

1. Introduction



14 février 2005

50 ans de Caravelle

Diapo. 3

Pourquoi l'atterrissement automatique ?

On sait faire voler automatiquement des avions depuis longtemps
Exemple

En 1946, un avion parti d'Amérique traverse l'atlantique et atterrit en Grande-Bretagne sans aucune intervention du pilote

En 1960

le pilote automatique n'est utilisé qu'en croisière et n'a pas d'action sur le contrôle de la poussée.

Conséquence

Par mauvaises conditions atmosphériques sur l'aéroport d'arrivée,
les avions ne décollent pas,
ils sont détournés si le mauvais temps est rencontré pendant le vol.
=> Manque de régularité des vols désagrément pour les passagers
=> Manque à gagner désagrément pour les compagnies.

Une étude américaine de 1963 évalue un gain potentiel de 25 millions de Dollars de l'époque si les avions de transport pouvaient atterrir « tout temps »

La motivation est encore plus grande en Europe où les conditions atmosphériques sont plus sévères (brouillards d'hiver notamment).

14 février 2005

50 ans de Caravelle

Diapo. 4

Sécurité en approche automatique

Par bonne visibilité, le guidage et la sécurité peuvent être assurés par le pilote (éventuellement assisté d'un automatisme) car celui-ci voit la position de l'avion par rapport au sol.

Par visibilité réduite, le pilote ne peut assurer ce rôle que partiellement, pour permettre malgré tout l'opération des avions, des automatismes sont utilisés

→ Le guidage automatique est basiquement un asservissement sur la trajectoire définie par l'ILS (Instrument Landing System), installation aéroportuaire précise et sûre (dérivée d'un système militaire de la 2^{nde} guerre mondiale)

→ La sécurité est assurée à 3 niveaux !

- * une auto-surveillance des systèmes de l'avion
- * une surveillance de la trajectoire par rapport à l'axe ILS (écart excessifs)
- * le jugement du pilote au moment où il voit le sol

Plus la visibilité est réduite, plus les automatismes doivent être :

- * performants
- * sûrs

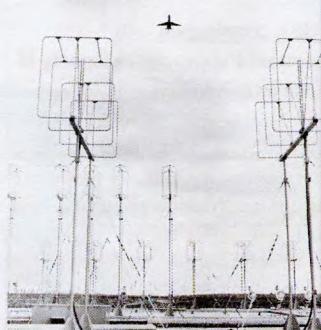
14 février 2005

50 ans de Caravelle

Diapo. 5

L'ILS

Avion survolant les
antennes LOCALISE
(guidage latéral)



L'ILS comprend

- * un faisceau **LOCALIZER** définissant un plan vertical passant par l'axe de la piste
- * un faisceau **GLIDE SLOPE** définissant un plan de descente (pente ~3°)
- * un ensemble de moyens assurant la sécurité auto-surveillance redondance moniteurs proches et lointains

L'intersection des deux plans de l'ILS est la trajectoire idéale que doit suivre l'avion (hors phase finale avant le toucher des roues)

14 février 2005

50 ans de Caravelle

Diapo. 6

Réglementation OACI

Sur la base des travaux anglais (groupe BLEU : Blind Landing Experimental Unit) pour le Trident et franco-américains pour Caravelle, l'OACI a défini des catégories d'atterrisseage.

Une catégorie fait intervenir

- * les performances et les niveaux de surveillance et de redondance des installations ILS
- * les caractéristiques de la piste (longueur/largeur, éclairage, ...)
- * la visibilité caractérisée par

- * Une visibilité verticale, mesurée indirectement en vol via la **hauteur de décision (HD/DH)**

(hauteur à laquelle le pilote doit avoir acquis des références visuelles du sol
=> rôle du radioaltimètre)

- * Une visibilité horizontale, mesurée au sol par la **portée visuelle de piste (PVP/RVR)**

(mesure au sol de l'opacité de l'air
=> rôle des transmissiomètres)

	Cat I	Cat II	Cat IIIa	Cat IIIb	Cat IIIc
HD (pieds)	200	100	< 50	< 25	0
PVP (mètres)	800	400	200	0	0

14 février 2005

50 ans de Caravelle

Diapo. 7

Objectifs pour Caravelle

Le programme ATT de Caravelle a été défini par
Monsieur Jacques LEPERS
pour atteindre par étapes les minima opérationnels de la catégorie IIIa telle que définie par l'OACI

- * Fiabilisation du pilote automatique
(germanium remplacé par silicium)

- * Adjonction de « coupleurs »
permettant l'approche **catégorie II**
(arrondi en provision)

