



JOURNÉE POUR L'AVIATION LÉGÈRE
Association Aéronautique et Astronautique de France
Groupe Ile de France
27/09/2017

Introduction à l'avion électrique
Claude Le Tallec



retour sur innovation

L'avion léger électrique, évolution ou révolution ?



Magnus eFusion



X57 Maxwell



AMPERE



Panthera



Mini-Bee



VAHANA



Ehang



Pourquoi un avion léger électrique ?

Avantages potentiels d'un avion léger électrique :

- Vérifications avant vol plus simples
- Réduction du temps de chauffe
- Simplification de la maintenance
- Meilleure fiabilité des moteurs électriques
- Sensibilité moindre des performances à la température et à l'altitude
- Rendement des moteurs électriques de 2 à 4 fois supérieur à celui des moteurs à combustion interne... mais ce n'est pas le cas de la source primaire d'énergie !
- Diminution des problèmes de voisinage
 - Bruit réduit
 - Emissions polluantes réduites
- ...
- **Possibilité de multiplier le nombre de moteurs et de les positionner de manière optimisée sur des cellules novatrices pour obtenir des performances inédites**



Encore peu
de
RETEX

Evolution !

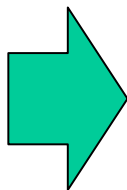
Révolution ?

Qu'est-ce qu'un avion léger électrique ?

Un avion léger électrique peut être :

1. Un avion de configuration semblable à celle d'un avion conventionnel à moteur à piston :

- Remplacement du moteur thermique par un moteur électrique alimenté par des accumulateurs électriques :
 - rechargés au sol seulement
 - rechargés en vol par :
 - un moteur thermique animant un générateur électrique
 - l'hélice en moulinet en descente



Qu'est-ce qu'un avion léger électrique ?

Un avion léger électrique peut être :

1. Un avion de configuration semblable à celle d'un avion conventionnel à moteur à piston :

- Adjonction à un moteur thermique d'un ou plusieurs générateurs électriques alimentant un ou plusieurs moteur(s) électrique(s)
- Pipistrel Panthera avec Lycoming IO-540-V

• Pipistrel Panthera Hybrid (projet Hypstair)

- moteur électrique double enroulement + batteries
- 1 "Range extender" : Moteur Rotax 914

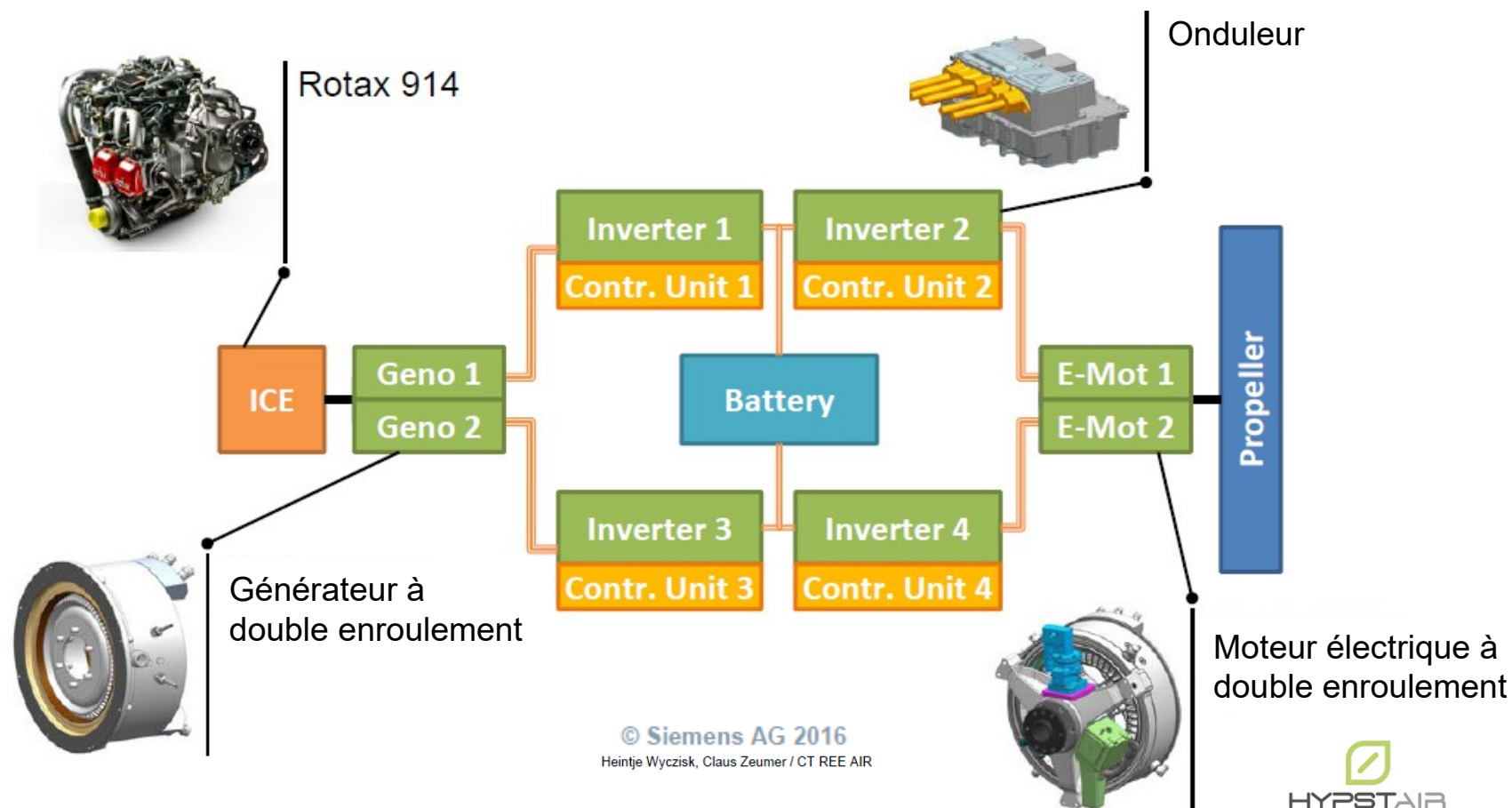
• Pipistrel Panthera Electro (tout électrique)



