

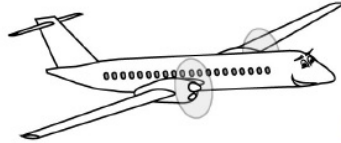
Programmes de formation dans le domaine des transports



Technologies ?



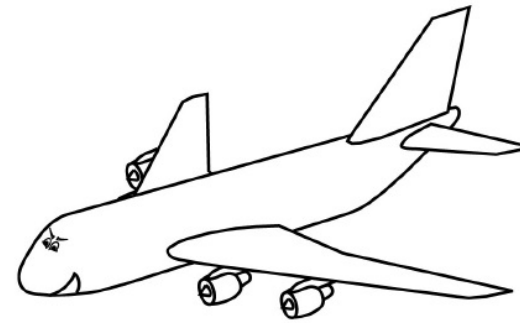
Propulsion ?



Vitesse ?



CO2 ?



Hydrogène ?



Aérodynamique ?

SAF ?

Capacité ?

Design ?

Autonomie ?



C-TECAT



Cursus
Transition
Energétique,
Conception
Aéronautique
et Transports

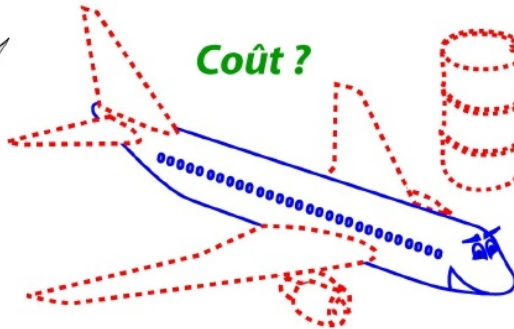
**Cahier des
charges ?**



Kérosène ?

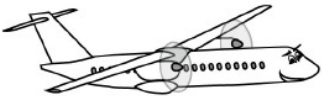


Coût ?



Court courrier ?

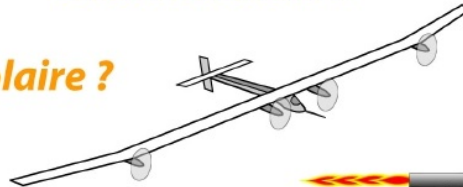
Electricité ?



Biomimétisme ?



Solaire ?



Configuration ?



Passé ?



Genèse ?



Effet de sol ?



Indice N1 à N5 : rajouts de cours et des chapitres : 3- Histoire et évolution des technologies aéronautiques ; 6- lanceurs spatiaux.

Indice N6 à N8 : rajout de cours, notamment du cours 10 (chapitre 2) : la simplification des systèmes dans la conception aéronautique.

Indice N9 : rajout de cours.

Indice O1 2 : restructuration du document.

Indice P1 P2 : modifications mineures et rajout d'images.

Indice Q1 : restructuration du document/

Ces cours, dans le domaine des transports, son assurés dans différentes universités et écoles d'ingénieurs.

Une partie des cours ci-après est issue du programme de recherche réalisé.



Sommaire

- 1- Objectifs de ces cours
- 2- Aérotechnique
- 3- Avionique, instruments, électronique et logiciels embarqués (CG)
- 4- Conception, management de projet
- 5- Histoire et évolution des technologies aéronautiques
- 6- Véhicules terrestres
- 7- Vol suborbital
- 8- Lanceurs spatiaux
- 9- Résistance des matériaux appliquée aux avions

1- Objectifs de ces cours

De manière générale, ces thèmes ont pour objectifs la réduction des consommations d'énergies et la diminution des émissions de gaz à effet de serre, enjeux majeurs aujourd'hui.

Ces thèmes sont traités de manière à permettre aux étudiants de mener un avant-projet d'engin de transport aérien, routier ou ferroviaire. Ces cours donnent les clés pour déterminer les traînées aérodynamiques, les puissances nécessaires, les consommations, les émissions de gaz à effet de serre... Ceci quelle que soit la motorisation retenue (thermique, électrique, hybride...). Ainsi les étudiants peuvent agir sur les différentes composantes d'un véhicule terrestre ou aérien « type de motorisation, charge utile, autonomie, vitesse, cycle d'usage ou profil de vol, dimensions, nature des matériaux utilisés... » afin d'en évaluer l'impact sur la consommation d'énergie et sur les pollutions associées.

L'énergie grise, liée à la production des matériaux et à la production de l'énergie, est développée. Ce cours propose aussi aux étudiants d'analyser :

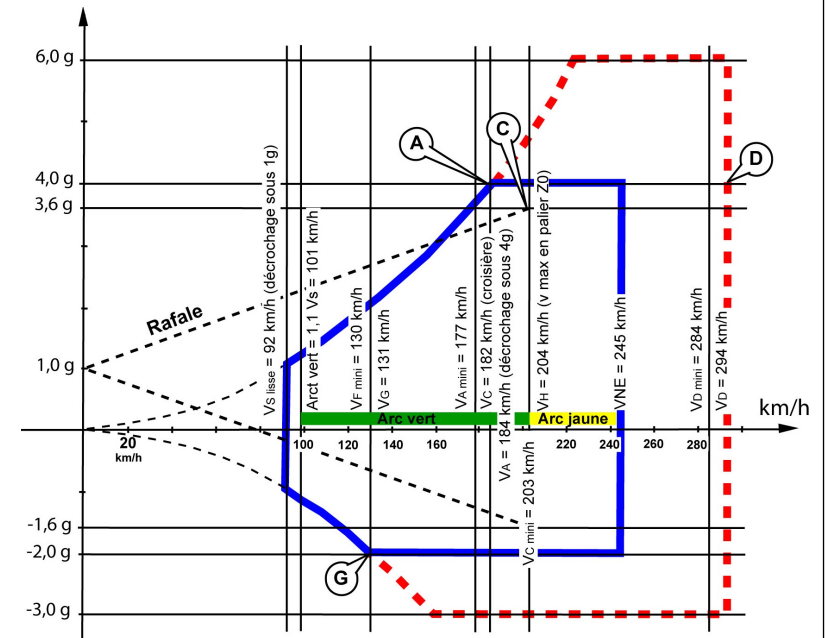
- les dérives de la "communication verte" ou "éco-marketing" des constructeurs et exploitants de moyens de transports ;

- les trop nombreuses solutions novatrices, de premier abord, mais qui ne résistent pas à l'épreuve des chiffres.

2- Aérotechnique

Généralités

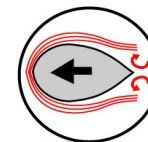
- 1- Introduction, définitions
- 6- Historique du vol
- 7- Réglementations et certifications aéronautiques
- 8- Diagramme Vn
- 9- L'atmosphère
- 10- Vol horizontal



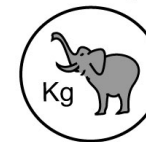
Critères de qualité des avions

- 1- Critères de qualité
- 2- Ensemble critères de qualité des moyens de transport
- 3- Qualité massique mission (QMm)
- 4- Qualité massique variable (QMv)

Qualité
aérodynamique



Qualité
massique



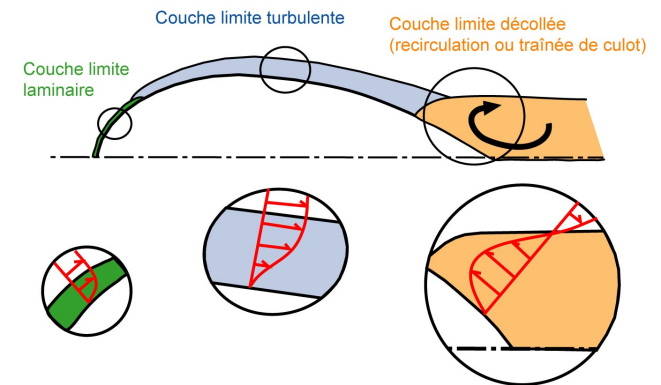
Qualité
rendement



- 5- Qualité massique limite (QMI) et objectif de réduction des masses (Orm)
- 6- Influence de la qualité massique d'un avion sur la consommation au cent par siège
- 7- Consommation en fonction de la qualité massique à maxi range constante

