

Conception des aéronefs – Drones et concepts d'avions industrialisés très économiques (partie 1/2)

Culture Sciences
de l'Ingénieur

Michel KIEFFER¹

Édité le
22/09/2025

école _____
normale _____
supérieure _____
paris-saclay _____

¹ A partir de fin 2025 : fondateur de la société C-TECAT dédiée à la transition énergétique dans le domaine aéronautique et autres moyens de transport (société en cours de création : formations, conseils, conception d'aéronefs).

Précédemment : enseignant chercheur associé, chargé de la construction et du développement de la spécialisation aéronautique, transports et énergétique du Coursus Master Ingénierie Aéronautique, Transport et Énergétique, Université Paris Nanterre, UFR CITEC, CMI ATE, 92001 Nanterre Cedex, France.

Cofondateur et président de la société HKW-aero, conception et production d'avions légers.

Cette ressource fait partie du N° 117 de La Revue 3EI du 4^{ème} trimestre 2025.

Cet article présente les travaux réalisés notamment par les étudiants du Coursus Master Ingénierie Aéronautique, Transports et Énergétique, Université Paris Nanterre en partenariat avec différents industriels. Ces derniers ont apporté leurs conseils et mis à disposition leurs moyens. Cet article constitue la première partie d'une étude dans laquelle le processus de conception d'un avion, son dimensionnement, sa réalisation, les essais au sol et les essais en vol sont décrits. L'accent est mis sur la réduction de la durée de conception et des coûts de production. Un second article [6] permettra de présenter les aéronefs conçus dans le cadre de cette étude.

1 - Introduction

Cette présentation développe la conception des aéronefs et leurs réalisations effectives. Des projets aboutis sont soumis à l'épreuve de la réalité. Ainsi, les étudiants sont familiarisés avec l'itération théorie-application propre aux projets aboutis.

Un autre aspect concerne l'industrialisation, les étudiants conçoivent leurs systèmes à l'image de tous projets industriels produits en nombre. Il s'agit donc de prendre en compte la reproductibilité dès la conception initiale, démarche qui va bien au-delà d'un unique prototype.

La « réduction des coûts par la simplification des systèmes » est au cœur de ces conceptions. Il s'agit d'imaginer des solutions très simples pour répondre à des problèmes complexes, exercice difficile et clé majeure de la compétitivité dans les applications industrielles.

2 - Vol vertical versus avion

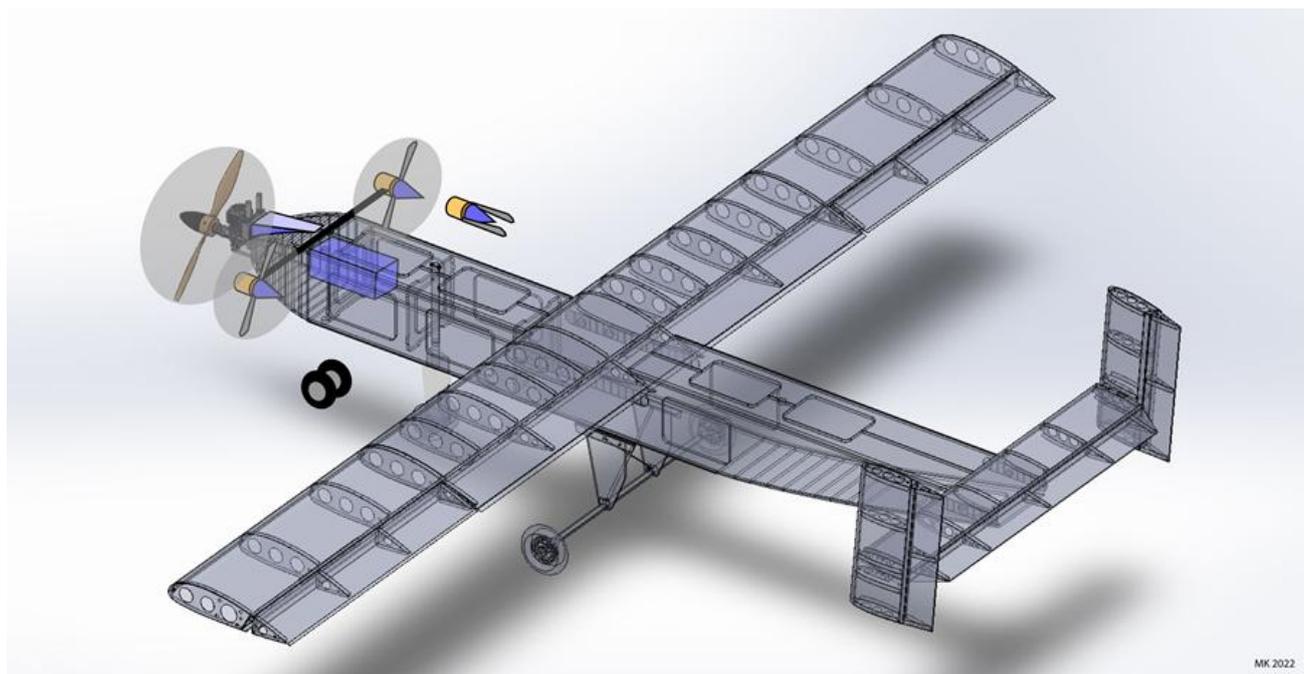
Le vol vertical présente pour avantage sa facilité de mise en œuvre. En revanche, un aéronef de configuration avion permet de voler plus vite, plus loin, embarque une masse utile supérieure, consomme moins d'énergie, et est moins coûteux à produire... Toutefois, le recours à une piste ou à un champ de planéité correcte est nécessaire. La longueur nécessaire au décollage peut être réduite avec une aile hypersustentée associée à une puissance installée élevée.

La solution imaginée, hybride à moteurs non liés (avions 4, 5 et dérivés), répond à ce besoin. Cette solution se caractérise par un « boost » électrique pour réduire les temps d'accélération donc les distances de décollage. La propulsion électrique est complétée par une propulsion thermique, optimisée pour le vol en croisière, afin d'accéder à des autonomies conséquentes. Pour que la masse des batteries ne dégrade pas le rayon d'action ou la masse utile de l'avion, leur capacité est limitée à trois minutes. Cette durée permet de décoller et d'atteindre environ mille mètres. Ainsi, ces avions hybrides à moteurs non liés décollent en moins de 50 m pour les plus légers tout en ayant des distances franchissables conséquentes. Ce principe et ses applications sont développés dans la deuxième partie de cette présentation.

Définition : *l'hypersustentation consiste à réaliser une aile ayant la capacité à augmenter le coefficient de portance pendant les phases de décollage et d'atterrissage. Ainsi les vitesses et les distances de décollage sont réduites grâce à l'hypersustentation.*



Figure 1 : le vol vertical



MK 2022

Figure 2 : La configuration avion : plus vite, plus loin, plus de charge embarquée. Une aile hypersustentée associée à une forte puissance donne à l'aéronef une capacité STOL (Short Take-off and Landing aircraft)

3 - Le processus de conception avion

Concevoir un avion est un processus complexe qui nécessite une itération permanente entre théorie et application, l'une enrichissant l'autre (figure 3). Concevoir les essais au sol, les réaliser, constater les effondrements de structures des sous-ensembles puis de la structure complète, en comprendre les causes, reconcevoir etc. est aussi complexe que la conception initiale de l'avion [3].

