

L'instrumentation *En Vol-à-Voile*

O. Dupont

19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

1



Objectif de l'exposé

- *Instrumentation:*
 - Généralités
 - Instrumentation pneumatique
 - Variométrie
- *Utilisation de la variométrie en vol:*
 - Optimisation de la distance franchissable
 - Optimisation de la vitesse de transition
 - Optimisation de la vitesse dans l'ascendance
- *Le calculateur de vol*
- *Comment choisir son circuit*

19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

2

L'instrumentation

- **Définition:** Outil servant à quantifier une grandeur physique ou une combinaison de grandeurs physiques.
- **Caractéristiques d'un instrument:**
 - quelle est la **variable** mesurée?
 - quelles sont les **conditions** de mesure?
 - Quelle est la **précision** de la mesure?

19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

3

• Types d'instruments

- **contrôle du vol:**
 - Anémomètre; Altimètre; Variomètre; Bille/fil de laine; Indicateur de virage; Horizon artificiel.
- **Aides à la navigation:**
 - Compas; GPS; (cartes?!)...
- **Aides à la communication:**
 - Radio; Transpondeur...

19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

4

Les instruments pneumatiques

Ils sont au nombre de trois:

- Altimètre, Anémomètre et Variomètre

Dans le planeur, on a accès à 3 types de pression:

- la pression statique
- la pression totale: p statique + p dynamique
- la pression d'antenne: p statique - p dynamique

19/02/2000

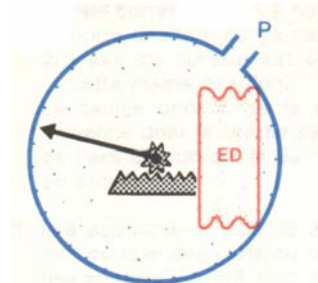
O. Dupont; CAP VAV

5

L'altimètre

- Il mesure pression statique
- la pression statique mesurée est traduite en altitude
- l'échelle d'altitude
 - Relative (setting)
 - Calibrée par rapport à une atmosphère standard
 - QNH; QFE.

p pression statique
 q pression dynamique
 ed: capsule anéroïde

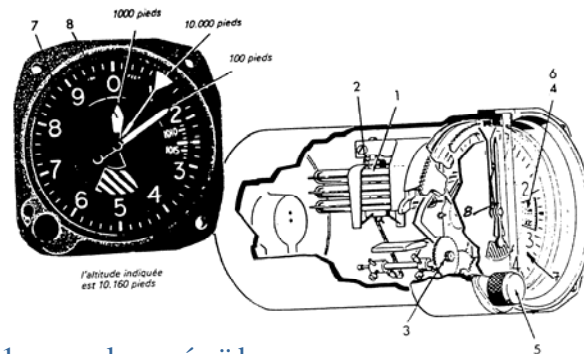


19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

6

L'altimètre



- 1: capsules anéroïdes
- 2: bilame (comp. Thermique)
- 4: couronne graduée en pression
- 5: vis de calage

19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

7

Erreurs de l'altimètre:

- **liées à l'instrument et/ou à son installation**
 - frottements mécaniques
 - défaut d'étanchéité du boîtier ou des capsules
 - effet d'hystérésis
 - mauvaise prise de pression
- **Liées aux modifications des paramètres atmosphériques**
 - variation de pression:
 - voler vers une dépression: même pression = perte d'altitude
 - variation de température:
 - chaud = densité plus faible donc plus haut qu'indiqué (1% par 2.8°)

19/02/2000

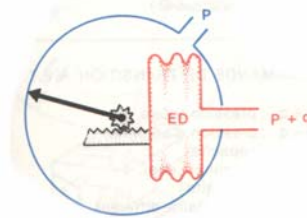
O. Dupont; CAP VAV

8

L'anémomètre

- il mesure la pression dynamique
- la pression dynamique mesurée est traduite en vitesse
 - c'est une valeur absolue
 - calibrée par rapport à une atmosphère standard

p pression statique
q pression dynamique
ED: capsule anéroïde

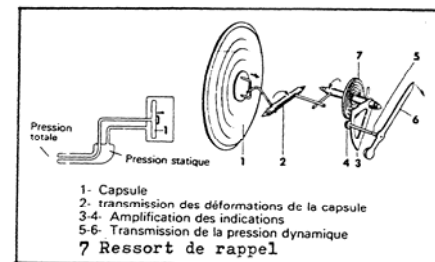


19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

9

L'anémomètre



Erreur de mesure:

- erreur d'installation
- Variation de la vitesse en fct de la densité de l'air (altitude):

$$V_{\text{vraie}} = V_{\text{indiquée}} (\rho_0 / \rho)^{1/2}$$

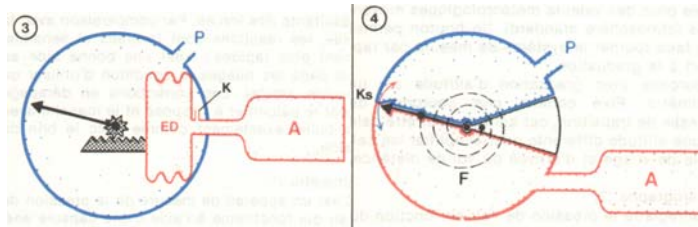
19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

10

Le variomètre

- il mesure une variation de pression par unité de temps



- p pression statique
 q pression dynamique
 ED: capsule anéroïde
 A: capacité
 K: capillaire (fuite calibrée)

19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

11

Le variomètre simple

- il mesure soit une variation de pression statique:
 - il exprime la variation d'altitude quelqu'en soit la cause:
 - ascendance, ou transformation de la vitesse en altitude.
- On pourrait imaginer un vario sensible à la variation de pression dynamique:
 - dans ce cas il exprimerait la variation de vitesse longitudinale du planeur

19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

12

Le variomètre compensé

- Introduction:
 - le planeur a un capital d'énergie au moment où il largue le remorqueur.
 - Son énergie totale $E_{\text{tot}} =$ son altitude (E potentielle) E_{pot} + énergie proportionnelle à sa vitesse²(E cinétique).
- **Ce qui est intéressant, c'est de connaître la variation de l'énergie totale**

19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

13

Variometre à énergie totale

Compensé par membrane

Compensé par antenne

p: p. statique

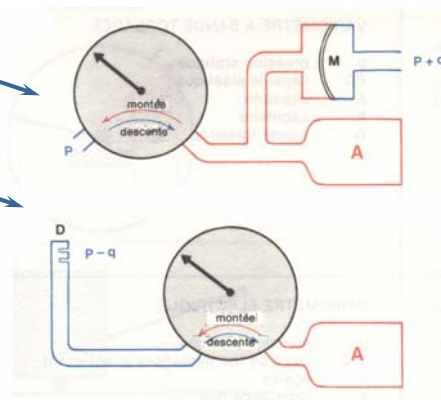
p+q: p. totale

p-q: p. d'antenne

A: capacité

M: membrane élastique

D: antenne à coef. -1



19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

14

Variomètre à énergie totale compensé électriquement

Commande de transition a E.T.

p: p. statique
 p+q: p. totale
 p-q: p. d'antenne
 A: capacité
 M: membrane élastique
 D: antenne à coef. -1
 V: vario elect.
 F: anémo. elect.
 EK: compensateur élect.
 K: capillaire

19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

15

Erreur du variomètre

- Erreur d'installation
- Erreur due à la variation de température de l'air dans la capacité
- la constante de temps

19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

16

Utilisation de la variométrie:

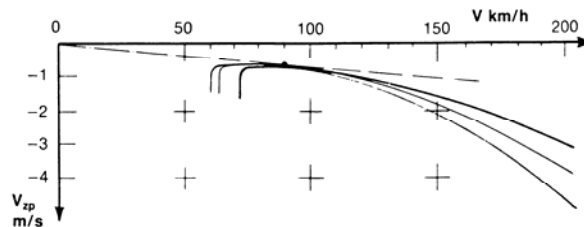
- Optimisation de la distance franchissable
- Optimisation de la vitesse de transition
- Optimisation de la vitesse dans l'ascendance

19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

17

Polaire

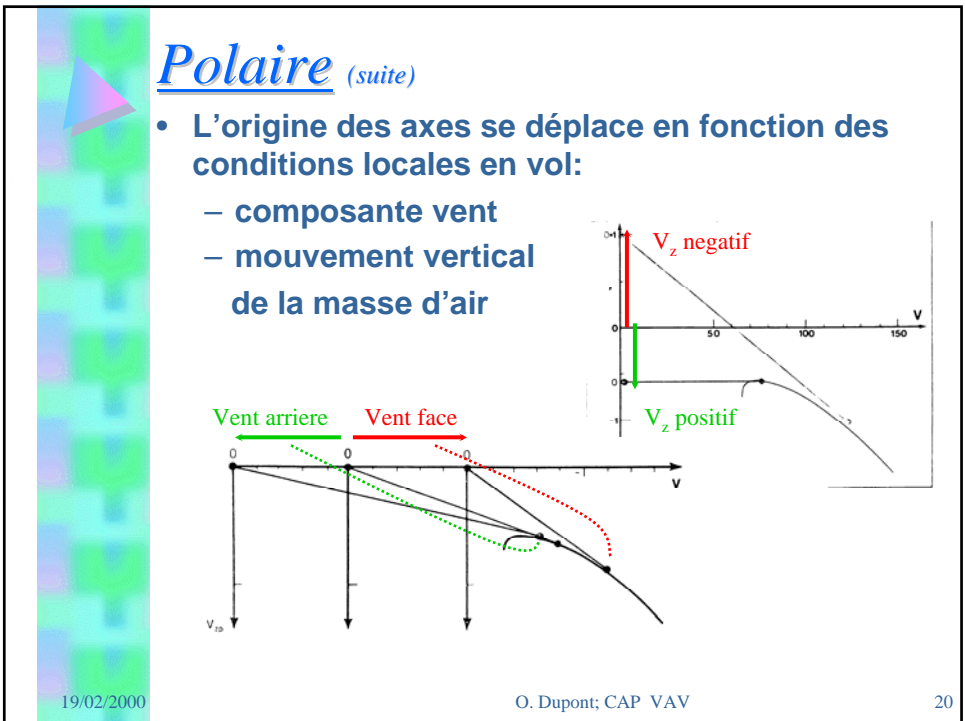
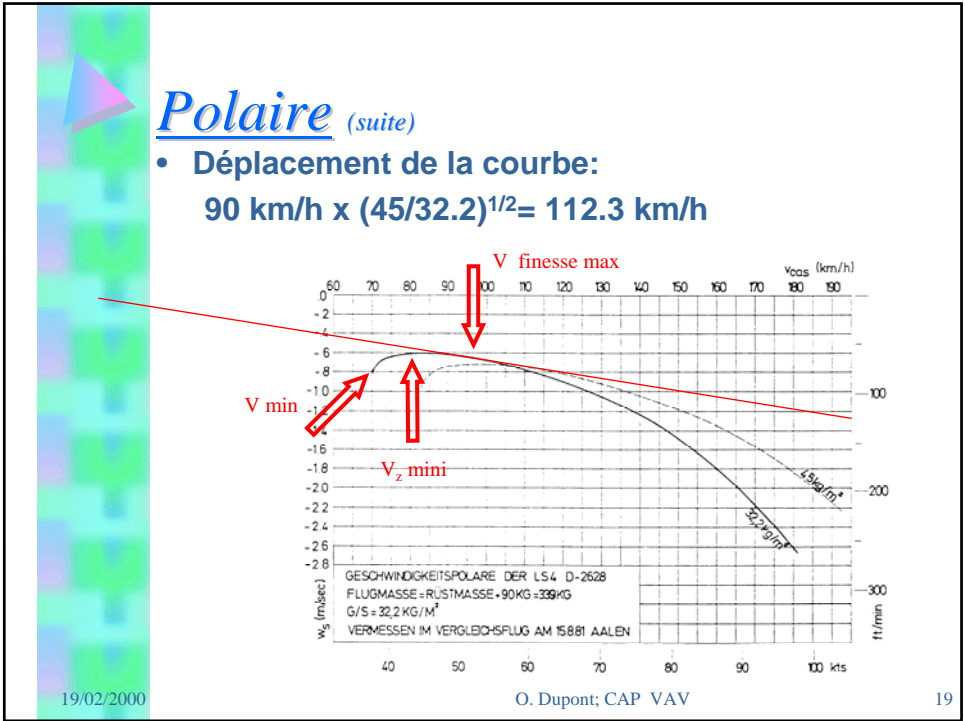


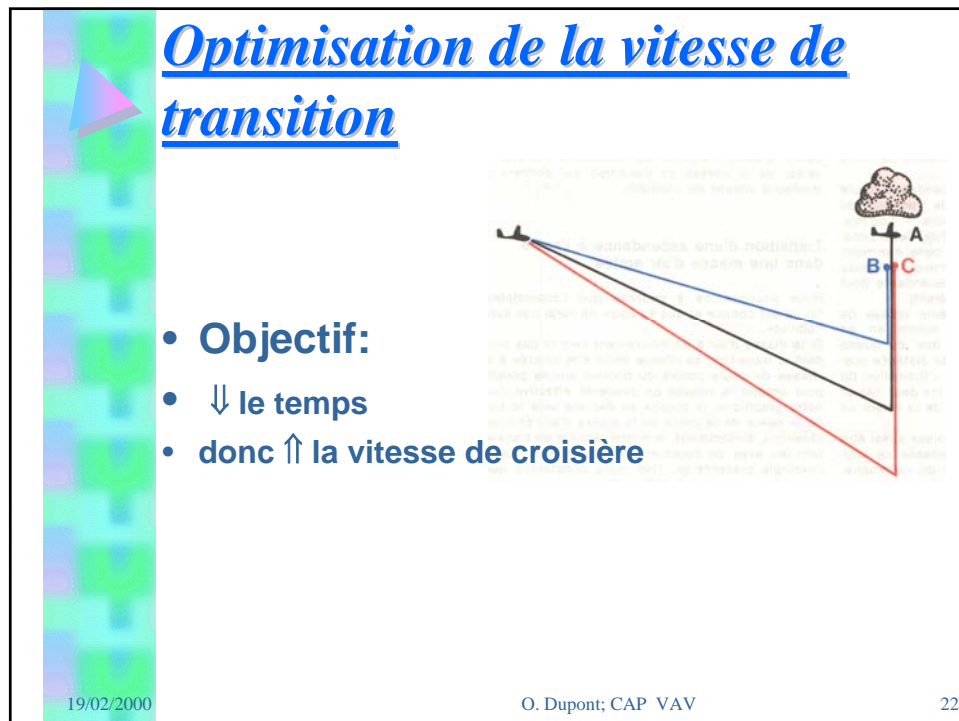
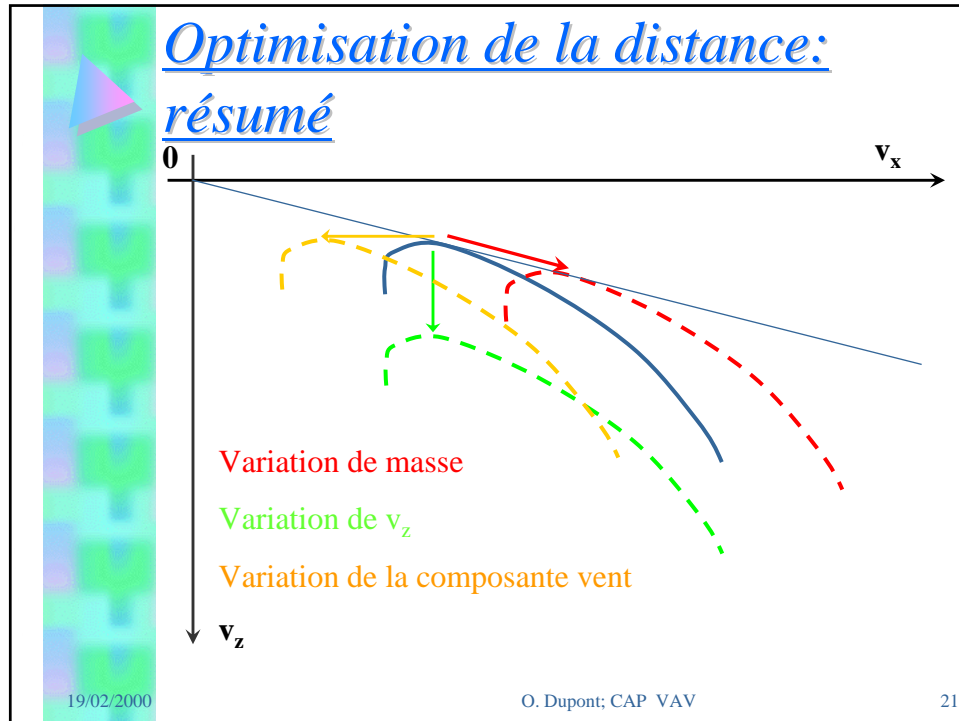
- Exprime le rapport
V horizontale / V verticale
- Fonction de la machine
- Courbe en air calme
- Courbe faite à vitesse stabilisée
- Le déplacement de la courbe pour différentes masses: $(m_0 / m_1)^{1/2}$

19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

18





Analyse mathématique:

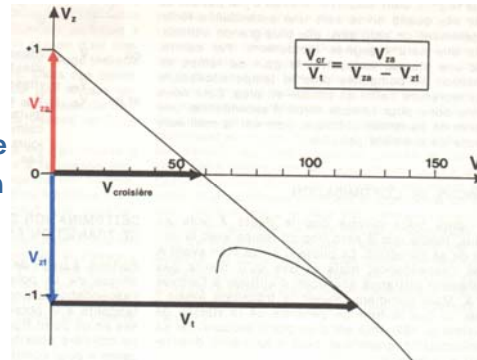
$$V_{cr} = l/t, \quad \text{où } t = t_1 + t_2$$

$$t_1 = l/V_t \quad \text{et} \quad t_2 = h/V_{za} = -(V_z/V_{za})t_1$$

$$t = l/V_t \times (1 - V_z/V_{za})$$

$$V_{cr}/V_t = V_{za}/(V_{za} - V_z)$$

- V_{cr} : vitesse de croisière
- V_t : vitesse de transition
- V_{za} : vitesse de l'ascendance
- V_z : vitesse de chute

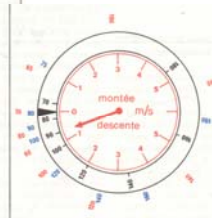
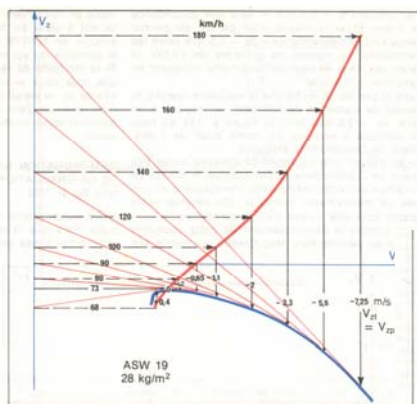


19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

23

Anneau Mac Cready:



ASW 19 à 28 kg/m²
Tableau des vitesses de transition vers une ascendance nulle

Transition V _t en km/h	Chute V _z en m/s
180	- 7,25
160	- 5,3
140	- 3,3
120	- 2
100	- 1,1
90	- 0,65
80	- 0,2
70	- 0,25

Couronne noire = Transition à 28 kg/m²
 Couronne bleue = Transition à 26 kg/m²
 Couronne rouge = Transition à 24 kg/m²

19/02/2000

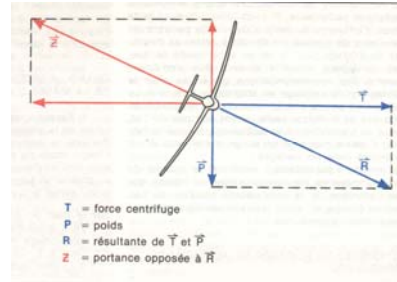
O. Dupont; CAP VAV

24

Optimisation de la vitesse en ascendance

- Polaire en virage:
- ng fct de β :

β	n	dep polaire
0	1	0%
15	1.03	1.7%
30	1.15	7.5%
45	1.41	19%
50	1.55	25%
60	2.0	41%
70	2.9	71%



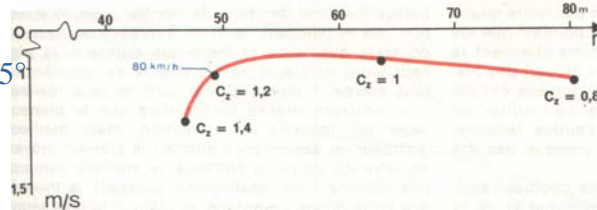
19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

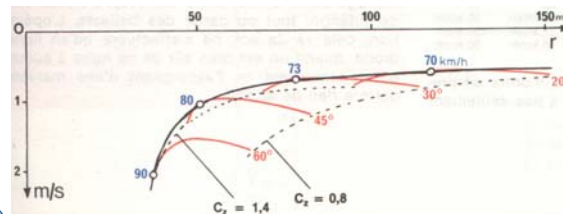
25

Optimisation de la vitesse en ascendance

Polaire à 45°
ASW 19
(28 kg/m²)



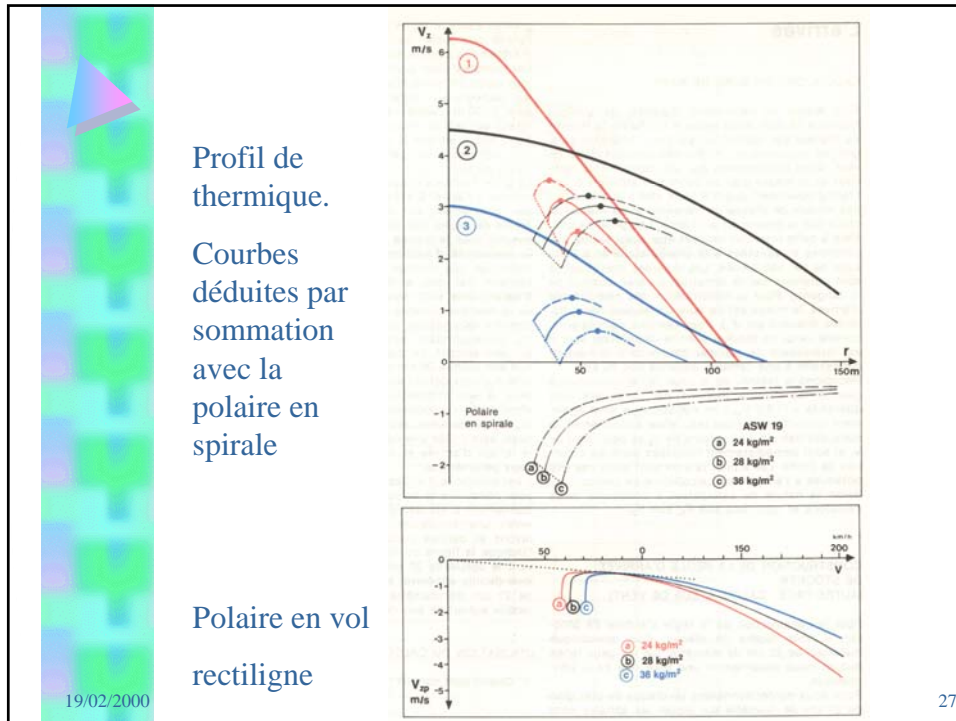
Polaire en virage
ASW 19
(28 kg/m²)



19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

26



Les calculateurs de vols


Entrées	Sorties	Utilisations
Param mesurés: p p+q p-q Température Position (GPS)* Entrées du pilote: <Vza> Polaire Ballast Vent* Distance*	Altitude Vitesse <Vza> composante du vent distance écart de route Vitesse de croisière Rap. Transition/spirale ETE ETA	Varios - compensation antenne - compensation el. - Netto Autonomie Optimisation transition Optimisation de la route Aide à la navigation

* si GPS: valeurs calculées

19/02/2000


O. Dupont; CAP VAV

28



- **Ce qui est essentiel:**
 - savoir centrer l'ascendance
 - estimer la $\langle Vz \rangle$ à venir
 - savoir quitter l'ascendance (quand?)
 - Oser suivre le calculateur
- **Ce qui manque pour que le système soit (théoriquement) optimal:**
 - estimation de la future ascendance ($\langle Vz \rangle$)
 - et de son éloignement


19/02/2000 O. Dupont; CAP VAV 29



Comment choisir son circuit


- **Objectif:**
optimiser son vol en fonction de:
 - la mto,
 - la machine disponible,
 - et surtout: ses capacités!
- **Rien n'est plus démoralisant que de se laisser mener à la vache.**

19/02/2000 O. Dupont; CAP VAV 30




- **choisir la longueur du circuit basé sur:**
 - une durée moyenne de 4 heures (si la MTO le permet).
 - **Sous les hypothèses suivantes:**
 - largage 500 m
 - on prend les ascendances à une alti mini de 500 m.
 - en dessous de 500: ce n'est plus la vitesse qui compte mais on cherche des pompes dans le voisinage d'un champ VACHABLE!

19/02/2000 O. Dupont; CAP VAV 31



- **choisir la longueur du circuit basé SUR (suite) :**
 - On optimise les transitions sur la valeur moyenne des ascendances
 - On quitte l'ascendance à la valeur d'entrée dans la suivante
 - on suppose un délais de 30 s. pour trouver les ascendances
 - le plané final se fait a 75% de la finesse max (attention au vent)
 - On s'impose une altitude minimum d'arrivée de 200 m.

19/02/2000 O. Dupont; CAP VAV 32




- **Calcul:**
 - ex: le Ka6 (machine des 50 bornes).
 - **Détail du calcul pour une $\langle v_z \rangle$ de 1.5 ms. Pompe prise avec max 45° d'inclinaison.**
 - Taux de chute mini -0.6ms à 72 km/h
 - → v_z dans le planeur +0.9 m/s
 - → calage Mc Cready +0.9 m/s
 - On transite à 100 kmh; $v_z = -1.1$ m/s.
 - **monter de 500 à 1500 m: 1.111 s.**
 - **vitesse moyenne:**
de 25.25 km / (1.111+909+30 s)= 44.3 km/h

19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

33

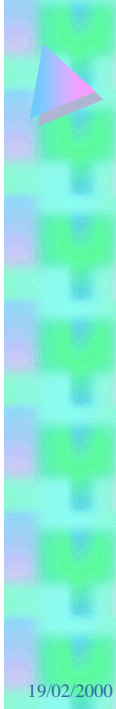


- pendant 4 heures: 177.3 km + plané final.
- Plané final: $((1500m - 200m) / 30) \times 0.75 = 32.5$ km.
- Distance franchissable max: 209.8 km
- En fonction de vos aptitudes: un coefficient "c"
- par exemple:
 - Si: "c" = 0.3 Vous êtes a EBSH!
 - Si: "c" = 0.6 Vous faites EBSH a/r par une journée très moyenne!
- **Donc: Oser mais en raisonnant!**

19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

34



Evaluation de la vitesse de croisière

Asc mto	1 m/s	1.5 m/s	2 m/s	2.5 m/s	3 m/s
Ka6cr	31 km/h	44 km/h	58 km/h	68 km/h	72 km/h
Ls1f	32 km/h	48 km/h	68 km/h	78 km/h	89 km/h
Discus	36 km/h	61 km/h	78 km/h	90 km/h	101 km/h

19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

35



19/02/2000

O. Dupont; CAP VAV

36

