

AF447 : Les 50 secondes du destin...

Entre le désengagement du pilote automatique à 2.10.05
et
la sortie du domaine de vol connu à 2.10.55

PFD, écran de pilotage

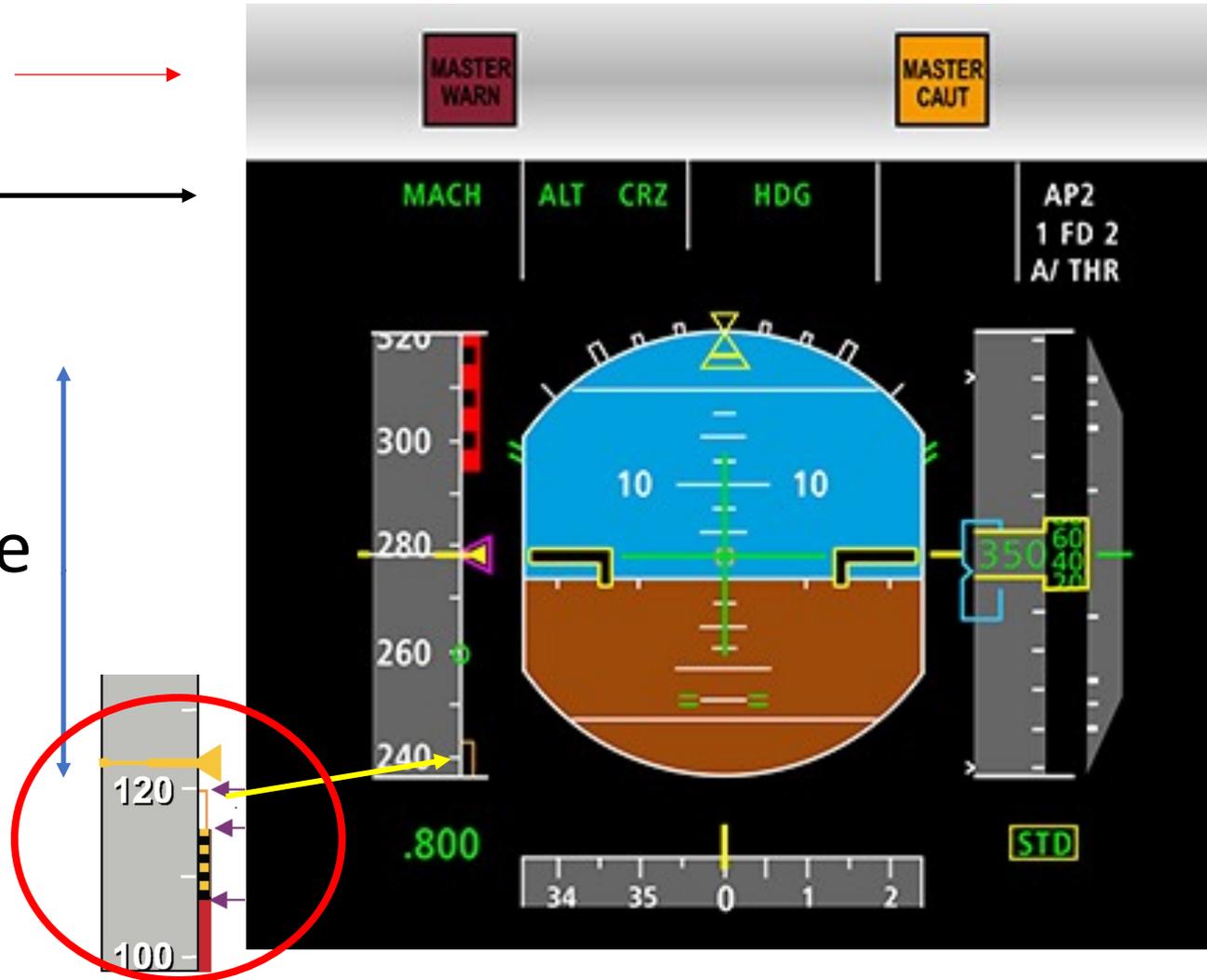
Alarmes →

FMA →

Modes de
conduite du vol

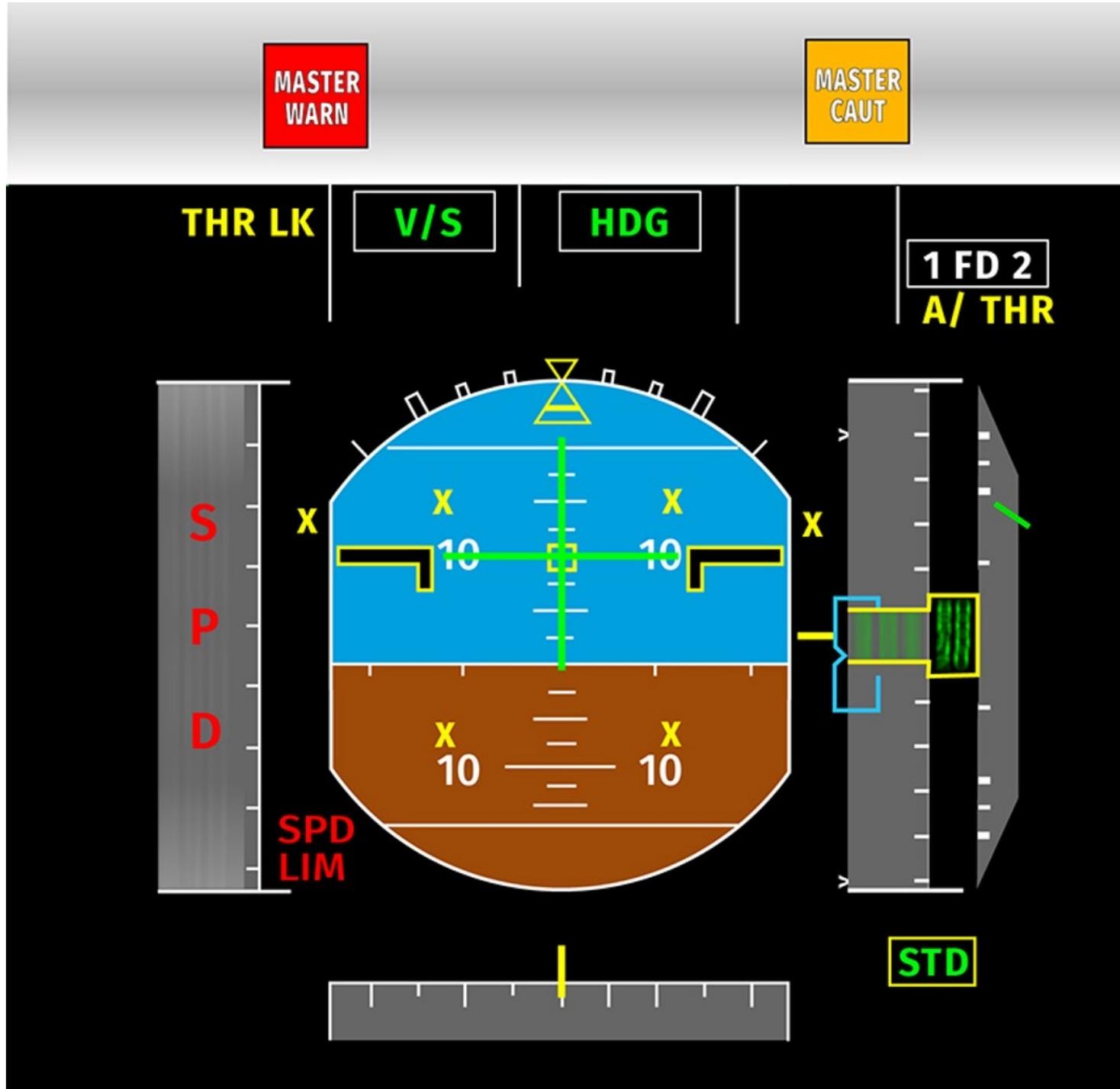
Vitesse

Altimétrie

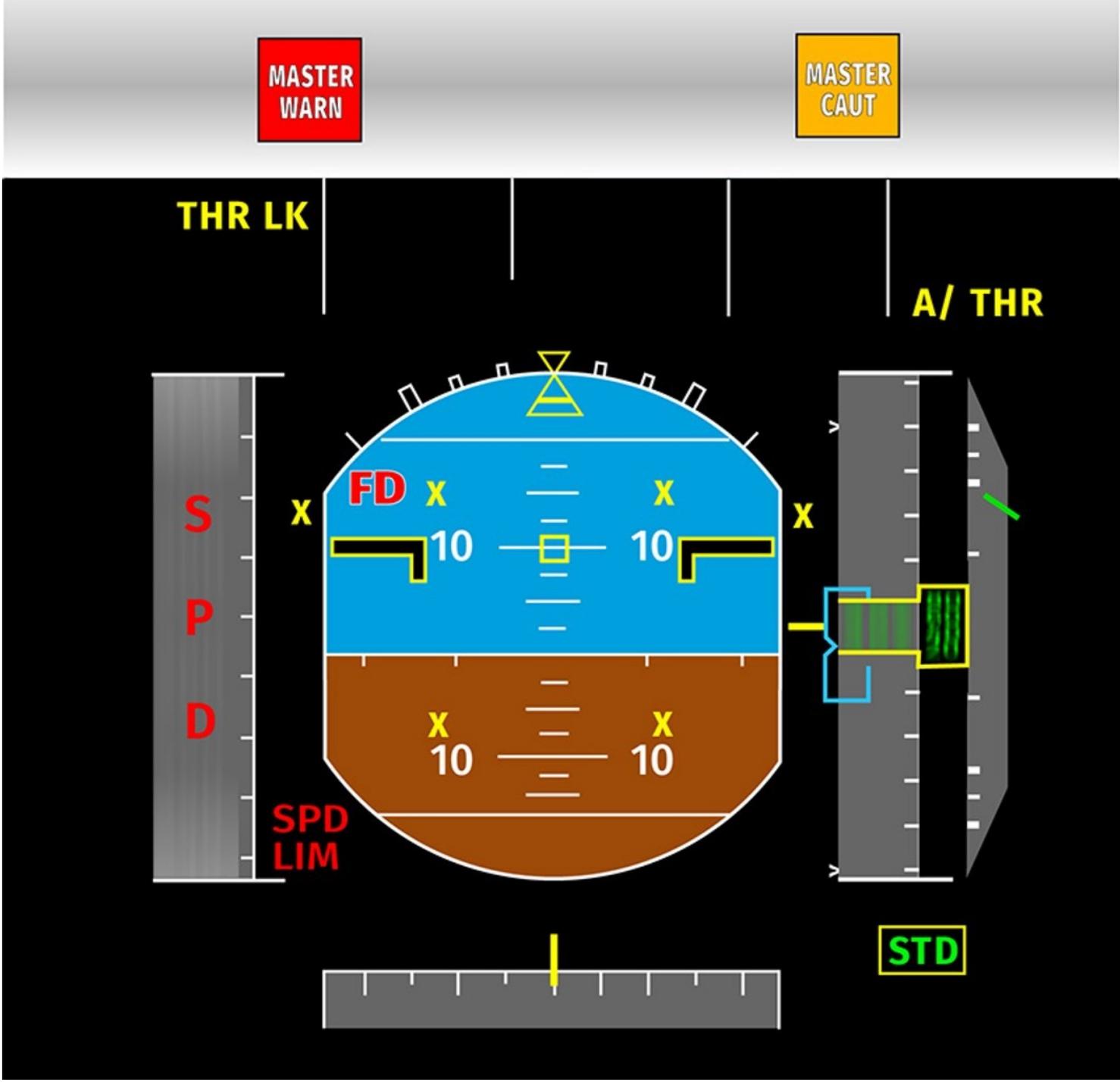


Le
Directeur
de
VOL

FD / ON



FD / OFF



La panne racine : 3 sondes Pitot bouchées



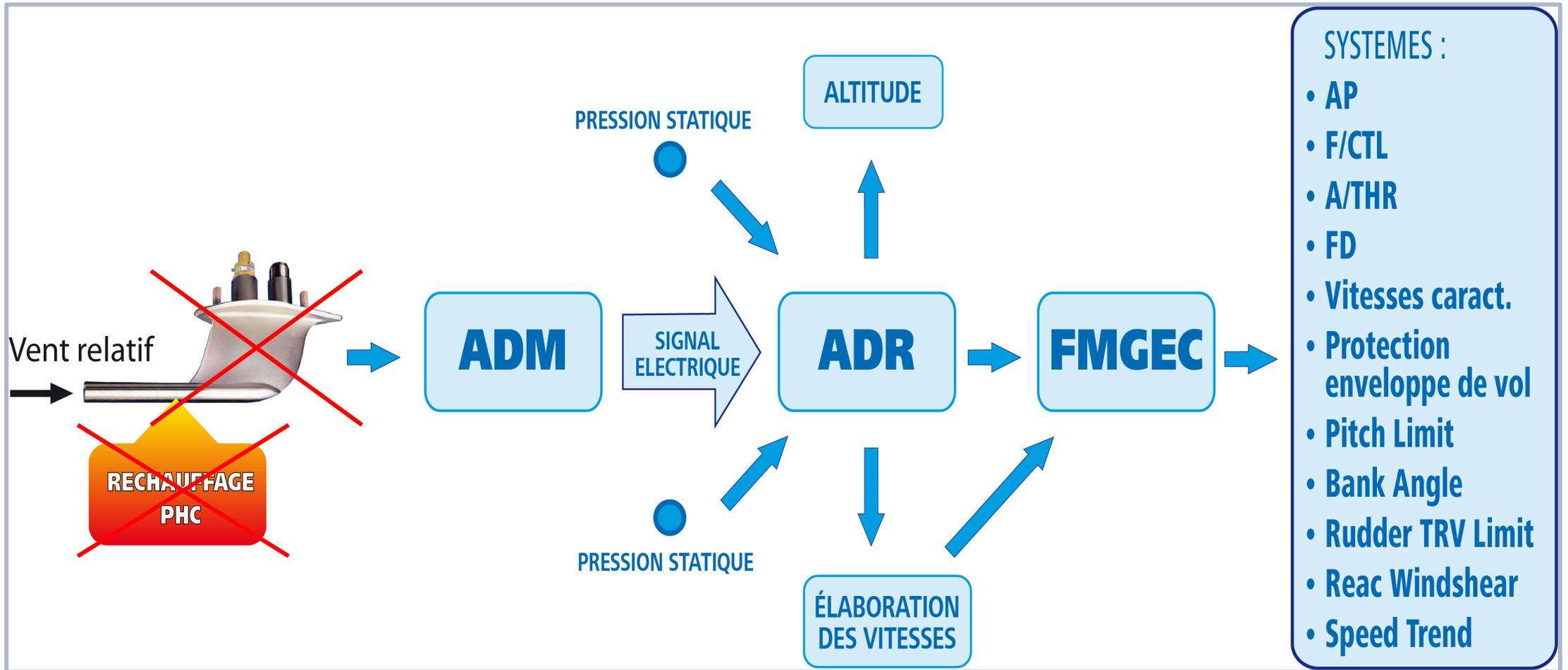
CDB

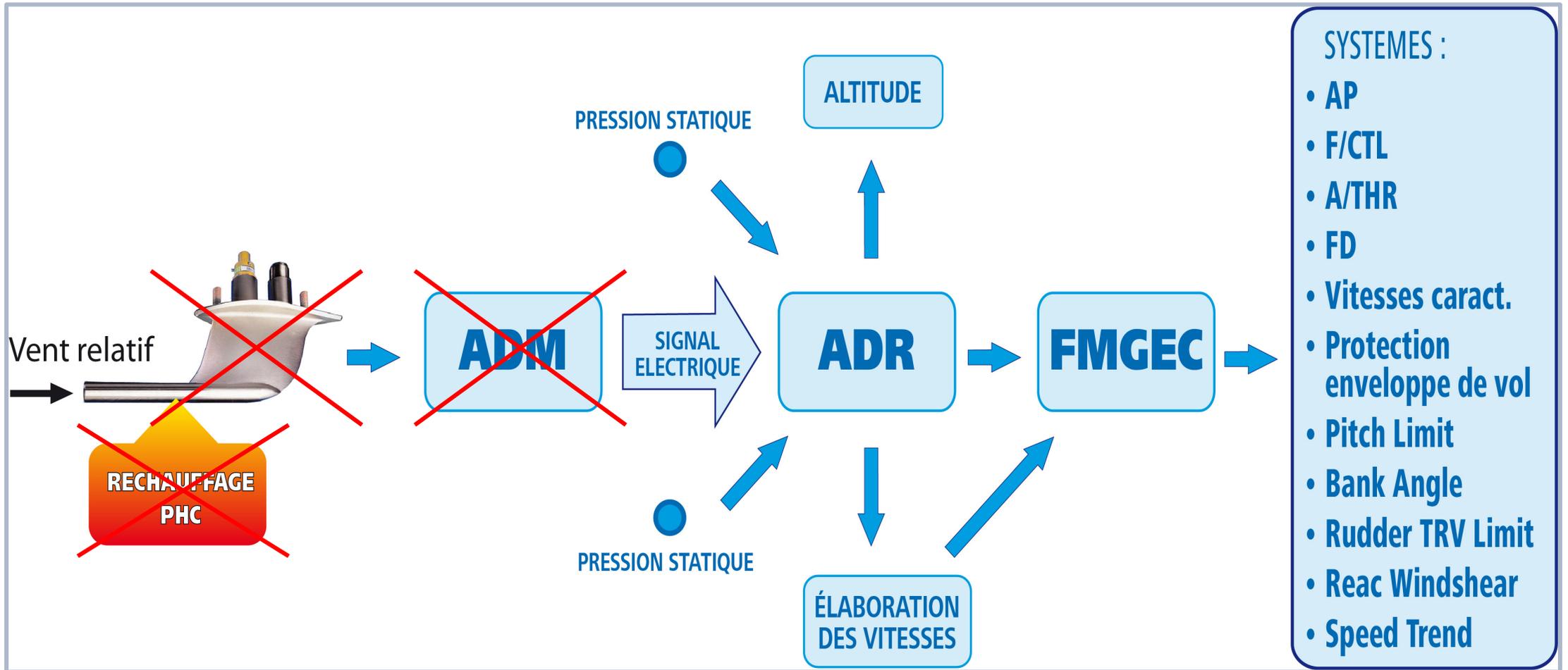


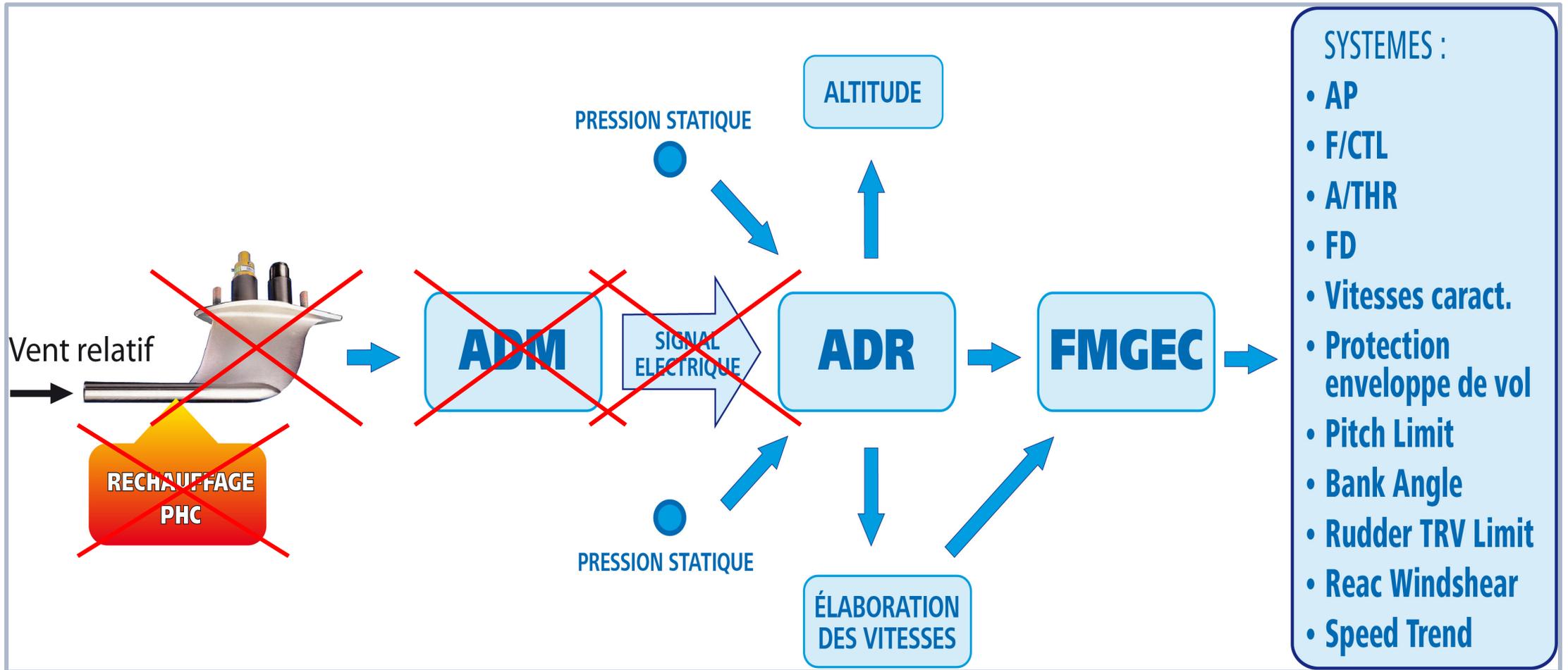
Secours

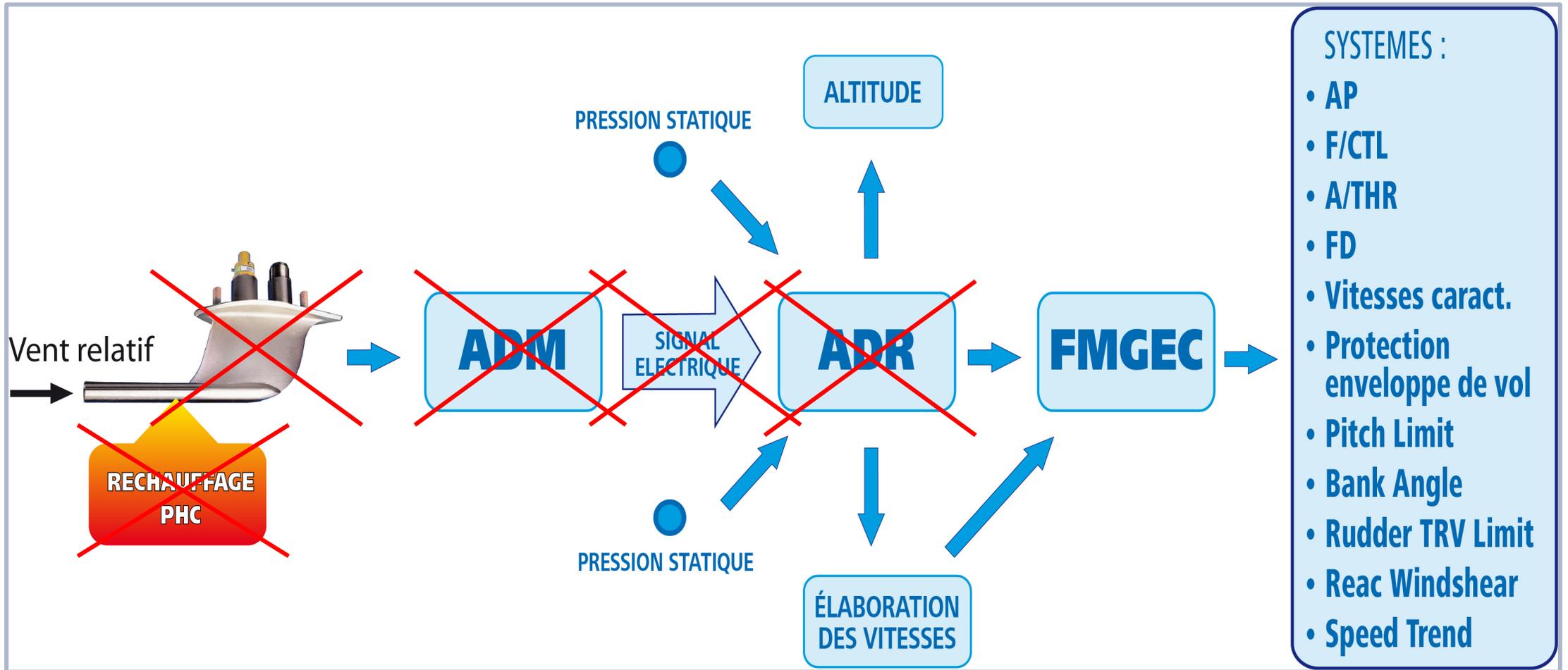


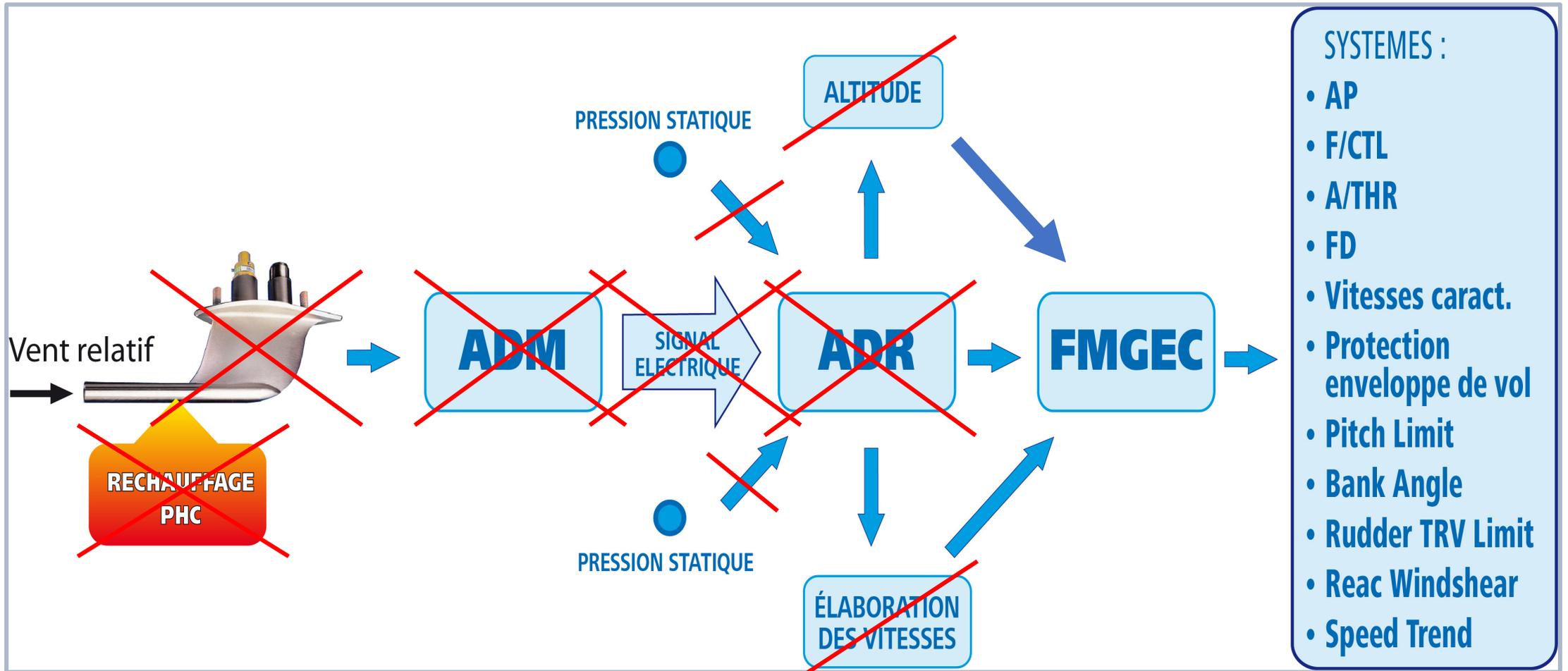
OPL

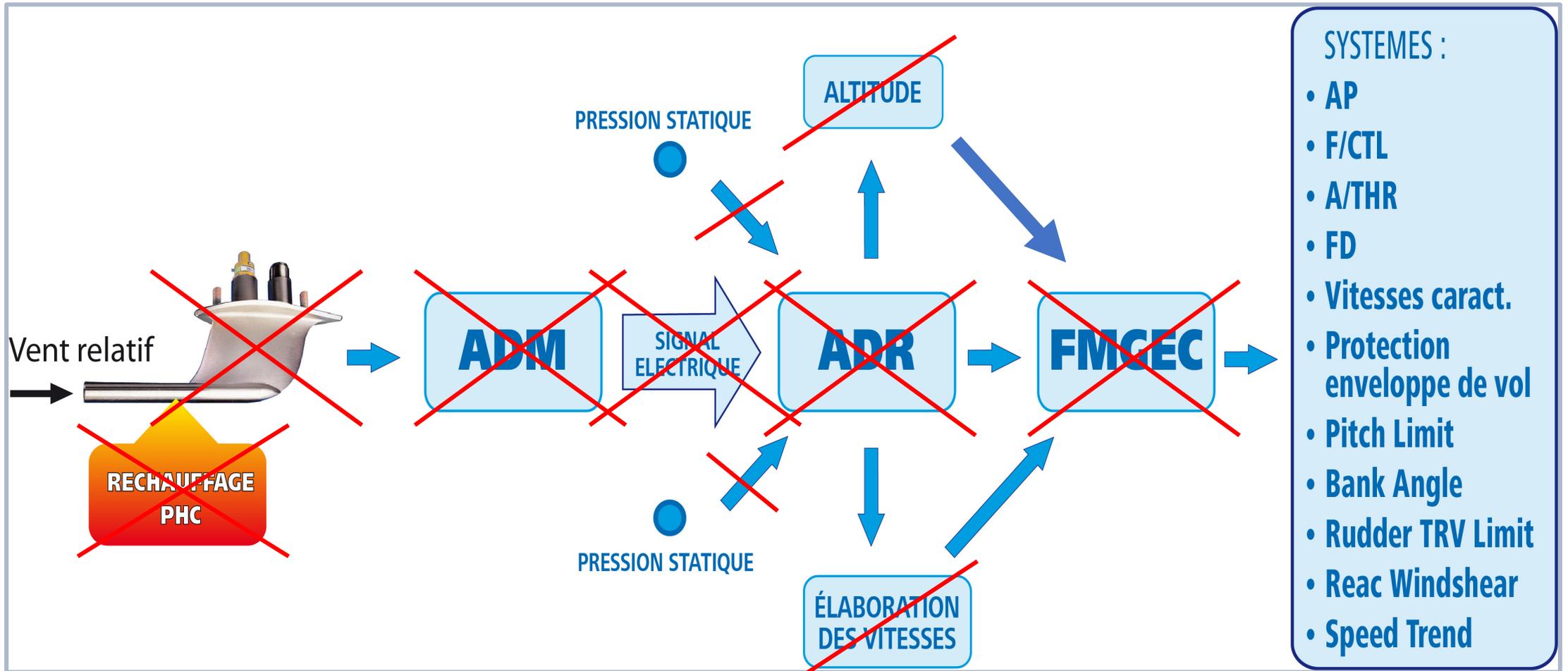


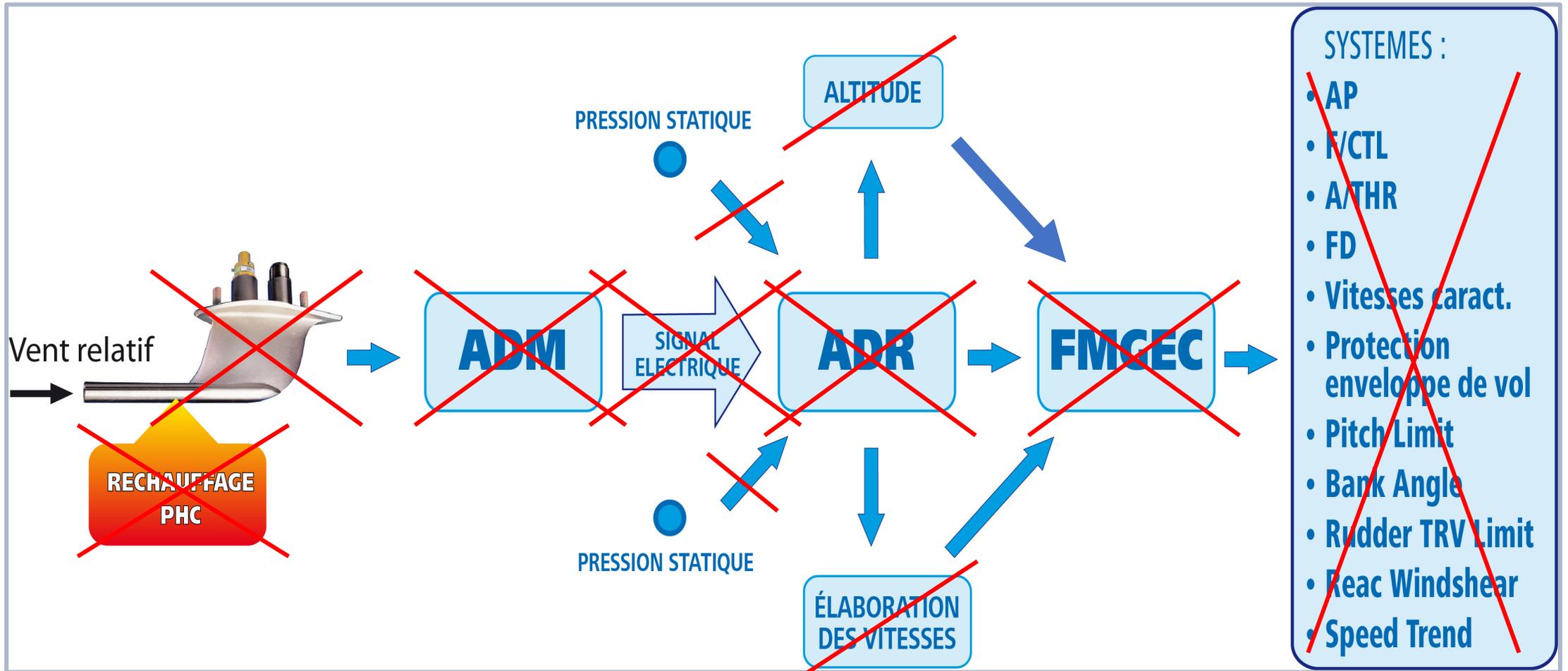




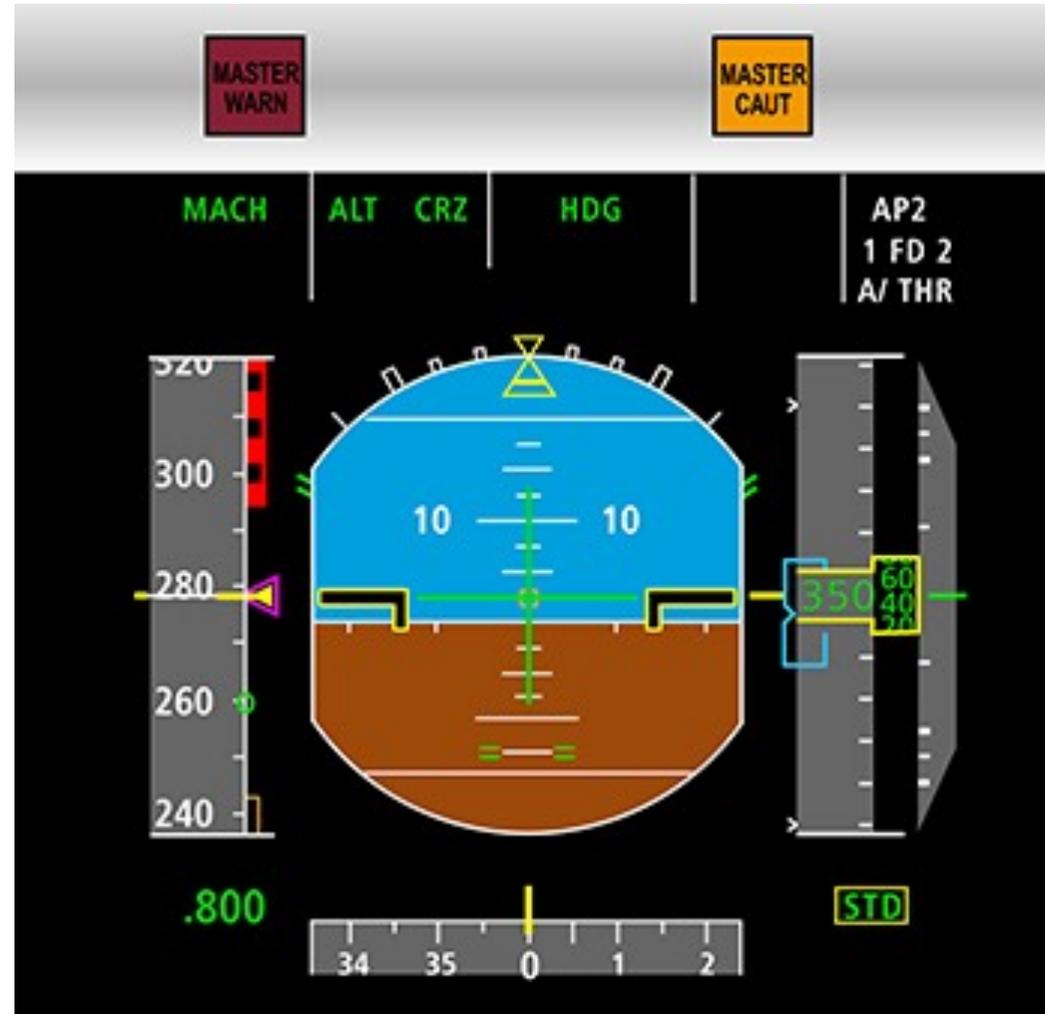




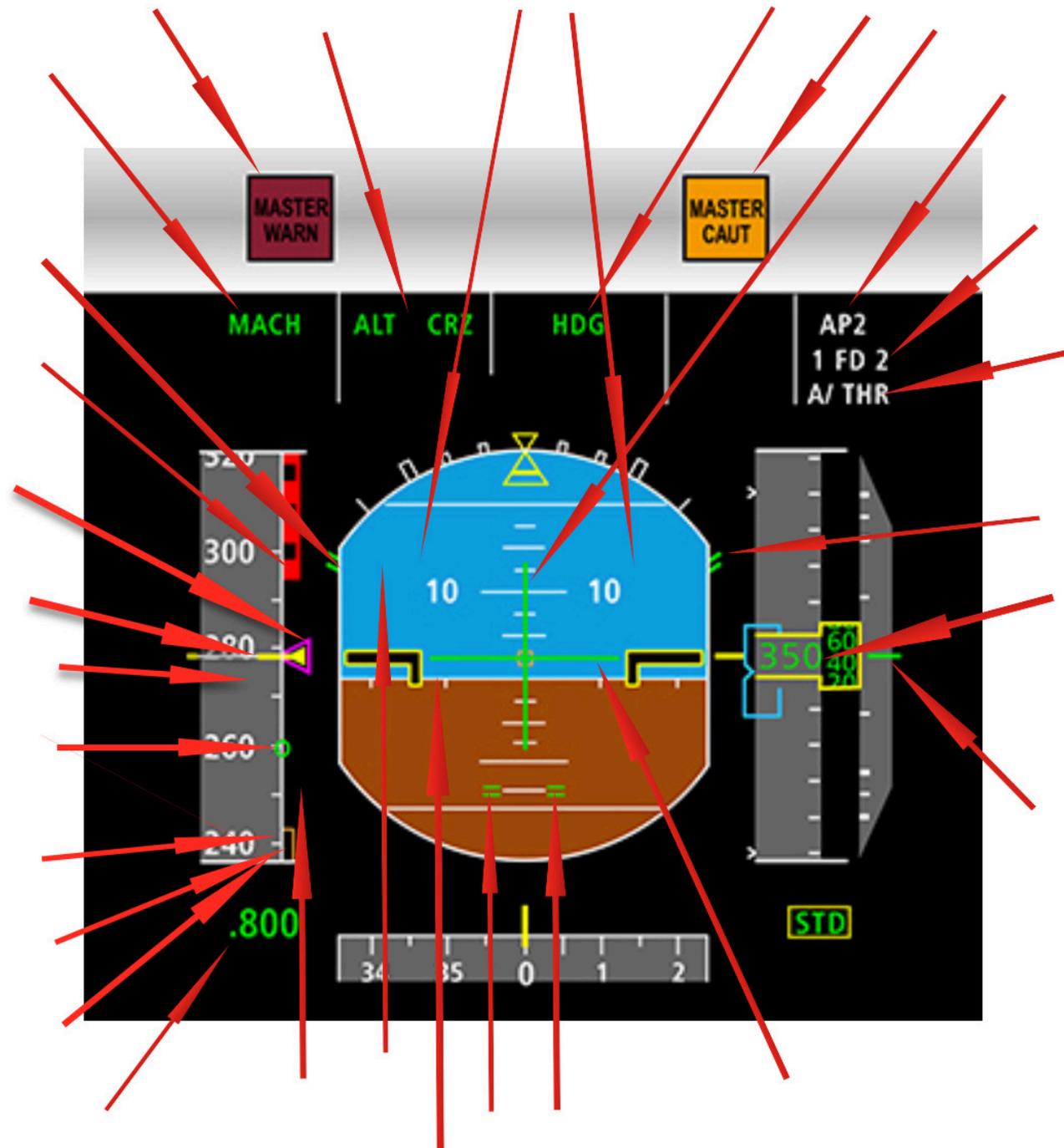




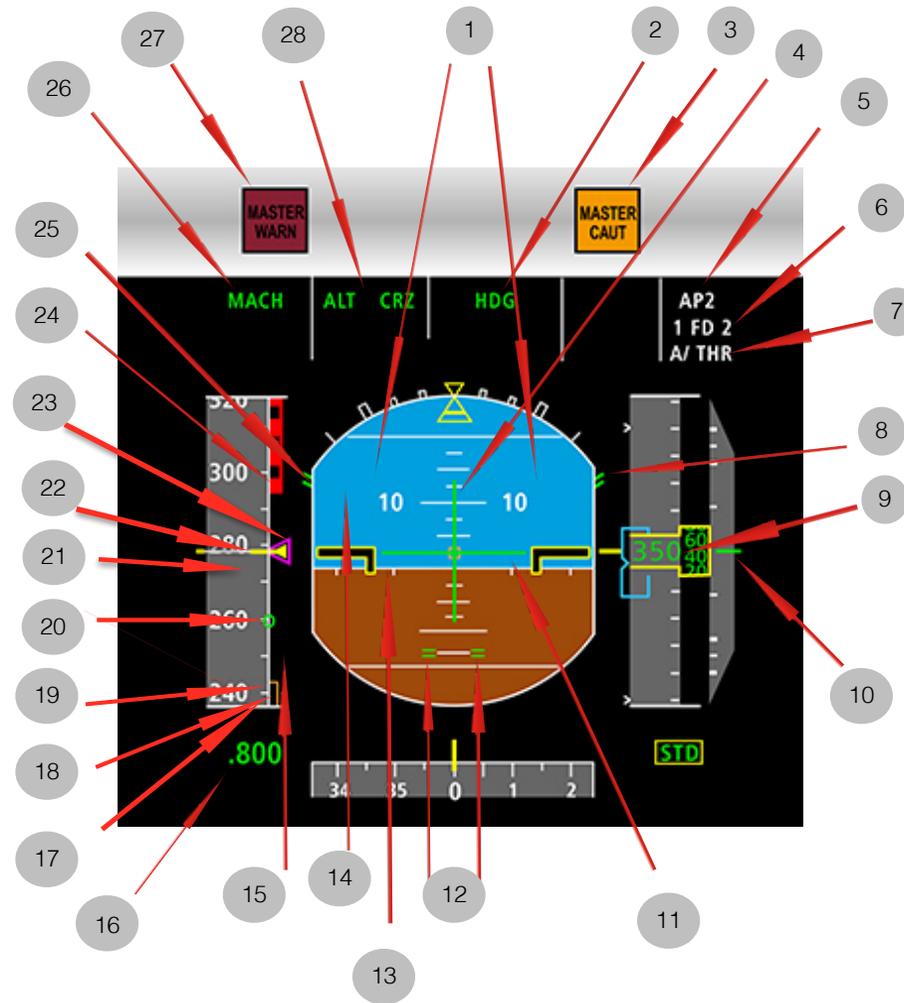
PFD, écran de pilotage, 1 seconde avant la panne



5 secondes



PFD Fléché numéroté en appendice



H (0 s)

ECAM à 02:10:05	
<u>AUTO FLT AP OFF</u>	

Aucun lien vers la panne des sondes Pitot