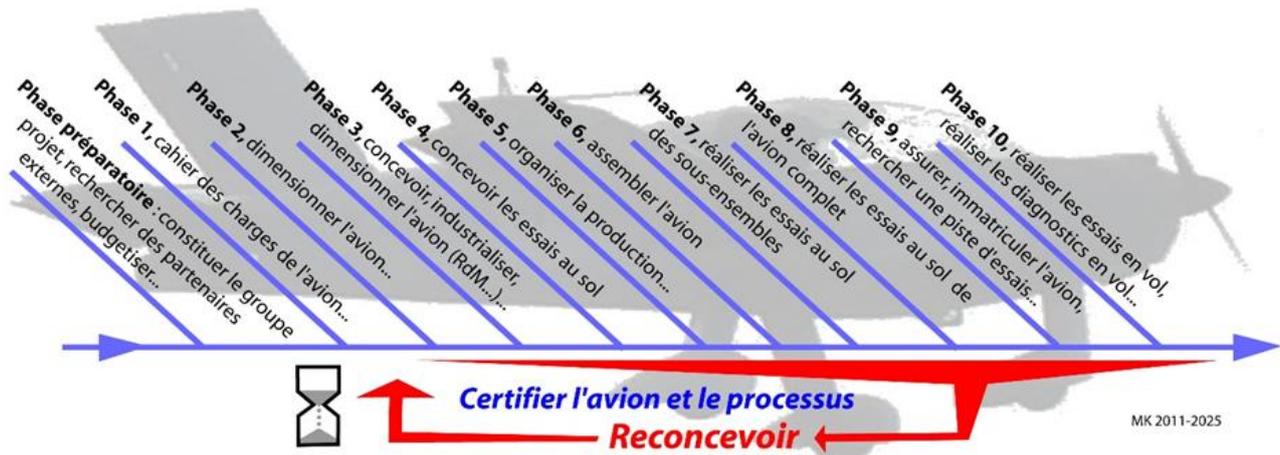


Figure 3 : Synoptique de la conception d'un avion

Précisons les différentes phases de la figure 3 :

En **phase préparatoire** (cf. paragraphe 4) il s'agit de constituer le groupe projet, rechercher des partenaires externes, budgétiser... Cette phase consiste à identifier et à réunir l'ensemble des compétences nécessaires à l'aboutissement du projet. Deux risques se présentent, soit manquer de compétences avec un groupe projet sous dimensionné, soit avoir un groupe projet sur dimensionné ce qui dégrade le coût et la durée du développement. La budgétisation et le business plan sont intimement liés à cette phase.

En **phase 1** (cf. données d'entrée du paragraphe 5) on rédige le cahier des charges fonctionnel. Il s'agit de formaliser les besoins auxquels devra répondre l'avion : charge utile, vitesse de croisière, distance franchissable, coûts objectifs etc. Ce cahier des charges fixe aussi les critères de qualité objectifs définis par comparaison avec des avions proches existant (cf. paragraphe 6). Le cahier des charges peut être remis en cause au fil du développement effectif de l'avion.

La **phase 2** (cf. résultats du dimensionnement paragraphe 5) consiste à déterminer les caractéristiques de l'avion à partir du cahier des charges et des technologies envisagées.

Lors de la **phase 3** (cf. paragraphes 8 à 12) il faut concevoir, industrialiser, dimensionner l'avion (résistance des matériaux) ... Cette phase marque le point de départ de la conception effective de l'avion. La réduction des coûts par la simplification des systèmes et la gestion du temps sont au cœur du développement.

En **phase 4** (cf. paragraphe 13) on conçoit les essais au sol.

En **phase 5** (cf. paragraphe 9) on organise la production. L'organisation de la production se doit d'être la plus proche possible de la production industrielle post prototype.

La **phase 6** consiste en l'assemblage des sous-ensembles puis de l'avion.

En **phase 7** (cf. paragraphe 13) on réalise les essais au sol des sous-ensembles et on les reconçoit selon les résultats.

En **phase 8** (cf. paragraphe 13) on réalise les essais au sol de l'avion complet et on les reconçoit selon les résultats.

En phase 9 il s'agit d'assurer, d'immatriculer l'avion, de rechercher un pilote d'essais et une piste d'essais.

La phase 10 (cf. paragraphe 14) permet de réaliser les essais en vol, de diagnostiquer et éventuellement de reconcevoir selon les résultats.

La certification, selon la réglementation aéronautique, est menée tout au long de ce processus de conception et d'industrialisation.

4 - Construire des chaînes de compétences et suivre un mode de gouvernance

Il s'agit tout d'abord d'identifier les compétences nécessaires à la réalisation du projet. Ces compétences sont réunies dans un groupe projet pluridisciplinaire :

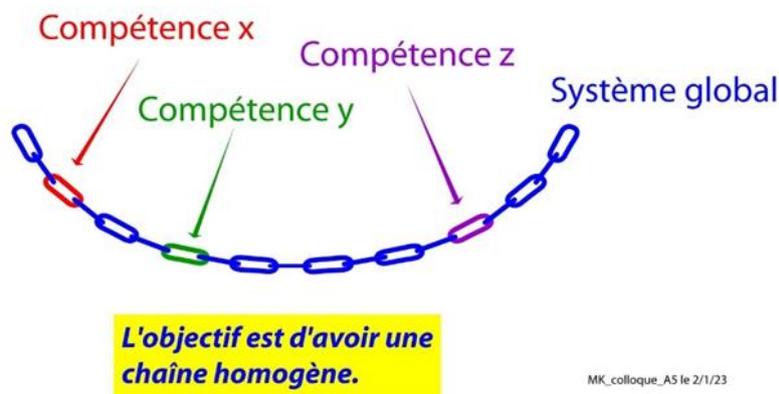
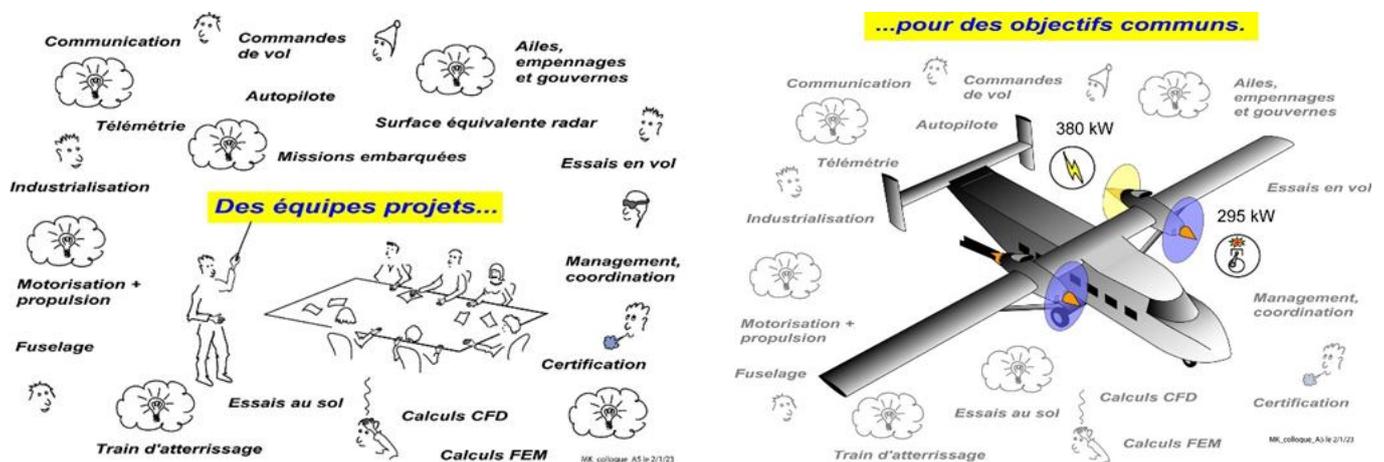


Figure 4 : Chaîne de compétence



Figures 5 : Le groupe projet

Ensuite, le mode de gouvernance consiste à mettre en œuvre des méthodes de créativité et à exploiter l'ensemble des compétences du groupe projet.