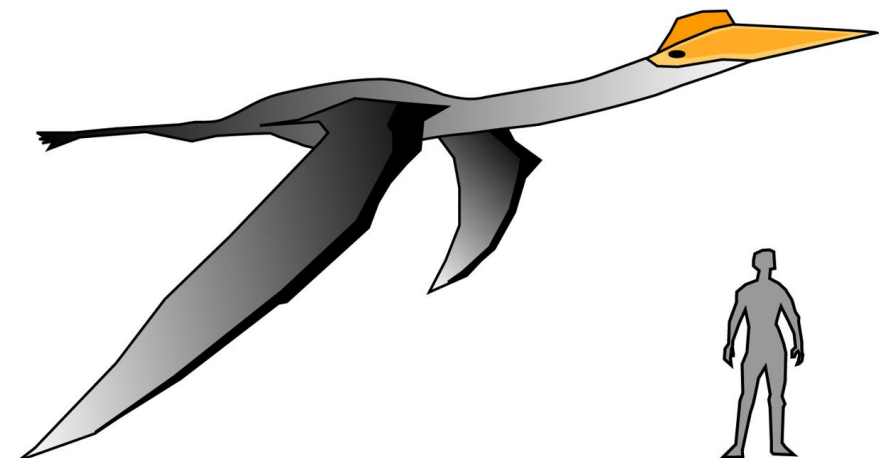
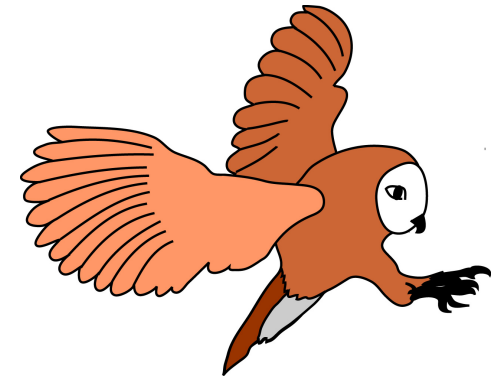
Couche limite, traînée parasite

- 1- Couche limite, traînée parasite
- 2- Impact de la laminarité sur les performances des avions légers et des avions de transport
- 3- Diagnostics aérodynamiques en vol, moyens de correction
- 4- Détermination expérimentale en vol du Cxo d'un aéronef
- 5- Diagnostic en vol, influence d'un rétreint de fuselage sur le Cxo
- 6- Traînée de refroidissement
- 7- Historique de la traînée parasite
- 8- Modélisation de la géométrie des composants avions



Biomimétisme, avions à propulsion humaine

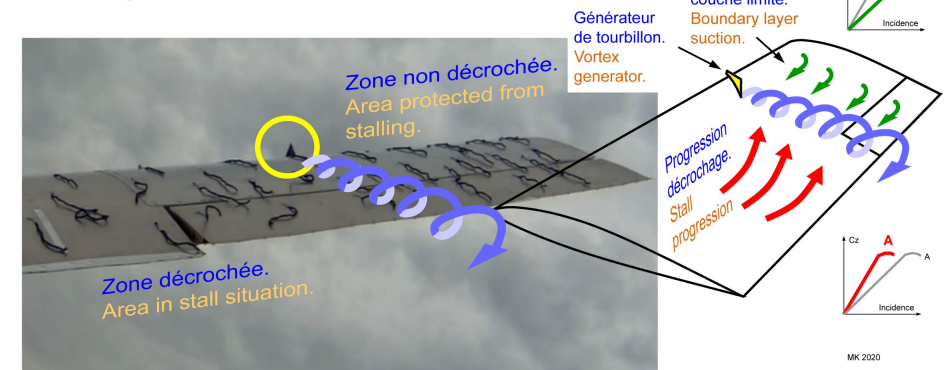
- 1- Détermination du Cfe des oiseaux
- 2- Détermination du rendement propulsif des ailes battantes
- 3- Détermination de la vitesse de vol optimale d'un oiseau donné
- 4- Équilibre et stabilité des oiseaux, gestion du centre de gravité
- 5- Analyse de la puissance massique des oiseaux par rapport aux humains et aux avions
- 6- comparaisons des « mécanismes physiologiques » (articulations) et des systèmes mécaniques conçus par l'homme
- 7- Reconstitution d'animaux volants aujourd'hui disparus (ptérosaures...)
- 8- Reconstitution des données manquantes : les sources et leurs validations
- 9- Analyse des avions à propulsion humaine



Portance

- 1- Nature physique de la portance, fonctionnement aile, polaire avion
- 2- Profils
- 3- Forme aile et C_z locaux
- 4- Coefficients de moments
- 5- Étude de cas : Bugatti 100P
- 6- Diagnostics en vol, comportement au décrochage, contrôle de la couche limite
- 7- Relation entre la complexité des dispositifs hypersustentateurs d'avions de transport sur leurs coefficients de portance max (C_z max), impact sur les performances.
- 8- La formule biplan revisitée
- 9- Influence des défauts de forme des profils sur les polaires

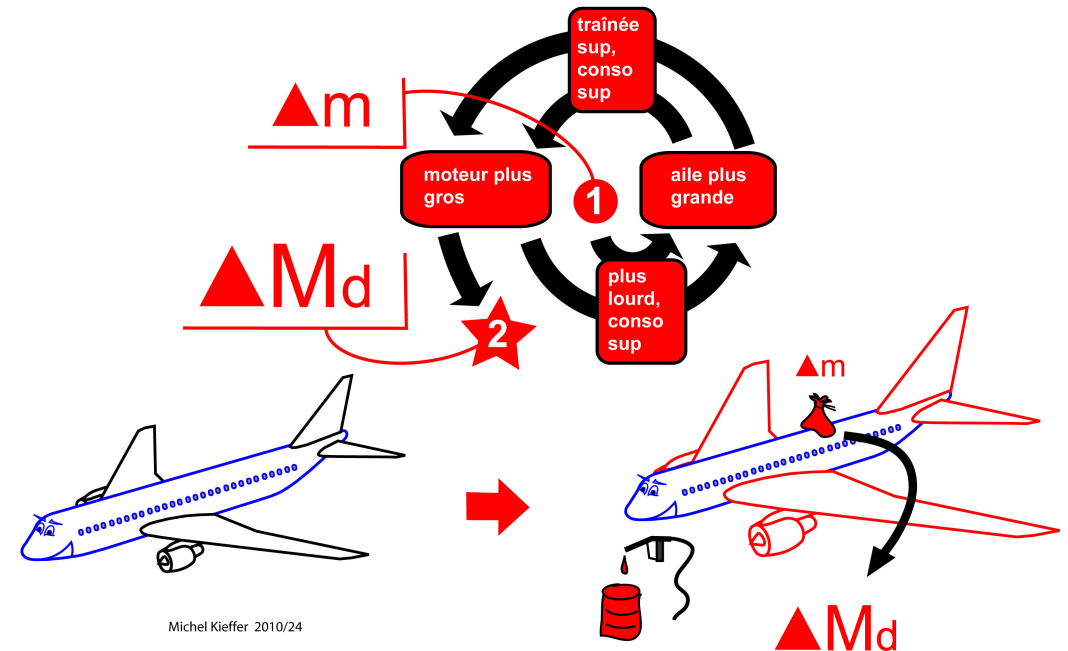
Les générateurs de tourbillons ralentissent la progression du décrochage vers les ailerons afin de préserver le contrôle en roulis de l'avion.
 The vortex generators slow the progression of the stall toward the ailerons to preserve roll control of the aircraft.



