

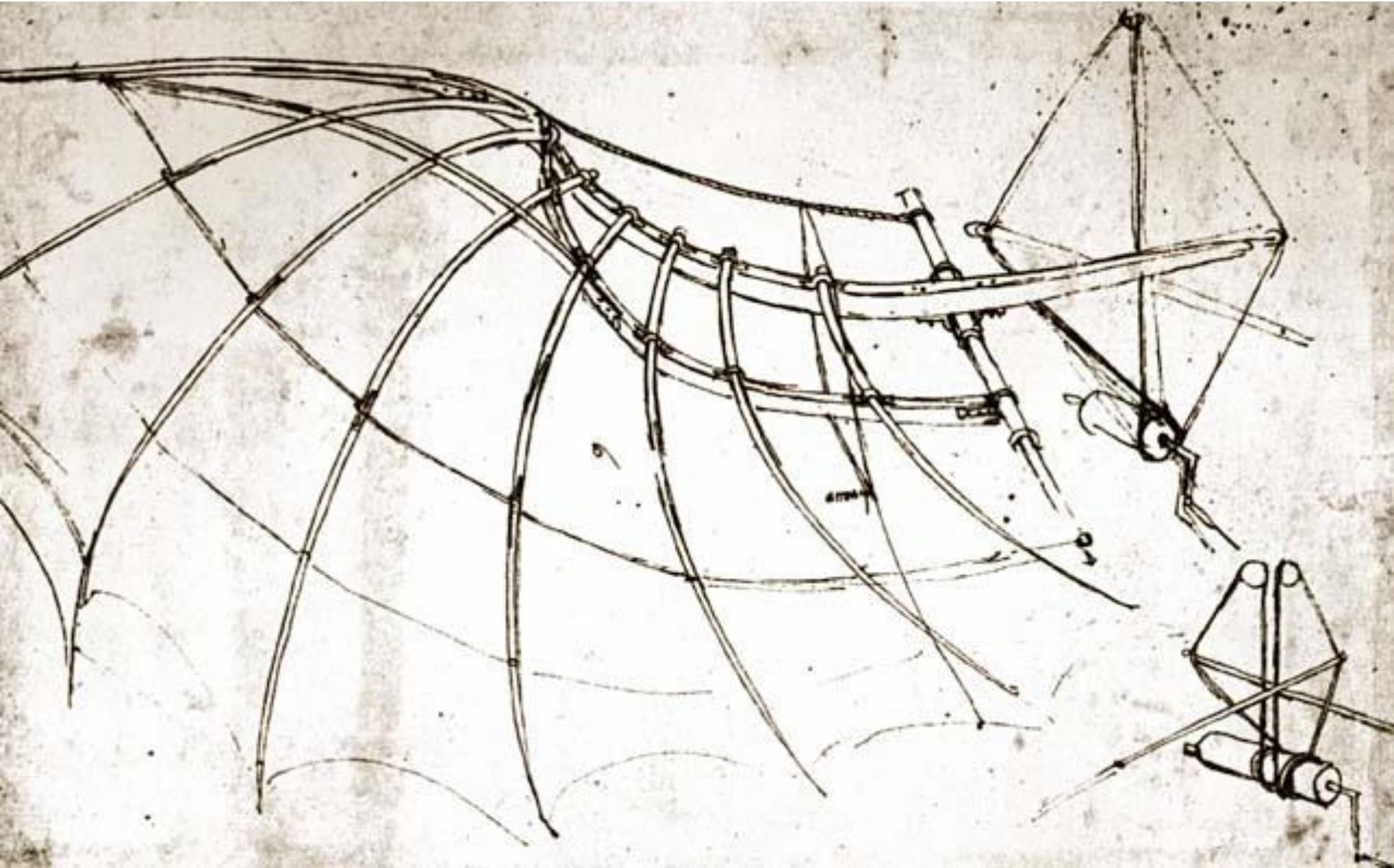
THÉORIE PPL (A)



- 000 Atmosphère et altimétrie
- 010 Droit aérien
- 020 Connaissance générale des aéronefs
- 030 Préparation de vol et performances
- 040 Performances humaines et limitations
- 050 Météorologie
- 060 Navigation et radionavigation
- 070 Procédures opérationnelles
- 080 Principes du vol**
- 090 Radiotéléphonie

080 Principes du vol

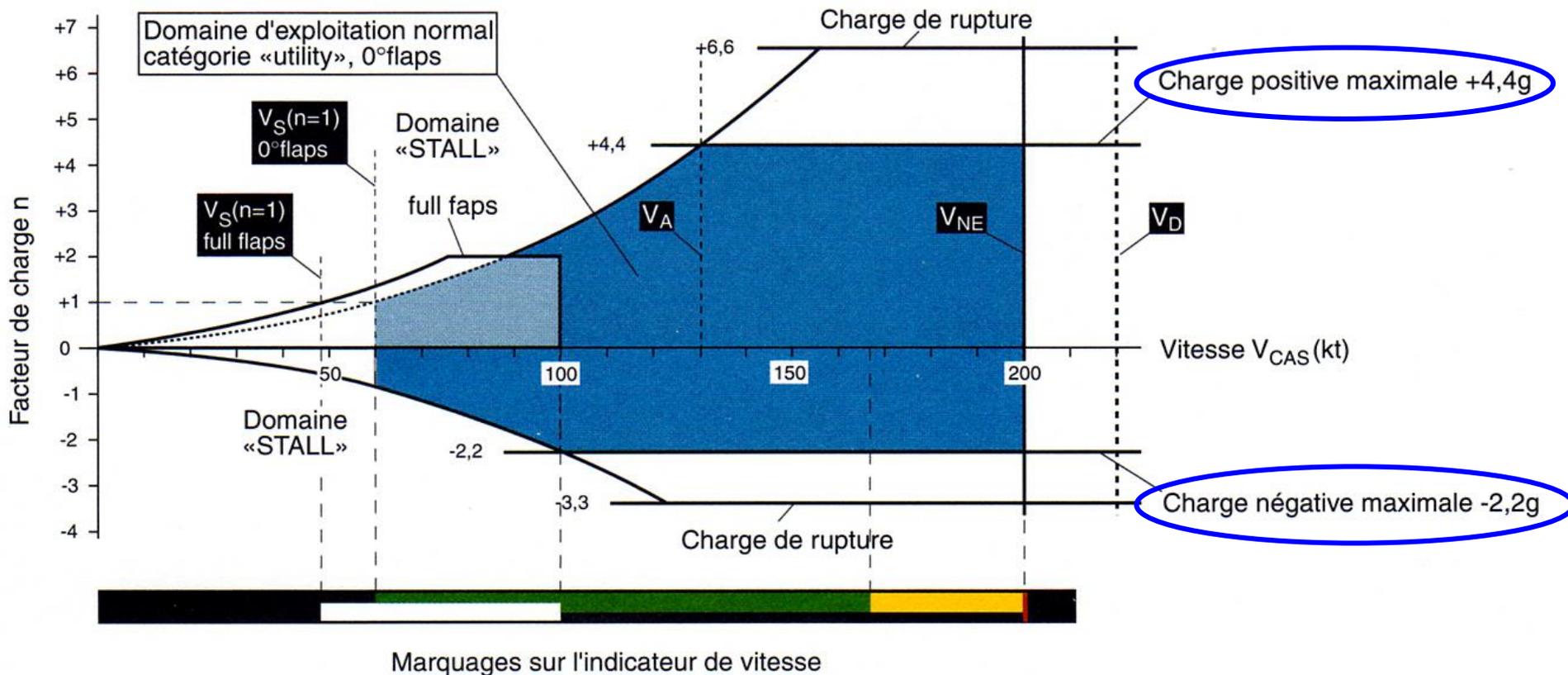
7. Limites d'exploitation partie 1



Enveloppe de manœuvre

Charge admissible maximale (dans l'exemple +4.4 g / -2.2 g)

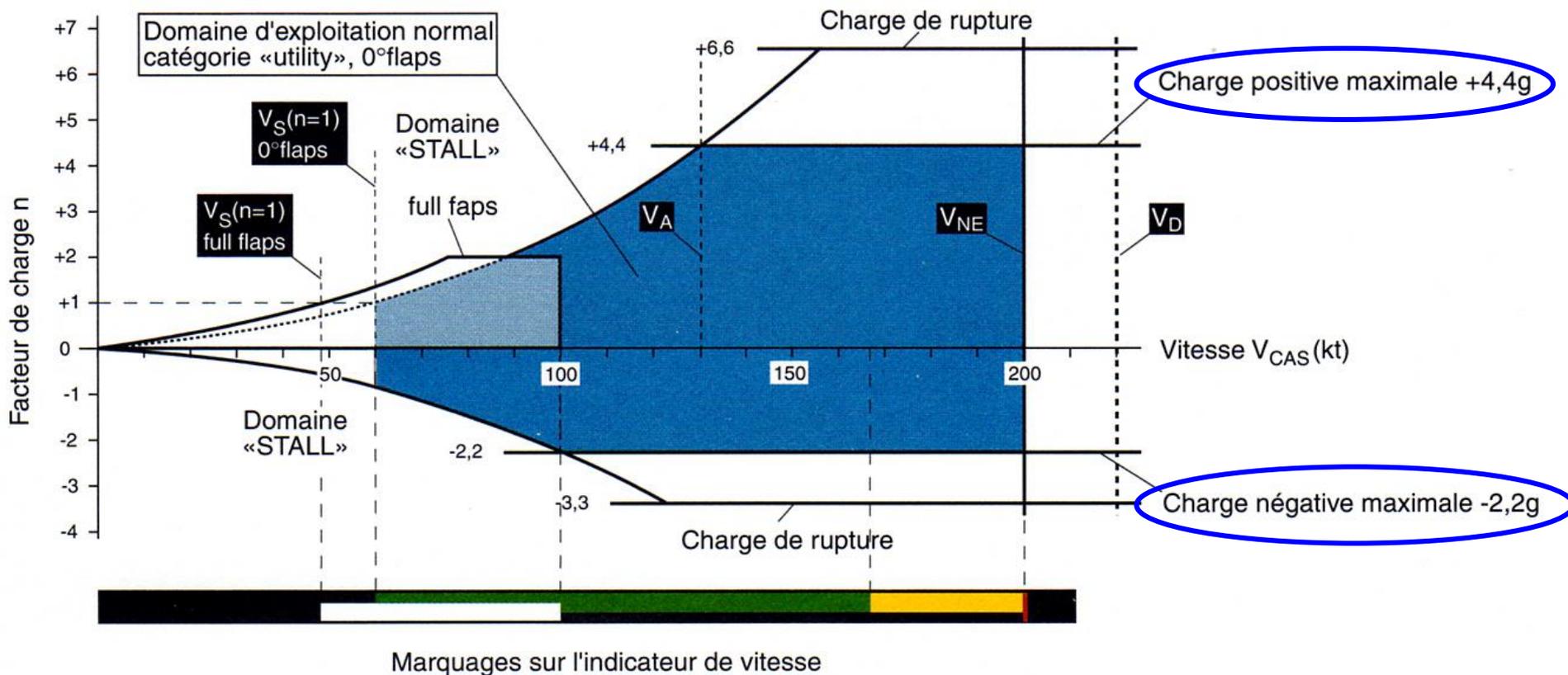
En-dessous de la charge admissible maximale, on reste dans le domaine de **déformations élastiques**: les matériaux **se déforment**, puis **reviennent à leur état initial** une fois que la contrainte disparaît.



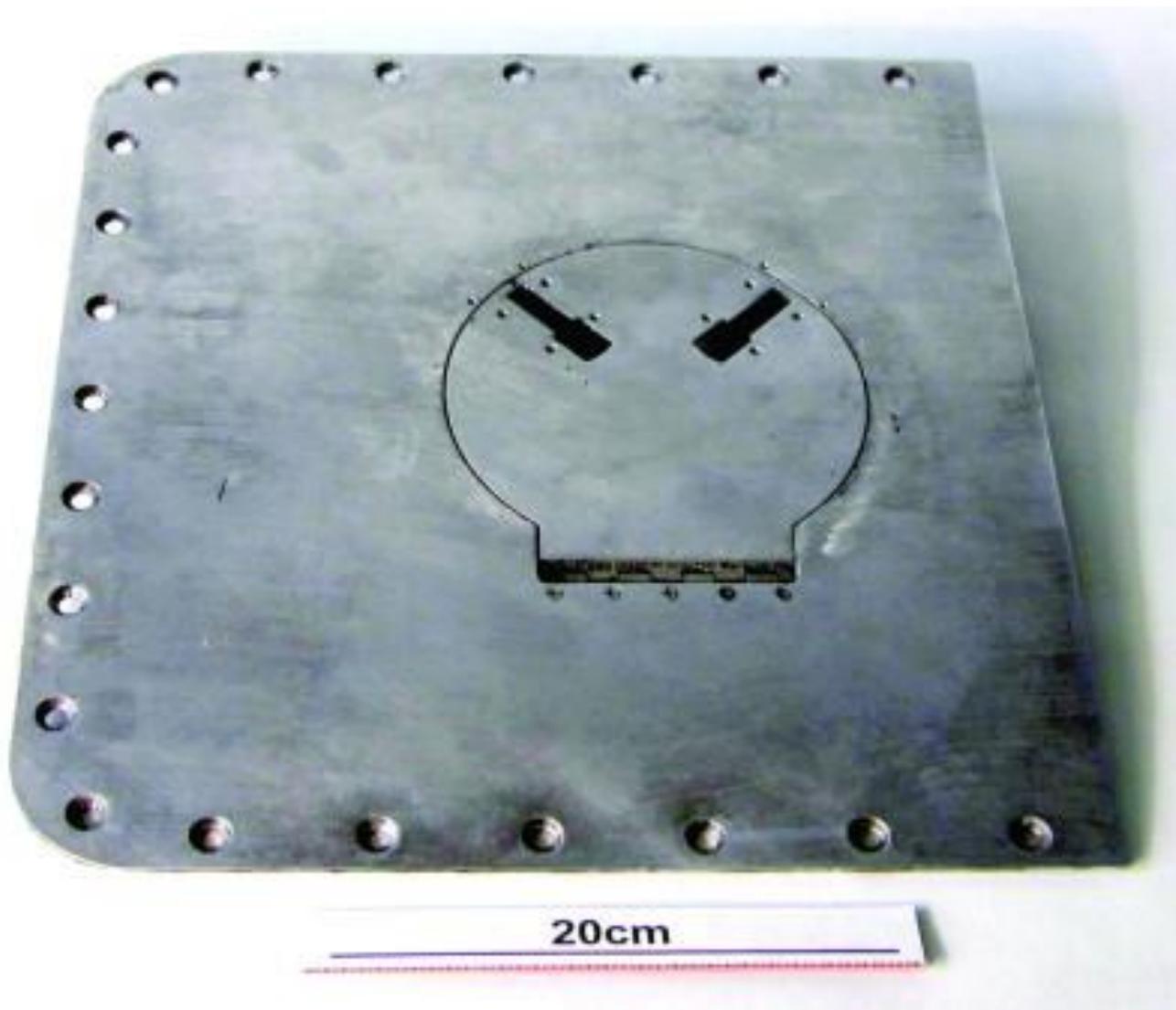
Enveloppe de manœuvre

Charge admissible maximale (dans l'exemple +4.4 g / -2.2 g)

Sans risque, si les matériaux n'ont pas été préalablement soumis à des phénomènes de vieillissement ou de fatigue

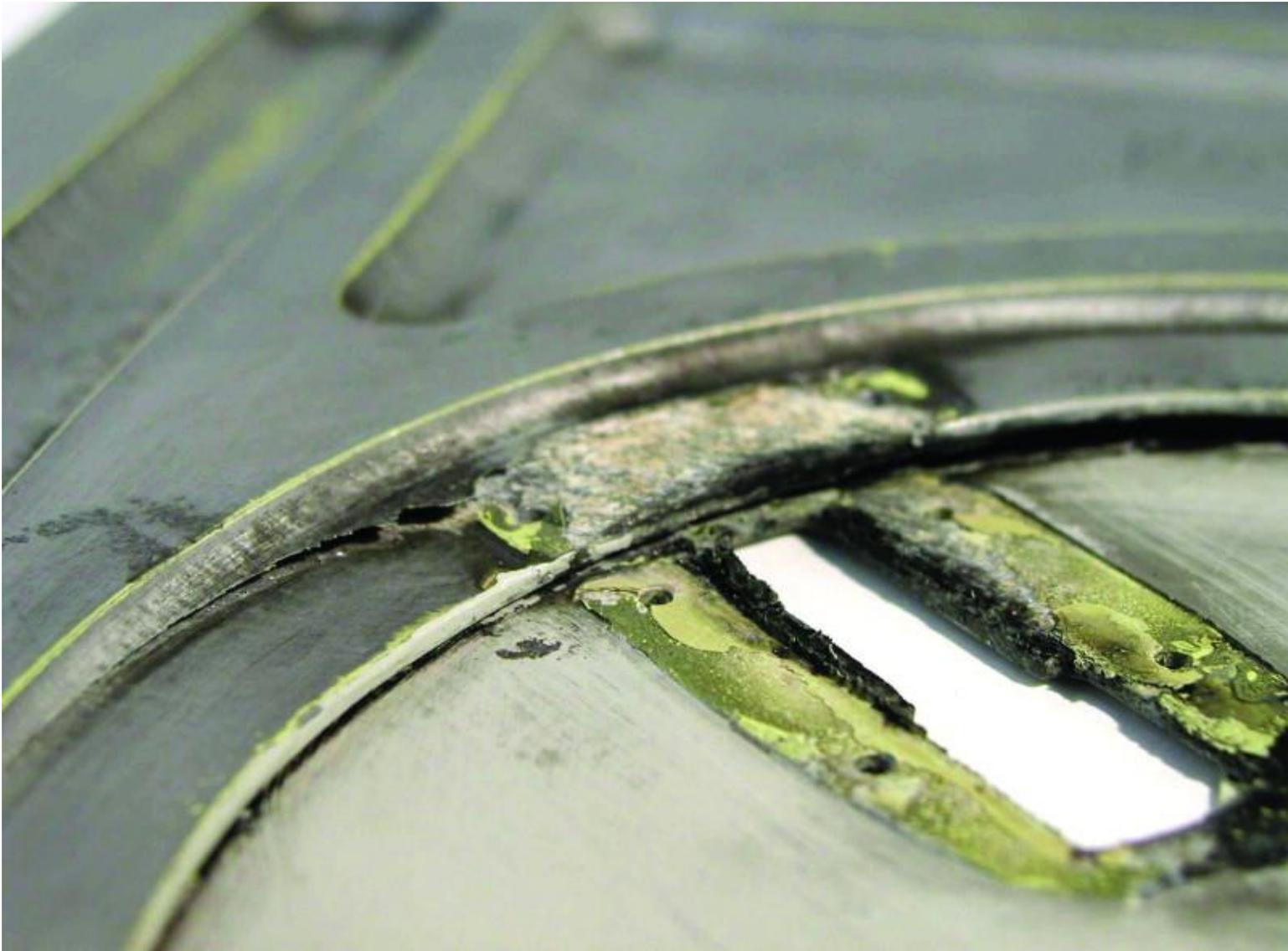


Vieillesse des matériaux



Surface externe d'un panneau d'aile et trappe de visite après décapage de la peinture

Vieillesse des matériaux



Exfoliation par corrosion sur la surface interne du panneau et trappe de visite

Vieillissement des matériaux

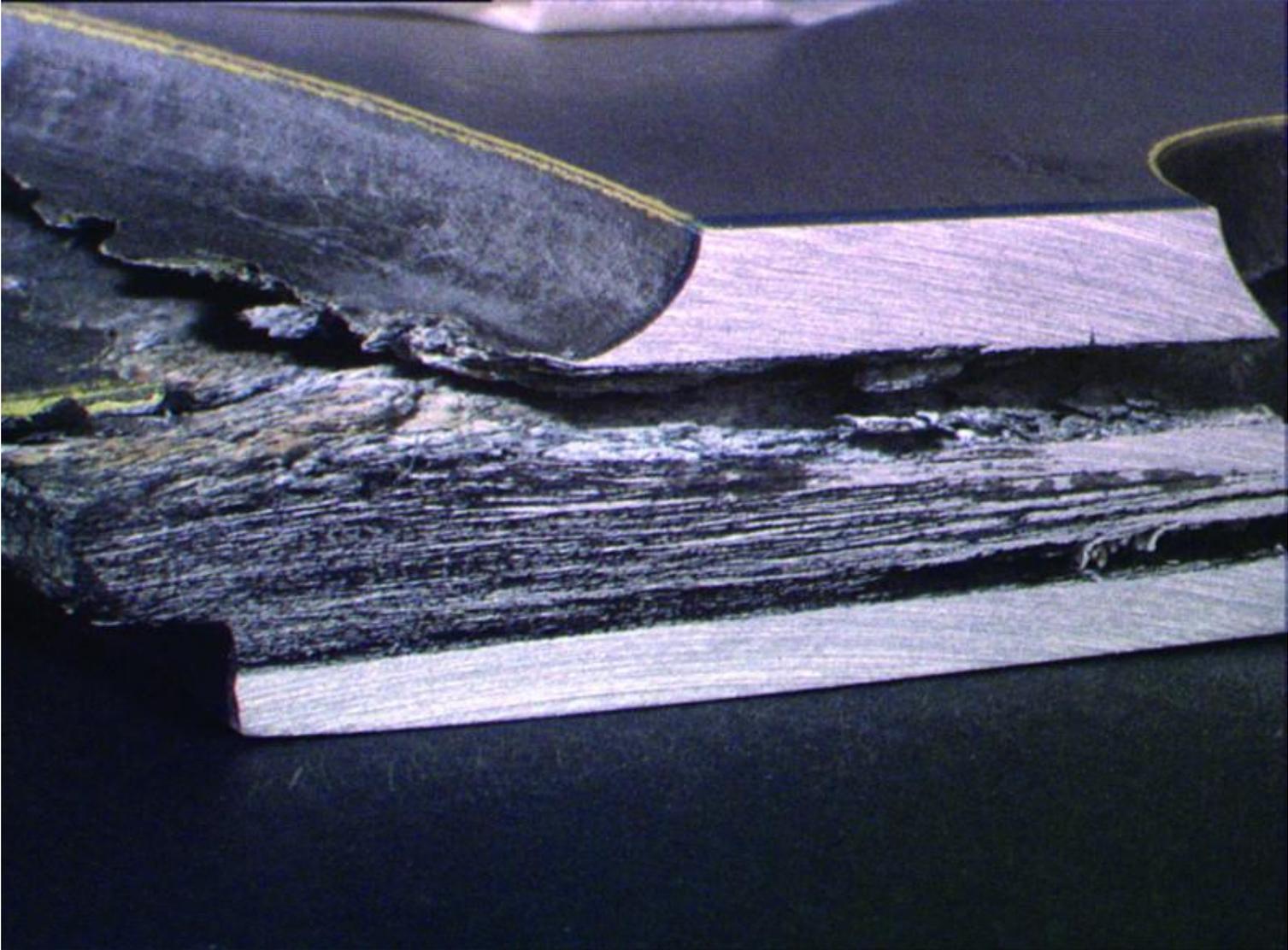
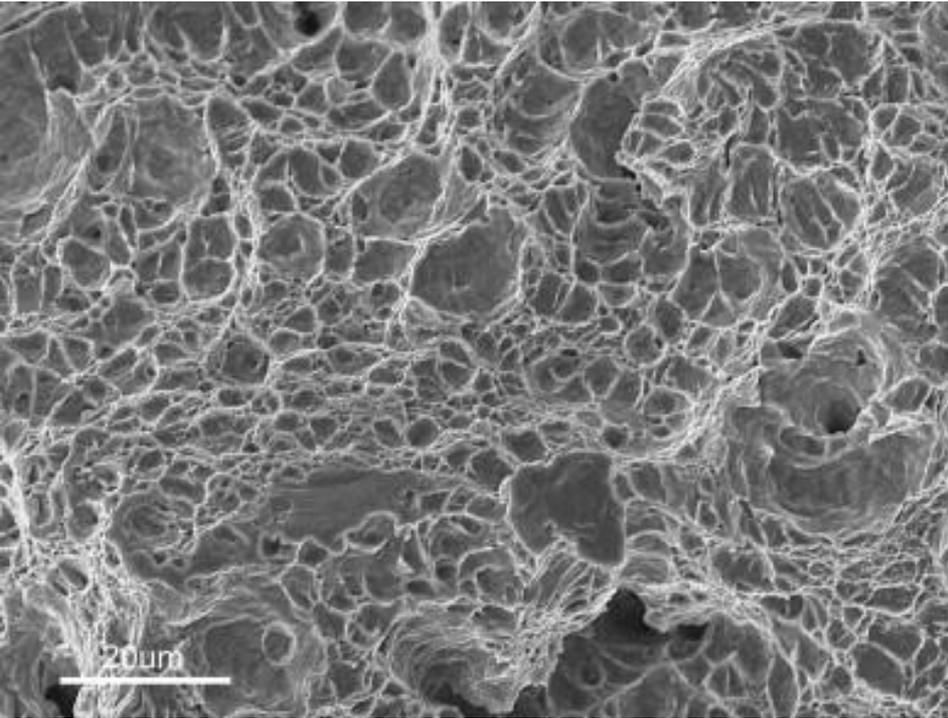


Image en coupe à travers le panneau montrant l'exfoliation par corrosion

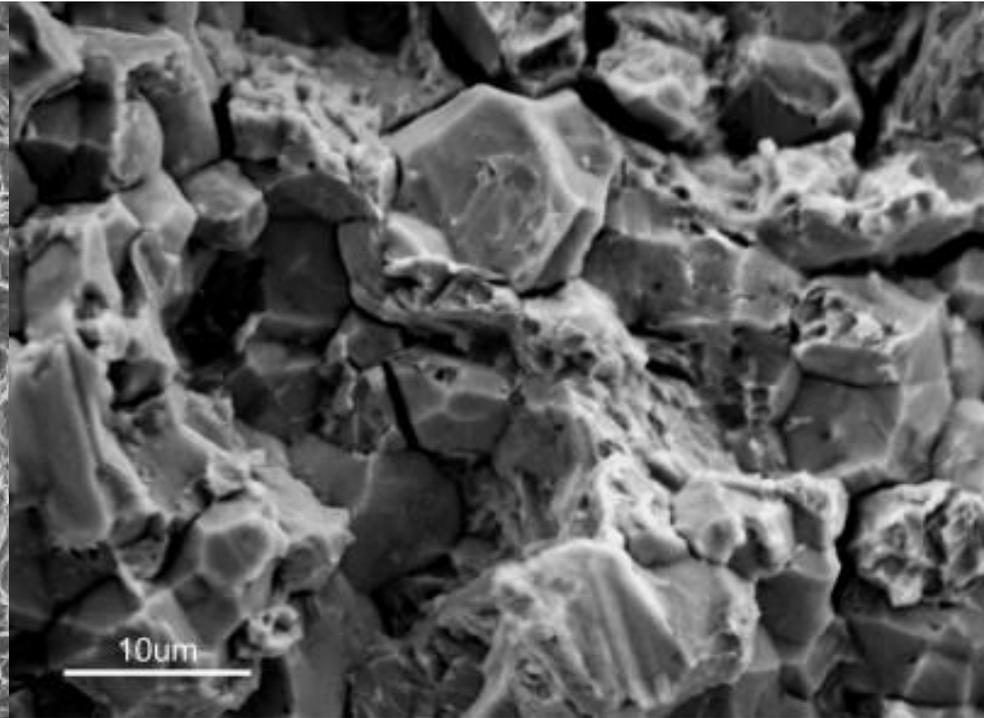
Vieillesse des matériaux

Erreur de traitement d'un boulon lors de sa fabrication ayant amené un **vieillesse prématuré** du boulon

Les propriétés mécaniques ne sont plus celles calculées!

