



Nouvelles perspectives dans l'expertise du sens chromatique

Application aux pilotes de l'aéronautique

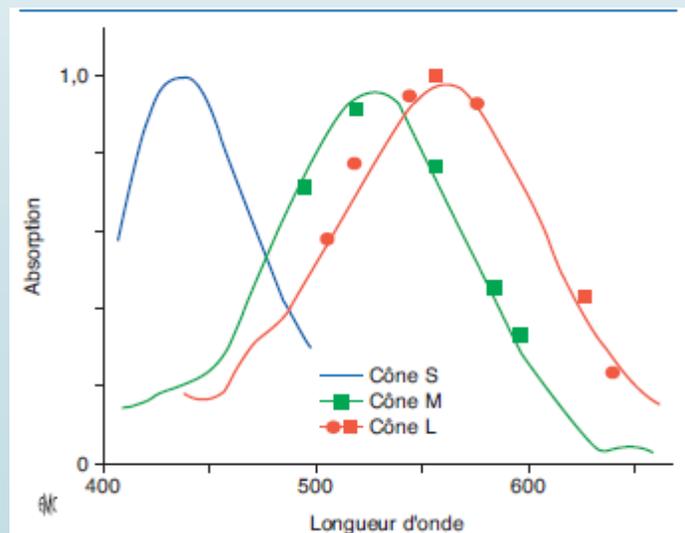


Dr MARECHAL Marie
Ophtalmologie, HIA Percy – Clamart

Réunion de l'AMABEL, 5 octobre 2018

Introduction

- ▶ Maxima d'absorption des photopigments des cônes :
 - cônes S (*short wavelength*): $419,0 \pm 3,6$ nm, codent la couleur bleue
 - cônes M (*middle wavelength*) : $530,8 \pm 3,5$ nm, codent la couleur verte
 - cônes L (*long wavelength*) : $558,4 \pm 5,2$ nm, codent la couleur rouge



Trichromate normal : trois types de pigments,

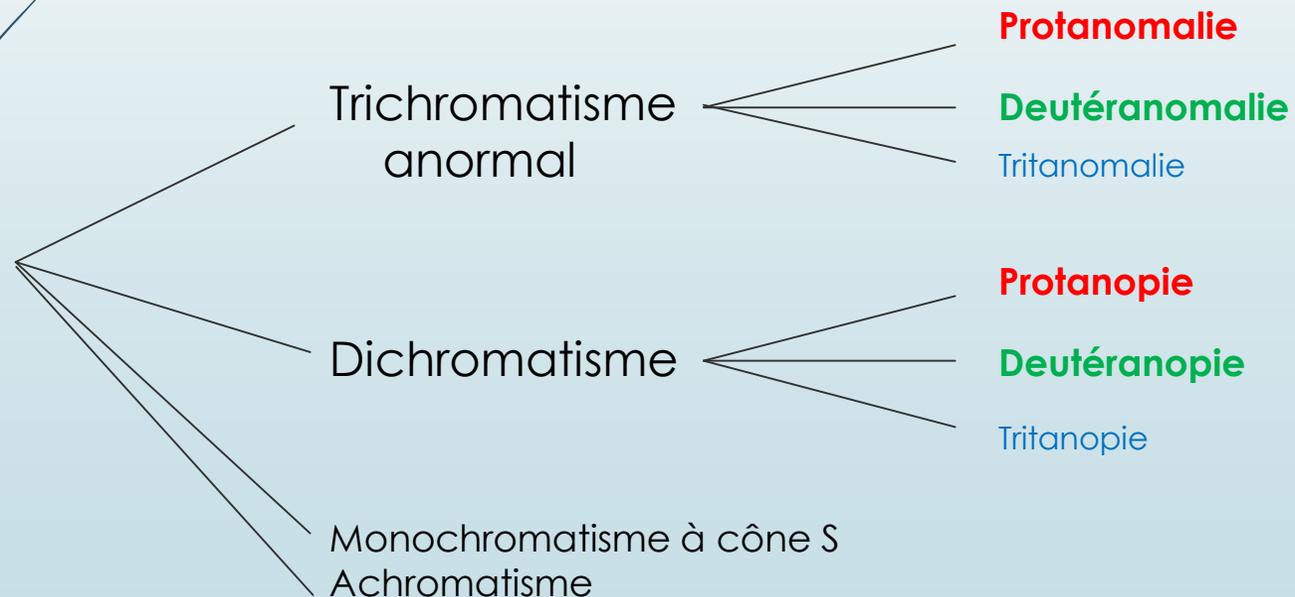
Trichromates anormaux : trois pigments dont l'un est modifié

Dichromates : un pigment absent.

Introduction

► Dyschromatopsies

- 9 % des hommes et 0.5 % des femmes
- 1.5 à 3% des candidats pilotes militaires (Armée de l'Air)
 - 11 à 13% des inaptitudes d'origine ophtalmologique