Coefficient spirale

- 1- Coefficient spirale (au coefficient d'amplification des masses) par l'auto-similitude
- 2- Coefficient spirale par analyse d'avions existants
- 3- Coefficient spirale par pré-dimensionnement d'avions fictifs
- 4- Coefficient spirale, variabilité
- 5- Coefficient spirale en fonction de la maxi range pour laquelle est conçu l'avion
- 6- Coefficient spirale en fonction de la qualité massique à maxi range constante
- 7- Coefficient spirale en fonction du delta masse initial à maxi range constante
- 8- Un autre coefficient spirale : « coefficient spirale propulsion »

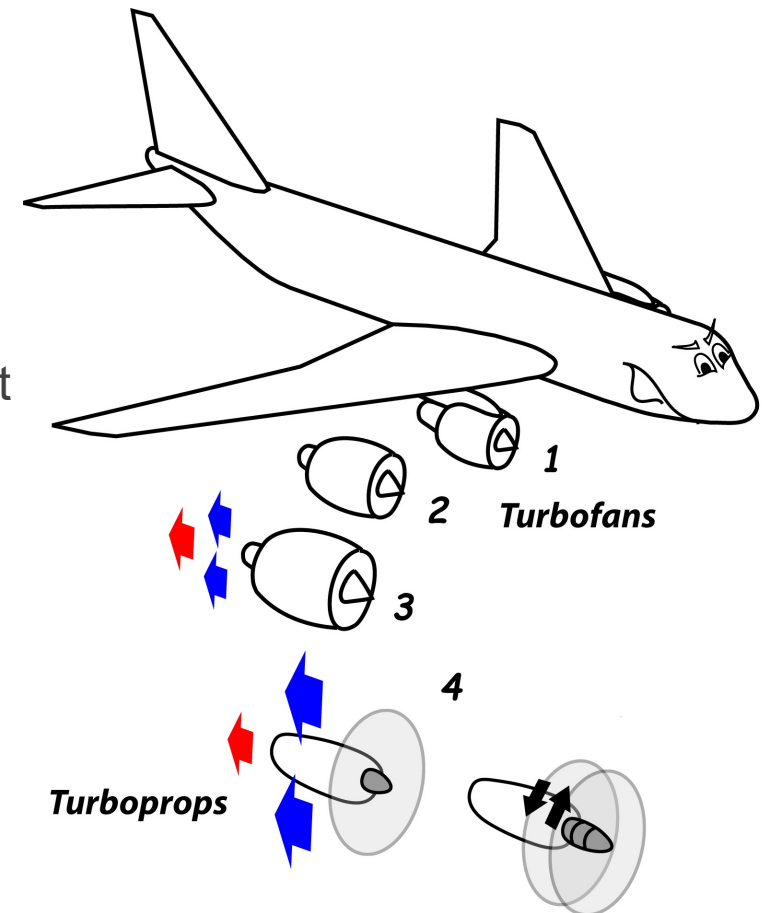
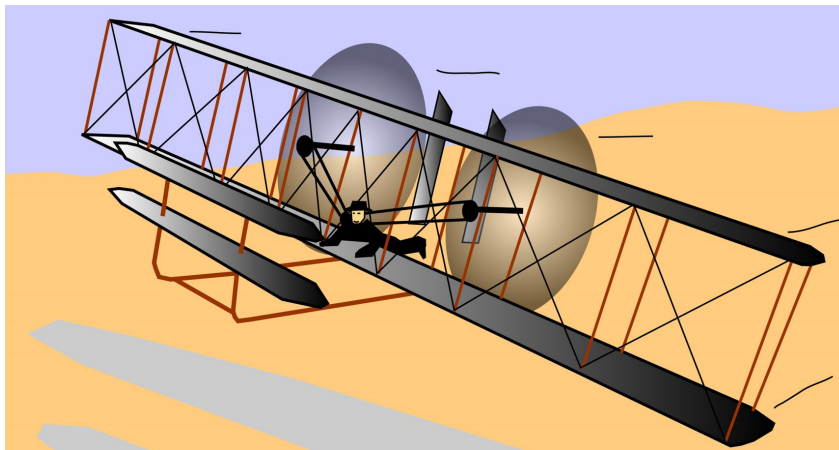
Coefficient spirale (Cs) : $\Delta M_d = C_s \times \Delta m$



Michel Kieffer 2010/24

Propulsion

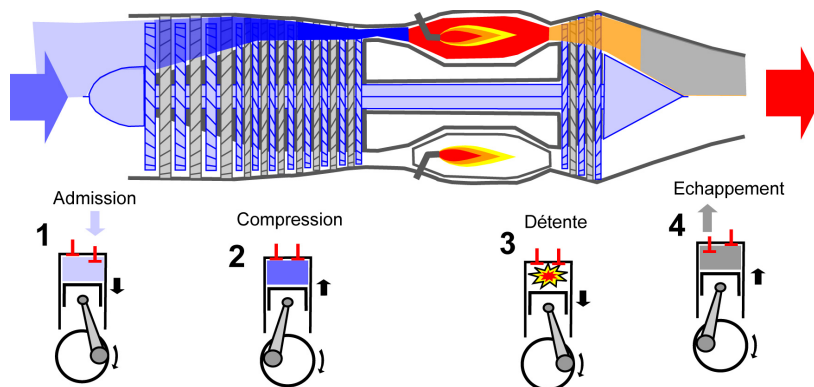
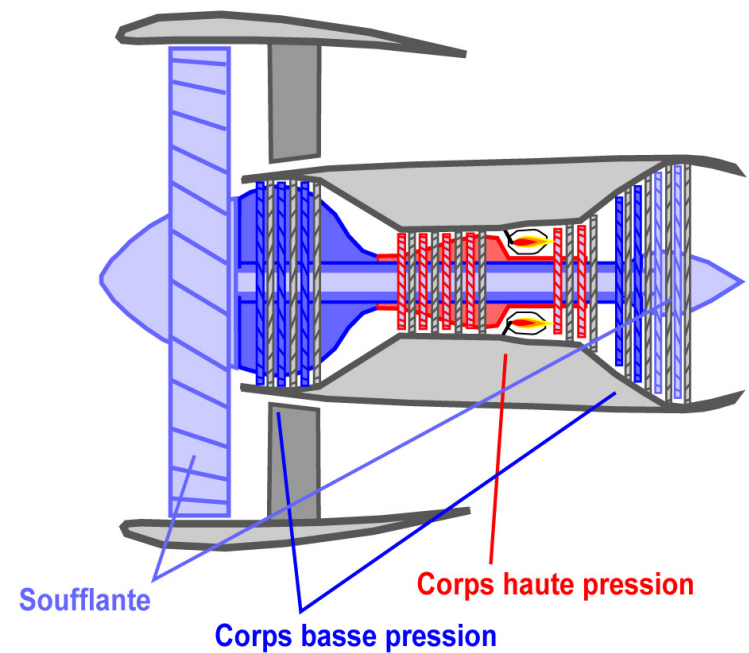
- 1- Rendements propulsifs des hélices, des fans...
- 2- Détermination du rendement des hélices selon le rapport NACA 640
- 3- Impact du nombre de pales sur les rendements de propulsion
- 4- Études de cas, détermination du rendement propulsif et de la consommation spécifique d'aéronefs (turbofan, moteurs Olympus du Concorde, pulsoréacteurs...)
- 5- Détermination du rendement propulsif des ailes battantes



Motorisations

- 1- Motorisations, types et domaines d'usage
- 2- Motorisation, évolution des consommations spécifiques et des masses spécifiques au fil du temps
- 3- Détermination de la consommation spécifique (C_{sp}) d'un avion de transport
- 4- Solution hybrides, différents principes
- 5- Solution hybrides à moteurs non liés, réalisation de démonstrateurs et définition de concepts d'avions de transport régional plus économiques
- 6- Méthodes de détermination expérimentale de la puissance d'un moteur installé

Turboréacteur double flux triple corps



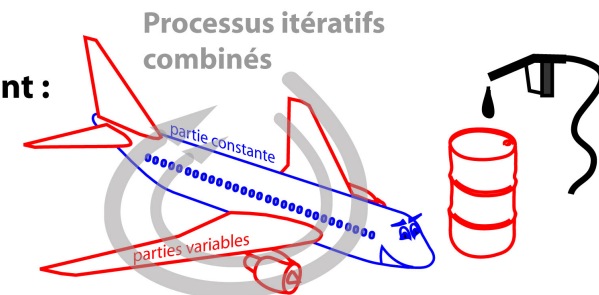
Équations fondamentales, dimensionnement des avions

