en fonctionnement, de mettre en oeuvre plusieurs petits porteurs qu'un gros porteur : la logistique d'un avion est exponentielle avec sa charge utile, la puissance nécessaire varie comme le cube de l'augmentation de masse (une masse 2 fois plus élevée nécessite 8 fois plus de puissance), et la résistance de l'air varie comme le carré de la vitesse. La course au gigantisme comme celle des navires porte-conteneur serait une absurdité pour des aéronefs sans pilote. Un seul conteneur (20t max) par avion apparaît comme un optimum.

Le critère principal est le niveau de bruit au décollage, impératif pour une acceptation sociale. Le bruit généré est d'autant plus fort que l'avion chargé est lourd et rapide. Un trafic de quelques conteneurs (quelques avions cargos) par jour est plus acceptable qu'une noria de gros porteurs.

La distance de décollage est un critère important : il est plus facile de construire (réhabiliter ?) et exploiter des pistes de 500m que de 3 km. A l'atterrissement, le pilotage automatique peut optimiser la précision du toucher et la longueur de la piste.

La vitesse est un critère relatif : le fret très urgent à longue distance peut passer avec les moyens actuels. Cependant le fret automatique peut avoir l'avantage d'une meilleure proximité entre expéditeur et destinataire si les aéroports dédiés sont plus nombreux.

L'autonomie n'est pas un critère important : les vols longs peuvent se faire en plusieurs escales.

La masse au décollage est compatible avec les critères précédent. Le fret en conteneur normalisé simplifie les procédures de chargement/arrimage/décharge et permet d'optimiser la forme de l'avion.

Le fait que l'avion soit entièrement automatique peut inciter à d'autres innovations :

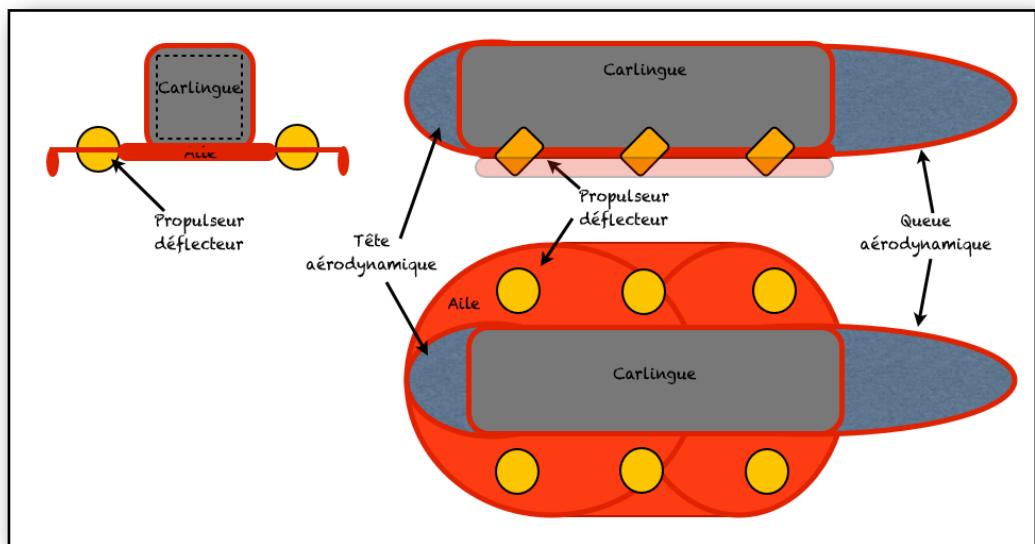
- Suppression du poste de pilotage et des coursives : une présence humaine oblige à des équipements et des structures particulières, tels que climatisation, pressurisation, sièges, éclairages, regroupement des contrôles et câblages associés, planchers, soutes et coffres à bagage. L'ensemble alourdit les structures, complique les systèmes et génère une consommation supplémentaire (poids de carburant, puissance des moteurs,...). Il semble possible de diviser par deux le poids à vide sans perdre la capacité de fret... et de s'affranchir de nombreuses exigences liées à la présence humaine à bord.
- Commandes de vol au plus près des actionneurs : le câblage est simplifié, un seul câble courant pour l'énergie et un seul câble bus (fibre optique pour s'affranchir des interférences électromagnétiques) pour les ordres. Les volets de profondeur et de direction peuvent être supprimés, simplifiant les exigences liées au gel.
- Réseau des capteurs et d'actionneurs de type informatique : les capteurs nécessaires du fait de la présence humaine sont inutiles. Reste les capteurs nécessaires au vol qui peuvent être connectés à un unique câble réseau (reste à résoudre la sécurité du réseau et la robustesse informatique)
- Boîte noire : la boîte noire émet en permanence les paramètres de vol qui sont enregistrés au sol (ceci traite le problème des boîtes noires introuvables), en même temps qu'elle sert d'interface pour recevoir les ordres du contrôle aérien et les paramètres des avions du voisinage. Cette boîte noire peut aussi assurer un télé-pilotage de secours au cas où

l'informatique embarquée viendrait à défaillir. Néanmoins on peut analyser le surcroît de complexité lié à ce système, avec, au bout du compte, une diminution globale de la fiabilité ou obligeant à l'abandon de choix aéronautiques qui nécessiteraient des réactions de pilotage trop performantes pour être traitées en télé-pilotage.

- Conteneur placé dans une forme spécifique de l'avion elle-même montable/démontable, avec système optimisé pour déplacer le conteneur du camion ou du wagon dans la forme : l'objectif est d'optimiser le temps d'escale. A noter qu'un conteneur de 12m x 2,3m x 2,3m a une capacité de 70m<sup>3</sup> et une charge utile de 28t (données arrondies). L'absence de personnel à bord est une économie qui peut faire préférer des aéronefs plus petits, moins bruyants et nécessitant moins d'infrastructures au sol. Les conteneurs de 6m sont alors intéressants. Les charges lourdes et encombrantes peuvent être laissées à l'aviation classique.

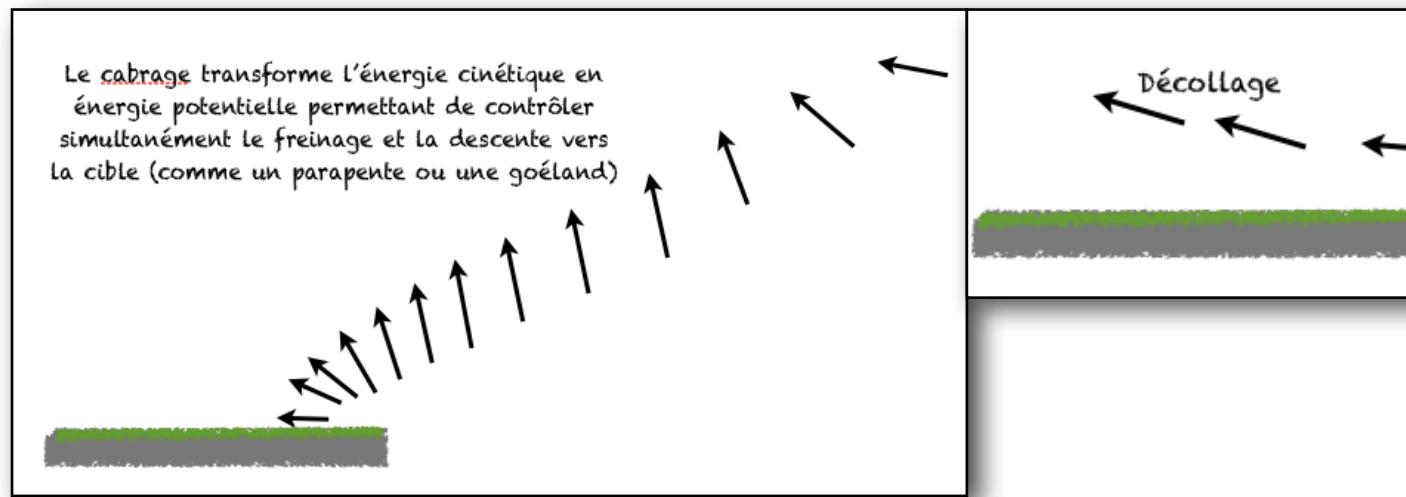
*Pour information, l'avion ATR 42 mesure 23m, décolle ses 42t et vole à 500 km/h.*