PANNE RACINE, les SONDES PITOT

BEA :

Cinq messages *fault* ont été reçus par ACARS. Ils sont décrits dans l'ordre dans lequel ils apparaissent au CFR.

PROBE PITOT 1+2 / 2+3 / 1+3 (9DA) (02 h 10)

A 2 10 08 une surveillance s'est déclenchée sur les 3 sondes Pitot sans que cette information essentielle soit transmise au poste de pilotage

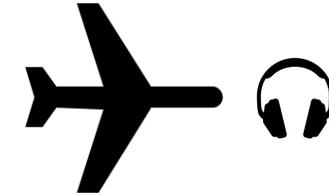
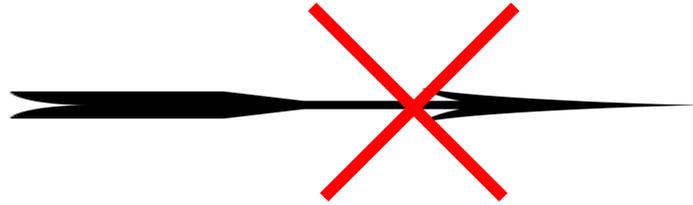
Il existe trois classes de messages *fault* :

- ❑ classe 1 : ils ont des conséquences opérationnelles et sont accompagnés d'au moins un *cockpit effect* (pas nécessairement enregistré dans le CFR),
- ❑ classe 2 : ils n'ont pas de conséquence opérationnelle ; ils sont accompagnés d'un ou plusieurs messages MAINTENANCE STATUS qui ne sont portés à la connaissance de l'équipage qu'une fois au sol, via la page STATUS de l'ECAM,
- ❑ classe 3 : ils ne sont consultables qu'au sol, par l'exploitation des BITE de chaque calculateur ; ces messages ne figurent donc pas au CFR ou au PFR.

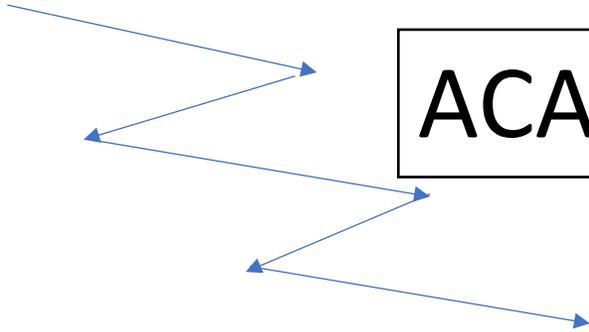
02:10:08



Bouchage des sondes