Introduction

► Utilisation de la couleur en aviation

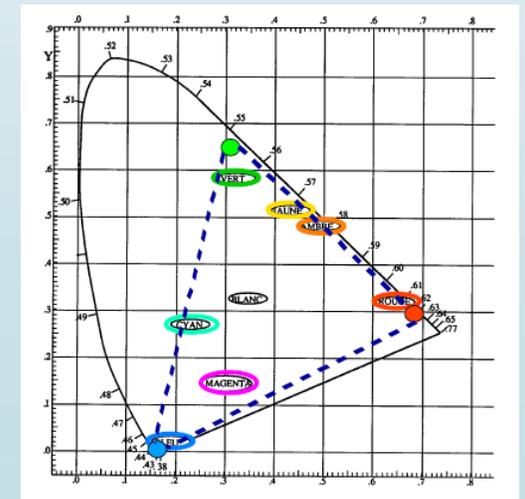
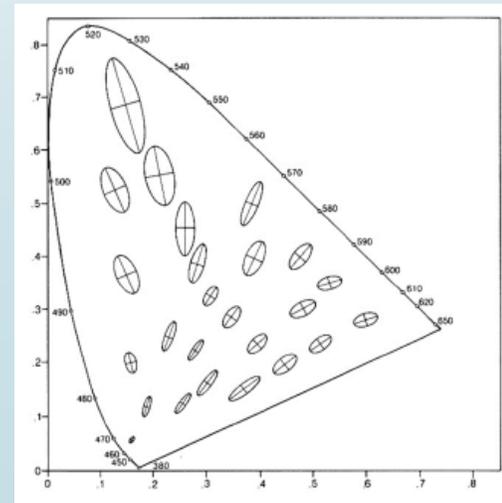
- "glass cockpits" : écrans LCD avec affichage multicolore
- PAPI (Precision Approach Path Indicator) : le plus critique
- Signalisation :
 - Feux de parking
 - Voies de circulation (taxiways)
 - Feux réglementaires des avions



Introduction

La couleur est de plus en plus présente dans les cockpits

- "glass cockpits" : écrans LCD avec affichage multicolore
- Choix des couleurs : laissé libre au constructeur
- Couleurs localisées dans différentes zones de confusion selon les ellipses de MacAdam



Introduction - réglementation



► **En France** : Décret de janvier 2005 élaboré selon les règlements de l'EASA

- OU
- Réussite à l'album d'**Ishihara** 24 planches (15 planches identifiées sans erreur ni hésitation)
 - 'trichromate normal' à l'**anomaloscope de Nagel**

Vision des couleurs normale



- OU
- Identification sans erreur ni hésitation des feux colorés à la **lanterne de Beyne** (présentée à 5m pendant 1s, ouverture 3 min d'arc)
 - Plage d'égalisation ≤ 4 unités à l'**anomaloscope de Nagel**

Vision des couleurs suffisante

Introduction - réglementation



► **En France** : Décret de janvier 2005 / suit les règlements de l'EASA

- Réussite à l'album d'**Ishihara** 24 plate
- 'trichromate normal' à l'**anomaloscope de Nagel**



Vision des couleurs normale

- Identification sans erreur ni hésitation des feux colorés à la **lanterne de Beyne**
- Plage d'égalisation < 4 unités à l' **anomaloscope de Nagel**



Vision des couleurs suffisante

► **Exemples dans d'autres pays**



Grande Bretagne : lanterne Holmes-Wright ou CAD test



Allemagne : Anomaloscope



USA : lanternes Farnsworth ou Optec, Titmus vision test



Canada : lanterne ou 15 Hue de Farnsworth



Nouvelle Zélande : lanternes Farnsworth et Holmes-Wright, 15 Hue de Farnsworth ou CAD test





Introduction



- **Lanternes chromoptométriques** : Plus commercialisées
(sauf Fletcher-Evans CAM)

- **But de l'étude**

Evaluer les capacités de 8 tests de la vision des couleurs pour le dépistage, la qualification et la quantification des dyschromatopsies héréditaires rouge/vert, en vue d'améliorer les protocoles de sélection chromatique en milieu aéronautique.

Méthodes

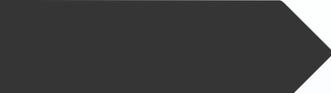
- Etude prospective
Novembre 2016 à Mai 2017
CPEMPN , HIA Percy

- **INCLUSION**

- **Sujets dyschromates:** adressés pour échec à la lecture des planches d'Ishihara par :
 - centre de sélection militaire
 - Médecin Examineur Agréé
- **Sujets témoins :**
volontaires sains

- **EXCLUSION**

- AV corrigée < 6/10
- Pathologie ophtalmologique
- Lentilles teintées



Méthodes - Tests évalués

Ishihara

Lanterne de Beyne

Lanterne de Fletcher

Tests de classement

15 Hue de Farnsworth

15 Hue désaturé de Lanthony

100 Hue de Munsell

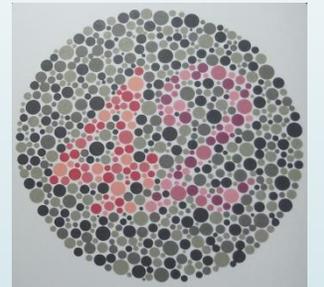
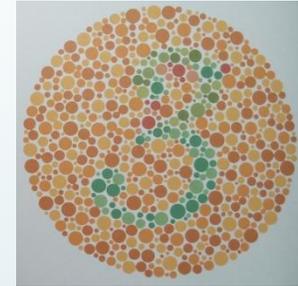
CAD (Colour Assessment and Diagnosis) test

Anomaloscope type Nagel

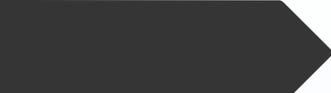
Méthodes - Tests évalués

Ishihara 38-planches

- Ordre aléatoire
- 70 cm de distance, à 45°
- 3 secondes pour chaque planche



→ Réussi si les 17 premières planches sont lues sans erreur ni hésitation.



Méthodes - Tests évalués

Ishihara

Lanterne de Beyne

Lanterne de Fletcher

Tests de classement

15 Hue de Farnsworth

15 Hue désaturé de Lanthony

100 Hue de Munsell

CAD (Colour Assessment and Diagnosis) test

Anomaloscope type Nagel

Méthodes - Tests évalués

Lanterne de Beyne type aviation

5 feux colorés, ordre aléatoire

Rouge, Vert, Bleu, Jaune-Orangé, Blanc cassé

Conditions mésopiques basses, 5m

Toute hésitation ou réponse fausse = erreur

2 protocoles sans citer les couleurs

militaire

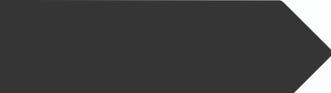
- 1 s / 4' : présentation 1s, ouverture 4 min d'arc
- 1/25^e s / 2 : présentation 1/25^{ème} s , ouverture 2 min d'arc

Puis couleurs citées: rouge, vert, bleu, jaune-orangé, blanc cassé

civil

- 1 s / 3' : présentation 1s, ouverture 3 min d'arc
- 1 s / 3' x 3 présentations (apte si aucune erreur à 2 présentations / 3)





Méthodes - Tests évalués

Ishihara

Lanterne de Beyne

Lanterne de Fletcher

Tests de classement

15 Hue de Farnsworth

15 Hue désaturé de Lanthony

100 Hue de Munsell

CAD (Colour Assessment and Diagnosis) test

Anomaloscope type Nagel

Méthodes - Tests évalués

Lanterne de Fletcher-Evans CAM

2 feux verticaux

6m

9 combinaisons

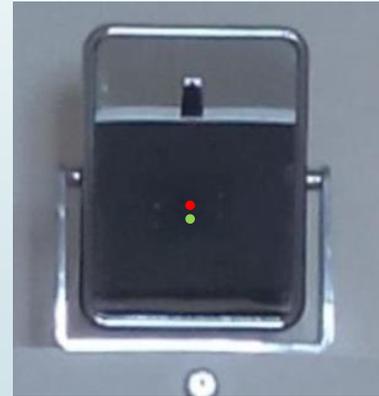
5 couleurs : 2 rouges, 2 verts, 1 blanc



- Phase informative : couleurs présentées et citées.
- Phase de test : 0.9 min d'arc , 2 s

Premier passage : apte si aucune erreur

2 passages supplémentaires si erreur





Méthodes - Tests évalués

Ishihara

Lanterne de Beyne

Lanterne de Fletcher

Tests de classement

15 Hue de Farnsworth

15 Hue désaturé de Lanthony

100 Hue de Munsell

CAD (Colour Assessment and Diagnosis) test

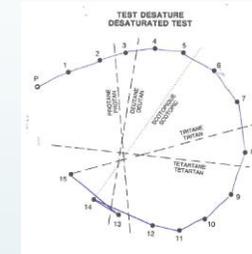
Anomaloscope type Nagel

Méthodes - Tests évalués

Tests de classement

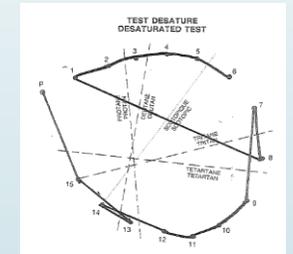
► 15 Hue standard de Farnsworth

- Classer 16 pions en 3 minutes.
- Réussi si aucune droite de confusion (schéma circulaire) droite entre les pions 7 and 15, simples inversions de pions.



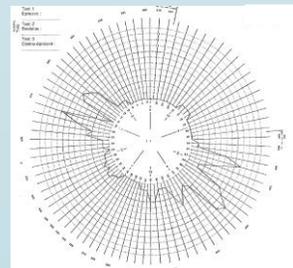
► 15 Hue désaturé de Lanthony

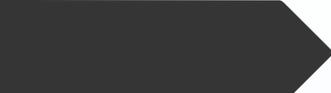
- Réussi si < 2 droites de confusion



► 100 Hue de Farnsworth-Munsell

- 4 plumiers, 2 min chacun
- Axe de la dyschromatopsie
- Score de sévérité





Méthodes - Tests évalués

Ishihara

Lanterne de Beyne

Lanterne de Fletcher

Test de classement

15 Hue de Farnsworth

15 Hue désaturé de Lanthony

100 Hue de Munsell

CAD (Colour Assessment and Diagnosis) test

Anomaloscope type Nagel

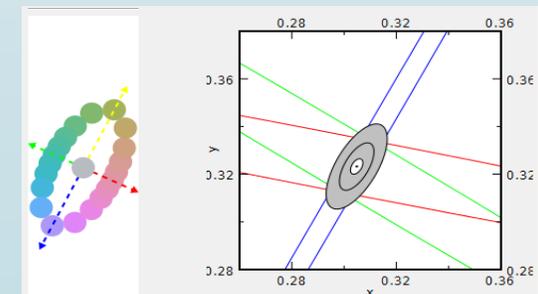
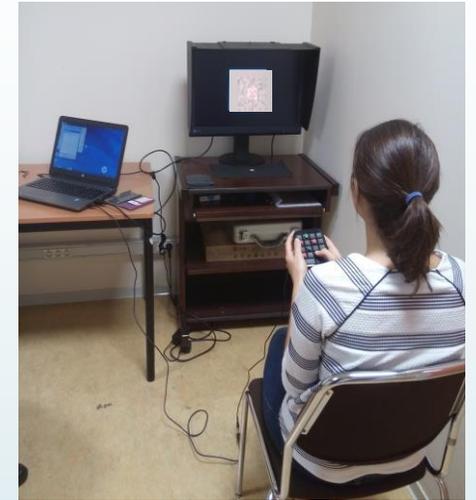
Méthodes - Tests évalués

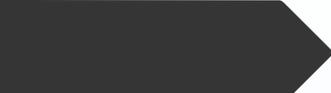
CAD Test (Colour Assessment and Diagnosis)

Conditions mésopiques
1.40 m de l'écran de visualisation

- '*learning mode*' : compréhension du test
- '*fast screening*' : identifie la majorité des sujets sains
- '*definitive CAD*' : détermine la sensibilité chromatique du sujet pour chaque longueur d'onde : stimuli d'intensité variable

- détermine l'axe et la sévérité selon un score (RG pour Rouge-Vert et YB pour Bleu-Jaune)
- Sujets sains : score < 2 SN
- Aptitude selon les limites britanniques:
RG < 6 SN pour deutans et RG < 12 SN pour protans





Méthodes - Tests évalués

Ishihara

Lanterne de Beyne

Lanterne de Fletcher

Tests de classement

15 Hue de Farnsworth

15 Hue désaturé de Lanthony

100 Hue de Munsell

CAD (Colour Assessment and Diagnosis) test

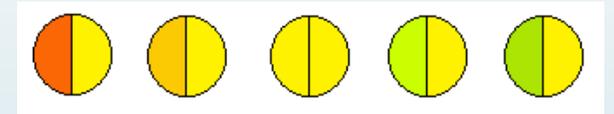
Anomaloscope type Nagel

Méthodes - Tests évalués

Anomaloscope IF2, Tomey

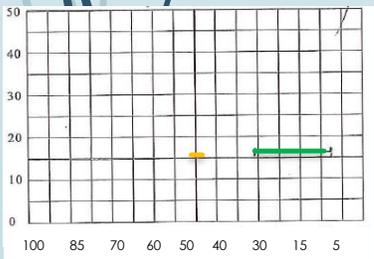
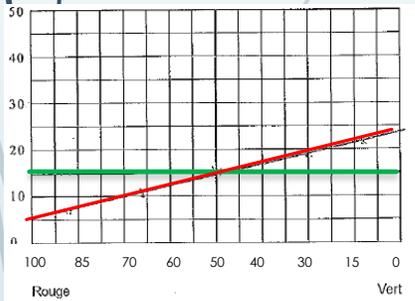


Equation de Rayleigh
Œil dominant, conditions mésopiques



- axe de la dyschromatopsie
- quantification : sépare trichromates anormaux / dichromates
- ou "normal color vision"

- Plage d'égalisation ⇔ sévérité
- Apte : plage d'égalisation < 4 unités pour l'anomaloscope de Nagel (soit 5 unités pour anomaloscope Tomey)





Méthodes

**→ 2 groupes : vision des couleurs déficiente (VCD)
vision des couleurs normale (VCN)**

Pour chaque test, évaluation de :

- Sensibilité, Spécificité, Valeur Prédictive Positive et Négative
- Application à l'aéronautique : nombre et taux de succès pour une aptitude classe 1
- Diagnostic quantitatif : courbes ROC pour le diagnostic de dichromatisme pour le CAD test et le 100 Hue
- Diagnostic qualitatif : axe protan / deutran selon anomaloscope

Résultats

- 55 sujets
 - 32 dyschromates (VCD). 3 ont été exclus (résultats manquants)
 - 23 sujets témoins (VCN)

29 VCD	23 VCN	p
23 ans \pm 6.09	26 ans \pm 6.1	p = 0.075
0 femme	9 femmes	p = 0.015
- 11 deutéranomaux (37.9%) - 7 protanomaux (24.1%) - 6 protanopes (20.69%) - 5 deutéranopes (17.24%)		

Résultats

► *Dépistage des dyschromatopsies*

		Se	Sp	VPP	VPN
Tables d'ISHIHARA		0,97	1,00	1,00	0,96
15 HUE standard		0,58	1,00	1,00	0,64
15 HUE désaturé		0,79	1,00	1,00	0,79
100 HUE		0,79	0,96	0,96	0,79
Lanterne de BEYNE					
	1s / 4'	0,79	0,96	0,96	0,79
	1/25 ^{ème} s / 2'	0,97	0,57	0,76	0,93
	1s / 3'	0,76	0,96	0,96	0,76
	1s / 3' x 3 séries	0,69	1,00	1,00	0,72
Lanterne de	1 présentation	1,00	0,78	0,85	1,00
FLETCHER	2 retests	0,97	1,00	1,00	0,96
CAD test		1,00	1,00	1,00	1,00
ANOMALOSCOPE					
	automatique	0,97	0,96	0,97	0,96
	manuel	1,00	1,00	1,00	1,00

Résultats

► *Dépistage des dyschromatopsies*

		Se	Sp	VPP	VPN
Tables d'ISHIHARA		0,97	1,00	1,00	0,96
15 HUE standard		0,58	1,00	1,00	0,64
15 HUE désaturé		0,79	1,00	1,00	0,79
100 HUE		0,79	0,96	0,96	0,79
	1s / 4'	0,79	0,96	0,96	0,79
	1/25 ^{ème} s / 2'	0,97	0,57	0,76	0,93
Lanterne de BEYNE	1s / 3'	0,76	0,96	0,96	0,76
	1s / 3' x 3 séries	0,69	1,00	1,00	0,72
Lanterne de	1 présentation	1,00	0,78	0,85	1,00
FLETCHER	2 retests	0,97	1,00	1,00	0,96
CAD test		1,00	1,00	1,00	1,00
	automatique	0,97	0,96	0,97	0,96
ANOMALOSCOPE	manuel	1,00	1,00	1,00	1,00

Résultats

► *Dépistage des dyschromatopsies*

		Se	Sp	VPP	VPN
Tables d'ISHIHARA		0,97	1,00	1,00	0,96
15 HUE standard		0,58	1,00	1,00	0,64
15 HUE désaturé		0,79	1,00	1,00	0,79
100 HUE		0,79	0,96	0,96	0,79
	1s / 4'	0,79	0,96	0,96	0,79
	1/25 ^{ème} s / 2'	0,97	0,57	0,76	0,93
Lanterne de BEYNE	1s / 3'	0,76	0,96	0,96	0,76
	1s / 3' x 3 séries	0,69	1,00	1,00	0,72
Lanterne de	1 présentation	1,00	0,78	0,85	1,00
FLETCHER	2 retests	0,97	1,00	1,00	0,96
CAD test		1,00	1,00	1,00	1,00
	automatique	0,97	0,96	0,97	0,96
ANOMALOSCOPE	manuel	1,00	1,00	1,00	1,00

Résultats

► *Dépistage des dyschromatopsies*

		Se	Sp	VPP	VPN
Tables d'ISHIHARA		0,97	1,00	1,00	0,96
15 HUE standard		0,58	1,00	1,00	0,64
15 HUE désaturé		0,79	1,00	1,00	0,79
100 HUE		0,79	0,96	0,96	0,79
Lanterne de BEYNE					
	1s / 4'	0,79	0,96	0,96	0,79
	1/25 ^{ème} s / 2'	0,97	0,57	0,76	0,93
	1s / 3'	0,76	0,96	0,96	0,76
	1s / 3' x 3 séries	0,69	1,00	1,00	0,72
Lanterne de	1 présentation	1,00	0,78	0,85	1,00
FLETCHER	2 retests	0,97	1,00	1,00	0,96
CAD test		1,00	1,00	1,00	1,00
ANOMALOSCOPE					
	automatique	0,97	0,96	0,97	0,96
	manuel	1,00	1,00	1,00	1,00

Résultats

► *Dépistage des dyschromatopsies*

		Se	Sp	VPP	VPN
Tables d'ISHIHARA		0,97	1,00	1,00	0,96
15 HUE standard		0,58	1,00	1,00	0,64
15 HUE désaturé		0,79	1,00	1,00	0,79
100 HUE		0,79	0,96	0,96	0,79
	1s / 4'	0,79	0,96	0,96	0,79
	1/25 ^{ème} s / 2'	0,97	0,57	0,76	0,93
Lanterne de BEYNE	1s / 3'	0,76	0,96	0,96	0,76
	1s / 3' x 3 séries	0,69	1,00	1,00	0,72
Lanterne de FLETCHER	1 présentation	1,00	0,78	0,85	1,00
	2 retests	0,97	1,00	1,00	0,96
CAD test		1,00	1,00	1,00	1,00
ANOMALOSCOPE	automatique	0,97	0,96	0,97	0,96
	manuel	1,00	1,00	1,00	1,00

Résultats

► *Dépistage des dyschromatopsies*

		Se	Sp	VPP	VPN
Tables d'ISHIHARA		0,97	1,00	1,00	0,96
15 HUE standard		0,58	1,00	1,00	0,64
15 HUE désaturé		0,79	1,00	1,00	0,79
100 HUE		0,79	0,96	0,96	0,79
	1s / 4'	0,79	0,96	0,96	0,79
	1/25 ^{ème} s / 2'	0,97	0,57	0,76	0,93
Lanterne de BEYNE	1s / 3'	0,76	0,96	0,96	0,76
	1s / 3' x 3 séries	0,69	1,00	1,00	0,72
Lanterne de	1 présentation	1,00	0,78	0,85	1,00
FLETCHER	2 retests	0,97	1,00	1,00	0,96
CAD test		1,00	1,00	1,00	1,00
	automatique	0,97	0,96	0,97	0,96
ANOMALOSCOPE	manuel	1,00	1,00	1,00	1,00

Résultats



► Application des tests à l'aptitude en aéronautique dans le groupe VCN

- **Tous aptes classe 1** : anomaloscope, CAD test, 15 Hue standard et désaturé
- Ishihara : 2 sujets inaptés
- 100 HUE : 1 sujet : score > à son score physiologique (low discriminant)
- Lanterne de Beyne : **protocole 1/25^{èmes} / 2' : 11 échecs sur 23 (47.8%)**
protocole 1s / 4' : 1 échec
protocole 1s / 3' : réussi par tous
- Lanterne de Fletcher : **5 sujets ont fait une erreur lors de la 1ère présentation,**
corrigée avec le premier retest

Résultats

► Nombre et taux de succès pour une aptitude classe 1 chez les sujets CVD

Test	Deutéranomalie		Deutéranopie		Protanomalie		Protanopie		Population totale groupe CVD		
	n = 11	en %	n = 5	en %	n = 7	en %	n = 6	en %	n=29	en %	
ISHIHARA	1	9,09	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	3.44	
15 HUE	5	45,45	0	0,00	5	71,42	2	33,33	12	41.38	
15 DESAT	4	36,36	0	0,00	2	28,57	0	0,00	6	20.69	
100 HUE	3	27,27	0	0,00	2	28,57	1	16,67	6	20.69	
Lanterne de Beyne	1s / 4'	5	45,45	0	0,00	1	14,29	0	0,00	6	20.69
	1/25 ^{ème} s / 2'	1	9,09	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	3.44
	1s / 3'	3	27,27	1	20,00	2	28,57	1	16,67	7	24.14
	1s / 3' x 3	6	50,00	0	0,00	2	28,57	1	16,67	9	31.03
Lanterne de Fletcher	1 présentation	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0.00
	2 retests	1	9,09	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	3.44
CAD test		2	18,18	0	0,00	1	14,29	0	0,00	3	10.34
ANOMALOSCOPE.		4	36,36	0	0,00	2	28,57	0	0,00	6	20.69

Résultats

► Nombre et taux de succès pour une aptitude classe 1 chez les sujets CVD

Test	Deutéranomalie		Deutéranopie		Protanomalie		Protanopie		Population totale groupe CVD		
	n = 11	en %	n = 5	en %	n = 7	en %	n = 6	en %	n=29	en %	
ISHIHARA	1	9,09	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	3.44	
15 HUE	5	45,45	0	0,00	5	71,42	2	33,33	12	41,38	
15 DESAT	4	36,36	0	0,00	2	28,57	0	0,00	6	20,69	
100 HUE	3	27,27	0	0,00	2	28,57	1	16,67	6	20,69	
Lanterne de Beyne	1s / 4'	5	45,45	0	0,00	1	14,29	0	0,00	6	20,69
	1/25^{ème} s / 2'	1	9,09	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	3.44
	1s / 3'	3	27,27	1	20,00	2	28,57	1	16,67	7	24,14
	1s / 3' x 3	6	50,00	0	0,00	2	28,57	1	16,67	9	31,03
Lanterne de Fletcher	1 présentation	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0.00
	2 retests	1	9,09	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	3.44
CAD test		2	18,18	0	0,00	1	14,29	0	0,00	3	10,34
ANOMALOSCOPE.		4	36,36	0	0,00	2	28,57	0	0,00	6	20,69

Résultats

► Nombre et taux de succès pour une aptitude classe 1 chez les sujets CVD

Test	Deutéranomalie		Deutéranopie		Protanomalie		Protanopie		Population totale groupe CVD	
	n = 11	en %	n = 5	en %	n = 7	en %	n = 6	en %	n=29	en %
ISHIHARA	1	9,09	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	3.44
15 HUE	5	45,45	0	0,00	5	71,42	2	33,33	12	41.38
15 DESAT	4	36,36	0	0,00	2	28,57	0	0,00	6	20.69
100 HUE	3	27,27	0	0,00	2	28,57	1	16,67	6	20.69
Lanterne de Beyne	5	45,45	0	0,00	1	14,29	0	0,00	6	20.69
1s / 4'	1	9,09	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	3.44
1/25 ^{ème} s / 2'	3	27,27	1	20,00	2	28,57	1	16,67	7	24.14
1s / 3'	6	50,00	0	0,00	2	28,57	1	16,67	9	31.03
1s / 3' x 3	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0.00
Lanterne de Fletcher	1	9,09	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	3.44
1 présentation	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0.00
2 retests	1	9,09	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	3.44
CAD test	2	18,18	0	0,00	1	14,29	0	0,00	3	10.34
ANOMALOSCOPE.	4	36,36	0	0,00	2	28,57	0	0,00	6	20.69

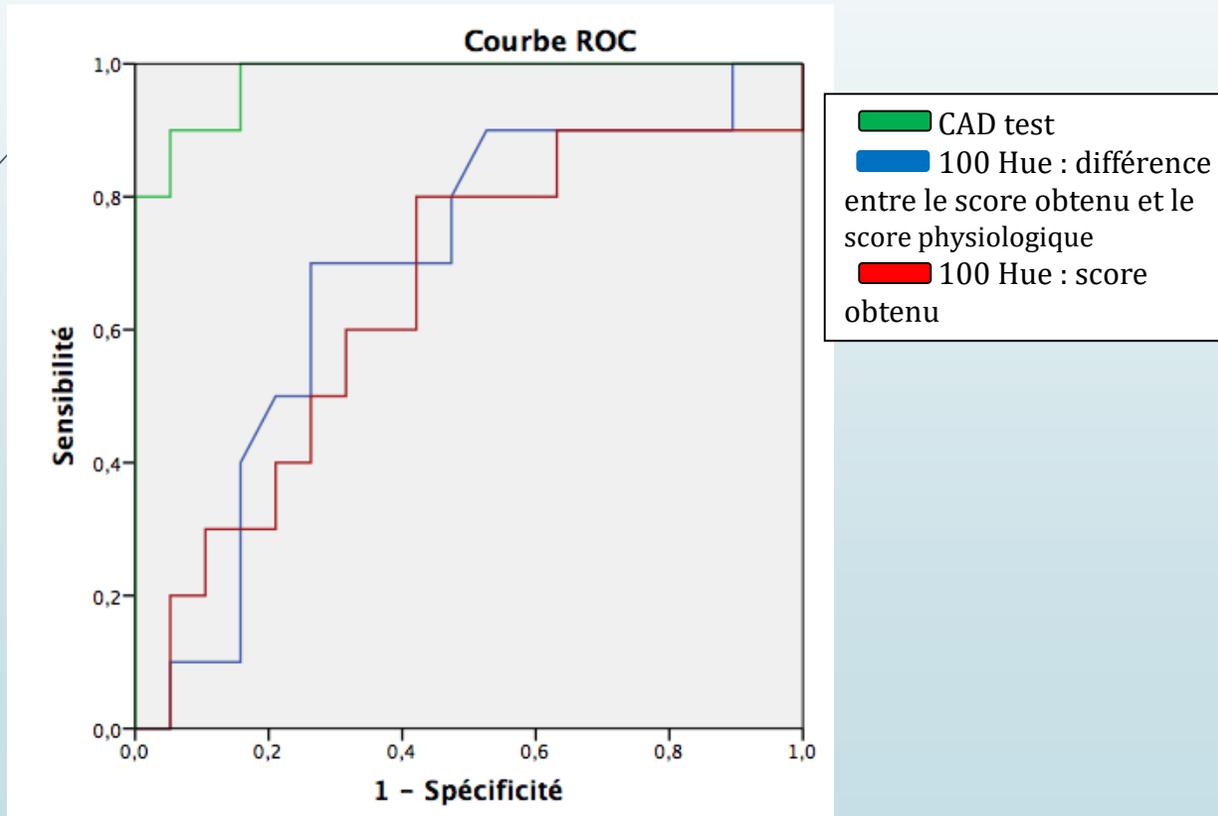
Résultats

► Nombre et taux de succès pour une aptitude classe 1 chez les sujets CVD

Test	Deutéranomalie		Deutéranopie		Protanomalie		Protanopie		Population totale groupe CVD	
	n = 11	en %	n = 5	en %	n = 7	en %	n = 6	en %	n=29	en %
ISHIHARA	1	9,09	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	3.44
15 HUE	5	45,45	0	0,00	5	71,42	2	33,33	12	41.38
15 DESAT	4	36,36	0	0,00	2	28,57	0	0,00	6	20.69
100 HUE	3	27,27	0	0,00	2	28,57	1	16,67	6	20.69
1s / 4'	5	45,45	0	0,00	1	14,29	0	0,00	6	20.69
Lanterne de Beyne 1/25 ^{ème} s / 2'	1	9,09	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	3.44
1s / 3'	3	27,27	1	20,00	2	28,57	1	16,67	7	24.14
1s / 3' x 3	6	50,00	0	0,00	2	28,57	1	16,67	9	31.03
Lanterne de Fletcher 1 présentation	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0.00
2 retests	1	9,09	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	3.44
CAD test	2	18,18	0	0,00	1	14,29	0	0,00	3	10.34
ANOMALOSCOPE.	4	36,36	0	0,00	2	28,57	0	0,00	6	20.69

Résultats

► Quantification du déficit chromatique



Aires sous courbe ROC:

- **0,98 [0,94 ; 1,01]** pour le CAD test
- **0,65 [0,47 ; 0,83]** pour la différence de score au 100 Hue
- **0,69 [0,52 ; 0,86]** pour le 100 Hue

Meilleur cut-off:

- RG > 18,5 pour le CAD test
- Différence de score > 22
- Score > 112 pour le 100 Hue

Résultats

► *Evaluation de l'axe de la dyschromatopsie*

ANOMALOSCOPE	Diagnostic de	ISHIHARA	15 HUE	15 DESAT	100 HUE	CAD
Population totale groupe VCD n = 29	deutan	15	11	9	12	16
	protan	9	6	12	6	13
	non défini	5	12	8	11	0
Deutéranomalie n = 11	deutan	10	6	5	6	11
	protan	0	0	2	0	0
	non défini	1	5	4	5	0
Deutéranopie n = 5	deutan	5	5	4	5	5
	protan	0	0	0	0	0
	non défini	0	0	1	0	0
Protanomalie n = 7	deutan	0	0	0	1	0
	protan	4	2	4	2	7
	non défini	3	5	3	4	0
Protanopie n = 6	deutan	0	0	0	1	0
	Protan	5	4	6	3	6
	non défini	1	2	0	2	0

Résultats

► **Evaluation de l'axe de la dyschromatopsie**

ANOMALOSCOPE	Diagnostic de	ISHIHARA	15 HUE	15 DESAT	100 HUE	CAD
Population totale groupe VCD n = 29	deutan	15	11	9	12	16
	protan	9	6	12	6	13
	non défini	5	12	8	11	0
Deutéranomalie n = 11	deutan	10	6	5	6	11
	protan	0	0	2	0	0
	non défini	1	5	4	5	0
Deutéranopie n = 5	deutan	5	5	4	5	5
	protan	0	0	0	0	0
	non défini	0	0	1	0	0
Protanomalie n = 7	deutan	0	0	0	1	0
	protan	4	2	4	2	7
	non défini	3	5	3	4	0
Protanopie n = 6	deutan	0	0	0	1	0
	Protan	5	4	6	3	6
	non défini	1	2	0	2	0

Discussion – Revue de la littérature

Squire et al., 2005

- 3 lanternes (Beyne, Spectrolux, et Holmes-Wright) et anomaloscope
- 55 sujets VCD and 24 sujets VCN



- 50% des sujets sains : échec à lanterne de Beyne et anomaloscope de Nagel
Aucun échec dans notre étude

- Anomaloscope : 11/12 VCN : plage égalisation de 5 unités
Dans notre étude : apte si diagnostique "trichromate normal" à l'anomaloscope
- Lanterne de Beyne : 92% appellent "jaune" le blanc
Dans notre étude : informé que blanc cassé

- Réussir un test secondaire : non garanti de réussir les autres tests
→ Tests autorisés par les normes EASA : haute variabilité

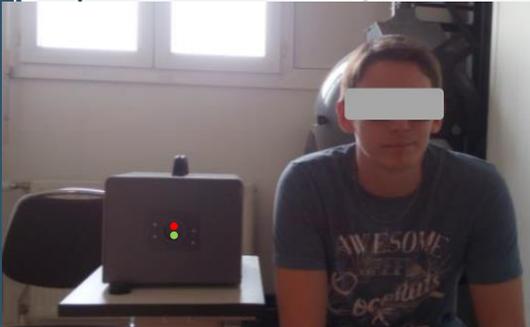


Discussion – Revue de la littérature

Fletcher, 2005

- Lanterne de Fletcher-Evans CAM
- 18 sujets dyschromates : tous échec
Dans notre étude : 96,5% d'échec
- 9 / 71 (13%) trichromates normaux : erreurs au premier passage
normalisé avec les re-tests
Dans notre étude 21% : erreurs au premier passage

- Lanterne Fletcher-Evans CAM : très sensible
→ Bon test de diagnostic clinique
Semble moins adapté à la sélection chromatique



Discussion – Revue de la littérature

Walsh and al., 2016



- 65 sujets CVD et 68 sujets CVN de l'US Army

Test	Sensibilité	Spécificité
CAD test	0,86	0,85 à 1,00
Farnsworth D15	0,35	1,00
Planches Pseudo Isochromatiques Ishihara Compatible	0,98	0,96 à 1,0

- Nos résultats :
similaire pour le 15 Hue standard et les Planches Pseudo Isochromatiques
meilleure capacité diagnostique du CAD test (Sensibilité et Spécificité 100%)

- Bonne efficacité du CAD test
Non opérateur-dépendant et patterns randomisés

Discussion – Revue de la littérature

CAA britannique, 2006



- 117 sujets VCD
- Capacité de reconnaissance des feux PAPI et résultats du CAD test
- **Aucun sujet qui réussit le CAD test n'a échoué au simulateur PAPI**
(RG < 6 SN deutans pour ou RG < 12 SN pour protans)

- CAD test : réussi chez 36.1% des deutéranomaux
29.8% des protanomaux

Dans notre étude : seulement 18.2% des deutéranomaux
14.3% des protanomaux

Discussion – Revue de la littérature

CAA de Nouvelle Zélande, 2015

- Diminuer les exigences pour l'emploi de pilotes dyschromates, car
 - codage de l'information multiple
 - couleurs choisies pour être reconnues par des dyschromates
- Simulateur PAPI utilisé par la City University : pas représentatif du vrai PAPI
- CAD test : trop restrictif

FAA Etats – Unis, 21015

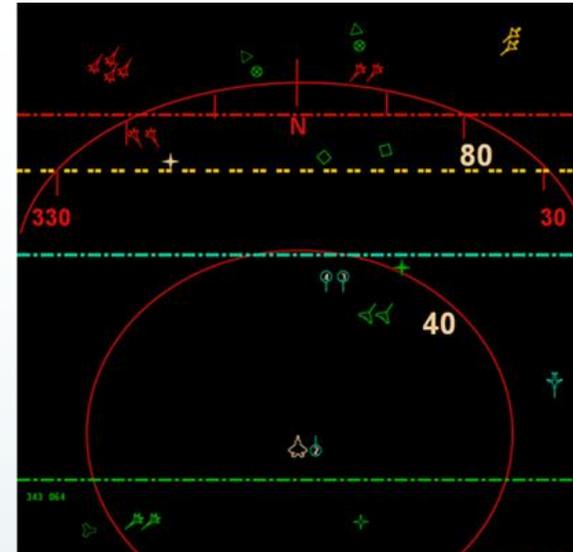
- Dyschromates : même reconnaissance du simulateur PAPI que les sains
- En utilisant des lampes LED : meilleures performances



Discussion

Gaska et Wright en 2016, Etats-Unis

- Performances des dyschromates dans les cockpits
 - 49 pilotes dyschromates et 45 pilotes témoins
 - Résultats obtenus au Cone Contrast Test (CCT) : VCD si < 75
 - reconnaissance des couleurs au « Situation Awareness »
 - Justesse, rapidité et rendement des réponses.
 - Dyschromates : statistiquement moins performants que les témoins.
 - Relation statistiquement significative entre les performances et gravité de la dyschromatopsie
- Faible score au Cone Contrast Test : prédictif d'une moins bonne performance au Situation Awareness.



Discussion – Spécificité de la sélection professionnelle



► Pas d'apprentissage possible

Candidats minimisent leur déficit / apprennent l'album d'Ishihara
→ considérer toute hésitation / erreur comme un échec



► Test simple et reproductible

Protocoles de test strictement respectés et examinateurs entraînés
→ Peut limiter l'utilisation de l'anomaloscope

► Durée de réalisation courte

- Ishihara, lanternes et 15 Hue : < 5min
- 100 Hue et anomaloscope : environ 20min
- CAD test : < 5min si "Fast screening " + 8min pour "Definitive CAD " : 6 VCN (26%)

Discussion – Spécificité de la sélection professionnelle

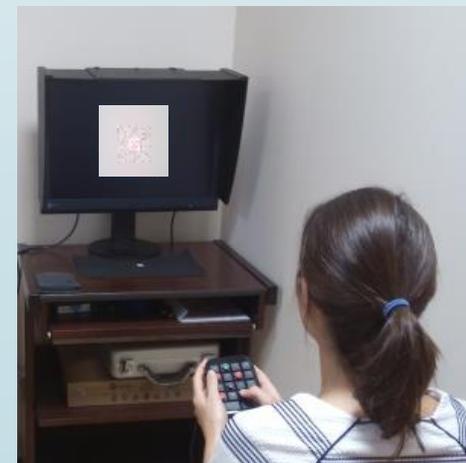
Lanternes

- Avantages
 - Ne peut pas être appris
 - Rapide
 - facile
 - Peu onéreux
 - Ergonomique



CAD test

- Avantages
 - Ne peut pas être appris
 - Non opérateur dépendant
 - Rouge/ vert et bleu / jaune
 - 16 couleurs
 - Quantitatif



Conclusion

De nombreux tests disponibles. Leur résultats sont discordants

- **Album d'Ishihara** : excellent test de dépistage pour les dyschromatopsies d'axe rouge / vert
- **Lanterne de Beyne** : plus commercialisée
seuls le rouge, vert, blanc et ambre étaient utilisés

Récente augmentation de l'utilisation de la couleur dans les cockpits.
Diversité des couleurs utilisées.

- ➔ **Remise en cause des protocoles actuels**
- ➔ **Elévation des exigences pour la vision des couleurs en aéronautique ?**



Conclusion

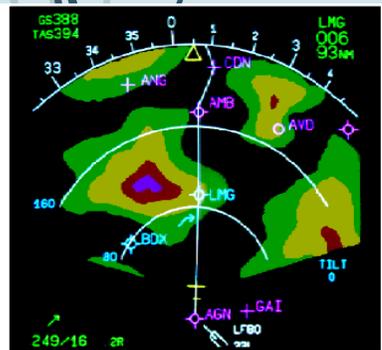


► CAD test et anomaloscope :

- les plus performants dans notre étude.
- Tests quantitatifs
- Tests utilisant des sources lumineuses primaires calibrées (comme les signaux colorés en aéronautique)

► Non détection actuelle des dyschromatopsies Bleu/jaune

► Le déficit chromatique acceptable pour garantir la sécurité des vols reste à déterminer.





**MERCI DE VOTRE
ATTENTION**

Si vous avez des questions

marie.marechal@intradef.gouv.fr