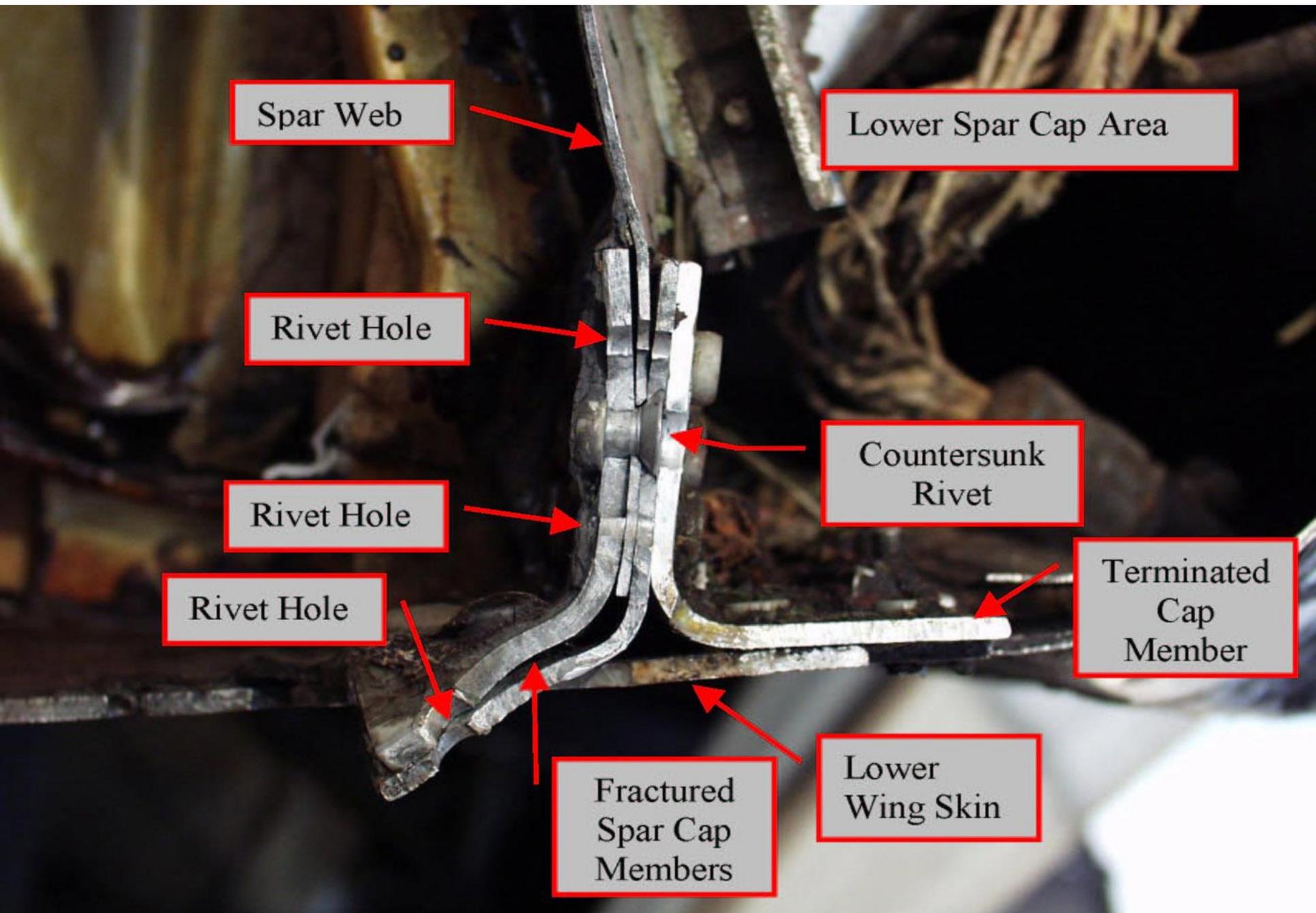


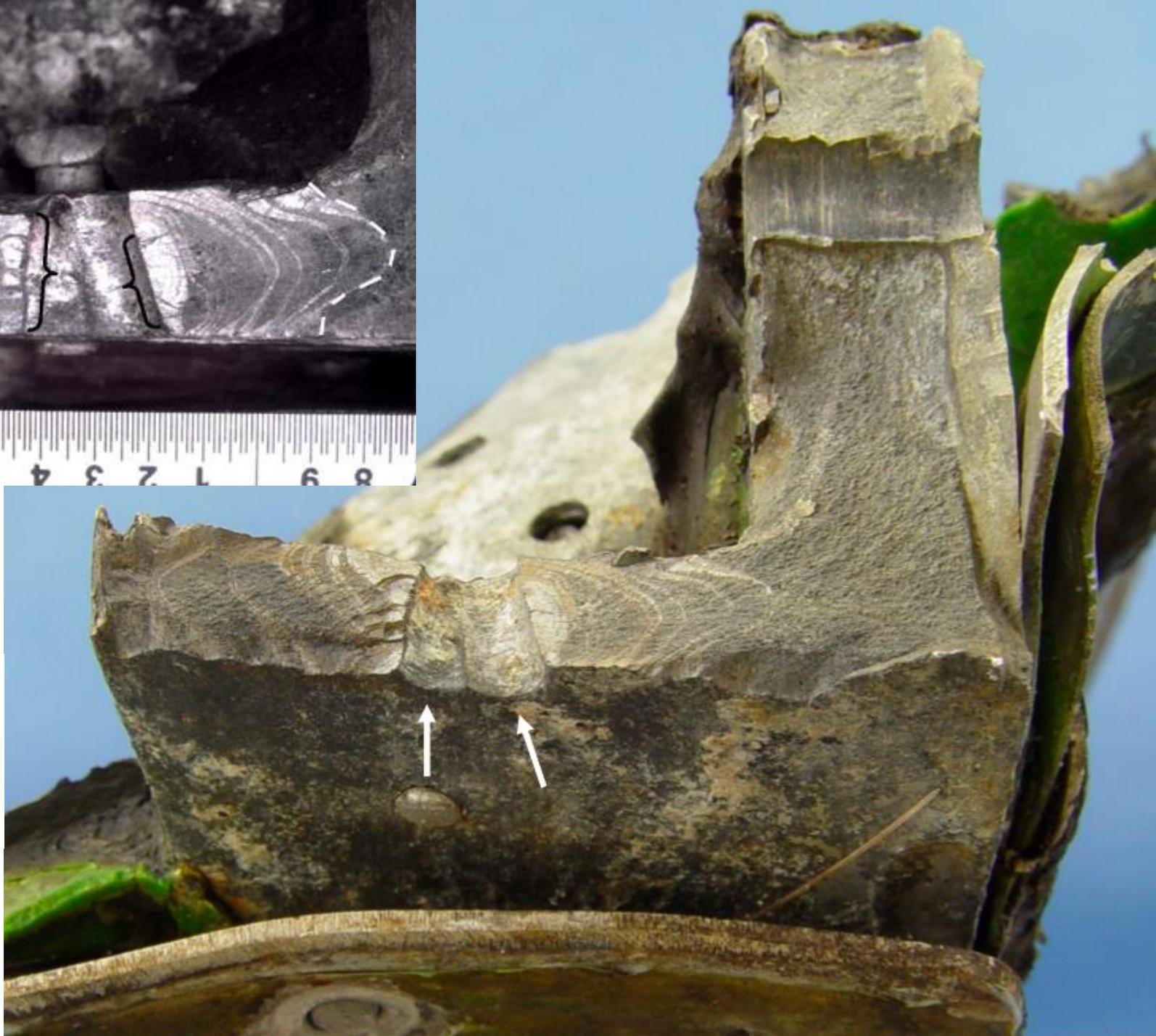
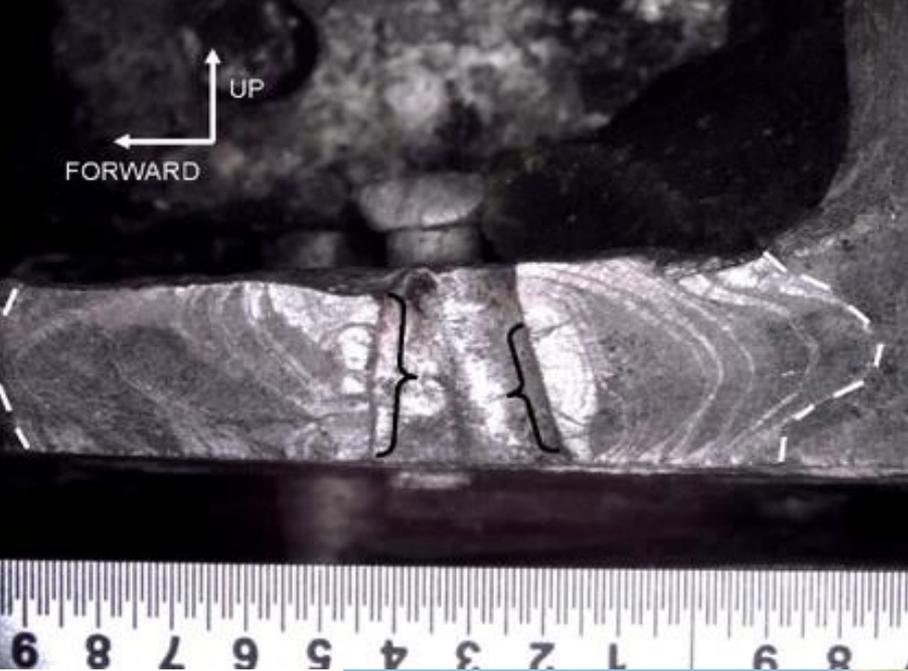
Surface de fracture ductile au centre du boulon



Surface de fracture cassante à la circonférence du boulon

Fatigue des matériaux





**Fatigue
des
matériaux**

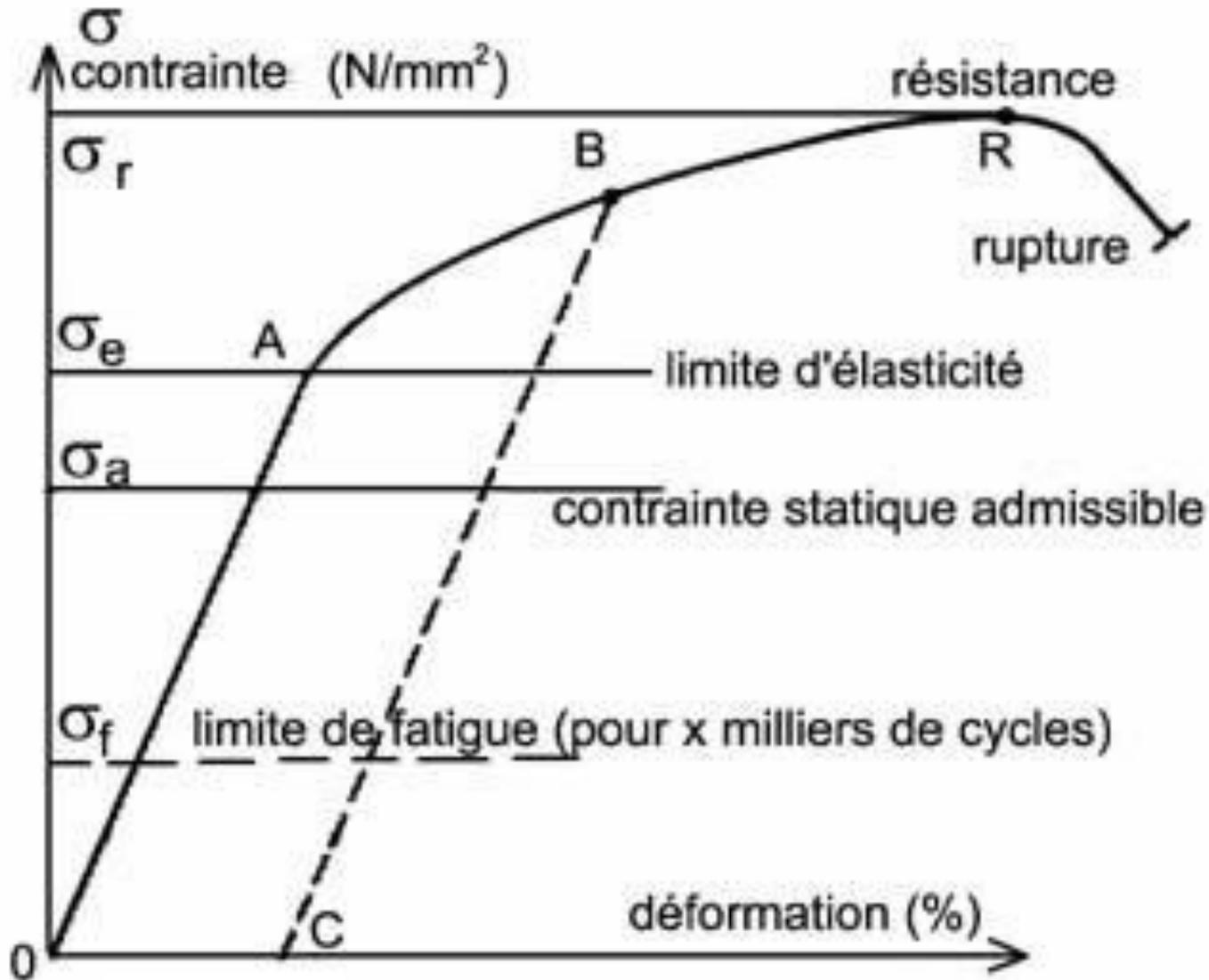
Fatigue des matériaux

Exemple pour un métal typique

Contraintes appliquées	Nombre de cycles entraînant la rupture
Charge de rupture (CR)	1
3/4 CR	100
2/3 CR	1000
1/2 CR	10'000
1/3 CR	infini

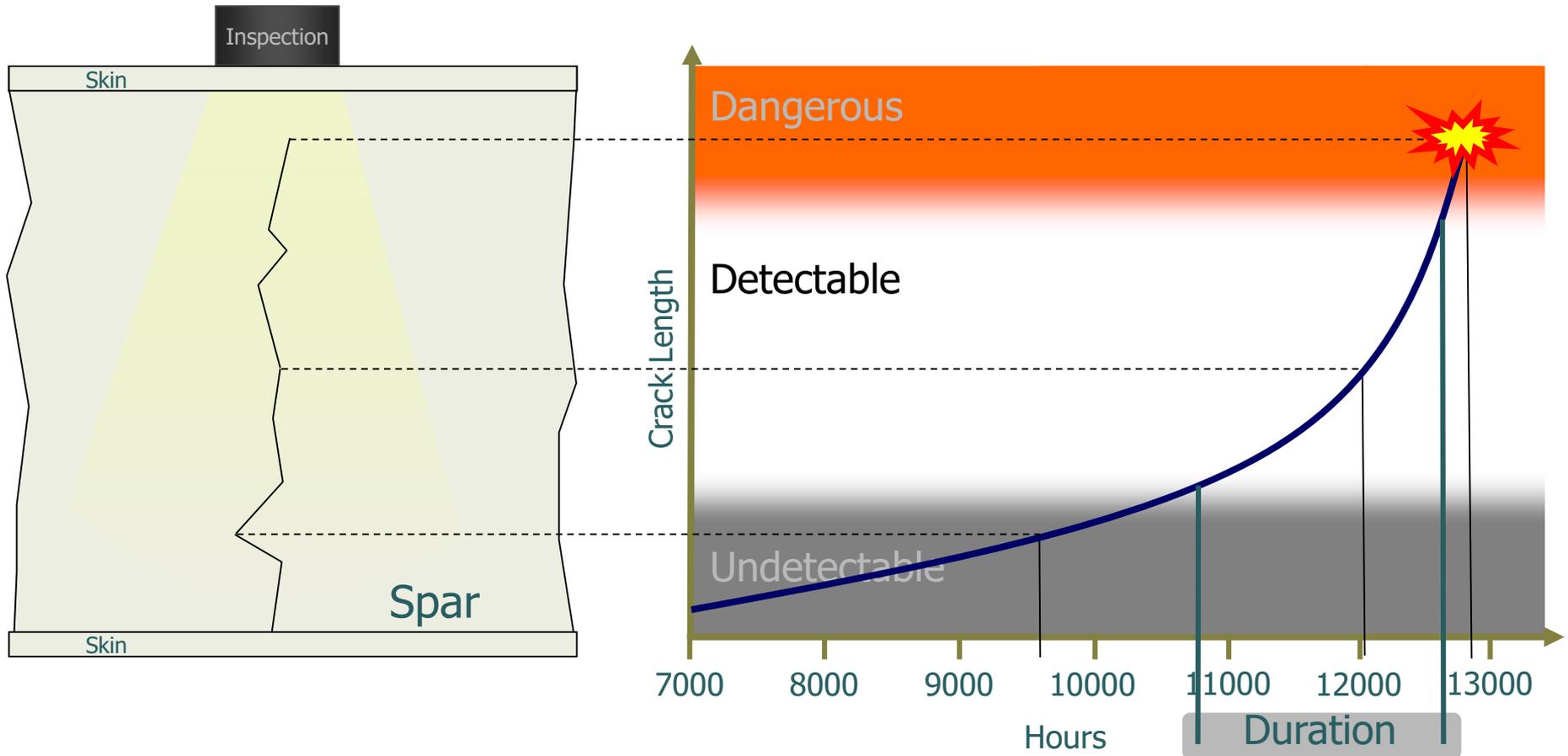
Fatigue des matériaux

Exemple pour un métal typique



Fatigue des matériaux

Exemple pour un métal typique Concept «Damage tolerant»



Fatigue des matériaux

Aloha Airlines flight 243, Boeing 737, Hawaii, 1988



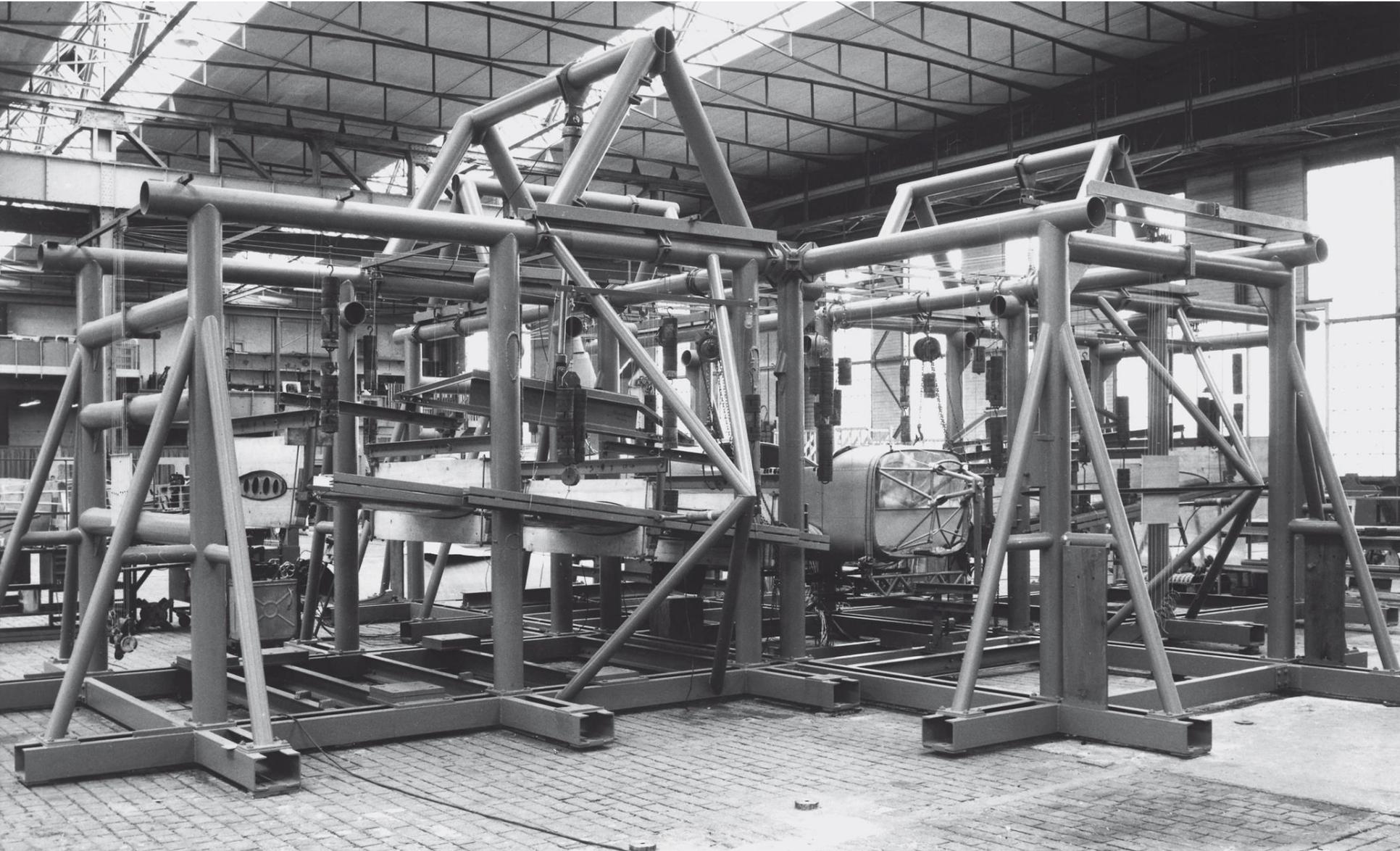
Fatigue des matériaux

Aloha Airlines flight 243, Boeing 737, Hawaii, 1988



Fatigue des matériaux

Essais



Fatigue des matériaux

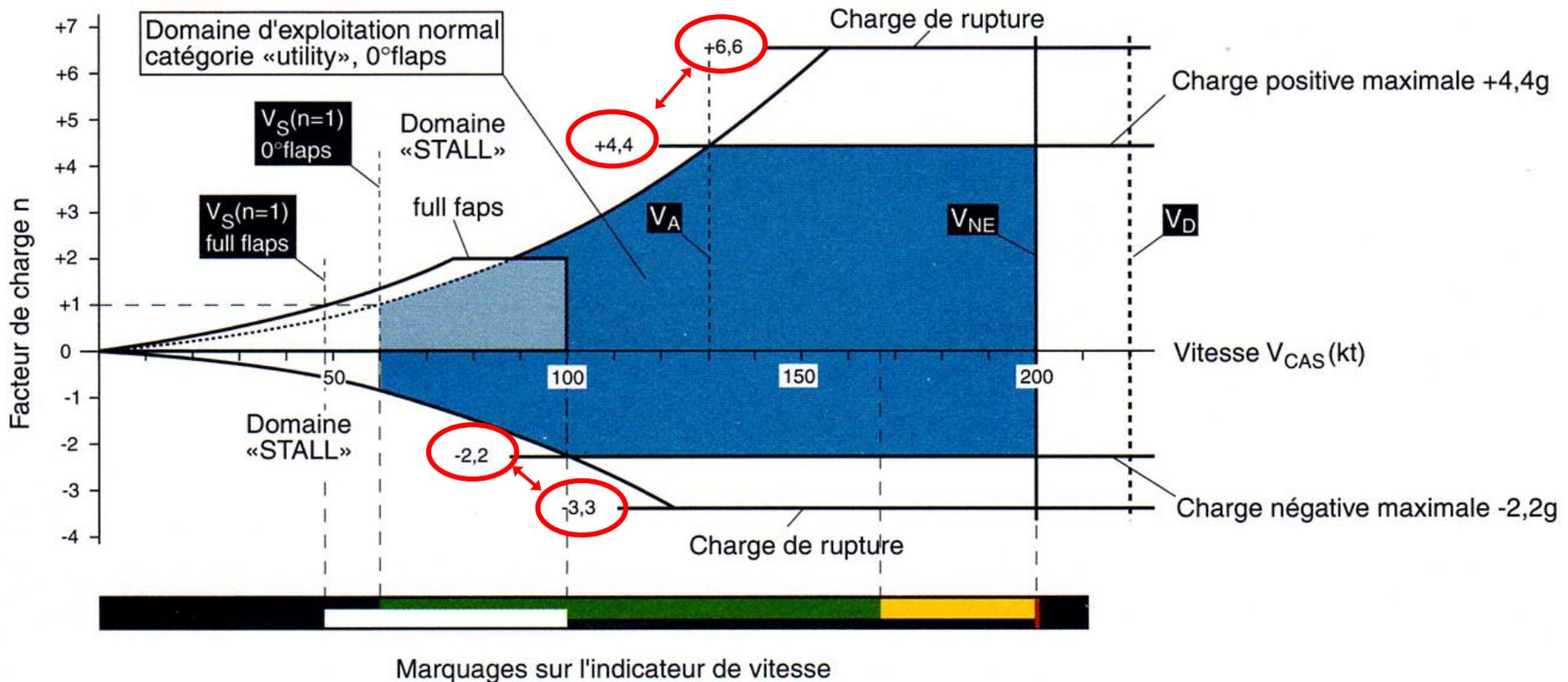
Essais



Enveloppe de manœuvre

Charge entre +4.4 g et + 6.6 g et entre -2.2 g et -3.3 g

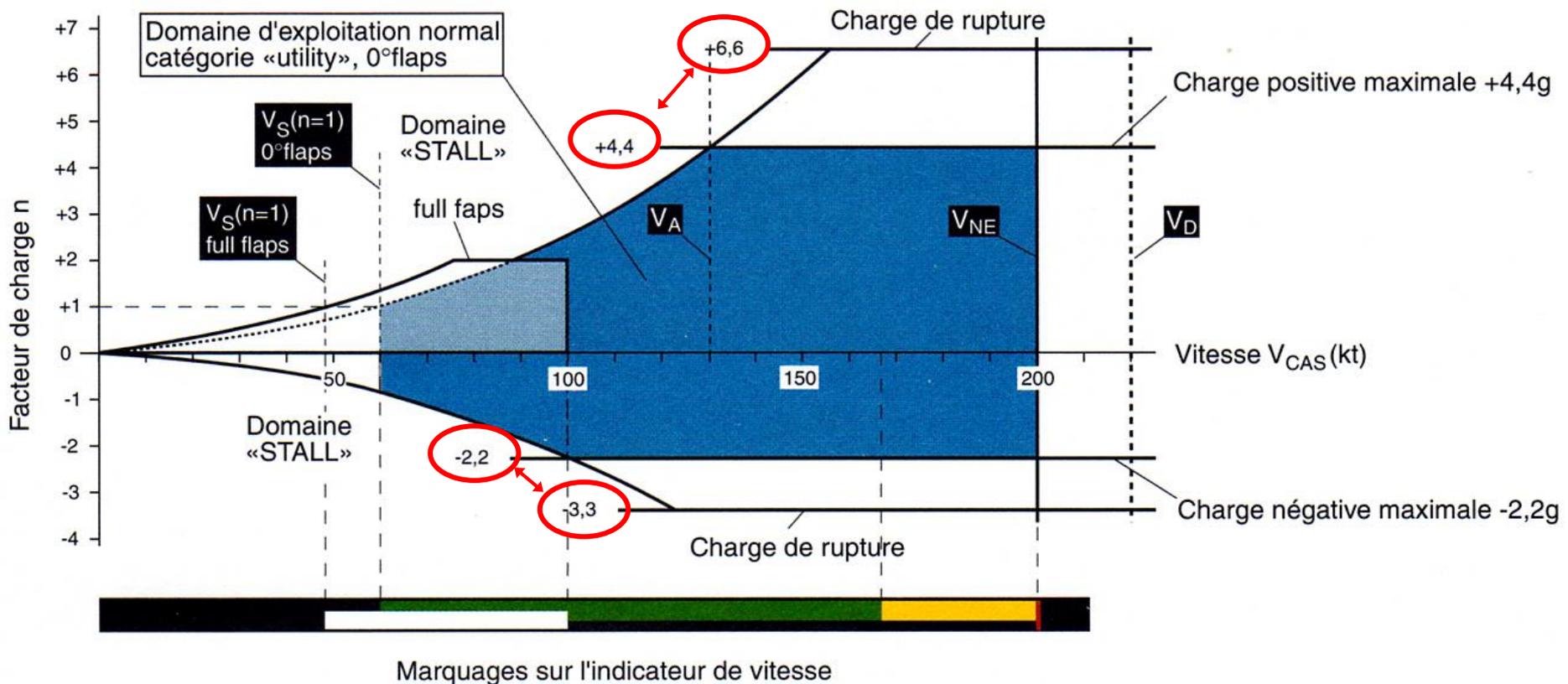
Domaine des **déformations plastiques** (p.ex. métaux): les matériaux **se déforment**, puis **ne reviennent pas** à leur état initial une fois que la contrainte disparaît. Des **déformations permanentes** peuvent apparaître sur l'avion.