ACARS



Sol (Maintenance)

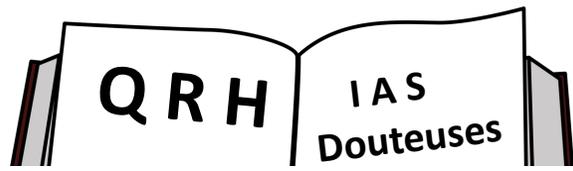
H + 3 s



ACARS

ECAM à 02:10:08

AUTO FLT AP OFF
PROBE PITOT L+C+R FAIL



A330 AIR FRANCE ABNORMAL AND EMERGENCY 3.02.34 P 18
FLIGHT CREW OPERATIONS MANUAL NAVIGATION SEQ. 210 REV 24

UNRELIABLE SPEED INDIC/ADR CHECK PROC (CONT'D)
● If the safe conduct of the flight is impacted :

MEMORY ITEMS :

- AP/FD OFF
- A/THR OFF
- PITCH/THRUST :
- + Below THRUST RED 15° / TOGA
- + Above THRUST RED 15° / CLB

IAS
DOUTEUSES



Bouchage des sondes



H + 3 s

ACARS

ECAM à 02:10:08

AUTO FLT AP OFF
PROBE PITOT L+C+R FAIL

QRH IAS Douteuses

A330 AIR FRANCE	ABNORMAL AND EMERGENCY	3.02.34	P 18
FLIGHT CREW OPERATING MANUAL	NAVIGATION	SEQ 210	REV 24

UNRELIABLE SPEED INDIC/ADR CHECK PROC (CONT'D)

● If the safe conduct of the flight is impacted :

MEMORY ITEMS :

- AP/ID.....OFF
- A/THR.....OFF
- PITCH/THRUST :
- + Below THRUST RED.....15°/TOGA
- + Above THRUST RED.....



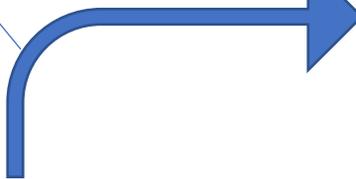
Bouchage des sondes

ECAM à 02:10:08

AUTO FLT AP OFF
NAV ADR DISAGREE
-AIR SPD.....X CHECK