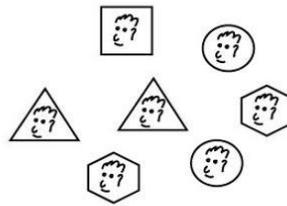
Chaque thème identifié fait l'objet de multiples solutions imaginées par le groupe. A ce stade, le groupe peut constituer un « carrefour stratégique » propre à chaque thème. Un carrefour stratégique représente différentes solutions en opposition entre elles ou, plus rarement, différentes solutions élémentaires combinables entre elles. L'objectif est d'être le plus exhaustif possible quant aux solutions imaginées pour chaque carrefour stratégique.

Ensuite, le groupe organise les carrefours stratégiques entre eux selon l'enchaînement, de carrefours stratégiques successifs, qui semble le plus opportun.

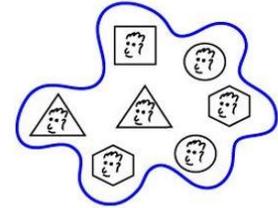
Reste à choisir les solutions pour chaque carrefour stratégique selon l'ordre défini précédemment. Dans certains cas, des carrefours stratégiques sont liés entre eux. C'est à dire qu'il s'agit de choisir simultanément des combinaisons de solutions entre carrefours stratégiques.

Mode de gouvernance :

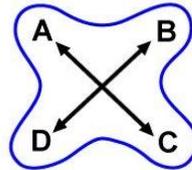
Réunir les compétences nécessaires (pluridisciplinarité) :



Mettre en oeuvre des méthodes de créativité, l'objectif est d'exploiter l'ensemble des compétences du groupe projet :



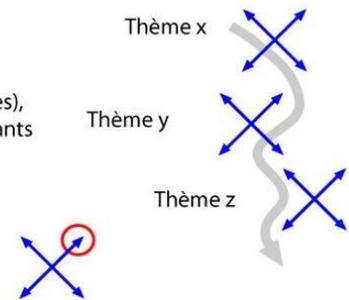
Ainsi, les solutions imaginées sont plus nombreuses, l'exhaustivité est un objectif atteignable :



Impliquer tous les membres du groupe projet pour construire les meilleures décisions.

Processus global quel que soit le sujet :

- 1- Formuler le BESOIN (CdCF).
- 2- Imaginer le maximum de SOLUTIONS, identifier les thèmes (= carrefours stratégiques), repérer les thèmes interdépendants et l'ordre de traitement des différents thèmes.
- 3- CHOISIR les solutions pour chaque thème en impliquant l'ensemble des compétences concernées.



La quasi exhaustivité des solutions imaginées et l'implication de tous ouvre la porte aux meilleurs choix.

MK

Figure 6

L'objectif majeur est d'impliquer la totalité des compétences du groupe projet. Les choix sont donc construits collectivement. Procéder ainsi fiabilise grandement la pertinence de la réflexion du groupe projet.

Des fiches techniques détaillent ce processus, voir le site Cocoyane [5].

5 - Dimensionnement d'un avion

Le dimensionnement d'un avion est basé sur un processus combinant plusieurs itérations afin de définir les caractéristiques de l'avion (puissance installée, masse de carburant, masse au décollage ou MTOW, surface alaire...) à partir d'un cahier des charges et de technologies données. Ce processus permet aussi de reconstituer rapidement les caractéristiques manquantes de tout type d'aéronef [1].

Données d'entrée :

QMpl : qualité massique planeur [/]

Zcr : altitude de vol [km]

Dfr : dist. franchissable (maxi range) [km]

Vcr : vitesse de croisière [km/h]

Mu : masse utile [kg]

Cfe : coefficient équivalent plaque plane [/]

Vso : vitesse minimale de sustentation [km/h]

CZmax : coefficient de portance max [/]

SMnp : surface mouillée non portante [m²]

Sraf : surface recouvrement aile fuselage [m²]

A : allongement [/]

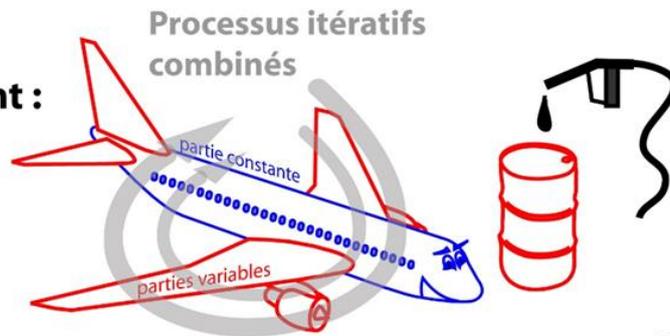
e : coefficient d'Osswald [/]

Rhi : rendement hélice ou fan installé [/]

Msp : masse spécifique [kg/kW]

Csp : consommation spécifique [kg/kWh]

Dimensionnement :



MK 2013-2025

Le dimensionnement nous donne :

QM : qualité massique Mv/Md [/]

TdC : taux de charge des moteurs [%]

Mm : masse des moteurs [kg]

TdV : temps de vol [h]

Mc : masse de carburant [kg]

Md (MTOW) : masse au décollage [kg]

MV : masse à vide [kg]

Sa : surface alaire [m²]

Se : surface des empennages [m²]

SMT : surface mouillée totale [m²]

Pcr : puissance en croisière [kW]

Pinst : puissance installée [kW]

Figure 7 : Données prises en compte dans le dimensionnement d'un avion

Pratiquement, cette phase peut déboucher sur une remise en cause du cahier des charges fonctionnel initial. Par exemple, si la puissance installée initialement envisagée n'est pas compatible avec les performances souhaitées. Dans ce cas, il est nécessaire de remettre en cause le cahier des charges initial ou les technologies initialement envisagées. Ceci en restant proche des limites de coûts initialement prévues et en veillant à garder les autres caractéristiques de l'avion dans des limites acceptables.

6 - Critères de qualité d'un aéronef

Le processus précédent prend en compte les critères de qualité d'un aéronef dont les limites sont définies par les lois de la physique.

Il s'agit alors :

- De définir les limites de ces critères de qualité ;
- D'analyser le positionnement d'un type d'aéronef donné en regard de ces différents critères ;
- De concevoir l'aéronef en se rapprochant des avions les plus efficaces.

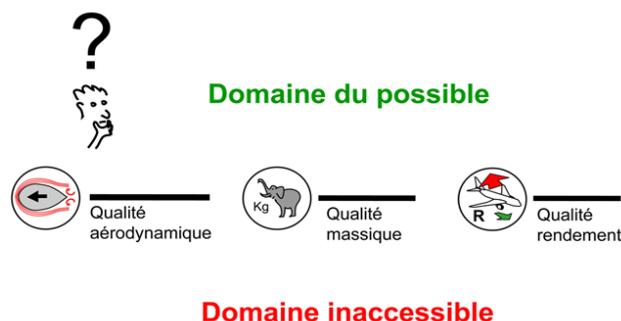


Figure 8 : Critères de qualité et limites physiques

Ces différents critères de qualité sont liés entre eux. Par exemple une amélioration du rendement de la motorisation au prix d'une augmentation de sa masse peut conduire à une augmentation du besoin en énergie de l'avion. Les modèles de dimensionnement mis en œuvre quantifient ces liens avec précision. Il est ainsi possible de trouver l'optimal en réponse à un cahier des charges donné.