Enveloppe de manœuvre

L'aéronef est censé tenir. Il est par contre possible que l'aéronef soit endommagé de telle manière **qu'il ne soit plus réparable!**

IDEE FAUSSE (mais largement répandue): « il ne se passe rien de dommageable jusqu'à 1.5 x la charge admissible »

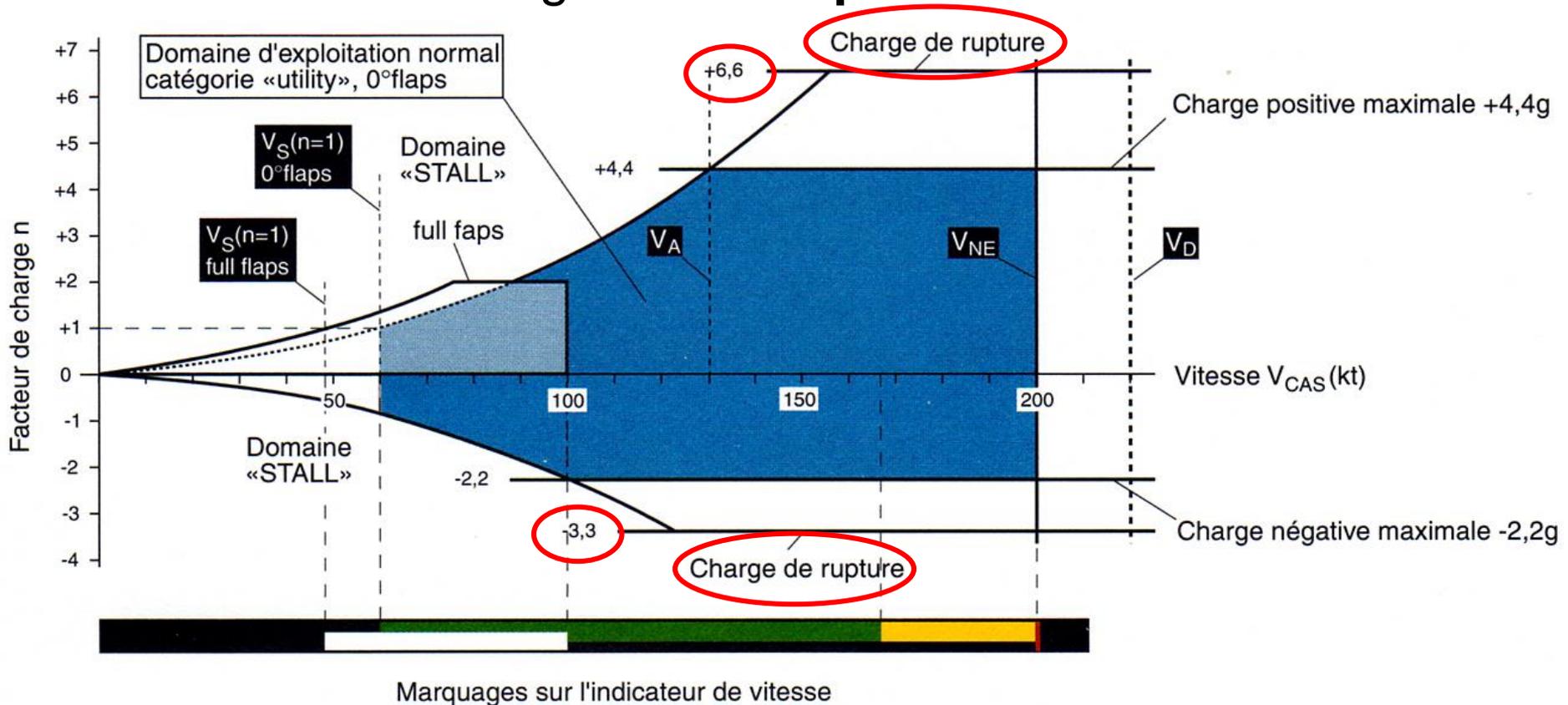


Enveloppe de manœuvre

Charge de rupture +6.6 g / -3.3 g (1.5 x charge admissible maximum pour les métaux)

En-dessus de la charge de rupture, le constructeur ne **garantit plus la résistance structurelle de l'aéronef**

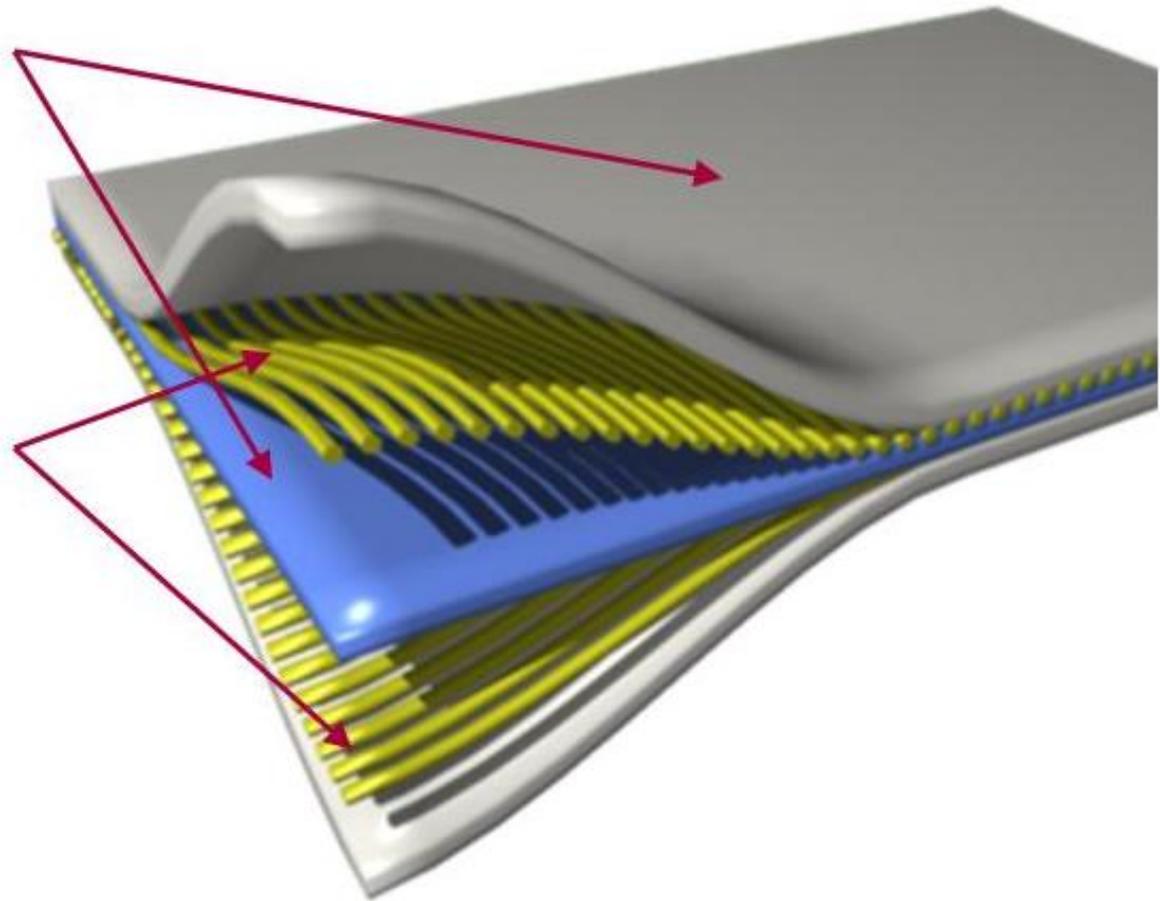
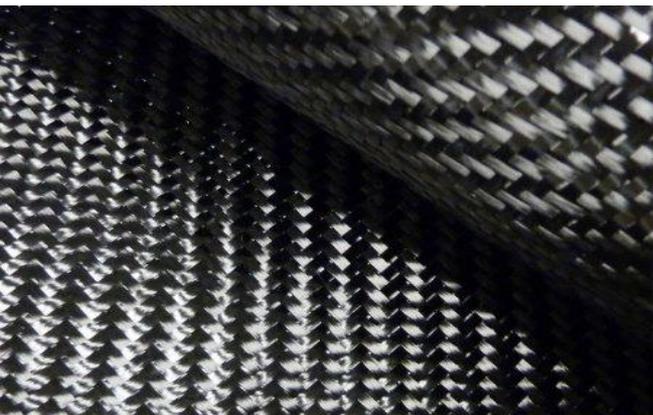
L'aéronef court le danger d'une **rupture structurelle**



Pour les **matériaux composites**, qui ne connaissent pas de domaine de déformation plastique, et au comportement parfois encore pas assez connu, il y a souvent un **facteur de sécurité de 2 x** la charge maximale admissible.

La **matrice** assure la cohésion de la pièce ainsi que certaines propriétés (tenue diélectrique, au choc etc).

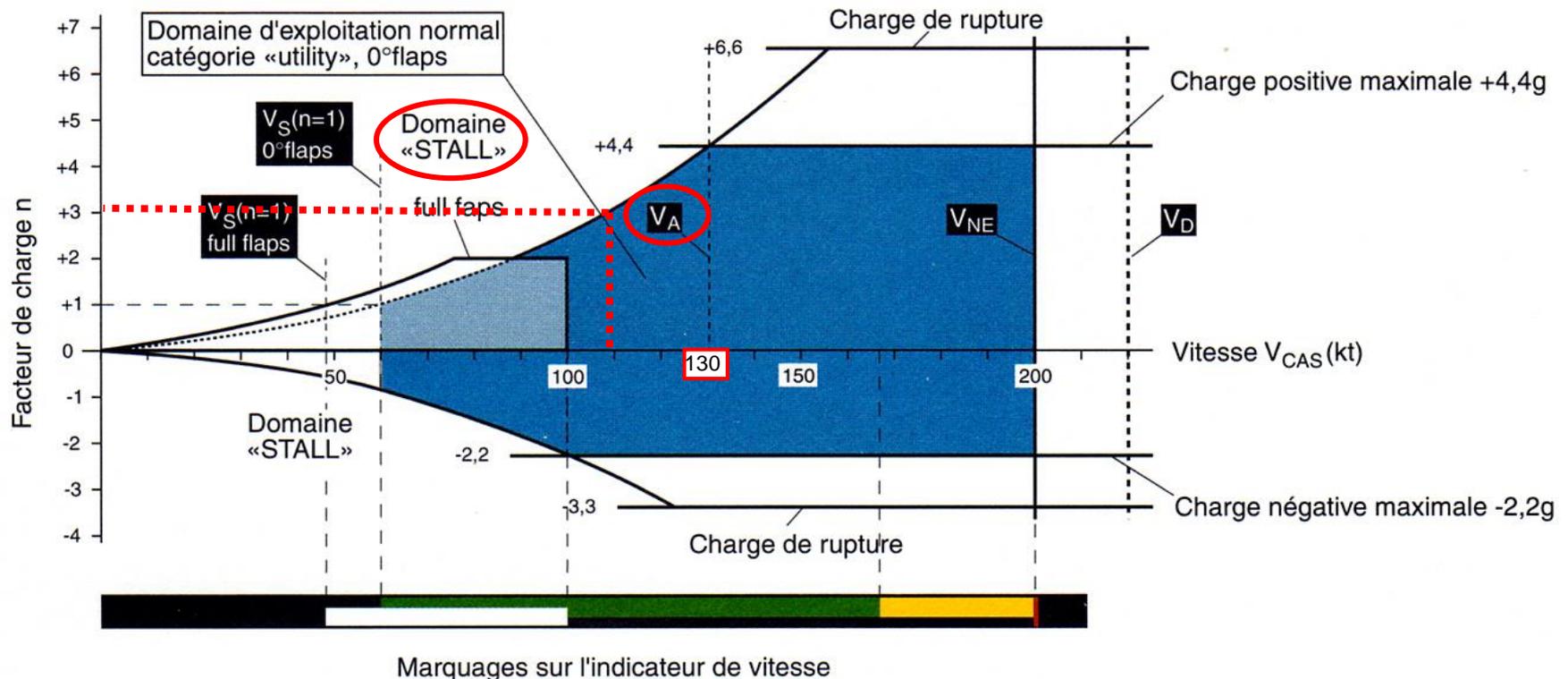
Le **renfort** assure la résistance mécanique de la pièce.



V_A : Design Manoeuvring Speed

V_A est la vitesse jusqu'à laquelle un **braquage brusque et complet de la profondeur en cabrage** (nose up) peut être fait **sans dépasser le facteur de charge limite**.

Exemple: à 110 KIAS (en-dessous de V_A 130 KIAS), l'aéronef décroche avant qu'il ait atteint la charge maximale autorisée.



Pour les aéronefs en catégorie NORMAL ou UTILITY (nos avions d'écolage), cela est vrai uniquement pour un seul braquage en butée en cabrage (nose up) puis remise au neutre.

Pour les aéronefs en catégorie AEROBATIC uniquement le braquage complet des trois gouvernes (profondeur, gauchissement, direction) en aller-retour est garanti.



Braquage de gouvernes: vol AA587

- Vol AA587, Airbus 300, 12 novembre 2001, New York
- Après le décollage l'appareil traverse la trainée de sillage d'un Boeing 747
- Le pilote corrige de manière excessive et non coordonnée les turbulences avec le rudder



Flight Path Animation



NTSB Board Meeting AA Flight 587



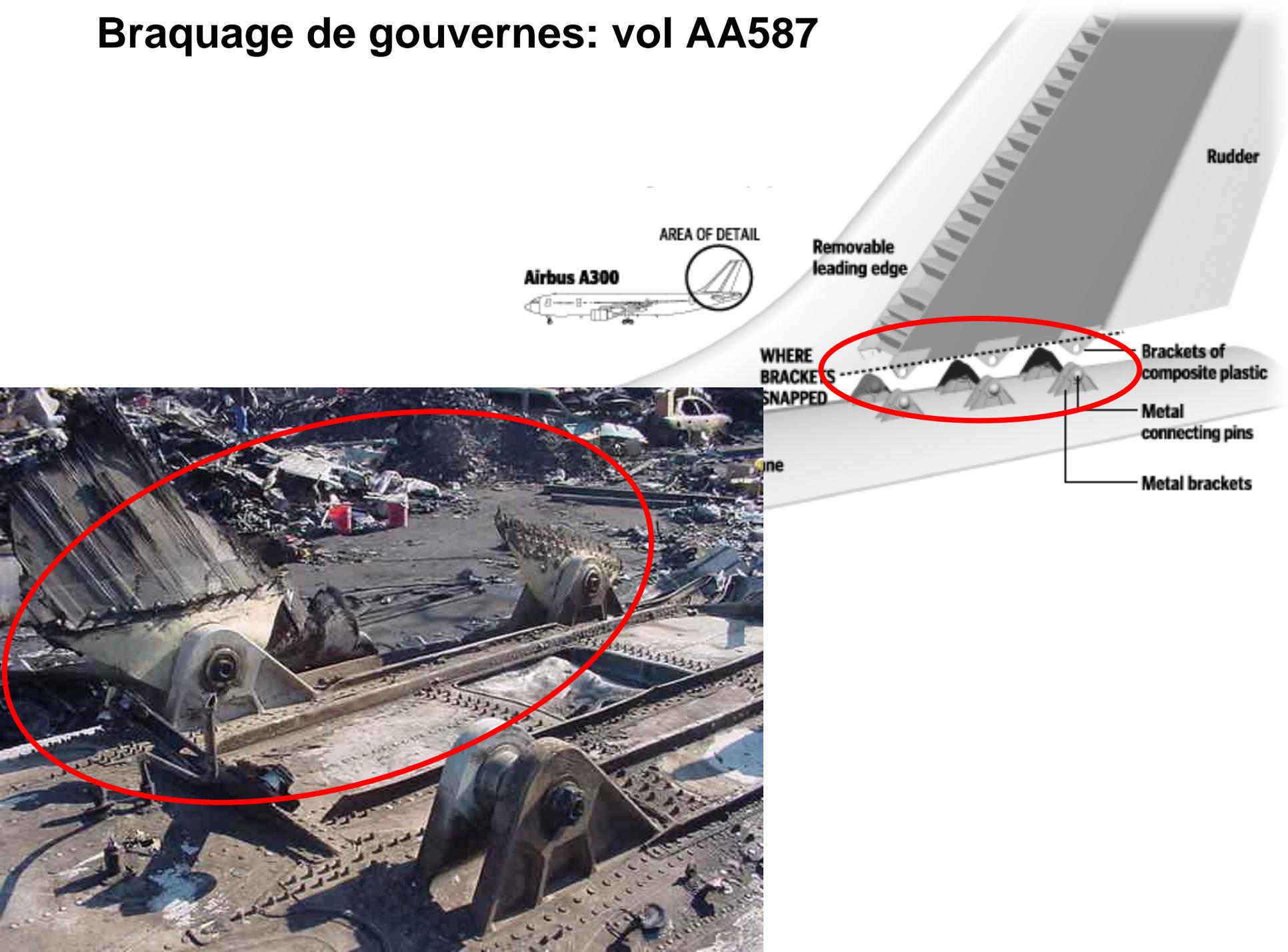
Braquage de gouvernes: vol AA587



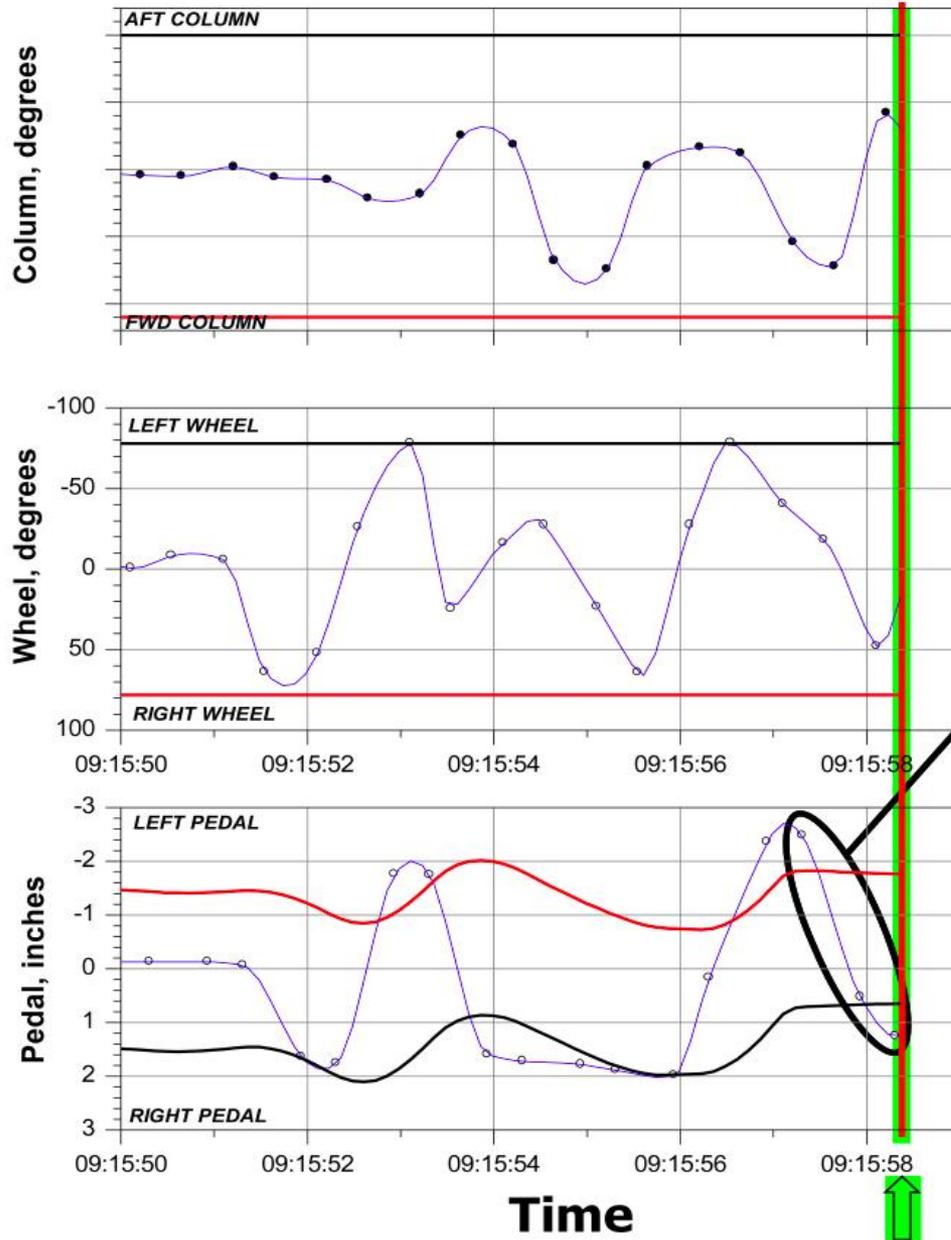
Braquage de gouvernes: vol AA587



Braquage de gouvernes: vol AA587



Control Inputs Following Start of Second Wake Encounter



Time = 09:15:58.4

- Wheel moves right
- Full right pedal input

Fourth full alternating rudder pedal input

- **Vertical stabilizer separates from airplane**

V_A : Design Manoeuvring Speed

V_A n'est pas marquée sur l'indicateur de vitesse!

→ Le pilote doit donc connaître cette valeur qu'il trouve dans le manuel de vol AFM

V_A varie avec la masse!

Min. Gross Weight: _____

Max. Gross Weight: _____

TIP:

V_A is the maximum speed at which you may apply full control deflections without overstressing the airplane. It varies with weight.



V_A : Design Manoeuvring Speed

**PIPER AIRCRAFT CORPORATION
PA-28RT-201, ARROW IV**

**SECTION 2
LIMITATIONS**



V_A : Design Manoeuvring Speed

**PIPER AIRCRAFT CORPORATION
PA-28RT-201, ARROW IV**

**SECTION 2
LIMITATIONS**

2.3 AIRSPEED LIMITATIONS

	SPEED	KIAS	KCAS
Design Maneuvering Speed (V_A) - Do not make full or abrupt control movements above this speed.			
	MTOM 2750 lbs. $V_A = 121$ KIAS		
At 2750 lbs. G.W.		121	121
At 1863 lbs. G.W.		96	97
A la masse de 1863 lbs (avion à vide avec un pilote et un peu d'essence), $V_A = 96$ KIAS			

V_A : Design Manoeuvring Speed

PIPER AIRCRAFT CORPORATION
PA-28RT-201, ARROW IV

SECTION 2
LIMITATIONS

CAUTION

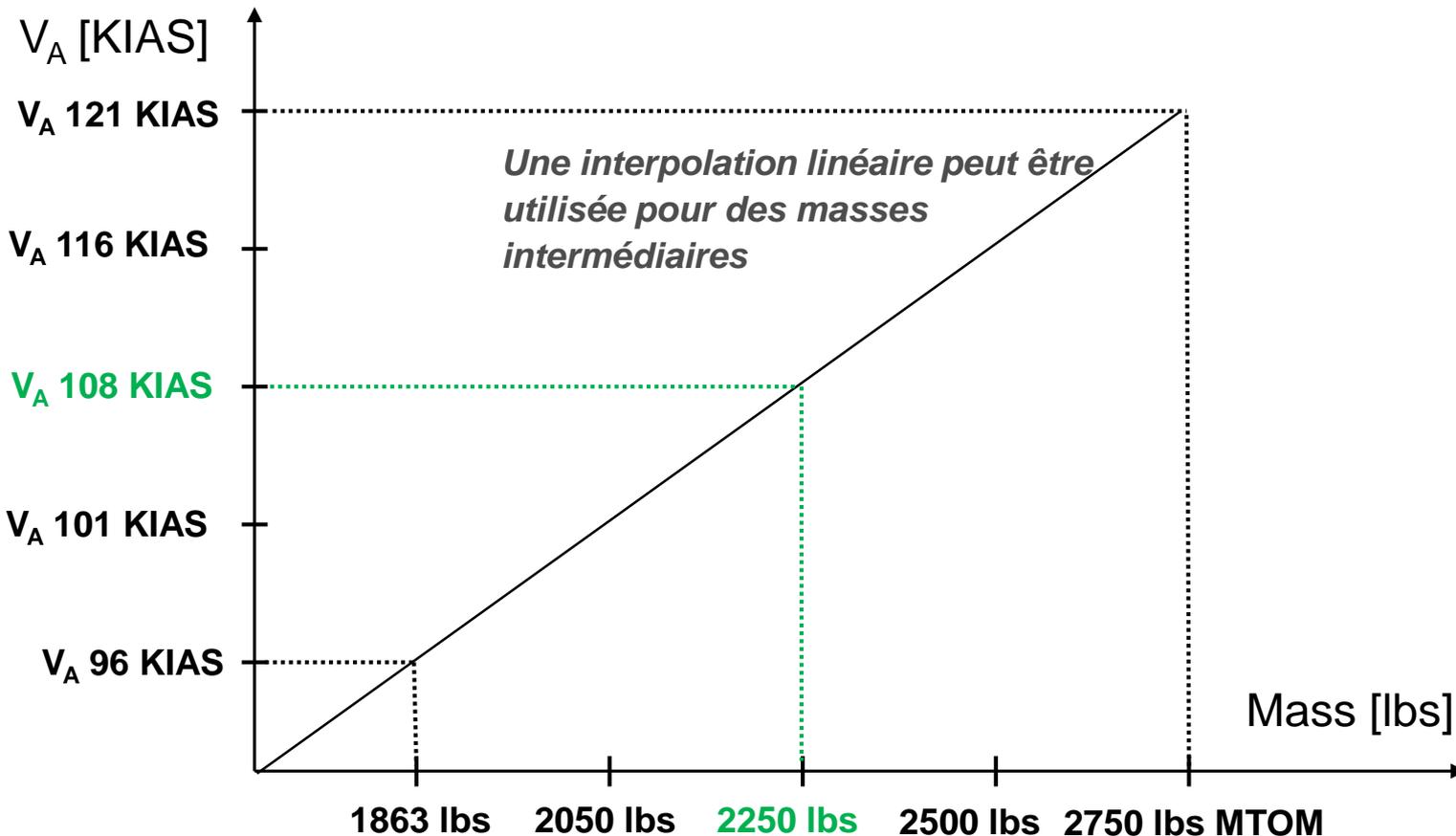
Maneuvering speed decreases at lighter weight as the effects of aerodynamic forces become more pronounced. Linear interpolation may be used for intermediate gross weights. Maneuvering speed should not be exceeded while operating in rough air.

Une interpolation linéaire peut être utilisée pour des masses intermédiaires

V_A : Design Manoeuvring Speed

Une interpolation linéaire peut être utilisée pour des masses intermédiaires

Exemple: à 2250 lbs, la V_A est de 108 Kt



V_A : Design Manoeuvring Speed

AS 202 BRAVO

B 2 - 8

MTOM 999 kg $V_A = 150$ MPH

FV-862

Certains manuels ne donnent une valeur de V_A qu'à la masse maximale (MTOM)

DESIGN MANEUVERING SPEED $V_A = 150$ MPH

To calculate V_A at reduced aircraft weight:

voici comment calculer la V_A pour des masses plus faibles

$$\sqrt{\frac{\text{New Weight}}{\text{Max Takeoff Weight}}} \times (\text{Max Takeoff } V_A) = \text{New } V_A$$

$$\sqrt{\frac{850 \text{ kg}}{999 \text{ kg}}} \times (V_A 150 \text{ MPH}_{\text{(MTOM)}}) = 138 \text{ MPH}$$

$$V_{A(850 \text{ kg})} = 138 \text{ MPH}$$

V_A : Design Manoeuvring Speed

**PIPER AIRCRAFT CORPORATION
PA-28RT-201, ARROW IV**

**SECTION 2
LIMITATIONS**

CAUTION

Maneuvering speed decreases at lighter weight as the effects of aerodynamic forces become more pronounced. Linear interpolation may be used for intermediate gross weights. Maneuvering speed should not be exceeded while operating in rough air.

«La vitesse de manoeuvre ne devrait pas être dépassée en opérant dans de l'air turbulent »

V_A : Design Manoeuvring Speed

PA-28R-201, ARROW

**SECTION 4
NORMAL PROCEDURES**

4.37 TURBULENT AIR OPERATION

In keeping with good operating practice used in all aircraft, it is recommended that when turbulent air is encountered or expected, the airspeed be reduced to maneuvering speed to reduce the structural loads caused by gusts and to allow for inadvertent speed build-ups which may occur as a result of the turbulence or of distractions caused by the conditions.

«Lorsque de l'air turbulent est rencontré ou attendu, il est recommandé de réduire la vitesse à la vitesse de manoeuvre pour diminuer les charges structurelles causées par les rafales»

V_A : Design Manoeuvring Speed

Manuel de vol AFM et placards de cockpit Maule M7-235

DESIGN MANEUVERING SPEED: The maximum safe airspeed at which full aerodynamic controls can be applied (V_A) is 125 mph (109K). This airspeed is not marked on the airspeed indicator.

"ROUGH AIR OR MANEUVERING SPEED: 125 MPH 109K)."

Vitesse de pénétration dans l'air turbulent ou vitesse de manœuvre: 125 MPH / 109 Kt

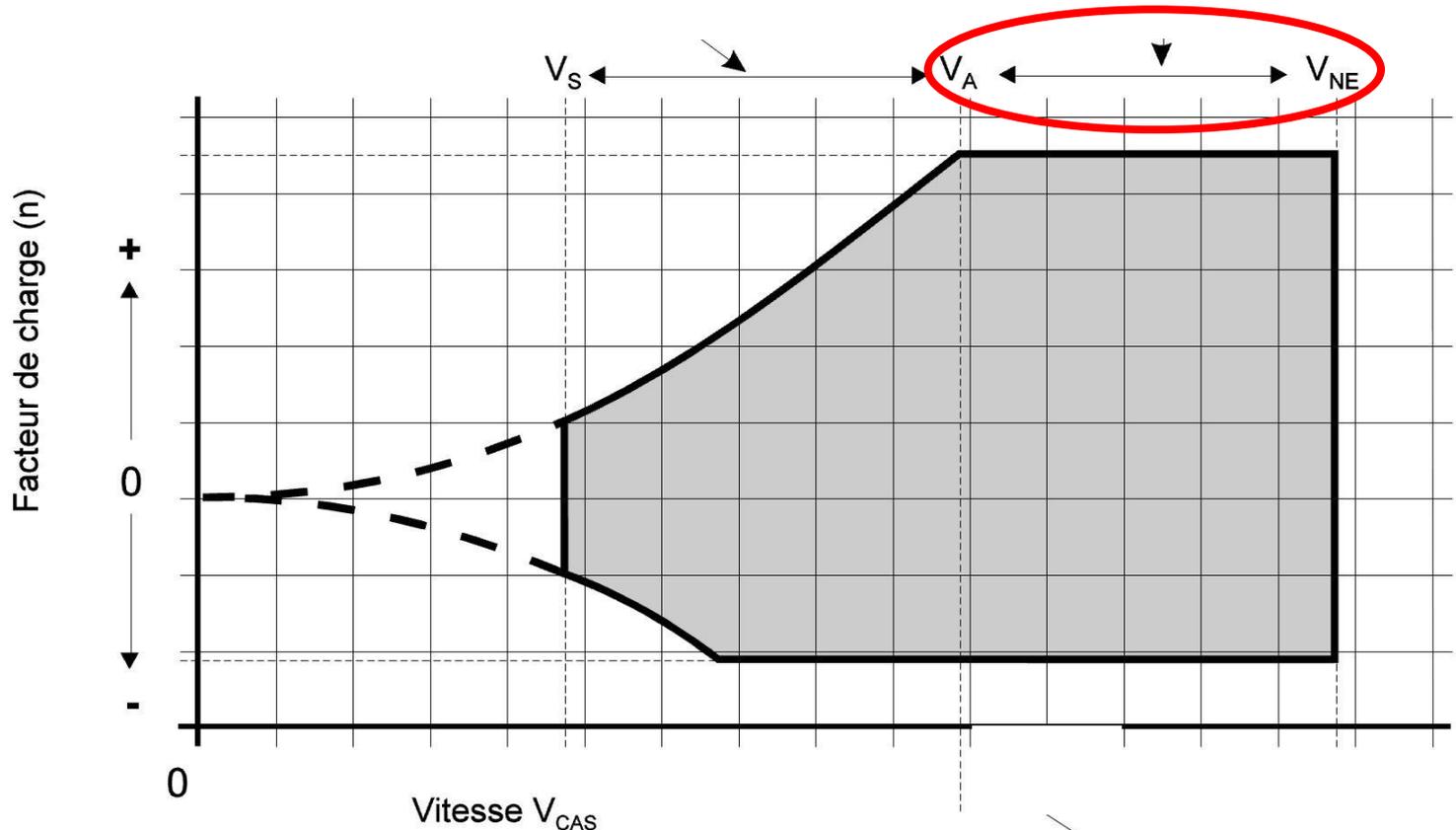


Bases et procédures pour la formation aéronautique initiale (SPHAIR):



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Dans le domaine compris entre V_A (Manoeuvring Speed) et V_{NE} (Never Exceed Speed).....