Système de propulsion du Hypstair

Architecture du « système de propulsion » de l'HYPSTAIR :

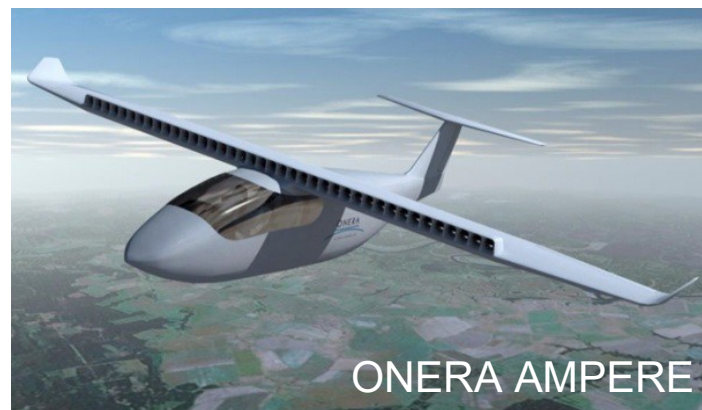
- Redondance
- Complexité de gestion de la puissance



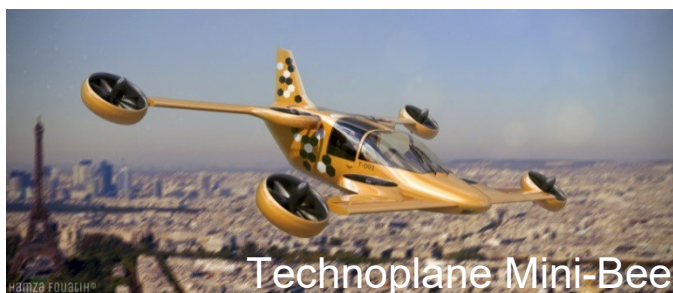
Qu'est-ce qu'un avion léger électrique ?

2. Un avion de configuration nouvelle mettant à profit la possibilité de distribuer la propulsion sur la cellule

- Avion à décollage et atterrissage conventionnels (CTOL) courts



- Aéronef à capacité VTOL



Architectures de systèmes de propulsion

Internal
Combustion
Engine
ICE



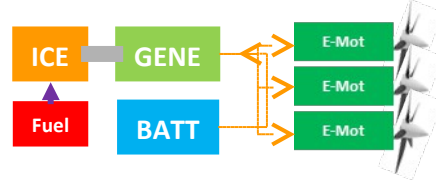
Générateur
électrique
GENE



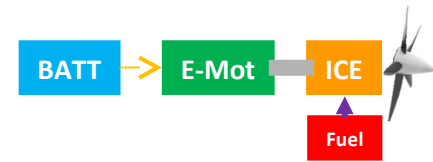
Moteur
électrique
E-Mot



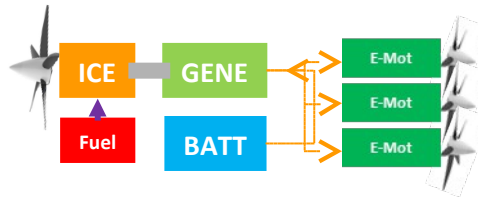
Hybride série



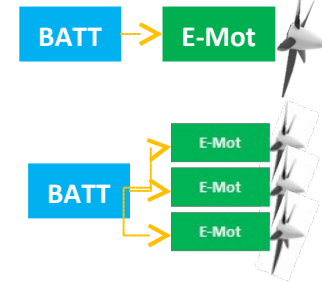
Hybride parallèle



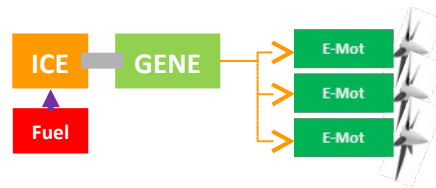
Partiel hybride série-parallèle



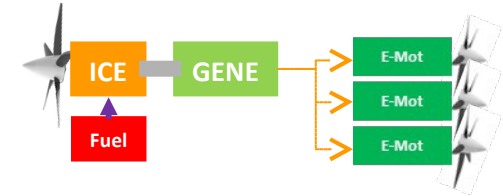
Tout électrique



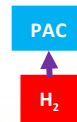
Thermique-électrique



Thermique-électrique partiel



Note : une ou plusieurs piles à combustible peuvent également être utilisée(s)



en complément ou en remplacement de l'ICE

(d'après James L. FELDER, NASA)