- Le chargement peut se faire par grutage vertical, avec trappe d'ouverture vers le haut.
- Surfaces de sustentation optimisées (suppression de l'obligation de planage naturel en cas de moteur en panne), avec contrôle informatique permanent de l'assiette.
- 



- Atterrissage «oiseau/cobra» : l'avion se cabre dans les derniers mètres pour un freinage aérodynamique maximal et atterrissage à vitesse nulle, sans recours à la propulsion (qui peut être en panne ! ). La plate-forme d'atterrissage peut se réduire à un cercle de quelques dizaines de mètres de diamètre, pour des atterrissages avec des vents de toutes directions.
- 

- Roulage sur coussin d'air (pas de train d'atterrissage) : Un train d'atterrissage est lourd et non aérodynamique. Si la masse de l'avion chargé est optimisée, son inertie est minimale. Elle permet une accélération forte et un décollage court (objectif : moins de 500m). Ce type d'aéronef à atterrissage et décollage très courts peut être compatible avec un quai portuaire maritime.



- Un mur anti-bruit, envisageable du fait d'un décollage court, peut diminuer la nuisance sonore pendant la phase de décollage et 2 murs peuvent permettre de s'affranchir de la direction du vent. Il est même envisageable de couvrir la piste d'envol, créant ainsi un tunnel de lancement avec soufflantes pour augmenter l'accélération.
- Volets de stabilisation et de direction remplacés par des déflecteurs : l'introduction du roulage sur coussin d'air permet de disposer de déflecteurs en vol pour stabiliser l'assiette, mettre l'avion en posture de cobra lors de l'atterrissement et amortir le basculement de l'avant sur le sol lors de l'arrêt final.
- Motorisation électrique : la propulsion est uniquement à hélice. En supposant un stockage sensiblement de même densité massique d'énergie que le kérozène (12 kWh/kg pour le Kérozène contre 0,5 kWh/kg en 2023 et 5 à 12 kWh/kg annoncés pour les accumulateurs à membrane), gageons que dans 15 ans, la densité de stockage de l'énergie électrique aura au moins doublé. La motorisation électrique simplifie les contrôles en vol et en maintenance, allège la masse de l'avion et permet un échange standard et rapide des «batteries» à l'escale.
- Propulsion par hélice : la propulsion par hélice limite la vitesse maximale (à noter le Rare Bear avec le record du monde de vitesse, en 1989, avec 850 km/h). Répétons que la vitesse n'est pas un critère principal.
- Génération de plasma : il semblerait que le plasma permet d'améliorer les écoulements laminaires, repoussant la limite de décrochage et diminuant la trainée aérodynamique. Encourageons la recherche !

# Nouveaux usages

## Avion Porte-hélicoptère

Les porte-avions ont été développés pour accroître le rayon d'action des avions militaires - et accessoirement des avions civils.

Les hélicoptères ont un faible rayon d'action qui entrave leurs missions civiles. L'objectif est de réaliser un système permettant de déposer et de reprendre une charge d'au moins 1000 kg à plus de 2000 km d'un aérodrome.

*Pour illustrer le problème :*

*L'EC145 de la Sécurité Civile a une masse de 1792 kg à vide et maxi de 3585 kg, avec un fuselage de 10,20 m et une longueur de rotors tournants de 13 m, pour une autonomie de 680 km.*

*Le LH212 a une masse à vide de 278 kg et maxi de 540 kg, avec un fuselage de 6,18m pour une autonomie de 640 km*

L'avion porteur assure le décollage et la récupération en plein vol d'un hélicoptère adapté.

Les opérations sont entièrement automatisées des deux cotés. Les progrès des logiciels développés pour les drones montrent la faisabilité de ces automatismes (suivi de cible en mouvement, vol stationnaire,...)

A priori, le porteur peut voler à pleine charge à faible vitesse (inférieure à la vitesse maximale du vent au sol pour décollage et atterrissage de l'hélicoptère), soit environ 80km/h. (notons que le Bréguet 941 pouvait emmener ses 20t à un peu plus de 50km/h (décollage en 190m)).

Le plus simple est d'adapter un avion et un hélicoptère existants.

L'hélicoptère est ancré dynamiquement sur une aile-plateforme elle-même fixée sur le dos d'un avion conventionnel basse vitesse. A l'intérieur de l'aile se trouve tous les éléments nécessaires au décollage et à l'atterrissement de l'hélicoptère, au vol longue distance, au verrouillage de l'hélicoptère et de sa voilure en position croisière, et au système de couplage-découplage en vol, y compris les réservoirs, avec possibilité de ravitaillement de l'hélicoptère.

La plateforme est équipée d'une balise GPS à chaque extrémité, pour le repérage à moyenne distance et de quatre catadioptres (redondance) pour le couplage final. Les deux balises GPS permettent à la plate-forme de s'orienter dans le lit du vent (mesure de la dérive latérale) et d'annoncer son cabrage (qui peut être incompatible avec le décollage ou l'approche de l'hélicoptère).

La plate-forme dispose de 4 crochets déclenchés simultanément lorsque l'hélicoptère est dans le bon domaine de libération ou d'atterrissement. Ces quatre crochets peuvent être solidaires d'un bras de saisie suiveuse afin de gérer au mieux les déplacements relatifs de l'hélicoptère et de la plate-forme.

*Ce type de projet pêche par la lourdeur de la conception actuelle des aéronefs. Le développement exponentiel des drones incite à sortir de l'avionique traditionnelle :*

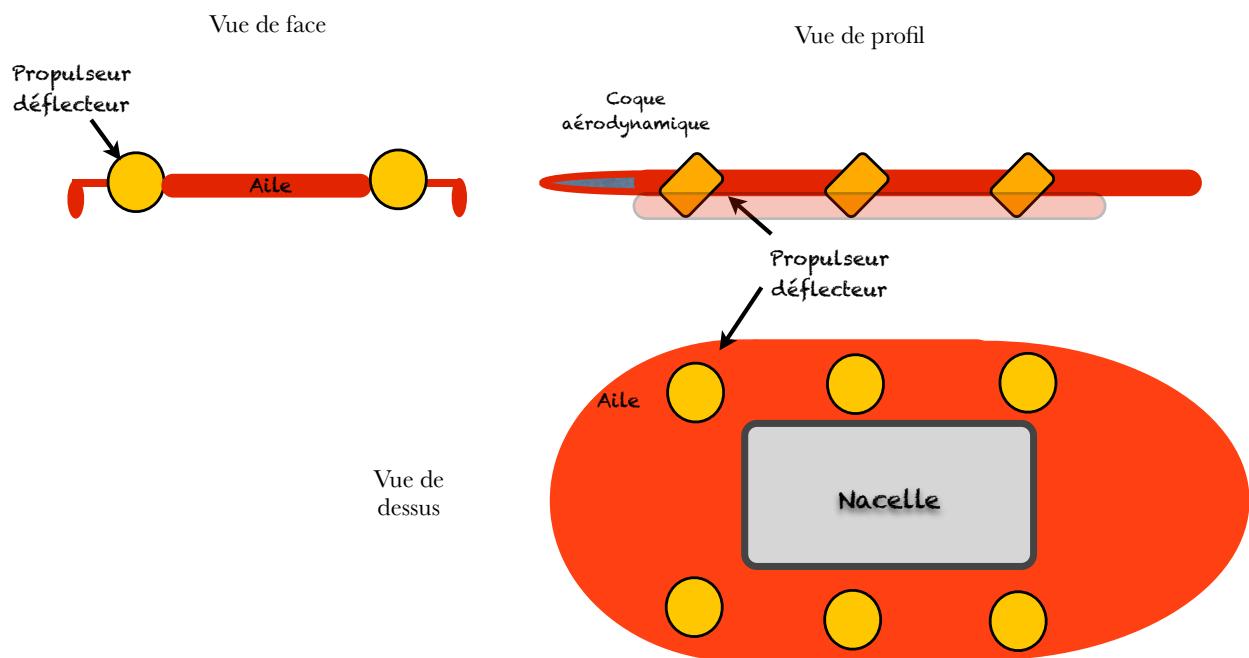
*L'avion n'a plus besoin de commandes manuelle, ni même de pilote.*

*La motorisation électrique (silencieuse) et les pales composites autorisent des hélices à rotation très rapides.*

*Ces éléments conduisent à des surfaces de portance réduites, à l'inutilité du train d'atterrissement et à une conception très simplifiée.*

# Aile-Plateforme

Le plus rationnel est de développer une **aile-plateforme volante, sans pilote à bord**, à décollage vertical, sans train d'atterrissage (circulation au sol sur coussin d'air), apte au vol stationnaire, sur laquelle peuvent se fixer différentes nacelles adaptées aux différentes missions envisageables. L'absence humaine à bord de l'aile-plateforme simplifie la conception (diminution du poids, absence de servitudes telles que chauffage, pressurisation, circuitries homme-machine, train rentrant,...). Par contre, les nacelles peuvent comporter un habitacle.



Les progrès dans le stockage de l'énergie permettent la motorisation électrique intégrale. (on peut aussi imaginer des stations de recharge ou d'échange automatique stationnées stratégiquement sur terre ou en mer, elle-même alimentées par énergie solaire, éolienne ou maritime).

*L'objectif principal est la rapidité d'intervention. Un engin qui décolle verticalement et assume le vol stationnaire n'a pas besoin d'une grande portance. Un tel aéronef n'a pas besoin de planer à vitesse lente. Pour aller vite, il a besoin d'un propulseur puissant et d'une traînée minimale. L'aile plate-forme n'a pas besoin d'être large si la propulsion est fiable. Cette fiabilité est bonne avec 6 moteurs électriques indépendants et ayant leur propre alimentation. La panne d'un moteur n'est pas rédhibitoire. L'aile-plateforme peut continuer à voler avec 1 voire 2 moteurs en panne sans nécessiter des volets de stabilisation en planage.*

L'aile plate-forme est d'une forme optimisée pour la consommation d'énergie de sustentation et de translation. L'utilisation de propulseurs-déflecteurs, au nombre de six par sécurité, évite la gestion

de volets de positionnement aérodynamique. Le logiciel embarqué commande la vitesse et l'angle de déflection de chacun des moteurs pour l'évolution dans l'espace selon tous les axes.

*Si la vitesse de croisière n'est pas un critère important, il est possible que les flux d'air soient fixes dirigés vers le bas par rapport à la structure et que les mouvements soient obtenus uniquement par variation individuelle de chacun des six moteurs, sans déflecteurs mobiles. Dans ce cas, l'aile-plate-forme est construite avec une incidence qui évite au flux d'air de la rabattre en vitesse maximale.*

L'aile-plate-forme est télé-pilotée, du sol ou d'un autre mobile ou de l'intérieur de la nacelle si celle-ci comporte un habitacle.

Le drone assure par lui-même son assiette, son cap, sa vitesse et son altitude. Le télé-pilotage assure la navigation (autorisations aériennes, trajet pré-programmable, visée de cible pour le vol stationnaire et les treuillages, retour automatique à la base...).

- Un drone à rayon d'action court, télécommandé et sans habitacle peut servir aux charges légères (dépose d'un kit de survie ou d'un canot gonflable).
- Un drone à rayon d'action moyen (2h d'autonomie) aux charges plus lourdes (hélitreuillage d'un naufragé et de son sauveteur, soit 300kg de charge utile hors carburant).
- Un drone à long rayon d'action peut assurer des missions jusqu'à 1000 km (et plus s'il est lui-même embarqué sur un navire).