- 1- Équations fondamentales
- 2- Diagnostics visuels d'avions existants
- 3- Pré-dimensionnement avion (modèle 1)
- 4- Pré-dimensionnement avion intégrant la variation de masse de carburant au fil du vol (modèle 2)
- 5- Pré-dimensionnement intégrant la variation de vitesse et d'altitude au fil du vol
- 6- Influence de l'autonomie sur la consommation au cent par siège et sur les caractéristiques de l'avion
- 7- Consommation au cent par siège en fonction de la vitesse pour laquelle est conçu l'avion
- 8- Détermination des rendements thermopropulsifs (combinaison modèle de pré-dimensionnement avion et de détermination du rendement propulsif)

Données d'entrée :

QMpl : qualité massique planeur [/]	Cfe : coefficient équivalent plaque plane [/]	A : allongement [/]
Zcr : altitude de vol [km]	Vso : vitesse minimale de sustentation [km/h]	e : coefficient d'Osswald [/]
Dfr : dist. franchissable (maxi range) [km]	CZmax : coefficient de portance max [/]	Rhi : rendement hélice ou fan installé [/]
Vcr : vitesse de croisière [km/h]	SMnp : surface mouillée non portante [m²]	Msp : masse spécifique [kg/kW]
Mu : masse utile [kg]	Sraf : surface recouvrement aile fuselage [m²]	Csp : consommation spécifique [kg/kWh]

Dimensionnement :



MK 2013-2025

Le dimensionnement nous donne :

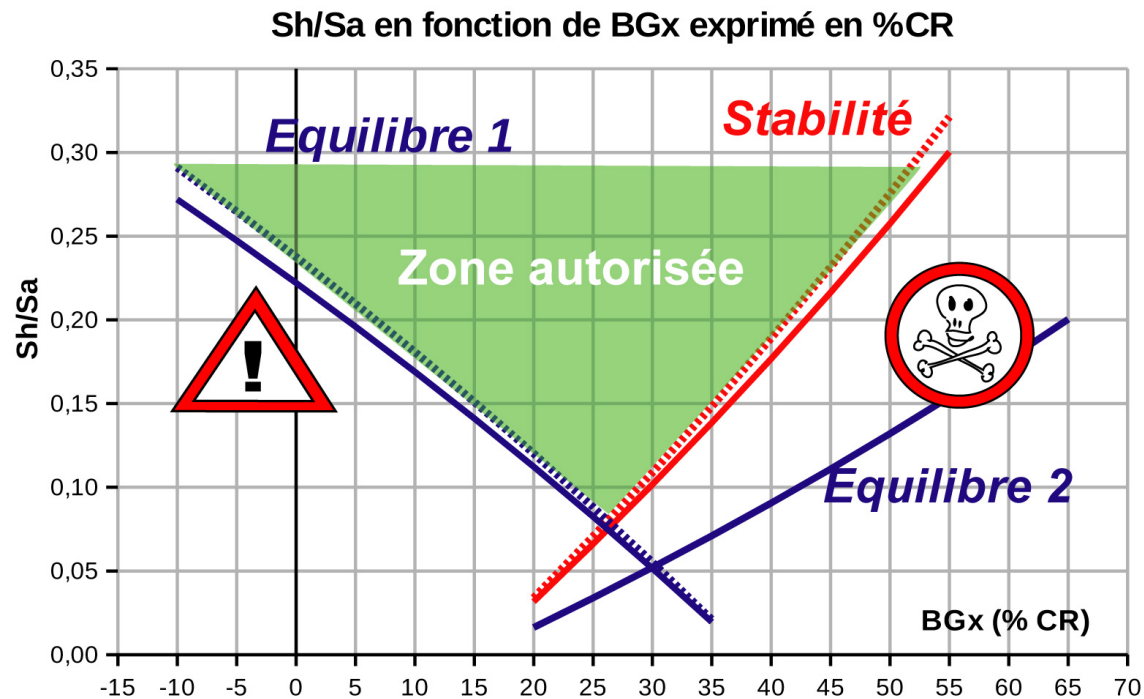
QM : qualité massique Mv/Md [/]	Mc : masse de carburant [kg]	Se : surface des empennages [m²]
TdC : taux de charge des moteurs [%]	Md (MTOW) : masse au décollage [kg]	SMT : surface mouillée totale [m²]
Mm : masse des moteurs [kg]	MV : masse à vide [kg]	Pcr : puissance en croisière [kW]
TdV : temps de vol [h]	Sa : surface alaire [m²]	Pinst : puissance installée [kW]

- 9- Reconstitution des données manquantes d'un aéronef quel qu'il soit (avions légers, avions de ligne, avions supersoniques...) en combinant notamment le modèle de dimensionnement avion et le modèle de détermination du rendement thermopropulsif (C_{sp} , M_{sp} , rendement propulsif...), l'approche système est mise en avant
- 10- Analyse de la reproductibilité et de la robustesse de ce processus.
- 11- Études de cas : dimensionnement global avion : simulations sur tableur (les multiples inter-actions sont mises en évidence)
- 12- Détermination des performances (vitesse max, V_z ...)
- 13- Détermination de la distance de décollage
- 14- Influence de l'allongement sur la V_z
- 15- C_z max optimal et surface alaire (S_a) optimale pour obtenir la consommation minimale
- 16- Analyses critiques de différents concepts actuellement médiatisés
- 17- impact de la position du CdG sur la consommation d'un avion de transport
- 18- Perspectives pour les avions de transport du futur (ou comment les lois de la physique façonnent designs et caractéristiques de ces avions...)
- 19- Études de cas : dimensionnement global avion en sous groupe, chaque sous-groupe définit un cahier des charges et réalise un pré-dimensionnement



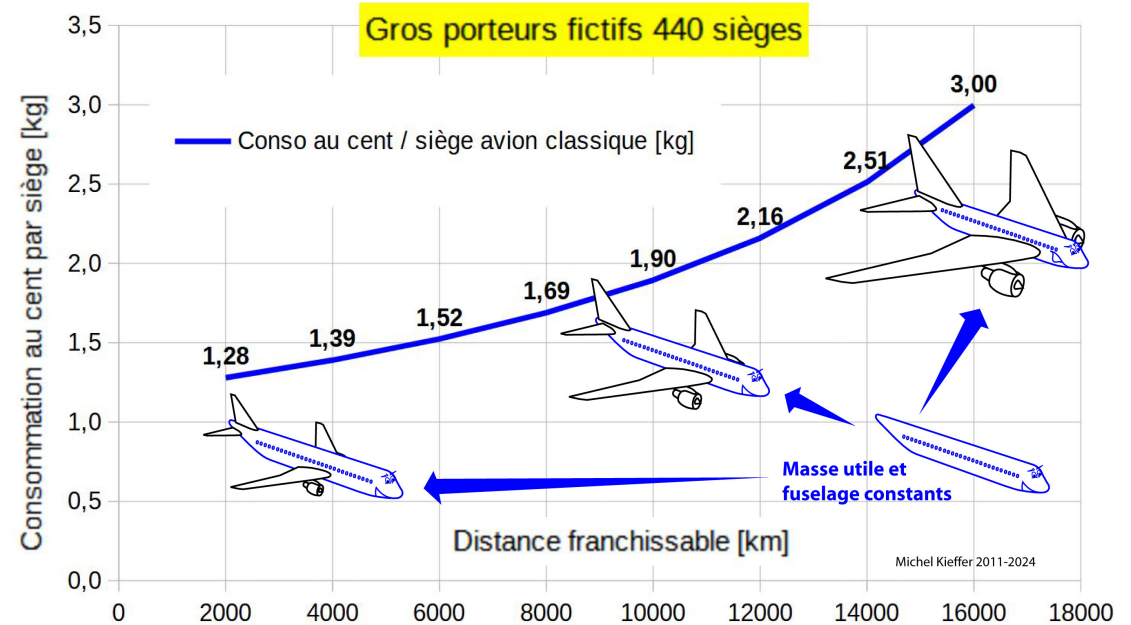
Pilotabilité

- 1- Dimensionnement des surfaces de commandes (ailerons, profondeur, direction, TAB, ANTITAB...)
- 2- Équilibre et stabilité (détermination du foyer d'un avion, plage de centrage selon le rapport Sh/Sa ...)
- 3- Détermination de l'incidence de l'empennage en fonction de l'incidence de l'avion et de son centrage