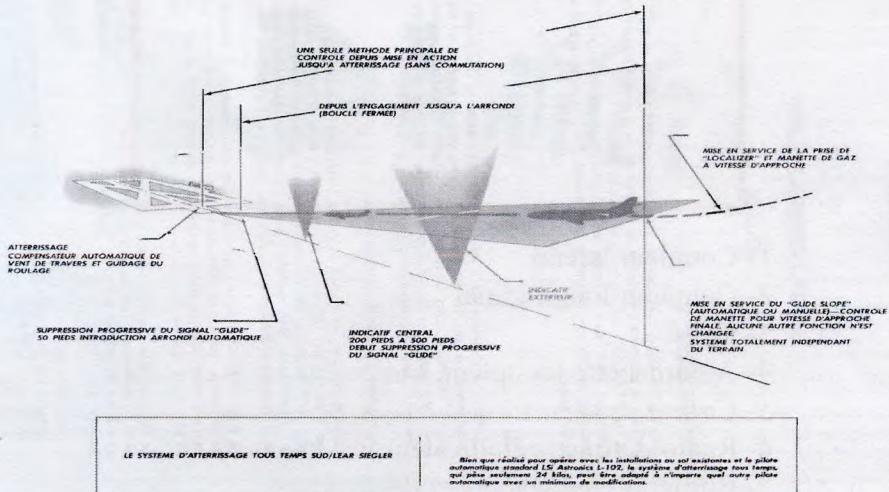
- * Activation de l'arrondi pour l'atterrisseage
et
Adjonction d'un « coffret de sécurité »
pour la **catégorie III a.**

14 février 2005

50 ans de Caravelle

Diapo. 8

Principes de base de l'ATT Caravelle

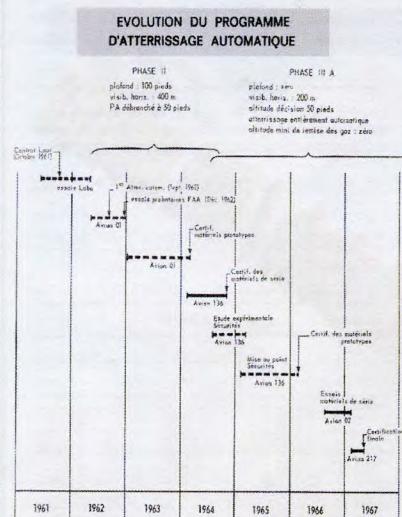


14 février 2005

50 ans de Caravelle

Diapo. 9

Calendrier du développement



Lear Siegler (le fournisseur du pilote automatique) a développé les « coupleurs » pour la Cat II :
coupleur latéral (guidage LOC)
coupleur longitudinal (guidage GLIDE + arrondi)
IVVC (mesure de la vitesse verticale)
automanette (régulation de la vitesse)

Sud Aviation a développé le « coffret de sécurité » en utilisant et complétant la technologie de la Cat II

TRT a été associé au programme pour développer un Radio-altimètre (mesure précise de la hauteur des roues par rapport au sol)

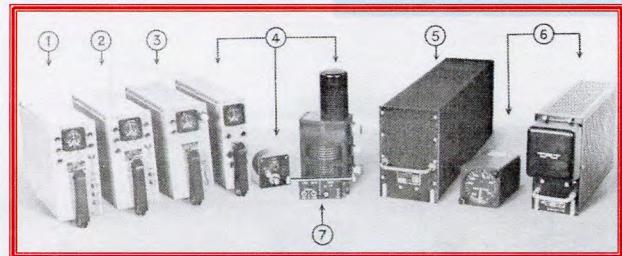
Sud Aviation a fait l'intégration et la validation des différentes étapes

14 février 2005

50 ans de Caravelle

Diapo. 10

Équipements participant à l'ATT



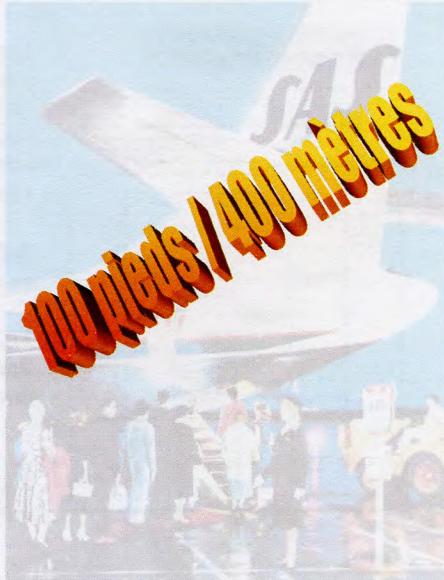
- 1- Coupleur latéral
- 2- Coupleur longitudinal
- 3- IVVC
- 4- Automanette (coupleur, indicateur, servomoteur)
- 5- Coffret de sécurité (*pour Catégorie III seulement*)
- 6- Radio Altimètre (indicateur, calculateur)
- 7- Boîtier d'engagement et de sélection