Bases et procédures pour la formation aéronautique initiale (SPHAIR):



SPHAIR



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Dans le domaine compris entre V_A (Manoeuvring Speed) et V_{NE} (Never Exceed Speed) on peut atteindre un facteur de charge inadmissible:

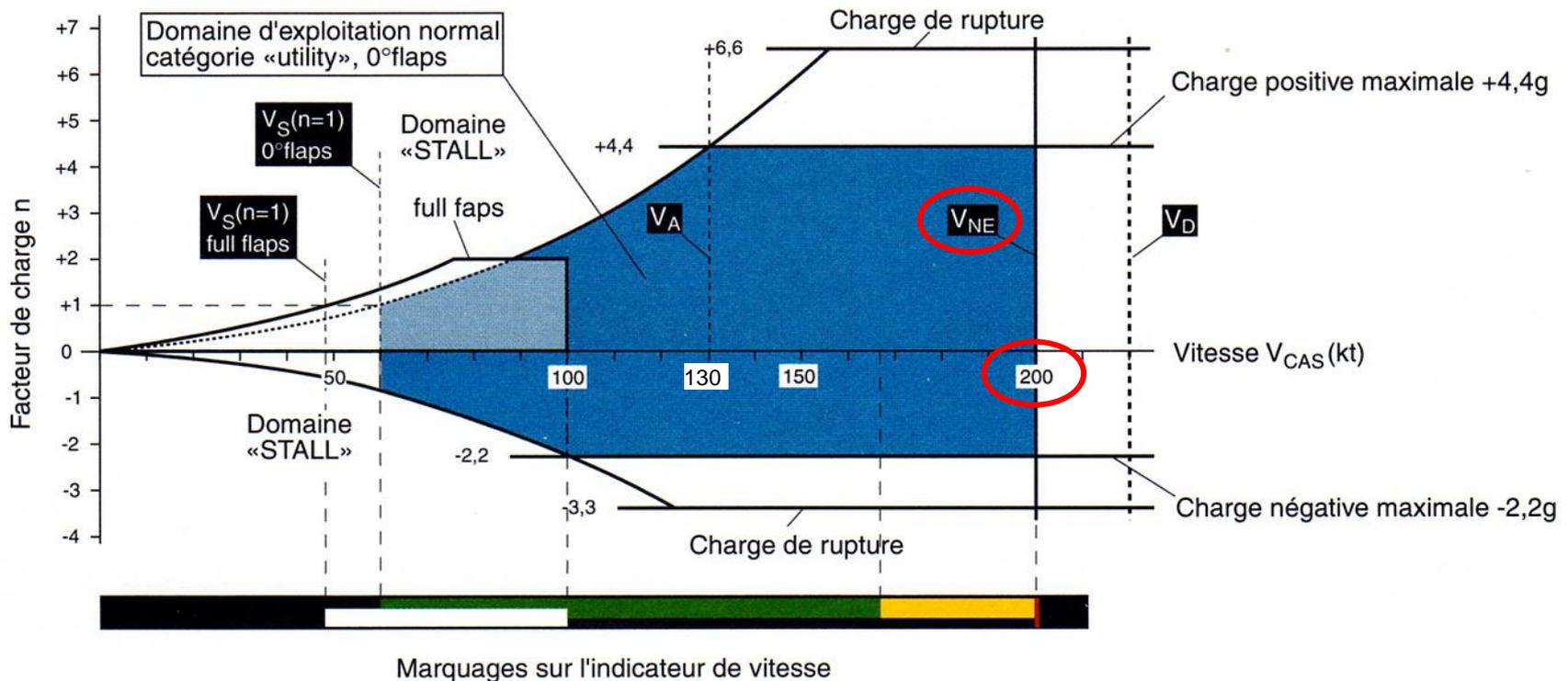
1) Par des mouvements démesurés des commandes.

2) La structure de l'avion peut aussi être surchargée et endommagée par une vitesse élevée et de fortes turbulences

V_{NE} : Never Exceed Speed

V_{NE} est la vitesse à ne jamais dépasser, sous aucune circonstance

- Si cette vitesse est dépassée, il peut se produire notamment des **phénomènes de flottement (flutter)** où les gouvernes ou même les surfaces entières entrent en **résonance**
- l'aéronef court le danger d'une **dislocation en vol**



V_{NE} : Never Exceed Speed

**PIPER AIRCRAFT CORPORATION
PA-28RT-201, ARROW IV**

**SECTION 2
LIMITATIONS**

2.3 AIRSPEED LIMITATIONS

SPEED	KIAS	KCAS
Never Exceed Speed (V_{NE}) - Do not exceed this speed in any operation.	190	186
« Ne pas dépasser cette vitesse dans aucune opération »	149	148

V_{NE} : Never Exceed Speed

V_{NE} est indiquée par un trait rouge sur l'indicateur de vitesse

TIP:

V_{NE} is denoted by the red radial line



V_{NE} : Never Exceed Speed

ATTENTION:

la V_{NE} indiquée IAS se réduit avec l'altitude, car la TAS augmente (à raison d'environ 2% par 1000 ft)

Supermarine Seafire

Altitude feet	Max. IAS knots	Mach no.
Sea level – 10 000	455	0.78
10 000 – 15 000	410	0.78
15 000 – 20 000	375	0.78
20 000 – 25 000	340	0.78
25 000 – 30 000	300	0.78
30 000 – 35 000	270	0.78
35 000 +	240	0.78



V_{NE} : Never Exceed Speed / FLUTTER

**Piper PA-30 Twin Comanche Aircraft Tail Flutter
NASA Dryden Flight Research Center, 5 avril 1966**

<http://www.youtube.com/watch?v=MtCRUFIKsvY>



Milestones in Flight History

Dryden Flight Research Center



PA-30 Twin Commanche

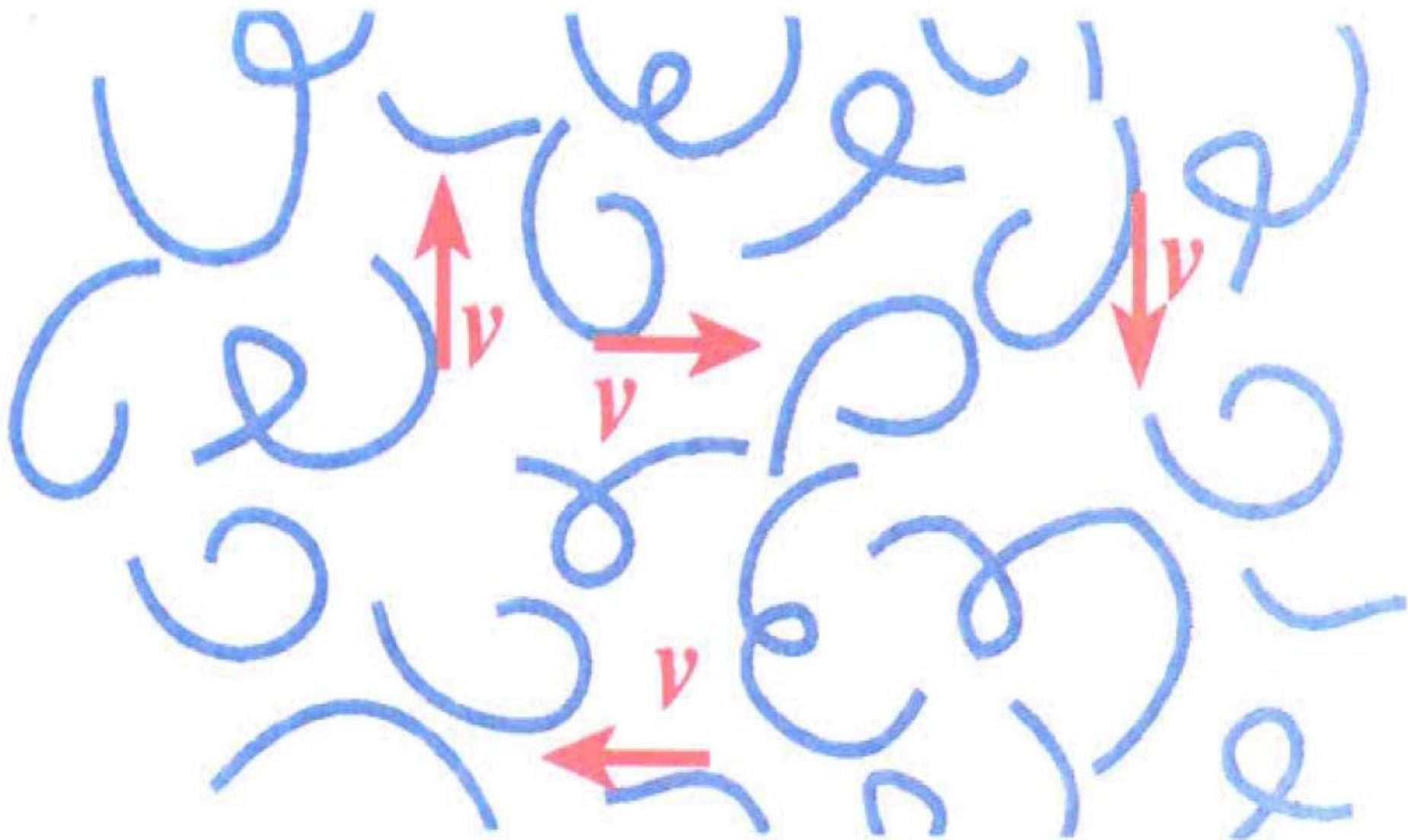
Tail Flutter Test

April 5, 1966

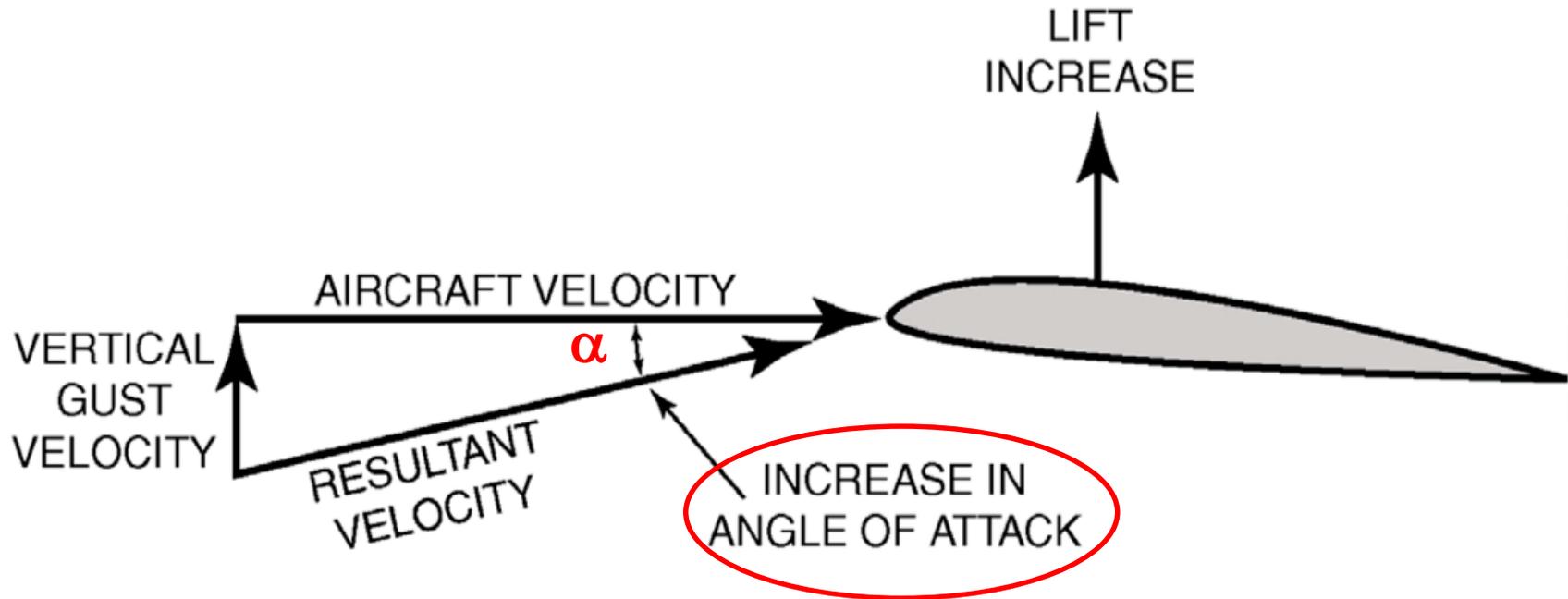


23:49:26

Rafales (GUST)



Rafales / GUST



- Si l'aéronef est pris dans une rafale verticale, **l'angle d'attaque α est augmenté**
- **Augmentation de l'angle d'attaque = augmentation de la portance**
- Comme le **facteur de charge est le rapport de la portance à la masse (lift/mass)**, il y a augmentation du facteur de charge

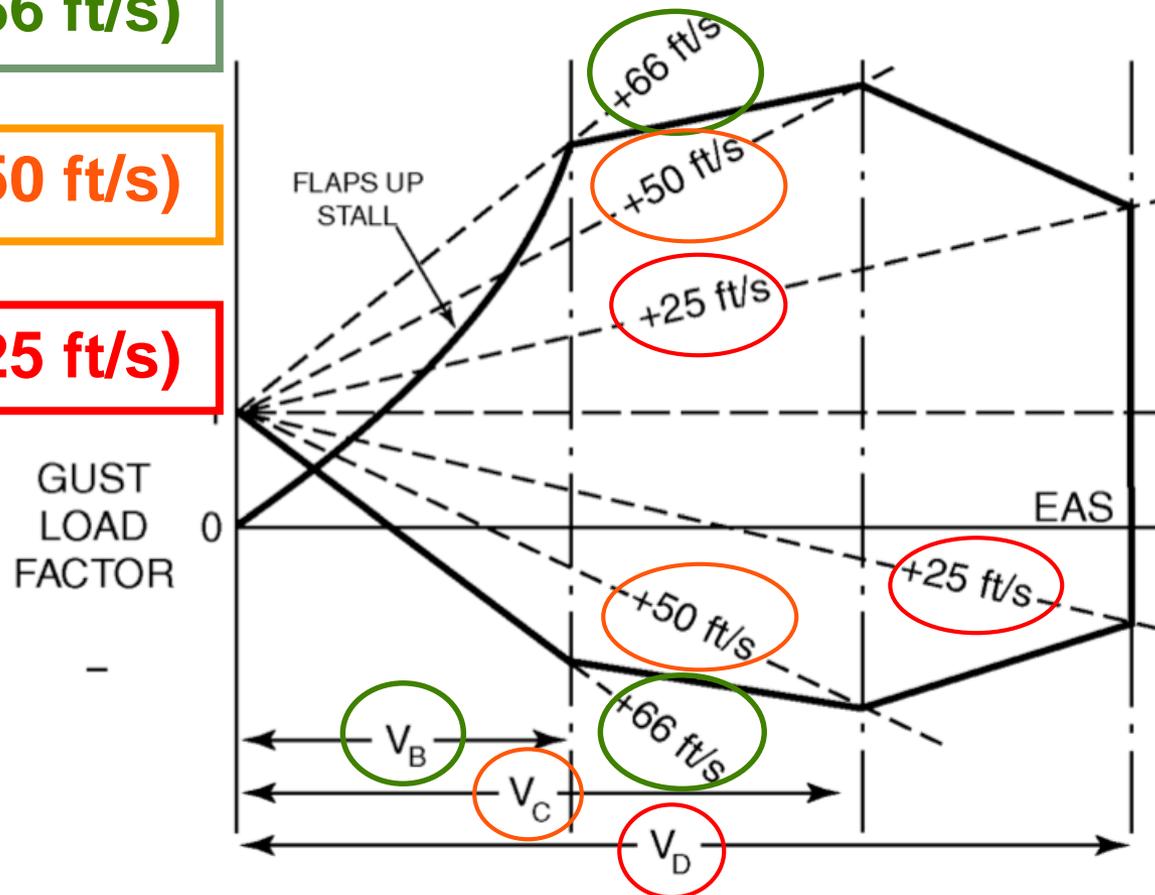
Enveloppe de rafales / GUST

Rafales verticales définies et vitesses associées
(EASA CS-23)

V_B (+/- 66 ft/s)

V_C (+/- 50 ft/s)

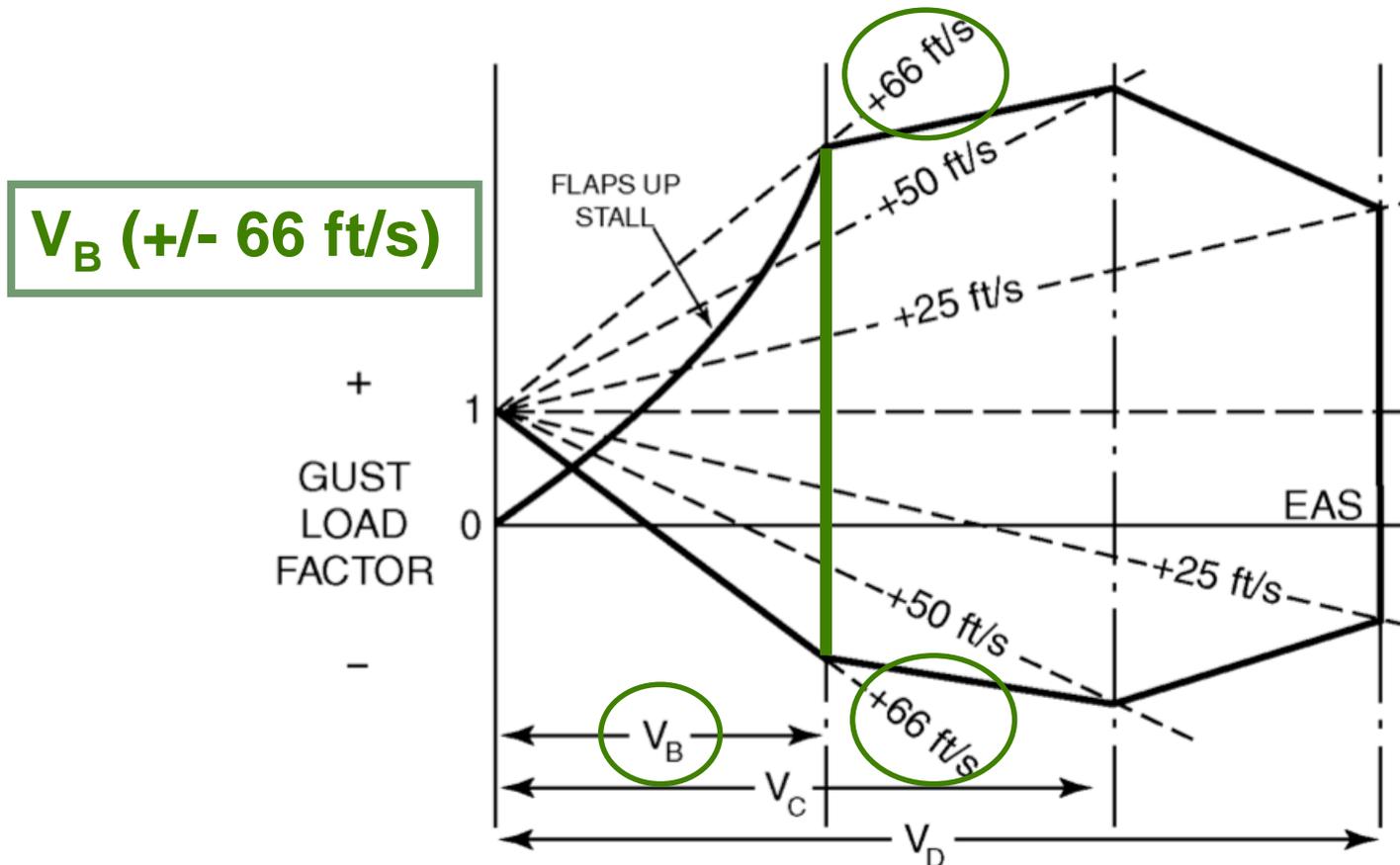
V_D (+/- 25 ft/s)



V_B Design Speed for Maximum Gust Intensity

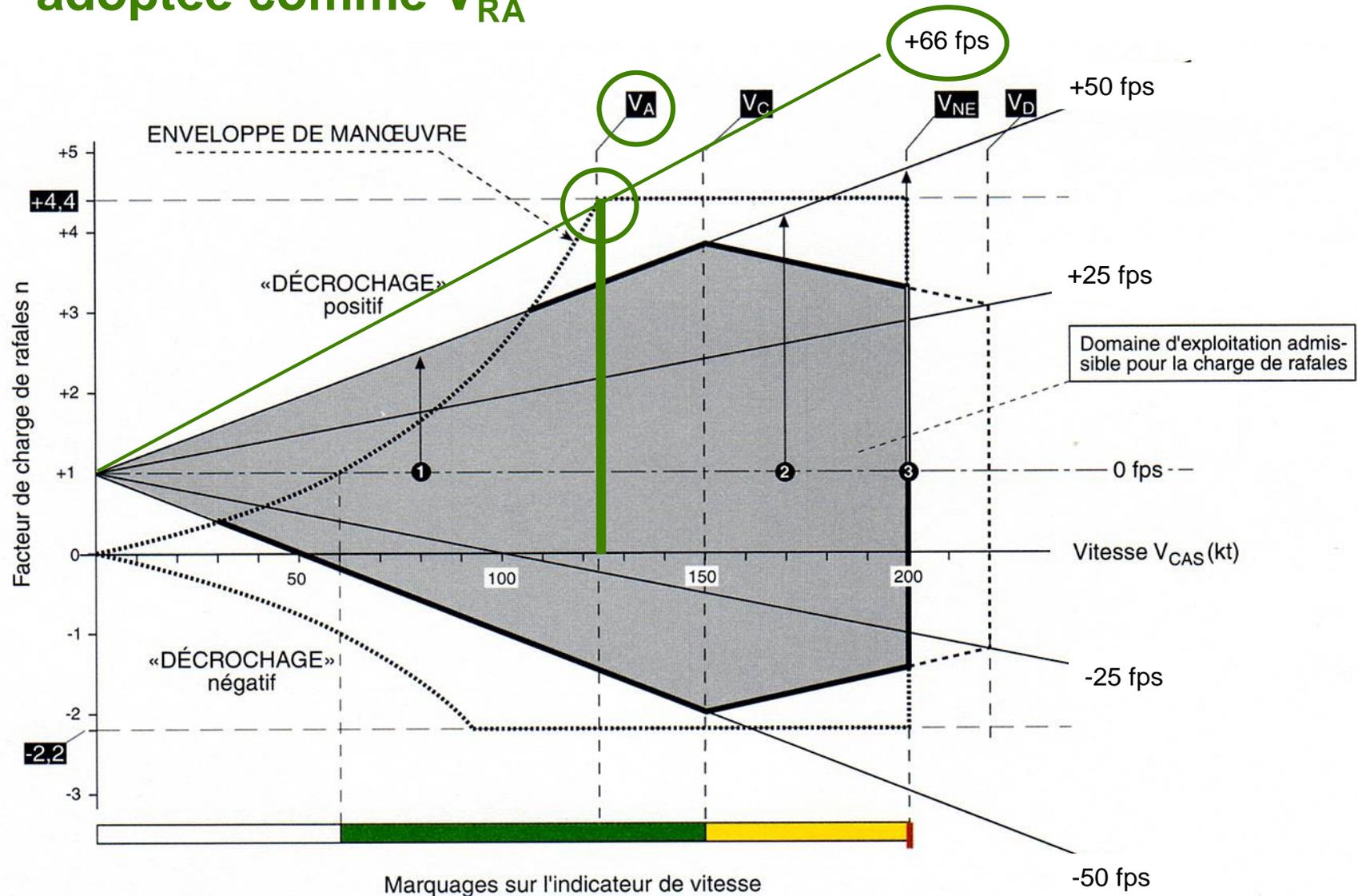
V_B : A cette vitesse l'aéronef doit encore pouvoir supporter des rafales verticales de ± 66 ft/s

Entre dans la définition de V_{RA} (Rough Air Penetration Speed)



V_B Design Speed for Maximum Gust Intensity

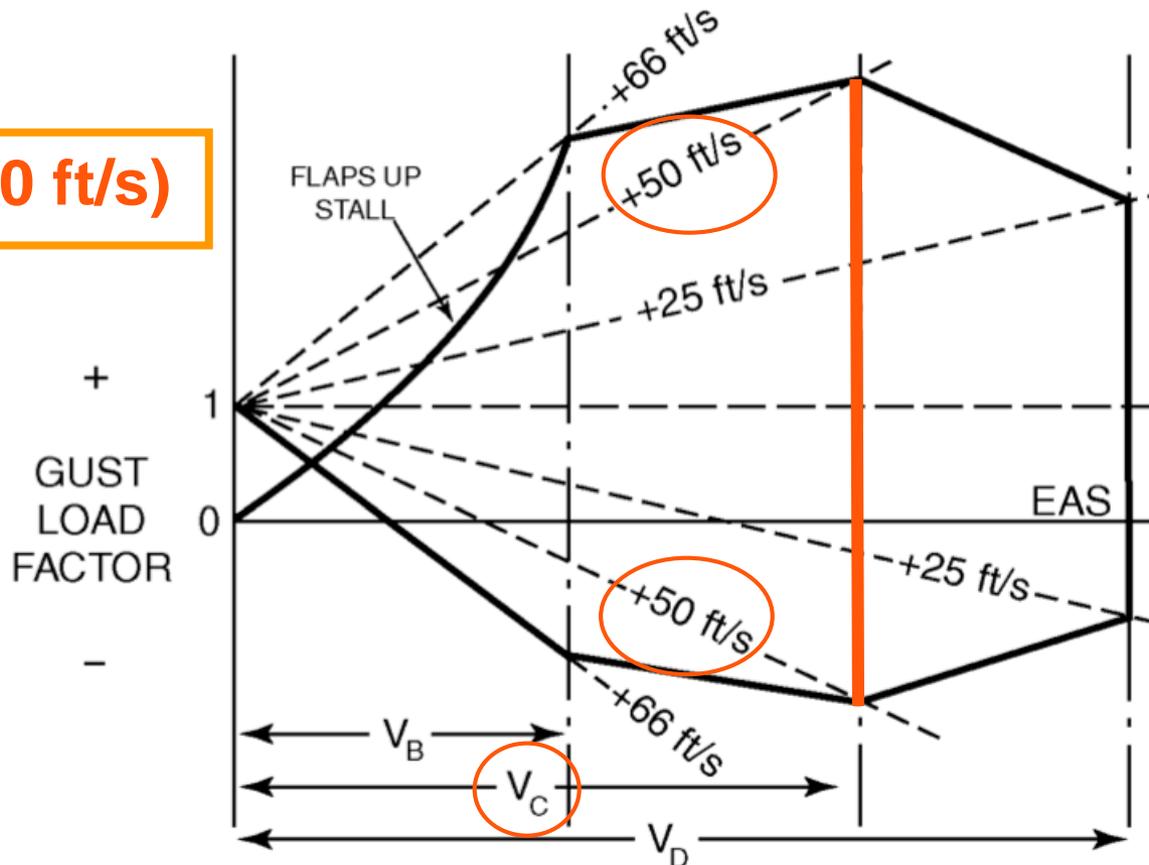
Pour les avions légers, c'est souvent la V_A qui est adoptée comme V_{RA}



V_C : Design Cruising Speed

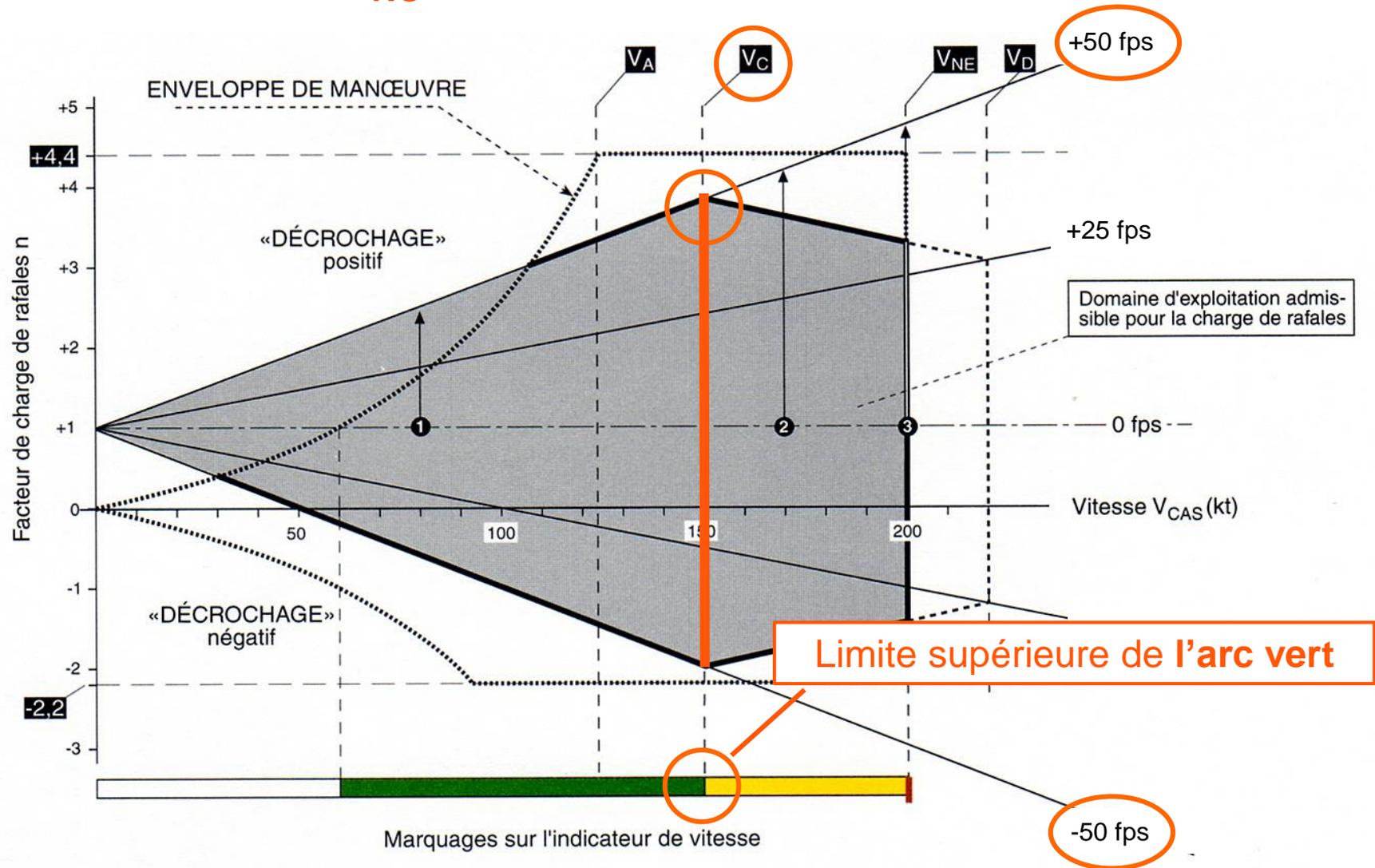
V_C : A cette vitesse l'avion doit encore pouvoir supporter des rafales verticales de ± 50 ft/s

V_C (+/- 50 ft/s)



V_C : Design Cruising Speed

La V_C (Maximum Structural Cruising Speed) entre dans la définition de la V_{NO} (Normal Operations)



V_{NO} : Maximum Normal Operation Speed (Maximum Structural Cruising Speed)

V_{NO} - Maximum Structural Cruising Speed

Limite supérieure de l'arc vert

TIP:

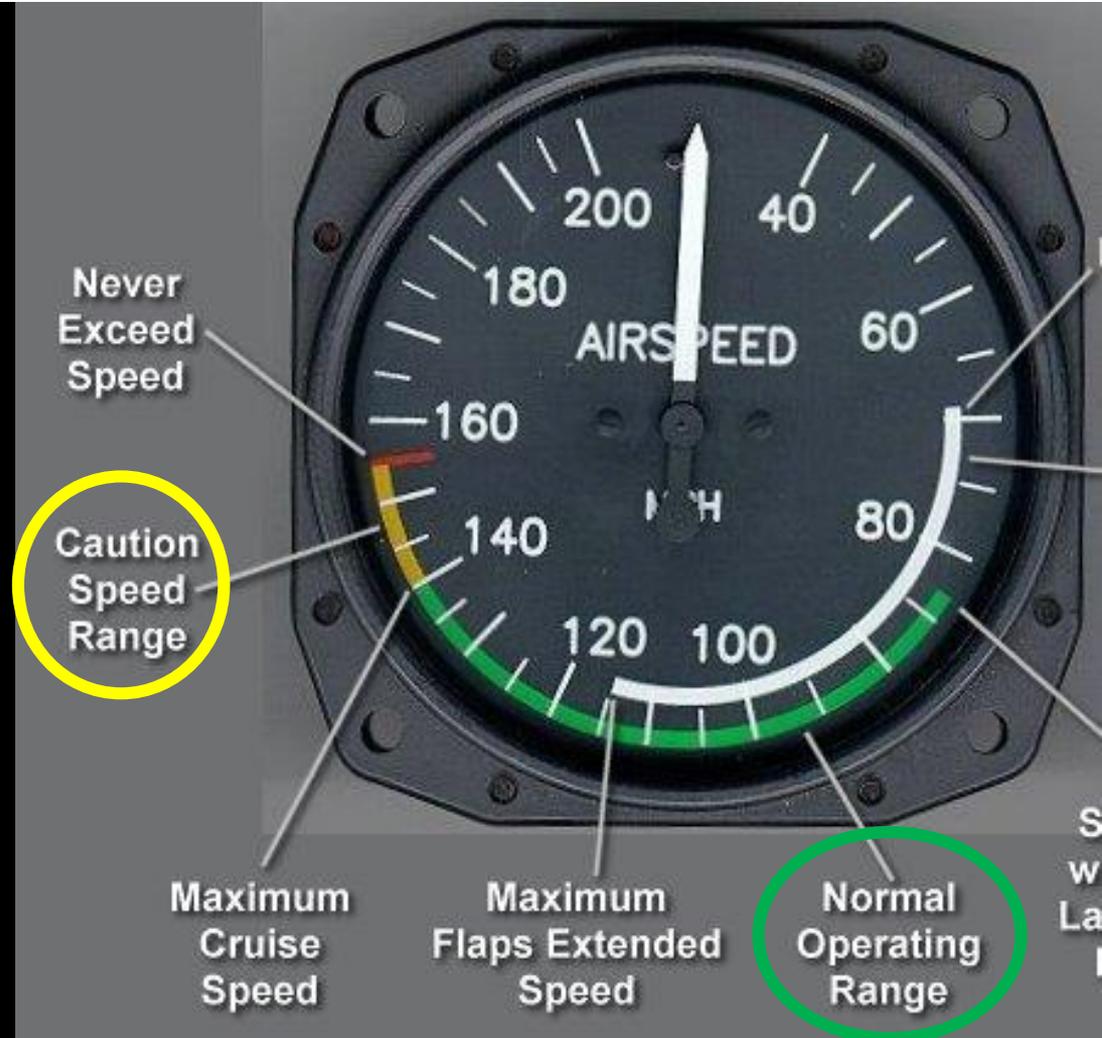
V_{NO} is shown where the green and yellow arcs meet. It should not be exceeded except in smooth air.