•IF NO SPD DISAGREE
-AOA DISCREPANCY
•IF SPD DISAGREE
-ADR CHECK PROC...APPLY

AUTO FLT F/CTL

IAS DOUTEUSES

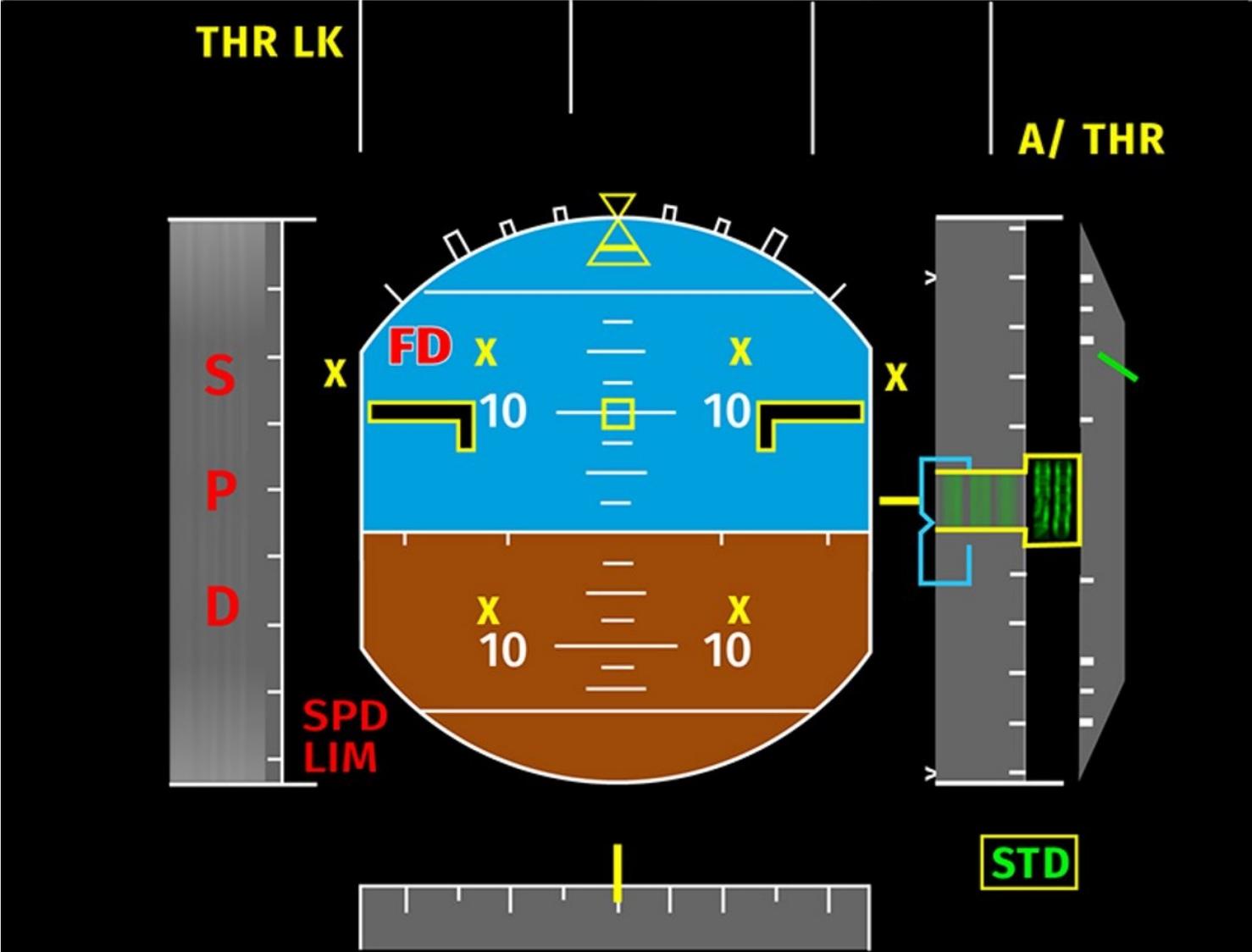


MASTER
WARN

MASTER
CAUT

H + 3 s :

FD / OFF



Séquences d'Activation/Désactivation du Directeur de Vol (F/D)

La séquence des apparitions / disparitions des barres de tendance sur les PFD droit et gauche a été la suivante :

Plage de temps	FD G	FD D	Mode vertical	Mode latéral
avant 2 h 10 min 08	Vert	Vert	ALT CRZ	HDG
2 h 10 min 08 - 17	Rouge	Rouge		
2 h 10 min 17 - 21	Vert	Vert	ALT CRZ *	HDG
2 h 10 min 21 - 26	Rouge	Rouge		
2 h 10 min 26 - 36	Vert	Vert	V/S + 6000	HDG
2 h 10 min 36 - 42	Rouge	Rouge		
2 h 10 min 42 - 43	Vert	Vert	V/S + 1400	HDG
2 h 10 min 43 - 47	Rouge	Rouge		
2 h 10 min 47 - 2 h 11 min 40	Vert	Vert	V/S + 1400	HDG
2 h 11 min 40 - 2 h 12 min 52	Rouge	Rouge		
2 h 12 min 52 - 2 h 12 min 58	Vert	Vert	V/S - 6000	HDG
2 h 12 min 58 - 2 h 13 min 57	Rouge	Rouge		
2 h 13 min 57 - 58	Vert	Vert	Non enregistrés Période d'échantillonnage des paramètres associés insuffisante	
2 h 13 min 58 - fin du vol	Rouge	Rouge		