7 - Viser d'autres énergies ?

Les problématiques du dérèglement climatique mettent en évidence les inconvénients des énergies fossiles (essence, gasoil ou kérosène). Il est alors intéressant d'évaluer le potentiel des sources d'énergies moins carbonées ainsi que leurs limites.

Batteries électriques : à caractéristiques, performances et masse d'énergie identiques, la distance franchissable d'un avion alimenté par des batteries est environ trente fois moins élevée que l'autonomie d'un avion doté d'un moteur thermique. Ce rapport prend en compte l'énergie contenue dans les batteries et l'excellent rendement d'une chaîne de propulsion électrique.

C'est pourquoi le design et les performances d'un avion électrique sont très différents de ceux d'un avion classique, notamment un allongement élevé (voir figure 11) et une vitesse de croisière réduite.

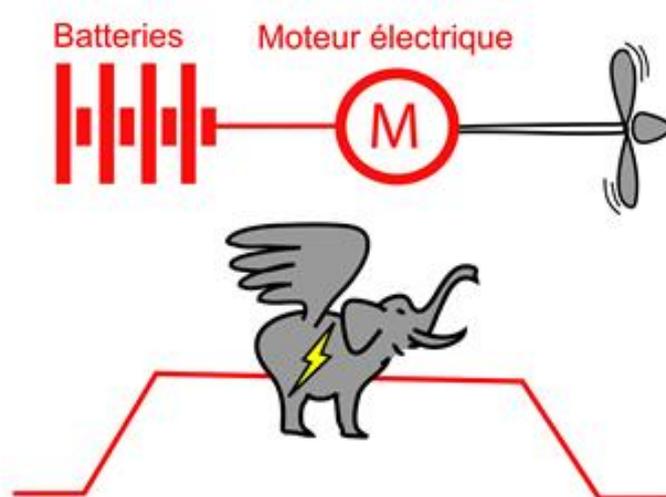


Figure 9 : Problème de l'énergie massique des batteries

Cellules photovoltaïques : même dans les meilleures conditions d'ensoleillement, la puissance est très insuffisante pour faire voler un aéronef classique. Toutefois, un avion solaire est envisageable avec une charge utile limitée et en concevant un avion adapté à une vitesse très réduite, c'est à dire avec une charge alaire réduite et un allongement élevé (voir figure 11). Par ailleurs, la faible masse volumique de l'air dans la stratosphère ne permet plus à des moteurs thermiques de fonctionner. Les vols stratosphériques nécessitent donc une alimentation purement photovoltaïque aux réserves près énoncées ci-dessus. Un drone électro-solaire stratosphérique a été conçu dans cet esprit (figure 10). Le démonstrateur de ce drone, testé à basse altitude, est présenté dans la deuxième partie.

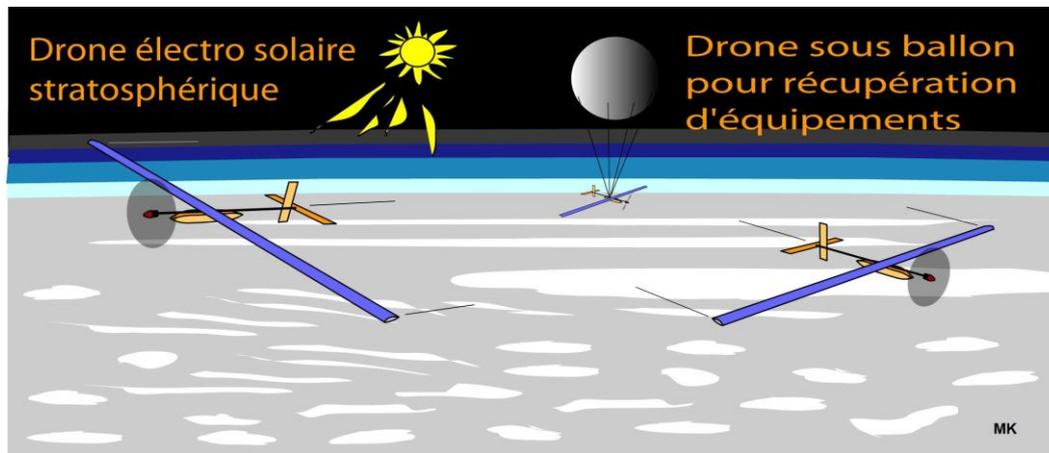


Figure 10 : Drone électro-solaire

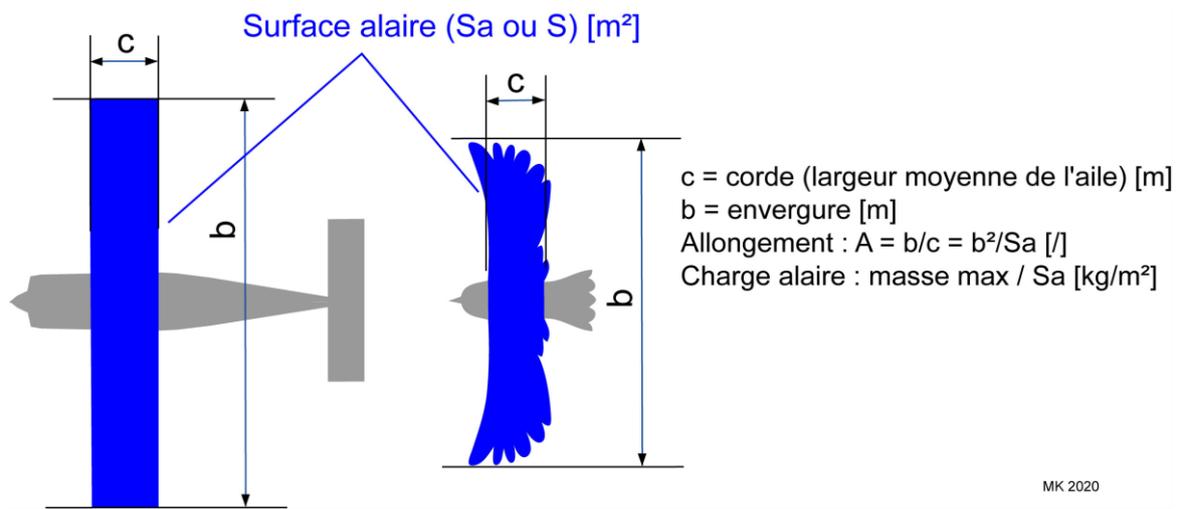


Figure 11 : Allongement, surface alaire, charge alaire

Hydrogène : Bien que potentiellement intéressant, le dihydrogène est difficilement stockable dans un avion du fait principalement de la complexité opérationnelle (plus particulièrement pour la solution LH2) et de la masse très élevée des réservoirs sous pression (350 ou 700 b).

En ce qui concerne la transformation de l'hydrogène en force de propulsion : l'analyse des rendements des chaînes de propulsion montre que la solution de la pile à combustible (PAC) s'avère plus intéressante qu'une solution brûlant directement l'hydrogène dans un moteur à pistons ou dans une turbomachine.