V_{NO} : Maximum Normal Operation Speed

Le domaine d'utilisation au-dessus de V_{NO} s'appelle **Caution Speed Range / domaine de prudence**

Pour cette raison il est indiqué par une code de couleur jaune: **arc jaune** sur l'indicateur de vitesse



L'arc vert est la domaine normal d'utilisation de l'aéronef.

V_{NO} : Maximum Structural Cruising Speed

**PIPER AIRCRAFT CORPORATION
PA-28RT-201, ARROW IV**

**SECTION 2
LIMITATIONS**

2.3 AIRSPEED LIMITATIONS

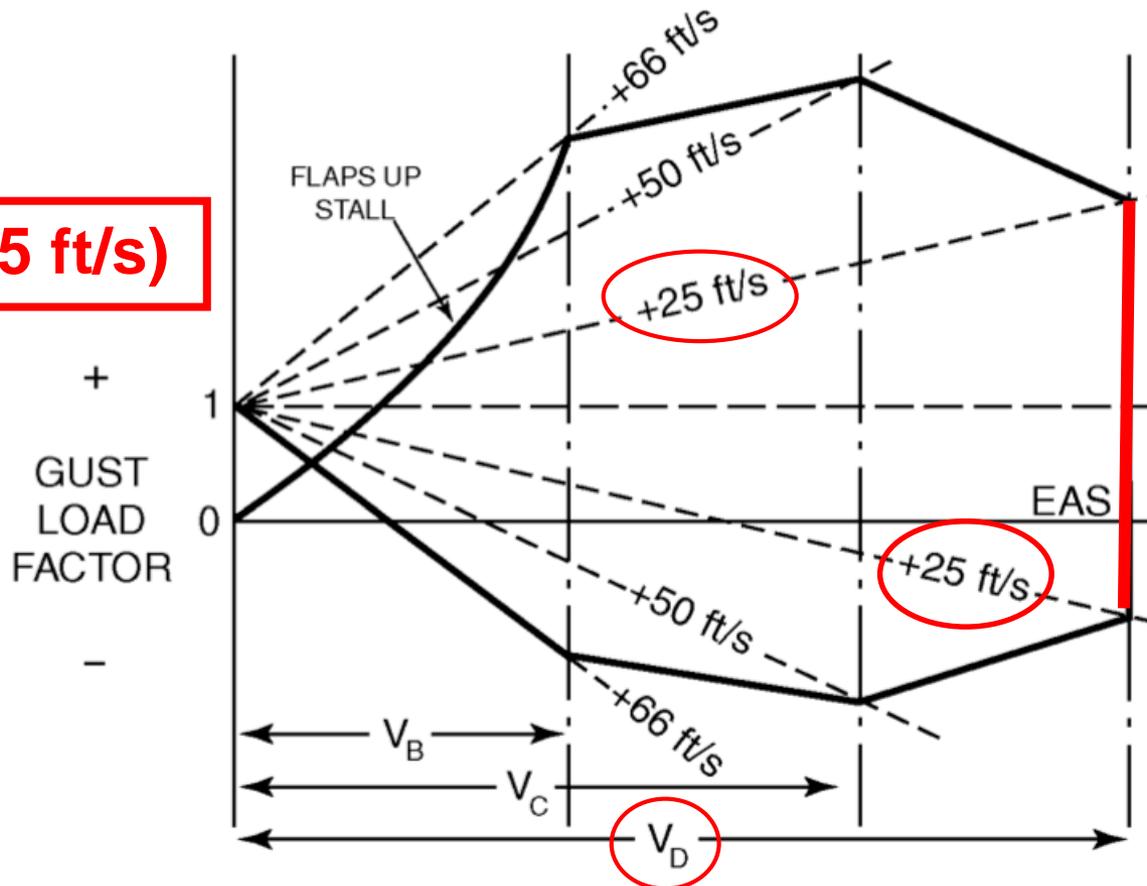
SPEED	KIAS	KCAS
Maximum Structural Cruising Speed (V_{NO}) - Do not exceed this speed except in smooth air and then only with caution.	149	148

V_{NO} : « Ne pas dépasser cette vitesse, excepté dans de l'air calme et seulement encore avec prudence »

V_D : Design Diving Speed

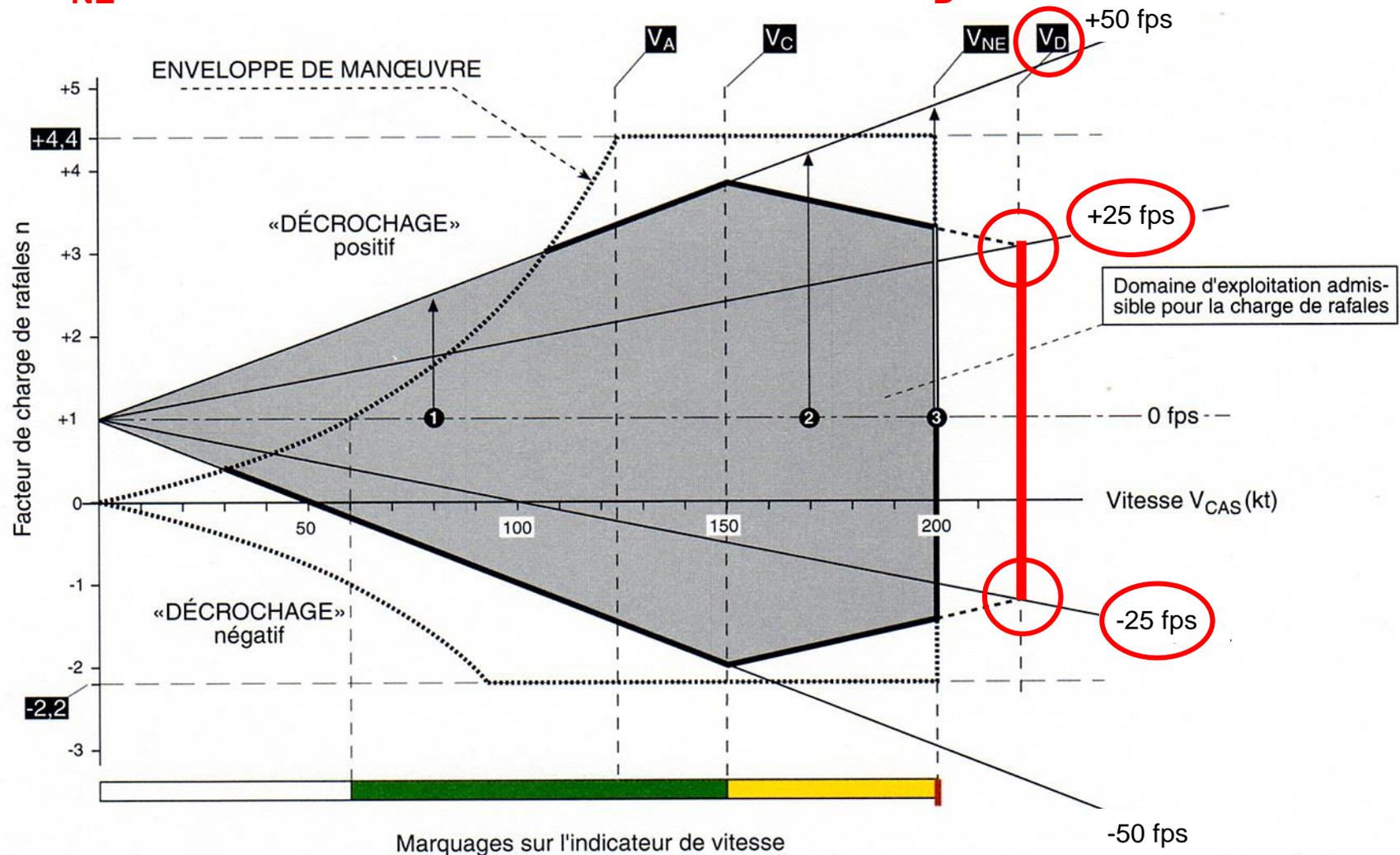
V_D : A cette vitesse l'aéronef doit encore pouvoir supporter des rafales verticales de ± 25 ft/s

V_D (+/- 25 ft/s)



V_D : Design Diving Speed

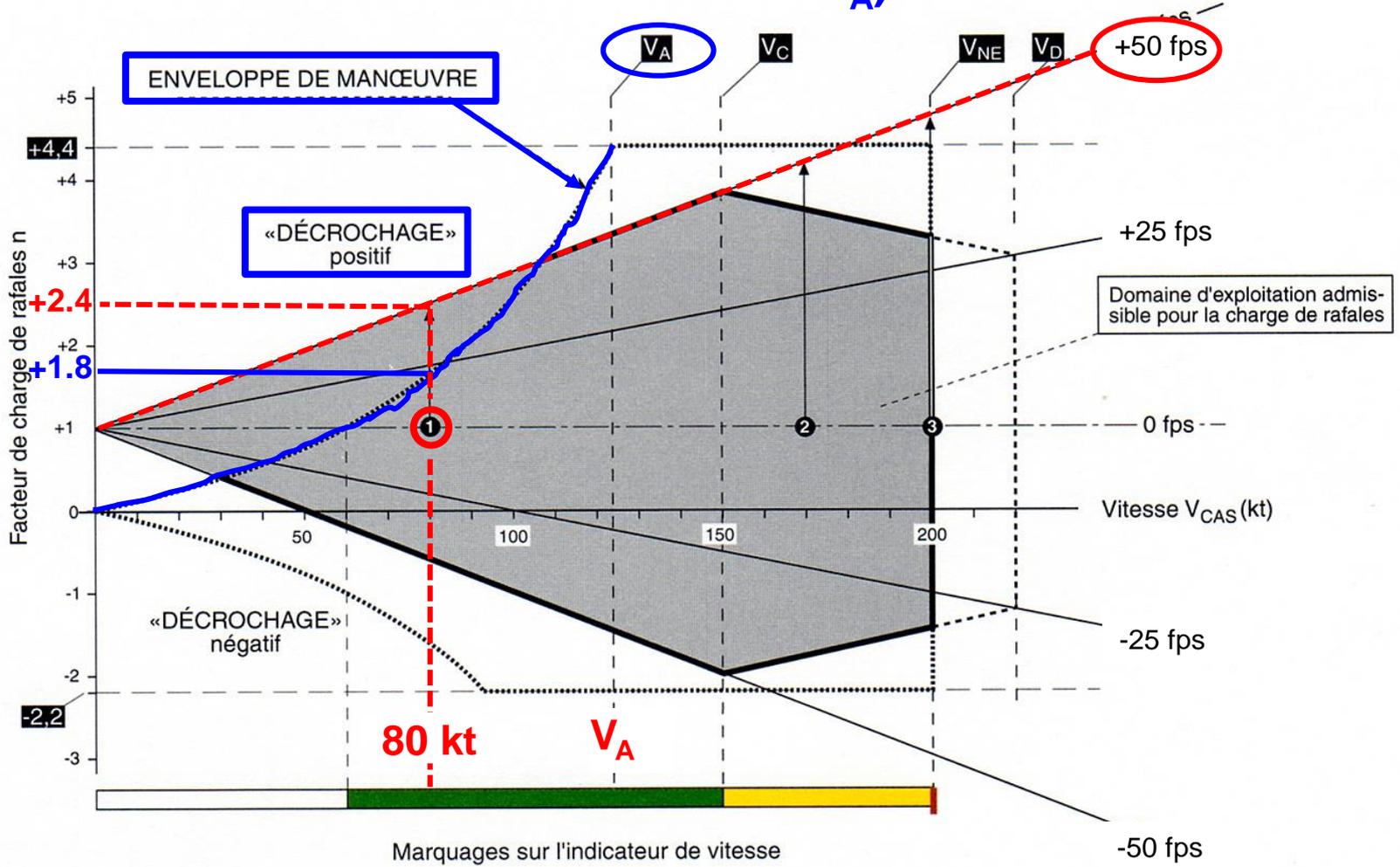
- V_D est une vitesse qui a été **testée** lors des d'essais en vol, avec un **aéronef neuf** par un **pilote d'essai** portant un parachute
- V_{NE} a été ensuite fixée à **maximum $0.9 V_D$**



Effet d'une rafale (50 ft/s) en fonction de la vitesse

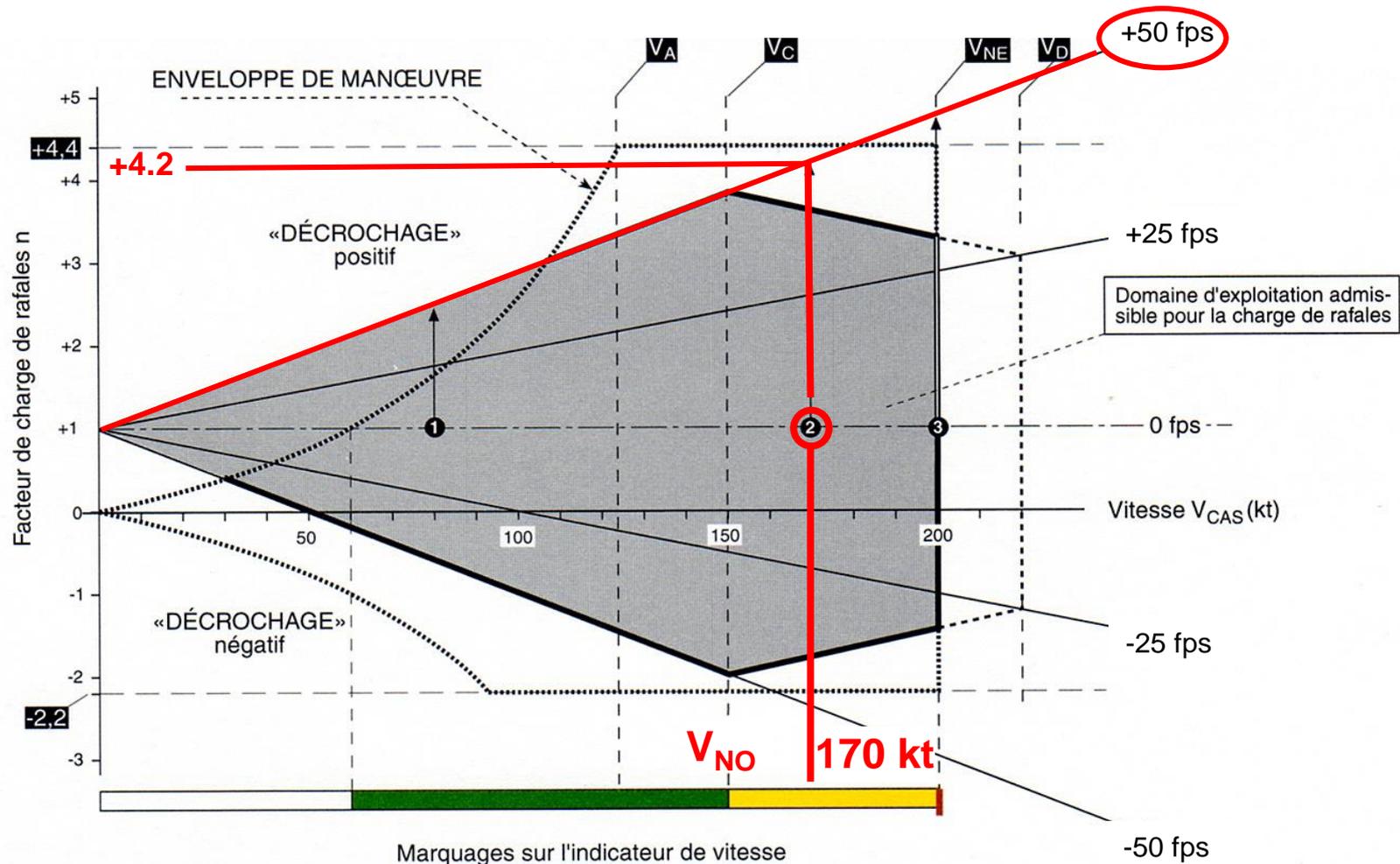
❶ L'aéronef vole à 80 kt (donc en-dessous V_A). Une rafale de 50 ft/s occasionnerait un facteur de charge momentané de +2.4 g

Mais l'aéronef décroche déjà à 1.8 g, avant d'atteindre cette charge (protection en volant en-dessous de V_A)



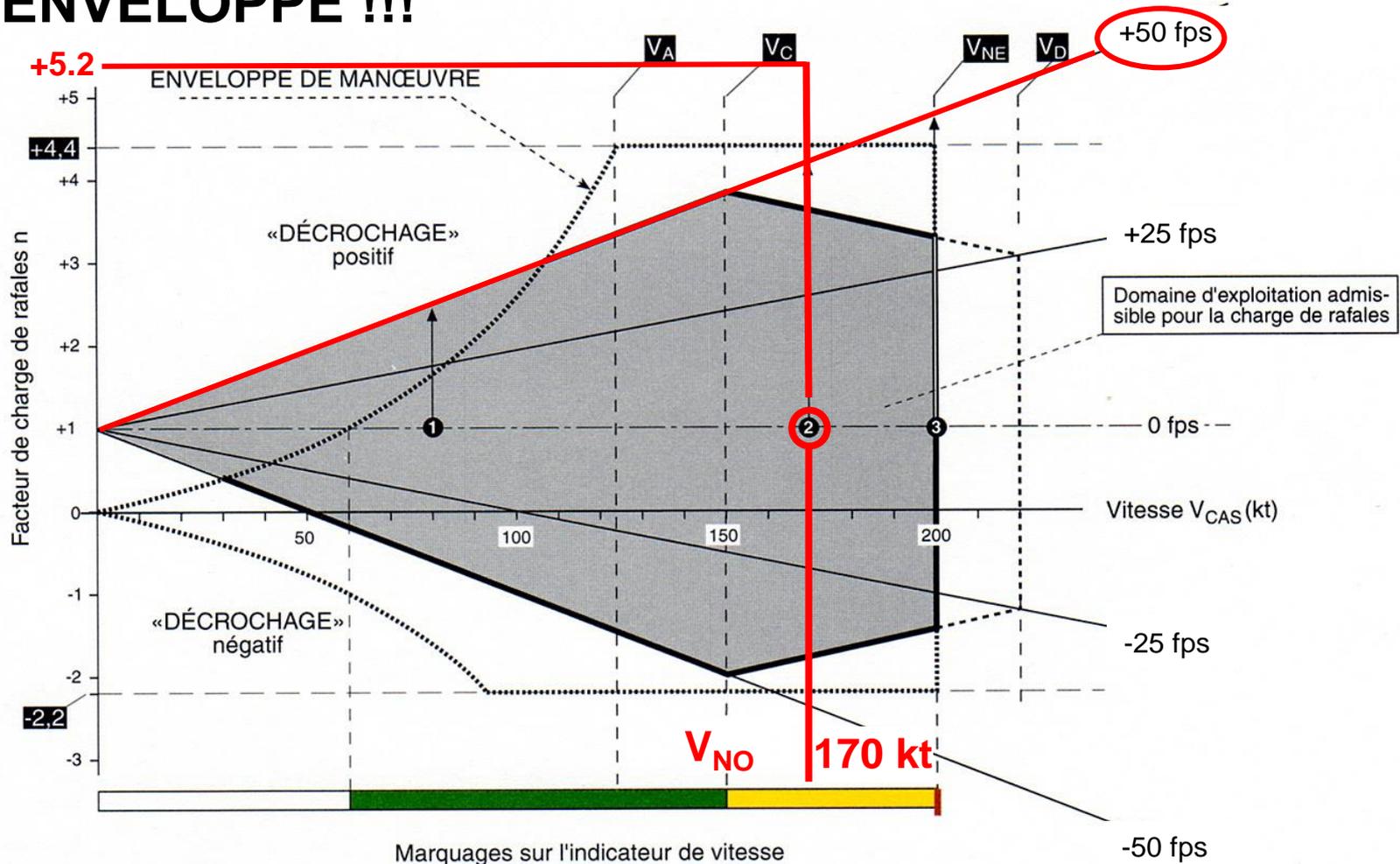
Effet d'une rafale (50 ft/s) en fonction de la vitesse

② L'aéronef vole à 170 kt (arc jaune > V_{NO}). Une rafale de 50 ft/s occasionne un facteur de charge momentané de +4.2 g. Cette charge est encore juste admissible



Effet d'une rafale (50 ft/s) en fonction de la vitesse

MAIS, si l'aéronef se trouve de surcroît en manœuvre à 2 g (ressource/virage), la combinaison rafale + manœuvre donne un facteur de charge de + 5.2 g! EN DEHORS DE L'ENVELOPPE !!!



ATTENTION !

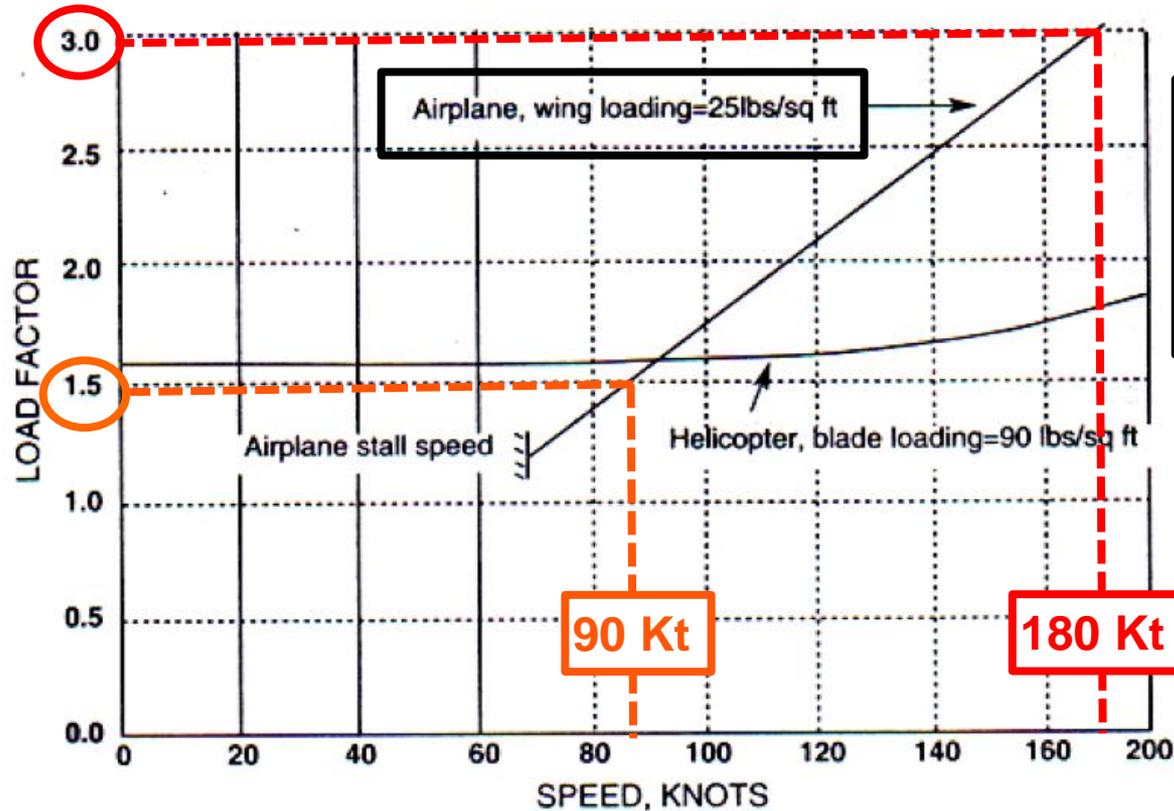
**Les facteurs de charges
dus aux manœuvres
et
les facteurs de charges
dus aux rafales
sont cumulatifs!!!**



Exemple: Facteur de charge dus à des rafales de 20 ft/s

A 180 Kt,
 $n = 3 g$

A 90 Kt,
 $n = 1.5 g$



Avion avec
une charge
alaire =
25lbs/sq ft

Le facteur de charge augmente linéairement avec la vitesse: à **vitesse double, le facteur de charge est double**

Dun point de vue structurel:

Plus on vole lentement, le meilleur c'est pour la cellule (et pour le confort des passagers)

Facteur de charge dus aux rafales verticales

D'un point de vue opérationnel:

Pour garder une **marge de sécurité suffisante** par rapport à la **vitesse de décrochage**, ainsi que pour **conserver de l'énergie** en cas de descendances ou pour effectuer un virage de demi-tour, on **évitera toutefois de voler trop lentement**