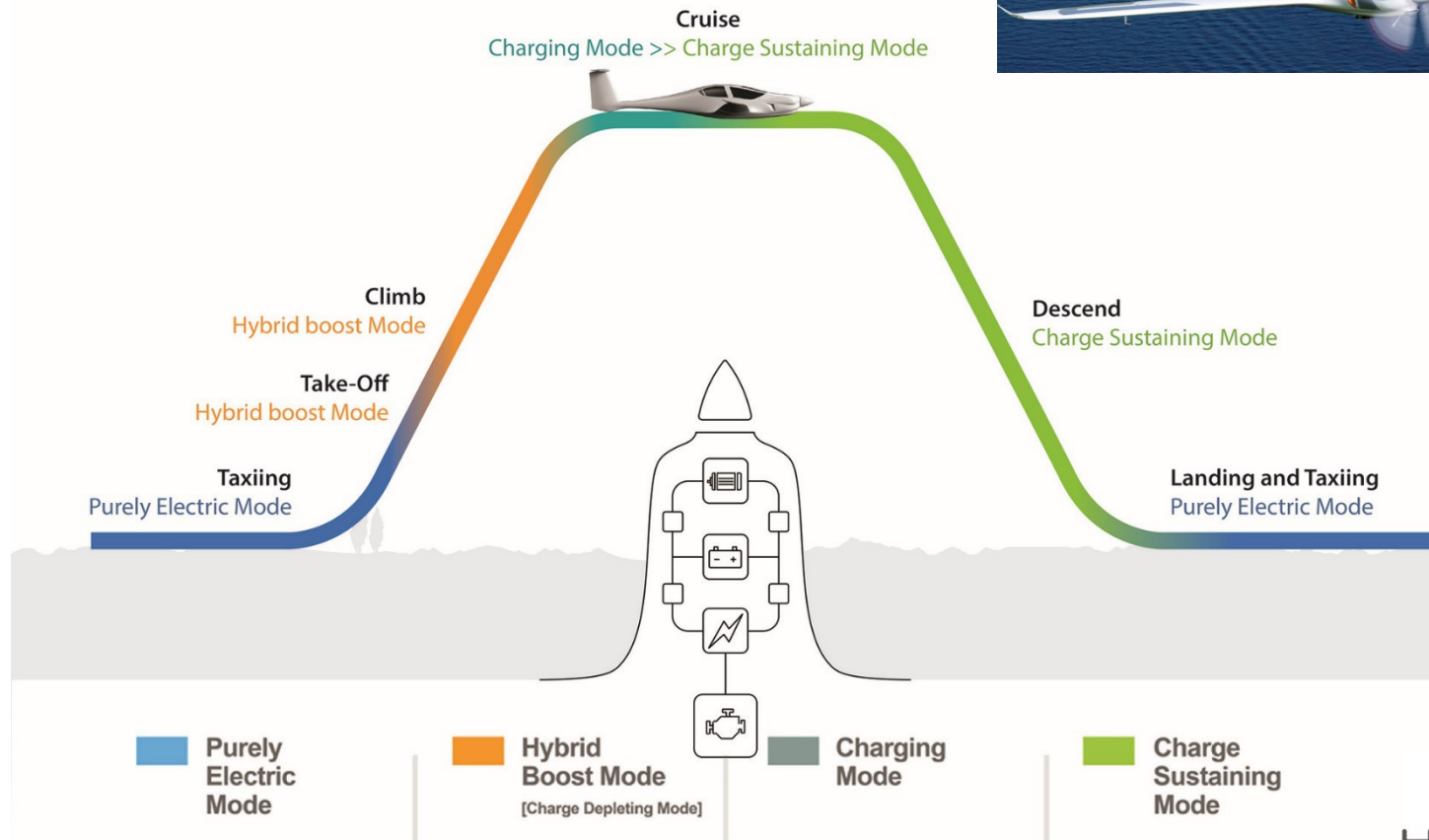
Enjeux pour le pilote

1. Avion tout électrique de configuration semblable à celle d'un avion conventionnel à moteur à piston
 - Comportement aérodynamique comparable à celui d'un avion à moteur thermique
 - Gestion conventionnelle des paramètres de pilotage
 - Gestion de l'autonomie différente
 - Nouvelles interfaces homme-machine
 - Autonomie notablement réduite (si batterie seulement) par rapport à un avion à moteur thermique