Études de cas

- 1- Avions longs courriers : recherche de technologies et de profils de vol afin de réduire les consommations
- 2- Définition de gros porteurs court courrier particulièrement économiques (consommation d'énergie au cent par siège proche de celle des trains à grande vitesse)
- 3- Impact du haubanage, de l'allongement et de la masse d'une aile sur la consommation d'un avion
- 4- Optimisation du haubanage afin de réduire les masses et les coûts
- 5- Dimensionnement d'un porteur multi-mission (Défi Aérospatial Étudiant)
- 6- Avions légers électriques (potentiel et limites de la formule)
- 7- Avions de transport électriques (potentiel et limites de la formule)
- 8- Drones électro-solaires stratosphériques



- 9- Analyse détaillée de projets d'avions électro-solaires stratosphériques
- 11- Potentiel et limites de la formule H2 (contenants, pile à combustible, moteurs H2...)
- 10- Avions hybrides, différentes formules
- 12- Avions hybrides à moteurs non liés
- 13- Application du concept hybride à moteurs non liés à des drones et à un concept d'avion de transport régional



Résistance des matériaux, essais au sol

- 1- A chaque usage son matériau
- 2- Résistance des matériaux, essais au sol
- 3- Recherche du point de liaison optimal d'un hauban d'aile
- 4- Efforts longitudinaux sous g max donc sous incidence max, solutions pour supprimer ce problème
- 5- Flottements, couplages et divergences aéro-élastique, moyens de s'en prémunir
- 6- Déformations non linéaires (instabilité des matériaux) et effondrement des structures
- 7- Impact des déformations non linéaires sur la divergence aéro-élastique
- 8- Influence de l'allongement sur la masse d'une aile non haubanée
- 9- Processus d'essais simplifié d'un longeron
- 10- Essais d'un longeron, recherche du niveau de corrélation entre calculs et réalité
- 11- Conception des essais pour des éléments isolés et pour un avion complet
- 12- Drop test (essais du train)

*Ce chapitre est complété par le chapitre
« 7- Résistance des matériaux appliquée aux avions ».*

Décollage vertical et avions STOL

- 1- Hélicopters
- 2- Autogires
- 3- Convertibles
- 4- Avions STOL (short take-off and landing)

Prévention des risques, responsabilité du concepteur

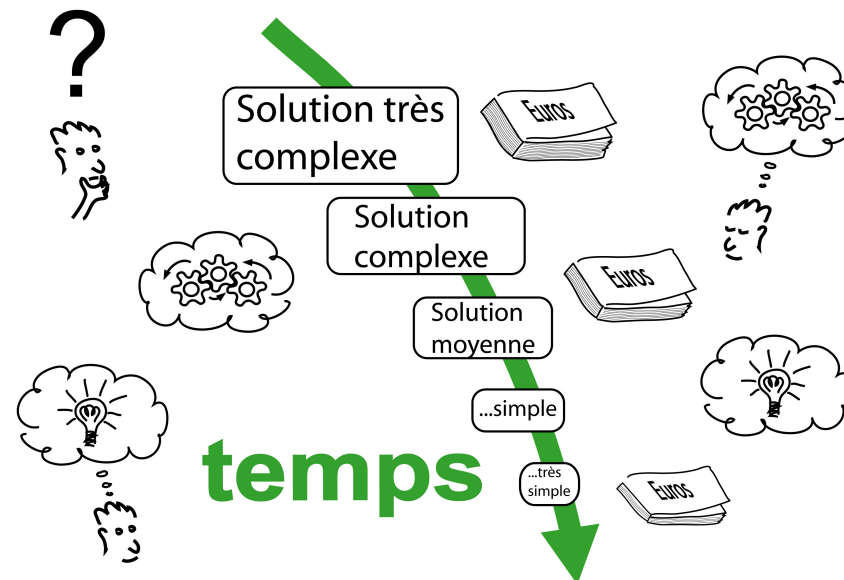
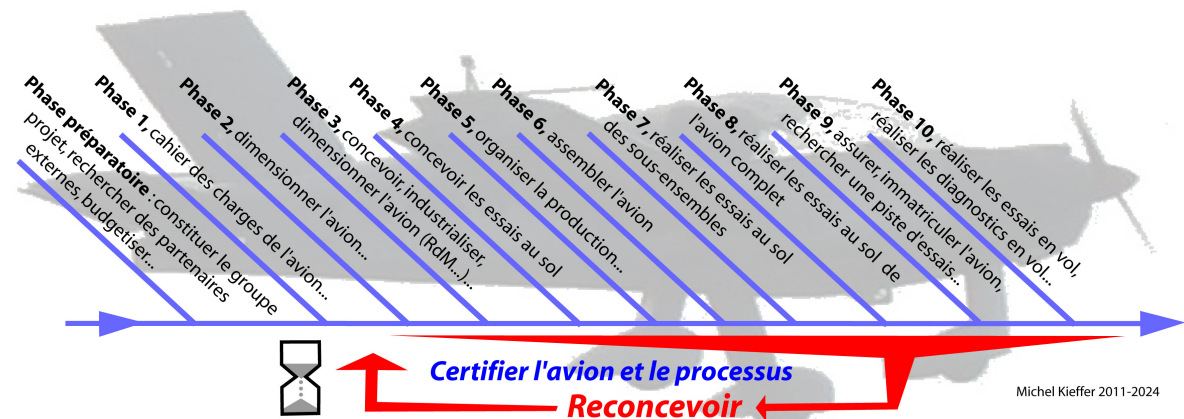
- 1- La prévention des risques par la conception et par les essais au sol
- 2- Protection contre les incendies
- 3- Initiation aux essais en vol (préparation de l'avion, briefing du pilote, déroulement d'un essais, récupération des informations...)
- 4- Responsabilités juridiques et morales du constructeur et du pilote
- 5- Méthode de décision de décollage par mesure de l'accélération

3- Avionique, instruments, électronique et logiciels embarqués (CG)

- 1- Contrôle aérien
- 2- Réglementation
- 3- Instruments de pilotage (anémomètre, altimètre, variomètre, Pitot, radio-altimètre, GPWS, bille, coordinateur de virage, horizon artificiel)
- 4- Instruments moteur
- 5- Navigation autonome (compas, gyrocompas, montre, centrale inertielle, navigation astronomique)
- 6- Radio navigation (NDB, ADF, VOR, DME, ILS, GPS)
- 7- Instruments de navigation (RMI, HSI...)
- 8- Communication (radio, transpondeur, ADS-B)
- 9- Electronique et logiciels embarqués : langages, programmation, réseaux, certification, redondances, mise en œuvre d'un PFD (Primary Flight Display) et des calculs associés.

4- Conception, management de projet

- 1- Processus de conception des aéronefs
- 2- Réduction des coûts par la simplification des systèmes (avions et méthodologies)
- 3- Impact de la simplification des systèmes sur les coûts, la fiabilité et l'efficacité



4- Combinaison optimale entre approches analytiques, numériques et expérimentales lors de la conception d'un avion (aérodynamique, résistance de matériaux...)

5- Approche systèmes pour concevoir des ensembles pluridisciplinaires complexes

6- Chaînes de compétences optimales pour aboutir un projet aéronautique

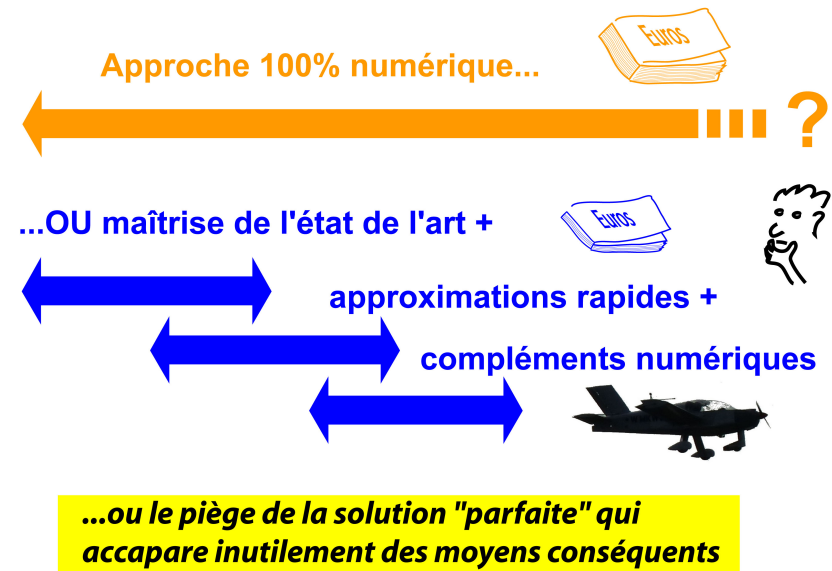
7- Réaliser des approximations justes pour des résultats très rapides afin de d'orienter au mieux les projets en début de réflexion

8- Gestion du temps, planification : imaginer en permanence des « modes dégradés acceptables » afin d'atteindre des objectifs dans les temps impartis

9- Processus de recherche de fonctions et de formalisation dans un cahier des charges fonctionnel

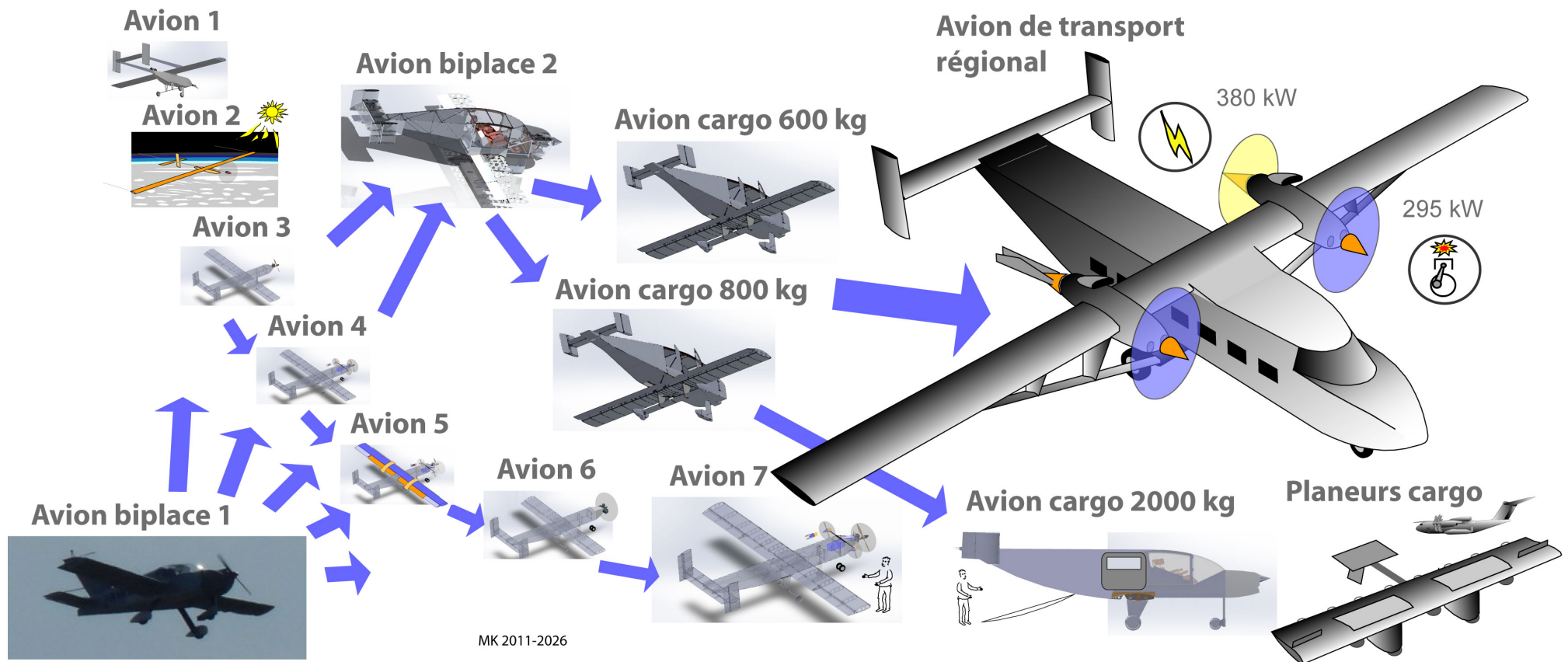
10- Processus de recherche de solutions et d'élaboration de stratégies de recherche de solutions avec différents thèmes liés entre eux

11- Processus de choix de solutions dans des environnements complexes

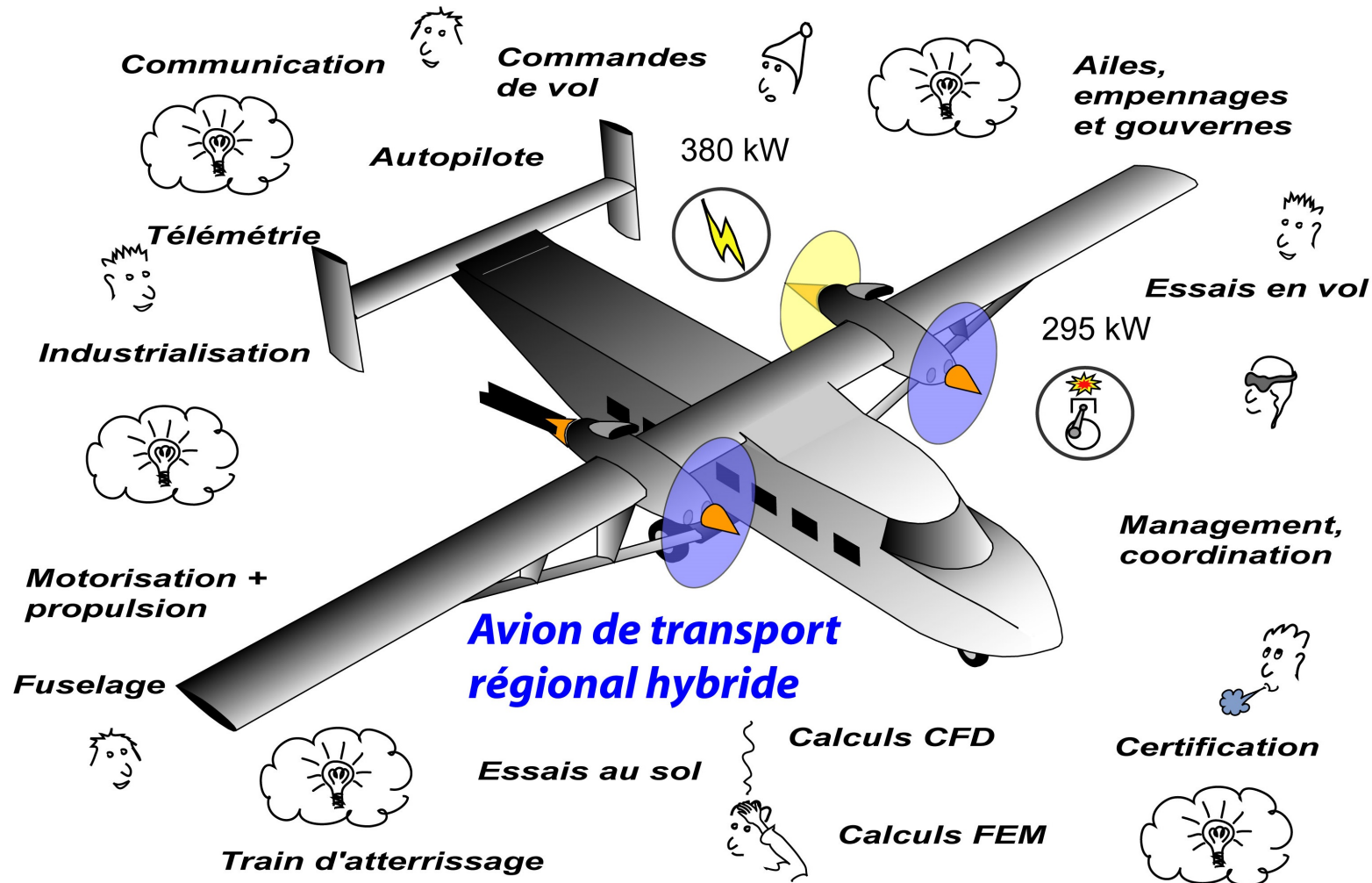


12- Itération théorie application pour améliorer l'un et l'autre et pour détecter de nouvelles pistes de réflexions

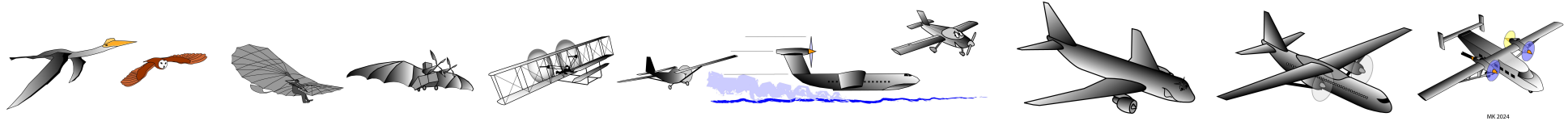
13- Rechercher l'effet de gamme pour accélérer les développements et réduire les coûts



13- Pédagogie : cours délivrés au fil des besoins des projets, détecter les points à améliorer dans les enseignements académiques



5- Histoire et évolution des techniques aéronautiques



0- Définitions

1- Genèse

2- Premiers vols

3- Première guerre mondiale

4- Après la guerre, le temps des records

5- Le temps du transports

6- Digressions dans le monde du dirigeable

7- A la veille des hostilités

8- Maturité technologique

9- Explorations et sauts technologiques

10- Hélicoptères

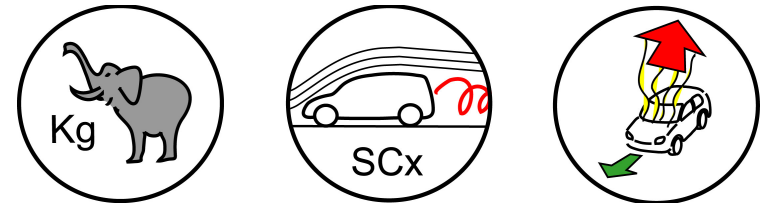
11- Période post guerre, avions de combat



- 12- Période post guerre, avions de transport
- 13- La saga des prototypes français
- 14- Programme spatial
- 15- Missiles
- 16- Duopole Airbus Boeing
- 17- Design pour les avions du futur

6- Véhicules terrestres

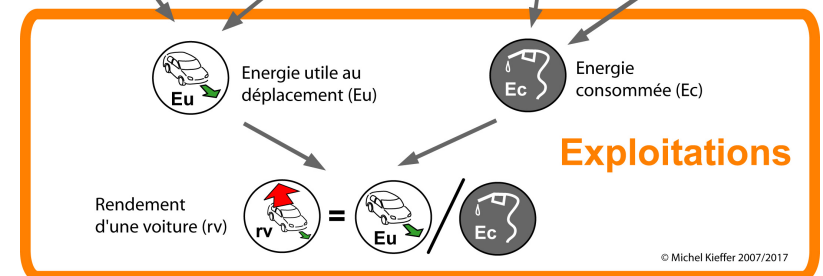
- 1- Énergies fossiles
- 2- Critères de qualité des moyens de transport
- 3- Couche limite, traînée parasite
- 4- Synthèse voiture du futur
- 5- Eco-marketing
- 6- Données de calculs
- 7- Rendement d'une voiture
- 8- Énergie utile au déplacement d'une voiture
- 9- Impact du cycle sur l'énergie utile



Données

- | | | | |
|--|--|---|---|
| 1- Caractéristiques du véhicule :
- aérodynamiques (SCx)
- masse
- Coefficient de roulement | 2- Cycle de conduite

vitesse
temps | 3- Caractéristiques des carburants :
- MJ / kg
- masse volumique (kg/l) | 4- Consommation du véhicule sur le cycle de conduite retenu |
|--|--|---|---|



10- Électricité et CO2

11- Voitures électriques

12- Coefficient spirale (ou coefficient d'amplification des masses)

13- Voitures hybrides (rendements réels, limites de la formules et alternatives)

14- Détermination expérimentale du Cr et du Cx (plusieurs méthodes sont abordées)

15- Énergie récupérable lors des ralentissements selon les technologies retenues

16- Le « poids » de la technologie

17- Éco-conception

18- Voitures optimisées

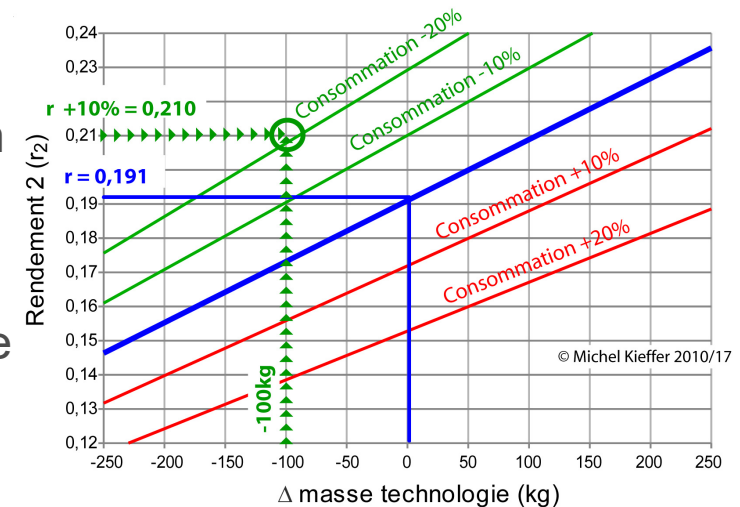
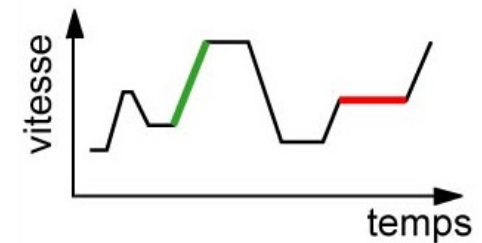
19- Analyse déplacements journaliers et taux d'occupation des véhicules

20- Petits véhicules électro-solaires

21- Trains à grande vitesse : méthode de détermination de la puissance et de la consommation en croisière

22- Tains : équilibre dynamique du système train

Cycle de conduite



- 23- Méthode de pré-dimensionnement des bateaux
- 24- Méthode de pré-dimensionnement automobile
- 25- Concept de véhicule routier biplace ultra économique

**Compétitions pour une consommation minimale
(Shell Eco Marathon, EducEco...)**

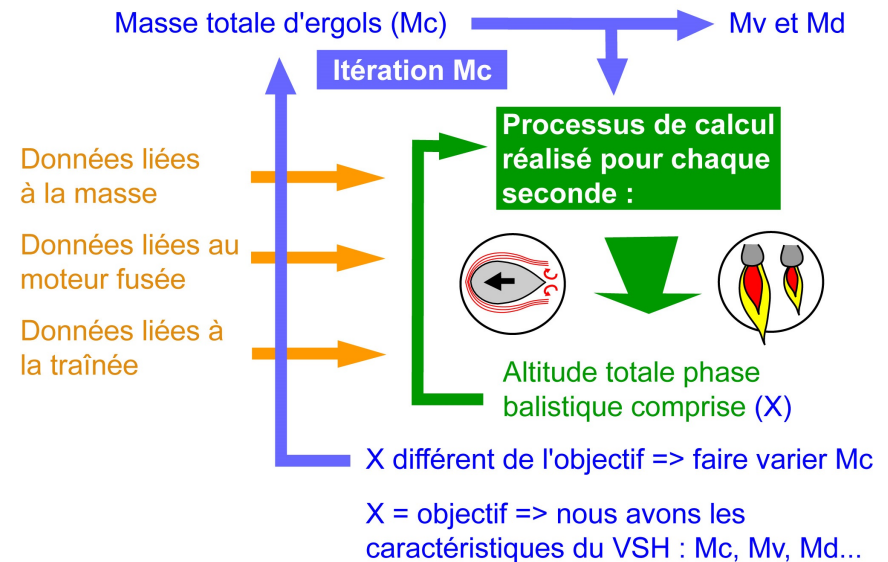
- 1- Énergie consommée selon le type de circuit
- 2- Détermination par calcul du Cx d'un véhicule
- 3- Détermination expérimentale du Cr et du Cx (plusieurs méthodes sont abordées)
- 4- Impact de la traînée aérodynamique sur l'énergie utile
- 5- Impact de la traînée de roulement sur l'énergie utile
- 6- Impact de la masse sur l'énergie utile
- 7- Impact de la consommation spécifique sur l'énergie utile
- 8- Potentiel de progrès des véhicules actuels
- 9- Stratégies de course optimales selon circuit, sens vent...
- 10- Impact de la direction sur la consommation et simplification des systèmes (étude de cas)
- 11- Méthode de réglage rapide du parallélisme

- 11- Recommandations pour la conception d'un véhicule
- 12- Organisation lors d'une course (préparation, check-lists, les différents rôles au sein d'une équipe...)
- 13- Diagnostics en course et recherche de solutions correctives (étude de cas EducEco2019)

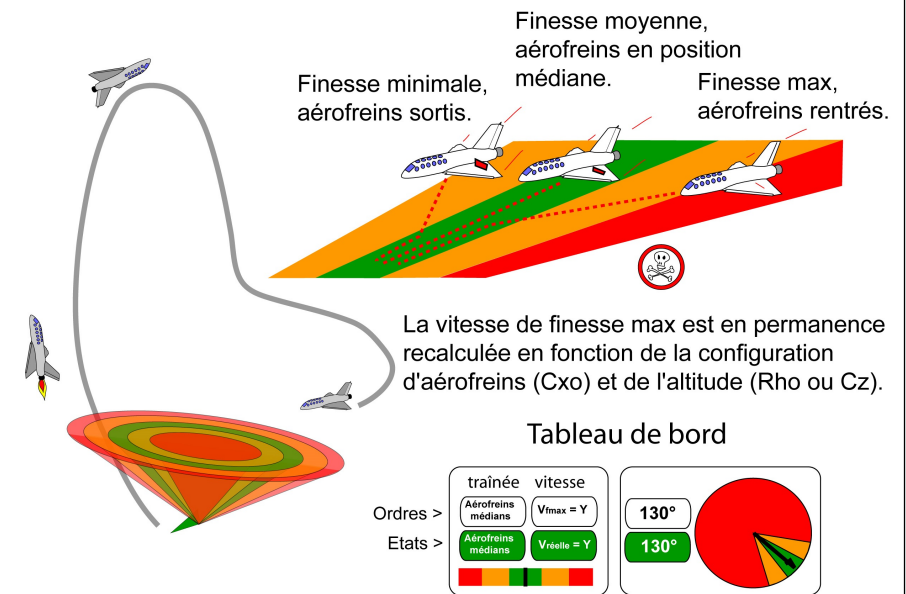
7- Vol suborbital

VSH = Véhicule Spatial Habité

- 1- Introduction
- 2- Simplifier permet de réduire la masse, le coût et le risque de panne
- 3- Processus de calcul (Équation de Tsiolkovski et modèles plus élaborés)
- 4- Différentes stratégies pour le vol suborbital
- 5- VSH porté ou autonome ?
- 6- Augmenter le nombre d'occupants
- 7- Accélérations maximales

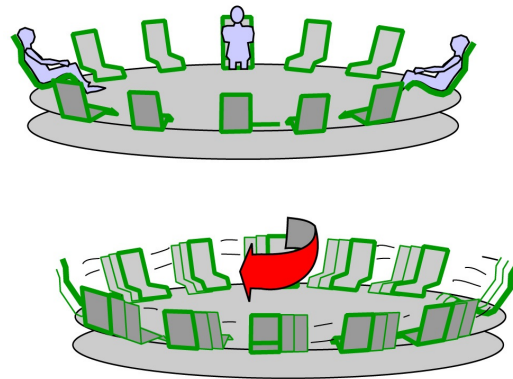


- 8- Moteurs fusée, ergols...
- 9- Moteurs mixtes aérobie / anaérobie
- 10- Nombre de moteurs
- 11- Gestion d'une panne moteur(s)
- 12- Technologies existantes, intérêt du « re use »
- 13- Qualité massique
- 14- Aérodynamique
- 15- Une protection thermique est-elle nécessaire ?
- 16- Structure type d'un VSH
- 17- Alimentation en O₂ et filtration du CO₂
- 18- Problématique des combinaisons pressurisées et du risque d'accident de décompression
- 19- Autres systèmes : alimentation électrique, chauffage...
- 20- Équilibre et stabilité, centre de gravité, position des ergols
- 21- Certification, dispositif de sauvetage
- 22- Pilotage de l'attitude du VSH pendant les différentes phases du vol
- 23- Pilotage du VSH pendant le partie vol plané (fin de vol)
- 24- Contrôle de la trajectoire du VSH, instruments de contrôle



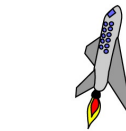
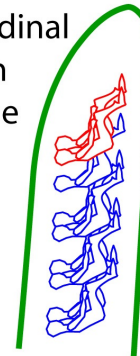
- 25- Convoyage du VSH à courte, moyenne et grande distance
- 26- Stratégies de rattrapage en cas de non atteinte des performances
- 27- Missions partielles
- 28- Préparation des passagers

Centrifuge to test the physical ability and to train passengers...



...and limit accelerations

The longitudinal acceleration is acceptable if it is less than 3g



P = 70%



P = 80%



P = 100%



Take off 200m

8- Lanceurs spatiaux

- 1- Propulsion, histoire
- 2- Propulsion, principes
- 3- Équation de Tsiolkovski
- 4- Différents types d'orbites
- 5- Conditions énergétiques de l'orbite
- 6- Ergols, performances, stockage, coûts...
- 7- Propulseurs
- 8- Traînée aérodynamique des fusées
- 9- Pourquoi plusieurs étages, modélisation de la répartition idéale
- 10- Tuyère, principes et fonctionnement
- 11- Qualité massique des lanceurs
- 12- Études de cas, de Soyouz à SpaceX
- 13- Prospectives

9- Résistance des matériaux appliquée aux avions

- 1- Grands principes de la RdM (loi de Hooke...)
- 2- Hypothèses simplificatrices et imprécision intrinsèque des calculs de RdM
- 3- Importance des essais
- 4- Méthodes classiques ou éléments finis (comparaison des domaines d'application) ?
- 5- Principes de la statique (somme des forces, somme des moments...)
- 6- Traction et compression simple, contraintes et déplacements
- 7- Théorie des poutres : moments fléchissants, contraintes, déplacements...
- 8- Poutres composite (semelles en pultrudé composite, âme en biaxe composite à 45°...)
- 9- Poutres à inerties variables
- 10- Moments de torsions, contraintes et rotations
- 11- Torsion des caissons à revêtements minces
- 12- Sollicitations combinées (critère de Von Misès...)
- 13- Flambage, instabilité des revêtements minces

- 16- Problèmes hyperstatiques (théorème de Ménabréa..)
- 17- Contraintes dues à des coefficients de dilatation thermique différents des matériaux
- 18- Déformations et contraintes de systèmes combinant les matériaux tels une aile d'avion en alu associée à un longeron en carbone (répartition des effort entre les différents matériaux)
- 19- Jauges de contraintes
- 20- Essais des matériaux, vérification de leurs caractéristiques
- 21- Importance de la légèreté pour les engins de transport
- 22- Répartition de la charge aérodynamique en envergure d'un avion
- 23- Efforts aux liaisons d'une aile
- 24- Efforts à l'emplanture sous facteur de charge max à incidence max
- 25- Efforts à l'emplanture lors des manœuvres au sol
- 26- Phénomène d'ondulation d'un longeron dans le canal de l'aile + contraintes associées
- 27- Définition des contraintes en fonction du jeu entre canal et longeron
- 28- Essais de sous-ensembles (aile, train d'atterrissage...)
- 29- Essais de longerons d'avions avec une charge aérodynamique répartie en envergure
- 30- Exigences réglementaires (Réglementations CS23-1, CNRA, CNSK, ULM)
- 31- Essais d'un avion complet

32- Divergence aéro-élastique, impact de l'instabilité du revêtement de l'aile

33- A chaque usage son matériau

34- Comportement des liaisons de type boulons, rivets... disposées en ligne

...