Il est recommandé de voler à V_A ou juste en-dessous de V_A



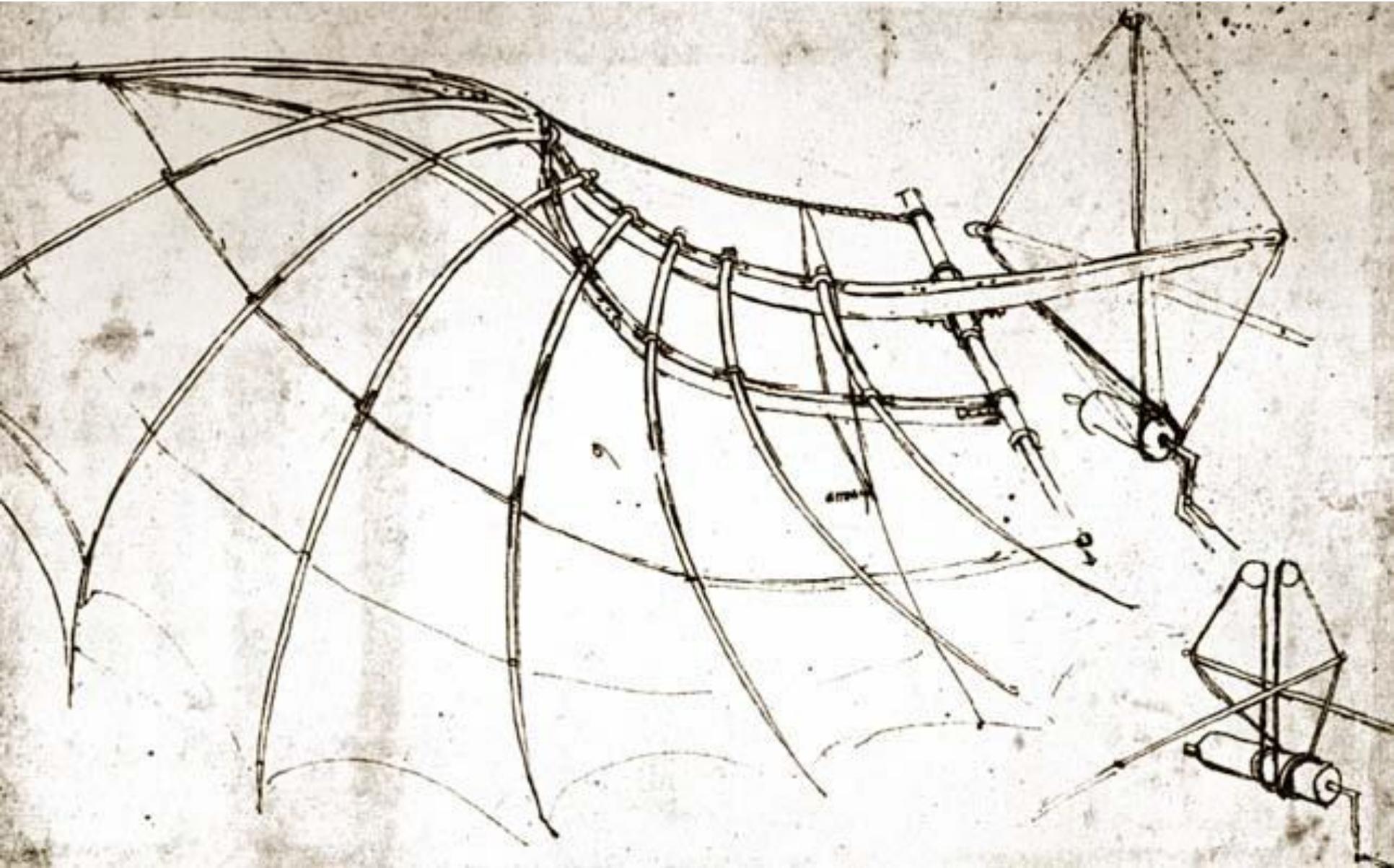
THÉORIE PPL (A)



- 000 Atmosphère et altimétrie
- 010 Droit aérien
- 020 Connaissance générale des aéronefs
- 030 Préparation de vol et performances
- 040 Performances humaines et limitations
- 050 Météorologie
- 060 Navigation et radionavigation
- 070 Procédures opérationnelles
- 080 Principes du vol**
- 090 Radiotéléphonie

080 Principes du vol

7. Limites d'exploitation partie 2



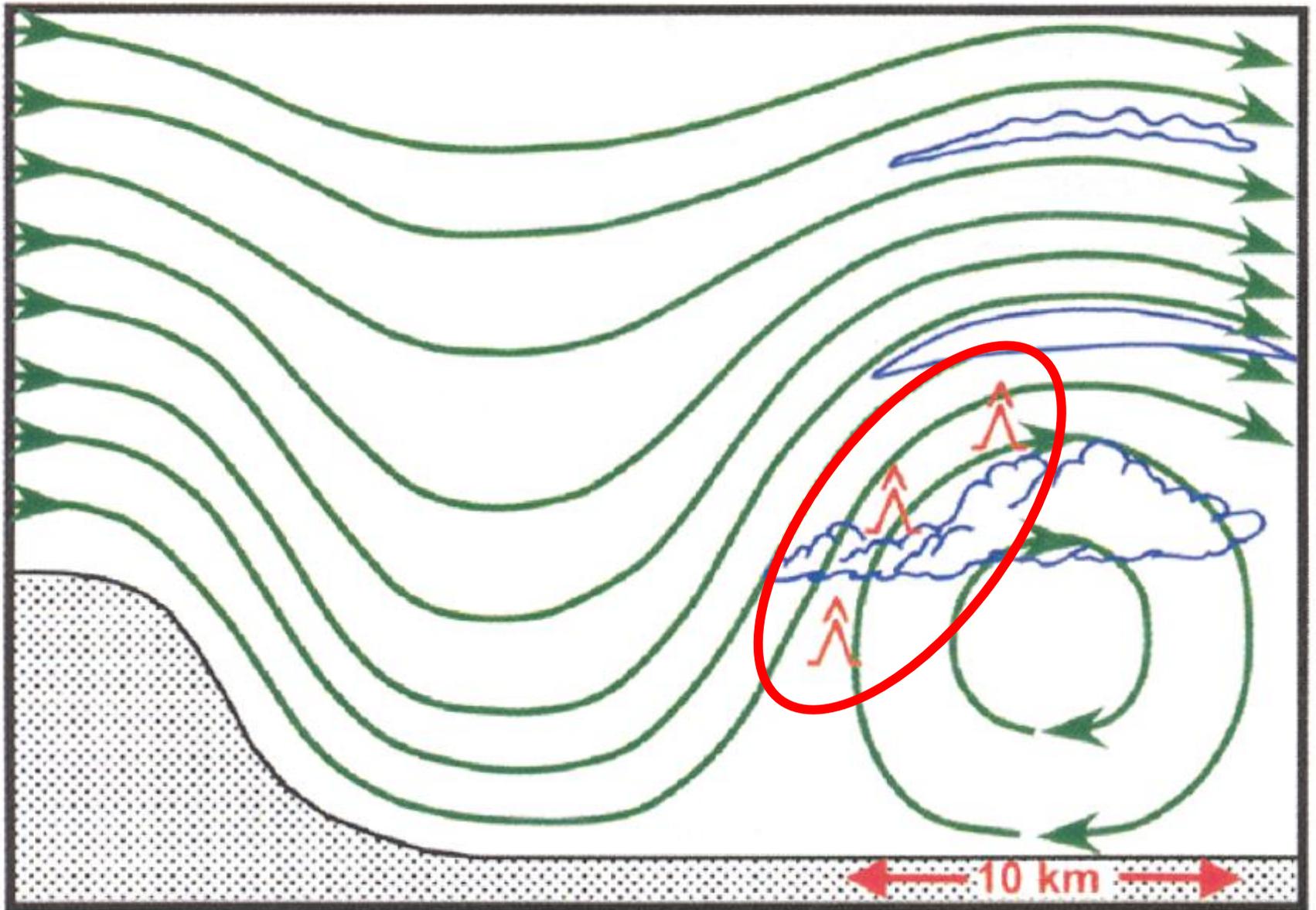
Turbulences dues aux orages

- Dans la **région d'orages (TS)**: rafales verticales de **± 30 ft/s**
- A **proximité de cellules**: rafales de **± 45 ft/s**
- A l'**intérieure d'une cellule orageuse**: rafales de **$> \pm 200$ ft/s**



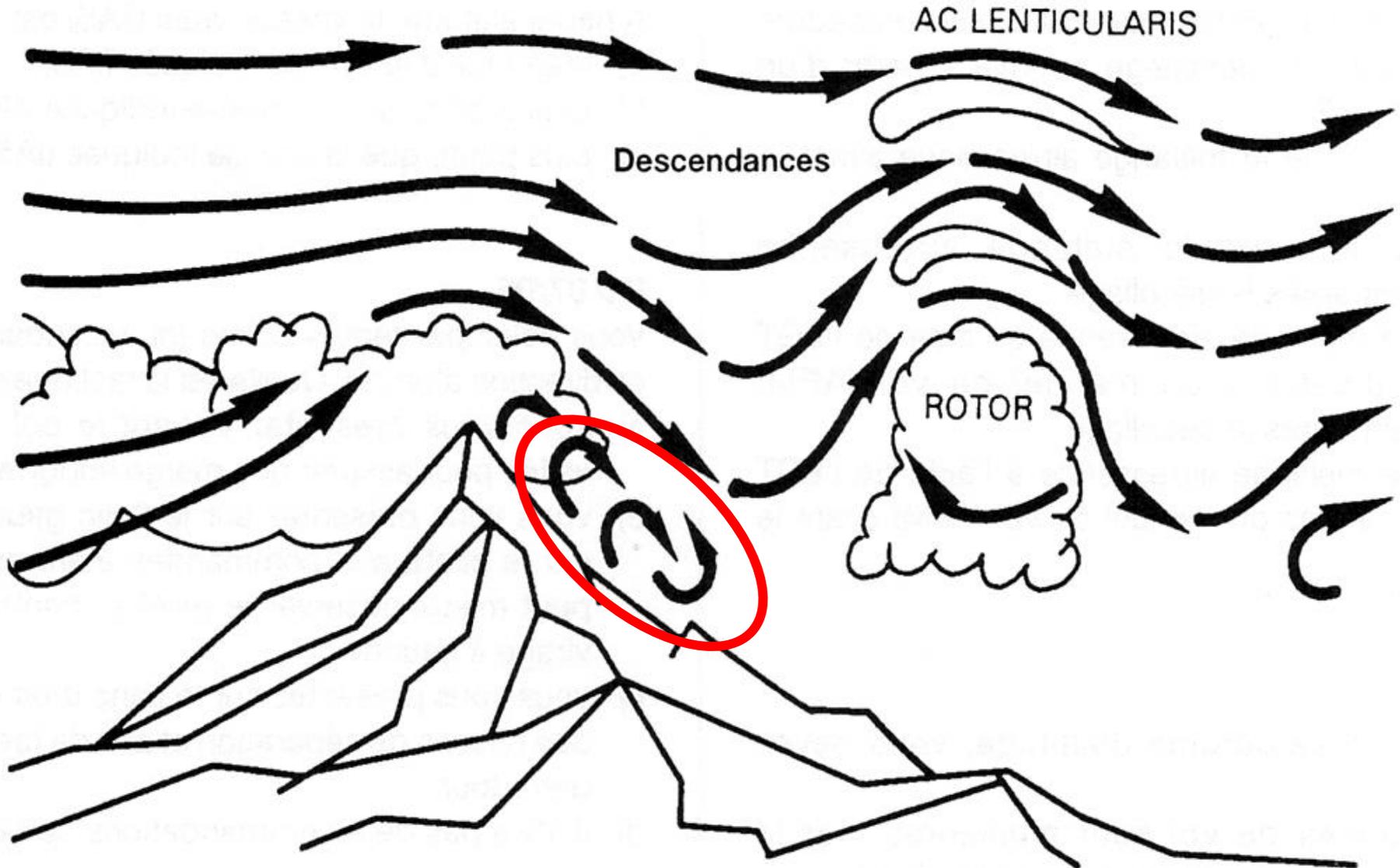
Turbulences dues au relief

Rafales dans un rotor: $> \pm 70$ ft/s



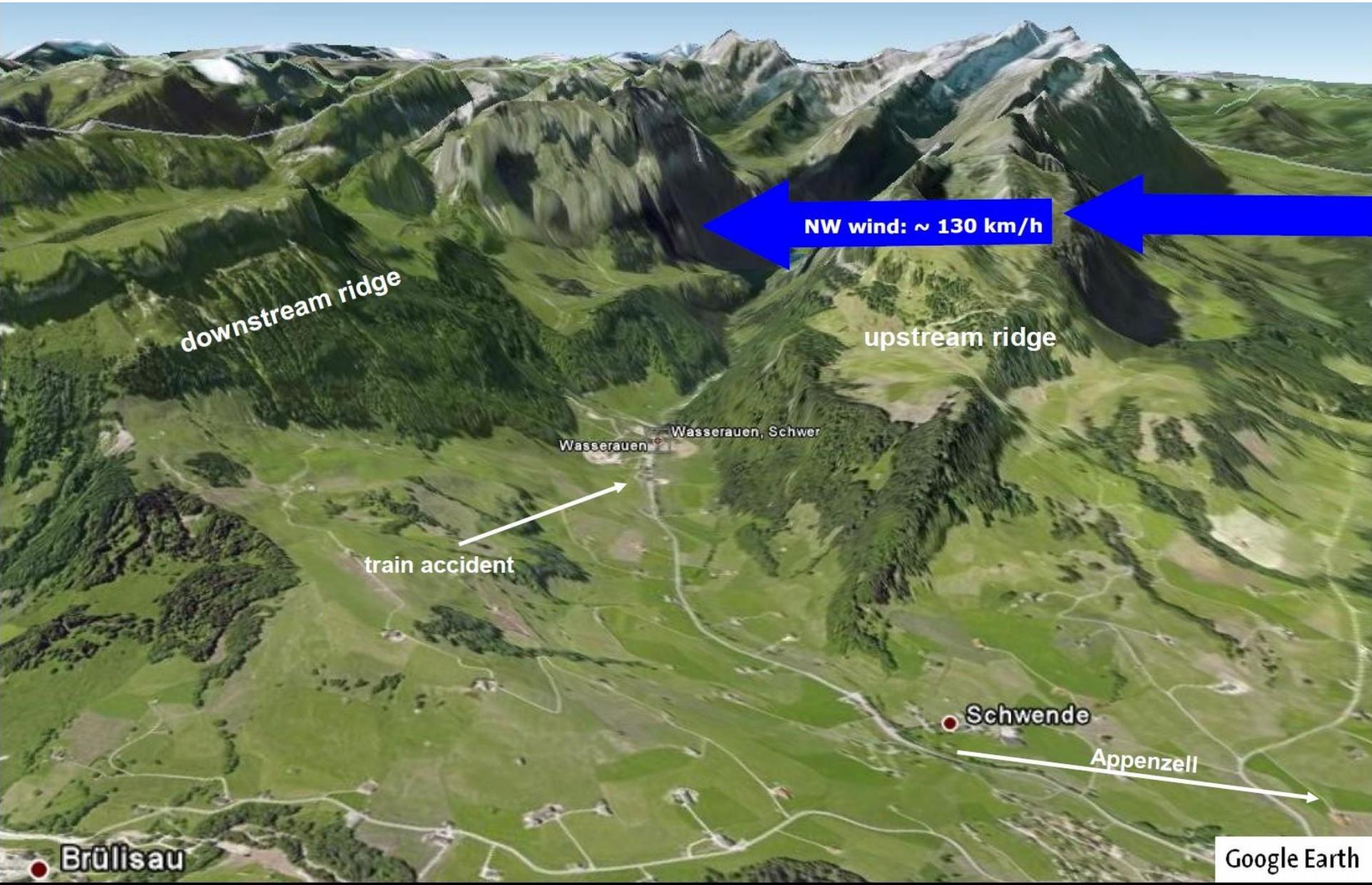
Turbulences dues au relief

Turbulences près du relief: $> \pm 50$ m/s (jusqu'à ± 200 ft/s!)



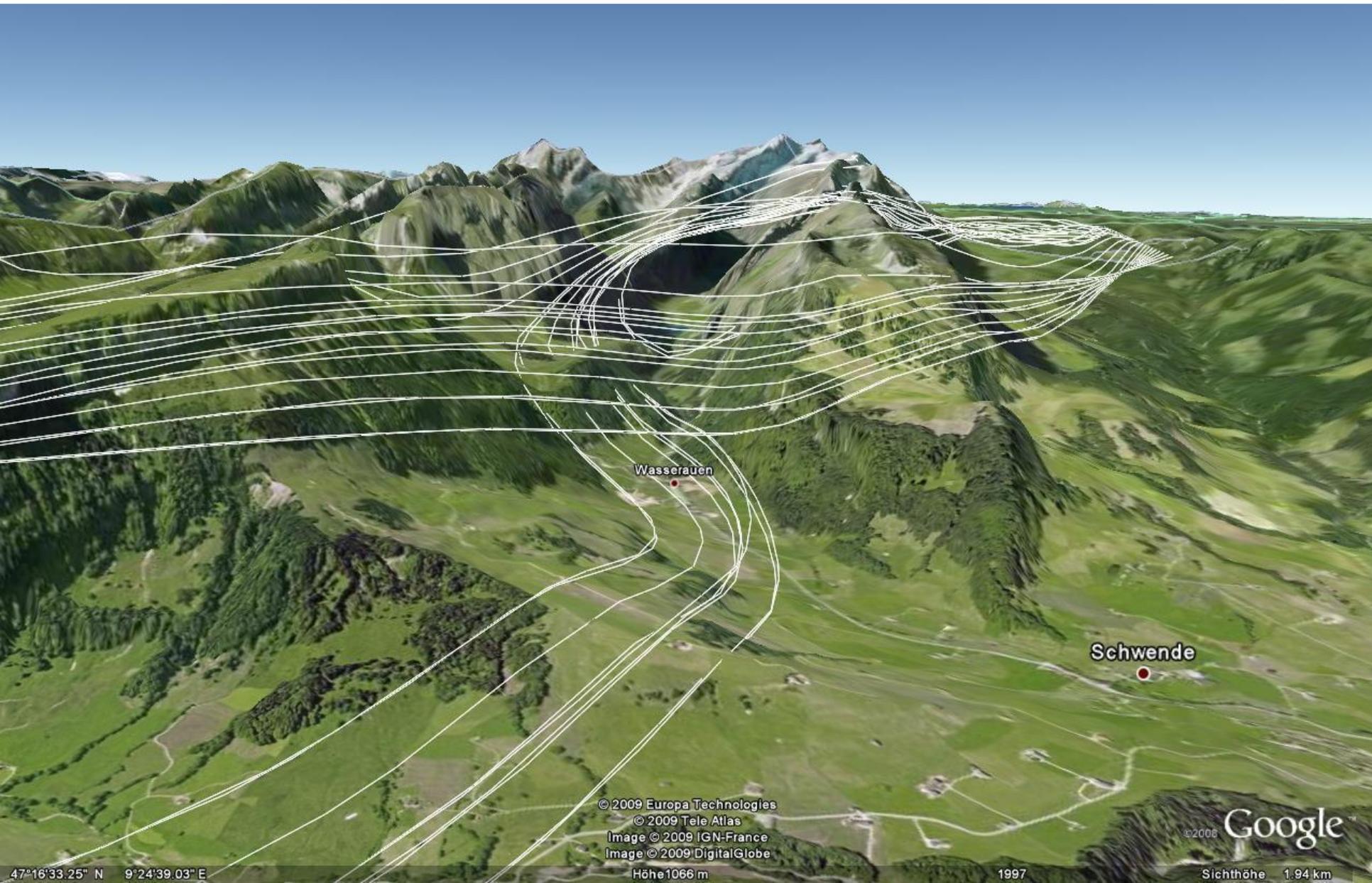
Turbulences dues au relief

Turbulences près du relief: $> \pm 50$ m/s (jusqu'à ± 200 ft/s!)



Turbulences dues au relief

Turbulences près du relief: $> \pm 50$ m/s (jusqu'à ± 200 ft/s!)



Turbulences dues au relief

Turbulences près du relief: $> \pm 50$ m/s (jusqu'à ± 200 ft/s!)



NW wind: 130 km/h

SE wind: > 200 km/h

Turbulences dues au relief

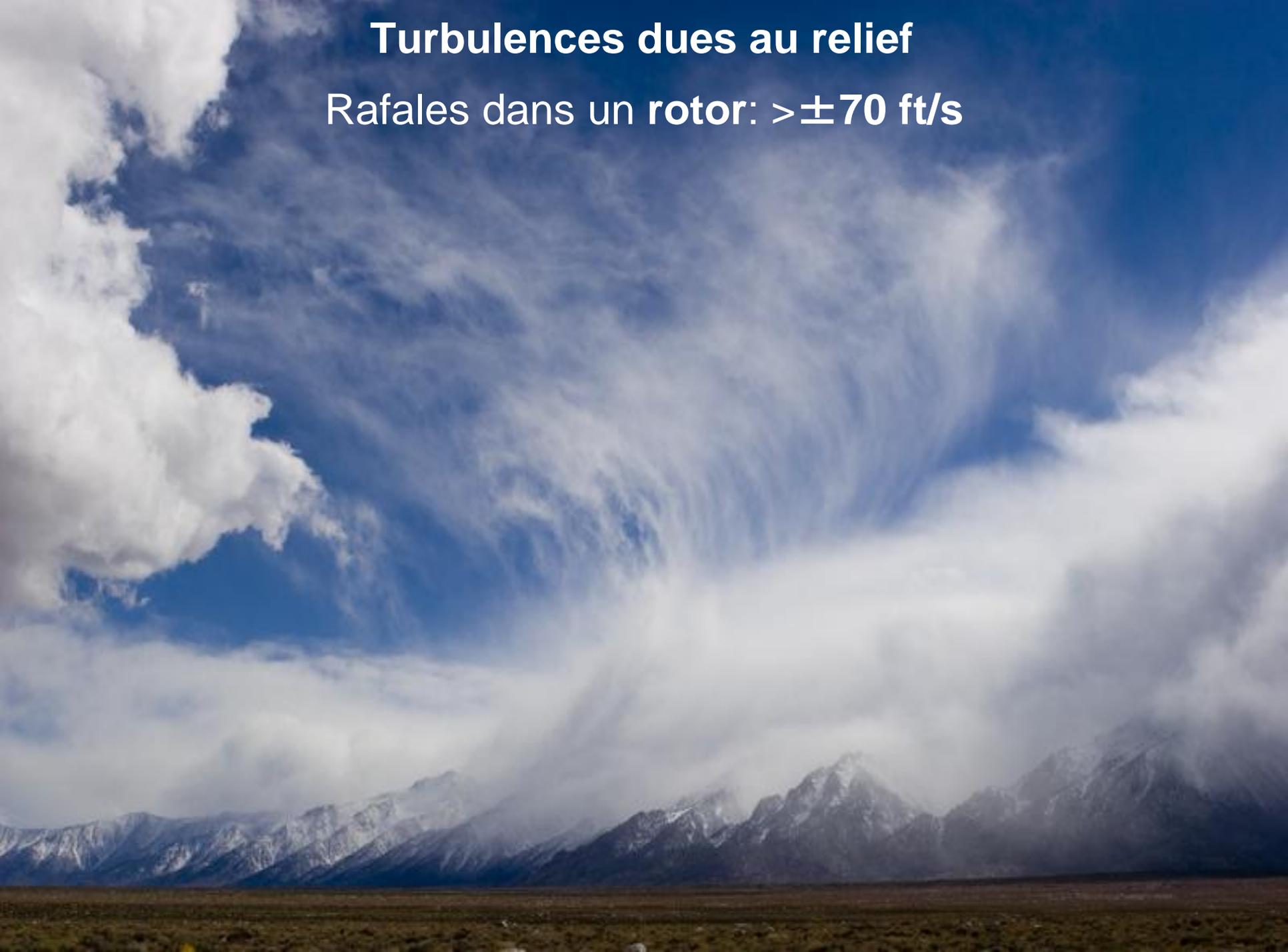
Rafales dans un rotor: $> \pm 70$ ft/s

Mur de foehn

Rotors Clouds

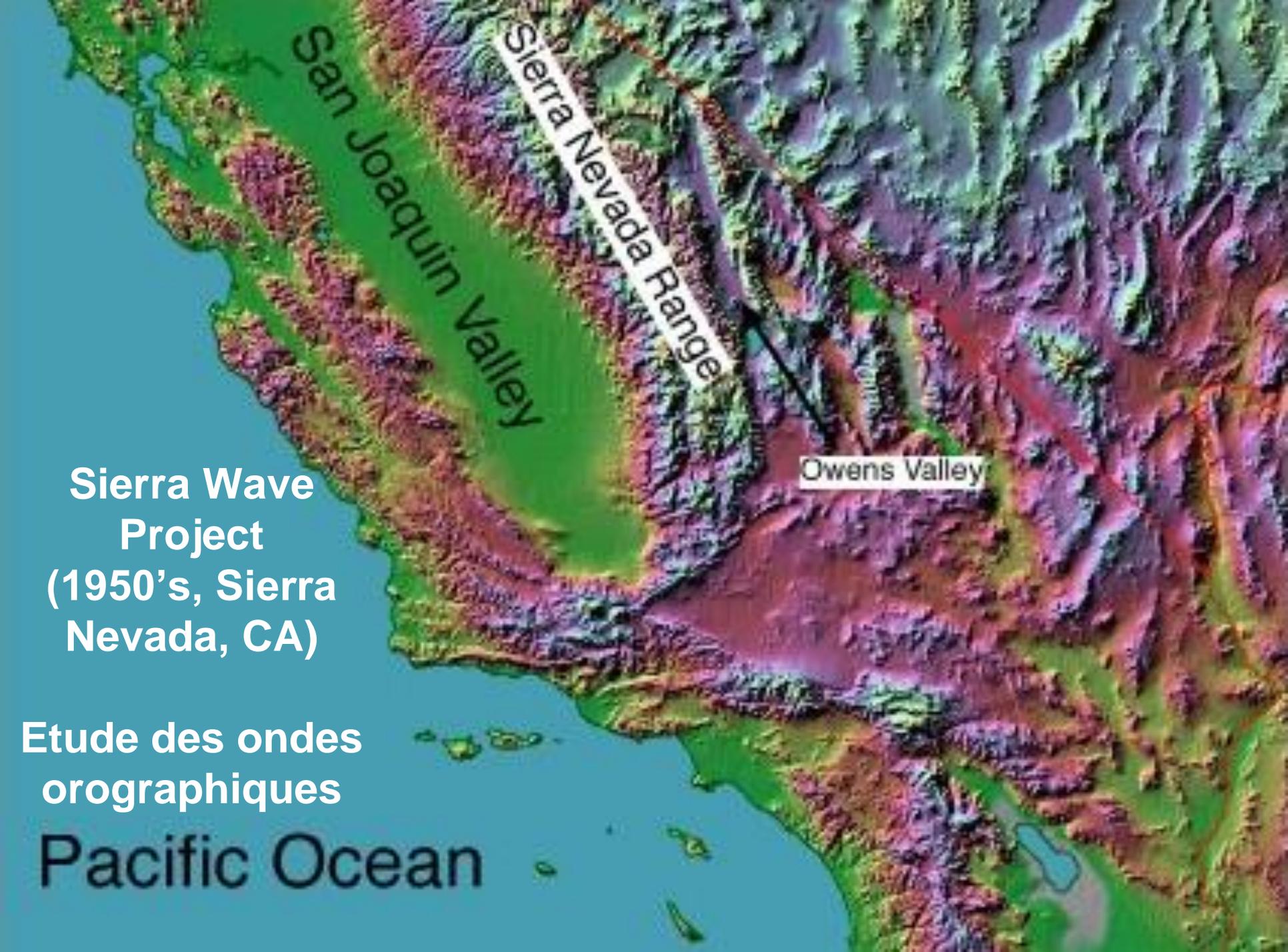
Turbulences dues au relief

Rafales dans un rotor: $>\pm 70$ ft/s



Turbulences dues au relief
Rafales dans un rotor: $>\pm 70$ ft/s





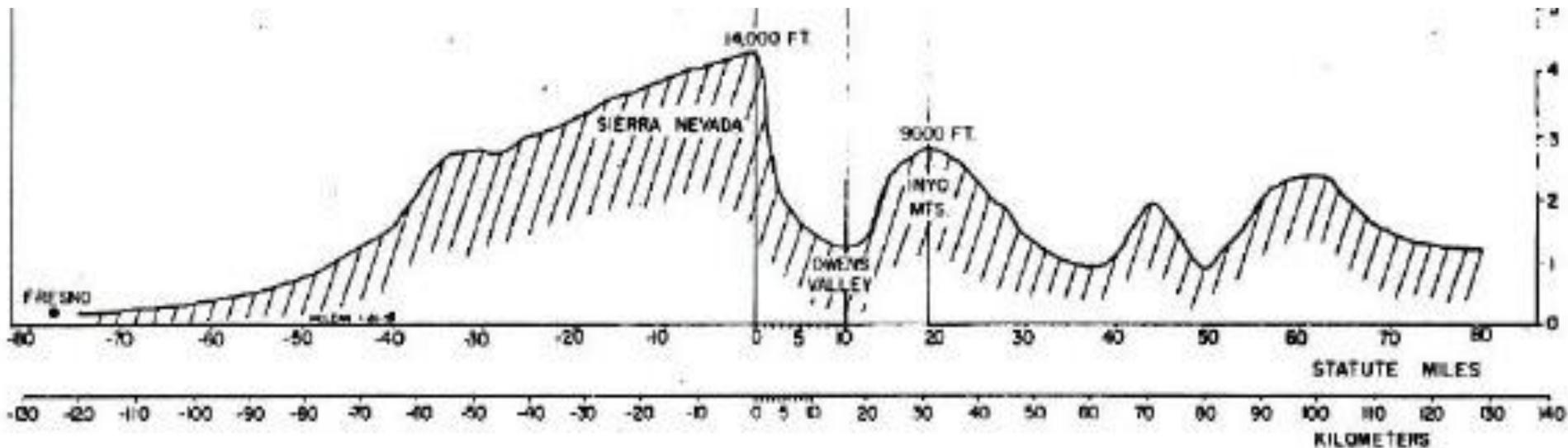
**Sierra Wave
Project
(1950's, Sierra
Nevada, CA)**

**Etude des ondes
orographiques**

Pacific Ocean

Sierra Wave Project (1950's, Sierra Nevada, CA)

Etude des ondes orographiques



Sierra Wave Project (1950's, Sierra Nevada, CA)



- La photo précédente à été prise à bord d'un chasseur bimoteur Lockheed P-38 (MTOM 9700 kg), avec moteurs coupés et hélices en drapeau !
- Vol d'onde pendant plus de 1 heure !
- Gain d'altitude de 13'000 ft à 31'000 ft avec un taux de montée max de 3000 ft/min (12 m/s) !