L'erreur altimétrique de l'A330 - 200

Pression statique erronée

+

Correcteur

=

Altitude corrigée correcte



Sans correction



Altitude alert



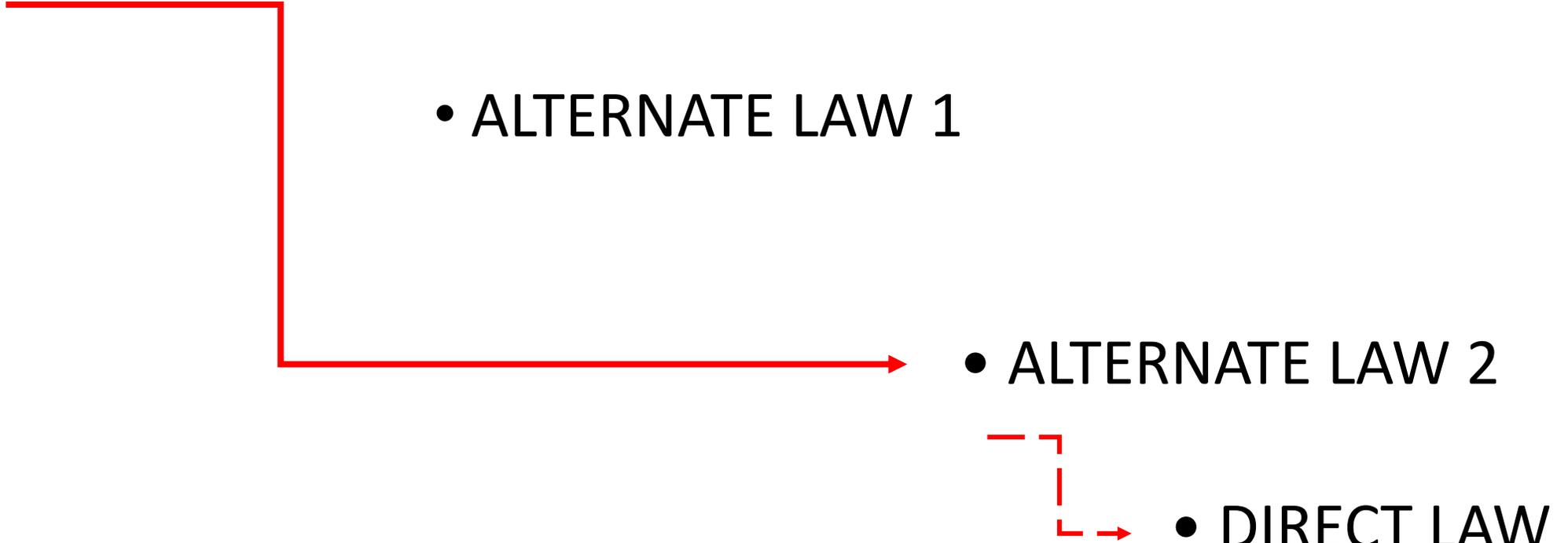
Lois de pilotage

- NORMAL LAW

- ALTERNATE LAW 1

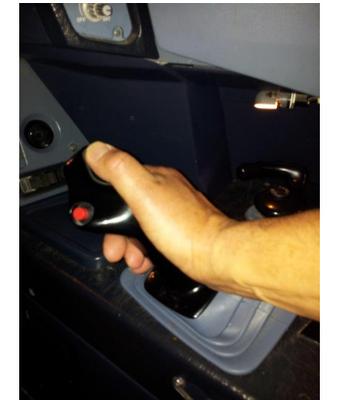
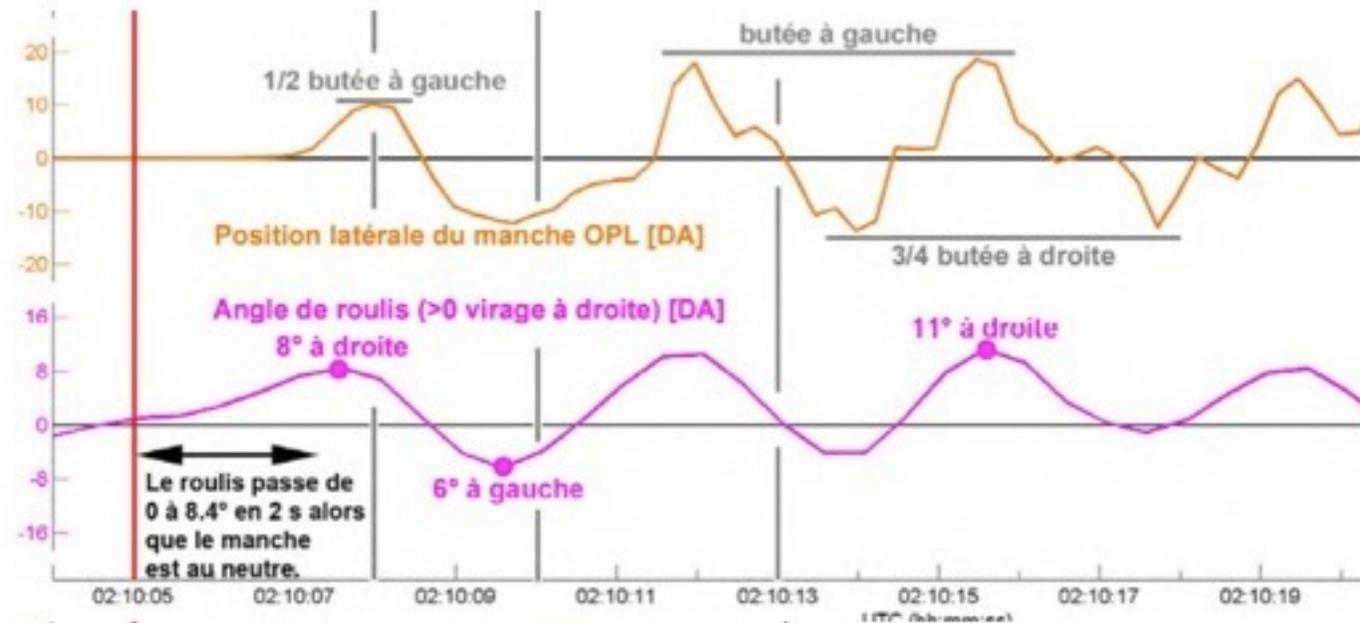
- ALTERNATE LAW 2

- DIRECT LAW

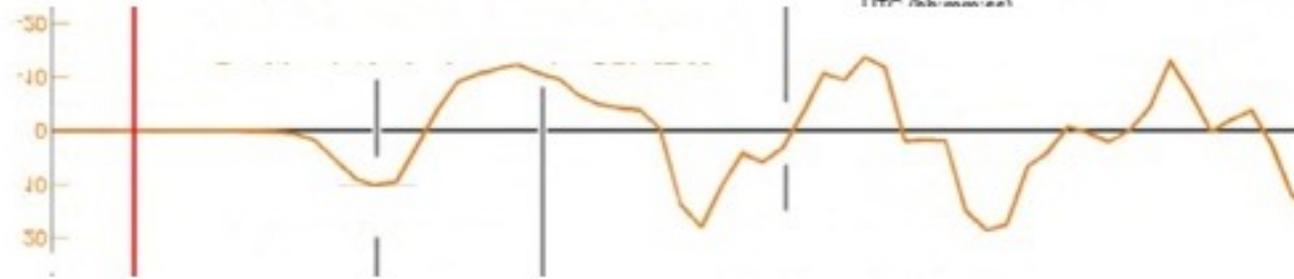


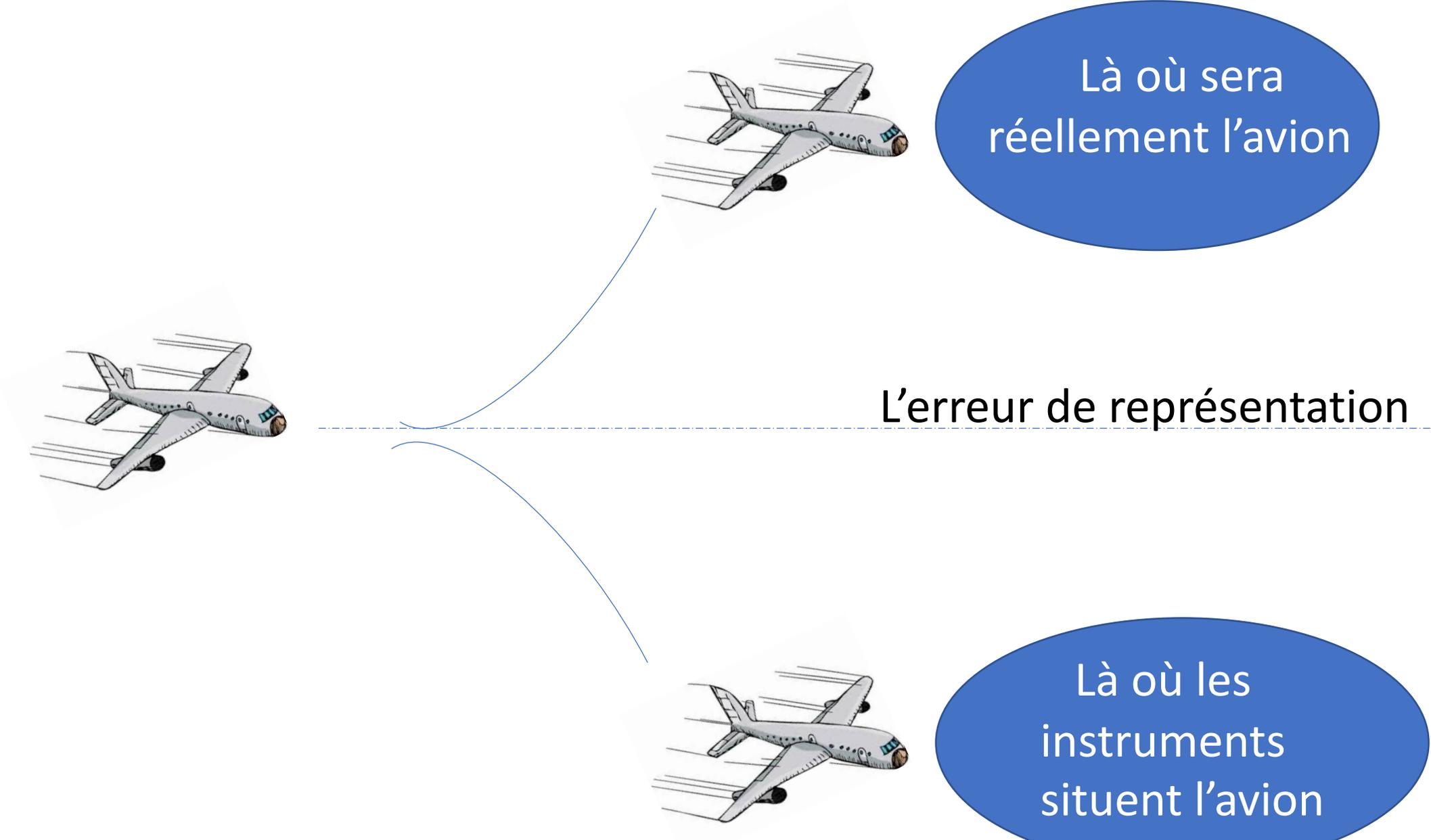
Extrait DFDR inclinaison / Sidestick H-H+25s

DFDR



Graphe renversé





Là où sera
réellement l'avion

L'erreur de représentation

Là où les
instruments
situent l'avion

H + 3 s : durée de l'affichage : 2 secondes

ECAM à 02:10:08	
<p><u>AUTO FLT AP OFF</u> <u>F/CTL ALTN LAW</u> (PROT LOST) -MAX SPEED.....330/.82 <u>AUTO FLT</u> <u>REAC W/S DET FAULT</u></p>	

Toujours aucun lien vers la panne des sondes Pitot

H + 6 s :

- Première alarme STALL furtive et incomplète ignorée par les pilotes car considérée comme injustifiée.
- Par ailleurs une procédure de secours rappelle :
 - « **RISK OF INDUE STALL WARNING** »
- Cette alarme STALL est connue des équipages pour ses déclenchements injustifiés.
- L'enquête démontre que les équipages ayant été confrontés à cette alarme STALL n'y ont pas cru pas et ont ignoré cette alarme.

H + 7 s :

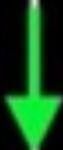
- Les pilotes constatent qu'ils ont perdu leurs vitesses.
- Une panne parmi les pannes.
- **Toujours aucun lien vers la panne des sondes Pitot**
- Alarmes sonores C-Chord et Single Chime.