14 février 2005

50 ans de Caravelle

Diapo. 11

2. La catégorie II

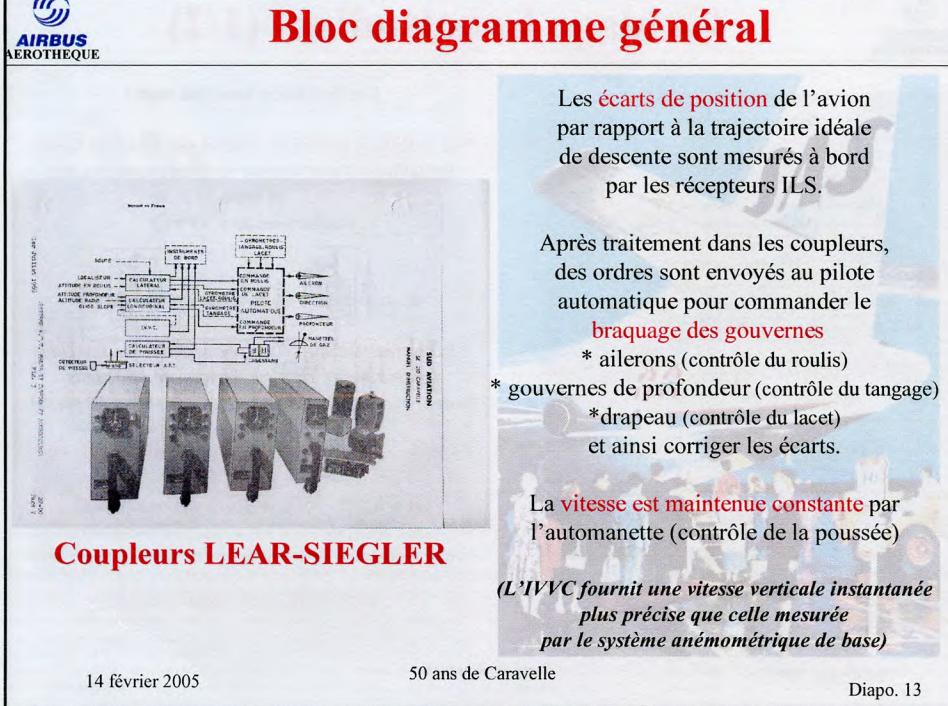


14 février 2005

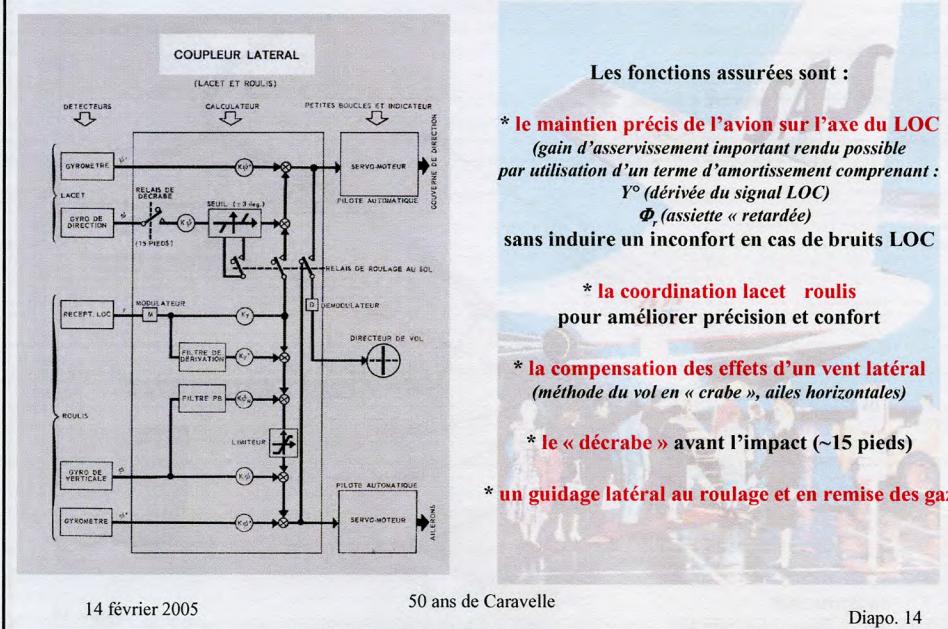
50 ans de Caravelle

Diapo. 12

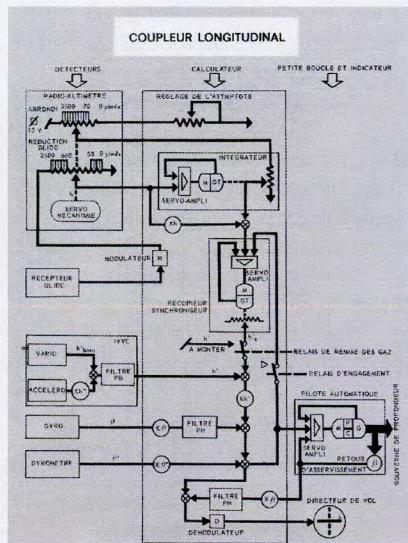
Bloc diagramme général



Guidage Latéral



Guidage Longitudinal (1/2)



14 février 2005

50 ans de Caravelle

Les fonctions assurées sont :

* le maintien précis de l'avion sur l'axe du Glide
utilisation d'une vitesse verticale instantanée
précise
(utilisation de l'IVVC)

et
en association avec le radioaltimètre :

* la compensation de la convergence du faisceau
(réduction de gain en dessous de 600 pieds
gain progressivement annulé entre 100 et 50 pieds)

* la commande d'un arrondi en dessous de 50
pieds
($H = k \cdot H^\circ \Rightarrow$ trajectoire exponentielle)
(utilisation de l'IVVC et du radioaltimètre)

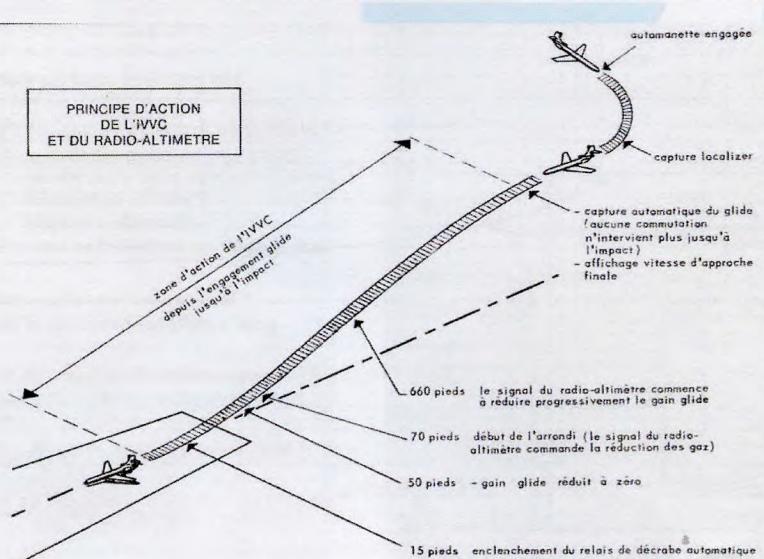
Non opérationnel, hors entraînement, dans l'étape Cat. 2

* un guidage en remise des gaz

Diapo. 15

Guidage Longitudinal (2/2)

PRINCIPE D'ACTION
DE L'IVVC
ET DU RADIO-ALTIMETRE



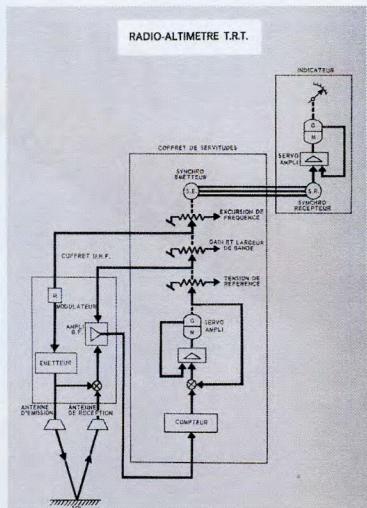
14 février 2005

50 ans de Caravelle

Diapo. 16



Le radioaltimètre



14 février 2005

50 ans de Caravelle

Diapo. 17

Les fonctions assurées sont :

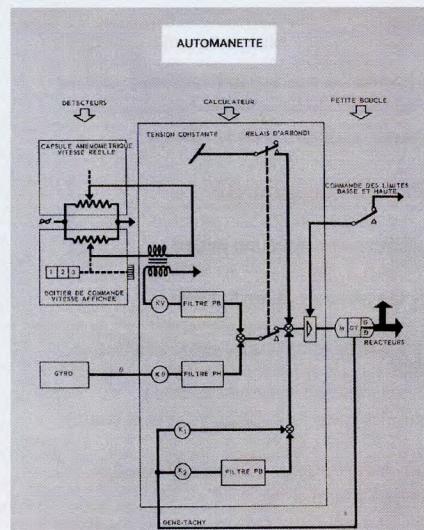
- * mesure précise de la hauteur des roues par rapport au terrain survolé
 - système radar
 - grande dynamique (auto-compensation)
 - mesure de temps par glissement de fréquence
 - compensation de l'effet Doppler

* indication sur la planche de bord

- * pour le système ATT :
 - compensation de la convergence du Glide
 - commande du décrabe
 - contrôle de l'arrondi



Le maintien de vitesse



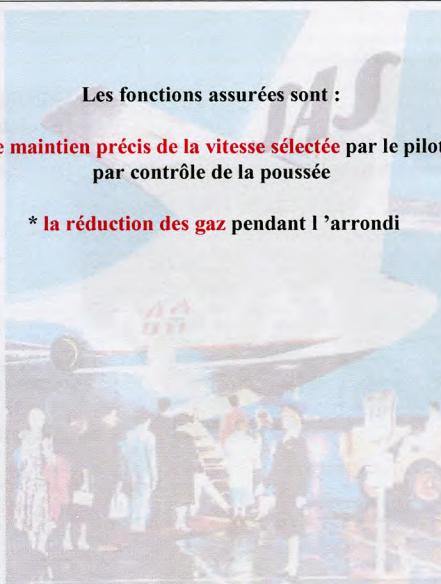
14 février 2005

50 ans de Caravelle

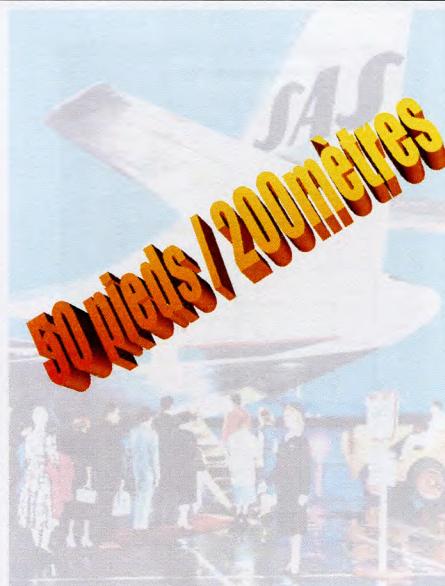
Diano 18

Les fonctions assurées sont :

- * le maintien précis de la vitesse sélectionnée par le pilote par contrôle de la poussée
 - * la réduction des gaz pendant l'arrondi



3. LA CATEGORIE III

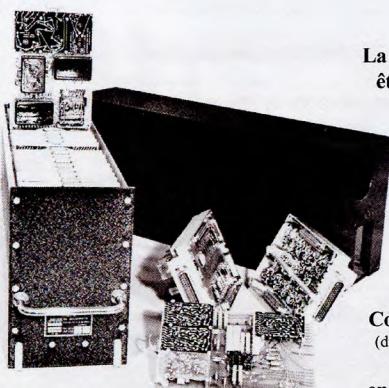


14 février 2005

50 ans de Caravelle

Diapo. 19

Les sécurités



La visibilité étant réduite en Cat III, des sécurités doivent être rajoutées pour prévenir les effets des pannes et/ou des sous-performances ; c'est le rôle du :

Coffret de sécurité

qui réalise une protection active
et
fournit des alarmes pour le pilote.

Contrairement aux autres solutions en expérimentation,
(duplications pour surveillance directe du système et des ordres qu'il élabore)
le principe développé par Sud-Aviation
en utilisant la technologie de Lear-Siegler est le suivant :

- 1- surveillance des mouvements de l'avion lui-même
- 2- vérification en fin d'approche
que les évolutions restent dans un domaine sûr.

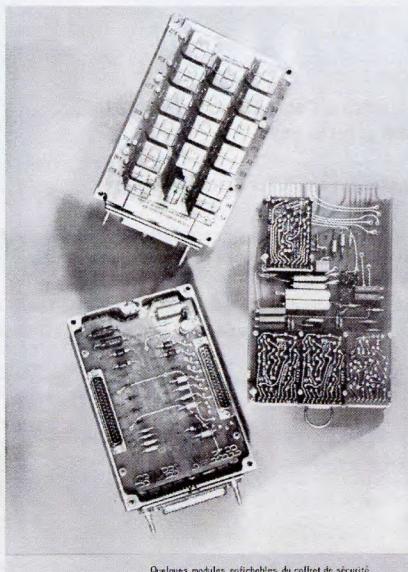
Coffret de Sécurité (Technologie)

14 février 2005

50 ans de Caravelle

Diapo. 20

Technologie du coffret de sécurité



Quelques modules enrobables du coffret de sécurité

14 février 2005

50 ans de Caravelle

LEAR-SIEGLER a mis à disposition son « mécano » de modules électroniques utilisant la technique d'un signal de 400 Hz d'amplitude fixe modulé en phase et permettant de faire du calcul. (amplification, dérivation, filtrages divers)

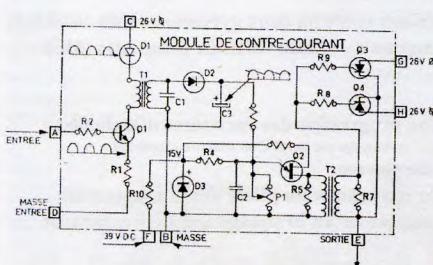
Des modules complémentaires ont été développés par **SUD-AVIATION**.

Les logiques (élaboration des alarmes notamment) ont été réalisées en utilisant des relais activés par les calculs.



Diapo. 21

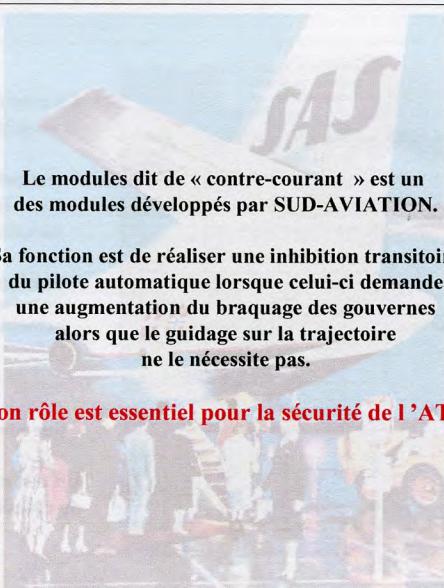
Module contre-courant



Le module dit de « contre-courant » est un des modules développés par **SUD-AVIATION**.

Sa fonction est de réaliser une inhibition transitoire du pilote automatique lorsque celui-ci demande une augmentation du braquage des gouvernes alors que le guidage sur la trajectoire ne le nécessite pas.

Son rôle est essentiel pour la sécurité de l'ATT

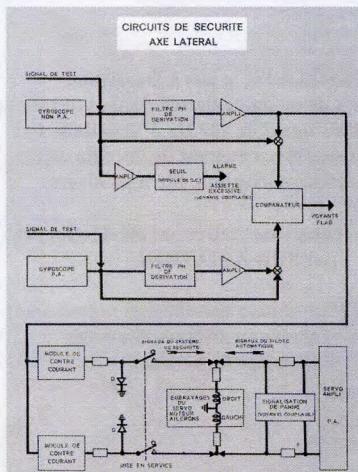


14 février 2005

50 ans de Caravelle

Diapo. 22

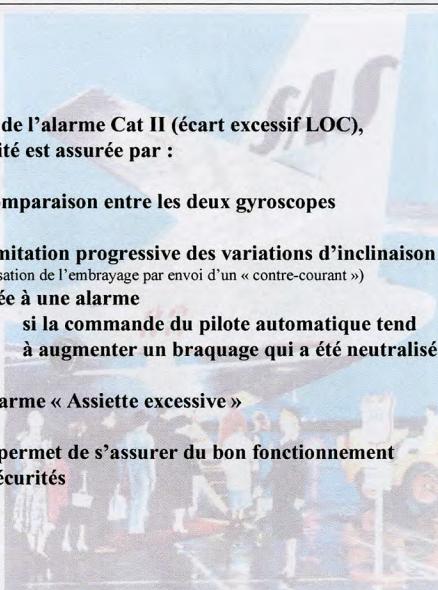
Sécurité sur l'axe latéral



En plus de l'alarme Cat II (écart excessif LOC), la sécurité est assurée par :

- * une comparaison entre les deux gyroscopes
- * une limitation progressive des variations d'inclinaison (neutralisation de l'embrayage par envoi d'un « contre-courant ») associée à une alarme si la commande du pilote automatique tend à augmenter un braquage qui a été neutralisé
- * une alarme « Assiette excessive »

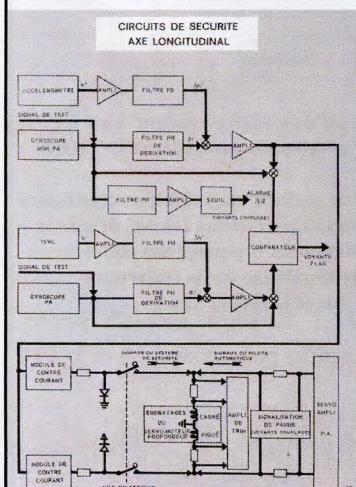
Un test permet de s'assurer du bon fonctionnement de ces sécurités



14 février 2005

Diapo. 23

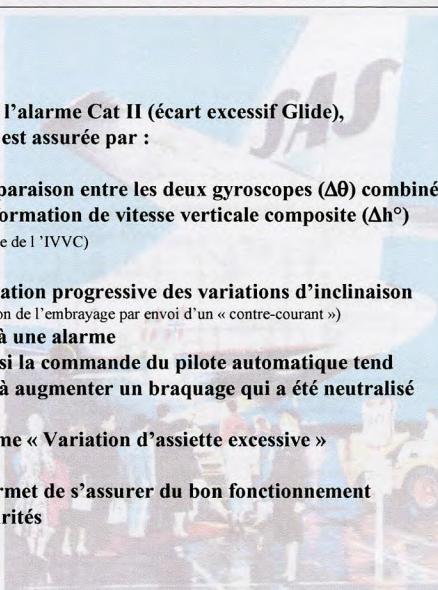
Sécurité sur l'axe longitudinal



En plus de l'alarme Cat II (écart excessif Glide), la sécurité est assurée par :

- * une comparaison entre les deux gyroscopes ($\Delta\theta$) combinés à une information de vitesse verticale composite (Δh°) (surveillance de l 'IVVC)
- * une limitation progressive des variations d'inclinaison (neutralisation de l'embrayage par envoi d'un « contre-courant ») associée à une alarme si la commande du pilote automatique tend à augmenter un braquage qui a été neutralisé
- * une alarme « Variation d'assiette excessive »

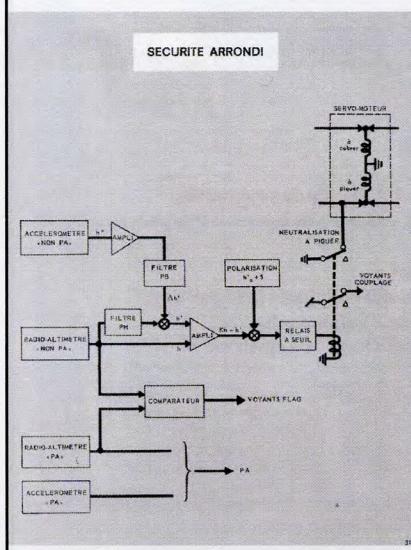
Un test permet de s'assurer du bon fonctionnement de ces sécurités