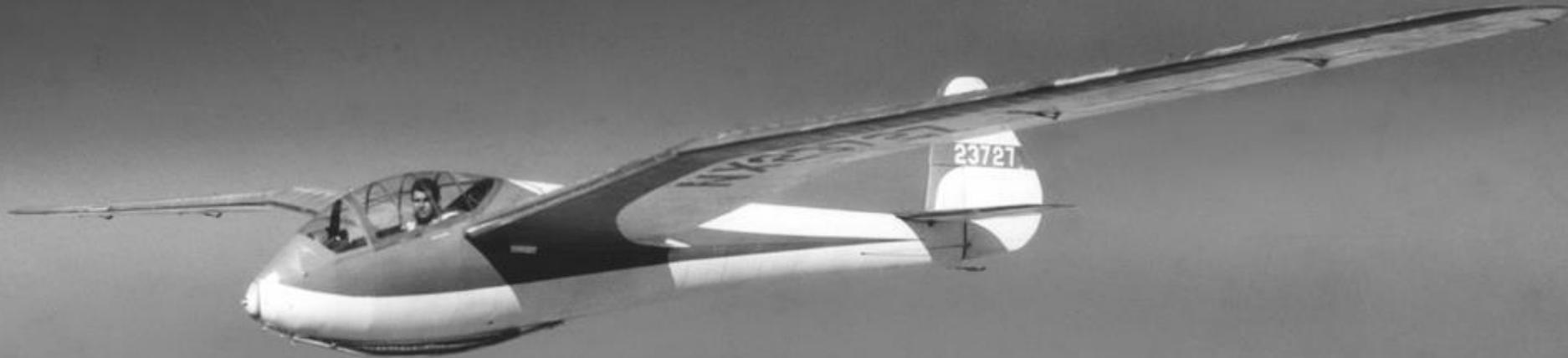
Sierra Wave Project (1950's, Sierra Nevada, CA)

Planeur Pratt-Read (surplus US Navy) du Sierra Wave Project sur la piste de Bishop, Californie



Sierra Wave Project (1950's, Sierra Nevada, CA)

- Des turbulences sévères désintègrent un planeur Pratt-Read le 24 avril 1955
- Le pilote Larry Edgar se sauve grâce à son parachute



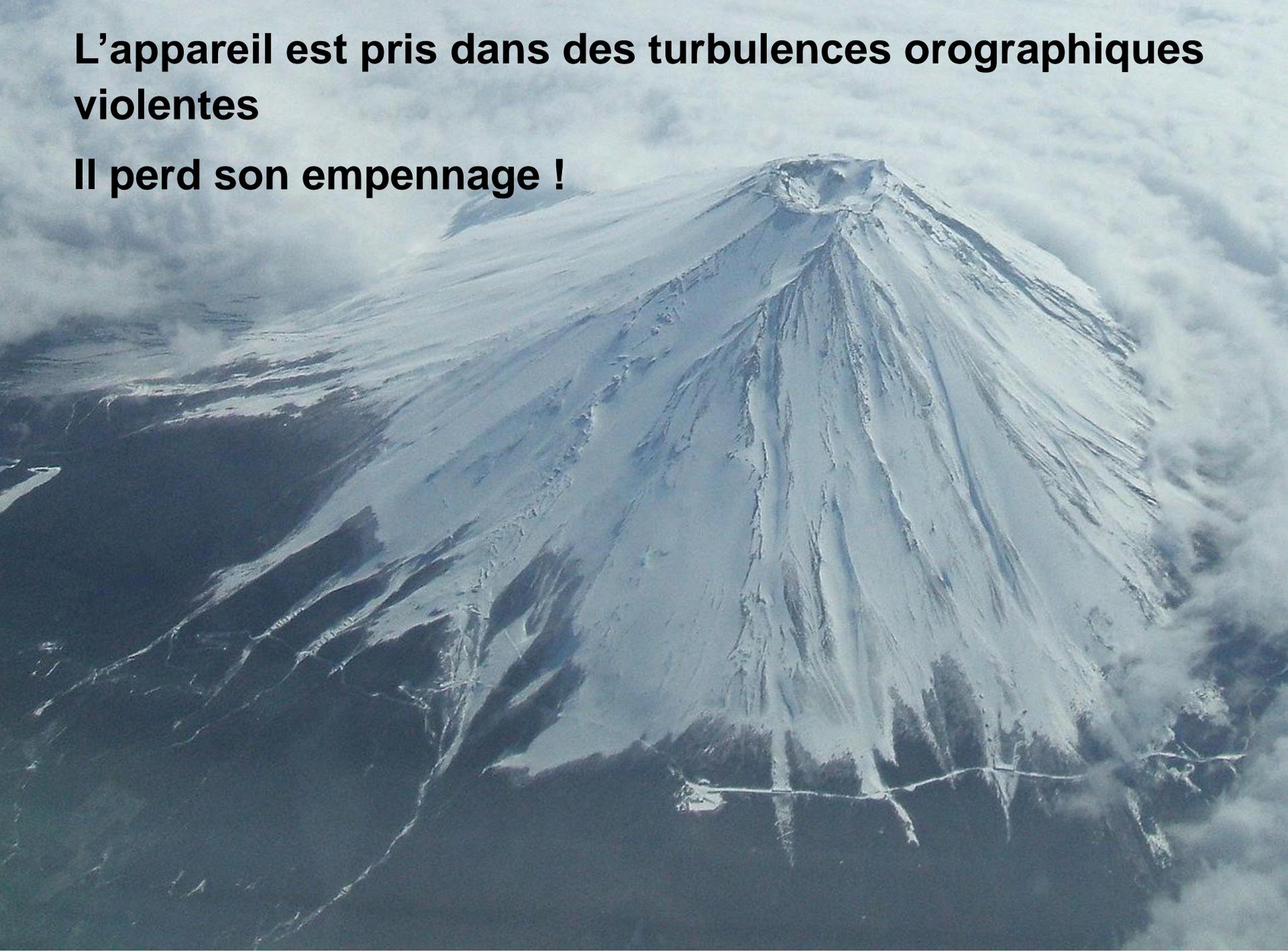
Turbulences dues au relief: BOAC 911

- Accident BOAC911, Boeing 707, 5 mars 1966, Japon
- Le pilote décide de passer à proximité du Mont Fuji en VFR après décollage de Tokyo (sightseeing !)



L'appareil est pris dans des turbulences orographiques violentes

Il perd son empennage !





BOAC911



Turbulences dues au relief: vol BOAC 911

- Un avion de combat Douglas A-4 Skyhawk de la marine américaine en exercice dans le secteur est détaché par les contrôleurs sur les lieux de la disparition.
- Soumis lui aussi à des turbulences violentes de $+9/-4$ g (en dehors de ses propres limites de $+7/-3$ g) !



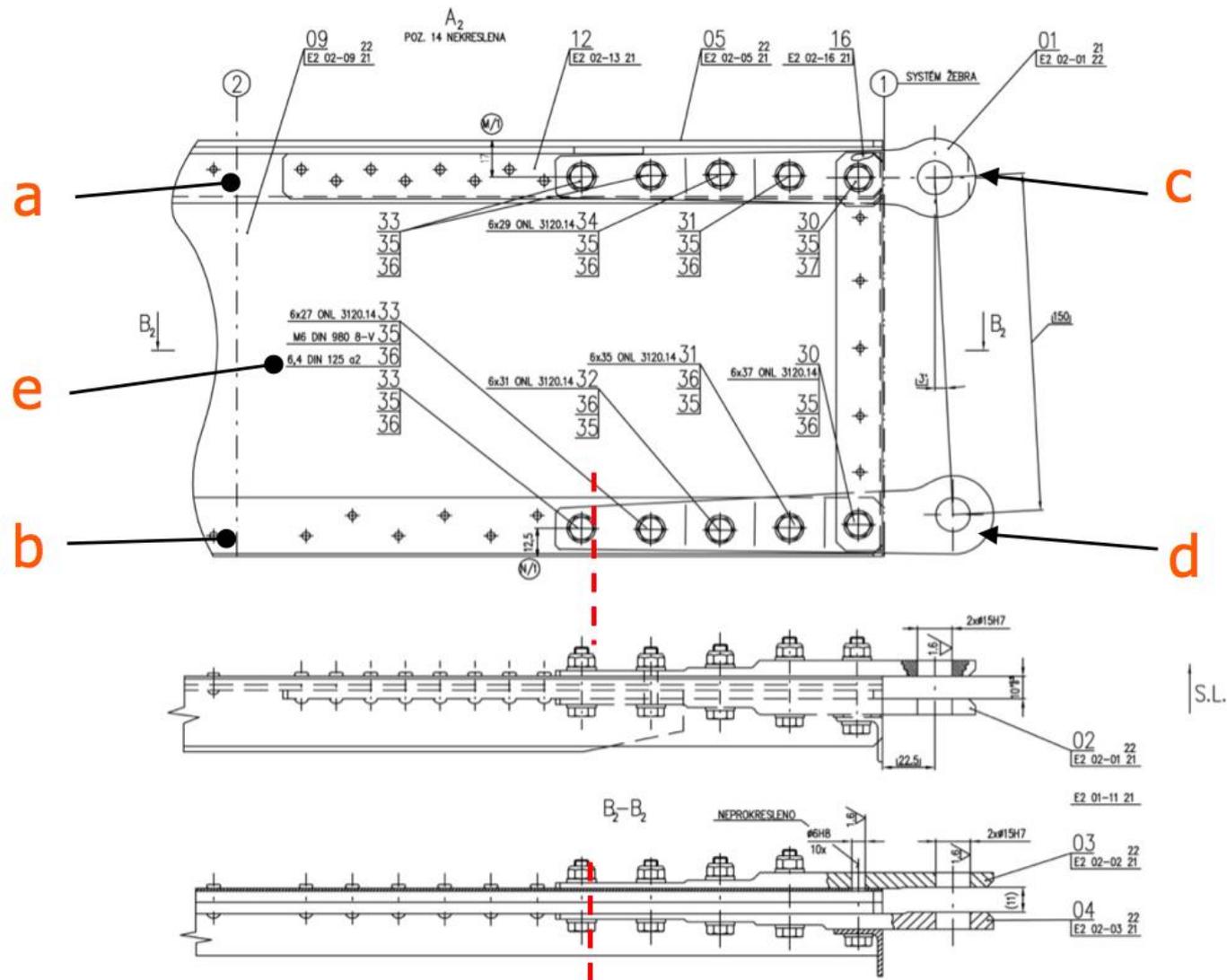
**Rapport d'accident:
Eurostar EV-97 immatriculé 9-249 (DEN)
24 juin 2006 à Zernez/Graubünden**



**Rapport d'accident:
Eurostar EV-97 immatriculé 9-249 (DEN)
24 juin 2006 à Zernez/Graubünden**



« Il est très probable que l'atmosphère était convectivement active avec de fortes turbulences »



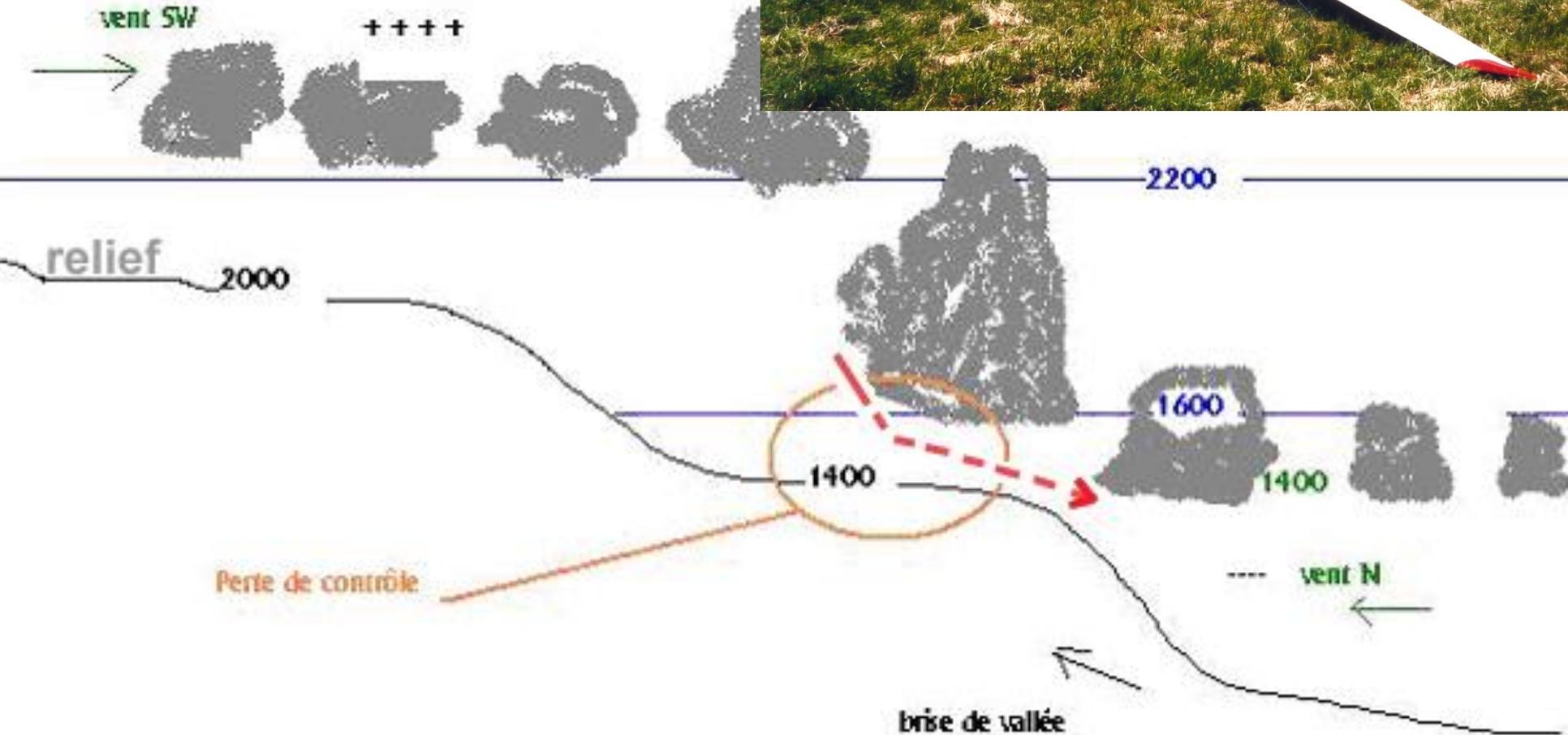
« Les propriétés mécaniques du matériau ne correspondaient pas aux estimations/suppositions utilisées lors de la conception de l'aile »



Figure 3 – Location of fracture of the lower spar cap of the left wing with visible outermost close-tolerance bolt

Accident planeur Siren PIK 30 F-CFPH

Rupture de l'aile en vol



Accident planeur Siren PIK 30 F-CFPH

«La répartition des débris confirme que l'aile gauche s'est rompue en vol.»

«Ce type de rupture est généralement la conséquence de l'application d'un brusque braquage d'aileron alors que l'aile est déjà soumise à un facteur de charge positif important.»

«La présence de turbulences modérées a généré des contraintes structurelles s'ajoutant aux sollicitations dues à l'une de ces manœuvres.»

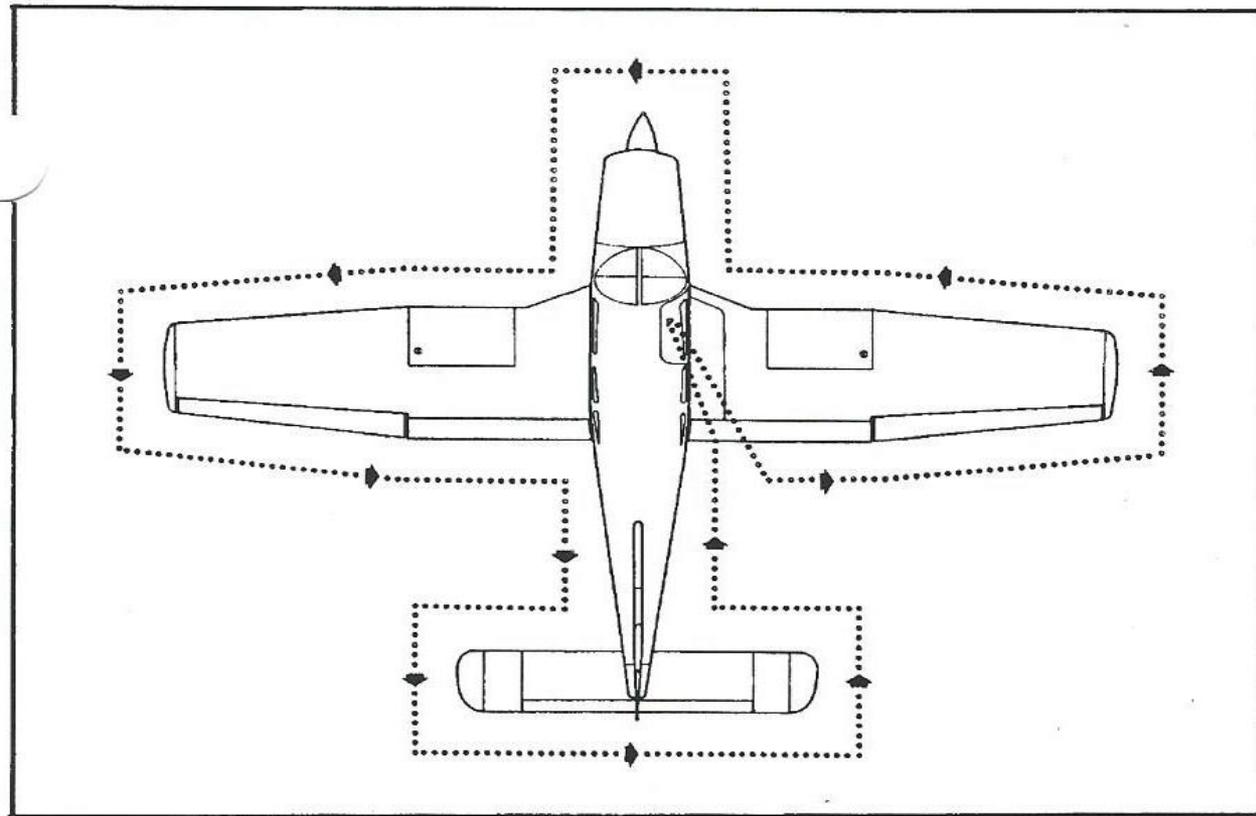
Règles de prudence / GOOD AIRMANSHIP

Règle N° 1:

Faire une visite pré-vol minutieuse selon AFM !

PIPER AIRCRAFT CORPORATION
PA-28-236, DAKOTA

SECTION 4
NORMAL PROCEDURES



WALK-AROUND

Figure 4-1

Faire une visite pré-vol minutieuse

Déformation d'un longeron de volet

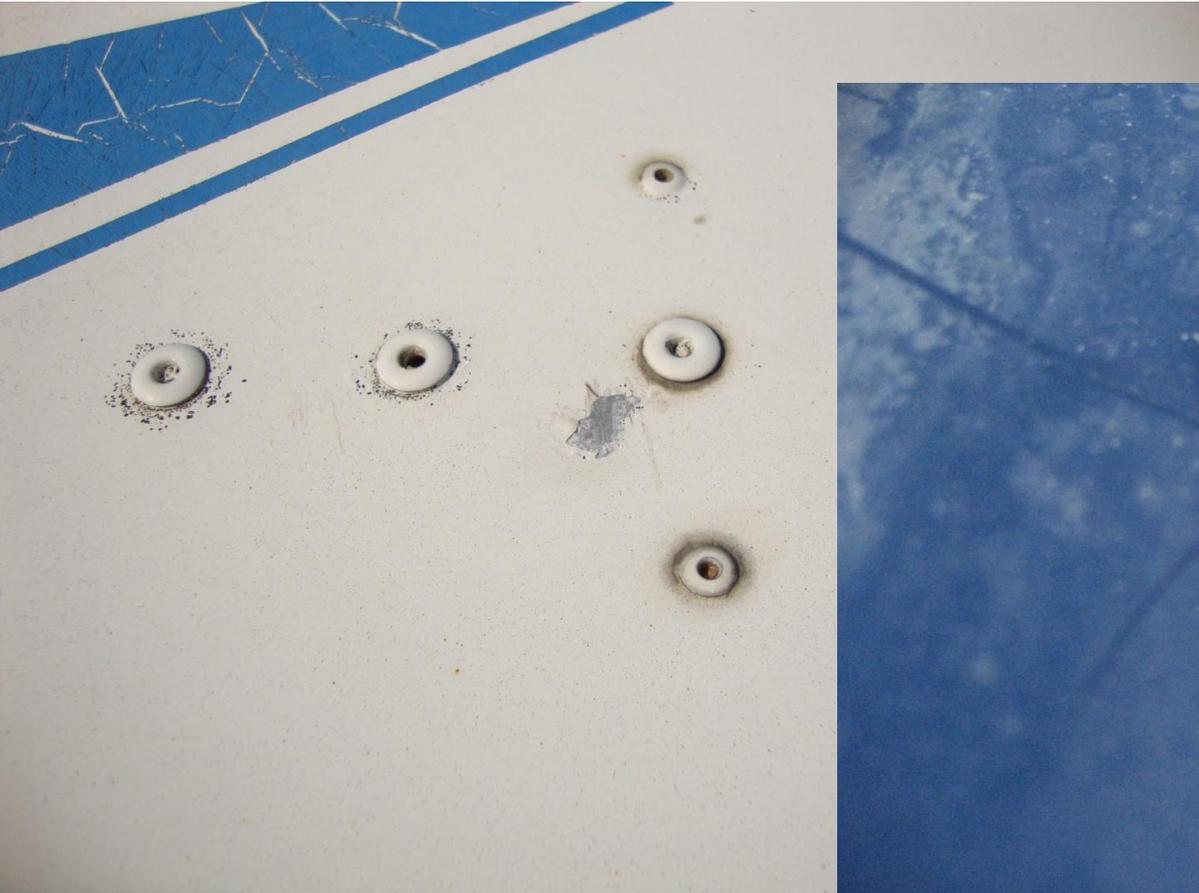


Faire une visite pré-vol minutieuse

Rivets qui on pris du jeu

Traces noires vers la tête des rivets.

Corrosion sous la peinture



Faire une visite pré-vol minutieuse



Enfoncement du plancher



Faire une visite pré-vol minutieuse



Quand il y a une odeur d'essence, ce n'est pas pour rien ...

**Cas d'un Pipistrel Sinus:
épanchement de vapeurs
d'essence/vapeurs à
l'intérieur de l'aile, en dehors
du réservoir et explosion lors
de l'enclenchement des
strobelights xénon au line up!**



**Cas d'un Pipistrel Sinus:
épanchement de vapeurs
d'essence/vapeurs à l'intérieur de
l'aile, en dehors du réservoir et
explosion lors de l'enclenchement
des strobelights xénon au line up!**



Faire une visite pré-vol minutieuse

Fissures du métal ou fissures de la peinture ?



Faire une visite pré-vol minutieuse

Pli dans la toile. En dessous le tube est cassé !

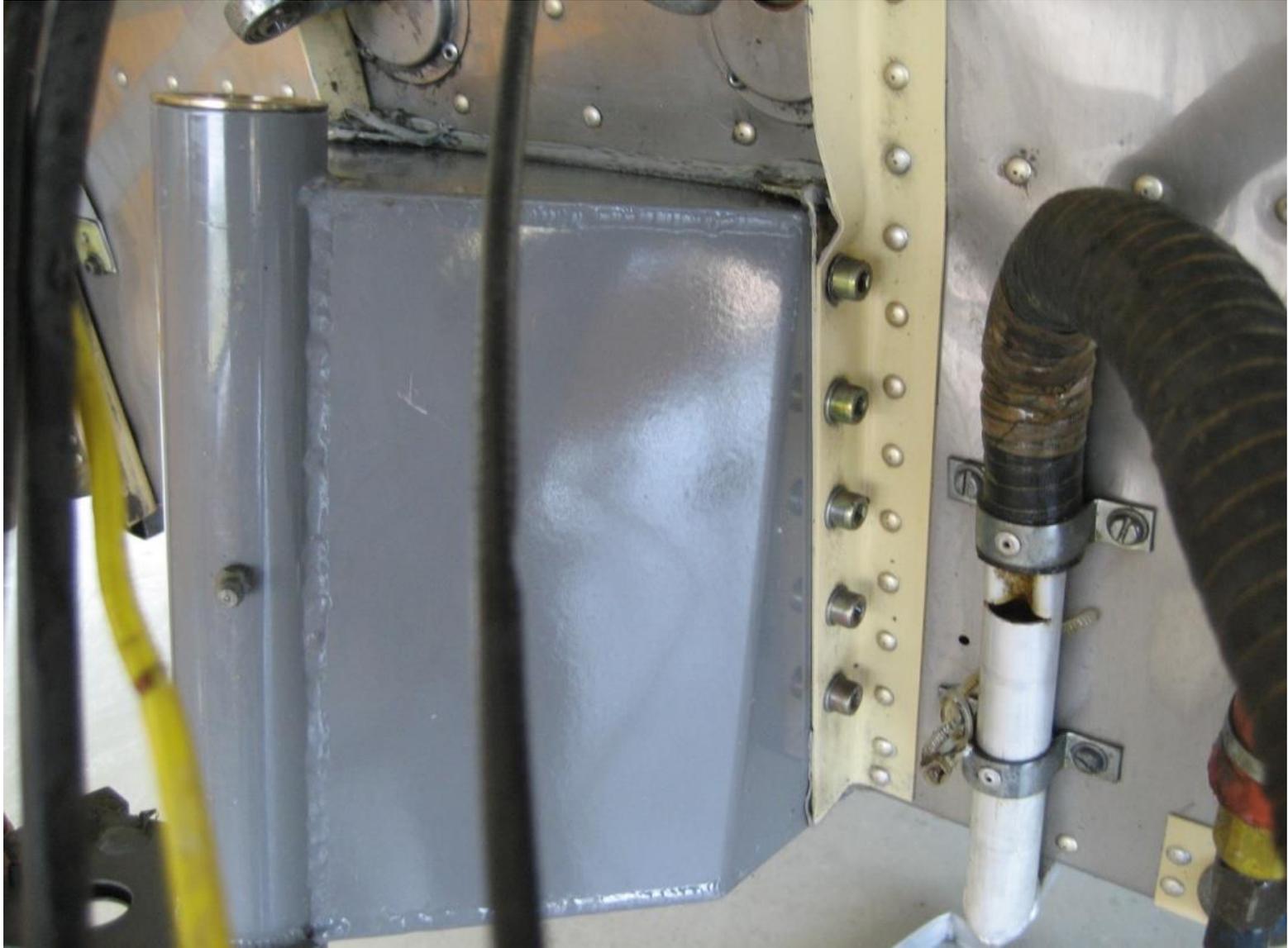


Faire une visite pré-vol minutieuse

Pli dans la toile. En dessous le tube est cassé !



**Les conséquences d'un atterrissage sur le train avant.
Le pilote n'a rien dit (!!!). L'avion a fait encore 20 heures
de vol avant que l'avion n'entre au service !**



Règles de prudence / GOOD AIRMANSHIP

Règle N° 2:

Annoncer s'il y a eu un incident ! (atterrissage dur, légère collision du bout d'aile, etc.)

Accident Robin DR400/180, G-DELS, 22 juillet 1996, Almondsbury, Avon, Royaume-Uni

- L'avion a légèrement touché une meule de foin
- Le pilote a décidé néanmoins de repartir
- Rupture en vol de l'aile



Les suites d'une petite touchette...



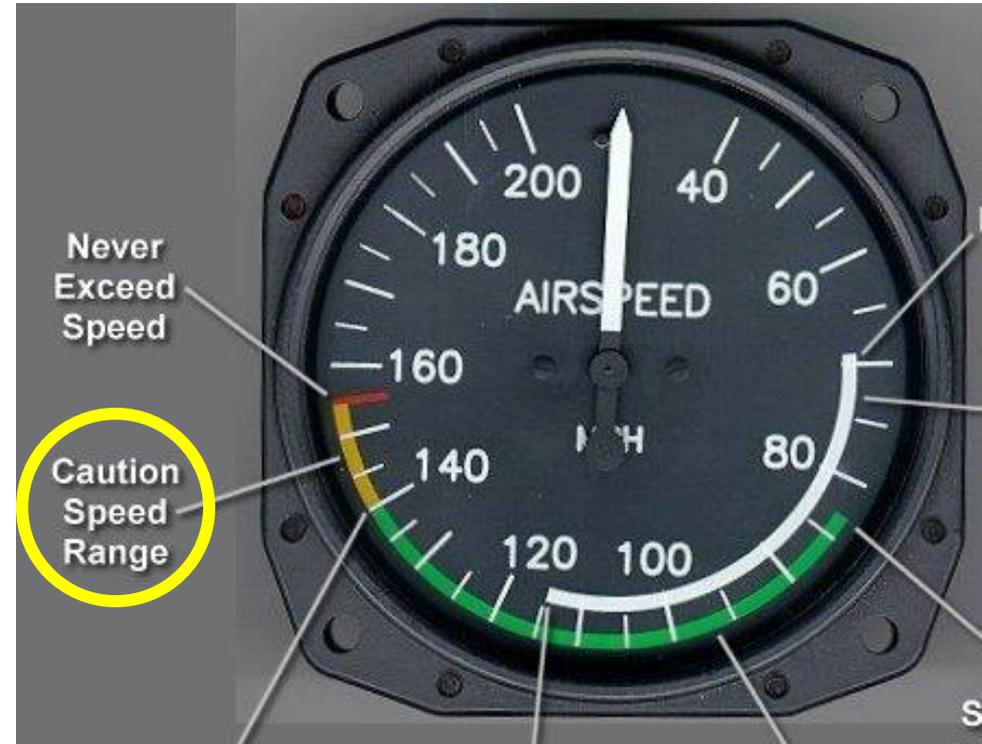
Fissure du longeron d'attache arrière de l'aile découvert lors de la maintenance. Le pilote a touché un piquet vers le saumon d'aile et l'avion a continué à voler pendant 40h....



Règles de prudence / GOOD AIRMANSHIP

Règle N° 3:

On évite de voler dans l'arc jaune, sauf si absolument nécessaire (emergency descent, etc)



- L'air est souvent plus calme dans les hautes couches
- Il peut devenir soudainement turbulent, sans transition et sans avertissement, lors de la descente
- Clear Air Turbulences CAT



Rapport d'accident: Rockwell 690C, N81TR, Golden, USA

«En descente vers son aéroport de destination, l'aéronef a subi une rupture structurelle avec **séparation en vol de la partie externe de l'aile droite, de l'empennage horizontal et de l'empennage vertical**»

«Selon les données du radar de surveillance et d'autres recherches, il apparaît que la **descente a été conduite à la vitesse maximum**, alors que des **turbulences sévères** étaient présentes dans la zone à l'heure où s'est produit l'accident»



**Commentaires sur
cette indicateur de
vitesse monté dans
un aéronef certifié
selon EASA CS-23 ?**



**Commentaires sur
cette indicateur de
vitesse monté dans
un aéronef certifié
selon EASA CS-23 ?**



Pilatus PC-12

PILATUS



**Indicateur de vitesse d'un avion à turbine certifié selon
FAA FAR-23 / EASA CS-23: Beechcraft King Air**



V_{MO} / M_{MO} : Maximum Operating Speed / Mach Maximum

V_{MO} est la vitesse qui ne doit pas être dépassée délibérément dans aucun régime de vol.

V_{MO} ne doit pas être plus élevée que V_C (rappel: rafales de +/- 50ft/s définition de la V_{NO} pour nos avions à pistons)



$$V_{MO} = 259 \text{ KCAS}$$

$$M_{MO} = 0.52$$



Les avions à turbine certifiés CS23 et les avions de ligne sous CS25 n'ont tout simplement pas de secteur jaune !

Leur domaine d'utilisation s'arrête à la limite supérieure du domaine normal d'utilisation, correspondant à l'arc vert sur nos aéronefs légers



$$V_{MO} = 259 \text{ KCAS}$$

$$M_{MO} = 0.52$$



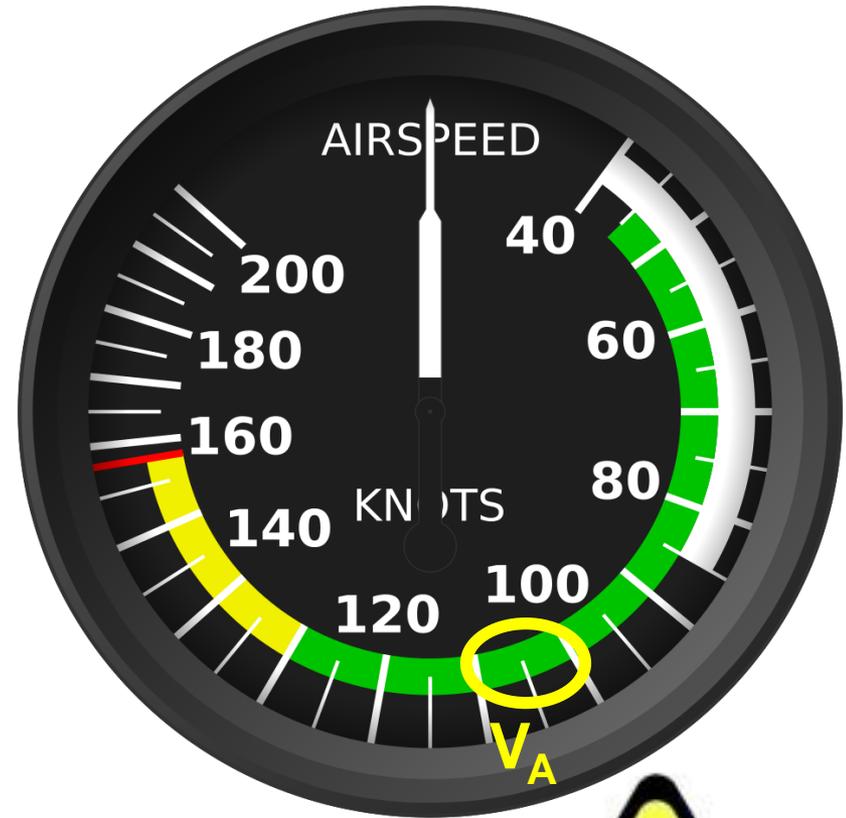
Règles de prudence / GOOD AIRMANSHIP

Règle N° 4:

**Si de fortes turbulences
sont à attendre:**

**Réduire impérativement
sa vitesse en-dessous de
 V_A !**

**Avant d'entrer dans les
turbulences (après c'est
trop tard !)**



Règles de prudence / GOOD AIRMANSHIP

Règle N° 5:

Considérer la charge maximale admissible comme étant la charge de rupture et se fixer une marge de sécurité personnelle de 1.5 x vers le bas !

C'est d'ailleurs une recommandation de la Federal Aviation Administration FAA pour les « ageing aircraft »

Exemple (cat. Normal):

Charge maximale selon AFM + 3.8 g

limite personnelle 3.8 g : 1.5 = + 2.5 g



Règles de prudence / GOOD AIRMANSHIP

Un aéronef qui a été endommagé ou fatigué (sans que cela n'ait été détecté et réparé) ne tiendra pas forcément les facteurs de charges admissibles selon AFM !



15. MANEUVERS LOAD FACTOR LIMITS

Maneuver load factors limits are as follows:

Positive

+ 3.8 g

Negative

- 1.9 g

Maneuver load factors limits with flaps extended are as follows:

Positive

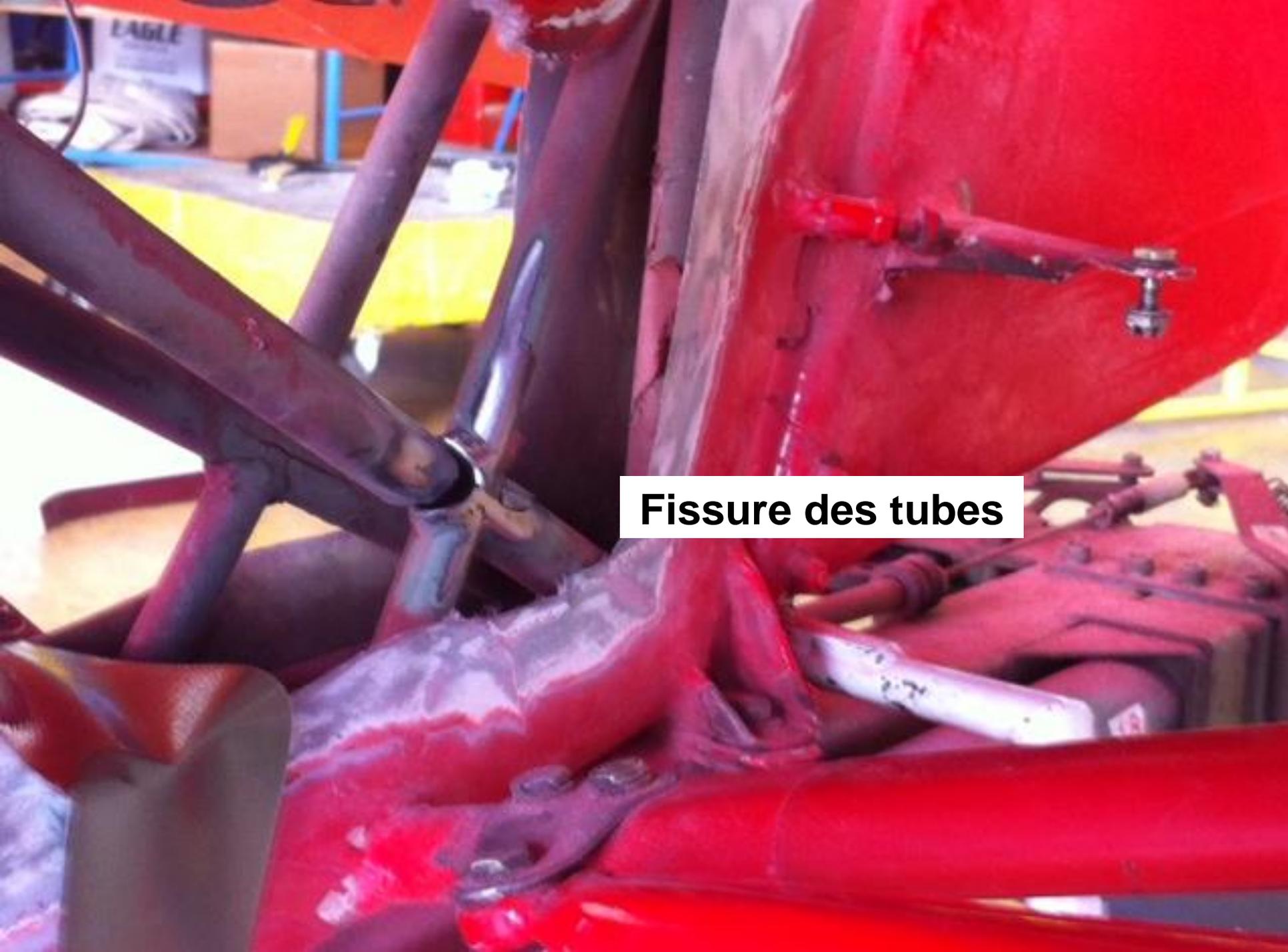
+ 1.9 g

Negative

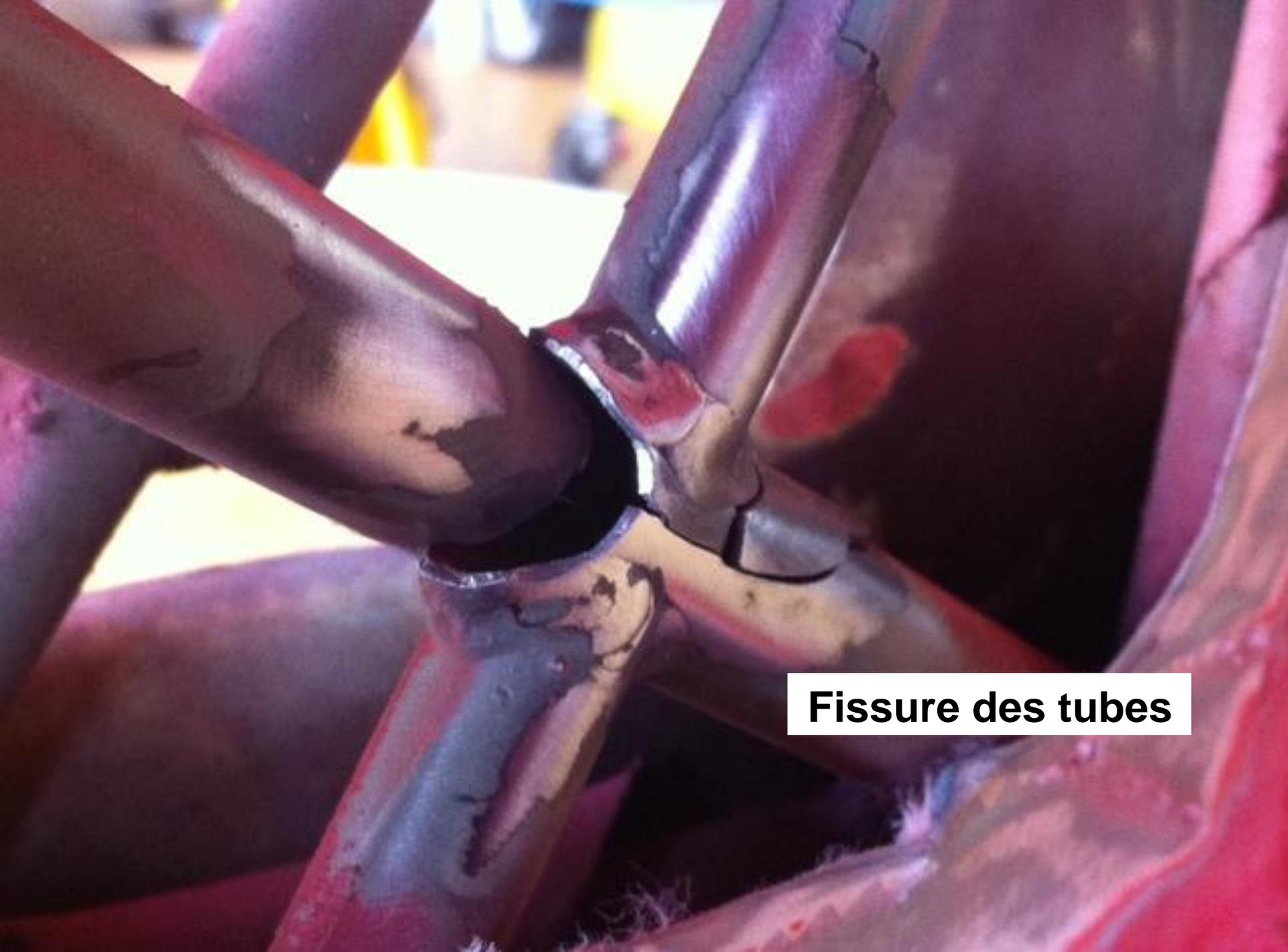
0 g



Avion de remorquage Maule MX-7-235 HB-KIO, Groupe vaudois de vol à voile de Montricher



Fissure des tubes



Fissure des tubes



Fissure des tubes

Rapport d'accident: rupture structurelle d'une aile en vol CAP 10, F-GRIT, 14 mai 1999, Chevru, France



L'avion a subi au cours du vol un **facteur de charge de +6.6g dépassant le maximum autorisé** bien qu'inférieur au **facteur de charge extrême**

facteur de charge maximum autorisé selon AFM: + 6.0g

facteur de charge de rupture selon constructeur: + 9.0g

l'avion s'est néanmoins brisé en vol à: + 6.6g

Rapport d'accident: rupture structurelle d'une aile en vol CAP 10, F-GRIT, 14 mai 1999, Chevru, France

«L'accident résulte de la réalisation de manœuvres acrobatiques, avec **dépassement du facteur de charge limite autorisé** mais **sans dépassement de la charge extrême**, conduisant à la **rupture en vol du longeron** de l'aile droite dans une zone fortement sollicitée en flexion.

Peuvent avoir contribué à la rupture:

- Une **probable fragilisation du longeron** due à des posés-décollés répétés en instruction sur piste revêtue;
- Un possible endommagement préalable qui n'aurait pas été décelé du fait de la **difficulté et de la périodicité d'inspection du longeron**»

Règles de prudence / GOOD AIRMANSHIP



Extra 200

Air Club de Yverdon

L'air-club impose en outre les restrictions supplémentaires suivantes :

- 2.1 Chaque pilote devra être en possession de l'inscription « pas variable » VP dans sa licence avant son premier vol en place arrière.
- 2.2 Pour ménager la machine on ne dépassera pas :
Vol solo +/- 9 G, vol à deux +/- 7 G, valeurs lues sur l'accéléromètre plombé.
Si ces limites étaient malheureusement dépassées, il est impératif d'avertir le responsable de l'avion. Ce dernier s'informerera sur les conditions dans lesquelles ce dépassement a eu lieu (nombre d'occupants, genre de figure etc.)
- 2.3 Si les limites constructeurs sont dépassées, à savoir +/- 10 G vol solo et +/- 8 G vol à deux, l'avion doit être immédiatement mis hors service et le

Règles de prudence / GOOD AIRMANSHIP



Groupement Vol à Moteur - Lausanne

7

ANNEXE 4: UTILISATION DU CAP 10 C EN VOLTIGE

La limite club du nombre de G est de +5,5 et -4 G pour tout dépassement, une pénalité de Fr. 50.- sera demandée au pilote responsable qui est prié de l'annoncer dans le carnet de vol et sur un avis de défectuosité. Par contre, si la limite constructeur +6/-4,5 G venait à être dépassée, le pilote supportera les frais de contrôle demandés.

**Règles de prudence /
GOOD AIRMANSHIP**



**Boeing F/A-18C/D Hornet
Forces aériennes suisses
Limités à +7.5 g
Constructeur +9 g**

Règles de prudence / GOOD AIRMANSHIP

Mirage 2000

Armée de l'Air française

Limités à +8 g

Constructeur +13 g



Rupture structurelle: fatigue

- Boeing F-15C, Eglin AFB, Floride, 30 avril 2002
- Rupture structurelle d'un empennage vertical à Mach 1.97



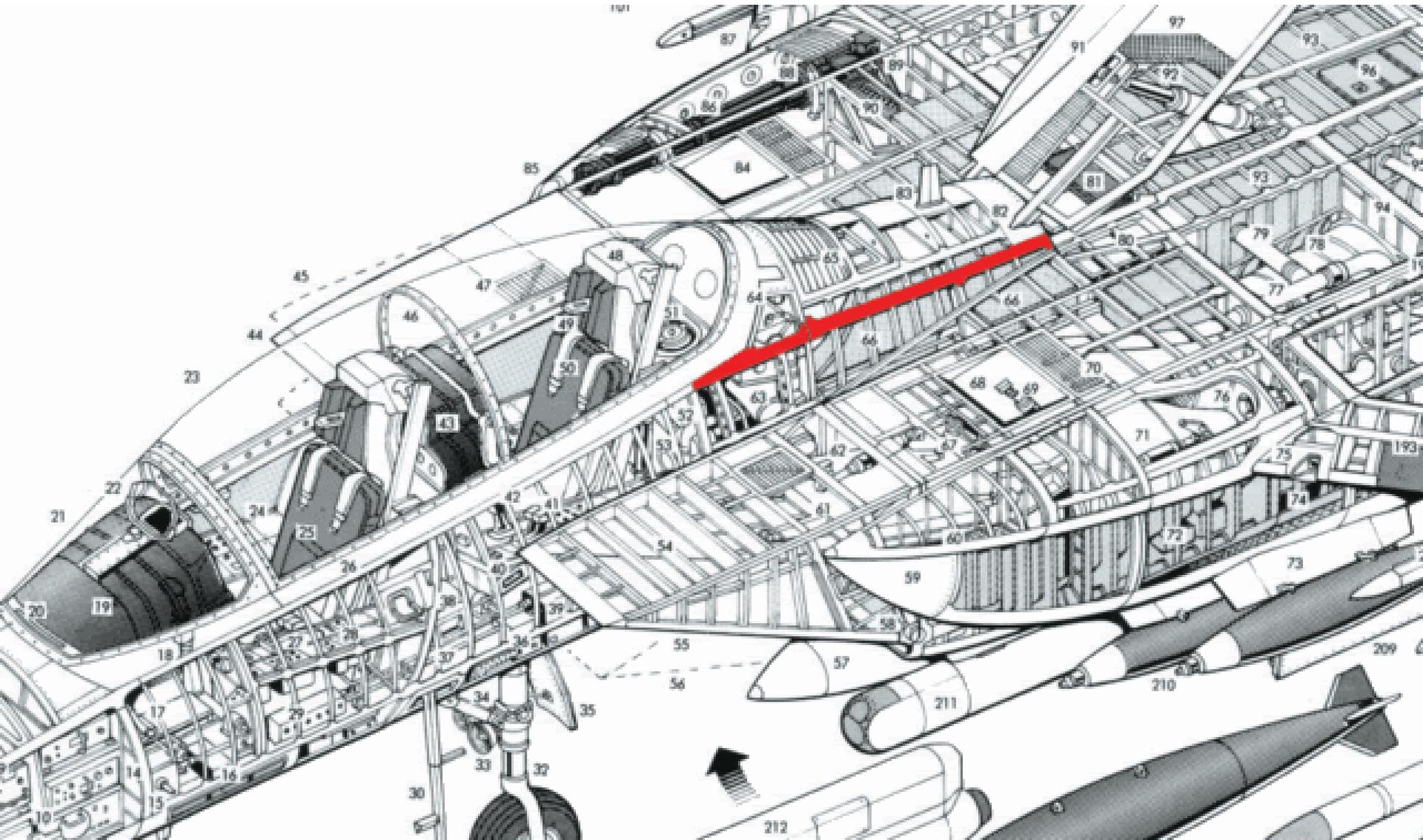
- **F-15C, Air National Guard, St-Louis, Missouri, 2 novembre 2007**
- **Rupture structurelle d'un longeron du fuselage**
- **Le pilot parvient à s'éjecter, mais blessé , il ne pourra plus voler à nouveau (pilote de ligne, milicien)**
- **Il fera un procès à Boeing (constructeur)**



Rupture structurelle: fatigue

US Air Force F-15 in-flight breakup animation

<http://www.youtube.com/watch?v=2R7BWrqmgac>



US Air Force F-15 in-flight breakup animation



Fatigue due à une utilisation autre que celle prévue par le constructeur: Accident N130HP, Lockheed C-130A, 17 juin 2002, Walker, CA, USA



Le **Lockheed C-130A Hercules** est un avion de transport militaire. L'avion avait été livré en **1957** à l'USAF, et retiré du service en 1978 après **19'546 heures de vol**.



Après 10 ans de stockage, il a été vendu à une entreprise travaillant pour le US Forest Department comme **bombardier d'eau et engagé dans la lutte anti-incendie**.

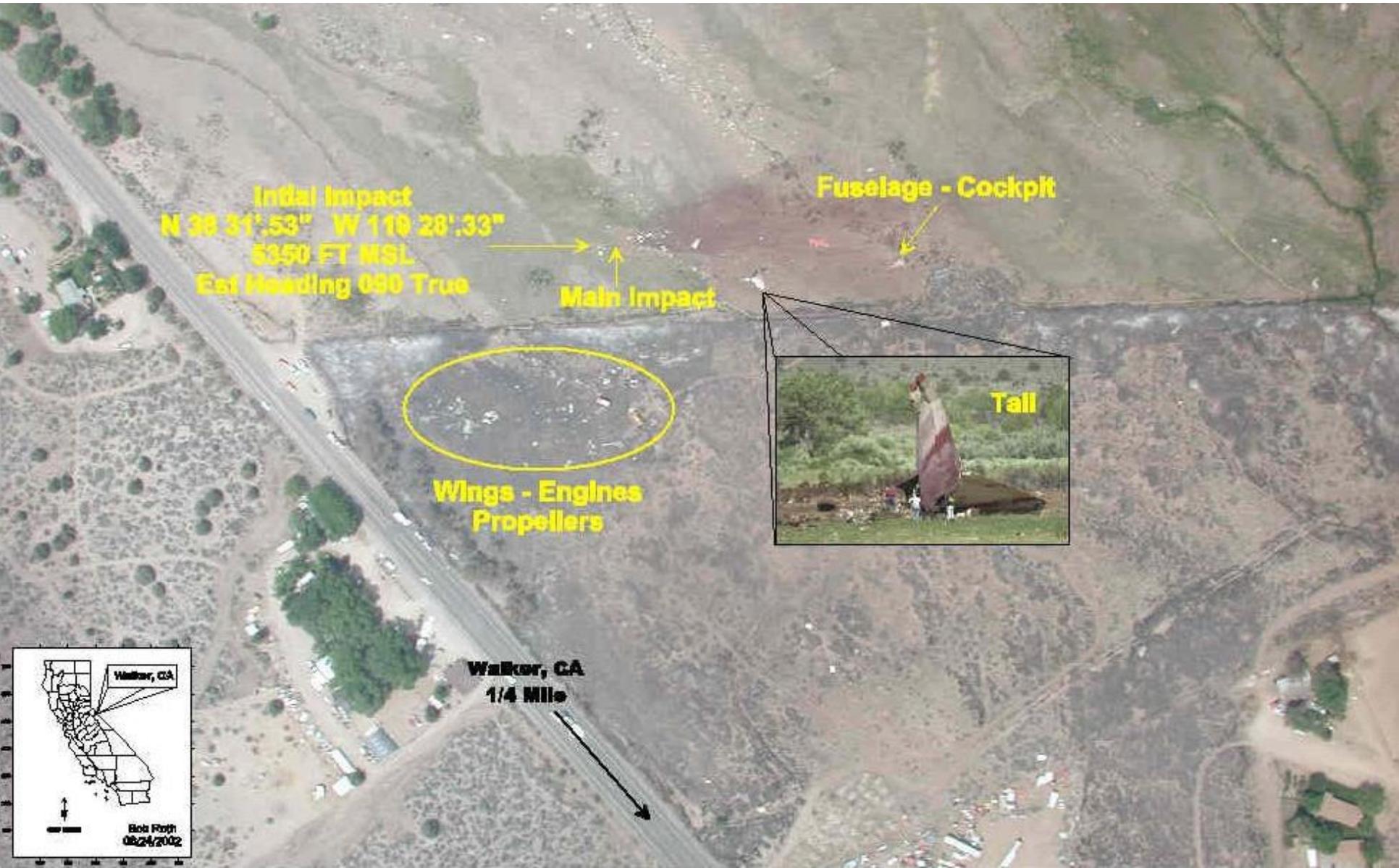


Rupture structurelle: fatigue

Accident N130HP, C-130A, 17 juin 2002, Walker, USA

Lockheed C-130A N130HP, C-130, Walker, CA, 17 juin 2002

<http://www.youtube.com/watch?v=TBcC8zqNjKk>



«Le facteur de charge estimé au moment de la séparation de l'aile était de 2.4 g, **en dehors de la limite de facteur de charge de manoeuvre** de 2.0 g avec volets sortis»

«La présence de **rafales de vent ou de turbulences nécessiteraient des corrections additionnelles du facteur de charge subi.**»

«L'avion était opéré à 146 noeuds, **juste en-dessous de sa vitesse limite** de 150 noeuds»



“Les programmes d’enregistrement des paramètres ont montré que les **opérations de lutte anti-incendie sont bien plus sévères** que les opérations logistiques militaires typiques. Par conséquent les aéronefs opérant dans ce rôle **devraient être inspectés à des intervalles 12 fois plus fréquents** que lorsqu’ils sont engagés dans des opérations de transport courantes, afin de répondre aux exigences des dommages tolérés”.

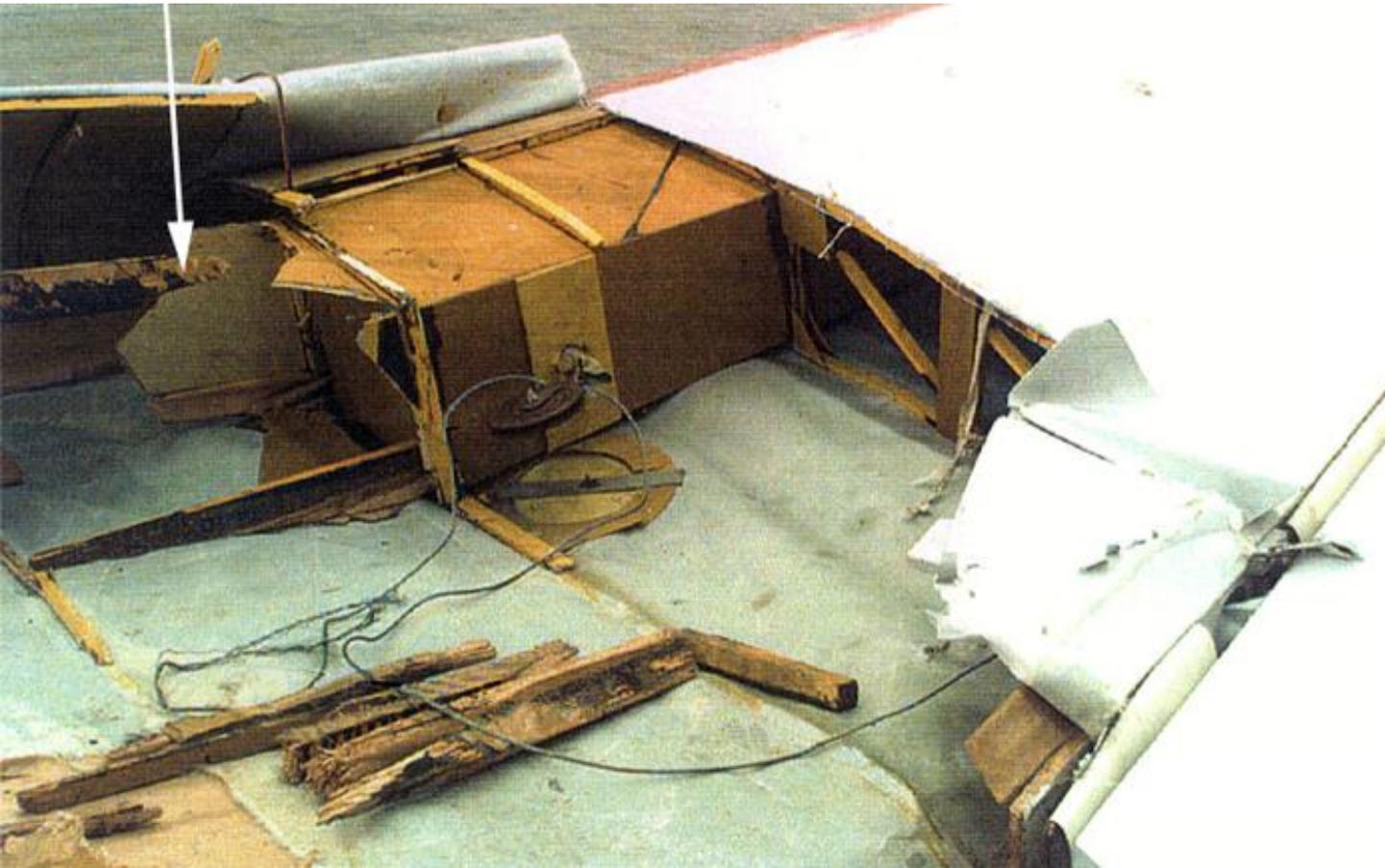


Règles de prudence / GOOD AIRMANSHIP

Règle générale:

Ne poussez jamais jusqu'aux limites d'utilisation !

D'autres (moins bien formés) l'ont fait pour vous !



Règles de prudence / GOOD AIRMANSHIP

Règle générale:

Ne poussez jamais jusqu'aux limites d'utilisation !

D'autres (plus qualifiés) l'ont fait pour vous !



Remerciements

Je remercie pour leur relecture de ma présentation:

Thomas Baumgartner, ingénieur en mécanique EPFZ, spécialiste structures, Pilatus Aircraft, Stans/Suisse. Instructeur de vol.

Pierre Van Wetter, ingénieur en aéronautique Université de Liège, Sonaca Aircraft, Charleroi/Belgique

Carl Mengdehl, ingénieur en mécanique école d'ingénieur de Clermond-Ferrand, Sonaca Aircraft, Charleroi/Belgique

Et pour ses photos d'avions passant dans son atelier:

Daniel Koblet, mécanicien avion, directeur Mobile Air Service SA Bex LSGB. Instructeur de vol.