

# Le transport urbain aérien de passagers : scénarios de développement du VTOL

Les coulisses de l'Urban Air Mobility : technologies, coûts, réglementations, marchés potentiels, étapes franchies et restant à franchir pour voir émerger le marché du taxi volant

**LesEchos**  
ÉTUDES



# Sommaire de l'étude

|          |                                                                                           |    |            |                                                                                                |     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|          | <b>Synthèse</b>                                                                           | 5  |            |                                                                                                |     |
| <b>1</b> | <b>Périmètre de l'étude et définitions des termes</b>                                     | 30 | <b>5</b>   | <b>Projets de VTOL existants et à venir</b>                                                    | 74  |
| <b>2</b> | <b>Technologie du VTOL : motorisation, propulsion, batterie et structure de l'aéronef</b> | 32 | <b>5.1</b> | Zoom sur les principaux projets et partenariats                                                | 75  |
| 2.1      | Motorisations                                                                             | 33 | <b>5.2</b> | Cartographie et matrices des projets et partenariats                                           | 80  |
| 2.2      | Batteries                                                                                 | 36 | <b>6</b>   | <b>Initiatives comparées des pays et organisme de régulation</b>                               | 84  |
| 2.3      | Propulsions et structures de l'aéronef                                                    | 39 | <b>6.1</b> | Principaux pays par brevets                                                                    | 85  |
| <b>3</b> | <b>Règlementation</b>                                                                     | 43 | <b>6.2</b> | Dialogues et consultations passés et à venir                                                   | 87  |
| 3.1      | Avancées des différents organismes de régulations autour du monde                         | 44 | <b>6.3</b> | Zoom sur les villes les plus dynamiques                                                        | 89  |
| 3.2      | Rédaction des textes réglementaires en Europe                                             | 47 | <b>7</b>   | <b>Domaines connexes, marchés existants et premières expérimentations</b>                      | 91  |
| 3.3      | Un cadre plus général de transformation réglementaire                                     | 54 | <b>7.1</b> | VTOL utilisés pour le transport des biens                                                      | 92  |
| 3.4      | La question de l'autonomie                                                                | 57 | <b>7.2</b> | Transport de passagers par hélicoptères                                                        | 94  |
| <b>4</b> | <b>Coûts, prix, marchés potentiels</b>                                                    | 58 | <b>8</b>   | <b>Scénarios de développement Les Echos Etudes</b>                                             | 97  |
| 4.1      | Coûts d'achats : batterie et VTOL                                                         | 59 | <b>8.1</b> | Méthodologie de projection                                                                     | 98  |
| 4.2      | Coûts d'opération : maintenance et électricité                                            | 64 | <b>8.2</b> | Scénarios de développement et tailles de marché par segment par zone géographique individuelle | 105 |
| 4.3      | Coûts des infrastructures de charge                                                       | 69 | <b>8.3</b> | Scénarios de développement mondial et tailles de marchés par segment                           | 110 |
| 4.4      | Services de mobilité                                                                      | 71 | <b>9</b>   | <b>Interview des experts</b>                                                                   | 111 |
| 4.5      | Comparaison avec les moyens de transport alternatifs                                      | 73 | <b>10</b>  | <b>Fiches individuelles par projets de VTOL</b>                                                | 136 |
|          |                                                                                           |    |            | <b>Annexes – Récentes publications clefs</b>                                                   | 334 |

### 2.1 Motorisation du VTOL

#### Le moteur électrique du eVTOL : définition et catégories

##### Moteurs thermiques des avions et des hélicoptères

Avions et hélicoptères fonctionnent généralement<sup>(1)</sup> avec des moteurs thermiques dont les principes sont opposés



- La soufflante permet au flux d'air de rentrer dans les compresseurs basse et haute pression
- L'air est ensuite mélangé au kérosène et est brûlé dans la chambre à combustion
- Le flux passe ensuite dans les turbines qui entraînent des arbres qui font tourner le compresseur et la soufflante
- Le flux d'air secondaire fait avancer l'avion

- Principe inverse au turboréacteur
- Fournit de la puissance à l'arbre et non pas la force de la poussée
- Ensuite permet de tourner le rotor
- La transmission est alimentée par les turbines qui absorbent l'énergie du gaz chaud et de la haute pression qui circulent sur les pâles
- Le gaz à haute énergie vient de la chambre à combustion : l'air comprimé par différents compresseurs y est mélangé avec du carburant

##### Différentes catégories de moteurs électriques

###### Le eVTOL, un aéronef à moteur électrique

- En excluant les VTOL hybrides, les VTOL électriques ou eVTOL sont propulsés par un ou plusieurs moteurs électriques
- Rappelons ci-dessous les différentes catégories de moteurs électriques en illustrant leur usage par le transport automobile

###### ⚡ Deux grandes catégories de moteurs électriques

- Les moteurs à courant continu
- Les moteurs à courant alternatif, eux-mêmes scindés en deux catégories
  - Les moteurs asynchrones
  - Les moteurs synchrones

###### ⚖ Moteurs à courants continus, presque disparus de l'industrie

- Les premiers TGVs étaient pourvus de ce type de moteurs, avant de passer à l'alternatif synchrone
- PSA a également expérimenté ce moteur dans les années 90
- On ne les retrouve aujourd'hui quasiment plus dans l'industrie des transports

###### 📡 Moteurs à courant alternatif, encore tous deux dans la course

- **Le moteur asynchrone** : robuste, peu coûteux mais peu performant, on le retrouve dans les véhicules hybrides où une faible puissance de moteur électrique est suffisante
- **Le moteur synchrone** : aujourd'hui le plus utilisé dans l'industrie automobile - Renault (ZOE, Fluence, Kangoo), Nissan (Leaf), Toyota (Prius), Peugeot (Ion), Bolloré (ex-Autoli'b)  
 ➔ à ce jour, les eVTOL significativement avancés sont tous conçus avec des moteurs électriques alternatifs synchrones



## 2. Technologie du VTOL

### 2.1 Motorisation du VTOL

#### Le moteur électrique du eVTOL : bénéfiques (hors aspects environnementaux)

#### Avantages clefs du moteur électrique



#### Rendement

- Rendement d'un moteur électrique largement supérieur au rendement du moteur thermique
- Seuls les frottements sont perdus dans le moteur électrique sans pertes de chaleur
- Rendement peut atteindre 90-95% contre 30 à 60% pour un moteur thermique



#### Poids

- Poids d'un moteur électrique beaucoup plus faible qu'un moteur thermique
- Dans le cas d'un véhicule terrestre, il existe un facteur 4 de réduction pour une puissance donnée<sup>(1)</sup>



#### Bruit

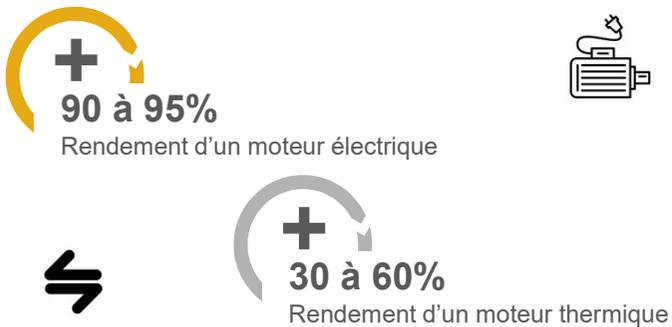
- Un moteur électrique est quasiment silencieux comparé à un moteur thermique
- Attention néanmoins aux annonces, le problème de bruit des hélicoptères est dû aux rotors et non pas aux hélices (voir détails sur le bruit des VTOL dans les slides suivantes)



#### Coût

- Incontestablement un moteur électrique a un coût largement inférieur
- A titre de comparaison sur une industrie plus mature, un moteur électrique de voiture coute quelques centaines de milliers d'euros à développer contre 5 mds€ pour un moteur thermique<sup>(2)</sup>

#### Rendement



#### Poids



#### Coût



(1) Exemple pour une puissance de 100 ch

(2) Source PFA