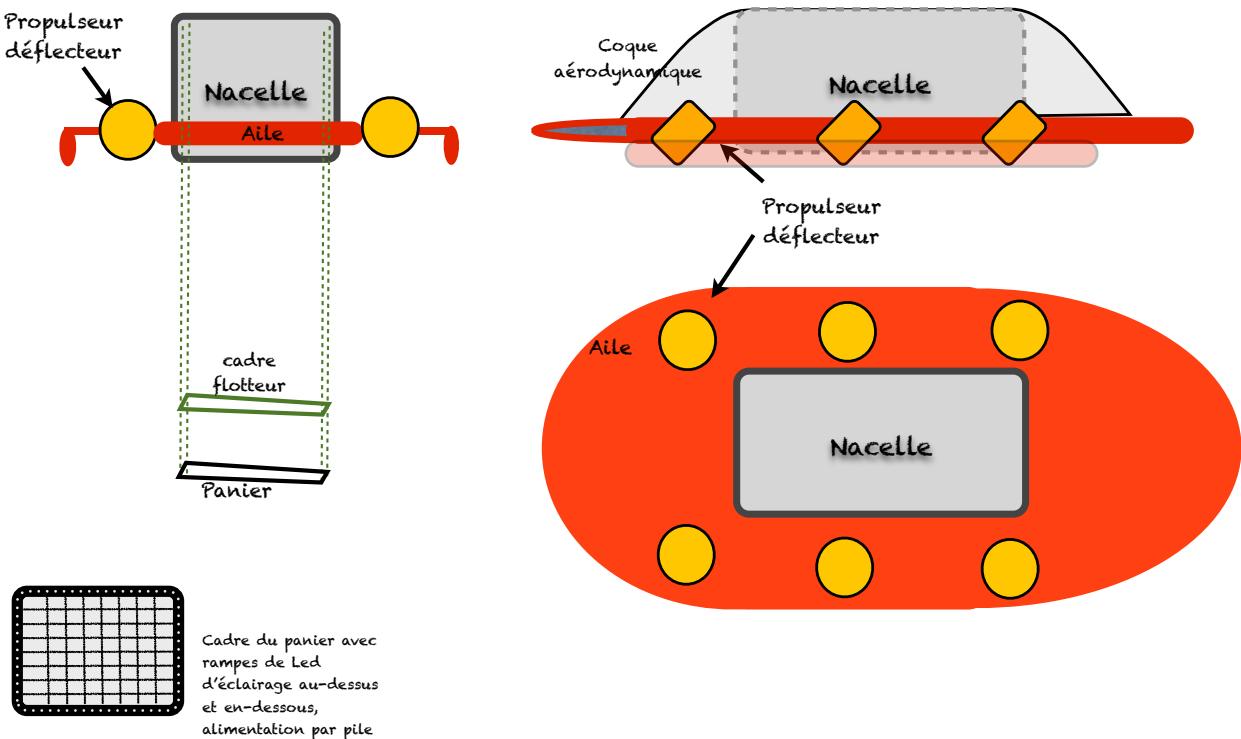
Si la vitesse de croisières et la consommation sont des critères importants, la nacelle doit être elle-même aérodynamique.

Le logiciel embarqué et le dispositif de télé-pilotage sont protégés contre le piratage. Un dispositif de sabordage assure le retour à la base en complète autonomie en cas de rupture du service de télé-pilotage.

A l'instar des drones du commerce, le télé-pilotage peut être une application sur ordiphone (smartphone). Dans le cas d'un trajet pré-programmé, les télécommandes en temps réel (au 1/10s) ne sont pas nécessaires. Le media de transmission peut être le WI-Fi pour le temps réel, mais aussi le 3-4G là où le réseau 3G ou 4G est actif (avec des performances vidéo), le 2G là où il n'y a que le GSM actif, une liaison satellite dans les autres cas.

# Nacelle-Treuil

La nacelle spécialisée dans le treuillage est en parois transparentes isolantes (bruit et chaleur), y compris le sol, permettant ainsi de voir de l'intérieur et de l'extérieur (caméras) le déroulement des actions.



Le cadre support vient s'encastrer (par le haut) au centre de l'aile-plateforme, percé à cet effet.

Le cadre support permet le logement de batteries (ou pile à combustible), rendant la nacelle autonome en énergie, avec possibilité de recharge par induction sur une bobine primaire connectée à la centrale électrique de l'aile-plateforme.

Le lien entre la nacelle et l'aile-plateforme est bluetooth (aucune connexion physique)

Accessoirement, la nacelle est équipée d'une pile à combustible et de son réservoir, permettant d'augmenter l'autonomie des batteries de l'aile-plateforme.

## Panier treuillable

Le sol de la nacelle est équipé, vers l'arrière, d'une trappe rectangulaire transparente, aux dimensions du panier.

Un filet vertical de protection peut être levé avant l'ouverture de la trappe pour assurer la sécurité entre la partie fixe et l'ouverture.

Quatre treuils en rectangle à la verticale de la trappe sont des moteurs électriques avec enrouleur situés en partie haute de la nacelle. La commande des moteurs permet un réglage d'assiette du panier.

*Pour monter 100kg de 10m à 1m/s, il faut un moteur d'environ 250W.*

Le panier est un filet rectangulaire tendu sur quatre montants.

Les montants sont rigides avec mousse de protection (chocs dans les deux sens), submersibles, avec peinture fluorescente, d'un diamètre de 5cm (saisie manuelle).

Les montants sont équipés d'une rampe longitudinale de diodes éclairantes vers le bas et d'une rampe éclairante vers le haut, télécommandable et activable en local par poussoir, alimentée par pile (autonomie 8h), étanche.

Un rectangle de boudins flotteurs est fixé à au-dessus du panier à une hauteur réglable, par pince auto-bloquante et mousqueton d'accrochage servant aussi de points d'assurage.

## Nacelle-Treuil de planeur

Un autre type de nacelle-treuil permet le remorquage de planeur : l'aile-plateforme vient déposer le crochet du câble au point prescrit par le pilote du planeur, puis déroule câble à la longueur voulue. Après accrochage, le pilote du planeur déclenche le tractage. L'aile volante prend de la vitesse sur coussin d'air (économie d'énergie) puis décolle comme un tracteur classique, en suivant le circuit ascensionnel prescrit. Après décrochement, le treuil enroule le câble (pour éviter les balancements du crochet à l'approche du sol)., puis l'aile-plateforme rejoint le point de départ suivant ou la station d'échange de batterie ou le hangar.

Le télépilotage se fait depuis le planeur ou depuis le sol (ordiphone)

## Essaim d'ailes-plateforme

La fonction de pilotage automatique peut être étendue à l'assemblage en vol de plusieurs ailes-plateforme dont les treuils peuvent soulever la même charge. Cette charge est munie d'anneaux de saisie. Le panier treuillable est remplacé par une perche de saisie avec caméra.

Par exemple, un assemblage de 4 ailes-plateforme permettra de soulever une charge quatre fois plus lourde. Par exemple, un conteneur aménagé en habitation (autonome à énergie solaire) pourra être rapidement mis en place.

# Ajouté en 2018



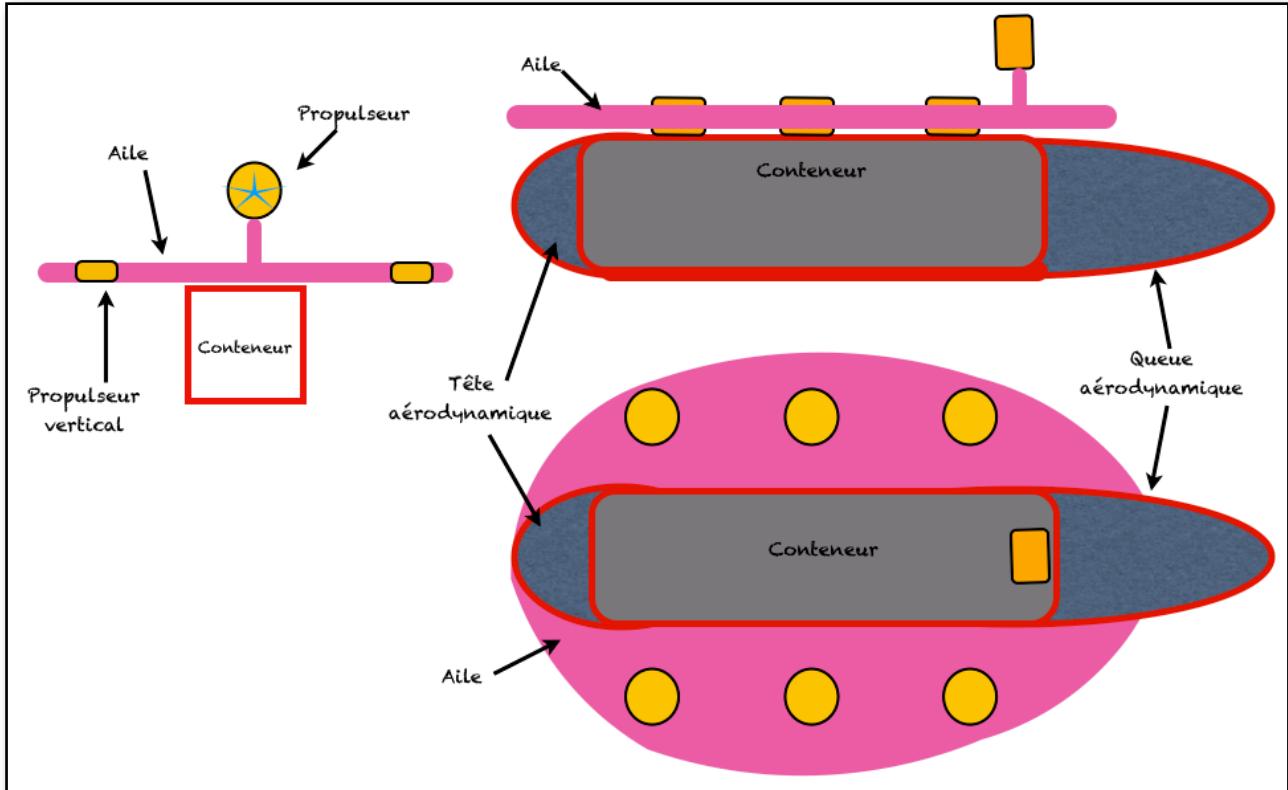
Reconnaissons que Uber Elevate a trouvé la solution qui évite les rotors pivotants (source de problèmes mécaniques majeurs), en dissociant la sustentation et l'avancement. Les huit rotors verticaux assurent une bonne redondance en cas de collision avec un oiseau. La consommation d'énergie reste importante par rapport à une voilure fixe.

On peut imaginer une voilure fixe plus importante qui permettrait une meilleure autonomie et/ou d'en faire un porte-conteneur aux normes internationales.

L'intérêt est d'assurer une continuité complète entre l'expéditeur et le destinataire : le conteneur est chargé/déchargé hors de l'aire d'envol.

Les conteneurs auraient un poids total en charge limité compatible avec l'autonomie du porteur. La structure et l'enveloppe métalliques du conteneur sont allégées de façon compatible (matériaux composites).

Les conteneurs passagers sont autonomes et comprennent tous les services nécessaires au bon déroulement du vol (court courrier, moyen courrier), y compris le vitrage. Les conteneurs sont à l'intérieur de l'aérogare, là où les passagers embarqueront/débarqueront. Le conteneur est acheminé sur l'aire d'envol lorsque le module porteur se présente pour saisir le conteneur comme une grue.



## Avion électrique

Concernant les voitures, la masse du moteur thermique et de son réservoir à essence est d'environ 500 kg, à comparer avec la masse d'un moteur électrique et des batteries nécessaires pour une autonomie de 500 km. En 2019, ces masses sont équivalentes.

La recherche sur les batteries tend à augmenter la densité énergétique des systèmes de propulsion électrique embarqués. Concernant les batteries, la densité énergétique était d'environ 30 Wh/kg en 1950 et d'environ 300 Wh/kg en 2000, soit une augmentation moyenne de 5% par an environ.

On peut supposer qu'en 2024 (dans 5 ans), des batteries de 1 kWh/kg seront disponibles.

Exemple : pour une plate-forme de 1 tonne, avec un moteur de 100 kW, il faudra 100 kg de batteries pour une autonomie de 1 heure.

Les recherches sur les piles à combustible sont une autre direction pour les avions électriques.