H + 5 s : durée de l'affichage 5 secondes

ECAM à 02:10:10	
<p><u>AUTO FLT AP</u> OFF</p> <p><u>AUTO FLT A/THR</u> OFF</p> <p>-THR LEVERS.....MOVE</p> <p><u>F/CTL ALTN LAW</u> (PROT LOST)</p> <p>-MAX SPEED.....330/.82</p> <p><u>AUTO FLT</u></p>	

Toujours aucun lien vers la panne des sondes Pitot

H + 10 s : Durée de l'affichage 5 secondes

ECAM à 02:10:15	
<p><u>AUTO FLT</u> AP OFF ENG THRUST LOCKED -THR LEVERS.....MOVE <u>AUTO FLT</u> A/THR OFF -THR LEVERS.....MOVE <u>F/CTL</u> ALTN LAW (PROT LOST)</p>	<p>AUTO FLT</p> 

Toujours aucun lien vers la panne des sondes Pitot

H + 14 s : Affichage pendant 4 secondes

ECAM à 02:10:19	
<p><u>AUTO FLT AP OFF</u> <u>ENG THRUST LOCKED</u> -THR LEVERS.....MOVE <u>AUTO FLT A/THR OFF</u> -THR LEVERS.....MOVE <u>F/CTL ALTN LAW</u> (PROT LOST)</p>	<p>F/CTL AUTO FLT</p> 

Toujours aucun lien vers la panne des sondes Pitot

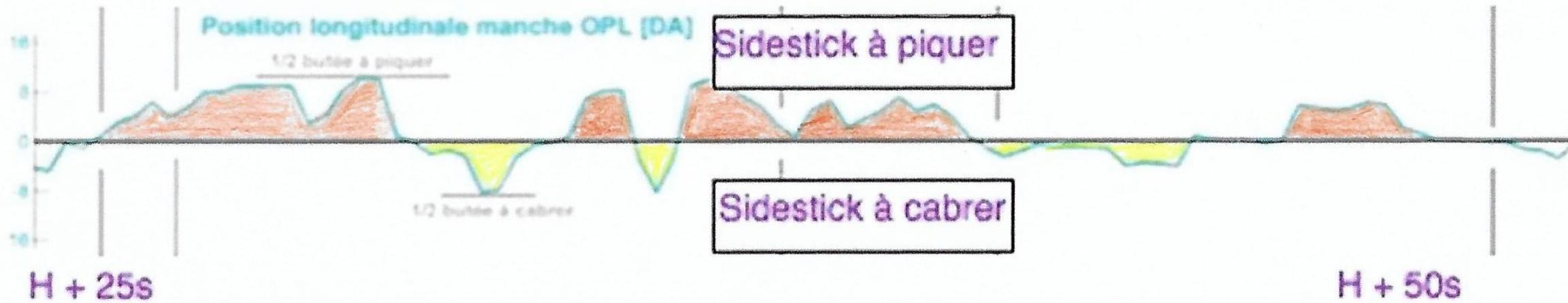
H + 19 s

ECAM à 02:10:24	
<u>AUTO FLT</u> AP OFF	AUTO FLT
<u>AUTO FLT</u> A/THR OFF	
<u>F/CTL</u> ALTN LAW	
(PROT LOST)	
-MAX SPEED.....330/.82	
<u>F/CTL</u>	
RUD TRV LIM FAULT	



Toujours aucun lien vers la panne des sondes Pitot

Sidestick H + 25s à H + 50s



H + 36 s : « *Qu'est-ce que c'est que ça ?* »

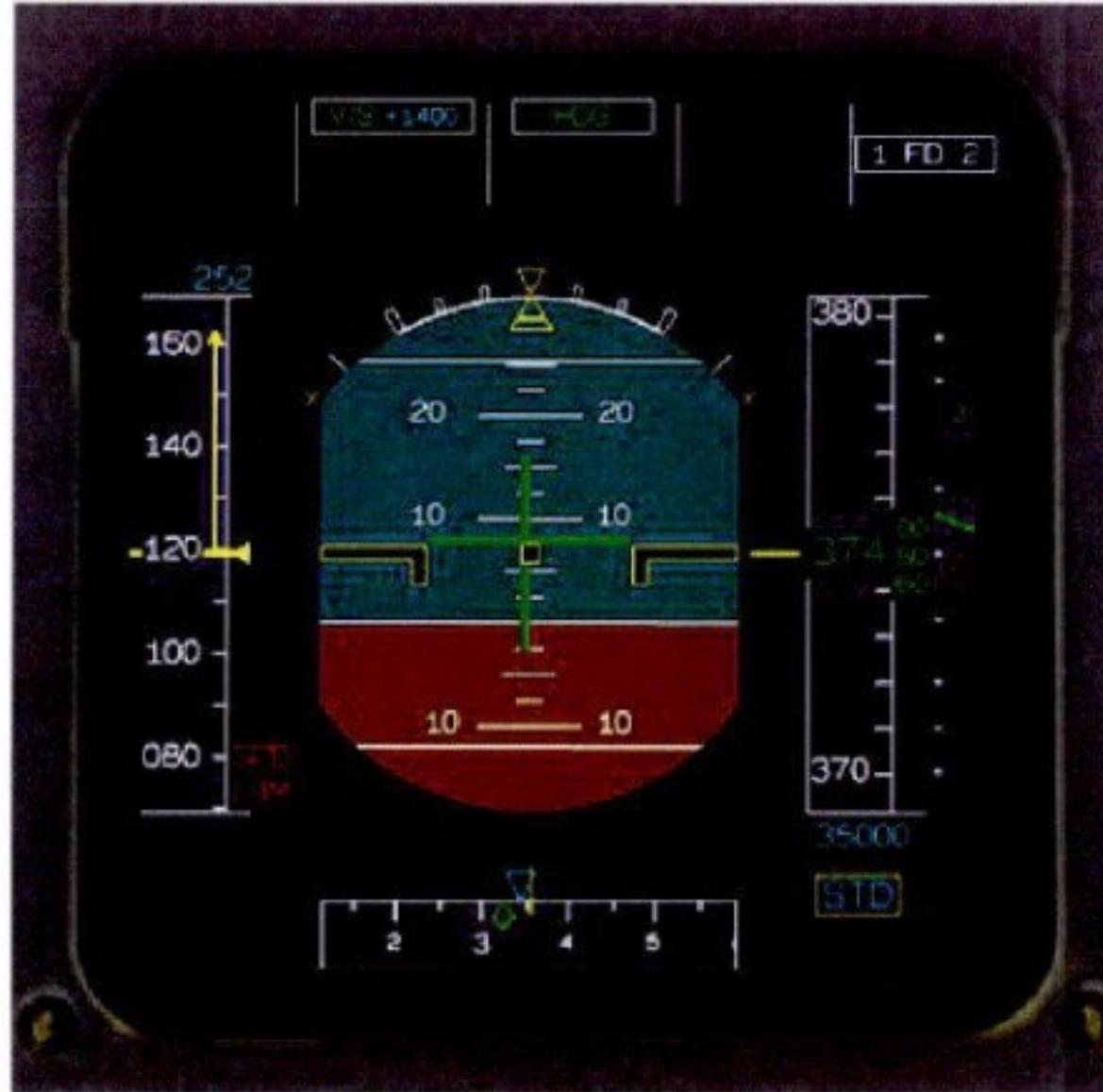
Incompréhension, doute, suspicion dans cette question du copilote

« Qu'est-ce que c'est que ça ? »

02h10.52

H + 47 s

STALL



H + 47 s

STALL



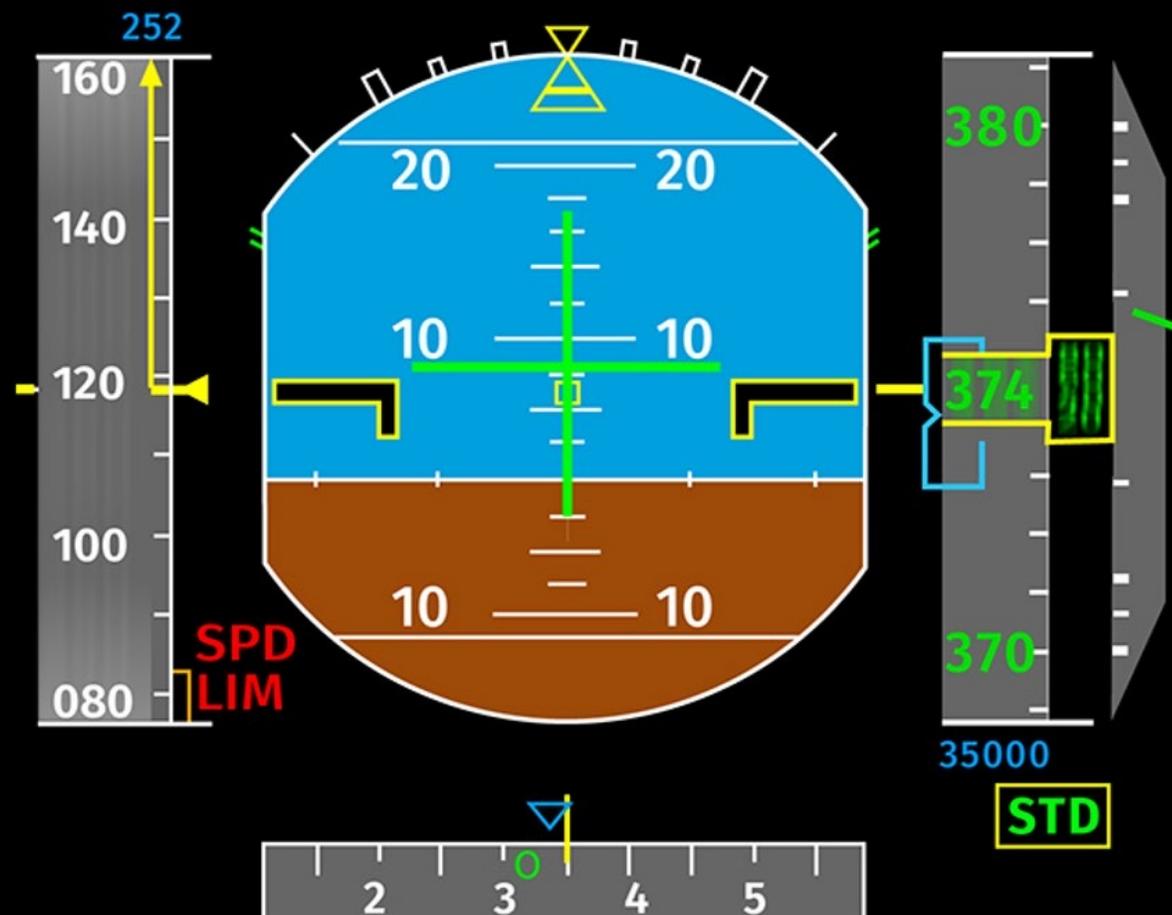
MASTER
WARN

MASTER
CAUT

V/S

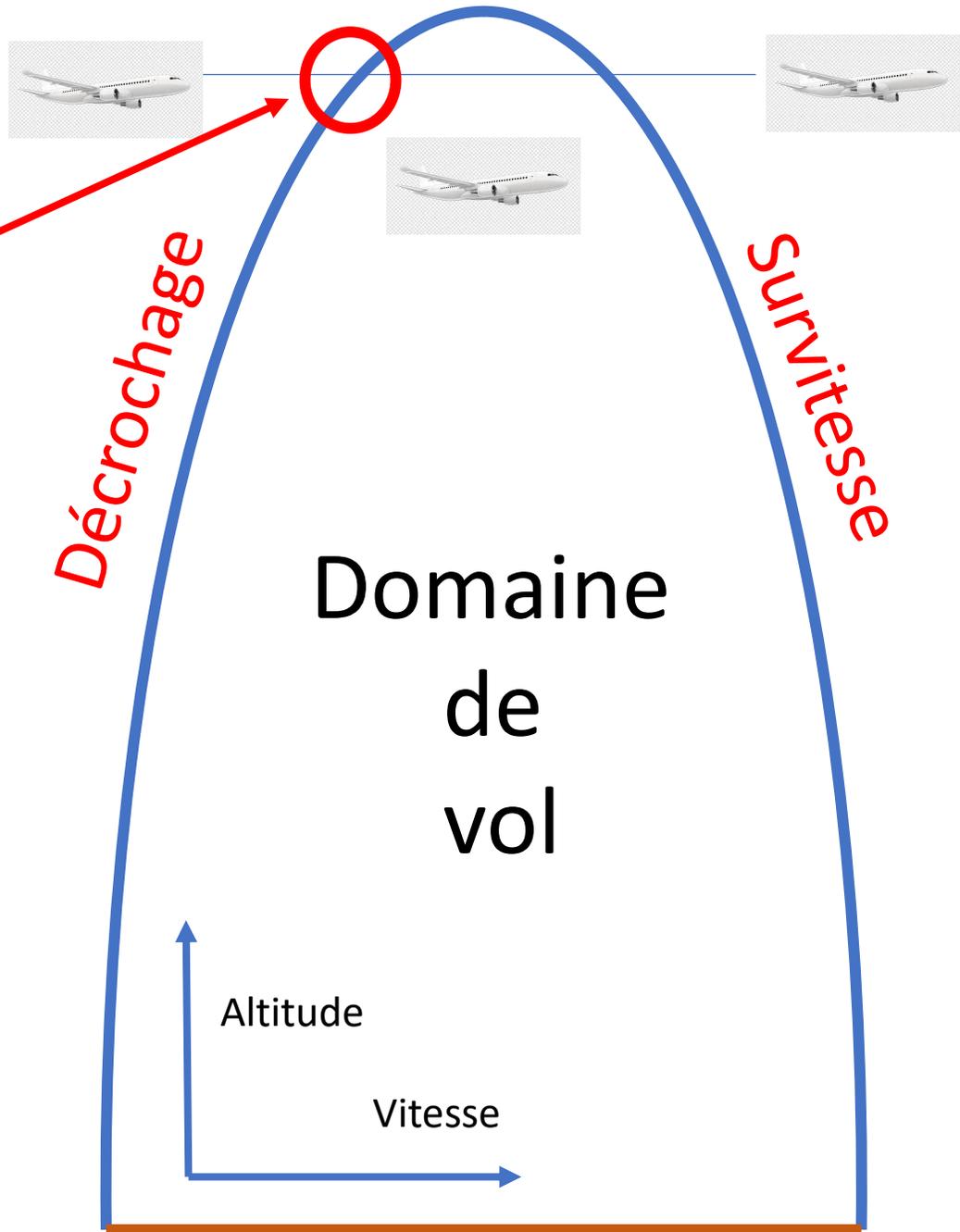
HDG

1 FD 2



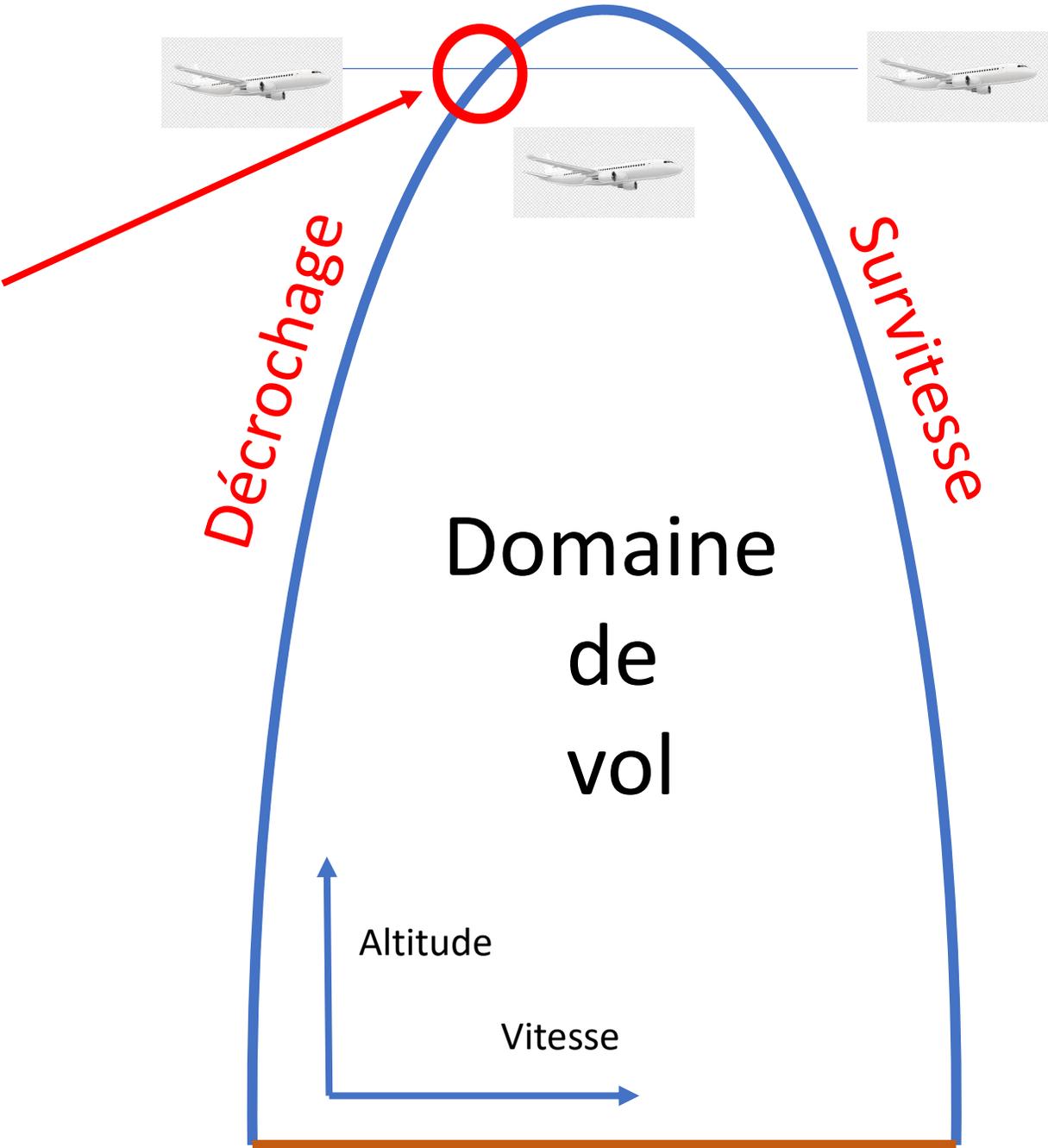
- Vitesse
- Incidence
- Vibrations
- Retour d'effort

STALL



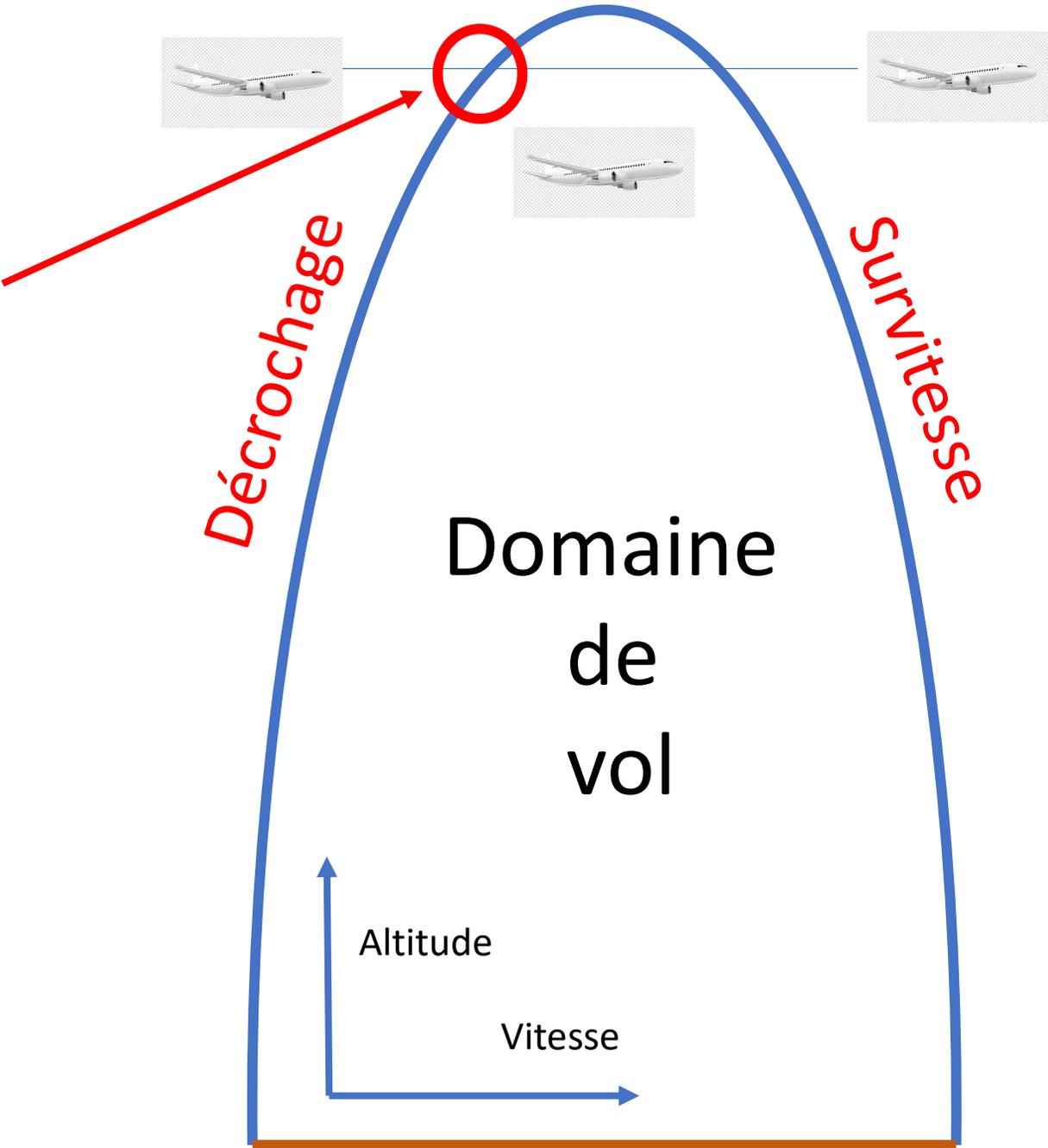
- ~~Vitesse~~
- Incidence
- Vibrations
- Retour d'effort

STALL 



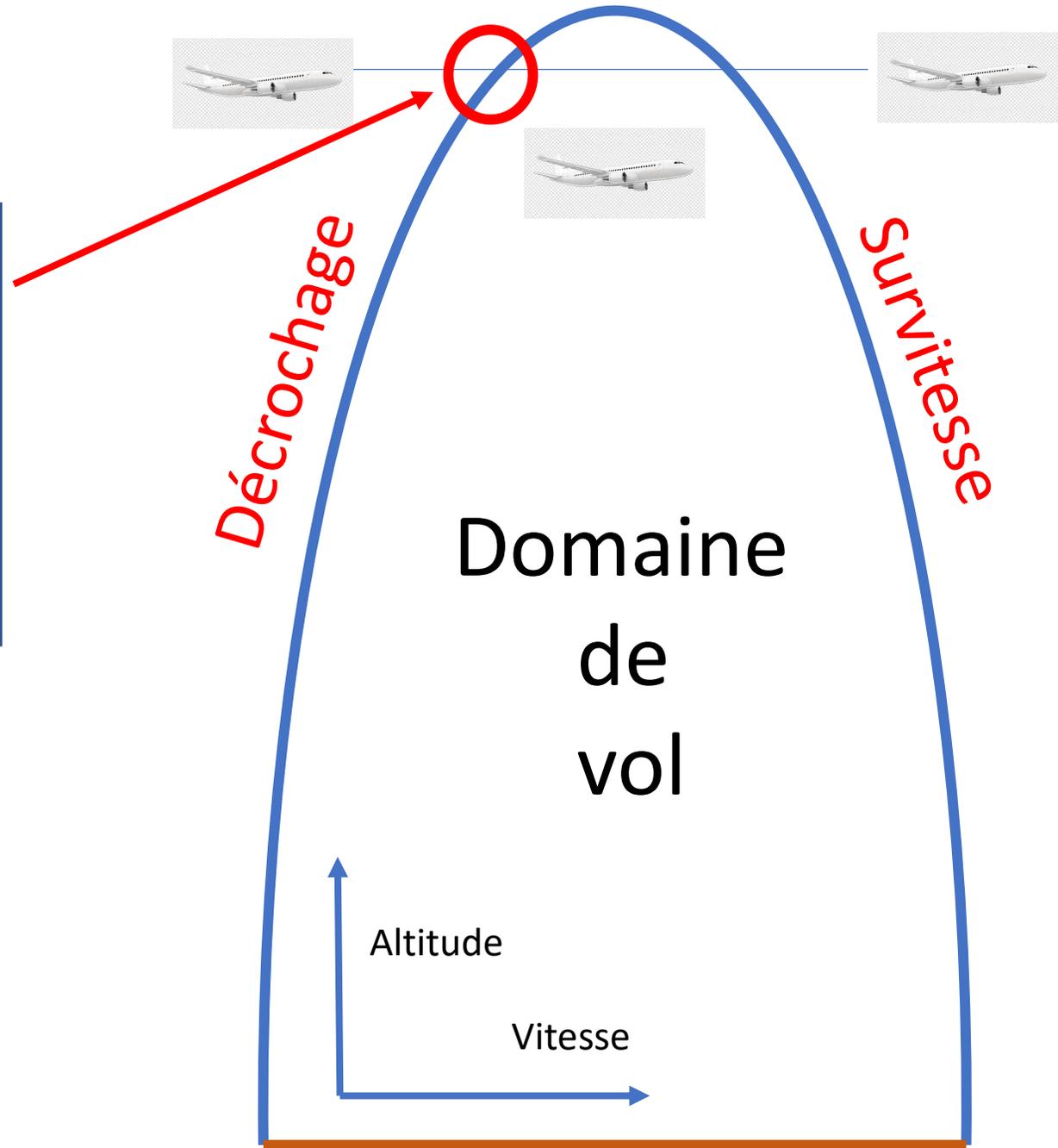
- ~~Vitesse~~
- ~~Incidence~~
- Vibrations
- Retour d'effort

STALL 



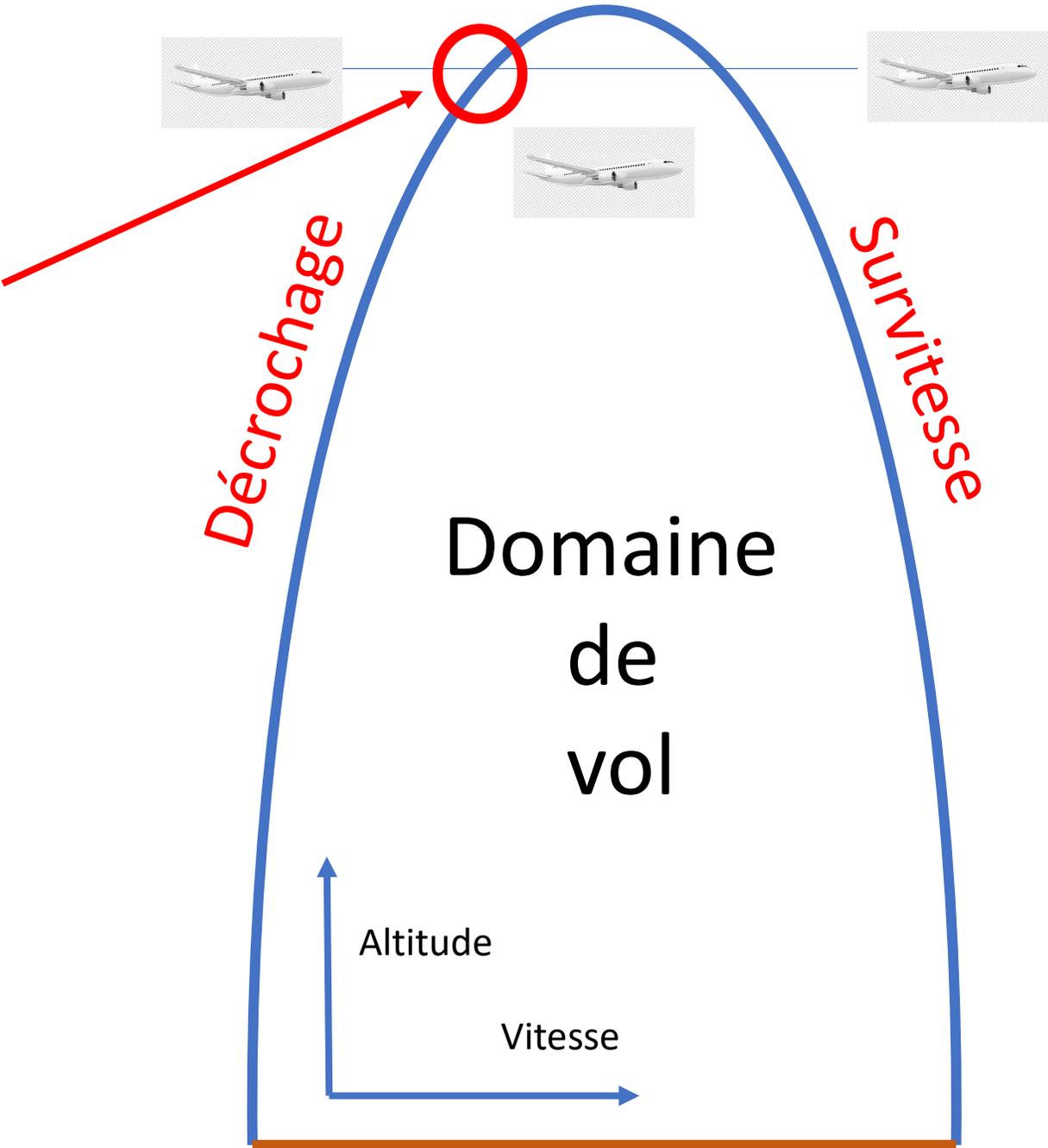
- ~~Vitesse~~
- ~~Incidence~~
- ~~Vibrations~~
- Retour d'effort

STALL 



- ~~• Vitesse~~
- ~~• Incidence~~
- ~~• Vibrations~~
- ~~• Retour d'effort~~

STALL ? 



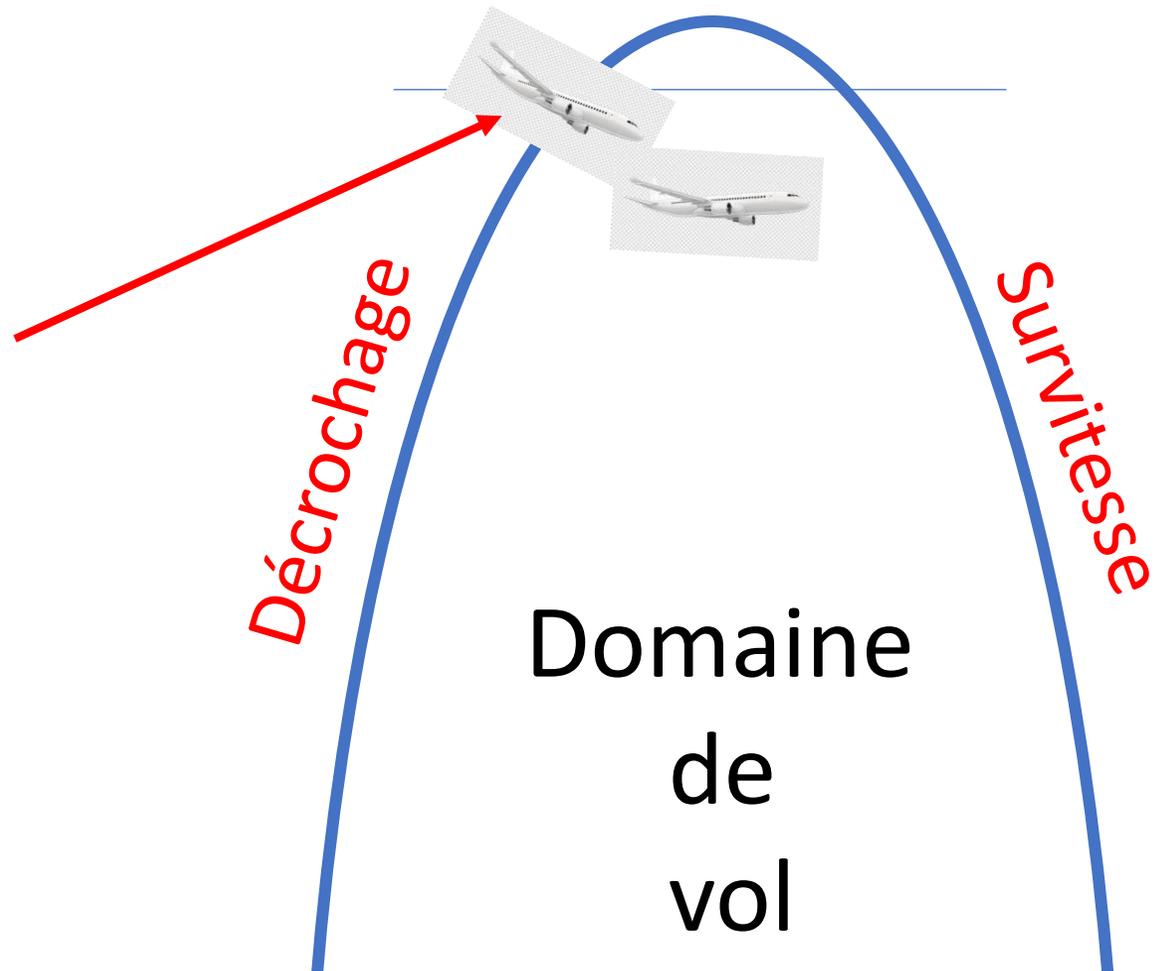
La Stabilité Longitudinale Neutre

- En Loi de pilotage ALTERNATE 2 L'A330 est en Stabilité Neutre
- Les Conditions Spéciales :

Control laws that result in neutral static stability ... may be accepted in principle subject to:

- *adequate speed control without **excessive pilot workload***
- *acceptable ... **low speed protection***

- **Ces deux conditions ne sont pas respectées**



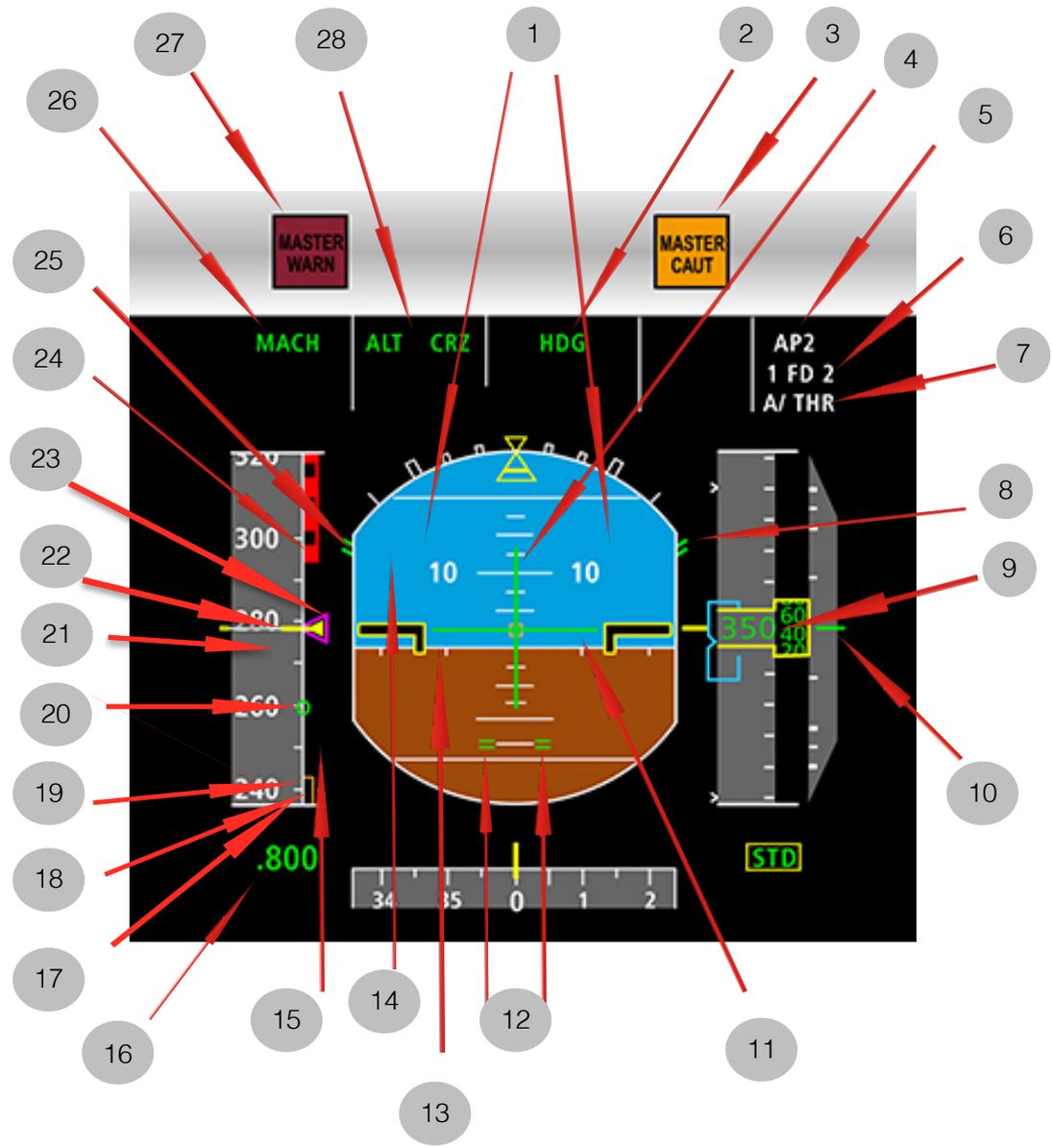
Si la protection basse vitesse avait été présente
l'AF447 n'aurait pas décroché

$H + 50 \text{ s}$

Fin de ces 50 secondes de vol, l'avion est sorti du domaine de vol connu et entre en décrochage

Appendice





Flèches rouges	
1	PLI Pitch Limit indicator H/S
2	Lateral navigation (HDG)
3	Master Caution Alarme ambre + Single chime
4	Barre de tendance latérale
5	AP Automatic Pilot
6	F/D Flight Director
7	A/THR Auto Thrust
8	Bank Angle (Protection d'inclinaison)
9	Altimètre
10	Variomètre
11	Barre de tendance verticale
12	Pitch Limit
13	FPV Flight Path Vector (alias le bird)
14	FD U/S
15	SPEED LIM Rouge
16	MACH
17	@MAX
18	@PROT
19	VLS
20	GREEN DOT
21	SPEED
22	Current Speed
23	Speed Target
24	MMO : Mach Maxi
25	Bank Angle (Protection d'inclinaison)
26	ENG MODE
27	MASTER WARNING rouge + Single Chime
28	Vertical Navigation (V/S)

NAV ADR DISAGREE

Le Grand Absent

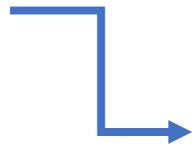
- Ce message ECAM apparu en première lecture lors du givrage des 3 sondes Pitot d'un A330-200 de la compagnie Air Caraïbes a permis aux pilotes de contrôler, avec difficultés, la situation.
- Absence de ce message ECAM en première lecture pour l'AF 447.
- Message affichée 2mn 39s plus tard, 2mn 39s trop tard.

Ce message ECAM NAV ADR DISAGREE aurait pu permettre à l'équipage d'identifier l'origine de la panne : les vitesses.

ECAM à 02:12:44	
<p><u>AUTO FLT AP OFF</u> <u>NAV ADR DISAGREE</u> -AIR SPD.....X CHECK •IF NO SPD <u>DISAGREE</u> -AOA <u>DISCREPANCY</u> •IF SPD <u>DISAGREE</u> -ADR CHECK PROC...APPLY</p>	<p>AUTO FLT F/CTL</p>

NAV ADR DISAGREE

- La panne ADR éliminée



- Vitesses vérifiées



- **IAS DOUTEUSES**

QRH



Une assiette, Une poussée, et la situation était assurée

Chronologie des ECAM par le BEA

- Noter l'entête :... « ordre de priorité ... » ...
- Noter que les heures des messages ECAM sont conformes à leur apparition dans les divers rapports.

sauf

- NAV ADR DISAGREE qui apparait en première lecture avec H + XX

Emplacement de la zone d'affichage des messages ECAM

Les messages générés pendant l'événement sont listés dans le tableau ci-dessous, par ordre de priorité et sous une forme proche de ce qu'elle est à l'affichage.

Note : le message NAV ADR DISAGREE est le seul de la séquence à s'accompagner d'une procédure ECAM.

Titre	Symptôme(s) théorique	Heure	Heure d'affichage
AUTO FLT AP OFF	cavalry charge + MW	02:10:05	02:10:05
NAV ADR DISAGREE -AIR SPD.....X CHECK •IF NO SPD DISAGREE -AOA DISCREPANCY •IF SPD DISAGREE -ADR CHECK PROC..APPLY	SC + MC	02:12:xx	02:12:xx
ENG THRUST LOCKED -THR LEVERS.....MOVE	SC + MC	02:10:08	02:10:15
AUTO FLT A/THR OFF -THR LEVERS.....MOVE	SC + MC	02:10:08	02:10:10
F/CTL ALTN LAW (PROT LOST) -MAX SPEED.....330/.82	SC + MC	02:10:06	02:10:08
F/CTL RUD TRV LIM FAULT RUD WITH CARE ABV 160 KT	SC + MC	02:10:18	02:10:19
F/CTL SEC 1 FAULT	SC + MC	02:10:06	02:10:06

*Messages ECAM
apparus pendant
l'événement*

(Légende :
MW : Master Warning,
MC : Master Caution,
SC : Single Chime)

FIN