14 février 2005

Diapo. 24

Sécurité de l'arrondi



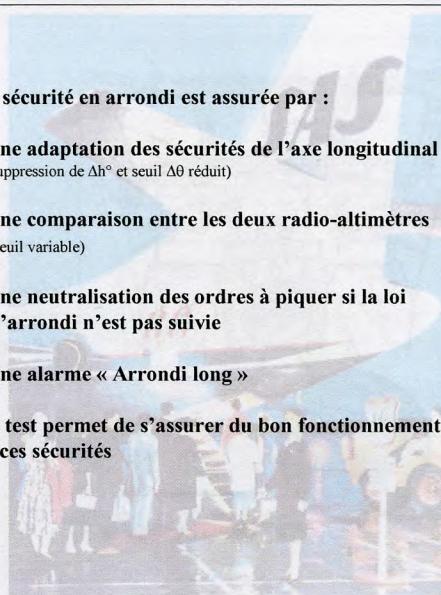
14 février 2005

50 ans de Caravelle

La sécurité en arrondi est assurée par :

- * une adaptation des sécurités de l'axe longitudinal (suppression de Δh^* et seuil $\Delta\theta$ réduit)
- * une comparaison entre les deux radio-altimètres (seuil variable)
- * une neutralisation des ordres à piquer si la loi d'arrondi n'est pas suivie
- * une alarme « Arrondi long »

Un test permet de s'assurer du bon fonctionnement de ces sécurités



Diapo. 25

4. INTEGRATION AVION

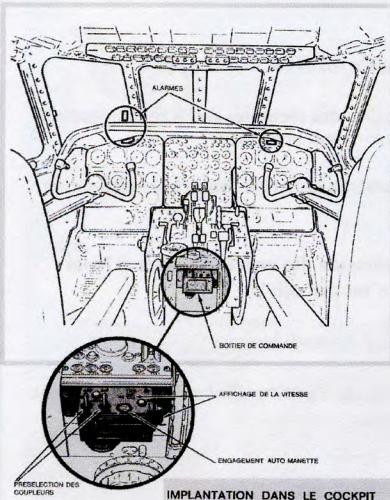


14 février 2005

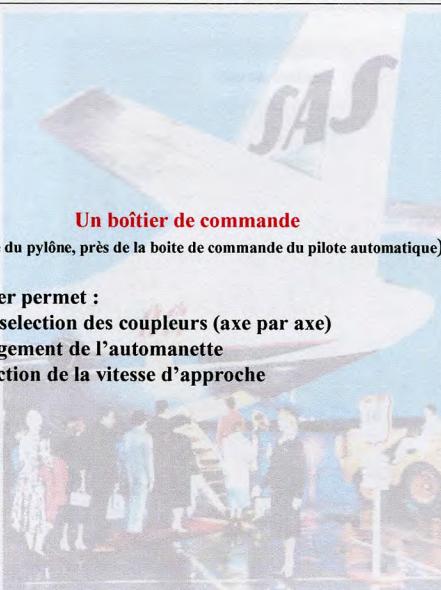
50 ans de Caravelle

Diapo. 26

Implantation dans le cockpit (1/2)



14 février 2005



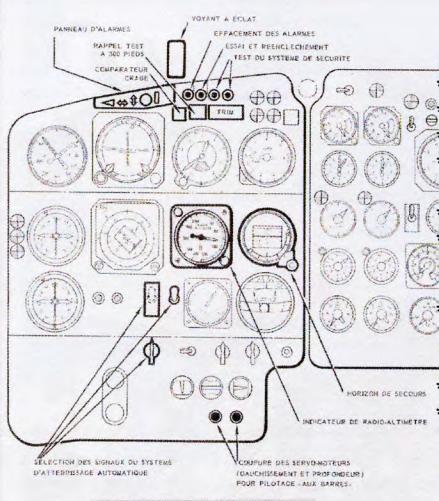
Un boîtier de commande
(à l'arrière du pylône, près de la boîte de commande du pilote automatique)

Ce boîtier permet :

- * la pré sélection des coupleurs (axe par axe)
- * l'engagement de l'automanette
- * la sélection de la vitesse d'approche

Diapo. 27

Implantation dans le cockpit (2/2)



14 février 2005



Des voyants d'alarmes

- * « Ecart excessifs » LOC et Glide
- * « Flag » répétant les alarmes des différents détecteurs
- * « Couplage » comprenant en plus les alarmes internes
- * « Gaz » signalant la perte de l'automanette et aussi
- * « Test » pour le rappel du test à faire
- * « Décrabe » signalant une anomalie de la fonction enfin
- (au dessus de la planche, coté pilote seulement)
- * un voyant « à éclat » pour synthétiser les alarmes.

Divers pousoirs

- * déclenchement du test
- * effacement des alarmes

Diapo. 28

5. Les essais en vol



14 février 2005

50 ans de Caravelle

Diapo. 29

Expérimentation



Le **29 septembre 1962**, la CARAVELLE 01 faisait son premier atterrissage automatique

Du **10 au 12 décembre 1962**, les Services officiels :
* français (CEV pour le compte de la DGAC)
* et américains (FAA)
effectuaient 20 atterrissages automatiques.

L'avion totalisera près de 1500 approches automatiques.



14 février 2005

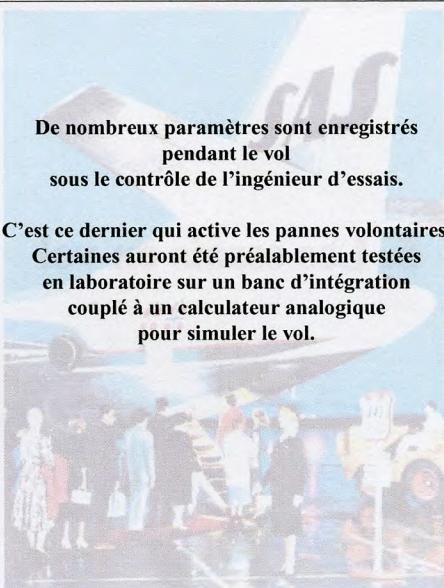
50 ans de Caravelle

Diapo. 30

L'ingénieur d'essais



14 février 2005



50 ans de Caravelle

Diapo. 31

De nombreux paramètres sont enregistrés pendant le vol sous le contrôle de l'ingénieur d'essais.

C'est ce dernier qui active les pannes volontaires. Certaines auront été préalablement testées en laboratoire sur un banc d'intégration couplé à un calculateur analogique pour simuler le vol.

Certification

Le **4 février 1964**, la CARAVELLE 136, une VIR, faisait son premier atterrissage automatique.

Le **20 mars 1964**, après 160 approches automatiques, elle commençait les essais de certification. Du 18 au 28 mai, elle effectuait le « route proving » (une tournée européenne de 18 aérodromes différents).



La certification française **Cat II** fut accordée le **25 septembre 1964**

après 1279 approches automatiques, dont :

- * 332 terminées par un atterrissage automatique
- * 156 terminées au directeur de vol

De nombreuses pannes « volontaires »

furent expérimentées durant ces essais.

De nombreux atterrissages avec visibilité réduite, réelle ou simulée, furent réalisés.

La certification **Cat III** a été accordée **fin 65**

Les modèles III, VIN, 10B3 et 12 furent ensuite certifiés.

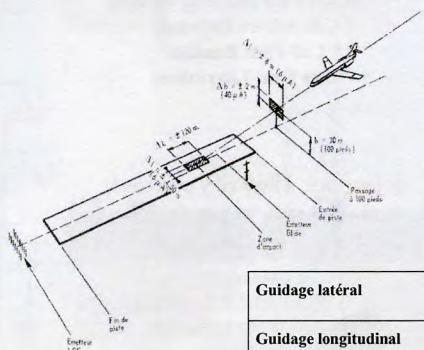
14 février 2005

50 ans de Caravelle

Diapo. 32

Résultats

PERFORMANCES A 95% (2 écarts types) RESULTANT
DE PLUSIEURS MILLIERS D'ESSAIS



Le bon fonctionnement est assuré avec :

- * vent debout de 28 kt
- * Vent arrière de 14 kt
- * vent latéral de 16 kt
- * turbulence de 8 kt

Valeurs au passage des 30m (100 pieds)

Norme	Résultats obtenus dans 95% des cas (écart 2σ)
Guidage latéral	± 15 m
Guidage longitudinal	± 3,5 m
Tenue de vitesse par l'automate	± 5 kt en régime permanent
	± 2,5 kt par temps calme

Guidage latéral en remise des gaz : ± 10 m

14 février 2005

50 ans de Caravelle

Diapo. 33

6. Début d'exploitation



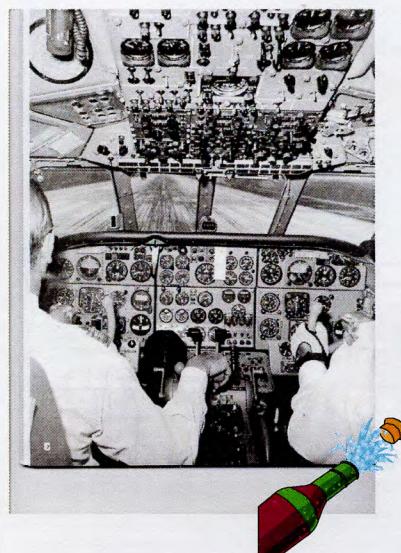
14 février 2005

50 ans de Caravelle

Diapo. 34



Les premiers pas avec AIR INTER



14 février 2005

15 octobre 1968

Vol d'entraînement en conditions réelles de brouillard

Trois « ATT » tentés et réussis

- * Cdt Albert Dubreuil
- * Cdt Paul Boudier
- * Cdt Paul Larribière

9 janvier 1969 (il y a 36 ans !)

Première mondiale

Avec 56 passagers à bord

la CARAVELLE F.BNKH

(Cdt de bord : Paul LARRIBIÈRE)

réalisé à Orly

le premier atterrissage opérationnel « tout temps »
avec visibilité réduite.

(visibilité horizontale : 200 m, plafond : 20 m)

50 ans de Caravelle

Diapo. 35