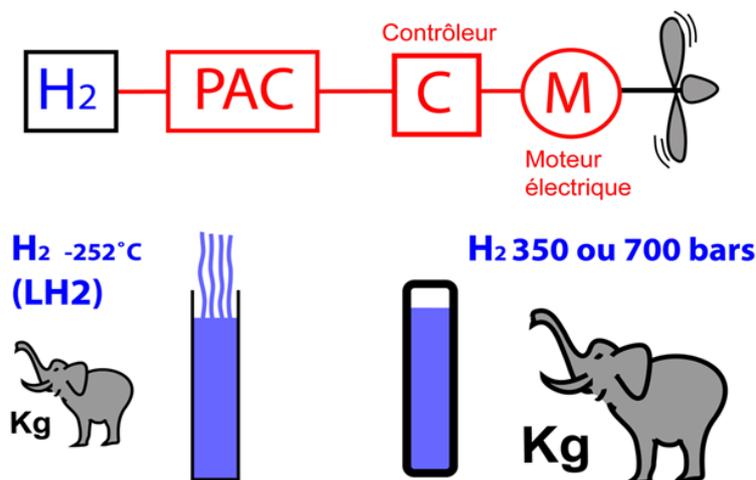


Figure 12 : Problème du stockage du dihydrogène

Agrocarburants et plus largement les carburants d'aviation durables (SAF) : les quantités productibles sont loin des besoins de nos avions actuels. Par exemple, un unique plein d'agrocarburant d'un avion long-courrier nécessite plus de cent hectares de cultures (rappelons que la masse de carburant d'un avion long-courrier représente plus de 40% de sa masse au décollage). Dans ce contexte, il semble préférable de réserver les rares agrocarburants à d'autres usages.

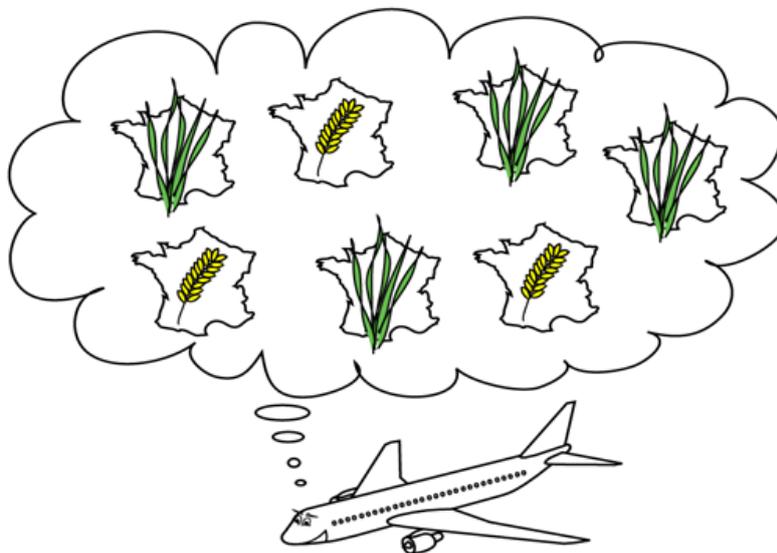


Figure 13 : La piste des agrocarburants

En conclusion, chaque « nouvelle énergie » présentée ci-dessus apporte son lot d'inconvénients en grande partie rédhibitoires. A contrario et quelle que soit l'énergie, la piste de loin la plus intéressante est de concevoir des aéronefs moins gourmands en énergie, à savoir avec des designs et des performances différentes (grand allongement, vitesse de croisière réduite...). Cette problématique est développée dans le lien [2] en annexe.

8 - Concevoir dans un esprit de réduction des coûts par la simplification des systèmes

La réduction des coûts par la simplification des systèmes est une démarche au cœur de nos conceptions. Il s'agit d'imaginer des solutions très simples pour répondre à des problèmes complexes, exercice difficile et clé majeure de la compétitivité des entreprises.

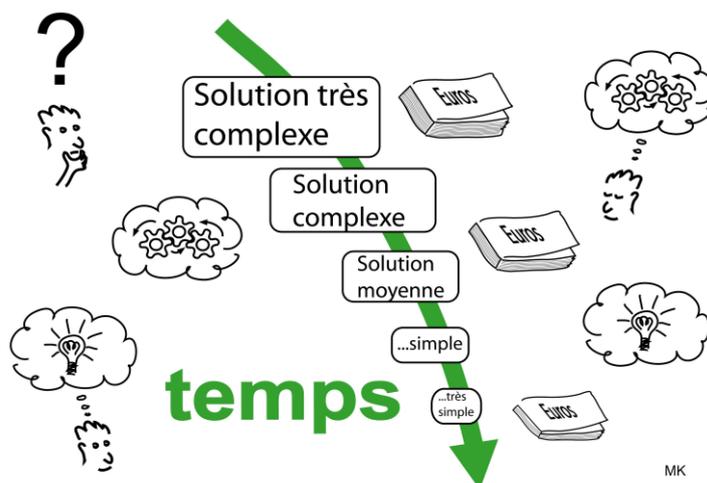


Figure 14 : Evolution vers la simplicité et la réduction des coûts

On peut prendre pour exemple la technologie imaginée pour l'aile : l'aile est continue et de section constante. De plus, les nervures de l'aile sont identiques entre la zone des ailerons et des volets (voir définitions figure 15). L'économie est donc conséquente en masse et en moyens de production : l'aile n'est pas interrompue dans la partie la plus sollicitée et nous n'avons qu'un unique outillage d'emboutissage des nervures. Cette solution permet par ailleurs d'avoir une même section pour les ailerons et pour les volets avec à nouveau un unique outillage pour réaliser les nervures.

Nos conceptions font l'objet de quantité de réflexions analogues : commandes de vols, train d'atterrissage, fuselage, verrière etc.

Les solutions imaginées sont reprises pour tous nos aéronefs constituant ainsi de réels facteurs d'économie.

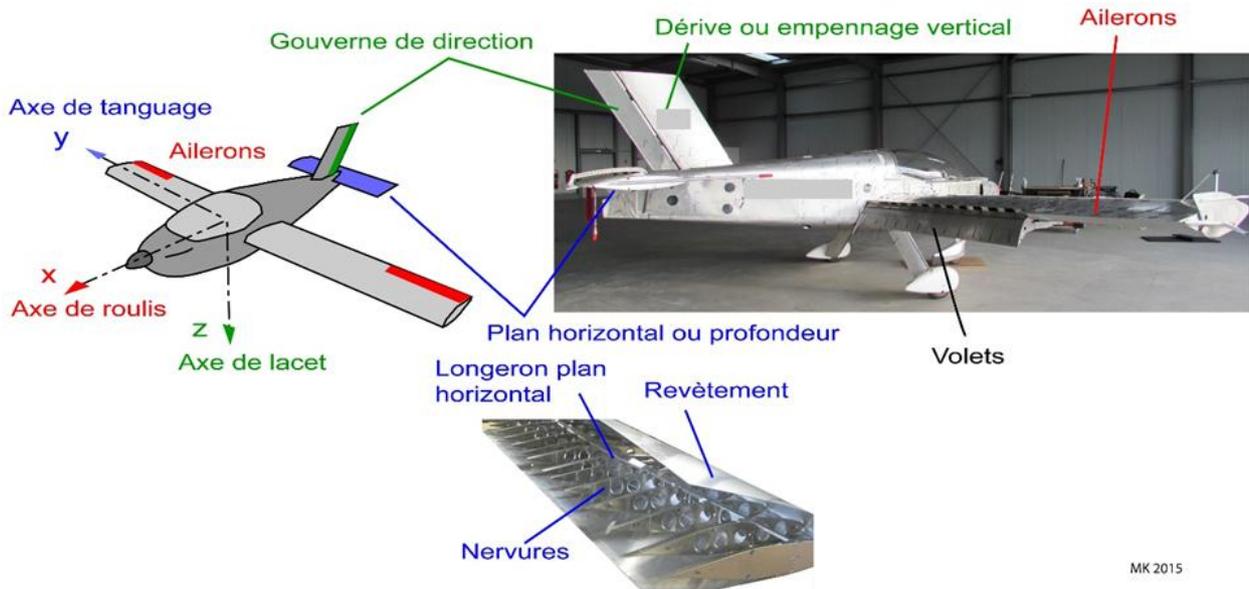


Figure 15 : Définitions

9 - Industrialiser dès la conception initiale

Réaliser un prototype du démonstrateur, le tester au sol et en vol puis répéter ce processus pour un prototype industrialisé revient à réaliser le travail deux fois (partie gauche de la figure 16). Ainsi, il est de loin préférable de s'affranchir d'un démonstrateur pour réaliser directement un prototype industrialisé, le gain de temps est conséquent (partie droite de la figure 16).



Figure 16 : L'industrialisation dès la conception initiale

10 - Gérer le temps et réduire les coûts de développement

Un projet aéronautique est par nature complexe et rencontre en permanence des imprévus. Ceci nécessite de remettre en cause en permanence les systèmes et les processus de conception. Ce côté aléatoire rend une planification initiale détaillée peu utile voire contre-productive. Cependant, il est utile de planifier sommairement le projet en se donnant des dates butoirs pour les grands sous-ensembles (aile, fuselage, commandes de vol ...).

Au-delà de la conception de la machine, il est indispensable de gérer au mieux le temps, les moyens humains et les matériels disponibles afin d'atteindre l'objectif principal. A savoir, disposer de l'aéronef dans les temps prévus avec les performances souhaitées. Ceci nécessite à tout instant de :

- S'interroger sur les ressources humaines et matérielles disponibles ;
- Repérer ce qui est de premier ordre et de second ordre.

En pratique, il est nécessaire d'imaginer en permanence des « modes dégradés » acceptables afin de pouvoir atteindre l'objectif dans des temps limités.

Ne pas procéder ainsi conduit à des dépassements conséquents des délais remettant en cause le projet. Nous sommes loin d'un plan prédéfini mais nous sommes dans une observation et une adaptation permanente. Ceci nécessite aussi d'analyser les solutions qui ont fait leurs preuves, de mettre en œuvre des méthodes de créativité et de prendre son temps... pour aller plus vite avec peu de moyens.

A titre d'exemple, l'avion 1 (figure 17) a été développé en moins de six mois alors que la durée de développement d'un avion léger industrialisé est en général de plusieurs années.



Figure 17 : Avion N° 1

11 - Construire des gammes pour réduire les durées et les coûts de développement

Pour réduire les temps et les coûts de développement, l'idée forte est d'imaginer des technologies ré-employables pour différents types d'aéronefs. Par exemple :

- La technologie imaginée pour l'aile de nos avions est particulièrement intéressante et est reprise pour tous nos avions quelles que soient ses dimensions (surface alaire, allongement...);
- Les fuselages imaginés pour nos avions 3 à 6 sont d'une extrême simplicité et sont identiques et compatibles avec les différentes ailes et empennage développés ;
- Les systèmes de commandes et l'autopilote sont compatibles avec tous nos avions...

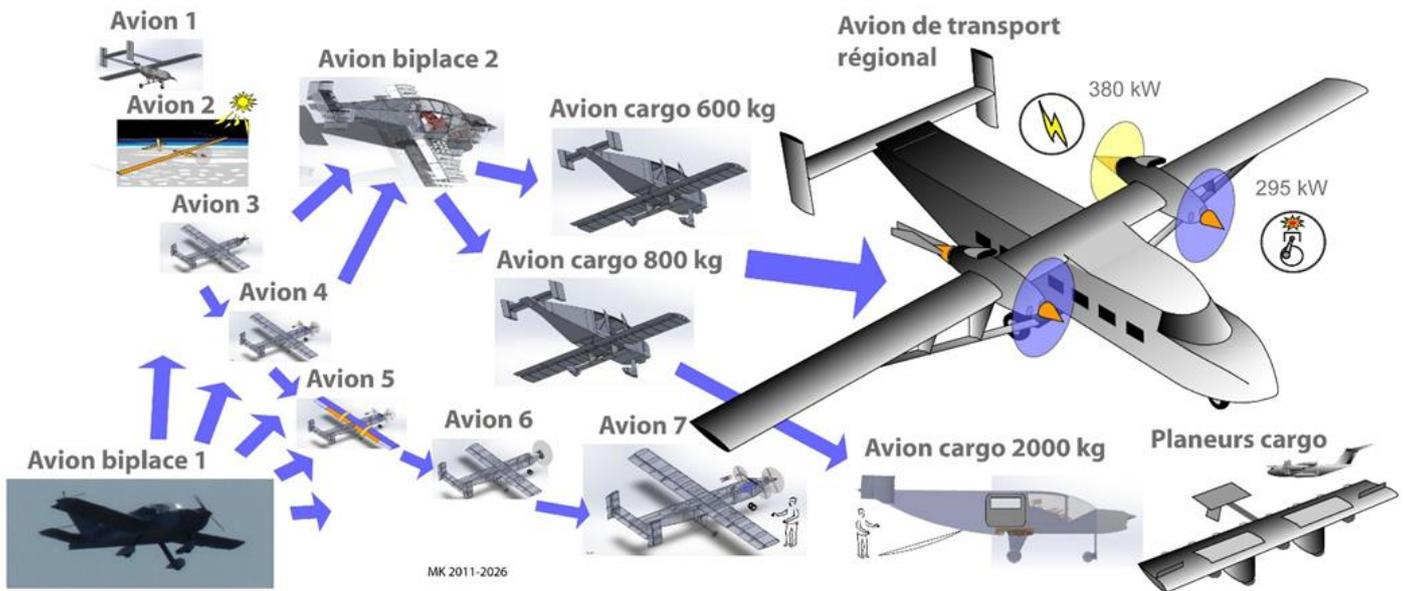


Figure 18 : Réemploi des technologies pour différents aéronefs

12 - Approche 100% numérique ou ...

Rien ne saurait remplacer la maîtrise de l'état de l'art et la capacité à réaliser des approximations rapides complétées si nécessaire par des approches numériques. Procéder ainsi est une clé majeure pour atteindre les objectifs rapidement et à moyens minimaux.



Figure 19 : Approche 100% numérique ou non ?

13 - Réaliser les essais au sol

Concevoir les essais au sol, les réaliser, constater les effondrements de structures des sous-ensembles puis de la structure complète, en comprendre les causes, reconcevoir etc. est aussi complexe que de concevoir l'avion [3].

Par expérience, la quasi-totalité des structures sont détruites avant d'atteindre les charges ultimes imposées par les essais au sol. Ces effondrements de structures ont pour cause dominante l'instabilité des matériaux qui sont par nature difficile à prédire par les calculs.

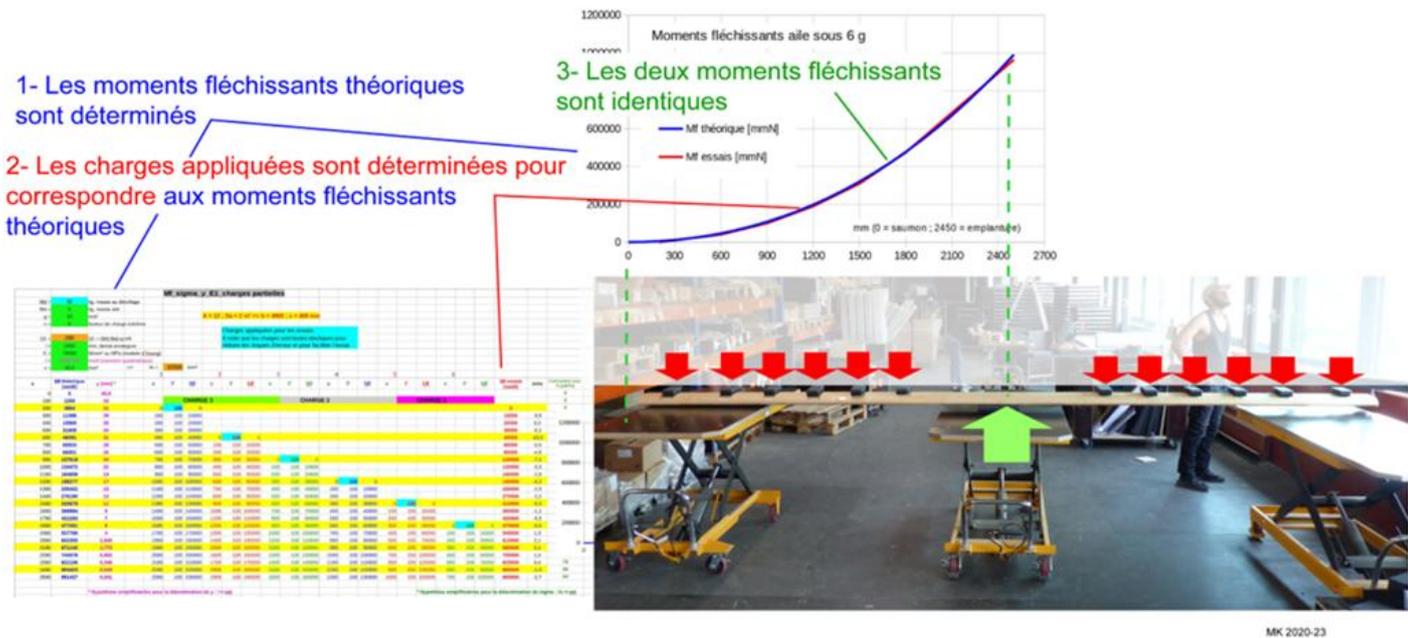


Figure 20 : Processus de dimensionnement et d'essais

Au-delà de la tenue de l'avion aux charges ultimes imposées par la réglementation aéronautique, un autre objectif est de quantifier le niveau de corrélation entre calcul et réalité (figure 20). Lorsque l'écart est raisonnable, inférieur à 10 à 20%, nous en déduisons que le calcul est réaliste. Dans le cas contraire, il est nécessaire de revoir la méthode de calcul.

Un autre aspect est de vérifier la liberté de mouvement des surfaces mobiles sous déformations maximales. Ce point est aussi pris en compte lors des dimensionnements et est un critère clé lors de la recherche de solutions pour les liaisons des surfaces mobiles.

14 - Réaliser les essais et les diagnostics en vol

Les essais en vol ont pour objectif de vérifier si les performances calculées correspondent à la réalité. Ceci est rarement avéré lors des premiers essais. D'où la nécessité d'en trouver la cause lors des diagnostics en vol puis d'imaginer des solutions correctives. Par exemple une traînée trop élevée ou un rendement propulsif trop faible. Nous voyons figure 21 la puissance nécessaire à l'avion pour voler à sa vitesse de finesse max :

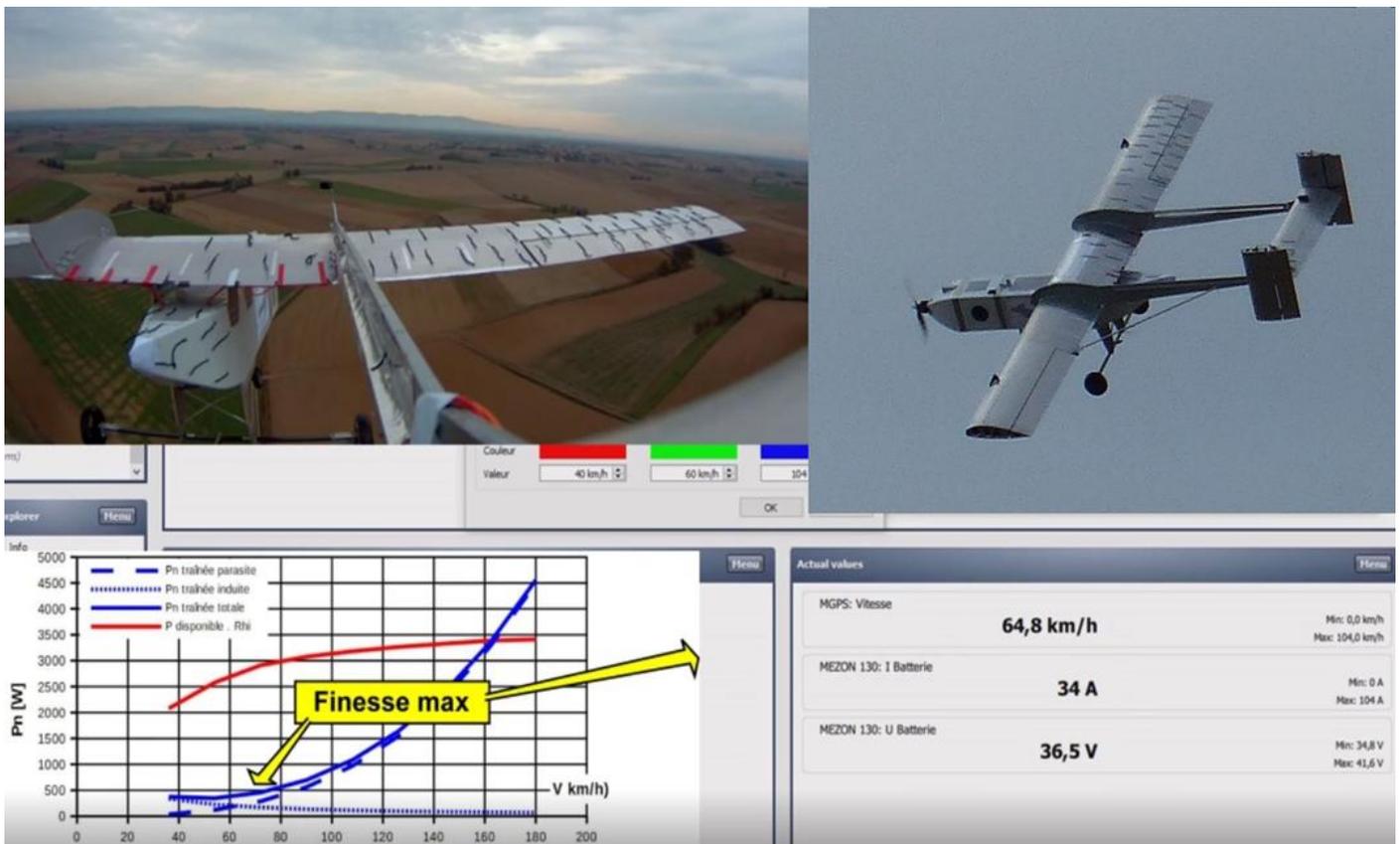


Figure 21 : Essais et diagnostics en vol

Un autre aspect consiste à vérifier si l'équilibre et la stabilité de l'avion, déterminés par calcul, sont conformes aux objectifs. Un défaut de stabilité conduit à la perte de l'avion avec une quasi-certitude. Par exemple, nous avons endommagé un avion par défaut de stabilité malgré nos calculs réalisés lors de la conception de l'avion. Ce problème a été corrigé par modification du centrage de l'avion en augmentant la longueur du fuselage. Retenons que les calculs sont incontournables mais ne sont qu'une approximation plus ou moins juste de la réalité.

Parmi les nombreuses problématiques à résoudre, le comportement de l'avion aux limites du domaine de vol est un sujet majeur.

Définition : le décrochage d'une aile se produit lorsque le coefficient de portance maximal est atteint. Dans ce cas, nous avons un décollement de la couche limite avec pour effet une perte plus ou moins brutale de la portance et un risque majeur de perte de contrôle de l'aéronef. Notamment, une perte de contrôle en roulis débouche sur un départ en vrille avec la perte certaine de l'aéronef lorsqu'il est à basse hauteur.

Ainsi, il est nécessaire de limiter le risque de perte de contrôle en roulis par la conception de l'aile. La figure 22 présente le fonctionnement de générateurs de tourbillons qui permettent de s'assurer d'un meilleur contrôle de l'avion en roulis en cas de décrochage.

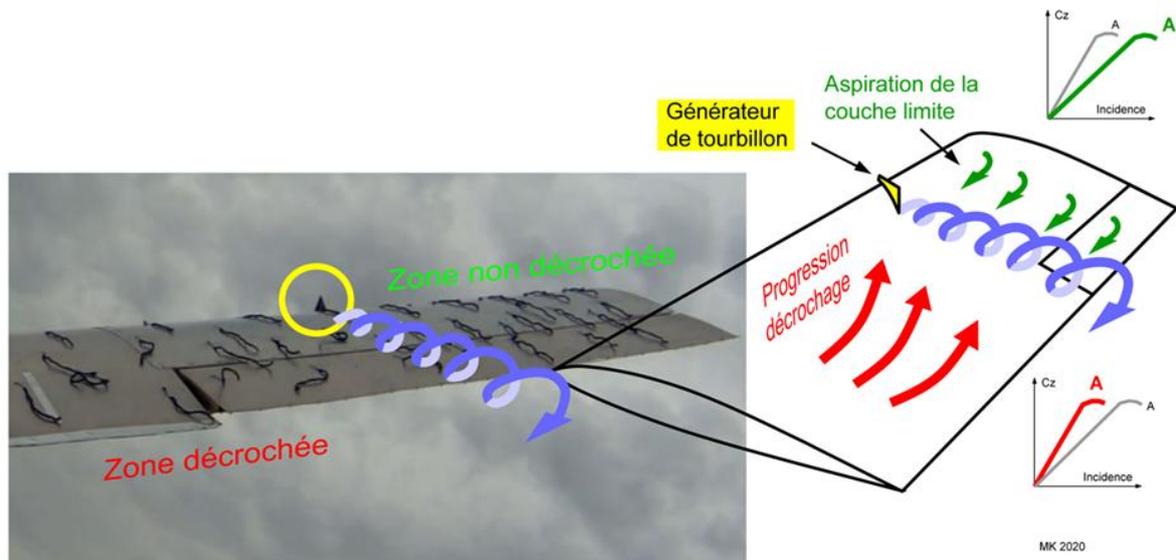


Figure 22 : Générateur de tourbillons

Les générateurs de tourbillons permettent en effet de :

- Ralentir la progression du décrochage vers les ailerons ;
- Réduire en partie l'allongement de l'extrémité de l'aile avec pour effet un décrochage à des incidences plus élevées dans la zone des ailerons

Le contrôle en roulis est aussi conditionné par le type de profil et par la forme de l'aile vue de dessus. Combiner ces différentes solutions sécurise le comportement de l'avion aux limites du domaine de vol [4].

Lors des essais en vol, de nombreuses données sont récupérées par télémétrie et par enregistrements. Ces données sont analysées en détail au terme de chaque vol d'essais (voir exemple figure 21).

15 - Autopilote, gestion des modes dégradés, atterrissage automatique...

Pour les avions 5, 6 et 7, les drones marins à foils, les drones cargo, le drone stratosphérique électro-solaire, le planeur cargo... nous cherchons à :

- Créer un autopilote robuste, adaptable et autonome ;
- Avoir la capacité de décollage automatique ;
- Assurer le vol de croisière stabilisé et le suivi d'une trajectoire programmée ;
- Prendre en compte des modes dégradés en cas de défaillances partielles ou totale ;
- Avoir la capacité de réaliser des atterrissages autonomes...

Le système permettra :

- Un pilotage à distance en mode téléopéré ;
- Une modification de la trajectoire en temps réel.

L'auto-pilote est en cours de développement avec un partenaire industriel.

16 - Solutions pour réduire la surface équivalente radar (SER)

L'avion 5.2 est précurseur d'avions à faible SER. L'aile est en composite fibre de verre et le fuselage est en bois. Les équipements internes feront l'objet d'une étude de SER en chambre anéchoïque (figure 23) :

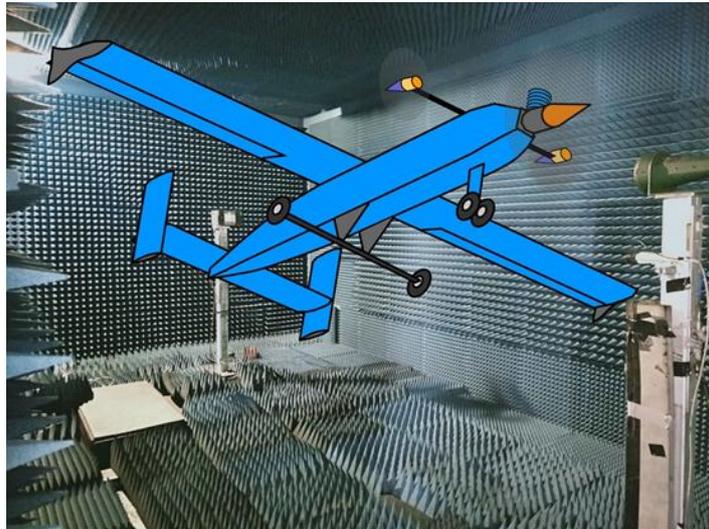


Figure 23 : Avion 5.2 représenté dans une chambre anéchoïque

17 - Conclusion de la première partie

Dans cette première partie, nous avons présenté les grands principes de la démarche enseignée aux étudiants pour concevoir, produire et tester des aéronefs industrialisés.

Dans la seconde partie nous présenterons les différents avions réalisés, les projets en gestation et différents concepts d'avions de transport.

Références et documents complémentaires :

[1]: Lien vers la modélisation et la reconstitution des données manquantes d'aéronefs quels qu'ils soient, l'étude de cas concerne le B777-200 avec une digression vers des aéronefs atypiques :

https://www.hkw-aero.fr/MK_reconstitution_caracteristiques_aeronefs_2.mp4

[2]: https://www.hkw-aero.fr/MK_3AF_conference_parties_1_et_2_2024.mp4

[3]: https://www.hkw-aero.fr/pdf/MK_conference_materiaux_.pdf

[4]: Lien vers des diagnostics en vol, voire plus particulièrement la recherche de la puissance à la vitesse de finesse max et l'analyse du comportement au décrochage de l'avion :

https://www.hkw-aero.fr/MK_diagnostics_en_vol_avion_1.mp4

[5]: Lien vers les fiches techniques du mode de management de projet :

<https://www.cocyane.fr/index.html>

[6]: Conception des aéronefs - Drones et concepts d'avions industrialisés très économiques (partie 2/2), M. Kieffer, Septembre 2025,

https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/conception-des-aeronefs-industrialises-economiques-partie2

Ressource publiée sur Culture Sciences de l'Ingénieur : <https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay>