



HAL
open science

Representation mentale de la separation verticale au cours du diagnostic dans le controle aerien.II. Les caracteristiques du diagnostic chez les eleves controleurs

M.T. Lafon-Milon

► **To cite this version:**

M.T. Lafon-Milon. Representation mentale de la separation verticale au cours du diagnostic dans le controle aerien.II. Les caracteristiques du diagnostic chez les eleves controleurs. RT-0003, INRIA. 1981, pp.45. inria-00070151

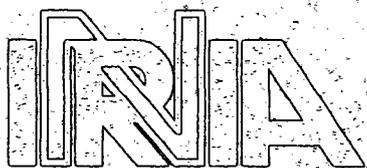
HAL Id: inria-00070151

<https://inria.hal.science/inria-00070151>

Submitted on 19 May 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



CENTRE DE ROCQUENCOURT

Institut National
de Recherche
en Informatique
et en Automatique

Domaine de Voluceau
Rocquencourt
B.P. 105
78153 Le Chesnay Cedex
France
Tél: 954 90 20

re 4.11.81
360 ex

Rapports Techniques

N° 3

**REPRÉSENTATION MENTALE
DE LA SÉPARATION VERTICALE
AU COURS DU DIAGNOSTIC
DANS LE CONTRÔLE AÉRIEN**

II

**LES CARACTÉRISTIQUES
DU DIAGNOSTIC
CHEZ
LES ÉLÈVES CONTRÔLEURS**

Marie-Therèse LAFON-MILON

Octobre 1981

GROUPE DE PSYCHOLOGIE ERGONOMIQUE

REPRESENTATION MENTALE DE LA SEPARATION VERTICALE
AU COURS DU DIAGNOSTIC
DANS LE CONTROLE AERIEN

II

Les caractéristiques du diagnostic
chez les élèves contrôleurs

M.T. LAFON-MILON
CO 8105 R65

Cette expérience a été menée dans le cadre des études réalisées par le Groupe de Psychologie Ergonomique de l'INRIA pour le Centre d'Expérimentation de la Navigation Aérienne, sous contrat avec la Direction de la Navigation Aérienne (D.G.A.C.).

RESUME

Lors d'une précédente étude (représentation mentale de la verticalité au cours du diagnostic dans le contrôle aérien) on avait étudié les caractéristiques du diagnostic et le processus de prise d'informations chez les contrôleurs expérimentés. Cette étude montrait l'extrême prudence dont faisaient preuve les premiers contrôleurs lors du diagnostic conflit - non-conflit.

Afin d'étudier l'effet de l'expérience sur les performances des contrôleurs, on a proposé à 44 élèves contrôleurs les mêmes problèmes à savoir, une série de couples d'avions évolutifs enregistrés au magnétoscope à partir de l'image radar du simulateur de l'ENAC. Comme précédemment on a fait varier la valeur de la séparation verticale et horizontale et le type de convergence.

On a relevé le temps de prise de décision, le diagnostic, le type de solution et le degré de certitude exprimée.

Les résultats montrent qu'il y a une prise en compte des variables séparations verticale et horizontale plus fréquente chez les débutants que chez les contrôleurs expérimentés; toutefois les délais de diagnostic sont chez les débutants plus importants, ce qui en soit peut contribuer à expliquer les résultats différents selon les variables prises en compte.

Par ailleurs, les interventions tardives des contrôleurs débutants les amènent à donner des altérations de cap importantes.

SOMMAIRE

I -	INTRODUCTION	1
II -	PRESENTATION DE L'ETUDE	2
	II - 1. Techniques utilisées	2
	II - 2. Procédure	2
	II - 2.1. Facteurs	2
	II - 3. Mesures recueillies	3
	II - 4. Plan expérimental	4
	II - 5. Consigne	5
III-	RESULTATS	7
	III - 1. Issue du diagnostic	7
	III - 2. Délais de diagnostic	13
	III - 3. Degré de certitude du diagnostic	19
	III - 4. Evaluation des séparations futures	23
	III - 4.1. Valeur des écarts à l'évaluation correcte	25
	III - 4.2. Nombre de bonnes réponses	29
	III - 5. Degré de certitude des évaluations	35
	III - 6. Le type de solutions choisi pour résoudre le conflit	36
	III - 7. Moment de l'intervention	39
IV -	CONCLUSION	41
	ANNEXES	

ABSTRACT

In a former study (controller's mental representation of verticality for diagnosis in air-traffic control environment), two aspects were taken into account for experienced controllers : the characteristics of the diagnosis and the information processing.

The results showed that the controllers exhibited extreme caution when distinguishing between conflict and no conflict.

In order to study the effect of experience on performance, 44 trainees controllers were run for the same problems as in the past study, i.e. sets of aircrafts pairs video taped from the radar display used at Ecole Nationale de l'Aviation Civile. Those aircrafts pairs varied in their vertical and horizontal separation as well as in the type of convergence.

The performance measures were the time of the decision, the time for the type of solution and the degrees of certainty expressed. The results show that the experienced controllers process more often the information about the vertical and horizontal separation than the novices. However, the diagnosis delays are longer for the novices, which may contribute to explain the results according to the type of information processed.

I - INTRODUCTION

Ce rapport fait suite à une étude (1) précédente où ont été analysés, sur une population de contrôleurs expérimentés (premiers contrôleurs) :

- Le processus de prise d'informations préalable à la décision
- La confiance des contrôleurs sur les estimations qu'ils font de la séparation.

Les principaux résultats de cette étude ont montré que :

- Les processus de diagnostic et de résolution ne portent le plus souvent que sur une partie seulement des informations disponibles, principalement la valeur de la séparation horizontale. Ainsi à 6000 pieds de séparation verticale (2), soit trois fois la norme réglementaire, 57% des opérateurs diagnostiquent néanmoins un conflit et agissent pour le résoudre.
- Les délais de diagnostic sont courts, la décision d'agir suit de quelques secondes le diagnostic.
- En outre, d'après les entretiens, il apparaît que certains facteurs liés à l'environnement (type de compagnie, consignes d'exploitation, fréquence de certains courriers...) sont susceptibles d'orienter le diagnostic et le choix de la solution.

Ces résultats permettent de valider et de compléter le modèle proposé par Bisseret en 1979 (3). Ce modèle montre que le processus de diagnostic repose en partie sur des opérations de nature perceptive peu précises, donc non seulement sur des variables objectives des situations mais aussi en grande partie sur des critères de coûts des risques liés aux deux types d'erreurs possibles (omissions-fausses alertes).

-
- (1) M.T. LAFON-MILON, CO 8006 R63 : Représentation mentale de la verticalité au cours du diagnostic dans le contrôle aérien.
I - Les caractéristiques du diagnostic.
- (2) Les problèmes présentés se situaient en espace supérieur (UIR) où la norme réglementaire de séparation verticale est de 2000 pieds.
- (3) A. BISSERET: Utilisation de la théorie de la détection du signal pour l'étude de décisions opératives. Effet de l'expérience des opérateurs. INRIA R60 1979.

Bisseret en réinterprétant, grâce à la théorie de la détection du signal, les résultats de plusieurs expériences a montré que les débutants étaient plus discriminants que les expérimentés, mais moins prudents, de plus leurs estimations numériques de la séparation future des avions étaient plus précises que celles des expérimentés. Il faisait l'hypothèse que les débutants se livraient à une analyse plus fine de la situation. Ceci nous conduit aux objectifs de la présente étude : préciser d'où viennent les différences précédemment mises en évidence, et quelles en sont les conséquences sur les décisions prises par les opérateurs.

II - PRESENTATION DE L'ETUDE

II - 1. Techniques utilisées

Il s'agit de la même série de problèmes générés par le simulateur de l'ENAC et présentés aux premiers contrôleurs lors de l'étude précédente qui a servi de support à nos investigations.

On redonnera pour mémoire aux nouveaux lecteurs le détail de la technique et de la procédure suivies.

Tous les problèmes avaient une durée constante de 7 minutes 10 secondes (entre le moment de la présentation et le moment où la séparation entre les avions était minimale), ils étaient composés par deux avions évoluant dans le plan horizontal et vertical (avions évolutifs (une montée et une descente)). La valeur de leur séparation minimale variait d'un problème à l'autre. Chaque avion était représenté sur scope par un plot, la rémanence et le niveau de vol. L'expérimentateur tenait à la disposition du contrôleur les informations concernant les types d'appareils et leur vitesse.

II - 2. Procédure

II - 2.1. Facteurs

Les trois facteurs suivants ont été étudiés :

- 1) Facteur séparation verticale qui comportait six modalités chacune correspondant aux différentes valeurs prises par la séparation minimale entre avions dans le plan vertical. Les modalités prenaient les valeurs suivantes : 0, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000 pieds.

- 2) Facteur séparation en plan comportant six modalités, correspondant aux six valeurs prises par la séparation minimale entre avions dans le plan horizontal. Il s'agissait des valeurs suivantes : 0, 3, 5, 10, 15, 20 NM.
- 3) Facteur type de convergence comportant trois modalités correspondant aux trois configurations étudiées :
 - a) convergence perpendiculaire : soit trente six problèmes constitués par le croisement des six modalités des deux facteurs séparation horizontale, séparation verticale.
 - b) face à face : soit six problèmes correspondant aux six modalités du facteur séparation verticale.
 - c) rattrapage : idem

Pour les configurations face à face et rattrapage la séparation minimale horizontale était toujours de 0 NM, les trois facteurs ne sont pas orthogonaux, toutes les modalités n'ayant pu être croisées. Quarante huit problèmes ont été réalisés.

II - 3. Mesures recueillies

Ont été recueillis :

- L'issue du diagnostic : conflit - non-conflit
- Le délai de diagnostic s'écoulant entre le moment de la présentation du problème et le moment où le contrôleur donne son diagnostic
- Le degré de certitude de la justesse du diagnostic
- L'évaluation de la séparation future dans les plans horizontal et vertical
- Le degré de certitude de cette évaluation. Ces degrés de certitude étaient exprimés sur une échelle de cinq points (un : certitude minimale, cinq : certitude maximale)
- Le type de solutions choisi.

II - 4. Plan expérimental

Quarante quatre élèves contrôleurs des promotions février et juillet 1979 ont participé à l'étude. Il s'agit d'élèves qui, après deux ans de formation en école (1) vont être dirigés vers les différents centres régionaux de contrôle pour y recevoir une formation de premier contrôleur (2). Compte-tenu du nombre élevé de problèmes présentés, six groupes (A,B,C, D, E, F) de sept élèves contrôleurs chacun (3) ont été constitués.

Chaque contrôleur passait huit problèmes :

- un problème de rattrapage,
- un problème de rapprochement en face à face,
- six problèmes en configuration 90° répartis en carré latin.

Valeurs des séparations verticales FT / Valeurs des séparations en plan NM	0	2000	3000	4000	5000	6000
0	A	B	D	C	E	F
3	B	A	C	D	F	E
5	D	C	E	F	A	B
10	C	D	F	E	B	A
15	E	F	A	B	C	D
20	F	E	B	A	D	C

Répartition des différents groupes pour une configuration perpendiculaire

-
- (1) Ecole Nationale d'Aviation Civile (ENAC).
 - (2) Premiers contrôleurs (PC) que nous désignons comme étant des contrôleurs expérimentés.
 - (3) A l'exclusion des groupes A et E qui sont composés de huit élèves.

Et pour les configurations face à face et rattrapage :

Type de croisement	Valeurs de la séparation verticale FT	0	2000	3000	4000	5000	6000
Face à face		A	B	D	C	E	F
Rattrapage		A	B	D	C	E	F

Répartition des différents groupes pour les configurations face à face et rattrapage

II - 5. Consigne

La consigne donnée est présentée en annexe I.

III - RESULTATS

III - 1. Issue du diagnostic

Selon la réponse fournie par le contrôleur (conflit/non-conflit) et selon la situation objective (conflit/non-conflit), la qualité du diagnostic entre dans l'un des cas suivants :

Réponses du sujet	Situation objective	conflit (C)	non-conflit (\bar{C})	
conflit (C)		réponses exactes	fausses détections	
non-conflit (\bar{C})		omissions	réponses exactes	

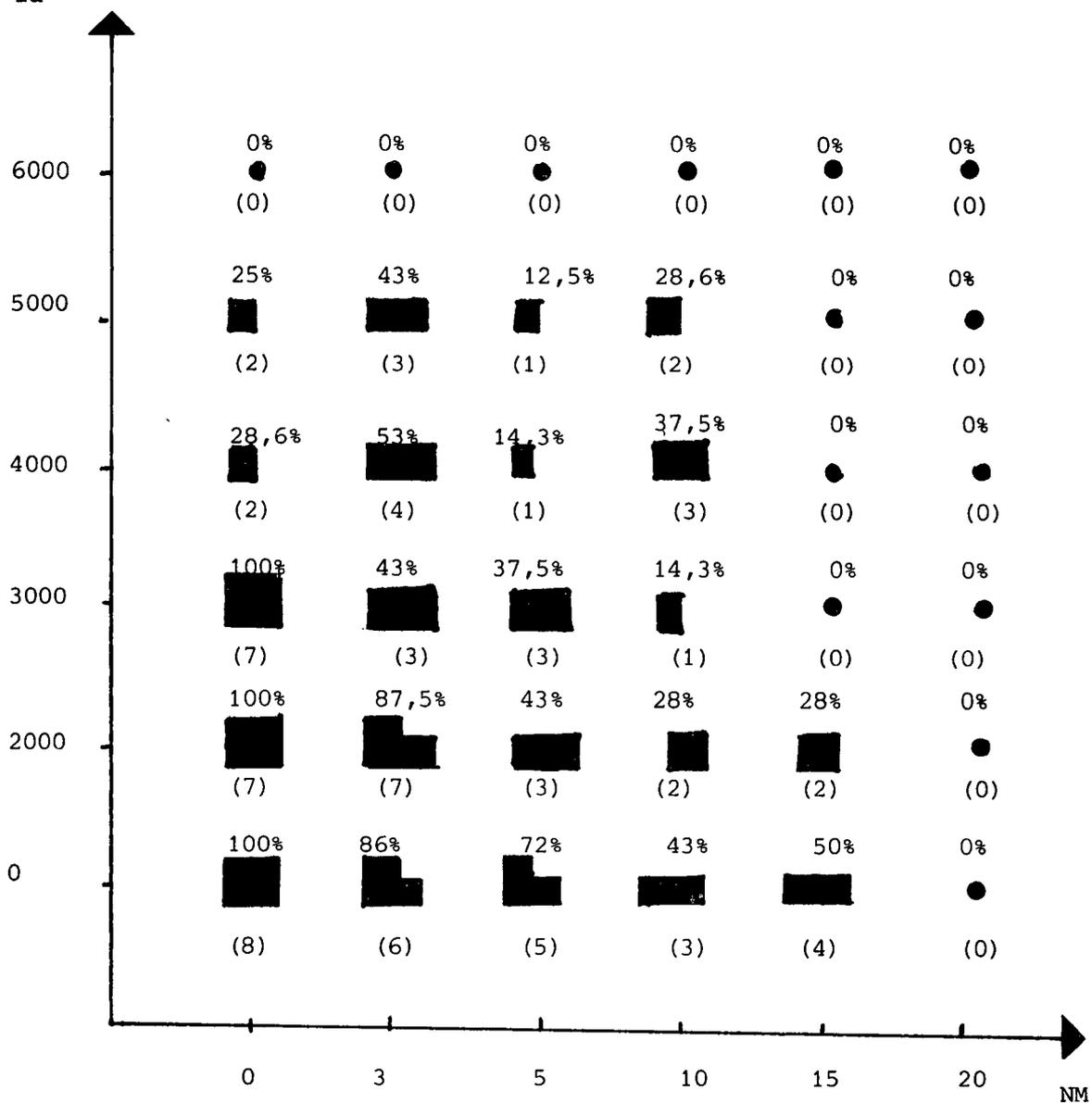
Les résultats sont donnés dans le tableau I

		Issue	
		C	\bar{C}
Décision	C	(14) 93%	(78) 26%
	\bar{C}	(1) 7%	(171) 74%
		(15) 100%	(249) 100%

TABLEAU I : Effectifs (entre parenthèses) et pourcentages des types de décision pour une configuration perpendiculaire

Valeurs de la
séparation
verticale.

Ft



Valeurs de la séparation horizontale

Tableau 2 : Nombre (entre parenthèses) et pourcentages de diagnostic conflit selon les valeurs de la séparation minimale horizontale et verticale pour une configuration perpendiculaire.

Remarque : Plus la zone noircie est grande plus le pourcentage de diagnostic conflit est élevé.

- On ne relève qu'un cas d'omission, décision \bar{c} / c,
- Dans le cas de non-conflit, près des 2/3 des débutants décident de laisser aller.

Le tableau 2 présente la répartition des pourcentages de diagnostic conflit en fonction des valeurs prises par la séparation minimale en plan et en niveau. On constate que :

- L'augmentation de la valeur de la séparation latérale se traduit par une diminution du nombre des diagnostics conflit. C'est à quatre fois la norme (20NM) que l'on a 100% de diagnostic non-conflit
- De même, l'augmentation de la valeur de la séparation verticale s'accompagne d'une diminution des réponses conflit. A partir de trois fois la norme (6000 pieds) on relève 100% de diagnostic non-conflit
- Les contrôleurs débutants donnent 100% de diagnostic non-conflit à partir de 3000 pieds de séparation verticale et à partir de 15NM de séparation horizontale

Pour ce qui est des configurations face à face et rattrapage les résultats sont présentés dans le tableau 3.

Issue en niveau

Décisions

	C	\bar{C}
C	(8) 100	(13) 38
\bar{C}	(0) 0	(23) 62
	(8) 100	(36) 100

Face à Face

Décisions

	C	\bar{C}
C	(8) 100	(8) 23
\bar{C}	(0) 0	(28) 77
	(8) 100	(36) 100

Rattrapage

Tableau 3 : Nombres (entre parenthèses) et pourcentages de diagnostic (conflit/non-conflit) selon l'issue et le type de configuration.

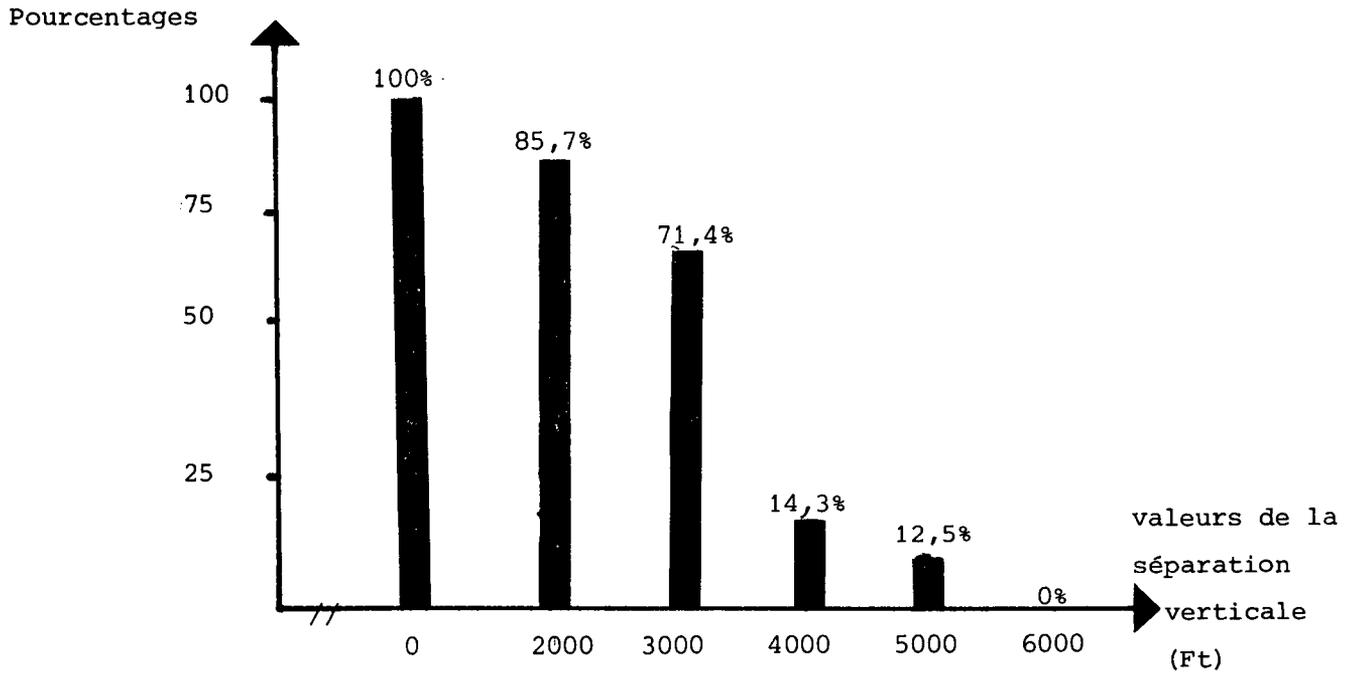
- Dans les deux configurations face à face et rattrapage on ne relève aucun cas d'omission
- Comparativement aux décisions prises par les premiers contrôleurs en situation de face à face et de rattrapage, le pourcentage de réponses \bar{c} / \bar{c} chez les débutants est élevé.

Le tableau 4 regroupe les résultats

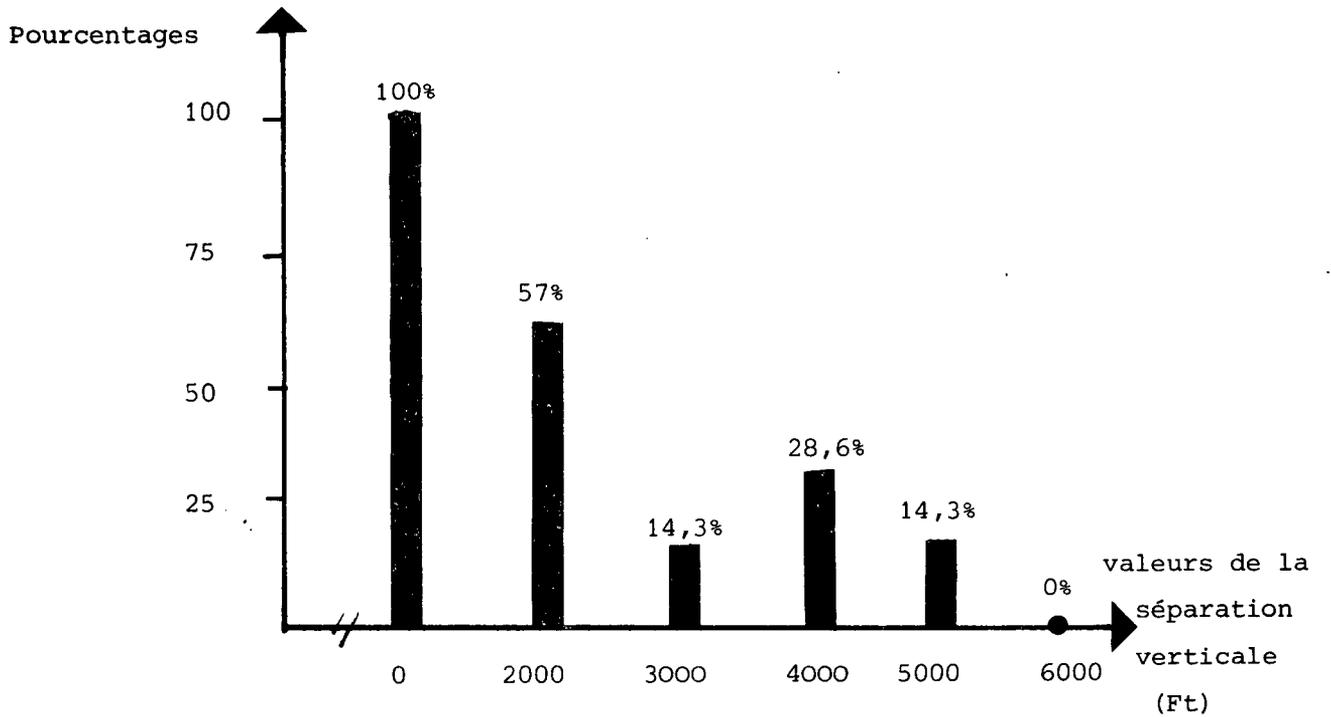
	Perpendi.	Face à face	Rattrapage
PC	46,6	5,2	7,7
Déb.	74	62	77,7

Tableau 4 : Pourcentages du nombre de décisions \bar{c}/\bar{c} selon la configuration et la qualification des opérateurs

Les résultats présentés en fonction des valeurs prises par la séparation verticale montrent (figures 3 et 4) que l'augmentation de la valeur de séparation verticale se traduit par une chute du pourcentage de diagnostic conflit :



CONFIGURATION EN FACE A FACE.



CONFIGURATION EN RATRAPAGE.

Figures 3 et 4 : Histogrammes des pourcentages de diagnostic conflit en fonction du type de configuration.

- A partir de 4000 pieds en configuration face à face
- A partir de 3000 pieds en configuration rattrapage

EN RESUME : les résultats de l'étude sur les contrôleurs expérimentés avaient montré que c'était la valeur de la séparation horizontale qui était le plus souvent analysée lors du diagnostic.

Alors que l'augmentation de la valeur de la séparation horizontale entraînait une diminution du nombre de diagnostic conflit, le pourcentage de diagnostic conflit restait stable et élevé quand la valeur de la séparation verticale augmentait (annexe 2). On avait formulé l'hypothèse que les informations relatives à la dimension verticale n'étaient pas toujours intégrées à la décision.

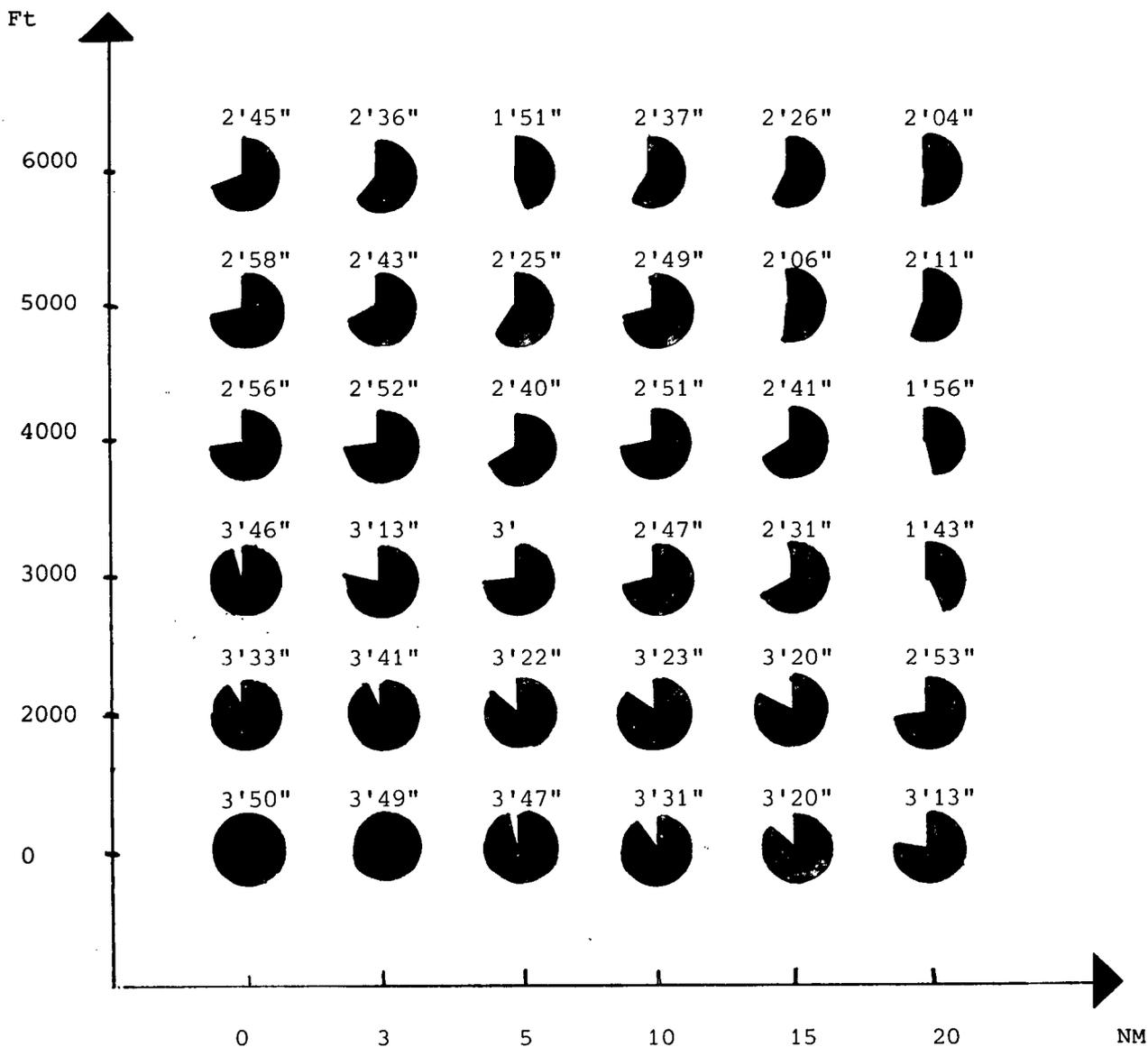
Au vue des résultats, il semble que les décisions des contrôleurs débutants s'appuient à la fois sur les informations relatives aux séparations verticales et horizontales.

III- 2. Délais de diagnostic

La figure 5 donne les délais moyens s'écoulant entre le moment de la présentation et le moment où le contrôleur donne son diagnostic.

- En moyenne, le délai de diagnostic est de l'ordre de deux minutes cinquante trois en configuration perpendiculaire
- L'augmentation de la valeur de la séparation verticale s'accompagne d'une diminution significative des délais de diagnostic ($F = 17.4$ $S.001$) et de même l'augmentation de la valeur de la séparation horizontale entraîne une diminution des délais de diagnostic ($F = 7,85$ $S.001$).

Les résultats concernant les configurations face à face, rattrapage et perpendiculaire à ONM sont présentés ci-après (tableau 5).



Valeurs de la séparation horizontale

Figure 5 : Délais moyens (en minutes et secondes) s'écoulant entre le début de l'exercice et le diagnostic, en fonction des valeurs de la séparation verticale et horizontale, dans une configuration perpendiculaire.

Remarque : Plus la zone noircie est grande, plus le délai de diagnostic est important

Valeurs de la séparation verticale en Ft

	0	2000	3000	4000	5000	6000
Configuration perpendiculaire à ONM	3'50" σ: 33"	3'33" σ: 16"	3'46" σ: 18"	2'56" σ: 27"	2'58" σ: 31"	2'45" σ: 12"
Face à Face	3'50" σ: 24"	3'30" σ: 22"	3'40" σ: 31"	3'20" σ: 27"	2'30" σ: 18"	2'40" σ: 20"
Rattrapage	4'00" σ: 19"	4'10" σ: 15"	3'30" σ: 22"	3'20" σ: 16"	2'30" σ: 17"	3'00" σ: 17"

Tableau 5 : Délais moyens et écart type s'écoulant entre le moment de la présentation et le moment où le contrôleur donne son diagnostic, en fonction de la valeur de la séparation verticale et du type de convergence.

Dans les trois configurations, l'augmentation de la valeur de la séparation verticale entraîne une diminution des délais de diagnostic. Les différences sont significatives à .001 (1).

Le délai moyen de diagnostic est :

- En configuration perpendiculaire : 3'18'' (σ35")
- En face à face : 3'14'' (σ38")
- En rattrapage : 3'24'' (σ39")

(1) Analyse de variance :
 - rattrapage F = 29.9
 - face à face F = 14.2
 - perpendiculaire F = 9.45

Quand il s'agit de calculer la valeur de la séparation future, le temps mis pour parvenir à la solution devrait être indépendant de la valeur de la séparation. Or, on constate que ce délai décroît.