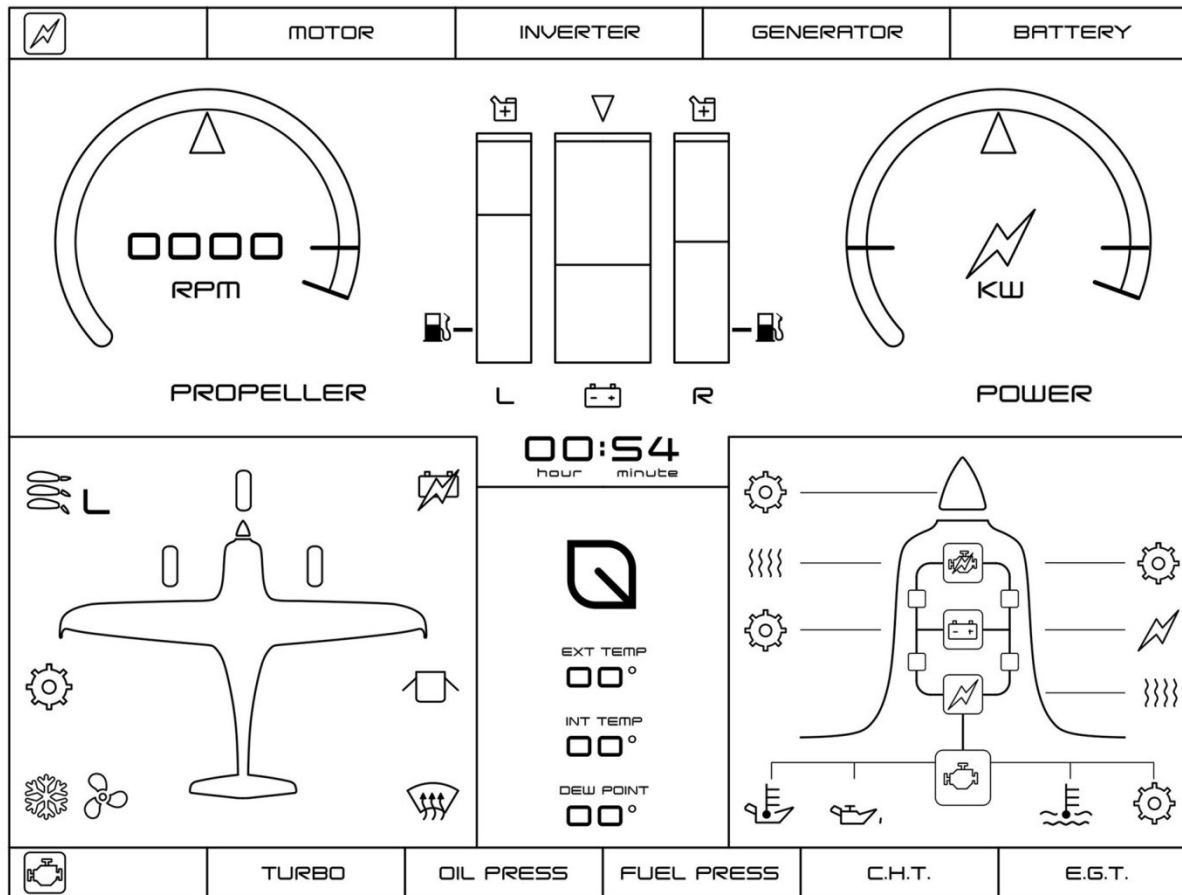
Enjeux pour le pilote

1. Avion hybride de configuration semblable à celle d'un avion conventionnel à moteur à piston
 - Gestion de la propulsion différente



Enjeux pour le pilote

1. Avion de configuration semblable à celle d'un avion conventionnel à moteur à piston
 - Nouvelles interfaces homme-machine¹



¹ : Prof. Dr. Massimiliano Pinucci, MBVision, February 2016

Qu'est-ce qu'un avion léger électrique ?

2. Un avion **CTOL** de configuration nouvelle mettant à profit la possibilité de distribuer la propulsion sur la voilure

Exemple du NASA X57 (projet SCEPTOR¹)

But du projet : démontrer une réduction d'un facteur 3,5 à 5 de l'énergie consommée en croisière sans dégrader, voire en améliorant, les performances à basse vitesse de l'avion original

- Avion original : bimoteur léger Tecnam P2006T, quadriplace
- Remplacement de l'aile originale du P2006T par une aile plus petite (envergure et corde réduites, charge alaire passée de 83 kg/m² à 220 kg/m²)
- Remplacement des deux moteurs originaux (Rotax 912) par une motorisation distribuée :



- Deux moteurs électriques d'extrémité de voilure
- Douze moteurs électriques répartis sur l'envergure



¹ : Scalable Convergent Electric Propulsion Technology Operations Research

Enjeux pour le pilote

Avion CTOL – exemple du X57

- Petite aile...intéressante pour le vol de croisière pour réduire la traînée ... non soufflée... mais conduit à des vitesses d'approche et d'atterrissage élevées
- Petite aile...intéressante pour le vol de croisière pour réduire la traînée ... soufflée ... sans l'inconvénient des vitesses d'approche et d'atterrissage élevées



Comment gérer la puissance des 14 moteurs en phase d'approche ?

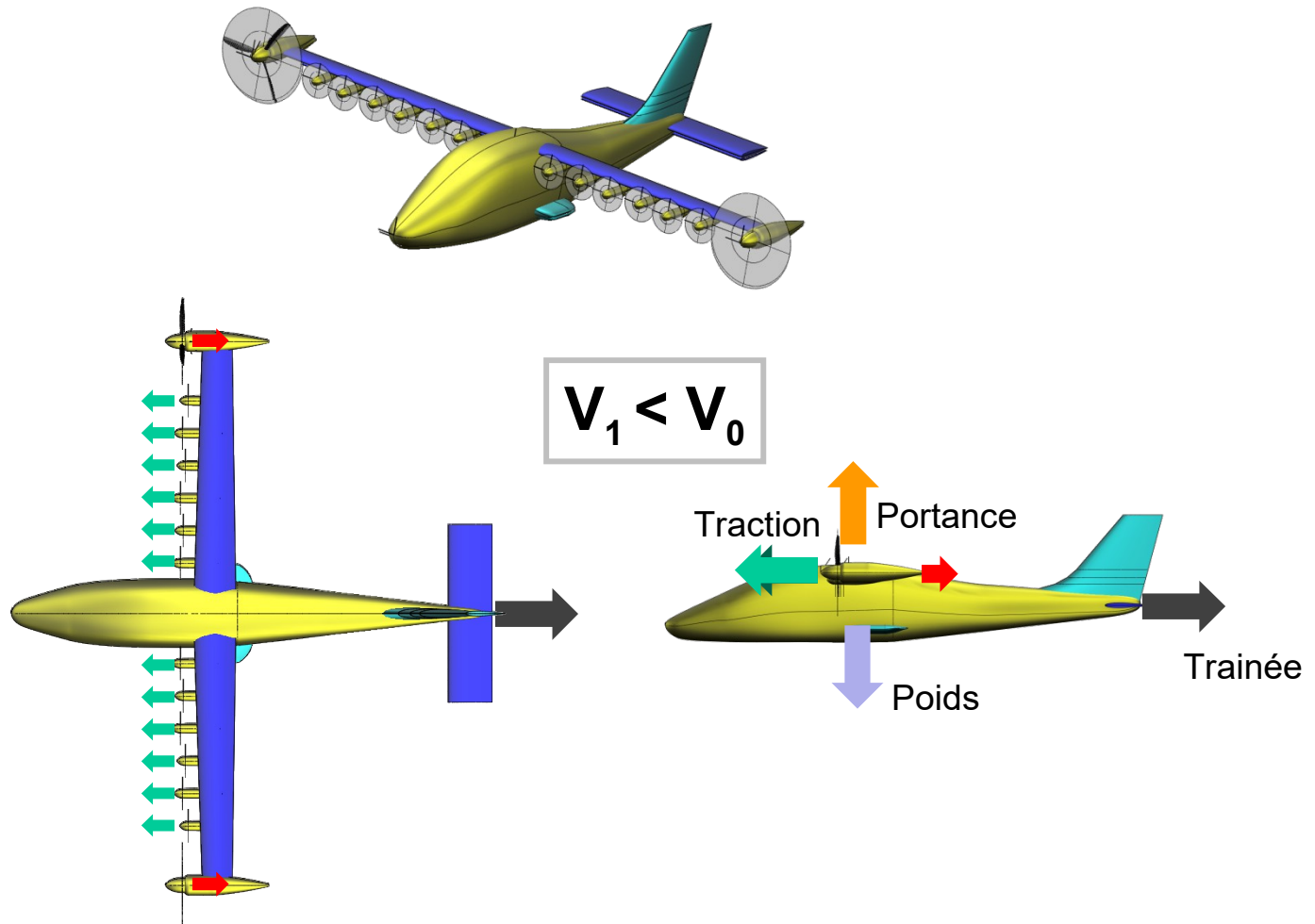
- *Portance via incidence ?*
- *Portance via incidence + soufflage ?*
- *Poussée / Traînée ?*

Quelle vitesse adopter pour assurer la sécurité ?

- *1,3 V_S aile soufflée ?*

Enjeux pour le pilote

Avion CTOL – exemple du X57¹

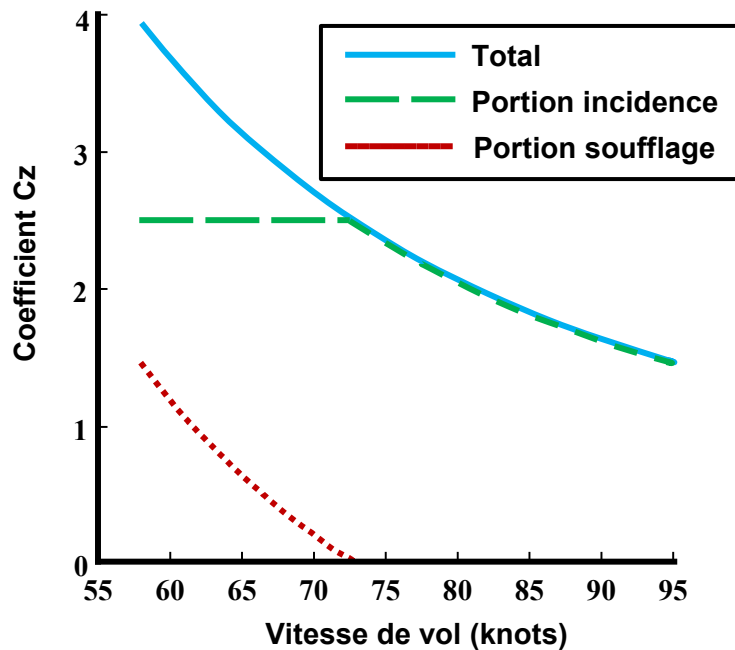


¹: Approach Considerations in Aircraft with High-Lift Propeller Systems. M. D. Patterson and N. K. Borer, NASA Langley

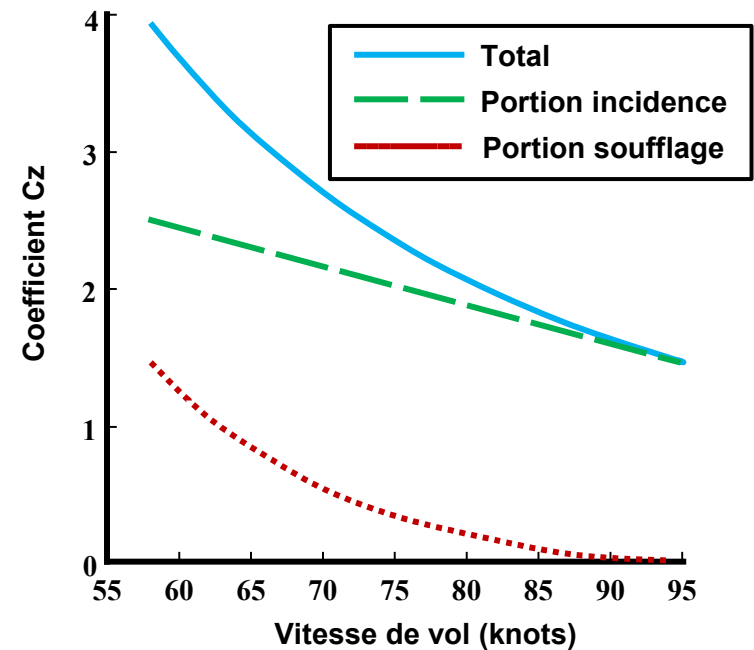
Enjeux pour le pilote

Avion CTOL – exemple du X57

$$\text{Poids} = \text{Portance} = \frac{1}{2} \rho S V^2 (C_{z_{\text{incidence}}} + C_{z_{\text{soufflage}}})$$



Stratégie 1, lorsque la vitesse diminue :
1. J'augmente incidence
2. Au dessous d'une vitesse donnée, je complète le C_z par du soufflage



Stratégie 2, lorsque la vitesse diminue :
1. J'obtiens le C_z nécessaire par variation d'incidence et de niveau de soufflage

Dans les deux cas, j'augmente la trainée avec les moteurs extérieurs, si nécessaire...

Assistance du pilote par des automatismes indispensable

Qu'est-ce qu'un avion léger électrique ?

2. Un avion **CTOL** de configuration nouvelle mettant à profit la possibilité de distribuer la propulsion sur la cellule

Exemple du projet AMPERE

But du projet : Maturation technologique

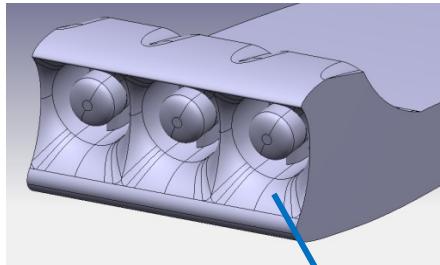
- Étude de l'effet de soufflage à même d'accroître les niveaux de portance indépendamment de la vitesse de vol
- Etude des effets directs ou indirects sur la stabilisation et le contrôle de l'appareil à l'aide de la propulsion en complément, ou remplacement partiel des gouvernes aérodynamiques
- Motorisation distribuée (Electric Distributed Propulsion) :
 - 32 Electric Ducted Fan ou EDF installés sur l'extrados du bord d'attaque de l'aile
 - Alimentation électrique par piles à combustible + H₂



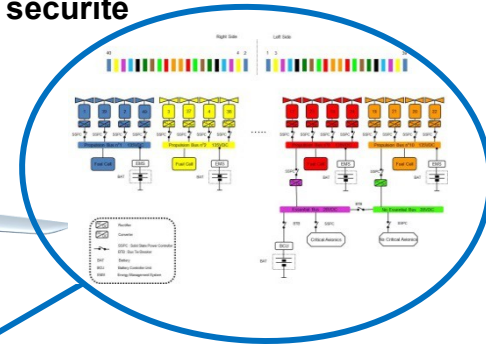
Configuration générale

Propulsion Hyper distribuée avec 32 EDF
→ Capacité de hauts C_z , redondance intrinsèque (sécurité)

Architecture électrique distribuée avec sources électriques distribuées
→ redondance, sécurité



Electric Ducted Fans (EDF)



Contrôle lacet/roulis par moteurs
→ économie en surface mouillée et en actuateurs

Structure hybride composite/métal
→ Compatibilité électromagnétique, Gestion thermique

Système de propulsion hybride: PAC + batteries
→ zéro émission

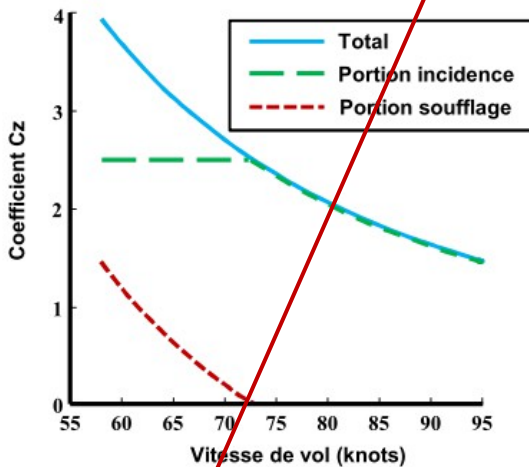


Enjeux pour le pilote

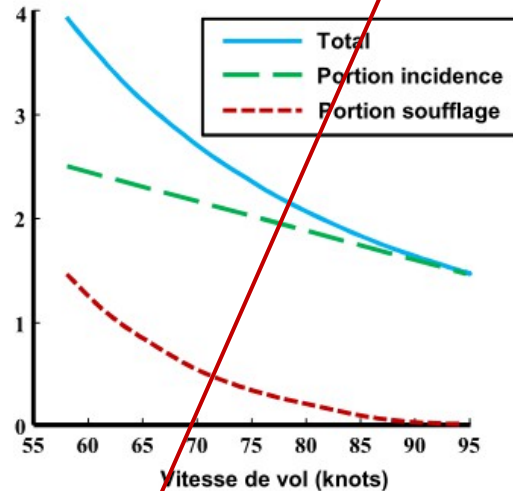
Avion CTOL – Exemple d'AMPERE

$$\text{Poids} = \frac{1}{2} \rho S V^2 (C_{z\text{incidence}} + C_{z\text{soufflage}})$$

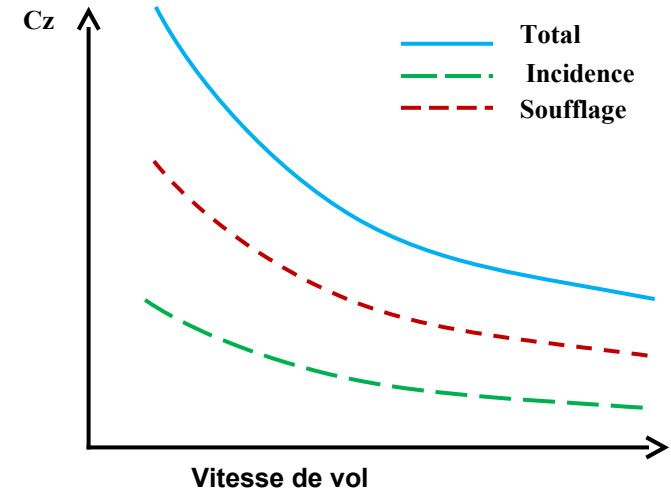
Permanent,
et lié directement au
besoin en poussée



Stratégie 1, lorsque la vitesse diminue :
1. J'augmente incidence
2. Au dessous d'une vitesse donnée, je complète le Cz par du soufflage



Stratégie 2, lorsque la vitesse diminue :
1. J'obtiens le Cz nécessaire par variation d'incidence et de niveau de soufflage



Stratégie 3, lorsque la vitesse diminue :
J'adapte le Cz par variation d'incidence pour compléter le Cz de soufflage fixé par les conditions d'équilibre (itératif)

Propulsion et portance intrinsèquement liées - Pilotage couplé à la propulsion

→ assurer l'équilibre suppose à chaque instant une logique de compensation qui vient modifier potentiellement les n moteurs ainsi que les gouvernes classiques restantes

Assistance du pilote par des automatismes indispensable

Qu'est-ce qu'un avion léger électrique ?

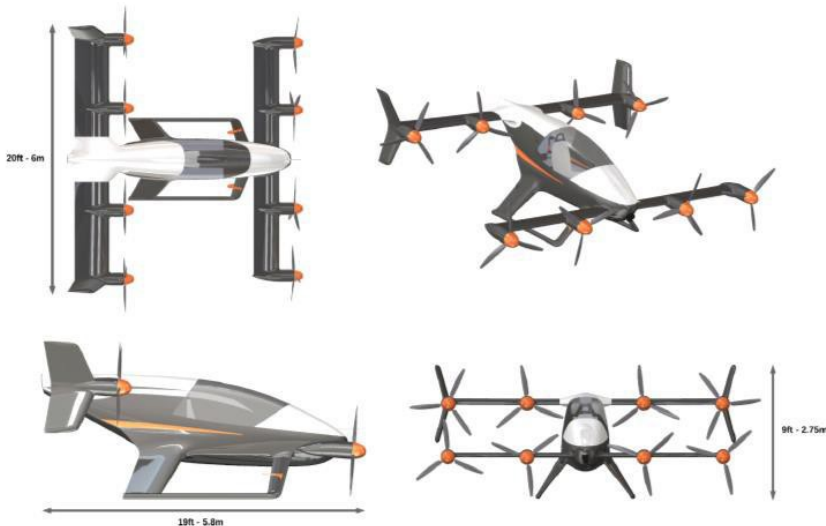
2. Un **aéronef** de configuration nouvelle mettant à profit la possibilité de distribuer et d'orienter la propulsion sur la cellule

Obtention de capacités VTOL

Exemple du VAHANA d'Airbus

But du projet : permettre une mobilité individuelle urbaine à la demande

- Aéronef original : concept entièrement nouveau pour l'aviation habitée
- Huit moteurs électriques installés sur quatre demi-ailerons pivotantes



- 8 moteurs de 45 kW à régime et pas variables, jusqu'à 1,7 fois la poussée requise pour le vol stationnaire (redondance)
- Batteries lithium polymère, charge \approx 60 min
- Coût de l'heure de vol \approx 210€
- Développement d'un appareil pour 2 passagers

Vol entièrement automatique ?

Contexte de l'émergence des VTOL électriques

Transport aérien urbain et interurbain à la demande : le taxi volant !

- Octobre 2016 : Uber publie un Livre Blanc intitulé « *Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation* »

Contributors and Reviewers

Betsy Masiello	Uber Technologies Director of Policy and Communications
Jamie Eplfano	Uber Advanced Technologies Center Strategy & Business Operations
Justin Ho	Uber Advanced Technologies Center Head of Strategy
Jon Petersen	Uber Technologies Senior Data Scientist
JR New	Uber Technologies Data Scientist
Zac Vawter	Ottomoto (Uber Technologies) Engineering
Mark Moore	NASA Langley Research Center Chief Technologist, On-Demand Mobility
David Josephson	Acoustics/Noise Consultant
Deran Garabedian	Nesta Senior Advisor
Alexandra Hall	Aviation Consultant
Ricarda Bennett	Heliprot Consultants Esq. CEO
Mike Hirschberg	American Helicopter Society Executive Director
Dr. Brian German	Georgia Tech, School of Aerospace Engineering Associate Professor
Gregory Bowles	AirCertGlobal, LLC President
Dr. Parimal Kopardekar	NASA, NextGen-Airspace Principal Investigator
Parker Vasick	MIT International Center for Air Transportation Researcher
Ken Goodrich	NASA Langley Research Center Senior Research Engineer



Contexte de l'émergence des VTOL électriques

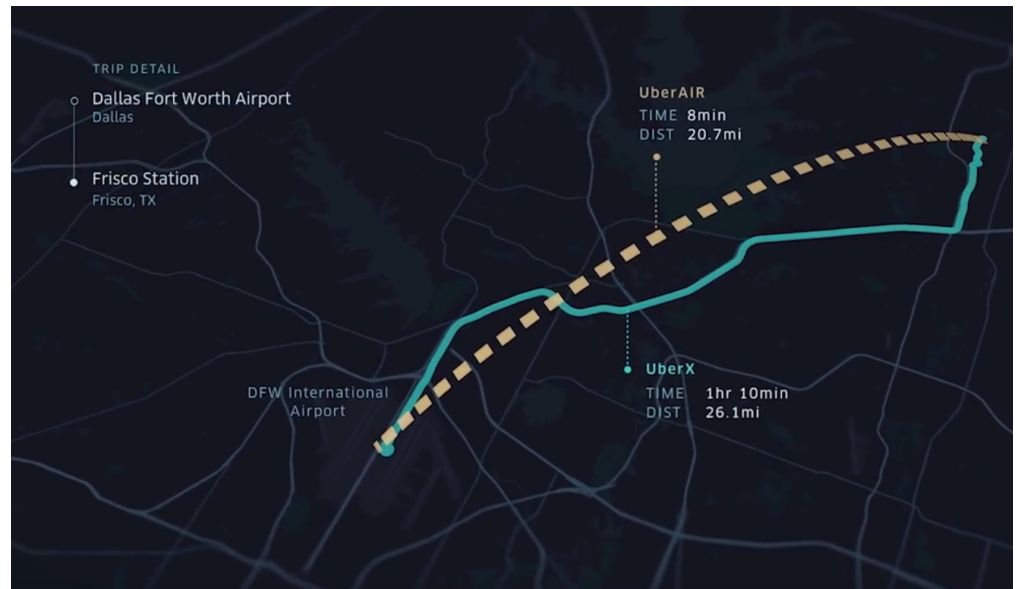
Le transport aérien urbain et interurbain à la demande : le taxi volant !

- Avril 2017 : Uber organise l'«Elevate summit» à Dallas
 - Objectif : accélérer les efforts de tout l'éco-système mobilisé pour rendre possible l'aviation électrique urbaine VTOL
 - Moyen : inviter une sélection d'acteurs clé parmi les constructeurs de véhicule, d'autorités locales et fédérales, de régulateurs, d'investisseurs et de fournisseurs de technologies à discuter ensemble
 - Résultats : partage d'informations sur l'avancement des initiatives et des programmes de travail lancés depuis la publication du Livre Blanc afin de définir de façon concertée des voies de collaboration pour le développement d'opérations aériennes urbaines adaptées

Contexte de l'émergence des VTOL électriques

Le transport aérien urbain et interurbain à la demande : le taxi volant !

Uber a conclu des accords avec Aurora Flight Sciences, Pipistrel, Bell Helicopter, Embraer et Mooney pour le développement d'aéronefs VTOL



Mark Moore prévoit l'utilisation de taxis aériens à Dallas dès 2023 !

Conclusion

Aviation légère et propulsion électrique, pour qui ?

- Pour les pilotes d'aujourd'hui, vols de loisir, école de pilotage et voyages avec un niveau de bruit réduit et sans émissions polluantes
- Pour les pilotes 3.0, vols de loisir et voyages plus facilement accessibles grâce à une automatisation accrue de l'avion (gestion du vol plutôt que pilotage de l'aéronef)
- Pour toutes et tous, transport aérien individuel accessible au moyen d'aéronefs dont le vol serait, à terme, géré depuis le sol

L'avion électrique et les technologies d'automatisation ouvrent la voie à une nouvelle ère de l'aviation légère, celle de la mobilité aérienne personnelle à la demande !