Cela peut signifier que le calcul des valeurs des séparations futures n'est pas appliqué dans tous les cas. Au travers des observations lors de la passation, on a différencié un groupe d'opérateurs qui calculaient explicitement (sur papier ou à haute voix) la valeur future de la séparation verticale. Ils représentent 76% des cas.

Les résultats sont présentés dans le tableau 6 .

Valeurs de la séparation verticale

	0	2000	3000	4000	5000	6000	Total
Perpendiculaire	(39) 88,6	(42) 95,4	(41) 93,2	(32) 72,7	(28) 63,6	(15) 34,1	(197) 74,6
Face à face	(8) 100	(7) 100	(7) 100	(5) 71,4	(4) 50	(2) 28,6	(33) 75
Rattrapage	(7) 87,5	(7) 100	(7) 100	(6) 85,7	(6) 75	(4) 57,1	(37) 84,1

Total : 267

Tableau 6 : Nombres (entre parenthèses) et pourcentages d'opérateurs qui calculent la valeur future de la séparation verticale.

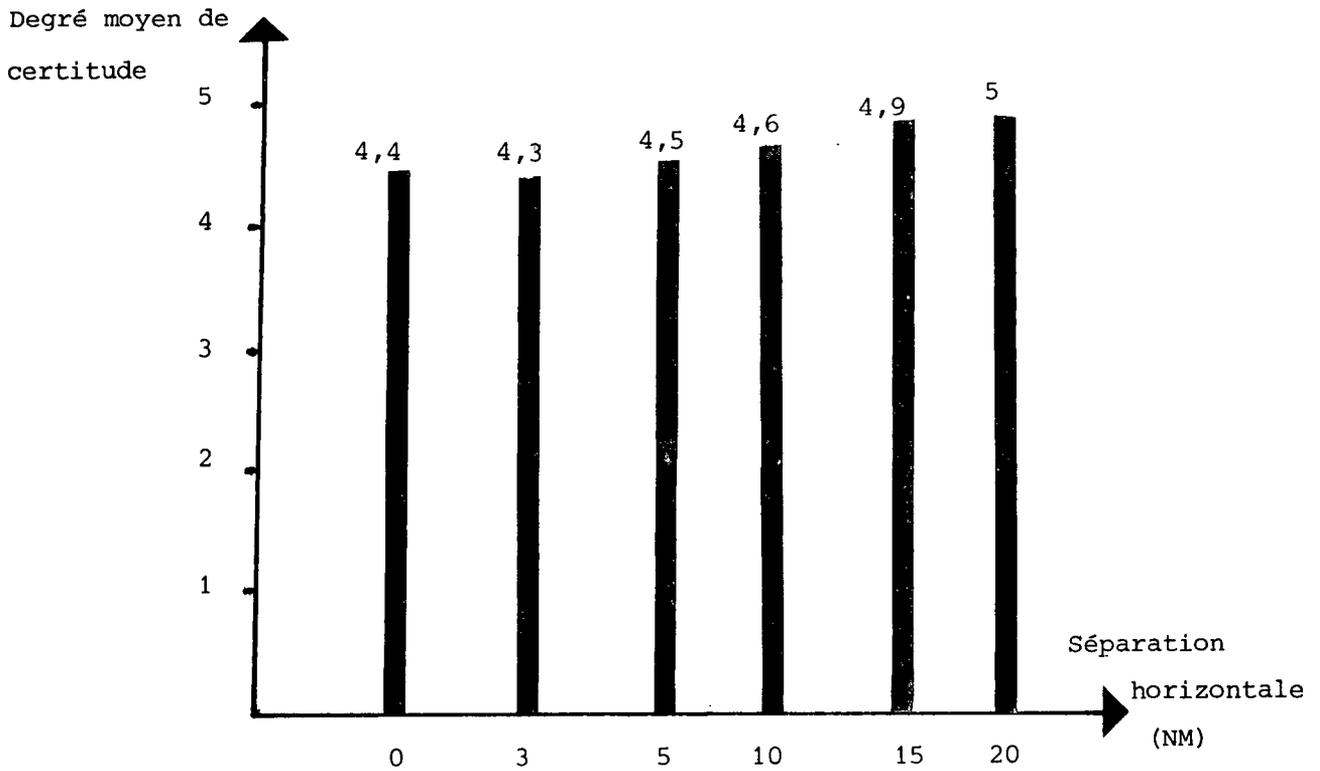


Figure 7 Degré moyen de certitude du diagnostic dans une configuration perpendiculaire selon les valeurs de la séparation horizontale quelle que soit l'issue du diagnostic.

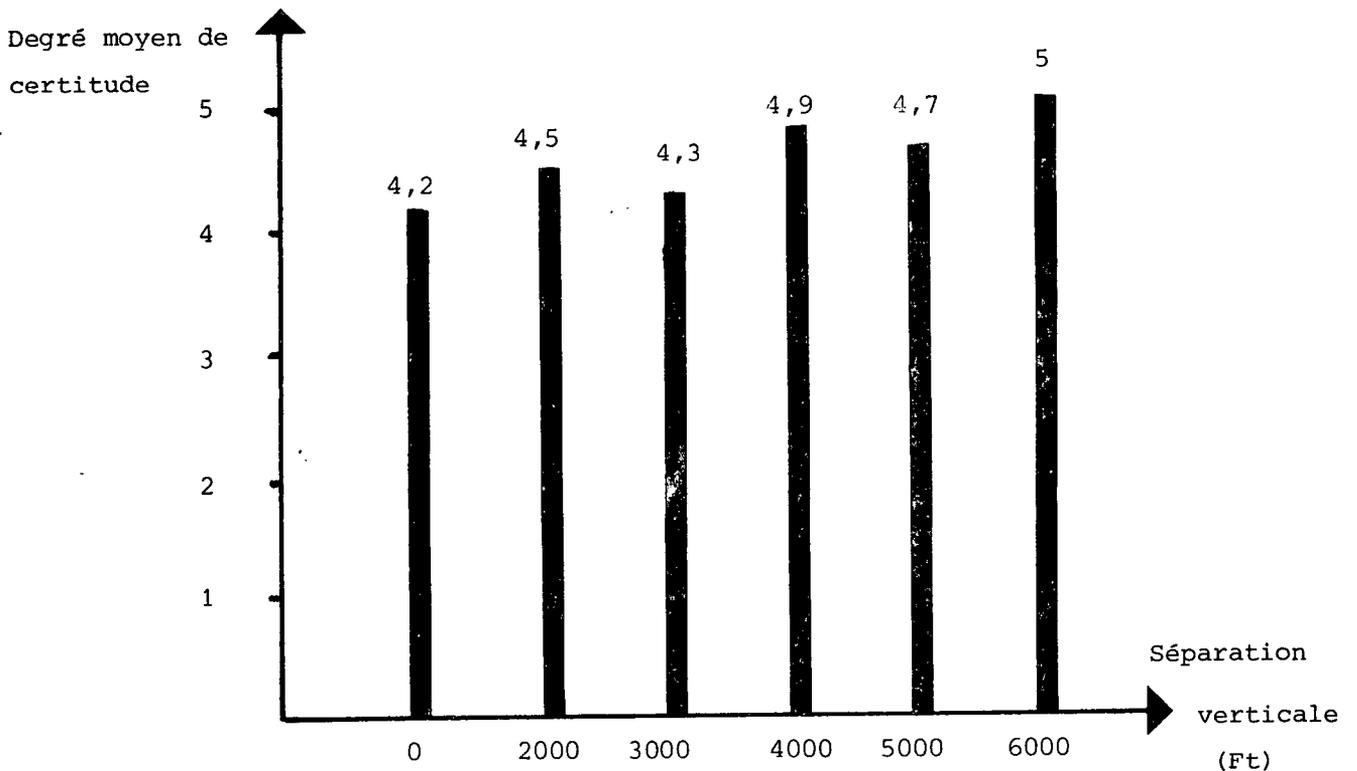


Figure 8 Degré moyen de certitude du diagnostic dans une configuration perpendiculaire selon les valeurs de la séparation verticale, quelle que soit l'issue du diagnostic.

Quelle que soit la configuration, l'augmentation de la valeur de la séparation verticale s'accompagne d'une diminution du nombre de débutants qui s'appuient sur des processus de calcul . Rappelons que lors de l'étude précédente, nous n'avons à aucun moment rencontré de premiers contrôleurs qui calculaient explicitement la valeur de la séparation future.

Les résultats vont dans le même sens que ceux trouvés par ENARD (1) à savoir, qu'il existe une différence importante dans les processus mis en jeu par les opérateurs selon leur niveau d'apprentissage.

Nombreux sont les élèves qui attendaient d'avoir fini leurs calculs pour donner leur diagnostic. En conséquence on a relevé des détections de conflit non opérationnelles dans la mesure où il aurait été à ce moment là sinon trop tard, tout au moins difficile d'agir pour séparer les avions.

Dans le chapitre III. ce présent rapport, on traitera des délais de décision d'action en fonction de la limite temporelle en deçà de laquelle on peut encore agir et au-delà de laquelle l'action n'assurerait pas la séparation.

III - 3. Degré de certitude du diagnostic

Le degré de certitude pouvait s'exprimer sur une échelle de cinq points (cinq:certitude maximale , un: certitude minimale). Le degré moyen de certitude en fonction des différentes valeurs prises par la séparation horizontale et verticale est présenté dans les figures 7 et 8.

- Pour une configuration perpendiculaire, le degré moyen de certitude du diagnostic est de 4'57" Le tableau 7 présente les résultats en fonction de l'issue du diagnostic.

(1) ENARD, C.J. : Analyse de la prévision de la séparation entre deux avions convergents sur l'écran radar.
CO 7404 R44.

		Expression de la certitude					
		1	2	3	4	5	Total
Décision	C			(4) 4.4%	(37) 40.2%	(51) 55.4%	(92) 100.0%
	1 C			(7) 4.0%	(55) 32.0%	(110) 64.0%	(172) 100.0%
				(11)	(92)	(161)	(264)
		39%			61%		

Tableau 7 : Expression de la certitude en fonction de l'issue du diagnostic dans une configuration perpendiculaire

Quelle que soit l'issue du diagnostic conflit/non-conflit les débutants sont plus souvent sûrs de leur diagnostic (39% de doute contre 61% de degré de certitude 5). Tableau 7.

Pour les configurations face à face et rattrapage les résultats sont présentés dans le tableau 8.

Valeurs des séparations Types de configuration	0	2000	3000	4000	5000	6000	Moyenne
Face à face	3,9	4,1	4,2	4,8	4,6	4,7	4,4
Rattrapage	4	3,9	4,3	4,1	4,6	4,8	4,3
Perpendiculaire à ONM	4,2	4,7	4,4	4,7	4,8	4,9	4,6

Tableau 8 : Degré moyen de certitude du diagnostic en fonction des différentes valeurs prises par la séparation verticale selon le type de configuration.

		Expression de la certitude		
		Doute <5	5	Total
Diagnostic	Perpendiculaire			
	C	19%	81%	100%
	\bar{C}	27%	73%	100%

		Expression de la certitude		
		Doute <5	5	Total
Diagnostic	Face à Face			
	C	28%	72%	100%
	\bar{C}	33%	67%	100%

		Expression de la certitude		
		Doute <5	5	Total
Diagnostic	Rattrapage			
	C	32%	68%	100%
	\bar{C}	39%	61%	100%

Tableaux 9 : Expression de la certitude en fonction de l'issue du diagnostic selon le type de configuration chez les débutants

- Le degré moyen de certitude varie selon les valeurs de la séparation verticale,
- C'est en configuration perpendiculaire que le degré de certitude est le plus élevé.

Les tableaux 9 présentent les résultats en fonction de l'issue du diagnostic chez les débutants.

Les tableaux 10 présentent les résultats des contrôleurs expérimentés.

En configuration perpendiculaire quel que soit le diagnostic, les débutants se montrent plus sûrs que les expérimentés.

Pour les deux autres configurations, on ne relève pas de différence entre débutants et expérimentés.

III - 4. Evaluation des séparations futures

Sera tout d'abord présentée l'analyse relative à la valeur des écarts par rapport à l'évaluation correcte.

Le contrôleur pouvant :

- soit sous-évaluer la valeur de la séparation future,
- soit sur-évaluer la valeur de la séparation future.

Dans un deuxième temps, on présentera l'analyse portant sur le nombre de réponses exactes (évaluation correcte) par rapport au nombre d'évaluations faites.

		Expression de la certitude		
Perpendiculaire		Doute < 5	5	Total
Diagnostic	C	62.2%	38.8%	100%
	\bar{C}	46.4%	53.6%	100%

		Expression de la certitude		
Face à Face		Doute < 5 3	5	Total
Diagnostic	C	37.7%	62.3%	100%
	\bar{C}	43.0%	57.0%	100%

		Expression de la certitude		
Rattrapage		Doute < 5	5	Total
Diagnostic	C	34.2%	65.8%	100%
	\bar{C}	22.2%	77.8%	100%

Tableaux 10 : Expression de la certitude en fonction de l'issue du diagnostic selon le type de configuration chez les expérimentés

III 4.1. Valeur des écarts à l'évaluation correcte

1) Evaluation des séparations horizontales

Les résultats concernant la configuration perpendiculaire sont présentés dans le tableau ci-après (tableau II).

Séparation horizontale	ONM	3	5	10	15	20	M
Sous-évaluation		n = 16 $\bar{x} = 1,3$ $\sigma = 0,7$	n = 16 $\bar{x} = 1,8$ $\sigma = 0,6$	n = 32 $\bar{x} = 2,7$ $\sigma = 1,1$	n = 38 $\bar{x} = 3,8$ $\sigma = 1,8$	n = 36 $\bar{x} = 4,6$ $\sigma = 2$	138 $\bar{x} = 3,2$
Sur-évaluation	n = 34 $\bar{x} = 2,1$ $\sigma = 0,9$	n = 18 $\bar{x} = 1,9$ $\sigma = 1,1$	n = 15 $\bar{x} = 3,2$ $\sigma = 1,5$	n = 3 $\bar{x} = 3,8$ $\sigma = 2$	n = 3 $\bar{x} = 4,3$ $\sigma = 2,5$	n = 4 $\bar{x} = 7,1$ $\sigma = 3,1$	77 2,6

Tableau II : Moyennes et écarts types des écarts à la bonne réponse en fonction des différentes valeurs de la séparation horizontale pour une configuration 90°

Dans 100% des cas, il y a évaluation de la séparation horizontale.

Les évaluations se répartissent comme suit :

- 18.5% des évaluations de la séparation horizontale sont correctes
- 52.3% de sous-évaluations
- 29.2% de sur-évaluations.

En ce qui concerne les sous-évaluations, les écarts moyens à la bonne réponse sont de 3.2 NM.

- Le pourcentage de sous-estimations croît avec l'augmentation de la séparation horizontale
- En ce qui concerne les sur-évaluations, les écarts moyens sont de 2.67 NM

Le pourcentage de sur-évaluations diminue avec l'augmentation de la valeur de la séparation horizontale.

Evaluation des séparations verticales

Les résultats sont présentés dans le tableau 12.

Type de configuration \ Type de déformation	Sous-évaluat.	Sur-évaluat.	Moyenne
Perpendiculaire à ONM	2100 Ft n = 131	1710 Ft n = 73	1960 n = 204
Face à face	1950 Ft n = 28	2100 Ft n = 3	1964 n = 31
Rattrapage	2460 Ft n = 25	1825 Ft n = 9	2292 n = 3

Tableau 12 : Ecartsmoyens à la bonne réponse en fonction du type de configuration

- Hormis la configuration en face à face, les sous-évaluations de la séparation verticale sont plus importantes que les sur-évaluations
- Quelle que soit la configuration les sous-évaluations sont plus fréquentes que les sur-évaluations, tout particulièrement en face à face et rattrapage.

--- Sous-évaluation
 +++ Sur-évaluation
 === Evaluation correcte

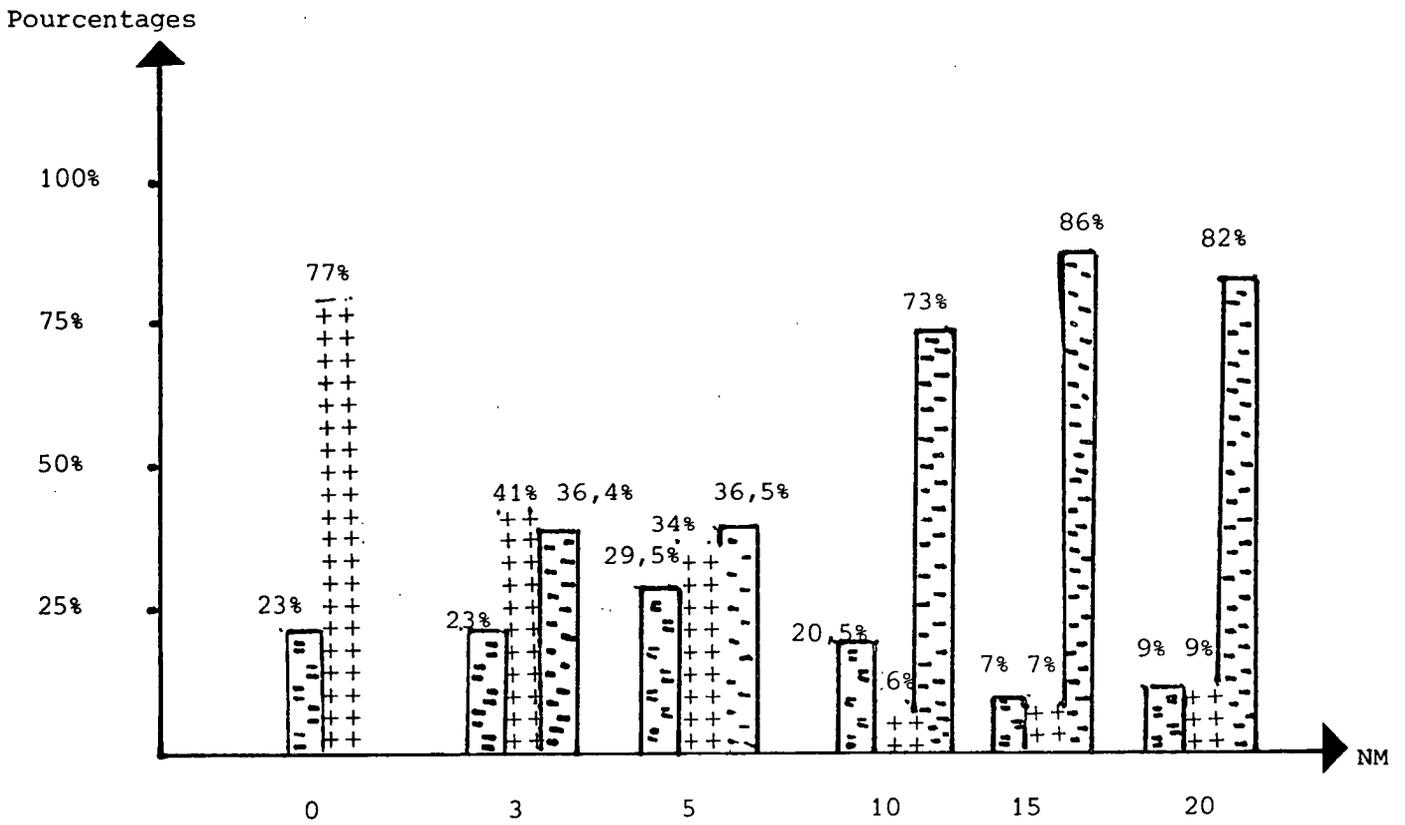


Figure 8 Histogrammes des différentes réponses relatives à l'évaluation de la séparation horizontale pour une configuration 90°.

Dans tous les cas, l'évaluation de la séparation verticale est fournie par les débutants au moment du diagnostic, alors que chez les expérimentés dans 60% des cas, l'évaluation du niveau survenait après le diagnostic.

III - 4.2. Nombre de bonnes réponses

1) Evaluation des séparations horizontales

Selon qu'il y a eu déformations ou évaluations correctes (bonnes réponses) le codage suivant a été pris :

- Les sur-évaluations sont symbolisées sur les graphes par le signe +
- Les sous-évaluations par le signe -
- Les bonnes évaluations par le signe =

Les résultats concernant l'évaluation de la séparation horizontale sont présentés dans la figure 8 ci-contre.

- L'augmentation de la valeur de la séparation horizontale entraîne une augmentation du pourcentage de sous-évaluations
- Le pourcentage de réponses correctes diminue sensiblement avec l'augmentation de la séparation horizontale.

Le tableau 13 regroupe l'ensemble des résultats relatifs au type de déformation selon le niveau d'expérience dans une configuration perpendiculaire.

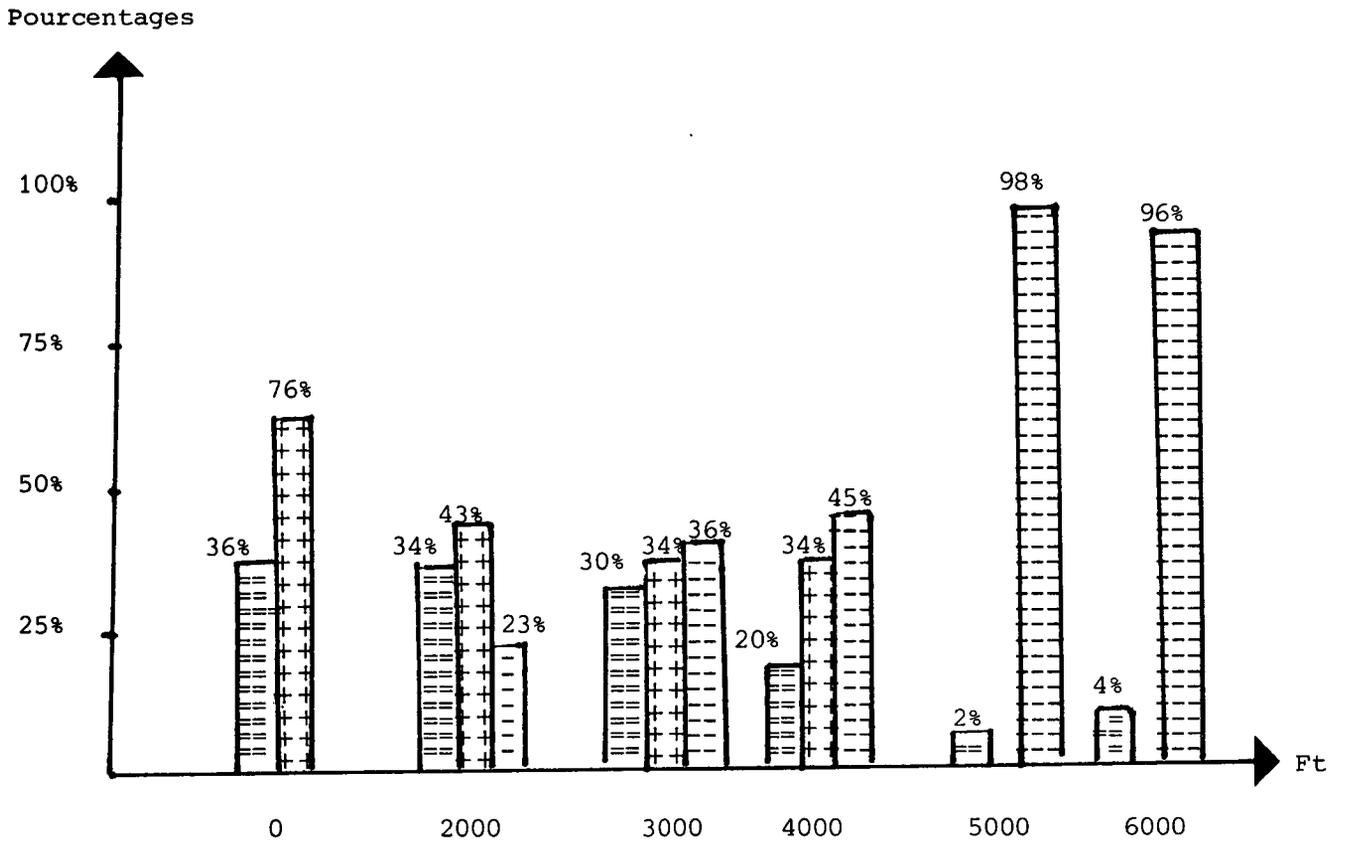


Figure 9 Histogramme des différents type de réponses relatives à l'évaluation de la séparation verticale pour une configuration perpendiculaire.

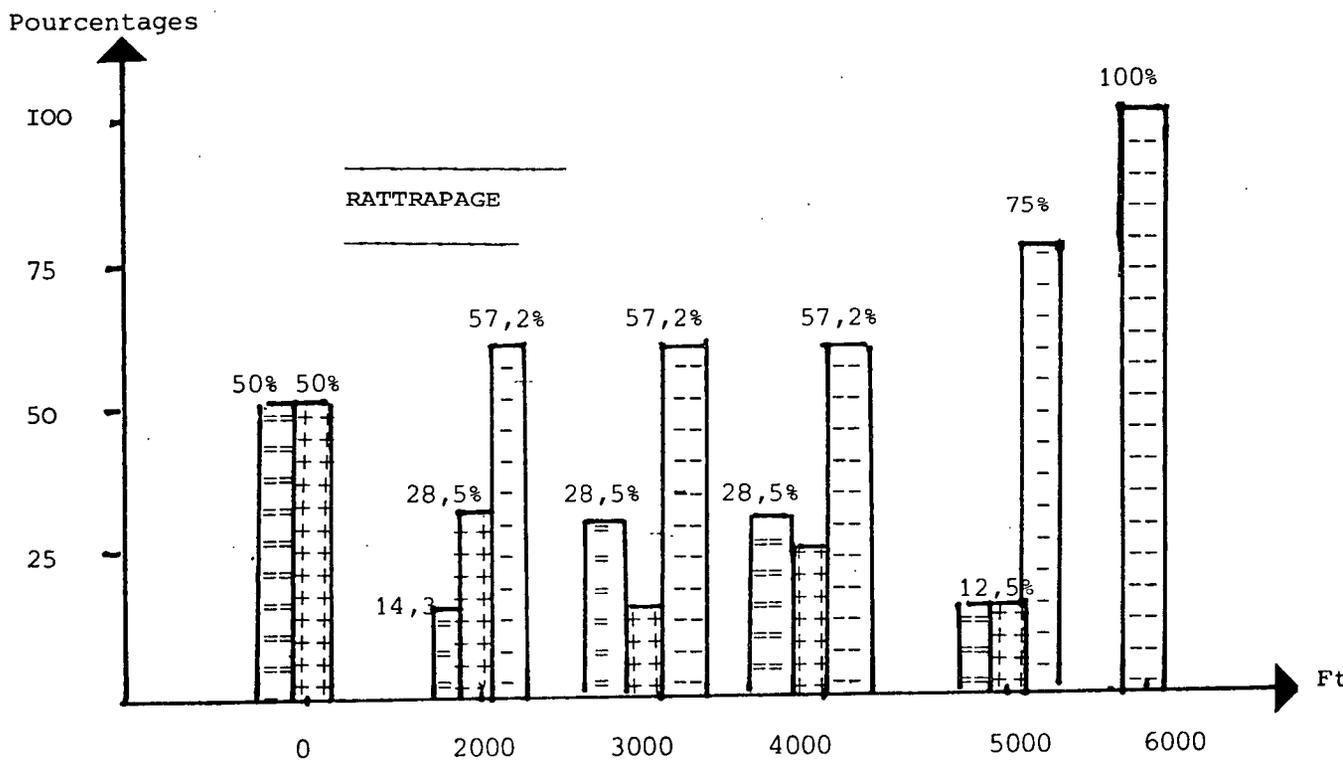
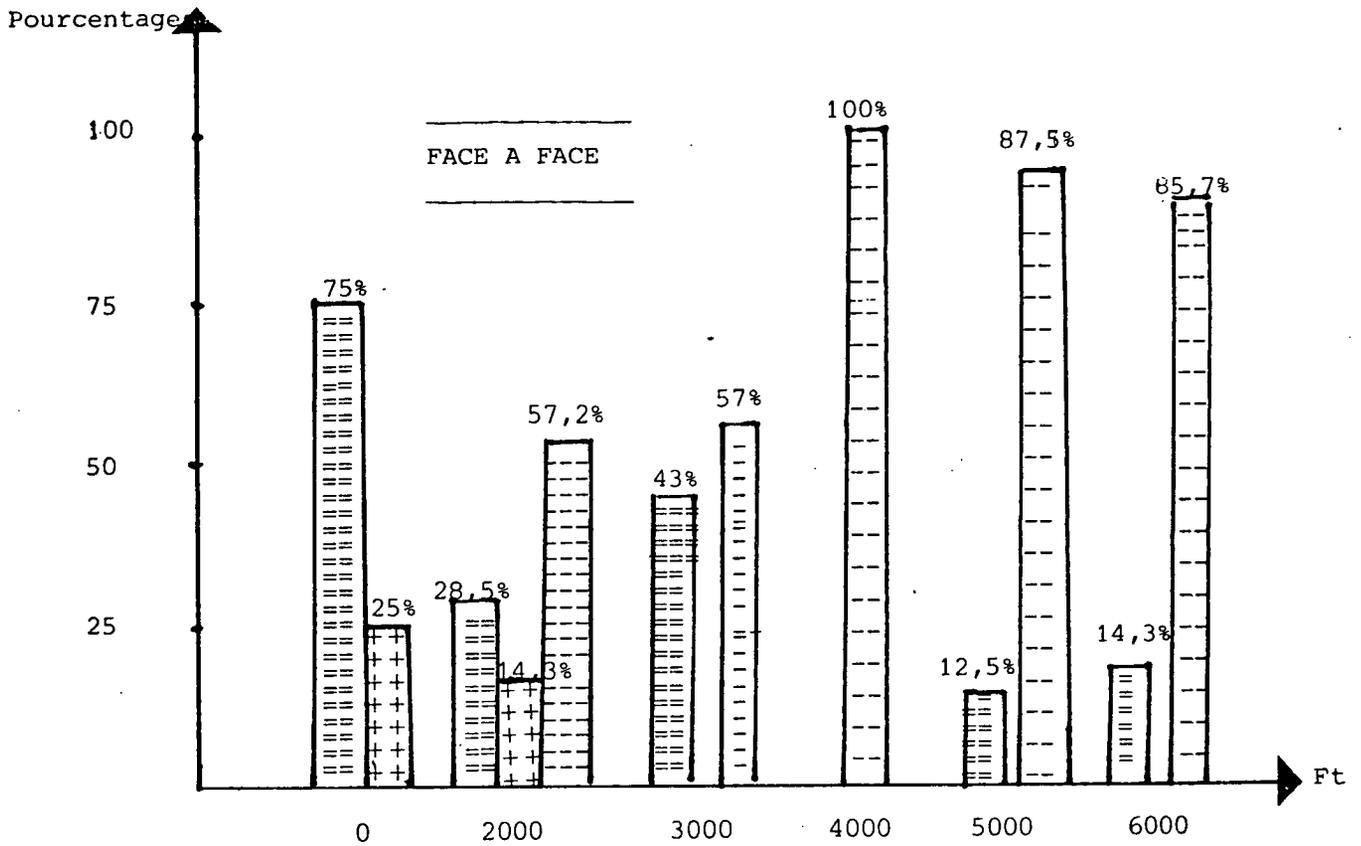
		Bonne évaluation	Sous évaluation	Sur évaluation
Expérience	PC	24.8% 70	55.7% 157	19.5% 55
	Débutant	18.5% 49	52.3% 138	29.2% 77

Tableau 13 : Pourcentages des différents types de réponses lors de l'évaluation de la valeur de la séparation horizontale en fonction du niveau d'expérience

Les débutants font plus souvent des sur-évaluations que les premiers contrôleurs, les différences observées sont significatives à .05. $\chi^2 = 5.16$.

2) Evaluation des séparations verticales

Les résultats concernant l'évaluation de la séparation verticale dans une configuration perpendiculaire sont présentés dans la figure 9. L'augmentation de la valeur de la séparation minimale verticale s'accompagne d'une augmentation du pourcentage de sous-évaluation.



Figures 10 et 11

Histogrammes des différents types de réponses relatives à l'évaluation de la valeur de la séparation verticale en fonction de la configuration.

Les résultats concernant les configurations en face à face et rattrapage sont présentés dans les figures 10 et 11 ci-contre :

- En face à face, on relève un pourcentage élevé de réponse correcte pour les problèmes 0 pieds de séparation verticale
- De même que pour la configuration perpendiculaire, l'augmentation de la valeur de la séparation minimale verticale entraîne une augmentation du pourcentage de sous-évaluations.

Le tableau 14 regroupe les performances des contrôleurs expérimentés et des débutants lors de l'évaluation de la valeur de la séparation verticale. Les différences observées ne sont pas significatives.

	Bonne évaluation	Sous évaluation	Sur évaluation
PC	(47) 16.7%	(149) 52.8%	(86) 30.5%
Débutants	(56) 21.2%	(131) 49.5%	(77) 29.2%

Tableau 14 : Pourcentages et effectifs (entre parenthèses) des différents types de réponses relatives à l'évaluation de la valeur de la séparation verticale selon le niveau de qualification

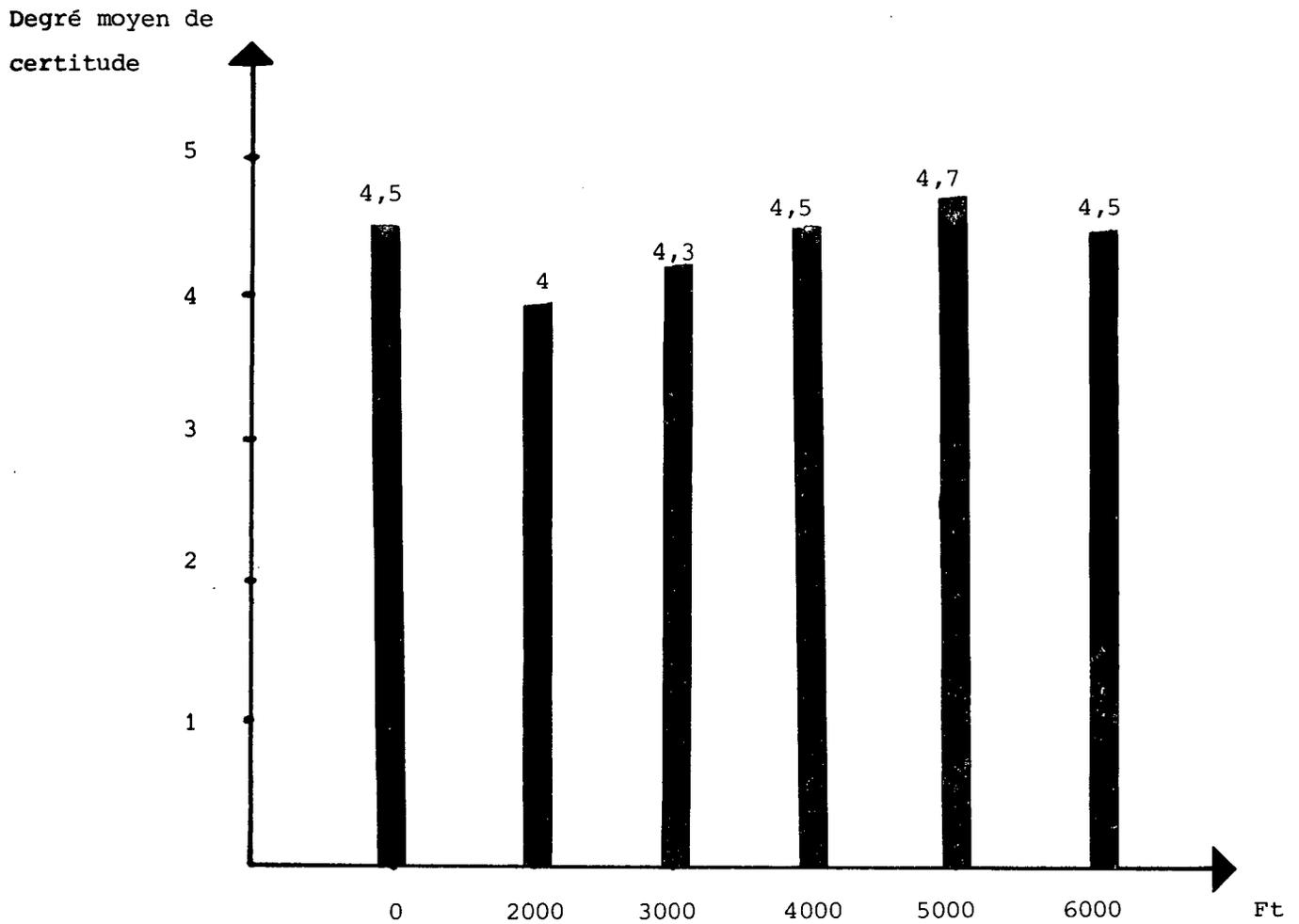


Figure 12 : Degré moyen de certitude de l'évaluation de la valeur de la séparation horizontale en fonction des différentes valeurs de la séparation verticale dans une configuration perpendiculaire.

III - 5. Degré de certitude des évaluations

1) Evaluation de la séparation horizontale

Les résultats sont présentés dans la figure 12 ci-contre.

Le degré moyen de certitude de l'évaluation horizontale pour une configuration perpendiculaire est de 4.4.

L'augmentation de la séparation horizontale n'entraîne pas de variation importante du degré moyen de certitude.

Le degré moyen (4.4) de certitude de l'évaluation horizontale est proche du degré moyen de certitude du diagnostic [(4.57) chap. 3.3.]

2) Evaluation de la séparation verticale

L'augmentation de la valeur de la séparation verticale n'entraîne pas d'augmentation du degré moyen de certitude.

Le degré moyen (4.2) de certitude de l'évaluation verticale est également proche du degré moyen de certitude du diagnostic.

Si le diagnostic repose sur l'évaluation des séparations futures, on peut supposer que plus l'opérateur sera sûr du résultat de son évaluation plus il sera sûr de son diagnostic. Chez les débutants on note que le degré de certitude du diagnostic est proche du degré moyen de certitude des évaluations des séparations horizontales et verticales.

En outre, dans un certain nombre de cas, il y a identité entre le degré de certitude du diagnostic et le degré de certitude du résultat des évaluations.

Soit : Identité dans 69% des cas entre certitude du diagnostic et certitude de l'évaluation de la séparation verticale.

Identité dans 73% des cas entre le degré de certitude du diagnostic et le degré de certitude de l'évaluation de la séparation horizontale.

III - 6. Le type de solution choisi pour résoudre le conflit

Les résultats sont présentés dans le tableau 15.

- Quel que soit le type de configuration, c'est l'altération de cap qui est la plus choisie (62%)
- Les solutions en niveau représentent 24% des solutions retenues
- Les contrôleurs débutants n'ont jamais recours à 2 solutions.

Solution Type de config.	Cap	Niveau	Taux de / ou \
Perpendiculaire	(61) 66 %	(21) 23 %	(10) 11 %
Face à face	(10) 47,6 %	(7) 33,3 %	(4) 19,1 %
Rattrapage	(9) 56,25 %	(3) 18,75 %	(4) 25 %
	(80) 62 %	(31) 24 %	(18) 14 %

Tableau 15 : Effectifs (entre parenthèses) et pourcentages du nombre de solutions choisies selon le type de configuration

L'amplitude de l'intervention dépend du moment de l'intervention. Plus la décision d'agir est prise tardivement plus l'altération de cap devra être importante et sera donc pénalisante pour le pilote.

Ci-après on présentera l'amplitude des interventions chez les débutants et chez les contrôleurs expérimentés selon la solution choisie.

En ce qui concerne la solution de cap.

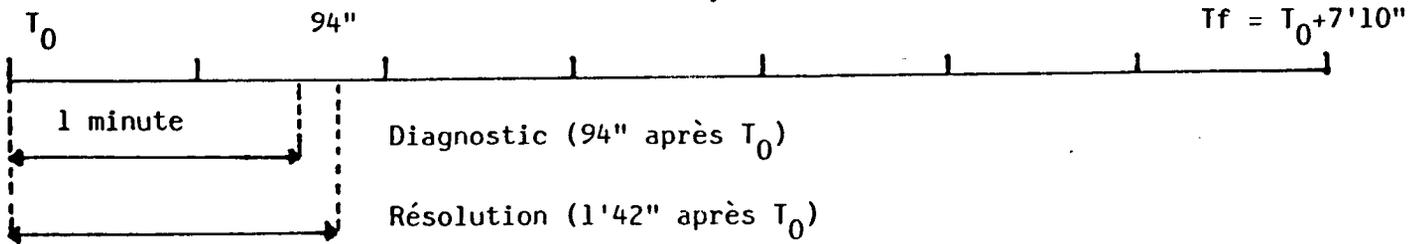
L'altération de cap la plus fréquemment appliquée est celle qui consiste à "bouger" l'avion de 30° par rapport à sa trajectoire initiale. Les résultats sont présentés ci-dessous tableau 16.

Amplitude de l'altération de cap

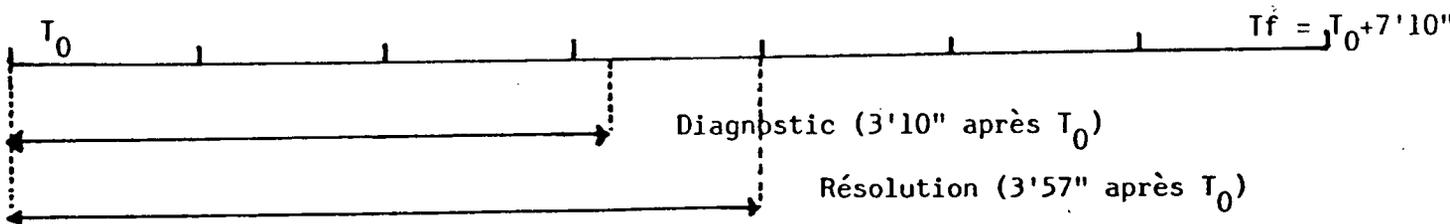
	< 30°			= 30°	> 30°			
	= 10°	= 15°	15° < 30°		45°	60°	> 60°	
Contrôl. Expéri.	18.7% (38)	9.3% (19)	12.8% (26)	58.6% (119)	0.5% (1)			100% (203)
Débutants	1.25% (1)	2.5% (2)	11.25% (9)	26.25% (21)	16.25% (13)	36.25% (29)	6.25% (5)	100% (80)

Tableau 16 : Effectifs et pourcentages de solution en cap choisies selon la qualification, en fonction de l'amplitude de l'altération de cap.

Délais de diagnostic et d'interventions chez les contrôleurs expérimentés



Délais de diagnostic et d'interventions chez les débutants



Chaque intervalle représente une minute

T_0 : Début de l'exercice

T_f : Fin de l'exercice, moment ou la séparation entre les avions est minimale

Chez les expérimentés, dans 99.5% des cas, l'altération de cap est \leq à 30°. Par contre, chez les débutants le pourcentage d'altération de cap supérieur à 30° atteint 58.75%.

Les différences observées entre contrôleurs expérimentés et débutants sont significatives ($\chi^2 = 19$ à .001).

En ce qui concerne la solution niveau

On ne relève pas de différence entre contrôleurs expérimentés et débutants.

III - 7. Moment de l'intervention

Une intervention n'a d'intérêt que si elle est faite à temps, nous analyserons ici les délais d'intervention ou de décisions d'agir (schémas ci-contre).

Chez les contrôleurs expérimentés le moment de l'intervention est proche du moment du diagnostic, le délai écoulé entre diagnostic et intervention est de 8" ($\sqrt{\quad} = 3$ ").

L'intervention est toujours donnée à temps, compte-tenu du délai d'application de la manoeuvre par le pilote.

Chez les débutants le moment de l'intervention est plus tardif, il survient en moyenne 57" ($\sqrt{\quad} = 18$ ") après le diagnostic.

Certaines décisions d'intervention surviennent trop tard :

- En configuration perpendiculaire sur 15 conflits vrais (< 5 NM < 2000 pieds) neuf problèmes (60%) sont résolus trop tard. De même en configuration face à face, on rencontre trois cas d'interventions tardives et six cas en configuration de rattrapage.

IV - CONCLUSION

Les performances des élèves contrôleurs se distinguent de celles des premiers contrôleurs sur plusieurs points :

- Les débutants sont plus discriminants que les expérimentés. Le fait qu'ils aient utilisés "le "papier-crayon" pour calculer" la valeur de la séparation future peut contribuer à expliquer ce résultat.
- Les décisions d'interventions surviennent tardivement dans 58% des cas.
- L'évaluation de la position future des avions se fait le plus souvent par calcul de type logico-mathématique. Les débutants intègrent plus fréquemment à leurs diagnostics les informations relatives aux séparations dans le plan vertical que les contrôleurs expérimentés.

Ces résultats confortent l'hypothèse selon laquelle les débutants se livrent à une analyse plus détaillée de la situation.

On peut se demander pourquoi les caractéristiques du diagnostic sont différentes selon la qualification des opérateurs, à savoir de type logico-mathématique chez les débutants et perceptif chez les expérimentés.

Bien que les débutants fassent moins de fausses alertes (31%) que les expérimentés (62,5%) il n'en demeure pas moins qu'ils en font.

Une des hypothèses explicatives se situe au niveau des objectifs que se fixent les opérateurs.

Nous faisons l'hypothèse qu'il existe des objectifs différents selon le niveau d'entraînement des opérateurs.

Les opérateurs débutants chercheraient à atteindre le "diagnostic vrai" soit, intervenir quand c'est strictement nécessaire, et laisser aller dans les autres cas. Pour ce faire ils utilisent l'ensemble des informations caractérisant la situation (taux de montée des avions, niveau, séparation horizontale...).

Les débutants se donnent les moyens de parvenir à leur objectif en calculant les valeurs des séparations futures entre avions, c'est pourquoi on relève des diagnostics donnés tardivement et des décisions d'intervention survenant tard et dans certains cas trop tard.

Les fausses alertes auraient pour origine des erreurs de calcul et ne seraient pas la manifestation d'une prudence systématique.

Les expérimentés viseraient la sécurité en priorité et, appliqueraient pour leur part des processus perceptifs, car les données permettant l'estimation de la valeur de la séparation horizontale sont fournies par le radar et sont donc directement accessibles par la perception, en d'autres termes les processus perceptifs appliqués par les expérimentés sont plus immédiats, comportant certes plus de risques d'erreurs, mais moins longs puisque ne nécessitant pas un calcul mathématique.

Sachant alors qu'ils sont amenés à faire de fausses alertes, à cet objectif final la sécurité, s'ajoutent deux objectifs intermédiaires :

- Minimiser la pénalisation encourue par les avions lors de fausses alertes
- Diminuer leur charge de travail en se libérant d'un problème.

Pour ce faire, ils appliquent très tôt des solutions d'amplitudes moindres.

Enfin, on peut avancer comme autre hypothèse explicative la notion de coût qui sans doute intervient dans le choix de la procédure suivie par les opérateurs.

Cette notion de coût doit s'entendre en terme non pas de charge de travail induite par l'application de telle ou telle procédure mais en terme de pénalisation ou de risque encouru dans le cas où le contrôleur fait une omission.

On peut dire que dans le cas où l'opérateur, pour réaliser sa tâche, a la possibilité et la capacité d'opter entre plusieurs comportements (choix entre plusieurs variables ou modes opératoires) il a tendance à classer ses comportements possibles en fonction de la charge induite par chacun des modes opératoires mais aussi en fonction des risques encourus en cas d'erreurs, et de fait à choisir le moins coûteux d'entre eux (ici minimiser les omissions quitte à faire de fausses alertes) compte-tenu de l'objectif fixé.

ANNEXES

ANNEXE 1

CONSIGNE :

Nous allons vous présenter des situations différentes. Certaines sont conflictuelles, d'autres pas, chacune est définie par un couple d'avions évolutifs convergents vers une même balise, un en montée, l'autre en descente.

Chacun des avions est généré à un niveau donné et poursuit sa trajectoire au-delà du point de croisement de ces mêmes trajectoires.

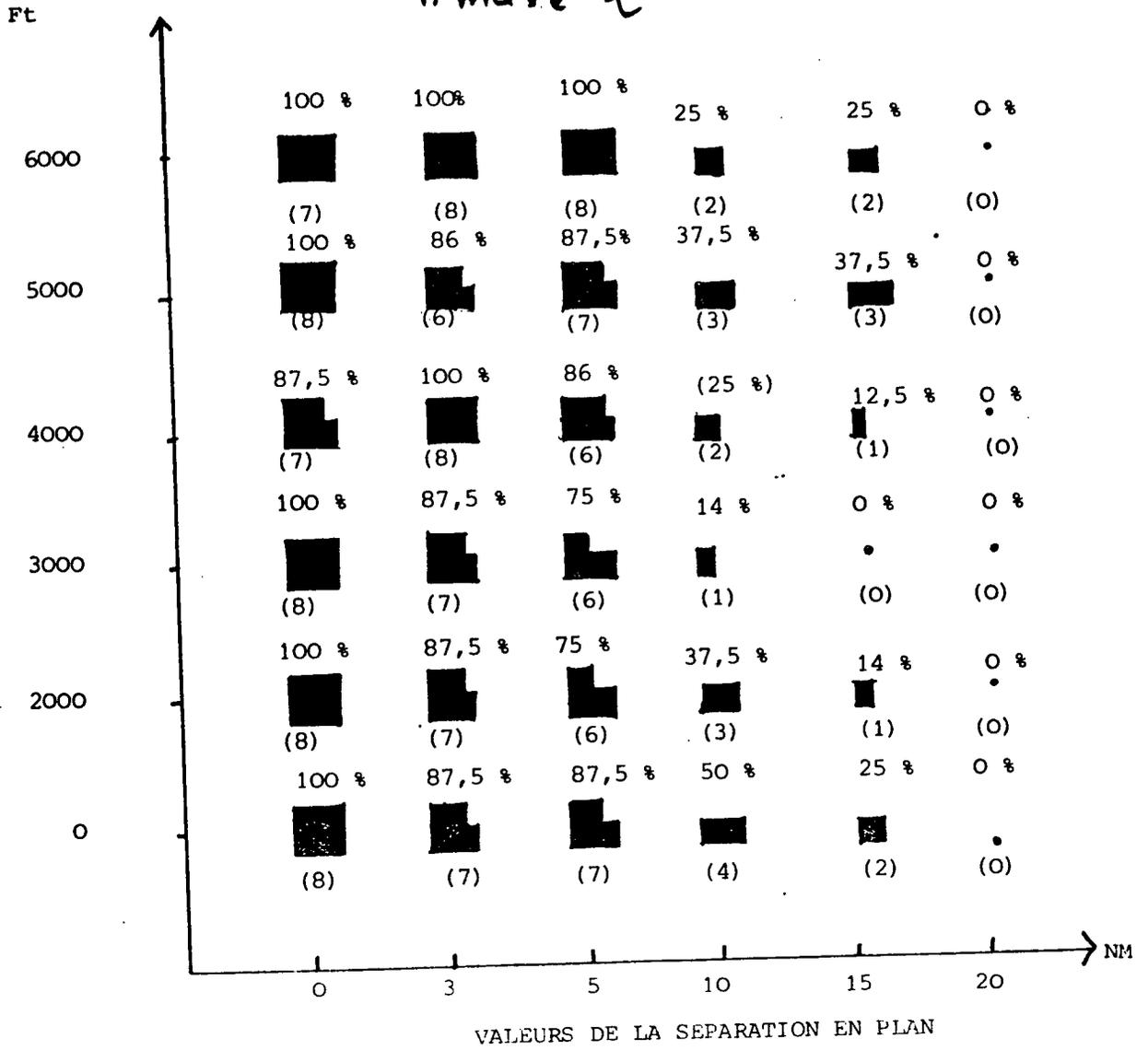
Votre tâche est :

- de détecter s'il y a conflit ou non
- d'évaluer les séparations minimales qu'il y aurait entre les avions si vous laissez évoluer la situation
- de donner les solutions que vous envisagez pour résoudre les conflits détectés
- pour chacune de ces trois tâches vous devrez évaluer votre degré de certitude sur une échelle de 1 à 5.

Un étant la certitude minimale, cinq étant la certitude maximale que vous accordez à votre réponse.

Nous tenons à votre disposition comme information les types d'appareils ainsi que leur vitesse.

Annexe 2



Nombre (entre parenthèses) et pourcentages de diagnostic conflit selon les valeurs de la séparation minimale en plan et en niveau, pour une configuration perpendiculaire.

Remarque : Plus la zone noircie est grande plus le pourcentage de diagnostic conflit est élevé.

Imprimé en France

par

l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique