

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN MATHÉMATIQUES
ET INFORMATIQUE APPLIQUÉES

PAR
PIERRE DROLET

DÉTECTION AUTOMATIQUE DU NYSTAGMUS
CHEZ UN INDIVIDU SOUS INFLUENCE D'ALCOOL

TROIS-RIVIÈRES, LE 3 NOVEMBRE 2004

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

Sommaire

Pour détecter les facultés affaiblies chez un conducteur, la police dispose d'une série de tests symptomatiques dont le test du nystagmus horizontal. Ce test est présentement effectué de façon manuelle.

L'objectif du mémoire est de démontrer la faisabilité de développement d'un appareil capable de faire la détection automatique du nystagmus. Pour ce faire, un prototype a été mis au point pour filmer une séquence d'images du mouvement de l'œil. Le traitement de cette séquence d'images permet de faire le suivi du déplacement de l'iris et de reconstituer le signal correspondant au déplacement horizontal de l'œil. L'analyse de ce signal permet d'identifier les saccades correspondant au nystagmus.

Cette approche permet d'éliminer l'incertitude causée par l'interprétation humaine en plus d'offrir la possibilité d'examiner l'ensemble du signal de suivi de l'œil. Des développements dans cette voie pourraient mener à une nouvelle façon d'évaluer les capacités d'un individu à accomplir certaines tâches demandant des réactions vives et précises.

Avant-propos et remerciements

Ce mémoire se veut la concrétisation d'une idée visant à faire la détection du nystagmus chez un individu sous influence d'alcool. Elle est le fruit des 15 années d'expériences de travail qui ont suivi ma première formation en tant que technicien en électronique.

C'est un premier travail en électronique médicale qui m'a fait découvrir le nystagmus et les moyens de l'époque pour l'analyser. L'emploi suivant à la Sûreté du Québec en tant que responsable des équipements utilisés en sécurité routière a remis le nystagmus sur ma route. Mes formations en entretien sur les équipements électroniques et en tant qu'instructeur sur leur utilisation, la reconnaissance en tant qu'expert devant les tribunaux et la participation à des comités d'études et de formations m'ont mis en contact avec les avenues possibles du nystagmus dans la détection des facultés affaiblies chez un individu.

Même si la recherche se poursuit au niveau de la corrélation entre le nystagmus et l'affaiblissement des capacités humaines, il ne se fait aucun développement pour arriver

à automatiser un test révélateur et facilement utilisable par les forces policières. Le test du nystagmus est présentement effectué de façon manuelle et les résultats sont sujets à interprétation par un humain. L'introduction d'un automatisme à ce niveau permettrait d'augmenter la confiance des instances judiciaires envers les résultats obtenus et permettrait un plus grand usage de ce test.

L'objectif global du mémoire est d'étudier la faisabilité de réalisation d'un appareil portable capable de faire la détection automatique du nystagmus. Un tel appareil serait également utile dans des secteurs d'activité autres que la sécurité routière. Les milieux industriels spécialisés pourraient bénéficier d'une telle ressource. Il s'agit d'un premier pas vers une nouvelle approche dans l'analyse des capacités humaines à exécuter des tâches exigeant une attention accentuée. C'est dans une optique policière et dans un esprit de sécurité du monde urbain que cette démarche est entreprise.

Mes premiers remerciements vont à moi-même pour avoir cru dans mon projet et avoir persévétré dans sa réalisation. J'aimerais remercier mon directeur M. François Meunier pour l'intérêt manifesté envers le projet et la réalisation d'un prototype de capture d'images. J'aimerais aussi remercier spécialement M. Marc Desaulniers de l'École Nationale de Police à Nicolet pour son active collaboration à la réalisation des tests réels dans le cadre de ceux déjà effectués par les policiers en formation, ainsi que pour la généreuse documentation.

Table des matières

SOMMAIRE.....	2
AVANT-PROPOS ET REMERCIEMENTS	3
TABLE DES MATIÈRES.....	5
LISTE DES FIGURES	8
INTRODUCTION	10
CHAPITRE 1 REVUE DE LA LITTÉRATURE	13
1.1 INTRODUCTION	13
1.2 LE NYSTAGMUS.....	13
1.2.1 Définition	13
1.2.2 Types de nystagmus	14
1.2.3 Pathologie ou symptôme	14
1.3 LA CONDUITE AVEC LES FACULTÉS AFFAIBLES	15
1.3.1 Notions d'alcoolémie	15
1.3.2 Facultés affaiblies.....	18
1.3.3 Lien entre le nystagmus et les facultés.....	18
1.4 LES TESTS SYMPTOMATIQUES	18
1.4.1 Épreuves standards de sobriété	19
1.4.2 Test du nystagmus horizontal	19
1.4.3 Interprétation des résultats	20
1.4.4 « Drug recognition expert » (DRE)	21
1.5 L'INSTRUMENTATION D'ANALYSE	22
1.5.1 Électronystagmographie	22
1.5.2 Vidéonystagmoscopie.....	23
1.5.3 Reconnaissance d'iris	25
1.6 CONCLUSION.....	26
CHAPITRE 2 DÉVELOPPEMENT DU PROTOTYPE	27
2.1 INTRODUCTION	27
2.2 PROTOCOLE DE TEST ET CAPTURE	27

2.2.1	<i>Protocole de test</i>	27
2.2.2	<i>Appareillage de capture</i>	28
2.3	SÉQUENCES D'IMAGES	29
2.3.1	<i>Sources</i>	29
2.3.2	<i>Traitemet intermédiaire</i>	31
2.4	STRUCTURE DU PROGRAMME	31
2.4.1	<i>Langage</i>	31
2.4.2	<i>Classes de l'image</i>	31
2.4.3	<i>Classes structurelles</i>	32
2.4.4	<i>Classes de filtres</i>	34
2.5	CONCLUSION.....	35
CHAPITRE 3 MÉTHODES D'ANALYSES.....		36
3.1	INTRODUCTION	36
3.2	THÉORIES.....	37
3.2.1	<i>Détection de contours</i>	37
3.2.2	<i>Morphologie mathématique</i>	38
3.2.3	<i>Corrélation</i>	39
3.3	ALGORITHME.....	40
3.4	DÉTECTION INITIALE.....	40
3.4.1	<i>Zone de recherche de l'iris</i>	41
3.4.2	<i>Recherche de l'iris</i>	48
3.4.3	<i>Recherche du repère</i>	50
3.4.4	<i>Préparation à la corrélation</i>	52
3.5	SUIVI DE L'IRIS.....	52
3.5.1	<i>Recherche de l'iris</i>	52
3.5.2	<i>Ajustement des zones de recherche</i>	53
3.5.3	<i>Corrélation du repère</i>	54
3.5.4	<i>Calcul des positions</i>	54
3.6	CONCLUSION.....	55
CHAPITRE 4 RÉSULTATS D'EXPÉRIMENTATIONS.....		56
4.1	INTRODUCTION	56
4.2	TRAITEMENT MATHÉMATIQUE	57
4.3	SÉQUENCE D'IMAGES INITIALE.....	57
4.4	TESTS RÉELS	59
4.5	ANALYSE	63
4.6	CONCLUSION.....	64
CHAPITRE 5 DISCUSSION		65
5.1	INTRODUCTION	65
5.2	VALIDITÉ DES RÉSULTATS.....	65
5.2.1	<i>Validité des courbes de position de l'iris</i>	65
5.2.2	<i>Exécution du test</i>	67

<i>5.2.3</i>	<i>Environnement de test</i>	68
<i>5.2.4</i>	<i>Équipement de capture</i>	69
5.3	VALIDITÉ DE L'APPLICATION DE LA MÉTHODE	70
<i>5.3.1</i>	<i>Protocole de test</i>	70
<i>5.3.2</i>	<i>Relation avec les facultés affaiblies</i>	70
<i>5.3.3</i>	<i>Cas particulier</i>	71
5.4	ANALYSE DU SUIVI DE L'IRIS	71
<i>5.4.1</i>	<i>Courbes utilisées</i>	72
<i>5.4.2</i>	<i>Écarts quadratiques</i>	74
<i>5.4.3</i>	<i>Intervalle de confiance</i>	75
<i>5.4.4</i>	<i>Tests avec facultés affaiblies</i>	77
<i>5.4.5</i>	<i>Commentaires</i>	78
5.5	CONCLUSION.....	79
CONCLUSION		80
ANNEXE 1 CLASSES DE L'IMAGE		83
1.	PIXEL	84
2.	IMAGE	85
3.	ENTETE BMP	86
4.	IMAGEBMP24BITS.....	87
ANNEXE 2 CLASSES STRUCTURELLES.....		88
1.	ZONE.....	89
2.	TACHE	90
3.	DROITE	91
4.	ROND	92
5.	QUARTDEROND.....	93
6.	DOUBLECONE.....	94
ANNEXE 3 CLASSES DE FILTRES		95
1.	DÉTECTE.....	96
2.	FORME	97
3.	CORRÉLATIONRANK	98
4.	DESSIN	99
BIBLIOGRAPHIE.....		100

Liste des figures

Figure 1: Anatomie de l'œil	14
Figure 2: Alcootest Breathalyser 900A	16
Figure 3: Alcootest Intoxilyser 5000	17
Figure 4: Appareil de détection d'alcool Dräger 7410	17
Figure 5: Test du nystagmus horizontal	20
Figure 6: Électronystagmographie	22
Figure 7: Lunettes de capture du vidéonystagmographe	23
Figure 8: VNG Ulmer	24
Figure 9: Banc de test pour la capture vidéo	29
Figure 10: Image de la séquence initiale	30
Figure 11: Image provenant du prototype de capture	30
Figure 12: Zone probable initiale.....	41
Figure 13: Filtre Sobel	42
Figure 14: Zone érosion.....	43
Figure 15: En jaune, tache sélectionnée par le filtre "carré".....	44
Figure 16: En vert, tache jugée trop longue.....	45
Figure 17: En rouge, tache avec une mauvaise dispersion	45
Figure 18: En bleu, tache avec une trop petite surface	46
Figure 19: En cyan, taches jugées invalides par l'union des surfaces	47
Figure 20: En magenta, tache éliminée par le filtre final. La tache blanche est conservée comme iris probable.....	47
Figure 21: Zone probable où retrouver l'iris.....	48
Figure 22: Iris détecté à partir de l'image du filtre Sobel.....	49
Figure 23: Iris détecté à partir de l'algorithme de Daugman.....	49
Figure 24: Zone du repère géométrique.....	50
Figure 25: Droites des paupières	51
Figure 26: Point de repère et iris.....	51
Figure 27: Suivi de l'iris.....	53
Figure 28: Position de l'iris en fonction du temps	58
Figure 29: Candidat « cor » à un taux de 0 mg%.....	60
Figure 30: Candidat « cor » à un taux de 115 mg%.....	60
Figure 31: Candidat « ber » à un taux de 0 mg%.....	61

Figure 32: Candidat « ber » à un taux de 130 mg%.....	61
Figure 33: Candidat « gui » à un taux de 0 mg%	62
Figure 34: Candidat « gui » à un taux de 200 mg%	62
Figure 35: Rayon de l'iris réduit par l'influence de la paupière.....	66
Figure 36: Déviation de la tangente causée par l'atténuation des lignes de contour.....	67
Figure 37: Image provenant d'une caméra infrarouge	69
Figure 38: Candidat « ber » à 0 mg%	72
Figure 39: Candidat « ber » à 140 mg%	73
Figure 40: Candidat « gui » à un taux de 200 mg%	74
Figure 41: Courbe des écarts quadratiques (DELTA) et de la dérivée première en fonction du temps (DELTA') pour un taux de 0 mg% (candidat «ber»).....	75
Figure 42: Courbe des écarts quadratiques (DELTA) et de la dérivée première en fonction du temps (DELTA') pour un taux de 140 mg% (candidat «ber»).....	77
Figure 43: Courbe des écarts quadratiques (DELTA) et de la dérivée première en fonction du temps (DELTA') pour un taux de 200 mg% (candidat «gui»).....	78

Introduction

Encore de nos jours, l'alcool au volant est cause de nombreux décès sur nos routes [1]. Pour repérer les conducteurs fautifs, le policier peut recourir à un appareil de détection approuvé [2] qui fait l'évaluation du taux d'alcoolémie à partir d'un échantillon d'haleine. Ces appareils ne sont valables que pour la détection d'alcool et ne sont d'aucun secours dans le cas d'intoxication par des drogues et des médicaments ou encore dans le cas d'une fatigue extrême.

Le policier peut également recourir aux épreuves standards de sobriété [3] pour constituer une preuve de conduite avec les facultés affaiblies. Ces épreuves sont constituées d'une série de tests symptomatiques dont fait partie le test du nystagmus. Il arrive cependant que des individus habitués à de fortes doses d'alcool réussissent à déjouer une partie de ces épreuves et seul le test du nystagmus devient révélateur de la capacité du sujet à conduire son véhicule. Le test est présentement exécuté de façon manuelle à l'aide d'un carton repère et son interprétation est laissée au policier. Cette situation est une source d'erreur d'évaluation et pose problème quant à la reconnaissance judiciaire.

Dans ce contexte, les questions suivantes se posent : Serait-il possible d'évaluer les capacités d'un individu à accomplir certaines tâches par une méthode non invasive autre que la détection d'alcool ou de drogues dans l'organisme? Serait-il possible d'arriver à

effectuer un test révélateur des capacités d'un individu avec un appareil portable et d'un prix acceptable? Un tel appareil permettrait d'éliminer l'imprécision liée à la mesure et à l'interprétation humaine. Dans ce mémoire, le problème est abordé avec les facultés affaiblies par l'alcool puisque sa détection est d'usage courant dans le domaine policier.

Mais il n'y a pas que la conduite automobile qui est touchée. L'opération de machinerie lourde dans le contexte de méga-projets est d'une importance capitale. La sécurité du personnel et la réussite du projet dépendent de l'acuité des capacités de l'opérateur. Il est alors très important pour le milieu industriel de pouvoir s'assurer des capacités du personnel spécialisé. Le nystagmus devient donc une caractéristique intéressante dans le procédé d'évaluation des capacités d'un individu. Cette caractéristique couplée à d'autres paramètres pourrait mener à une bonne identification des capacités d'un sujet sous influence.

L'objectif du mémoire consiste à étudier la faisabilité de réalisation d'un appareil qui, au moyen d'un test simple, doit pouvoir indiquer s'il y a présence du nystagmus horizontal chez un individu sous influence d'alcool. Le problème est de réussir, à partir d'une séquence vidéo des yeux, à faire le suivi du mouvement de l'œil en fonction de l'angle de vision et d'observer la présence des saccades caractéristiques du nystagmus. Le principal travail est effectué au niveau du traitement d'images et de la reconnaissance de formes pour obtenir le signal correspondant à la position spatiale de l'œil dans son orbite. Une fois le signal obtenu, on applique des règles mathématiques pour estimer la présence des saccades révélatrices du nystagmus.

Le mémoire débute par un premier chapitre sur la revue de la littérature. Ce chapitre introduit la définition du nystagmus, son utilisation et l'instrumentation électronique existante pour en faire son analyse. Le deuxième chapitre présente le développement

matériel et informatique du prototype. Il consiste en un banc de test pour effectuer une saisie vidéo du mouvement de l'œil ainsi qu'un programme développé spécifiquement pour en faire l'analyse. Le troisième et principal chapitre détaille les étapes de résolution du problème de saisie des mouvements de l'œil. On y retrouve le détail des méthodes utilisées pour faire la détection initiale de l'iris dans chaque image d'une séquence vidéo, sa référence spatiale par rapport au visage et la localisation de cet iris dans les images successives. Chaque nouvelle localisation est référencée par rapport au point de référence initial choisi. Les résultats du positionnement de l'œil et de l'interprétation en rapport au taux d'alcoolémie des sujets sont présentés au quatrième chapitre. Finalement, une discussion sur la validité de l'application de la méthode constitue le cinquième et dernier chapitre.

Chapitre 1 Revue de la littérature

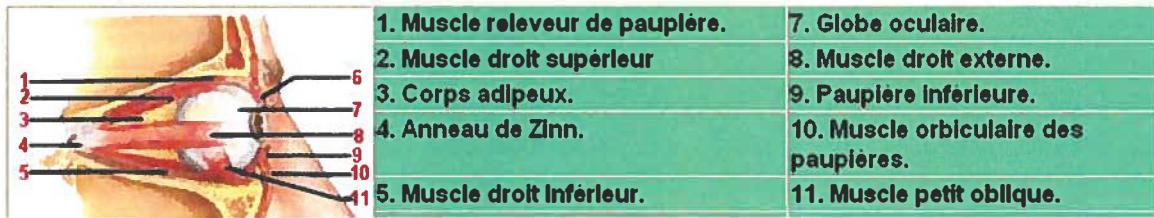
1.1 Introduction

En plus de la définition du nystagmus et de ses variantes, la revue de la littérature présente un état de situation sur la conduite avec les facultés affaiblies et les tests symptomatiques utilisés pour en faire la détection. Ces informations permettent de bien situer la pertinence du nystagmus dans le cadre de l'étude. Un aperçu de l'instrumentation d'analyse disponible et des méthodes utilisées prépare au développement envisagé.

1.2 Le nystagmus

1.2.1 Définition

Le nystagmus est une caractéristique qui concerne l'œil. Sans entrer dans les détails physiologiques, on peut décrire l'œil comme une sphère dont les mouvements sont contrôlés par des muscles. Ces muscles assurent normalement la stabilité du globe oculaire chez un sujet en bonne condition et qui regarde un objet fixe. L'anatomie de l'œil est décrite à la figure 1.

**Figure 1:** Anatomie de l'œil.¹

Il arrive cependant que le globe oculaire perde sa stabilité pour entrer en oscillation. C'est le spasme musculaire qui occasionne cette oscillation que l'on nomme « nystagmus ». On peut donc le définir comme une succession normale ou pathologique de petits mouvements involontaires et saccadés des yeux [Larousse]. Le nystagmus peut commencer à se produire à différente position angulaire de l'œil. Par exemple, l'œil est stable quand il regarde droit devant mais il entre en oscillation en regard périphérique. Cette propriété sera approfondie plus loin.

1.2.2 Types de nystagmus

Le nystagmus peut se produire dans les deux axes de fonctionnement normaux de l'œil soit le nystagmus vertical et le nystagmus horizontal. L'œil d'un sujet atteint subira un tressautement du globe oculaire le long d'un de ces axes à partir d'une position angulaire particulière. L'agencement musculaire de l'œil permet également un autre nystagmus, le nystagmus de torsion, qui se traduit par une oscillation autour de l'axe de vision.

1.2.3 Pathologie ou symptôme

Le nystagmus se retrouve naturellement chez un faible pourcentage de la population. Cependant, les recherches ont démontré qu'il peut devenir un symptôme dans certaines

¹ Source : <http://ophtasurf.free.fr>

conditions comme après la consommation excessive d'alcool. On peut donc voir apparaître un nystagmus chez un sujet en bonne santé selon le type d'influence qu'il subit.

1.3 La conduite avec les facultés affaiblies

Au Québec la conduite automobile est régie par le Code de la sécurité routière [4]. Le code mentionne le taux d'alcool maximum permis par le code criminel canadien pour la conduite d'un véhicule automobile ainsi que le devoir du conducteur d'être en contrôle de ses capacités.

1.3.1 Notions d'alcoolémie

Le taux d'alcoolémie d'un individu se mesure en grammes d'alcool par 100 millilitres de sang. C'est à la suite d'un prélèvement sanguin qu'il est établi. Le volume de référence de 100 millilitres de sang a mené à l'expression « pour-cent » dans l'expression d'un taux d'alcool. L'expression populaire qui désigne la limite permise de « point zéro huit » (0.08%) désigne un taux de 0.08 grammes ou 80 milligrammes d'alcool par 100 millilitres de sang (80 mg%). C'est cette dernière notation qui est le plus utilisée. Il faut être attentif aux unités car il est possible de retrouver des expressions différentes.

Le test d'alcoolémie effectué à partir d'un échantillon d'haleine fait intervenir un phénomène d'échange sanguin au niveau des alvéoles du poumon. L'alcool éthylique contenu dans le sang se retrouve sous forme gazeuse dans les alvéoles du poumon lors de l'oxygénation du sang. Ce phénomène a été largement étudié et des facteurs de proportions ont été établi et reconnus par les instances scientifiques et judiciaires. Ces facteurs sont conservateurs et en faveur de l'inculpé. Il est donc possible d'évaluer le

taux d'alcoolémie d'un individu par prélèvement d'haleine pour autant que l'échantillon provienne de l'air alvéolaire. On obtient cet air à la fin d'une grande expiration.

Il est évident que l'évaluation d'un échantillon d'haleine est moins précise que l'évaluation sanguine car il faut tenir compte des variables liées à l'échange gazeux ainsi qu'à la prise de l'échantillon. La température ambiante et le volume expiré vont avoir une influence sur la mesure du taux d'alcool de l'échantillon. Cette méthode a cependant l'avantage d'être non invasive et se retrouve aujourd'hui dans des appareils fixes et portables.

Le premier appareil fixe fonctionnait sur le principe de la colorimétrie d'une solution de bichromate de potassium et d'acide sulfurique par le passage d'un volume déterminé d'air échantillonné. L'alcool contenu dans l'échantillon réagit avec la solution pour en changer la couleur en fonction du taux d'alcool. Un exemple de cet appareil est présenté à la figure 2.

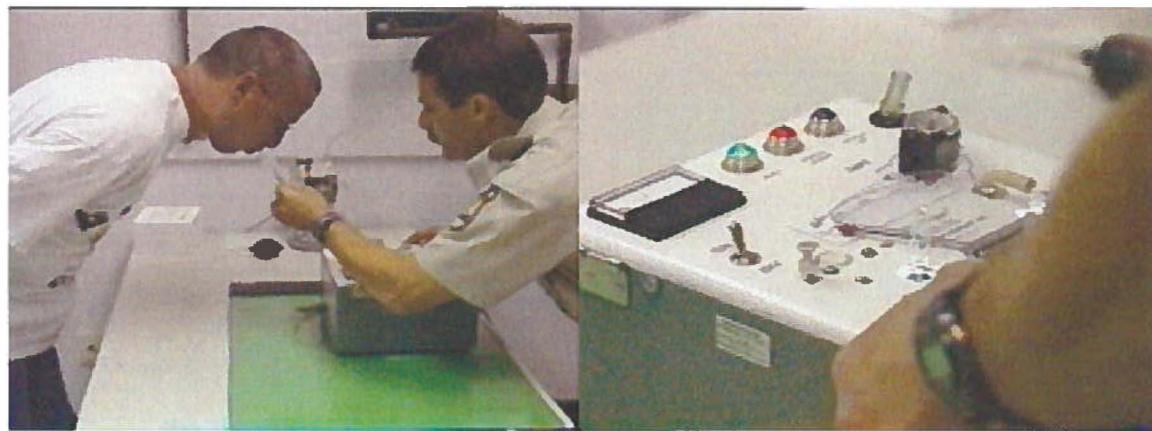


Figure 2: Alcootest Breathalyser 900A.²

² Extrait du document vidéo de la Sûreté du Québec [15]

La figure 3 montre l'évolution d'un appareil fixe moderne. Cet appareil utilise le principe de la spectrométrie à infrarouge tandis que les modèles portables utilisent des piles à combustibles. Celles-ci génèrent un courant proportionnel au taux d'alcool de l'échantillon. Un exemple de ce type d'appareil est présenté à la figure 4.



Figure 3: Alcootest Intoxilyser 5000.³



Figure 4: Appareil de détection d'alcool Dräger 7410.⁴

³ Source : CMI inc

⁴ Source : Drägerwerk AG

1.3.2 Facultés affaiblies

Les forces policières possèdent des appareils de qualité pour faire la détection de l'alcool. Si le policier n'a pas d'appareil sous la main au moment d'une intervention ou qu'il doute des capacités du conducteur, il dispose d'une série de tests symptomatiques à faire subir au prévenu afin de confirmer ses soupçons. Même si un conducteur a un taux inférieur à la limite permise, celui-ci peut être accusé de conduite avec les facultés affaiblies s'il échoue un certain nombre de ces épreuves.

1.3.3 Lien entre le nystagmus et les facultés

Les fonctions oculomotrices font l'objet de recherches en médecine depuis longtemps et plusieurs études ont été effectuées sur le nystagmus. La spécialité de la médecine aérospatiale s'est intéressée à la dégradation du contrôle oculomoteur suite à la consommation d'alcool [5]. C'est ainsi qu'un lien s'est établi entre la consommation d'alcool et l'apparition du nystagmus. Les scientifiques de la médecine légale ont poussé les recherches pour établir des relations entre le type de nystagmus induit en fonction de différentes substances stimulantes consommées.

1.4 Les tests symptomatiques

La « National Highway Traffic Safety Administration » (NHTSA) est une organisation gouvernementale américaine qui relève du Département des transports. Elle supervise des recherches en sécurité routière et établit des normes pour la sécurité des véhicules et des usagers. Au milieu des années 70, les recherches ont porté sur la sobriété des conducteurs. La NHTSA a sélectionné un certain nombre de tests symptomatiques qui

ont été regroupés sous l'appellation « Épreuves standards de sobriété ». Ces épreuves ont été normalisées et validées par les scientifiques [6]. Elles sont acceptées par l'ensemble des corps policiers et font références pour détecter les facultés affaiblies chez un conducteur.

1.4.1 Épreuves standards de sobriété

Les tests symptomatiques retenus dans les épreuves standards de sobriété comprennent un test du nystagmus horizontal [7] ainsi que des épreuves d'attention partagée. Ces dernières vérifient l'équilibre et la démarche du sujet tout en l'obligeant à effectuer une opération mentale simultanément. Le prévenu doit écouter les directives du policier et se soumettre à l'exécution du test.

1.4.2 Test du nystagmus horizontal

Le test du nystagmus horizontal vise l'observation de trois points particuliers : la qualité de la poursuite du globe oculaire, la présence du nystagmus aux extrémités du champ de vision et l'apparition du nystagmus avant un angle de 45 degrés. Le test est effectué à la main par le policier. Il demande au suspect de faire le suivi d'un repère (crayon ou autre objet) qu'il déplace devant le visage du centre vers l'extrémité extérieure du champ de vision. La figure 5 montre une représentation graphique du test.

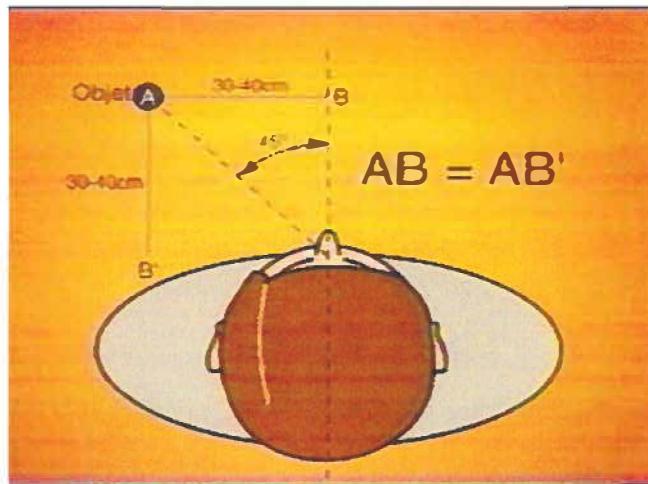


Figure 5: Test du nystagmus horizontal.⁵

La qualité de la poursuite s'évalue pendant le déplacement du repère. On recherche les mouvements saccadés du globe oculaire qui tente d'en faire le suivi. Lorsque le repère est à l'extérieur du champ de vision vers 60 degrés, on recherche la présence du nystagmus. Le repère est maintenu en position extérieure 3 à 4 secondes pendant l'observation. Le dernier point consiste à vérifier l'angle d'apparition du nystagmus. Il existe en effet une forte corrélation entre l'angle d'apparition du nystagmus et le taux d'alcoolémie [5]. Plus l'angle d'apparition est faible, plus le taux d'alcoolémie est élevé. Le déplacement du repère s'effectue sur 4 à 5 secondes pour 45 degrés. On utilise un carton gradué devant le visage du prévenu pour estimer l'angle d'apparition du nystagmus.

1.4.3 Interprétation des résultats

Une approximation statistique basée sur les résultats obtenus lors des recherches pour l'acceptation du test du nystagmus a indiqué que le taux d'alcool pouvait s'estimer selon la formule :

⁵ Extrait du document vidéo de la Sûreté du Québec [15]

$$\text{Taux d'alcool en mg\%} = (50 - \text{angle d'apparition en degrés}) * 10.$$

Cette formule n'est qu'une approximation et n'a aucune valeur scientifique ou légale. Elle est utilisée à titre de référence et d'estimation seulement.

Les épreuves standards de sobriété sont basées sur la probabilité que le taux d'alcoolémie d'un conducteur soit supérieur à 100 mg%. Les différents tests ne doivent pas être utilisés seuls. C'est le résultat de l'ensemble des tests symptomatiques de ces épreuves qui permet de prendre une décision sur les facultés du conducteur.

1.4.4 « Drug recognition expert » (DRE)

Avec l'augmentation de consommation de drogues chez les conducteurs, la police de Los-Angeles a mis au point en 1979 un programme [8] pour former des experts capables de reconnaître un conducteur sous l'influence de drogue, le DRE. Ce programme maintenant dirigé par l'association internationale des chefs de police prend de l'ampleur en Amérique. Le Canada forme des experts selon le nouveau programme [9] de la NHTSA depuis 1995.

Le programme divise les drogues en sept catégories basées sur leur influence sur les yeux, la fréquence cardiaque, la tension artérielle et la température corporelle. Dans le cas des yeux, on recherche l'apparition d'un nystagmus horizontal ou vertical et on vérifie la convergence des yeux, la dimension des pupilles et la réaction de la pupille à la lumière.

1.5 L'instrumentation d'analyse

1.5.1 Électronystagmographie

Les premiers appareils électroniques médicaux utilisés pour faire l'étude du nystagmus relevaient de l'électronystagmographie. Basé sur les mêmes principes que l'électroencéphalographe et l'électrocardiographe, l'électronystagmographe recueille un signal à partir d'électrodes fixées autour des yeux d'un patient tel que présenté à la figure 6. Le signal est amplifié puis traité pour produire un tracé sur papier ou un écran avant d'être analysé par un spécialiste ou un logiciel spécialisé en traitement de signal.



Figure 6: Électronystagmographie.⁶

Les électrodes sont sensibles aux bruits et doivent avoir un bon contact avec la peau. C'est donc un appareil d'usage délicat qui doit être manipulé par un personnel qualifié en ce qui a trait aux électrodes. Une telle technique ne peut être envisagée pour un appareil portable devant être utilisé par un personnel non-spécialisé. L'appareil recherché doit être facile d'usage et ne demander qu'une formation simple.

⁶ Source : ICS Medical et Micromedical technologies

1.5.2 Vidéonystagmoscopie

Le développement de l'imagerie médicale et des caméras numériques a produit une nouvelle génération d'appareils fonctionnant sur le principe de la vidéonystagmoscopie. C'est un principe qui fait appel à des caméras CCD montées à l'intérieur de lunettes spéciales montrées à la figure 7. Ces lunettes conservent l'œil dans l'obscurité et l'utilisation d'une bande du proche-infrarouge permet un examen de l'œil sans stimulus externe. Cette méthode non invasive simple permet un dépistage des fonctions vestibulaires par un spécialiste en transmettant l'image du globe oculaire à un moniteur.



Figure 7: Lunettes de capture du vidéonystagmographe.⁷

Un chercheur du « Groupe de vision artificielle et biophysique de l'école polytechnique universitaire de Marseille », M. Philippe Guillement, a contribué au développement d'un vidéonystagmographe. L'appareil d'exploration des vertiges et des troubles de l'équilibre présente ses résultats à l'écran comme l'exemple d'affichage de la figure 8. Cet appareil permet également un examen du nystagmus de torsion de l'œil.

⁷ Source : Micromedical technologies

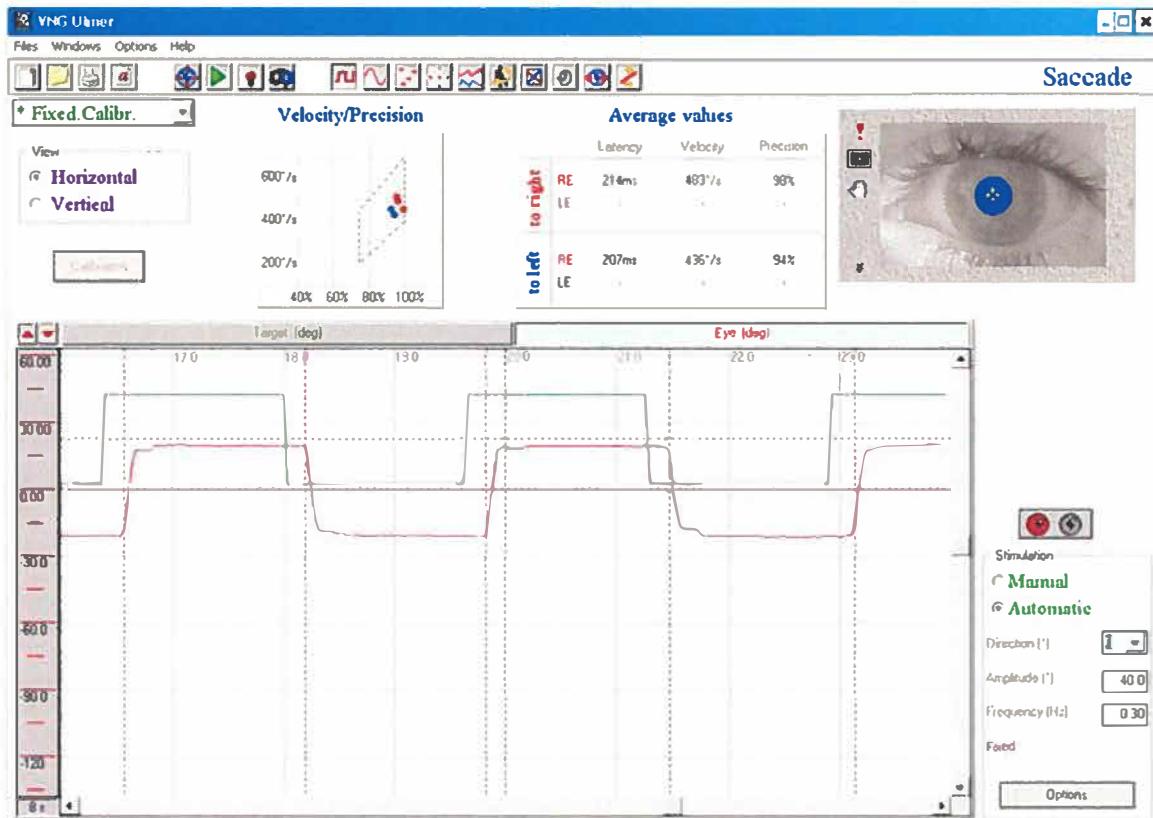


Figure 8: VNG Ulmer.⁸

Ses recherches ont porté sur le développement d'une méthode, le plongement fractal [10], utilisée pour faire la reconnaissance d'objets dynamiques complexes [11] tels que les bouffées de fumées [12]. Une extension de cette méthode est utilisée pour reconnaître la texture de l'iris et identifier sa rotation autour de l'axe de vision.

L'algorithme qu'il a retenu pour la détection du mouvement de l'œil décompose l'image en contours et recherche la pupille à l'aide d'une caractérisation mettant en jeu sa forme circulaire et la présence de forts contrastes sur ses bords inférieurs et latéraux. Cet algorithme optimisé à l'aide de méthodes non publiées lui a permis de résoudre le problème de la détection de l'iris et de la pupille. Cependant, la présence d'artéfacts dans

⁸ Source : Synapsys

l'image continue de fausser les mesures et les recherches se poursuivent pour en améliorer la précision.

1.5.3 Reconnaissance d'iris

Un autre secteur de recherche est confronté à la résolution du problème de localisation de l'iris dans l'œil, les systèmes d'identification de personne par reconnaissance d'iris. Leur fonction est d'identifier la couronne texturée de l'iris afin d'en faire une classification pour reconnaître l'identité d'une personne.

Le chercheur M. John G. Daugman a développé un algorithme pour détecter l'iris et la pupille [13]. Il s'agit d'un opérateur intégrodifférentiel qui balaye le domaine de l'image à la recherche d'un maximum de la dérivée partielle de l'intégrale de contour normalisée le long d'un arc de rayon croissant :

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_\sigma(r) \circ \frac{\partial}{\partial r} \int_{(r, x_0, y_0)} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right|.$$

L'opérateur complet agit comme un détecteur de contour circulaire avec lissage qui recherche un maximum de la dérivée de l'intégrale pour des rayons successifs « r ».

Dans son article, le chercheur explique certains détails d'implémentation de l'algorithme comme l'utilisation de deux cônes de 90 degrés opposés sur l'horizontale pour faire le calcul de l'intégrale. Il évite ainsi les interférences causées par la paupière supérieure et inférieure. Le filtre est appliqué de façon progressive au fil de la recherche. Son article

couvre également la reconnaissance de la pupille pour arriver à découper la couronne de l'iris mais ce sujet n'est pas utilisé dans ce mémoire.

Un autre groupe de chercheurs [14] qui travaille à la reconnaissance d'iris a fait une implantation de l'opérateur de Daugman qu'ils ont comparé à une version améliorée de leur propre développement. Ils introduisent une limitation du domaine de recherche de l'opérateur intégrodifférentiel par la détection d'une zone de centres potentiels de l'iris. Cette zone est déterminée par une variante de la transformée de Hough. Ils ont également travaillé à corriger ce qu'ils ont identifié comme une difficulté à trouver la frontière de la pupille en présence d'artefacts tel un reflet lumineux.

1.6 Conclusion

Cette revue de la littérature a permis d'expliquer ce qu'est le nystagmus et son utilisation dans le domaine policier. Un aperçu de l'instrumentation disponible pour en faire son examen confirme la possibilité de développement d'une application dans le cadre de ce mémoire.

Beaucoup d'autres recherches ont été effectuées dans le domaine de la reconnaissance des yeux mais seules celles qui sont utilisées en références dans ce mémoire sont mentionnées.

Chapitre 2 Développement du prototype

2.1 Introduction

Tous les éléments sont en place pour la réalisation d'un prototype. La technologie des caméras est disponible et l'instrumentation existante a démontré la faisabilité de détection d'un iris malgré une certaine sensibilité aux artefacts. Cependant, bien que ces méthodes de détection aient été mises au point, leur implantation demeure sous le couvert de la confidentialité et une approche personnelle doit être mise au point. Voici donc un exposé sur les moyens utilisés pour la capture des séquences vidéo, la transformation en images et la structure du programme développé pour faire l'analyse de ces images.

2.2 Protocole de test et capture

2.2.1 Protocole de test

Le protocole de test du nystagmus a été expliqué précédemment. Il vise l'observation de la qualité du suivi de l'iris, la présence du nystagmus en extrémité du champ de vision et l'apparition du nystagmus avant un angle de 45 degrés. Ces trois observations proviennent de la même constatation, il y a eu présence de saccades du globe oculaire.

Puisque l'objectif est de détecter la présence de ces saccades, ces trois observations peuvent être effectuées à l'intérieur d'un seul test. Pour simuler un automatisme de test, un repère est déplacé manuellement devant les yeux du sujet pour couvrir 45 degrés de rotation sur une période d'environ 5 secondes. Le déplacement est limité à 45 degrés pour s'assurer que le sujet est suffisamment intoxiqué.

2.2.2 Appareillage de capture

Le test est normalement exécuté par une personne à l'extérieur dans des conditions ambiantes. Pour reproduire ces conditions, une caméra web est utilisée pour la capture de sorte que l'œil est éclairé par la lumière ambiante et est sujet aux mêmes stimulus externes. Ce point est mentionné parce qu'il s'est produit des distractions occasionnelles chez les volontaires, induisant par le fait même un sautissement de l'œil. La caméra infrarouge en milieu fermé serait donc préférable.

Le banc d'essai réalisé est présenté à la figure 9. Il permet au sujet examiné de s'appuyer sur une mentonnière et faire face à la caméra. La distance de la caméra au visage est fixée pour que l'œil occupe la plus grande superficie de l'image. Le sujet fait le suivi du repère déplacé le long d'une graduation correspondant au déplacement angulaire. Dans un appareil réel, un dispositif graphique serait utilisé. Il pourrait être constitué d'un affichage à cristal liquide disposé au-dessus de l'objectif de la caméra et sur lequel on fait déplacer un point. La distance de l'œil à l'objectif étant connue, la position angulaire de chaque point peut être évaluée et donner des références précises.

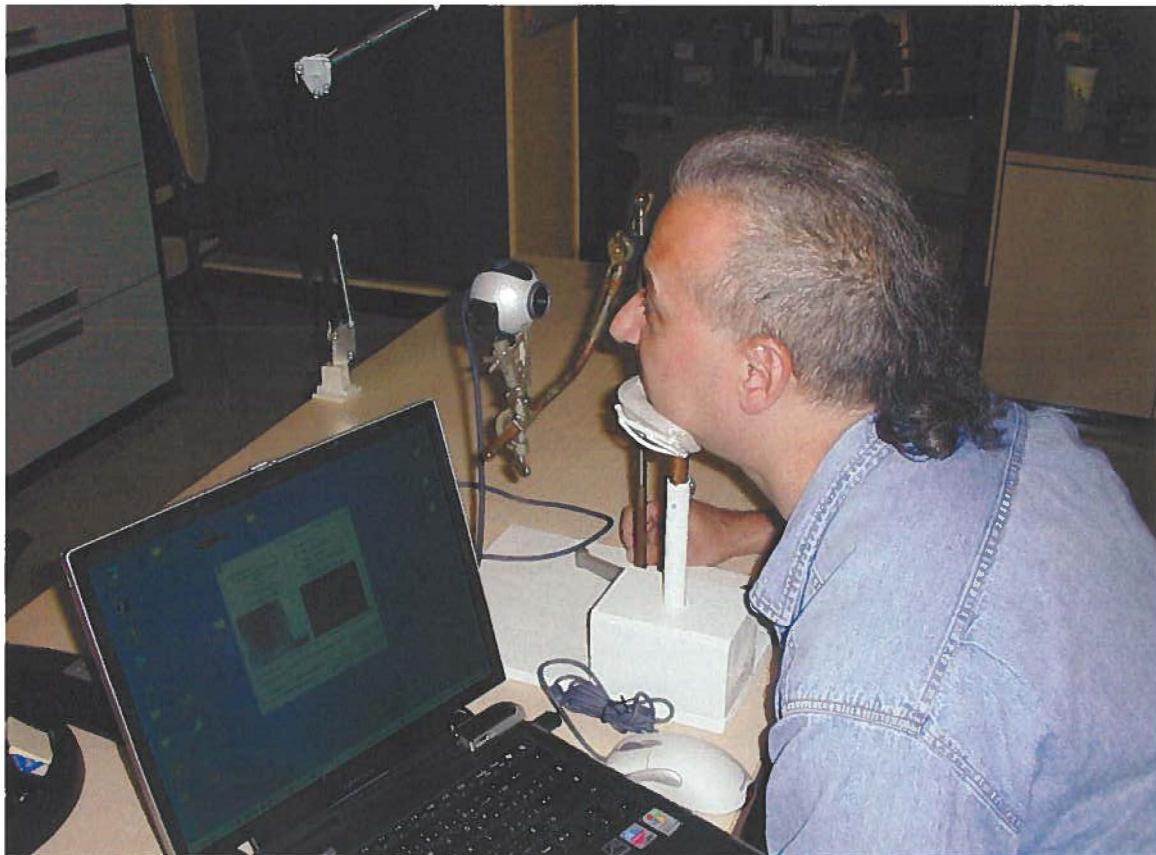


Figure 9: Banc de test pour la capture vidéo.

2.3 Séquences d'images

2.3.1 Sources

Les séquences d'images utilisées pour le développement du programme initial proviennent des exemples du document audio-visuel de la Sûreté du Québec [15]. La numérisation de ces séquences s'est faite à un taux de 30 images par seconde à l'aide d'une carte de capture vidéo. Une image de cette séquence est présentée à la figure 10.



Figure 10: Image de la séquence initiale.⁹

Suite aux tests réels effectués à l'École Nationale de Police à Nicolet, une banque de séquences prises sur quatre consommateurs volontaires a pu être constituée. Ces séquences ont été échantillonnées à un taux de 10 images par seconde. Toutes les séquences sont au format « avi » non compressé. La figure 11 présente un exemple de ces images.



Figure 11: Image provenant du prototype de capture.

⁹ Source : Extrait du document vidéo de la Sûreté du Québec [15]

2.3.2 Traitement intermédiaire

Le traitement nécessaire à l'obtention des images à partir de la séquence vidéo ne fait pas partie du mémoire et il n'est pas traité en détail. Tous ces outils existent et peuvent être intégrés dans un développement complet. Il suffit de mentionner qu'un logiciel de production vidéo permet de découper la séquence utile et qu'un autre fait la transformation de la trame « avi » en images « bitmap ». C'est ce bloc d'images de format 320 x 240 qui sert de données d'entrées au programme d'analyse.

2.4 Structure du programme

2.4.1 Langage

Le programme est développé en langage Java pour des raisons d'efficacité au niveau du langage orienté objet ainsi qu'une portabilité sans équivoque. Ce dernier point est particulièrement important dans un projet appelé à bénéficier des contributions de plusieurs personnes sur une longue période. La qualité de développement du langage Java et la facilité de sa programmation lui ouvre dorénavant les portes du monde scientifique autrefois réservé au langage C.

2.4.2 Classes de l'image

Les classes relatives à l'image sont présentées à l'annexe 1. Afin de rendre le programme indépendant des formats d'images à traiter, une super classe Image regroupe les éléments communs constitutifs de l'image traitable et les méthodes associées. On y retrouve la largeur, la hauteur, une matrice d'éléments de classe Pixel ainsi que la

définition d'une zone. Cet élément est expliqué au point suivant sur les classes structurelles. La classe Pixel, qui est une extension de la classe Point, contient les champs des trois couleurs. La gestion en niveau de gris se fait par l'intermédiaire des méthodes de cette classe.

La classe Image offre également des méthodes pour identifier le voisin d'un pixel, vérifier si la position d'un pixel existe dans l'image et la longueur du plus petit côté. Les méthodes qui donnent accès à la zone s'assurent que celle-ci est valide et qu'elle fait bien partie de l'image.

La classe ImageBmp24bits est une extension de la classe Image. Elle assure le lien avec les fichiers extérieurs. Elle contient une entête de classe EnteteBmp et les méthodes nécessaires à faire la lecture, l'écriture et la copie des fichiers images. Elle assure également la conversion nécessaire pour passer du format « little endian », utilisé par le format bitmap, au format « big endian » utilisé par Java. Il faut être attentif à ce niveau si on veut se préserver des mauvaises surprises.

2.4.3 Classes structurelles

Les classes structurelles présentées à l'annexe 2 sont utilisées dans la représentation géométrique et morphologique des objets de l'image. Les classes Rond, Droite et Zone sont des objets géométriques dont la validité n'est pas liée à l'existence de l'objet dans l'image. Les valeurs de positions peuvent donc être négatives et c'est une méthode qui détermine la validité des points en fonction de l'image. La classe Tache fait suite à la révision du programme dans le but d'améliorer l'automatisme et la rapidité de la détection initiale. L'introduction de cette structure morphologique permet une meilleure

sélection des formes potentielles pouvant constituer l’iris et augmente la robustesse de détection.

Le rond est une extension du point auquel on ajoute un rayon. Lors de l’instanciation d’un rond, une liste des points constituant le contour est établie en fonction de son point centre et de son rayon. La liste évite les duplications et seuls les points du contour s’y retrouvent. Les méthodes du rond permettent d’obtenir ses caractéristiques et une méthode permet d’obtenir le nombre de pixels à intensité maximum en fonction d’une image donnée. Des variantes de la classe Rond ont donné les classes DoubleCone et QuartDeRond suffisamment explicites par leur nom. Ces structures sont utilisées pour la détection et le suivi de l’iris dans l’image.

La droite est une structure du même style que le rond. Elle possède une pente, une ordonnée à l’origine et un intervalle sur lequel elle a été définie. La première version de la classe Droite se limitait à ces fonctions. Son utilité était de trouver un point de repère dans le coin de l’œil. Le développement l’a transformée en vecteur orienté dans l’espace par l’ajout de champs pour identifier l’orientation quadratique et une liste pour contenir les points constituant le vecteur en rapport à une image donnée.

La zone permet de spécifier une région d’intérêt pour la détection de l’iris. Elle est définie par quatre positions cartésiennes représentées par un entier. Cette structure est purement géométrique puisqu’elle ne concerne pas les points mais bien l’espace qu’ils peuvent occuper. Des méthodes permettent l’interrogation des caractéristiques de la zone ainsi qu’une opération d’union qui conserve les paramètres minimum et maximum des deux zones.

La tache est une structure purement morphologique. Elle est constituée d'une liste de pixels ayant la caractéristique d'être en contact par au moins un côté en connectivité quatre. Elle possède un champ Zone qui délimite la surface carrée occupée par cette tache. Des opérations statistiques et de caractérisation de surface sont offertes par les méthodes de la classe.

2.4.4 Classes de filtres

Les classes de filtres présentées à l'annexe 3 regroupent les différents filtres applicables à l'image. Elles sont généralement privées de sorte qu'aucune instance n'est possible. Elles agissent en fournisseurs de services applicables à la super classe d'une image qui fait toujours partie du paramètre d'appel. On y retrouve les différentes méthodes développées au cours de ce mémoire pour la résolution du problème. Le détail de ces méthodes est le sujet du prochain chapitre.

La classe Forme regroupe le filtre de détection de contour, les opérations morphologiques d'érosion et de dilatation ainsi que les opérations de caractérisation des taches.

La classe CorrélationRank offre un service de corrélation d'un point dans le suivi d'images successives. Elle utilise une méthode de corrélation non paramétrique [16] qui réduit beaucoup l'influence d'une variation de luminosité.

La classe Détecte regroupe les méthodes de détection. On y retrouve des méthodes géométriques et morphologiques pour arriver à l'identification recherchée. C'est la section qui subit le plus de transformation dans le processus de révision du programme, toujours en cours, pour arriver à une rapidité et une certitude de détection.

D'autres services de dessins et traçage sont regroupés dans une classe Dessin. Ce sont de petits utilitaires pour tracer sur l'image ou encore noircir une région particulière.

2.5 Conclusion

Ce chapitre a présenté la mise au point du prototype de capture d'images et la structure de l'application informatique développée pour les analyser. Toutes ces méthodes sont chapeautées par le programme d'analyse qui constitue l'algorithme de solution présenté au prochain chapitre.

Chapitre 3 Méthodes d'analyses

3.1 Introduction

Ce chapitre fait la description du processus de résolution du problème. Un bref aperçu des théories utilisées dans le cheminement est suivi de l'algorithme de solution puis des détails reliés à l'implémentation. Puisque le programme s'est développé en plusieurs versions, les différentes méthodes et approches sont présentées de façon concurrente.

La principale démonstration est d'obtenir le signal correspondant au déplacement de l'iris et de réussir à identifier la présence des saccades causées par le nystagmus. Le temps d'exécution nécessaire à l'analyse n'est pas un critère contraignant pour autant qu'elle se réalise à l'intérieur d'une quinzaine de minutes. L'objectif d'atteindre une réalisation fonctionnelle a donc primé sur celui de l'optimisation des méthodes. La première version du programme a été rapidement développée pour démontrer la validité du signal obtenu et la possibilité de détection automatique. Elle s'est suivie du développement d'une révision, toujours en cours, visant à optimiser la rapidité des méthodes et la robustesse de détection.

3.2 Théories

La reconnaissance de formes est un sujet traité de longue date en traitement d'image. Elle fait généralement appel à la détection des contours ainsi qu'à la morphologie mathématique pour établir des caractéristiques et des opérations sur des formes. L'approche retenue utilise les outils liés à la reconnaissance de formes ainsi que la géométrie spatiale et les probabilités pour parvenir à une solution efficace.

3.2.1 Détection de contours

Le filtre de gradient Sobel [17] est utilisé pour la détection des contours à transition élevée du niveau de gris permettant entre autres la localisation des contours de l'iris. Ce filtre à matrice de 3×3 a un seuil ajustable et accorde une pondération aux pixels environnants. Il produit une image binaire où les pixels d'intensité maximum représentent les zones à fort contraste. C'est un filtre relativement rapide qui donne de bons résultats.

L'opérateur de Daugman [13] a été implémenté à titre de comparaison à la deuxième version du logiciel de détection automatique du nystagmus. C'est une méthode gourmande en temps d'exécution mais d'une bonne efficacité dans la recherche d'un cercle (ex. : contour de l'iris). L'approche initiale tendait déjà vers ce genre de solution mais seule une adaptation de l'implémentation de cet opérateur permet un temps d'exécution raisonnable.

La transformée de Hough [17] est une méthode utilisée pour la détection de droites et adaptée à la détection de cercles. C'est une autre méthode d'ordre élevé au temps d'exécution assez lent. Plusieurs personnes développent des optimisations de cette

méthode mais un essai personnel n'ayant pas été satisfaisant dans le contexte de cette recherche, la méthode n'a pas été utilisée dans le développement. Elle est mentionnée ici puisqu'elle est citée dans certaines recherches en références.

3.2.2 Morphologie mathématique

La morphologie mathématique [18] est une représentation ensembliste des éléments de l'image. Les pixels obéissant à une certaine connectivité forment des ensembles sur lesquels on peut appliquer des opérateurs morphologiques. Ces opérateurs découlent de l'opération principale de la morphologie mathématique qu'est la dilatation d'un ensemble X par un élément structurant B tel qu'exprimé dans l'expression :

$$X \oplus B = \{u, B_u \cap X \neq \emptyset\}.$$

C'est par le jeu de transformations booléennes et d'opérations ensemblistes qu'on obtient la variété des opérateurs tel l'opération complémentaire d'érosion qui correspond à la relation d'inclusion :

$$X - B = (X^c \oplus B)^c = \{u, B \subset X\}.$$

La morphologie permet également de caractériser l'ensemble de pixels par l'utilisation de relations de dispersions ou de proximité. L'introduction de règles probabilistes assure une bonne certitude d'évaluation. Les opérations sur un ensemble restreint de pixels s'exécutent dans un temps très court et permettent une décision rapide.

3.2.3 Corrélation

La fonction de corrélation utilisée pour retrouver un point servant de référence spatiale dans les images successives est de type non paramétrique. Au lieu de faire une corrélation directe basée sur l'intensité des pixels, une transformation non paramétrique est d'abord appliquée à l'image.

Cette transformation [16] modifie la valeur d'intensité de chaque pixel P de l'image par une valeur basée sur son environnement spatial $N(P)$. Les pixels P' de cet environnement sont d'abord codés en fonction de leur valeur d'intensité par rapport au pixel central. Le pixel prend la valeur 1 si son intensité est inférieure au pixel central et 0 dans les autres cas. La somme des pixels à 1 constitue le nouveau codage $R(P)$ du pixel selon la formule :

$$R(P) = \left\| \left\{ P' \in N(P) \mid I(P') < I(P) \right\} \right\|.$$

La corrélation s'effectue par comparaison d'une zone de référence, autour du point à corréler, dans une zone de recherche probable dans l'image suivante. Cette comparaison recherche un minimum dans la différence absolue de chaque pixel correspondant :

$$\min \sum_{\forall i \in \text{zone}} |R(P_i)_{ref} - R(P_i)_{cor}|.$$

3.3 Algorithme

L'algorithme à la base de la solution est très simple. Il faut d'abord faire la lecture d'une image à partir d'une séquence d'images de l'œil d'un cobaye humain, identifier l'iris et choisir un point de repère fixe sur le visage. Ces deux données permettent d'établir une position spatiale initiale du centre de l'iris.

Ensuite, pour des images successives, il faut retrouver l'iris et le point de repère afin d'établir une nouvelle position spatiale. Les positions successives calculées permettent d'établir le déplacement de l'œil et l'analyse permet l'identification des saccades caractéristiques du nystagmus.

Le problème est donc divisé en deux volets particuliers, la détection initiale et le suivi de l'iris dans les images successives.

3.4 Détection initiale

La détection initiale est la partie la plus critique du système puisque la dimension de l'iris et sa localisation dans l'image sont inconnues. Elle doit donc être robuste et assurer un automatisme de détection efficace. De plus, son temps d'exécution doit être le plus court possible. Pour ce faire, on tente de réduire au maximum la zone de recherche de l'iris.

3.4.1 Zone de recherche de l'iris

Chaque image de 320 x 240 contient 76 800 pixels, ce qui implique un gros facteur multiplicatif pour chaque traitement à appliquer. Il est donc très avantageux de restreindre la zone de recherche aussitôt que possible. C'est pourquoi la structure de l'image contient une zone. Cette zone est utilisée pour spécifier une région d'application des filtres correspondant à la zone de probabilité où retrouver l'iris.

Avant de lancer la détection initiale, il est possible de déterminer la zone de probabilité correspondant aux différents positionnements de la part des sujets à tester. Cette zone est fonction du système assurant le positionnement du visage face à la caméra. La figure 12 montre la zone associée au prototype de saisie utilisé dans cette recherche.

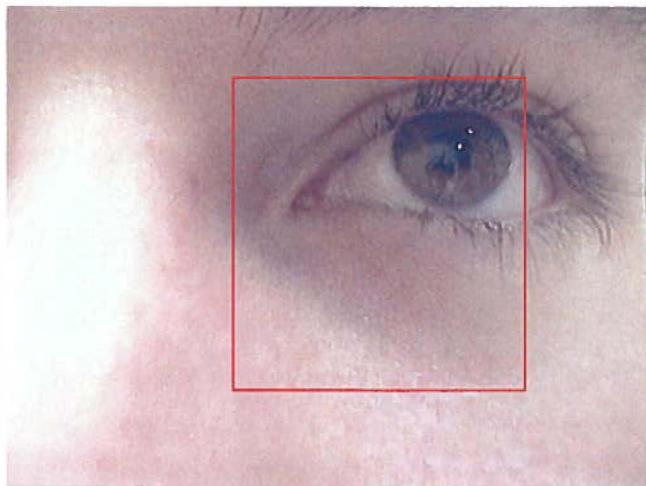


Figure 12: Zone probable initiale.

La méthode permettant de réduire cette zone est basée sur un filtre de gradient Sobel [17]. L'application de ce filtre est rapide et un seuil élevé du gradient ne laisse en image

binaire résultante que les zones à fort contraste. La figure 13 montre bien la jonction de l'iris et de la sclère ou blanc de l'œil.

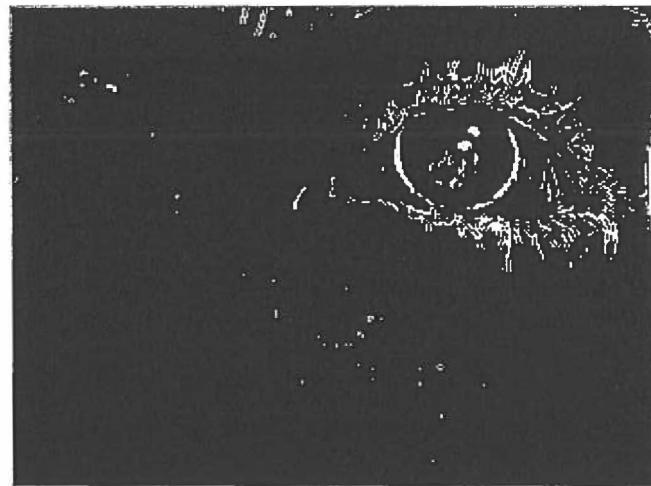


Figure 13: Filtre Sobel.

La première méthode développée applique une forte érosion morphologique à l'image résultante. Ceci réduit la présence des petits parasites causés par des poils et ne conserve que les pixels provenant des grandes régions à fort contraste. Ces pixels ont une grande probabilité d'appartenir à l'iris. Il s'agit donc d'entourer ces pixels par une zone tel que montré à la figure 14, de prendre son point centre, et d'établir une nouvelle zone proportionnelle autour de ce point. Cette méthode a donné de bons résultats avec les séquences tirées du document vidéo mais elle n'a pas tenu le coup lors des tests réels. En effet, la différence de contraste et de luminosité des nouvelles images ont occasionné des contours d'iris plus fins qui étaient complètement effacés par l'application du filtre d'érosion morphologique.

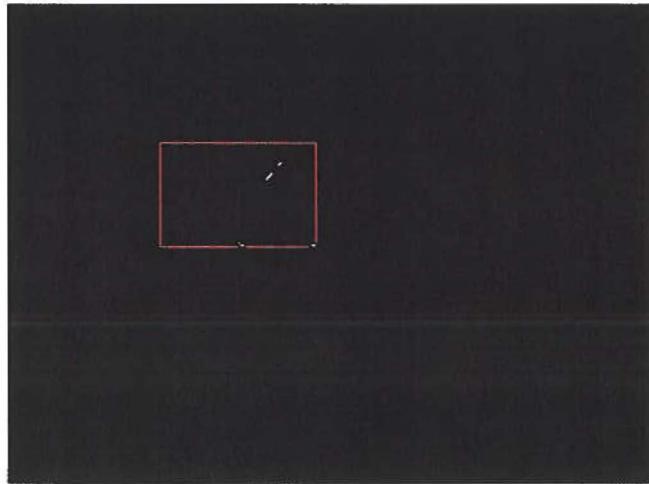


Figure 14: Zone érosion.

La nouvelle méthode fait appel à la notion de tache décrite précédemment. La zone de l'image binaire résultante de l'application du filtre Sobel est décomposée en taches. Les taches sont classées par ordre de grandeur de surface qu'elles occupent et les trois plus grandes sont conservées. L'expérience démontre que dans tous les cas de tests, au moins une de ces trois taches résultantes fait partie du contour de l'iris. Par la suite, une séquence de filtres de sélection sur les taches permet d'éliminer les taches parasites. La tache étant réduite à une liste de pixels, le filtre est basé sur une analyse de la dispersion de ces pixels. Après cette séquence, il ne reste qu'une seule tache avec un maximum de probabilité d'appartenance à l'iris.

Dans les exemples des figures 15 à 20, les filtres sont appliqués à des images semblables à celle de la figure 13 mais provenant de séquences d'images différentes permettant de mettre en valeur l'action spécifique du filtre. Ces filtres s'appliquent donc séquentiellement aux trois taches résultantes du traitement initial de sélection ou à celles n'ayant pas été éliminées par un filtre précédent. Les taches éliminées sont colorées pour montrer l'action des filtres.

Le premier filtre qui enlève les taches jugées trop carrées joue sur la géométrie du cercle. Il applique une sélection basée sur le rapport des côtés d'un rectangle enveloppant la tache et la quantité de pixels la constituant pour éliminer les taches trop denses pour être un contour d'iris. La figure 15 montre la sélection effectuée par ce filtre.

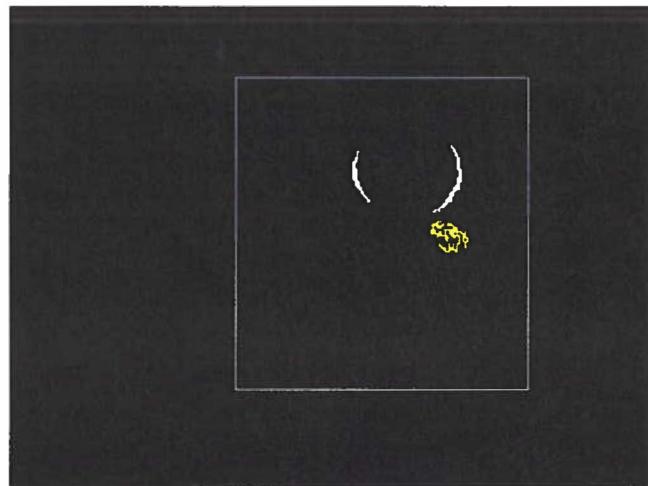


Figure 15: En jaune, tache sélectionnée par le filtre "carré".

Le deuxième filtre enlève les taches trop longues. Il cherche à identifier par proportion si une tache ne peut pas faire partie de l'iris. Si le rapport des côtés est en deçà d'un certain seuil ou si le côté maximum de la tache est plus grand qu'une proportion donnée du côté minimum de l'image comme le démontre la figure 16, il est alors très probable que cette tache ne sera pas une constituante de l'iris.

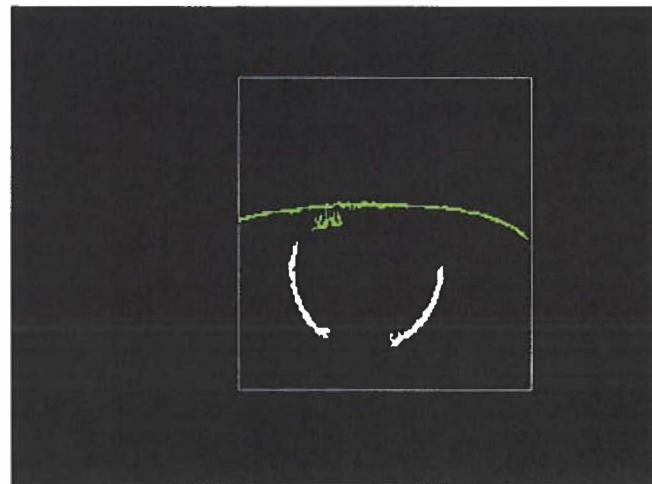


Figure 16: En vert, tache jugée trop longue.

Le troisième filtre travaille à partir du groupement des pixels. Il fait une analyse de groupement spatial de l'ensemble de pixels qui permet de repérer les taches avec des artéfacts pouvant causer des erreurs d'analyse. La tache est balayée dans l'axe horizontal pour quantifier le nombre de pixels par ligne de balayage. Chaque ligne ayant une quantité de pixels trop élevée est comptabilisée. Si le nombre total de lignes est supérieur à un seuil alors la tache est rejetée. La figure 17 montre un exemple de ce type de tache.

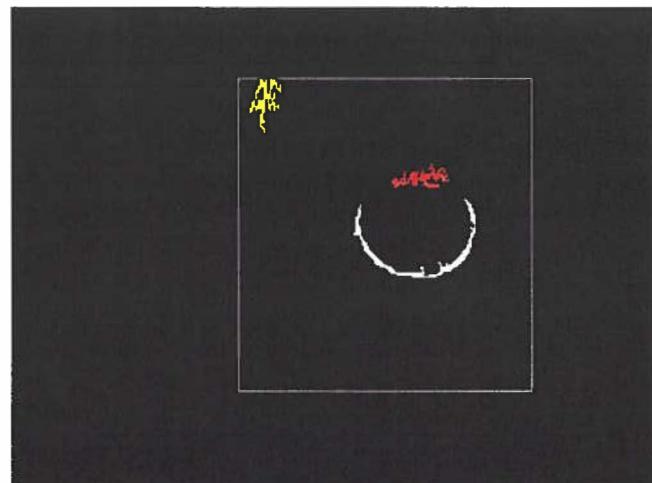


Figure 17: En rouge, tache avec une mauvaise dispersion.

Si le nombre de taches résultantes est toujours égal à trois, un filtre de sélection spécial est appliqué. Il commence d'abord par faire un calcul de proportion entre les taches et enlève les petites surfaces si la différence est suffisante, comme le démontre la figure 18.

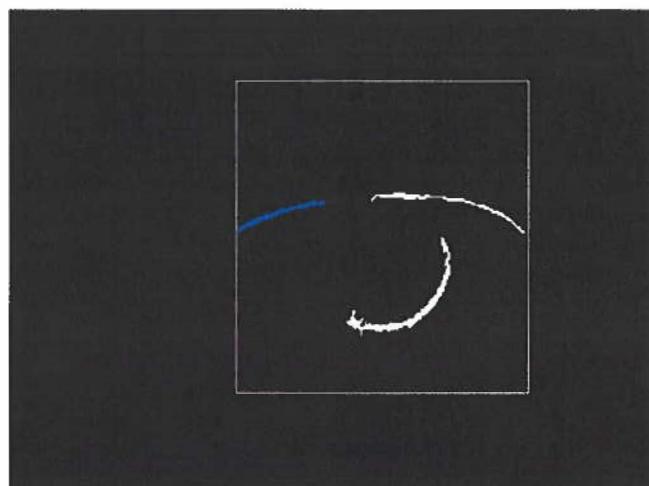


Figure 18: En bleu, tache avec une trop petite surface.

S'il en reste encore plus de deux, il tente l'union de petites surfaces ayant des dimensions de côtés admissibles. Le résultat de la figure 19 montre cet effet du filtre sur un groupe de taches.

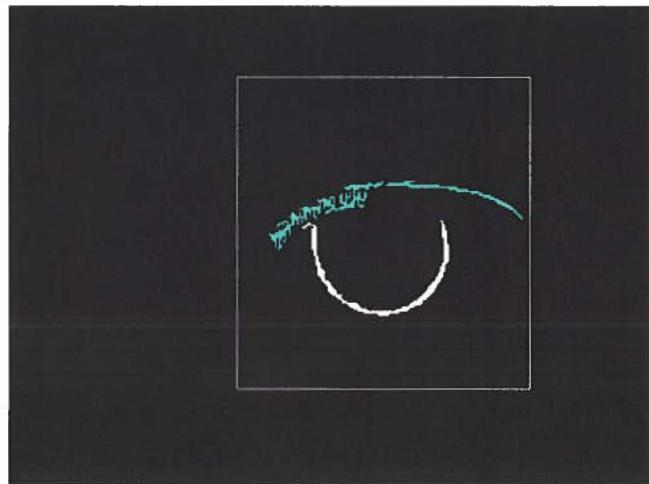


Figure 19: En cyan, taches jugées invalides par l'union des surfaces.

Il ne peut rester plus de deux taches après ce filtre. Le dernier filtre s'assure de choisir la meilleure tache sur les deux candidates comme présenté dans le cas de la figure 20.

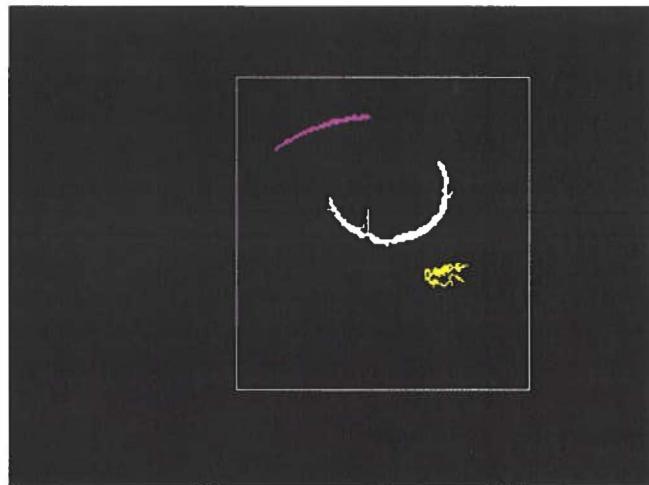


Figure 20: En magenta, tache éliminée par le filtre final, la tache jaune étant éliminée par un filtre précédent. La tache blanche est conservée comme iris probable.

La sélection finale est utilisée pour estimer le point centre d'une zone où il est presque certain d'y retrouver l'iris. Pour y arriver, un algorithme choisit d'abord un point de la tache et fait ensuite tourner un cercle de rayon minimum probable autour de ce point. Lorsque le cercle touche un maximum de pixels, il entre en expansion jusqu'à ce que le nombre de pixels touchés par le cercle soit maximum. C'est le point centre de ce cercle qui sert à déterminer la zone probable indiquée à la figure 21 et dans laquelle va s'effectuer la recherche initiale de l'iris.

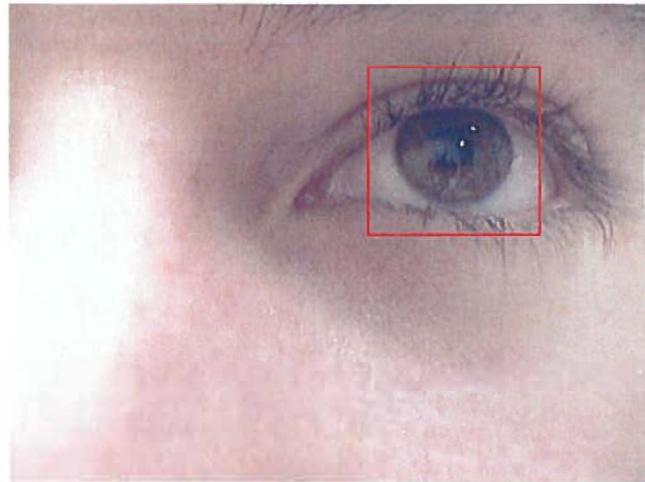


Figure 21: Zone probable où retrouver l'iris.

3.4.2 Recherche de l'iris

La zone de recherche étant circonscrite, il reste à appliquer une méthode pour trouver l'iris. La première méthode mise au point se limite à balayer la zone de l'image binaire présentée à la figure 22 avec des cercles de rayon différents pour conserver celui qui contient le plus de pixels. L'intervalle de recherche des différents rayons peut être estimé en fonction de la proportion de l'image et de la zone de recherche.

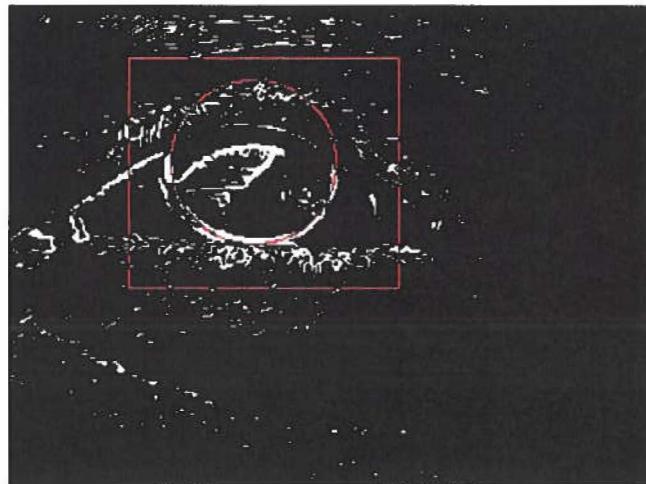


Figure 22: Iris détecté à partir de l'image du filtre Sobel.

L’application de l’opérateur de Daugman [13] a donné des résultats similaires dans un temps relativement semblable. La figure 23 montre qu’il a l’avantage d’être plus précis sur le contour puisqu’il opère directement sur l’image initiale. C’est une adaptation du même style que celle de l’auteur qui a été implémentée mais sans le lissage de l’image. L’intégrale de contour est calculée sur une partie des côtés du cercle pour éviter l’interférence des paupières.

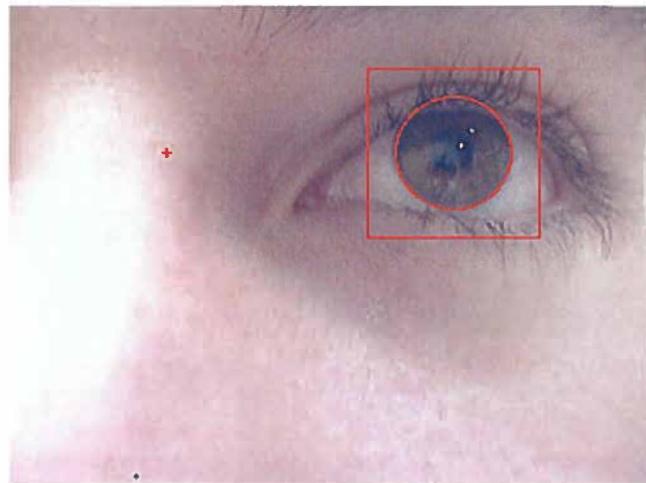


Figure 23: Iris détecté à partir de l’algorithme de Daugman [13].

3.4.3 Recherche du repère

Pour évaluer la position angulaire de l'œil, en plus d'identifier l'iris, il faut trouver un point de repère spatial fixe sur le visage. Le premier choix de repère a été le coin de l'œil. C'est un point basé sur la géométrie de l'œil et qui se retrouve à la jonction des paupières. Lorsque l'iris est détecté, il est possible de déterminer une zone probable où retrouver ce point et les deux contours des paupières. La figure 24 montre cette zone sur l'image binaire.



Figure 24: Zone du repère géométrique.

À partir de cette zone, une recherche est effectuée pour trouver une droite passant par un maximum de pixels et correspondant à la paupière supérieure. Cette recherche est limitée à une partie de la zone et pour des angles restreints à des valeurs probables entre 10 et 50 degrés. La droite de la paupière inférieure est recherchée à partir des points de la droite supérieure et pour une restriction d'angles possibles de 300 à 361 degrés. La figure 25 montre le résultat final et la jonction de ces deux droites donne une bonne référence du

coin de l'œil tel qu'indiqué sur la figure 26. Ce point de repère et la position de l'iris sont utilisés pour calculer une position spatiale initiale.

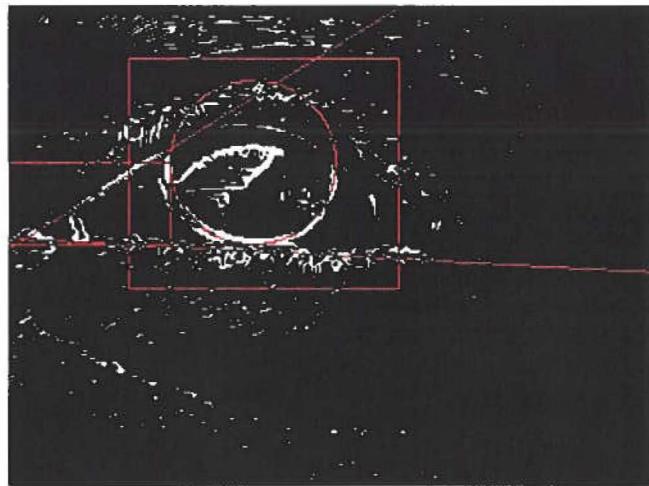


Figure 25: Droites des paupières.



Figure 26: Point de repère et iris.

Des essais comparatifs sont en cours sur un choix de repère à une distance proportionnelle de l'iris. Cette proportion est ajustée pour arriver approximativement à la racine du nez. Ce point pourrait éviter le risque de changement de texture causé par un

mouvement des paupières et qui aurait une influence sur l'environnement du pixel de référence. Il est également possible qu'un appareil de production assure une référence spatiale fixe par son lien physique avec le sujet testé, ce qui rendrait obsolète la recherche et la corrélation d'un repère.

3.4.4 Préparation à la corrélation

Puisqu'il faut présentement tenir compte du point de repère, il faut préparer la zone de référence utilisée par la corrélation. La classe CorrelationRank assure cette étape à l'instance de l'objet avec le paramètre d'image et du point de repère. Chaque point d'une zone de référence entourant le point de repère est remplacé par le résultat du calcul de son « rank » [16]. Comme il a déjà été mentionné, le « rank » d'un pixel est basé sur le nombre de pixels d'intensité inférieure à ce pixel dans une zone déterminée. Toutes les zones à usage interne sont fixées pour assurer un comportement optimum de la méthode.

3.5 Suivi de l'iris

3.5.1 Recherche de l'iris

Toutes les étapes initiales complétées, la suite du traitement est grandement simplifiée. Le rayon de l'iris est connu et sa position spatiale également. De plus, un œil qui effectue le suivi normal recherché ne peut pas sortir de la zone de recherche de l'iris, le nystagmus n'ayant pas l'amplitude suffisante.

Il suffit donc d'appliquer le filtre Sobel dans la zone de recherche et de retrouver l'iris. Il faut tenir compte que l'iris en rotation subit des déformations. Les méthodes de détection de cercles ne peuvent être appliquées. De toutes façons, lorsqu'il est en extrémité

périphérique, il ne reste qu'une portion du cercle de l'iris visible dans l'image. C'est pourquoi la méthode recherche un nombre maximum de pixels dans l'image binaire sur une portion de 90 degrés du cercle uniquement. Cette portion est choisie entre 135 et 225 degrés. La tangente verticale de cette partie de cercle indique le bord de l'iris tel qu'indiqué sur la figure 27.



Figure 27: Suivi de l'iris.

Même si cette méthode a démontré son efficacité, un prochain développement va faire appel à un arc de cercle dont la déformation sera estimée en fonction du positionnement de l'œil. Ceci sera utile dans le cas d'images à haute résolution mais ne fait pas de différence majeure dans le contexte actuel.

3.5.2 Ajustement des zones de recherche

Dès que l'iris est retrouvé dans l'image, les zones de recherche sont ajustées en fonction de cette nouvelle position. La nouvelle zone de recherche de l'iris est rapidement établie en créant une nouvelle zone probable autour de la nouvelle position détectée.

La première méthode appliquée faisait usage d'un repère géométrique tout le long du procédé. Puisque la séquence vidéo était saisie par une caméra à l'épaule, la caméra pouvait se déplacer légèrement par rapport au visage. Il fallait donc s'assurer du suivi de la zone de recherche du repère en ajustant préalablement celle-ci de l'équivalent du déplacement vertical du nouvel iris détecté. Puis, une fois le repère retrouvé, la zone était ajustée en fonction de la nouvelle position du repère. La nouvelle méthode implémentée utilise la corrélation du point de repère et la zone de recherche est prise en charge par la méthode de corrélation.

3.5.3 Corrélation du repère

Il ne reste qu'à corrélérer le point de repère sur chaque image afin de valider la position de l'œil et déterminer le déplacement angulaire. La méthode qui effectue cette tâche prend la nouvelle image en paramètre d'entrée et calcule le « rank » de chaque pixels situés dans une zone de recherche. Puisque l'instance de l'objet de corrélation est initialisée avec l'image de référence et que toutes les zones sont déjà initialisées, la méthode retourne directement le nouveau point de repère en recherchant un minimum dans la somme des différences absolues des pixels de la zone de référence. Une nouvelle instance avec ce nouveau point et l'image actuelle assure la préparation de la corrélation pour l'image suivante.

3.5.4 Calcul des positions

À chaque nouvelle image une position spatiale correspondant au déplacement angulaire est calculée et compilée dans un tableau. C'est ce vecteur de positions qui est utilisé pour reconstituer la courbe correspondant au déplacement de l'œil.

3.6 Conclusion

Ce chapitre a permis d'exposer l'élaboration d'une solution assurant la détection et le suivi de l'iris dans une succession d'images. Le vecteur des positions résultant de cette détection permet d'obtenir une courbe du déplacement angulaire de l'iris dans le temps. L'analyse de ces résultats pour identifier les saccades causées par le nystagmus est l'objet du prochain chapitre.

Chapitre 4 Résultats d'expérimentations

4.1 Introduction

Ce chapitre présente les résultats obtenus à la suite de l'application du programme de détection et de suivi de l'iris. Il a d'abord été appliqué à la séquence initiale de test tirée du document audio-visuel de formation de la Sûreté du Québec, puis à celles obtenues à l'École Nationale de Police sur des candidats volontaires.

Comme il a été mentionné, l'objectif principal de cette étude de faisabilité est de voir s'il est possible d'identifier les saccades du nystagmus à partir de l'analyse d'images dans le but d'en faire une détection automatique chez les conducteurs ayant les facultés affaiblies par l'alcool. Les résultats sont donc présentés sous forme de courbes de la position de l'iris en fonction du temps. Ces courbes sont lissées pour épouser la forme du signal et ainsi faire ressortir les oscillations.

Puisque le test est exécuté manuellement, il n'y a pas de référence angulaire précise à chaque image. La position angulaire de l'œil doit être calculée à partir du vecteur des positions obtenues. Un traitement mathématique est donc nécessaire avant l'analyse.

4.2 Traitement mathématique

Le vecteur de position correspond au déplacement sur l'axe horizontal d'une projection d'un point, la jonction de l'iris et de la sclère, à la surface du globe oculaire en rotation. Puisque ce déplacement correspond au sinus de l'angle de position, l'amplitude des déplacements ira en diminuant avec la rotation de l'œil. Pour compenser cet effet, la position cartésienne est convertie en position angulaire. La conversion est calculée à partir de l'arc sinus du rapport entre le déplacement en pixels et le rayon de l'œil.

Le rayon du globe oculaire utilisé dans le calcul est évalué à partir de sa position à 45 degrés. À cette position, le rayon correspond au déplacement en pixels sur l'axe des x par rapport à la position initiale, divisé par le sinus de 45 degrés.

4.3 Séquence d'images initiale

La première séquence d'images provenant du document vidéo [15] a été utilisée pour l'expérimentation et le développement de la méthode. Le graphe de la position de l'iris en fonction du temps correspondant à cette séquence est présenté à la figure 28 à titre d'introduction au type de signal attendu. Puisque cette séquence provient d'un document audio-visuel, il n'y a aucune référence précise quant à la position angulaire maximale de l'œil et au taux d'alcoolémie du sujet. Je peux cependant confirmer l'état du sujet puisqu'il s'agissait de moi-même et qu'il y a eu consommation d'une dizaine de bières dans un temps assez court avant de faire le tournage. Un taux d'alcoolémie se situant dans les 180 à 200 mg% serait une évaluation raisonnable.

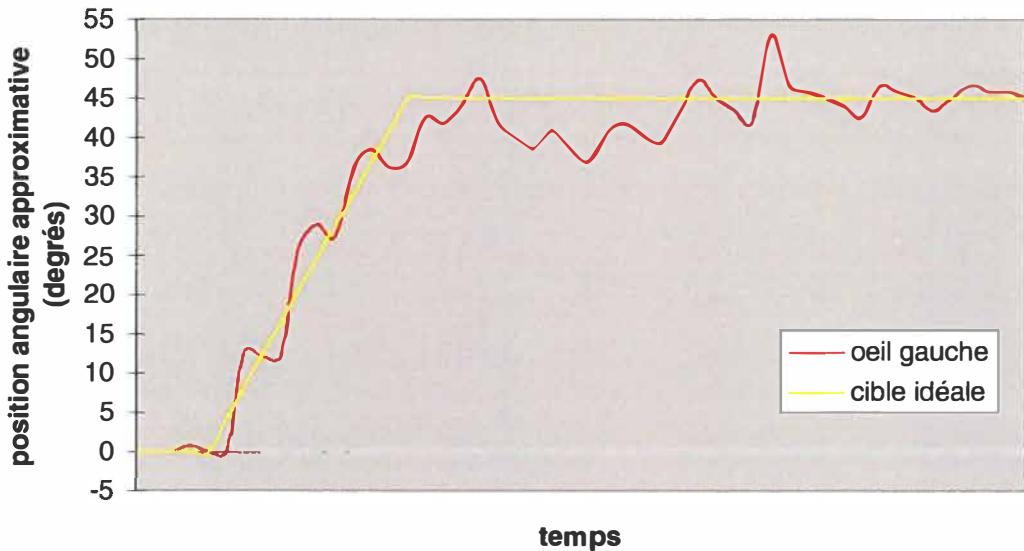


Figure 28: Position de l'iris en fonction du temps.

La courbe de la cible idéale a été ajoutée pour donner une idée du déplacement probable de la cible. On remarque facilement que le suivi exécuté par l'œil s'effectue avec difficulté et qu'il s'opère par saccades pendant le déplacement. On note également les saccades continues à l'angle de 45 degrés qui indiquent la présence du nystagmus horizontal. Ce signal n'est pas de très bonne qualité mais il donne une idée de la forme attendue. Le signal idéal à 45 degrés devrait correspondre à une oscillation sinusoïdale de basse fréquence.

Ce premier résultat encourageant ne donne cependant pas une idée de la progression de l'apparition des saccades en fonction du taux d'alcoolémie d'un sujet. Les tests réels vont permettre cette analyse.

4.4 Tests réels

Les tests réels ont été effectués à l'intérieur du processus normalement effectué par les policiers en formation sur des consommateurs volontaires. Chaque candidat a subit un test à jeun avant de débuter sa consommation d'alcool. Suite à la consommation d'alcool et après une période d'attente réglementaire, les tests sont effectués de façon successive sur des alcootests et sur le prototype de détection du nystagmus pendant une période d'un peu plus d'une heure. Une séquence de suivi oculaire représentative au taux d'alcoolémie moyen atteint par le candidat est sélectionnée et présentée en comparaison avec le tracé à jeun du candidat.

Les résultats du candidat « cor » sont présentés aux figures 29 et 30. Il a affiché un taux d'alcoolémie de 115 mg%. Les résultats du candidat « ber », à un taux de 130 mg%, sont présentés aux figures 31 et 32 alors que ceux du candidat « gui », dont le taux a atteint 200mg%, sont présentés aux figures 33 et 34.

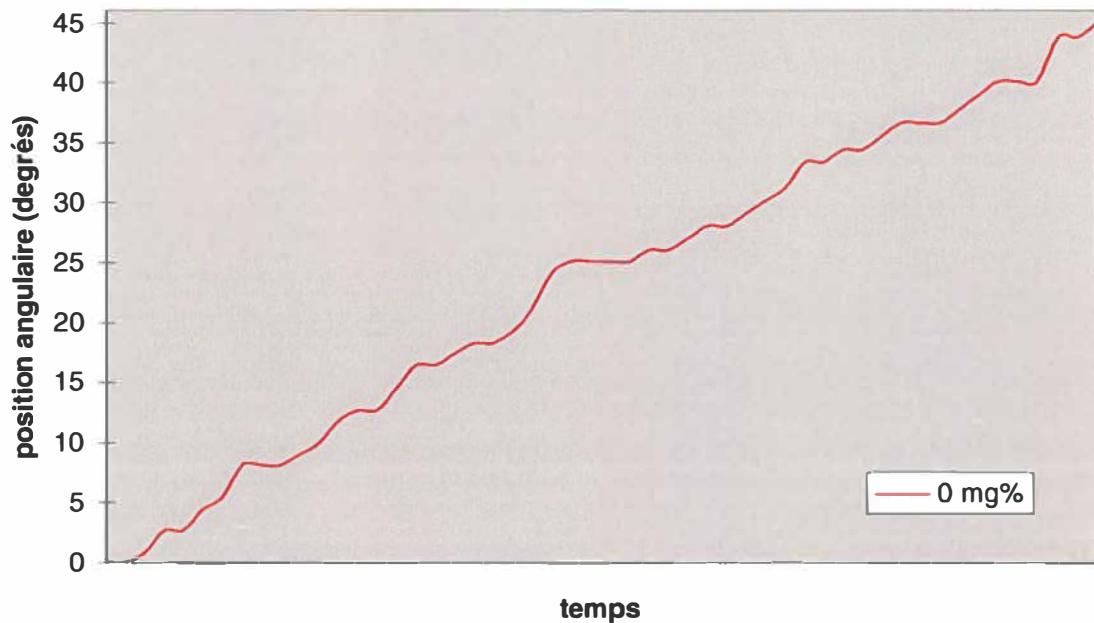


Figure 29: Candidat « cor » à un taux de 0 mg%.

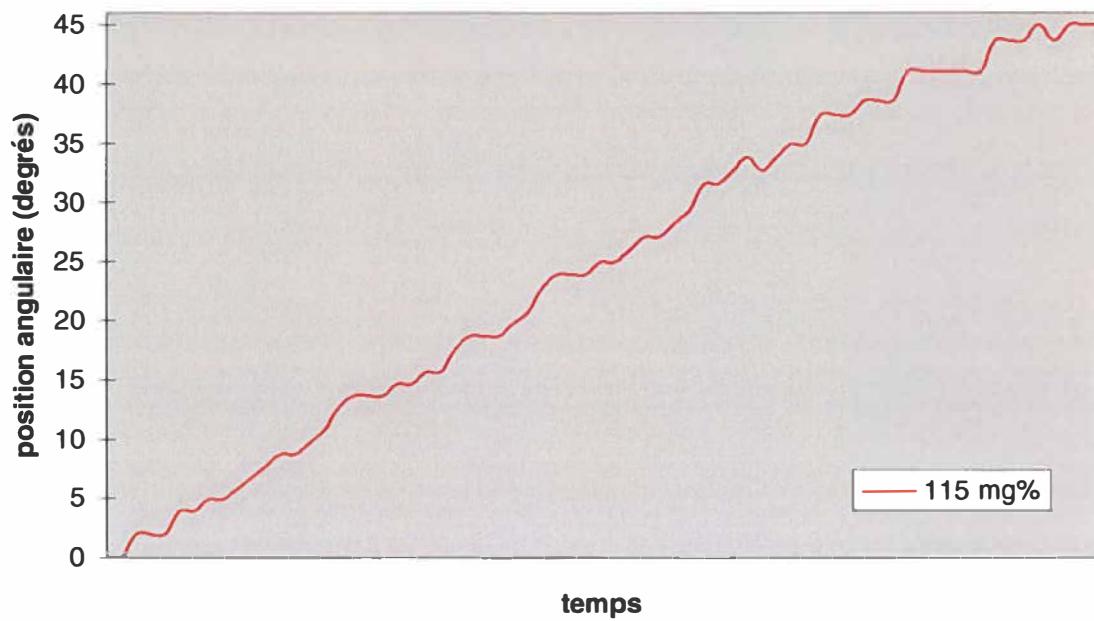


Figure 30: Candidat « cor » à un taux de 115 mg%.

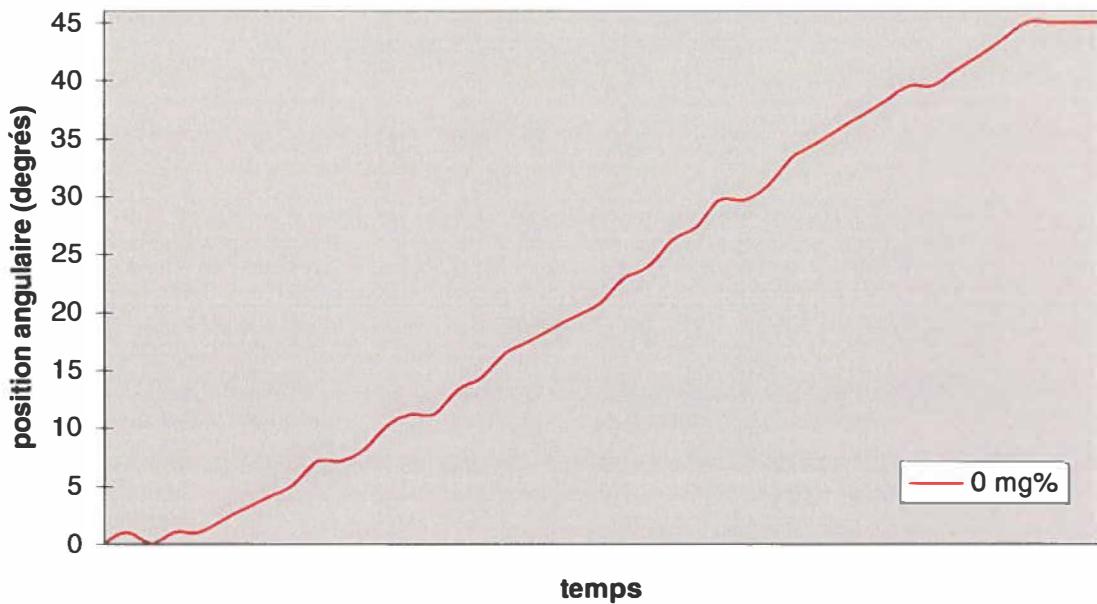


Figure 31: Candidat « ber » à un taux de 0 mg%.

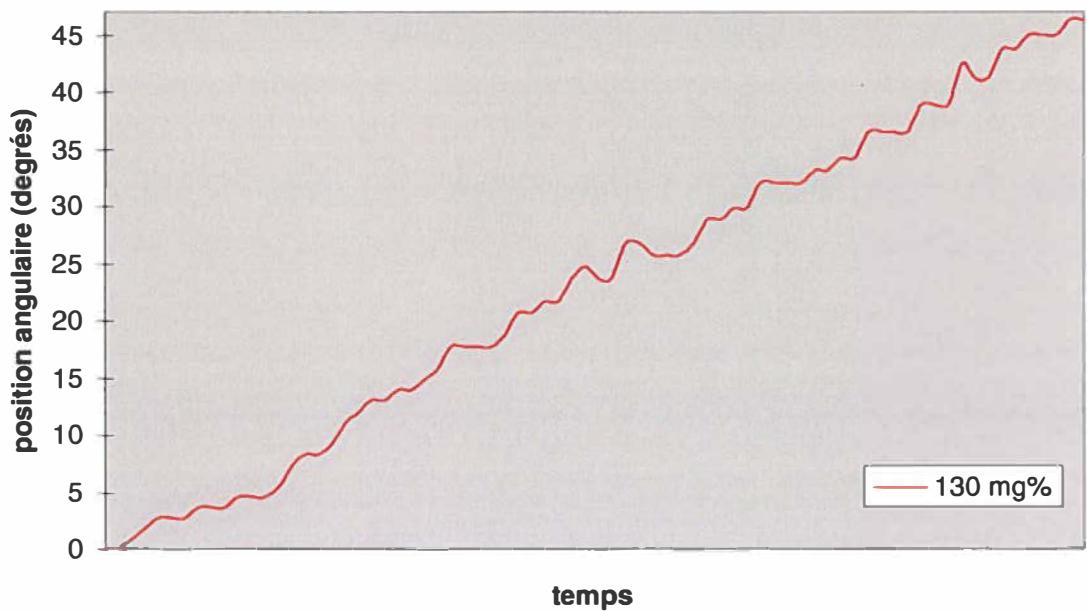


Figure 32: Candidat « ber » à un taux de 130 mg%.

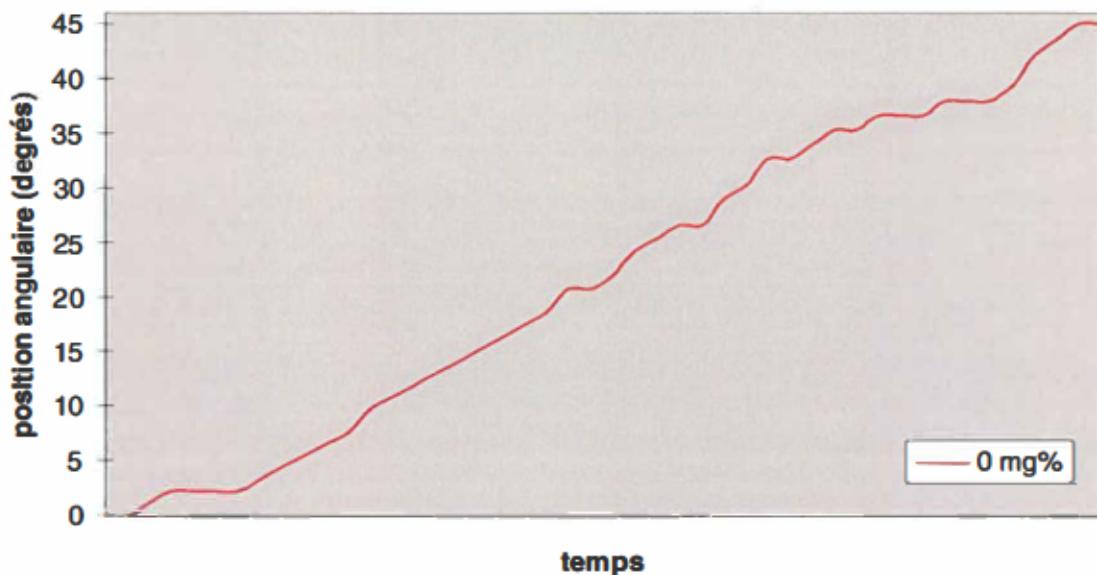


Figure 33: Candidat à un taux de 0 mg%.

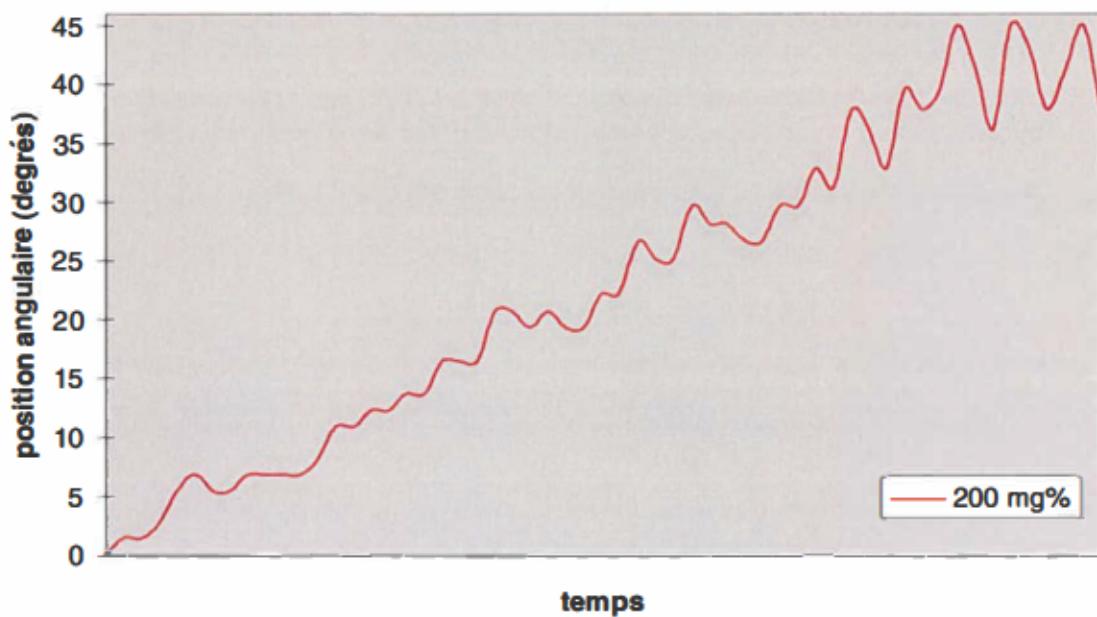


Figure 34: Candidat à un taux de 200 mg%. On remarque la présence du nystagmus à l'angle de 40 degrés.

4.5 Analyse

On remarque facilement la différence dans la linéarité du tracé d'un candidat suite à la consommation d'alcool. Le problème du suivi qui, au lieu d'être linéaire, se produit par saccades se traduit par des ondulations dont l'amplitude tend à augmenter avec le taux d'alcoolémie du sujet. Le contenu fréquentiel de ce signal en saccade semble être dans la même plage que celui du nystagmus.

Si le nystagmus apparaît clairement à 40 degrés chez le sujet ayant un taux d'alcoolémie de 200 mg% (figure 34), il n'est pas clairement identifiable à l'angle de 45 degrés chez les sujets ayant un taux de 115 mg% et 130 mg%. Un protocole de test modifié pourrait apporter plus d'informations sur l'angle d'apparition et l'intensité des saccades pour de plus faibles taux d'alcoolémie. Ce sujet fera l'objet d'une discussion dans le prochain chapitre.

Ces résultats sont néanmoins très satisfaisants puisque le tracé montre une nette différence entre l'état de sobriété et celui de facultés affaiblies chez un sujet sous influence d'alcool. C'était l'objectif principal de démontrer la faisabilité de détection du nystagmus par l'analyse d'images et les tracés obtenus sont révélateurs. Cette analyse permet également une évaluation du suivi de l'œil dans son déplacement qui sera discutée au prochain chapitre.

L'analyse mathématique du signal fera l'objet d'une prochaine recherche. Elle sera effectuée en fonction de l'information recherchée. Pour une détection automatique, une analyse spectrale à l'aide d'une transformée de Fourier du contenu fréquentiel du signal pourrait indiquer la présence des saccades révélatrices.

4.6 Conclusion

L'objectif d'obtenir le signal caractéristique des saccades du nystagmus a été atteint. Si le résultat obtenu pour de faibles taux n'est pas celui attendu, il ne relève pas de cette recherche de faire l'étude de la physiologie de l'alcool chez l'humain.

La discussion du prochain chapitre fera un tour d'horizon sur l'ensemble de la méthode et proposera des correctifs à apporter au protocole de test.

Chapitre 5 Discussion

5.1 Introduction

Ce chapitre entame une discussion sur différents aspects de cette recherche. La validité des résultats et l'application de la méthode de test sont examinés pour relever les difficultés et les correctifs à apporter pour améliorer l'ensemble du système. Les principaux problèmes rencontrés sont exposés par groupe d'influence. Une autre approche basée sur l'analyse statistique de l'ensemble du signal de suivi est présentée en fin de chapitre.

5.2 Validité des résultats

5.2.1 Validité des courbes de position de l'iris

Les courbes présentées aux figures 29 à 34 représentent la position angulaire de l'iris en fonction du temps. Ces différentes courbes sont vérifiées à partir du résultat de détection sur chaque image traitée. Un examen visuel confirme la validité de la détection de l'iris et du repère.

La détection initiale est la partie la plus critique du système. Sur un ensemble de 60 séquences d'images provenant de trois candidats, seules deux séquences ont dû être retirées pour un mal fonctionnement causé par une mauvaise détection initiale de l'iris. Cette situation occasionnait une recherche hors de la zone probable initiale et causait un arrêt du programme. Elle serait facilement corrigée en introduisant une validation de l'état initial sur plusieurs images avant le déclenchement du test.

Sur les 58 séquences restantes, la détection initiale de l'iris n'a pas été parfaite dans trois cas avec le même candidat. Dans ces trois cas, le rayon détecté était légèrement inférieur au rayon recherché à cause de l'influence de la paupière supérieure. La figure 35 montre un exemple de la détection d'un iris au rayon trop petit. Cette situation n'a pas occasionné de gros dérangements puisque le suivi de l'iris se fait par la recherche d'un arc de cercle latéral dans l'image. Une légère différence dans le rayon n'a pas une grande influence sur la mesure de la tangente verticale une fois le suivi enclenché. Cette influence était omniprésente dans tous les cas de tests à cause du déplacement de la cible au-dessus de la caméra, ce qui occasionne un angle vertical positif de l'œil, mais elle n'a causé de l'interférence que dans ces trois cas.

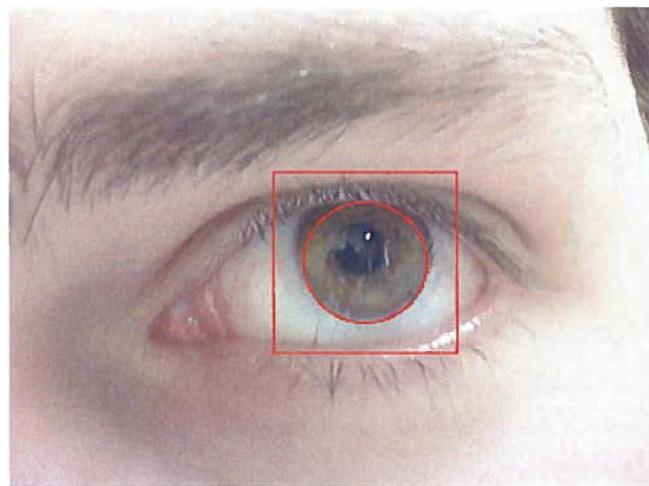


Figure 35: Rayon de l'iris réduit par l'influence de la paupière.

Le suivi de l'iris accompli par le programme est très satisfaisant jusqu'à l'approche du regard en extrémité. Vers ces positions, il arrive que la ligne de contour de l'iris soit si ténue que les artefacts environnants prennent de l'importance et causent une légère déviation de la position de l'iris détecté. La figure 36 montre la déviation de la tangente détectée. Un resserrement de la zone de recherche dans l'axe vertical et une recherche qui tiendrait compte de la déformation de l'arc de cercle avec la rotation de l'œil pourrait corriger cette situation. Une autre approche consisterait à rechercher la bordure de l'iris dans l'image originale. On pourrait rechercher un maximum de la dérivée partielle pour l'arc de cercle de référence dans le domaine de probabilité.

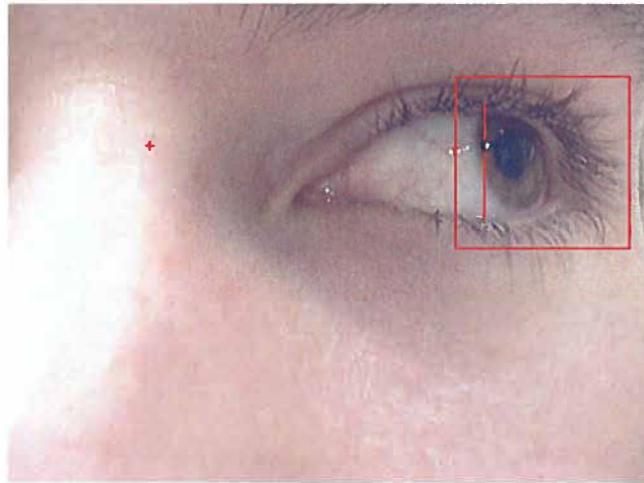


Figure 36: Déviation de la tangente causée par l'atténuation des lignes de contour par rapport à la présence d'un artefact lumineux.

5.2.2 Exécution du test

L'observateur averti a remarqué un certain manque de linéarité dans le tracé à jeun des candidats. La principale cause de ce problème est l'irrégularité de déplacement de la

cible devant les yeux du sujet. Cette irrégularité est liée au déplacement manuel de la cible pour la capture à partir du prototype.

L'avantage d'un test automatisé à l'aide d'un système de capture en contact avec le visage du sujet est la linéarité de déplacement de la cible obtenue. En plus, ce système permet une référence angulaire précise à chaque image puisqu'on connaît la position angulaire de la cible à tout moment. Cette position peut être utilisée pour établir la correspondance du déplacement associé à la rotation de l'œil.

5.2.3 Environnement de test

Un autre facteur influent est le déficit d'attention des candidats. Les tests réels ont été effectués à l'intérieur d'un processus de formation des policiers. Il va de soi que notre procédure ne devait pas nuire à son exécution. Le temps était compté pour l'exécution des tests et la localisation physique du lieu de test n'était pas idéale. Les candidats ont donc parfois subit des distractions par l'environnement extérieur. Un système de lunettes fermées va permettre d'isoler le sujet de ces stimulus extérieurs.

Les candidats ont accepté volontairement de subir ce test supplémentaire. Cependant, un sujet sous influence d'alcool a tendance à manquer un peu de sérieux. L'aspect de recherche expérimentale et d'exécution de tests à l'aide d'un prototype a contribué à augmenter l'état d'excitation général déjà agité par l'état d'ivresse des candidats. Cette situation a favorisé un déficit d'attention qui se traduit par des saccades superflues de l'œil laissant croire à un nystagmus. Ce manque de sérieux devrait disparaître lors d'une intervention réelle.

5.2.4 Équipement de capture

Le taux d'échantillonnage de 10 images par seconde n'était pas le choix initial mais plutôt une contrainte imposée par un problème technique. Normalement ce taux aurait dû se situer à 30 images par seconde ce qui aurait donné plus de points pour l'interpolation du signal. Une augmentation de la résolution des images à l'aide d'une caméra de qualité permettrait également une plus grande finesse de détection.

Finalement, une caméra infrarouge du même type que celles utilisées dans le vidéonystagmographe de la figure 7 aurait l'avantage de pouvoir fonctionner dans l'obscurité. Un exemple de ce type d'image est présenté à la figure 37. L'utilisation de ce principe de lunettes élimine le besoin d'un repère puisqu'il n'y a alors aucun mouvement entre le visage et le système de capture.

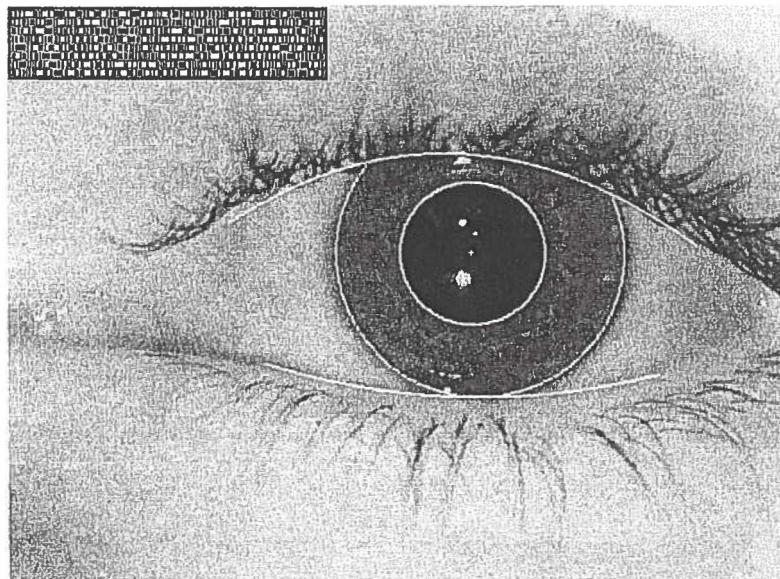


Figure 37: Image provenant d'une caméra infrarouge.¹⁰

¹⁰ Source : Iriscode

5.3 Validité de l'application de la méthode

5.3.1 Protocole de test

Le protocole de test a été établi en fonction des données des instances scientifiques et judiciaires. C'est pour cette raison que l'angle de suivi maximum a été limité à 45 degrés. Il aurait été intéressant de pousser cet angle jusqu'à 60 degrés pour tenter d'observer une réaction du nystagmus à un taux d'alcoolémie de 100 mg%. La position maximale devrait également être maintenue pendant quelques secondes pour assurer la stabilité des saccades.

5.3.2 Relation avec les facultés affaiblies

La méthode est valable pour faire la détection du nystagmus. Cette détection se fait sans problèmes chez un sujet avec un taux élevé d'alcoolémie (figure 34). Cependant, il fut un peu surprenant de ne pas avoir plus de réactions pour des taux jusqu'à 130 mg% (figures 30 et 32). Cette situation a néanmoins l'avantage d'appuyer une condamnation de facultés affaiblies si un tel nystagmus est détecté par le système.

Les tracés de ces figures montrent tout de même une influence de l'alcool sur le suivi exécuté par l'œil. Celui-ci perd rapidement de sa linéarité avec l'augmentation du taux d'alcoolémie. Cette voie vaut la peine d'être explorée plus à fond pour tenter d'établir des corrélations avec l'état des facultés et fait l'objet d'une discussion à la section 5.4.

5.3.3 Cas particulier

Quatre candidats se sont portés volontaires pour cette expérience. Seuls les résultats de trois candidats ont été retenus car nous avons eu la chance de rencontrer un cas particulier.

Le candidat en question a été victime quelques années auparavant d'un décollement de la cornée qui lui a laissé des séquelles permanentes à l'œil. Son œil a perdu beaucoup de vision et il n'arrive pas à suivre la cible. En fait, l'œil ignore la cible pendant plusieurs degrés avant de la localiser. Ceci a causé des sorties de l'iris de la zone de recherches qui ont entraîné des mal fonctionnements du système.

Cette situation rappelle qu'il est possible de rencontrer des pathologies qui peuvent influer sur la qualité du test. Bien qu'un système de production final doive faire le test sur les deux yeux simultanément, il devra tenir compte de ces dysfonctions possibles. Ce sera alors à l'opérateur de l'appareil de questionner le sujet pour identifier la raison de la discordance entre les deux yeux, une pathologie ou des facultés affaiblies.

5.4 Analyse du suivi de l'iris

La nouvelle méthode proposée tente de déterminer s'il est possible de discriminer de façon plus formelle le suivi exécuté par l'iris d'une personne à jeun de celui d'une personne ayant les facultés affaiblies. Pour ce faire, trois courbes expérimentales de position de l'iris sont lissées par une fonction polynomiale correspondant au déplacement moyen sans saccades.

5.4.1 Courbes utilisées

Les courbes du candidat « ber » à 0 mg% et 140 mg% sont présentées aux figures 38 et 39. Le choix de ce candidat comme référence repose sur le fait que sa courbe de position de l'iris à 0 mg% était celle qui comportait le moins d'artéfacts causés par des déficits d'attention.

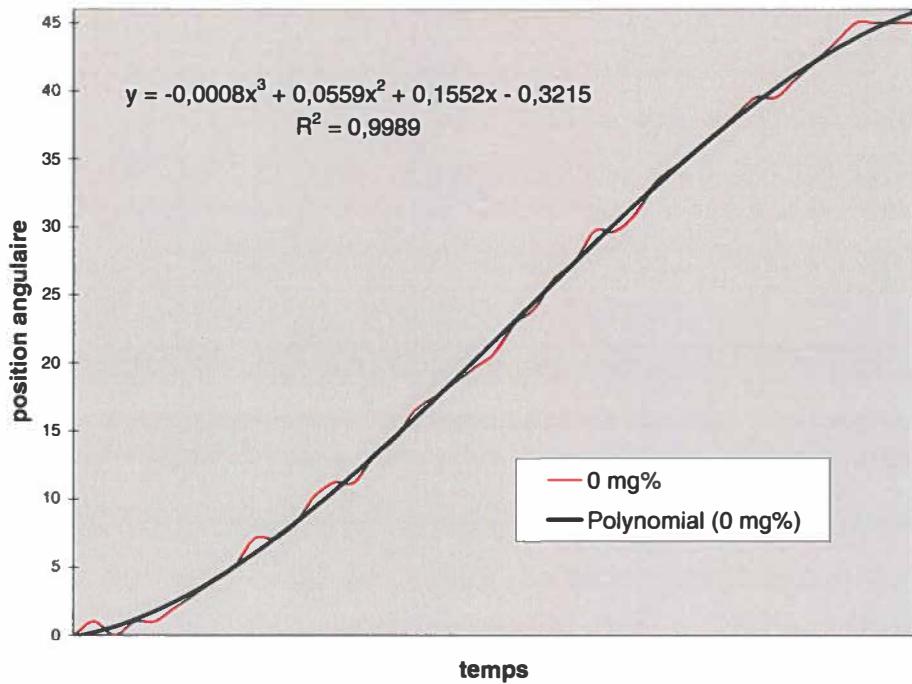


Figure 38: Candidat « ber » à 0 mg%.

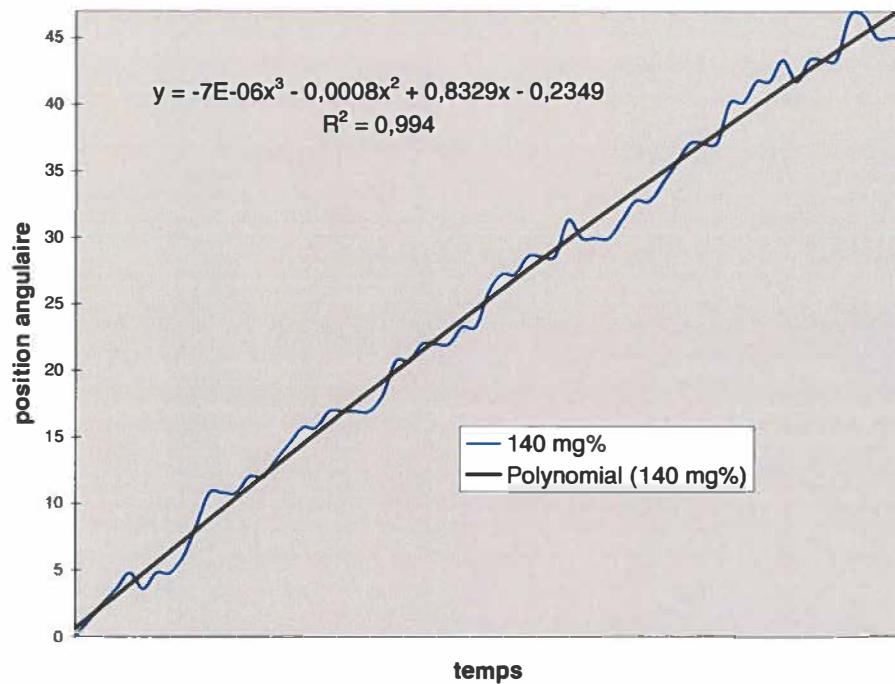


Figure 39: Candidat « ber » à 140 mg%.

Une courbe de déplacement de l’iris à un taux de 140 mg% a été retenue pour être plus près du centre de l’échelle de comparaison avec le candidat « gui » à 200 mg% et qui montrait les signes du nystagmus. La courbe de ce candidat avec le lissage polynomial est présentée à la figure 40.

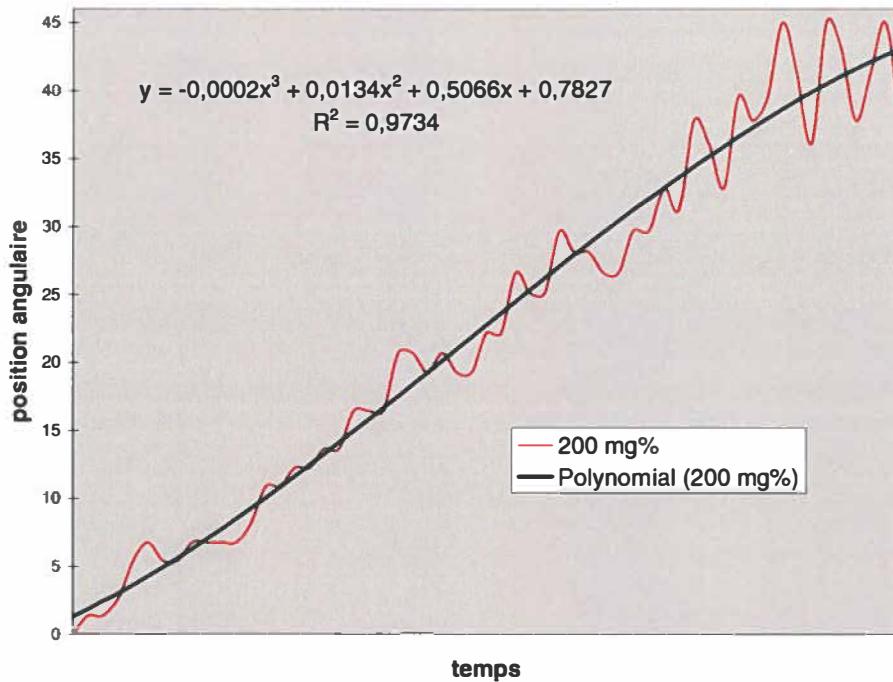


Figure 40: Candidat « gui » à un taux de 200 mg%.

5.4.2 Écarts quadratiques

La figure 41 permet d'observer la courbe des écarts quadratiques entre la position réelle de l'iris et l'approximation polynomiale ainsi que la courbe de sa dérivée première en fonction du temps. Ceci constitue un cas typique de suivi exécuté par l'œil d'une personne à jeun. La superposition de ces deux courbes favorise la localisation visuelle des maxima des écarts quadratiques. Ces courbes permettent de déduire les maxima les plus significatifs, ceux-ci correspondant à la position des passages par zéro de la dérivée première des écarts quadratiques en fonction du temps.

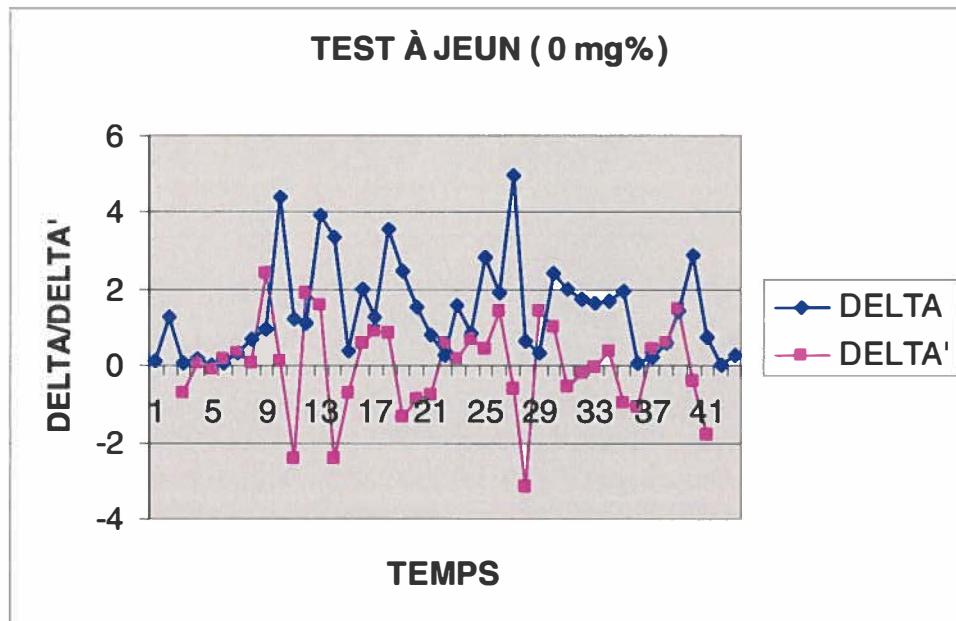


Figure 41: Courbe des écarts quadratiques (DELTA) et de la dérivée première en fonction du temps (DELTA') pour un taux de 0 mg% (candidat «ber»).

5.4.3 Intervalle de confiance

Dans un premier temps, on détermine un intervalle de confiance de la moyenne des valeurs les plus significatives des maxima de l'écart quadratique entre la courbe de position de l'iris et son approximation polynomiale. Cet intervalle permet de caractériser un état à jeun. Les valeurs de l'intervalle de confiance sont présentées dans le tableau I pour différents niveaux de confiance.

Tableau I

Limites de l'intervalle de confiance
pour un sujet à jeun à un niveau de confiance donné

Niveau de confiance	Limite inférieure	Limite supérieure
99%	2,31998995	5,54863943
95%	2,96083209	4,90779728
90%	1,72243876	4,6817827

Les limites de l'intervalle de confiance sont déduites par l'expression suivante [19] :

$$\bar{X} - t_{\alpha/2;4} \cdot \frac{S}{\sqrt{5}} \leq \mu \leq \bar{X} + t_{\alpha/2;5} \cdot \frac{S}{\sqrt{5}}$$

où : \bar{X} représente la moyenne des cinq valeurs les plus significatives des maxima de l'écart quadratiques entre la courbe de position de l'iris et son approximation polynomiale, S est son écart-type et $t_{\alpha/2;4}$ représente la valeur tabulée du T de Student pour laquelle $P(T \geq t_{\alpha/2;4}) = P(T \leq -t_{\alpha/2;4}) = \alpha/2$ avec $1 - \alpha$ de niveau de confiance.

5.4.4 Tests avec facultés affaiblies

La figure 42 correspond à la courbe des écarts quadratiques et de la dérivée première en fonction du temps observée pour le candidat «ber» à un taux d'alcoolémie de 140 mg%.

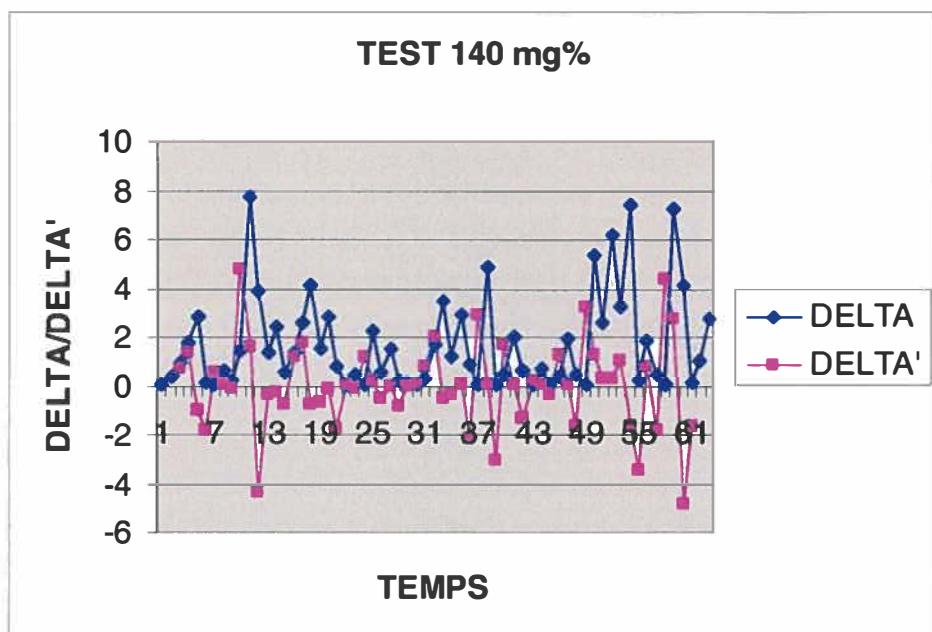


Figure 42: Courbe des écarts quadratiques (DELTA) et de la dérivée première en fonction du temps (DELTA') pour un taux de 140 mg% (candidat «ber»).

Maintenant, en calculant la moyenne des valeurs les plus significatives des maxima des écarts quadratiques correspondant au test avec facultés affaiblies, il est possible d'observer que dans le cas du candidat «ber» à un taux d'alcoolémie de 140 mg%, cette moyenne est de 6,2632.

La figure 43 montre la courbe des écarts quadratiques du candidat «gui» à un taux d'alcoolémie de 200 mg% et la moyenne des valeurs les plus significatives des maxima de ces écarts est de 125,5157 dans son cas.

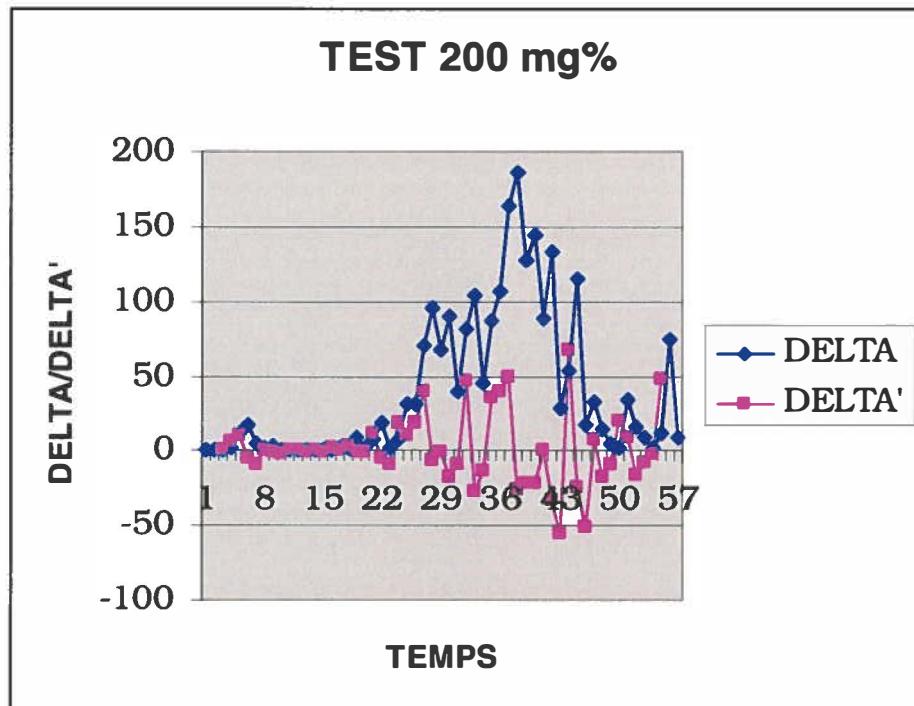


Figure 43: Courbe des écarts quadratiques (DELTA) et de la dérivée première en fonction du temps (DELTA') pour un taux de 200 mg% (candidat «gui»).

5.4.5 Commentaires

On constate à l'examen des figures 41 à 43 que les valeurs les plus significatives de l'écart quadratique (DELTA) sont plus élevées dans les cas de facultés affaiblies. La moyenne des écarts observée semble être significativement au-dessus de la limite supérieure de l'intervalle de confiance défini pour le cas à jeun (0 mg%). De plus, l'écart quadratique semble être corrélé positivement au taux d'alcoolémie en ce sens que cet écart augmente en fonction du taux d'alcoolémie.

L'analyse statistique précédente semble donc très prometteuse pour permettre la discrimination entre l'état à jeun d'un candidat de celui avec les facultés affaiblies et ce même si l'échantillonnage est malgré tout assez restreint. Pour en assurer la validité,

cette approche statistique devrait être appliquée sur un échantillonnage plus vaste au niveau du nombre d'observations (nombre d'images des séquences de suivi) ainsi que sur le nombre de candidats à différents taux d'alcoolémie.

5.5 Conclusion

Ce chapitre de discussions a permis d'établir la validité des résultats et de la méthode utilisée. Outre la qualité de la détection et de l'analyse, l'état d'attention du sujet est d'une importance majeure pour la qualité de l'information obtenue. Une approche statistique basée sur l'analyse de l'ensemble du signal de suivi a permis de déceler des différences significatives entre le suivi exercé par l'œil d'un sujet à jeun de celui d'un sujet ayant les facultés affaiblies. L'ensemble n'est pas encore parfait mais les correctifs à apporter sont mineurs et pourront être développés dans le futur.

Conclusion

L'objectif principal de cette recherche était de démontrer la faisabilité de réalisation d'un appareil permettant de faire la détection automatique du nystagmus chez un conducteur suspecté de conduite avec les facultés affaiblies par l'alcool. Le test effectué par l'appareil est basé sur le test présentement approuvé par le NHTSA [3].

L'approche utilisée fait appel au traitement d'image à l'aide d'algorithmes de détection de contours, de formes ainsi que l'utilisation du principe des algorithmes génétiques [20] pour sélectionner un élément de départ. En effet, la sélection d'une tache basée sur ses caractéristiques particulières rappelle le principe à la base de ce type d'algorithmes. Cette dernière méthode a l'avantage d'accélérer le processus de sélection et arrive presque à identifier les bonnes proportions de l'iris initial. Le perfectionnement de cette méthode devrait donner de bons résultats dans l'avenir.

La principale difficulté était d'obtenir un signal correspondant au déplacement de l'œil lors d'un suivi afin de repérer les saccades caractéristiques du nystagmus. Bien que ces saccades soient évidentes pour un taux d'alcoolémie de 200 mg%, c'est une surprise de ne pas les voir plus présentes à un taux d'alcoolémie de 100 mg%. Plusieurs points ont été soulevés pour expliquer cette situation. La limitation de l'angle de balayage à 45 degrés est la plus grande erreur dans le protocole d'exécution puisqu'elle nous prive de l'information sur le comportement de l'œil en position périphérique. Il aurait été

intéressant d'examiner cette information pour vérifier s'il y avait une apparition des saccades.

L'autre partie du problème provient de la capacité du système à détecter un mouvement angulaire lorsque l'iris atteint l'angle de 45 degrés. Le déplacement sur l'axe horizontal allant en diminuant avec la rotation de l'œil, la faible résolution de la caméra et la proportion de l'œil dans l'image viennent limiter la finesse de détection angulaire.

L'aspect novateur de cette méthode est des plus intéressant puisqu'il ouvre la porte à d'autres possibilités de détection. Les experts en reconnaissance de drogue vérifient plusieurs paramètres chez un individu suspecté d'avoir les facultés affaiblies. Ils vérifient notamment le pouls du sujet, sa température, la présence d'un nystagmus vertical et la réaction de la pupille à un changement d'intensité lumineuse. Il serait donc possible d'intégrer d'autres tests à notre système pour obtenir une information plus complète sur l'état du prévenu.

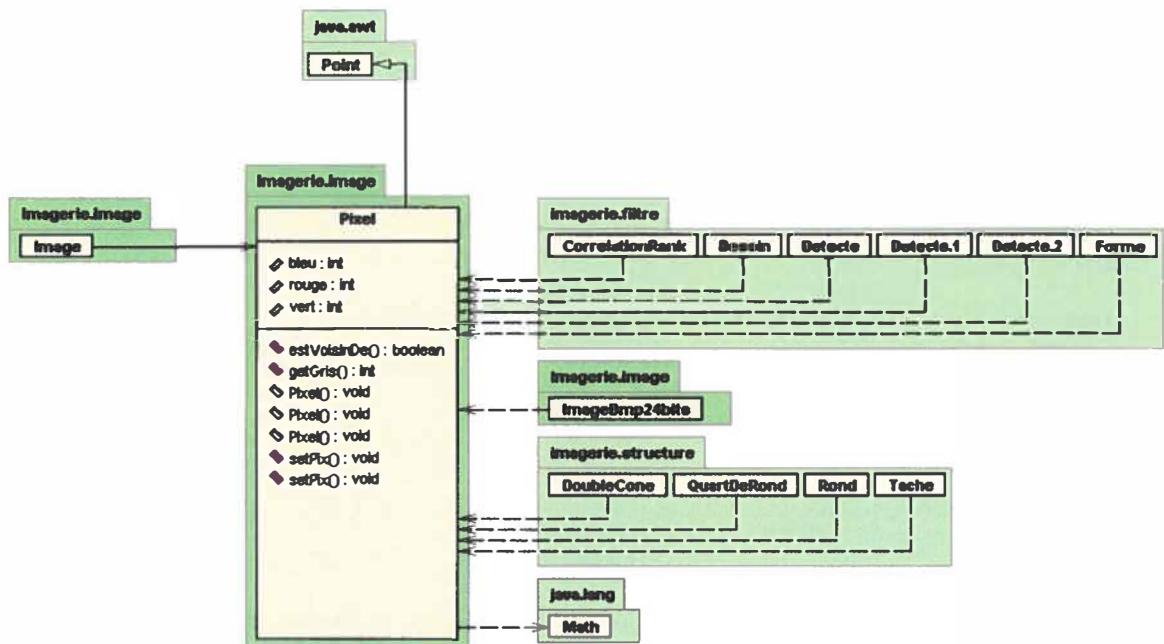
Si le développement de ce type d'appareil se poursuit et qu'il combine différents tests d'analyse des réactions de l'œil, il serait possible d'aborder la détection des facultés humaines sous une nouvelle approche. En effet, le système judiciaire s'arrête aujourd'hui à détecter la présence d'une substance stimulante (alcool, drogue) dans un organisme alors que c'est le comportement de cet organisme à l'influence de cette substance qui nous intéresse réellement. Comme nos réactions à un événement passent d'abord par la perception de cet événement, le fonctionnement perceptif de l'œil est donc le premier maillon de cette chaîne perception-réaction et son fonctionnement influence directement la capacité d'analyse du cerveau.

Les autorités judiciaires ne reconnaissent pas toujours la validité du test du nystagmus lorsqu'il est le seul élément de preuve. L'introduction d'une technologie de pointe dans ce domaine pourrait permettre de modifier progressivement cette appréciation et donner aux forces policières et de surveillance un outil supplémentaire pour assurer la sécurité du public et des travailleurs.

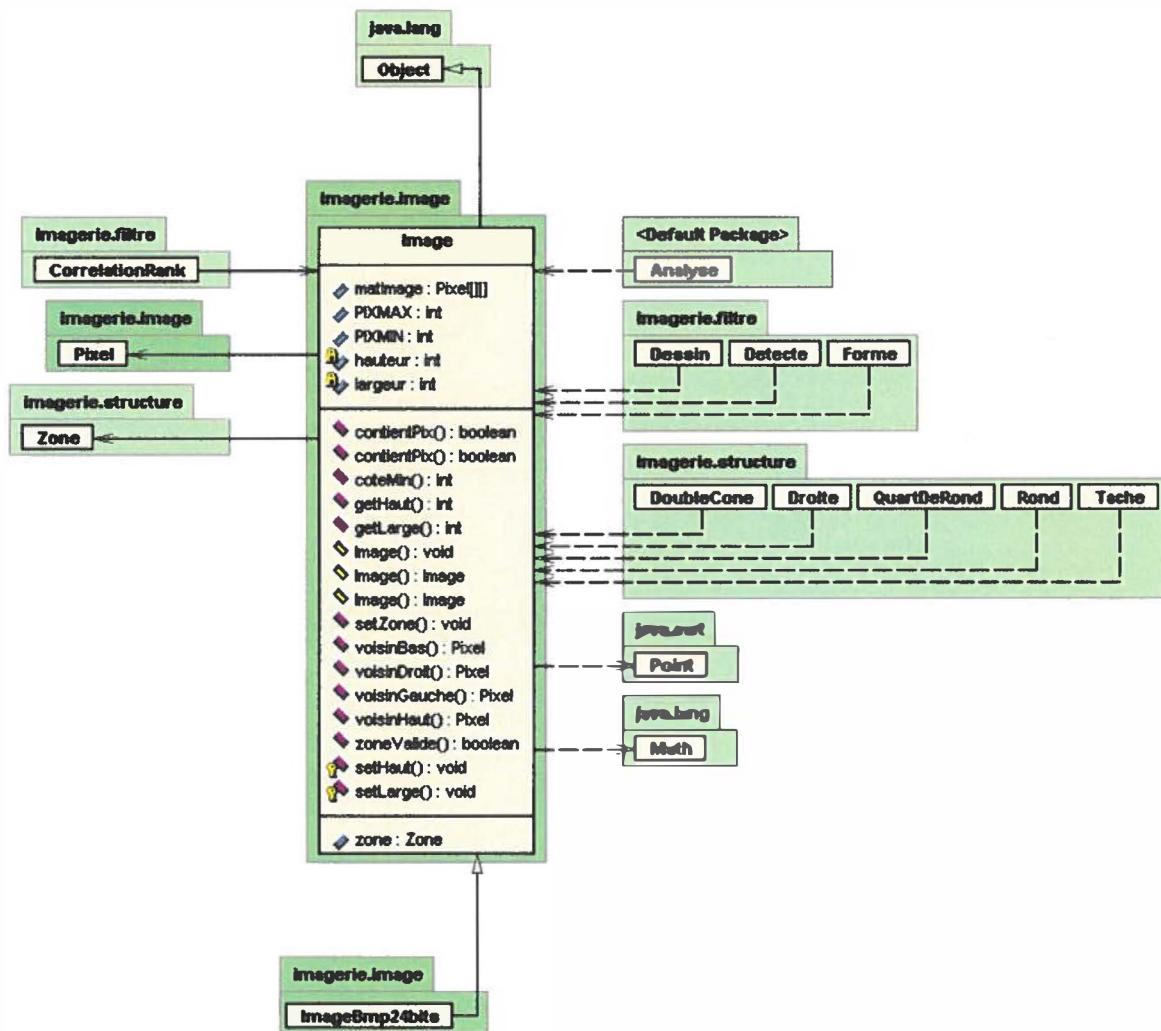
Annexe 1 Classes de l'image

- 1) Pixel
- 2) Image
- 3) EnteteBmp
- 4) ImageBmp24bits

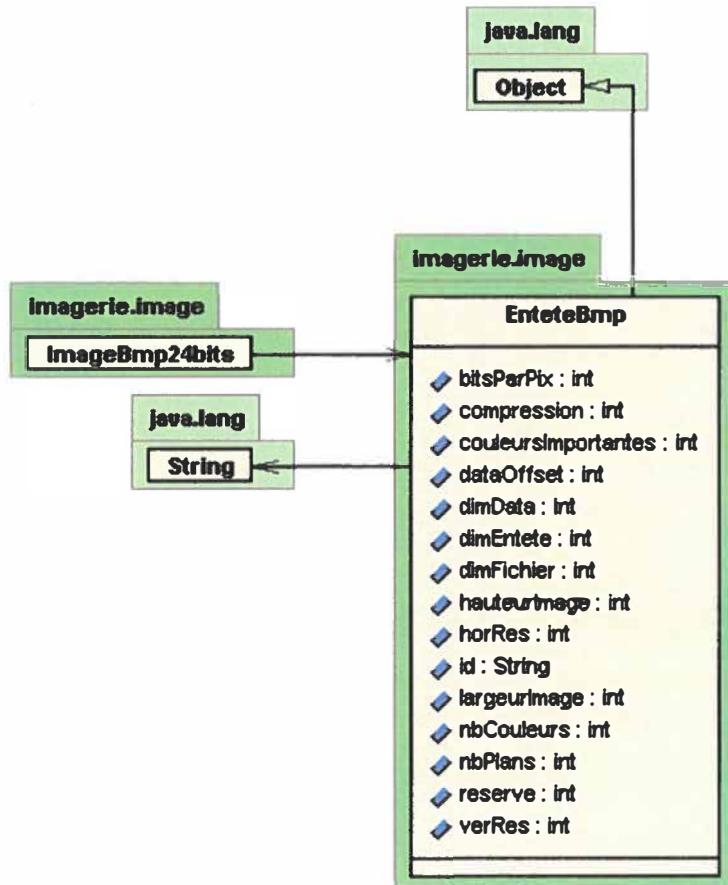
1. Pixel



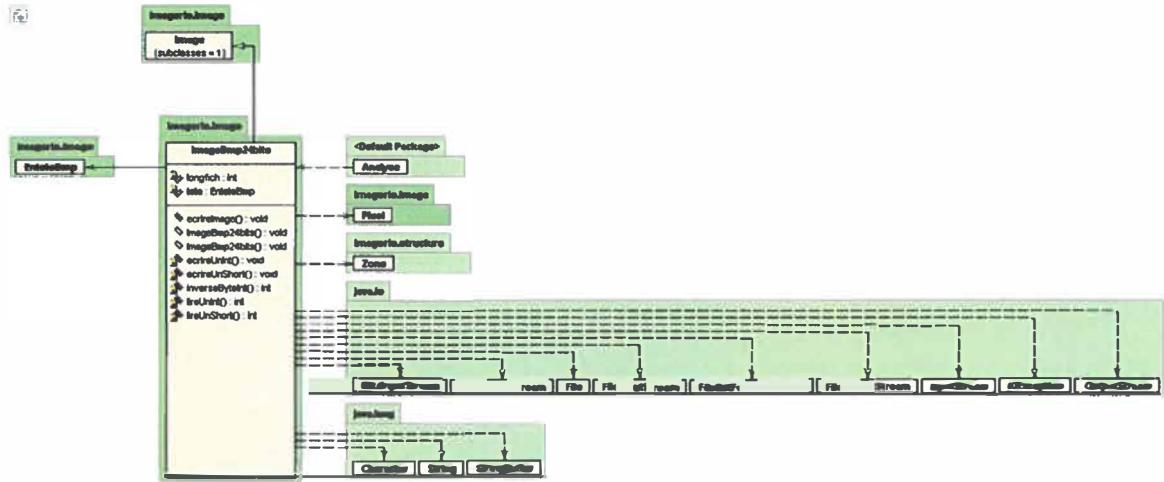
2. Image



3. EnteteBmp



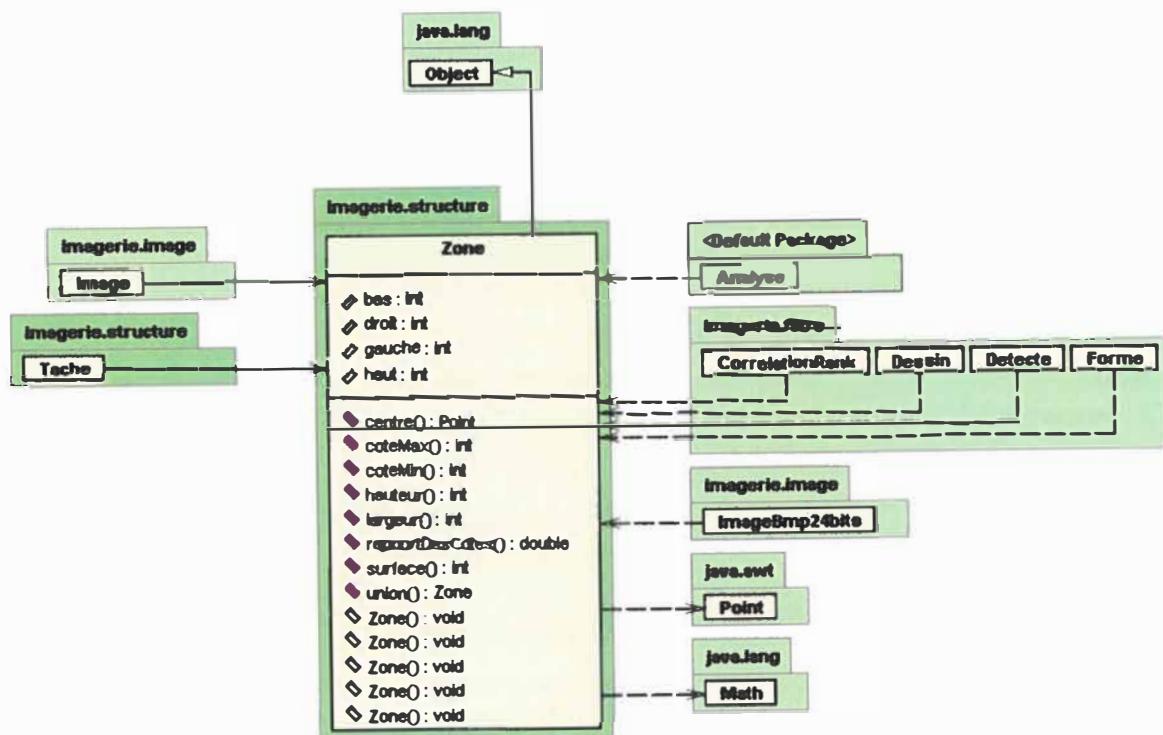
4. ImageBmp24bits



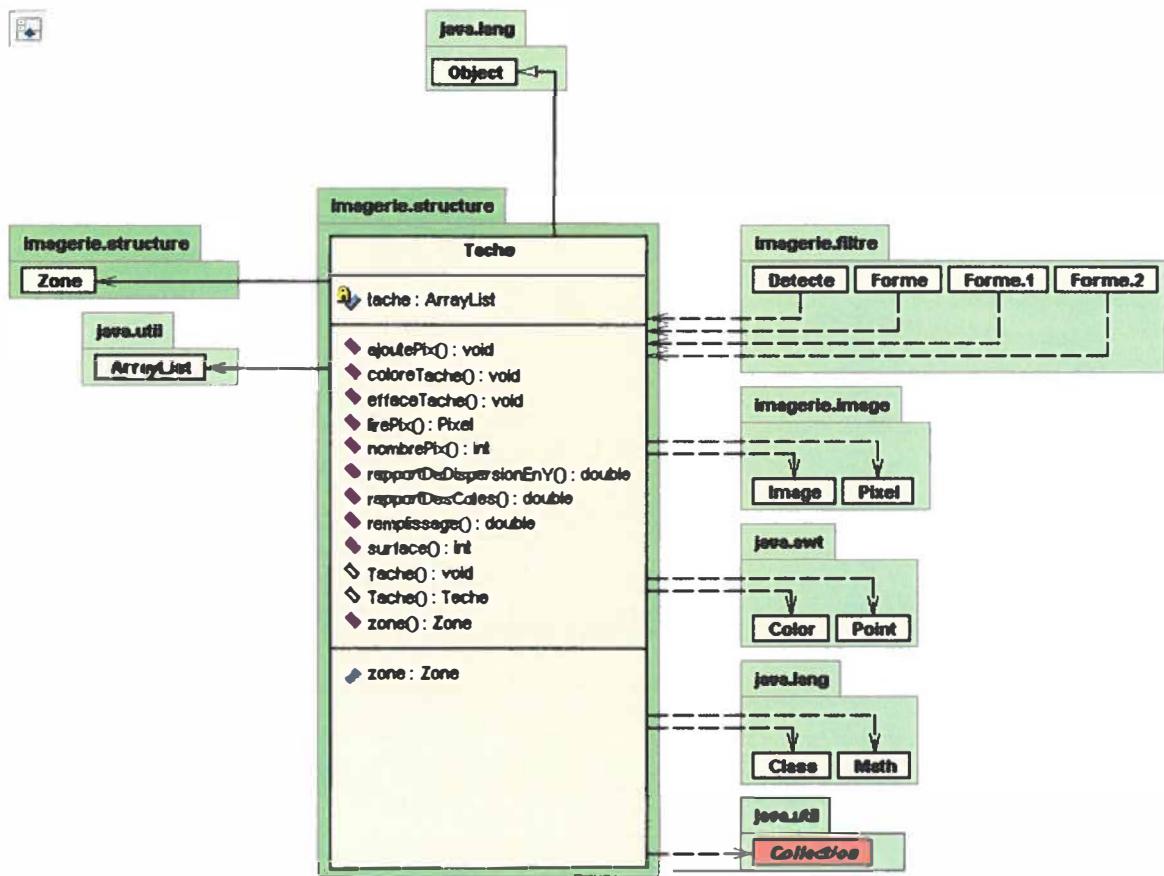
Annexe 2 Classes structurelles

- 1) Zone
- 2) Tache
- 3) Droite
- 4) Rond
- 5) QuartDeRond
- 6) DoubleCone

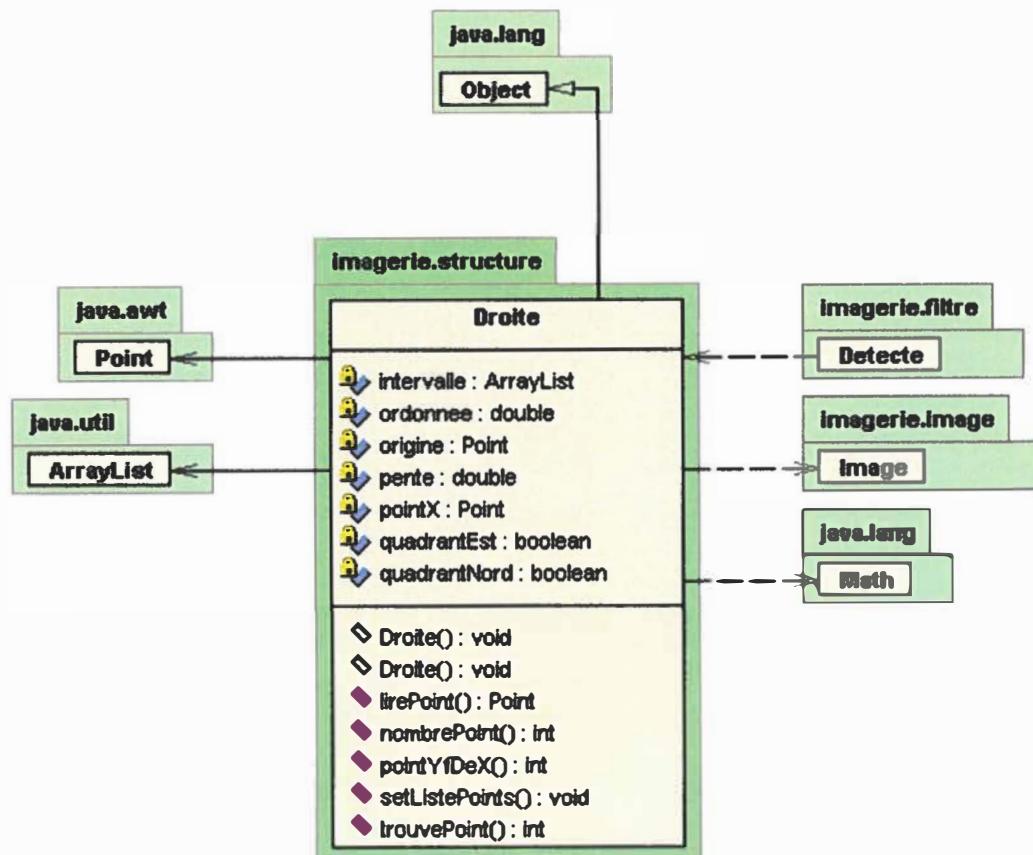
1. Zone



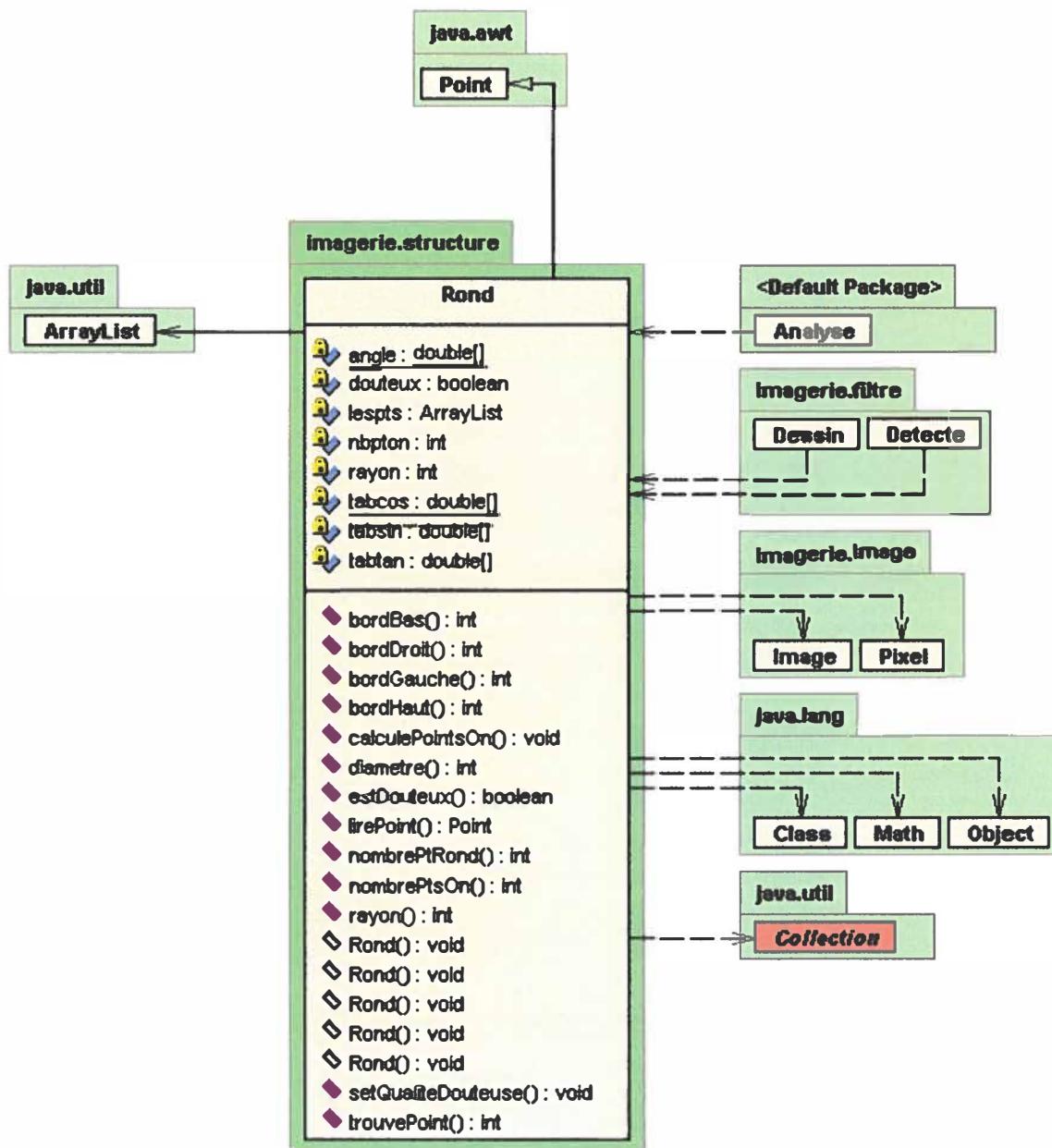
2. Tache



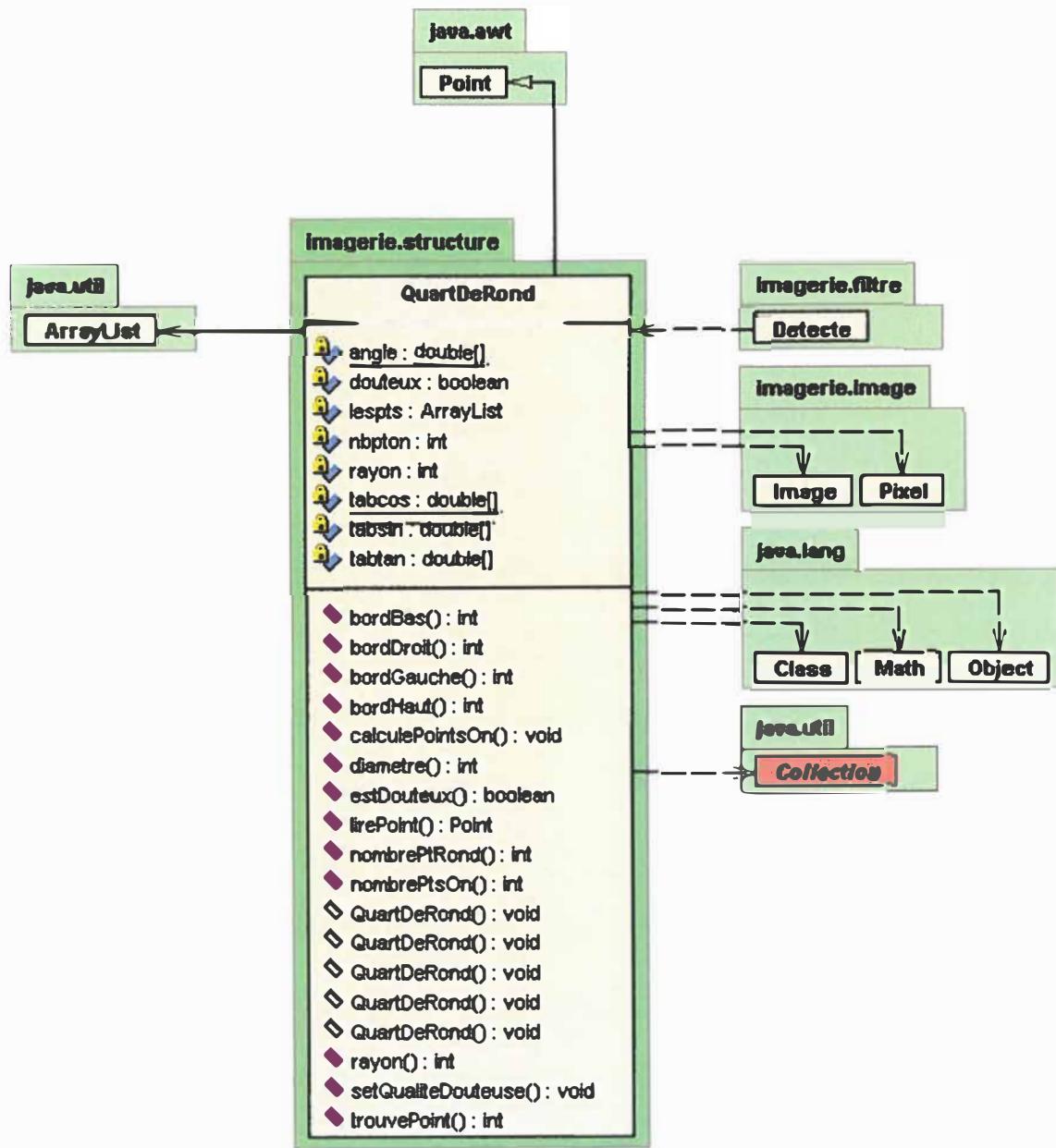
3. Droite



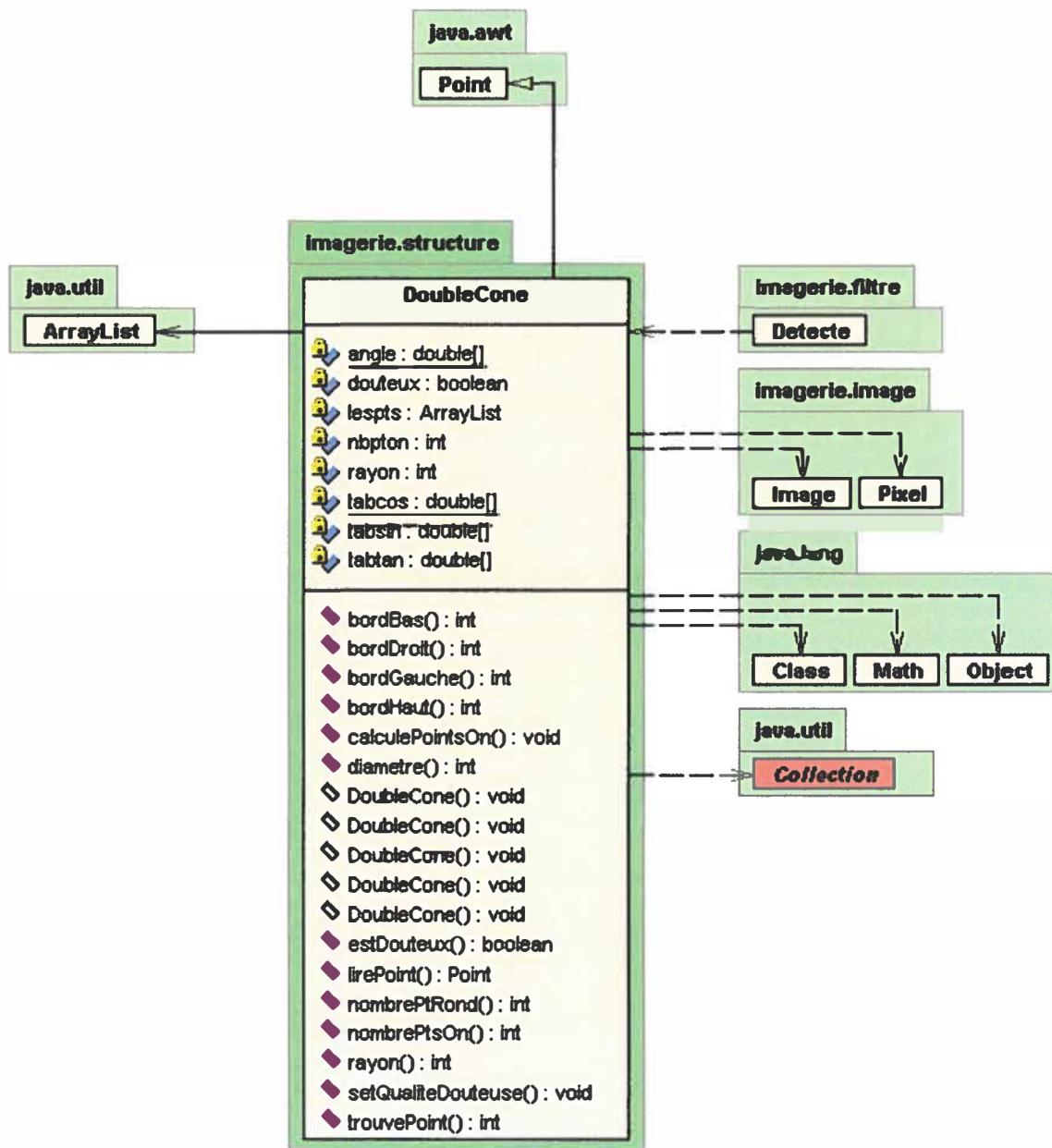
4. Rond



5. QuartDeRond



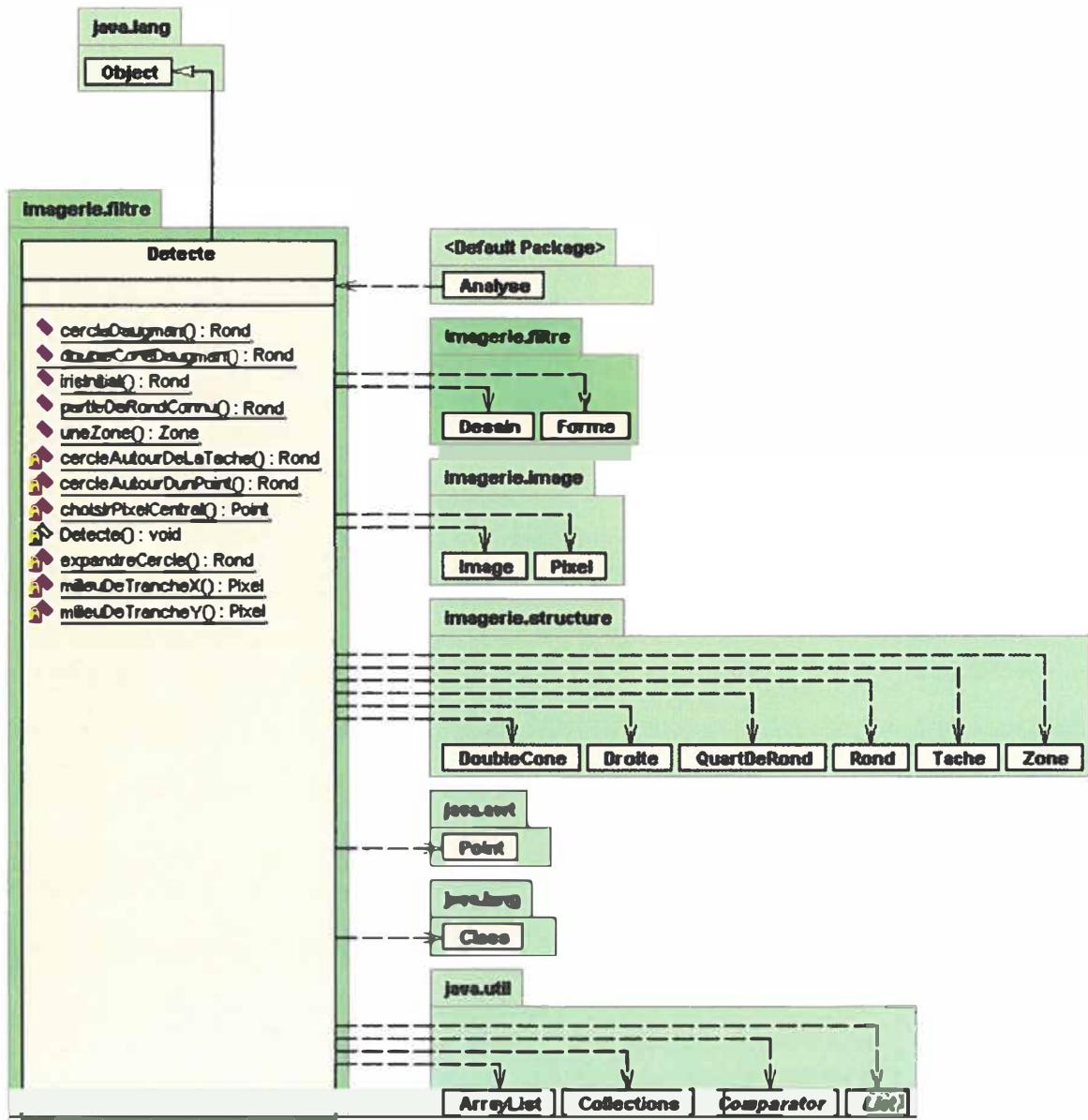
6. DoubleCone



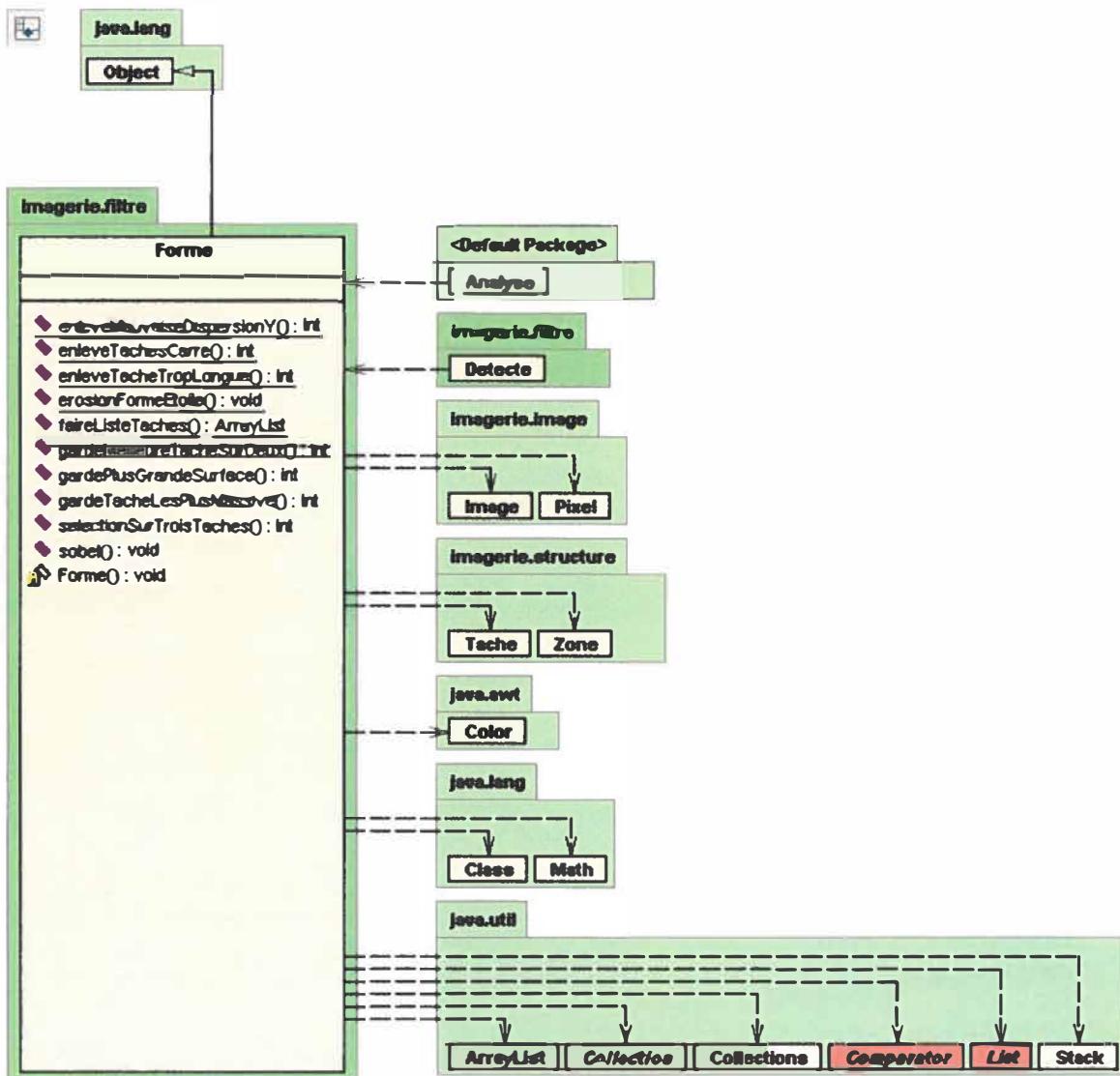
Annexe 3 Classes de filtres

- 1) Déetecte
- 2) Forme
- 3) CorrélationRank
- 4) Dessin

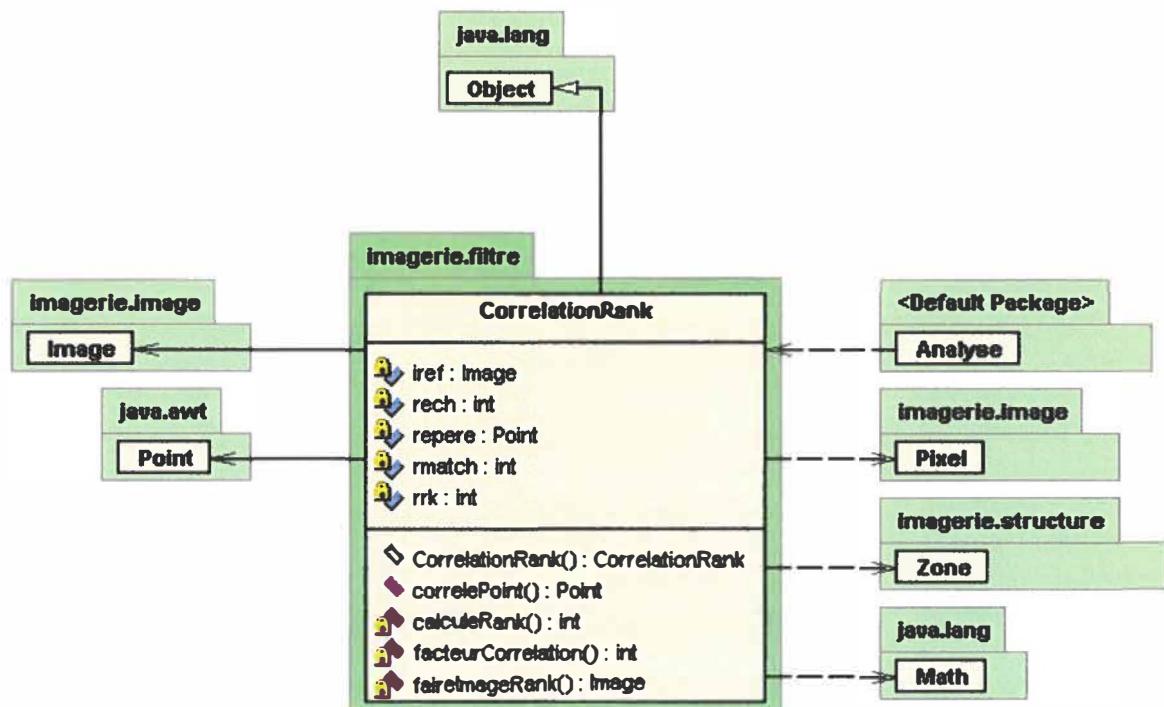
1. Déetecte



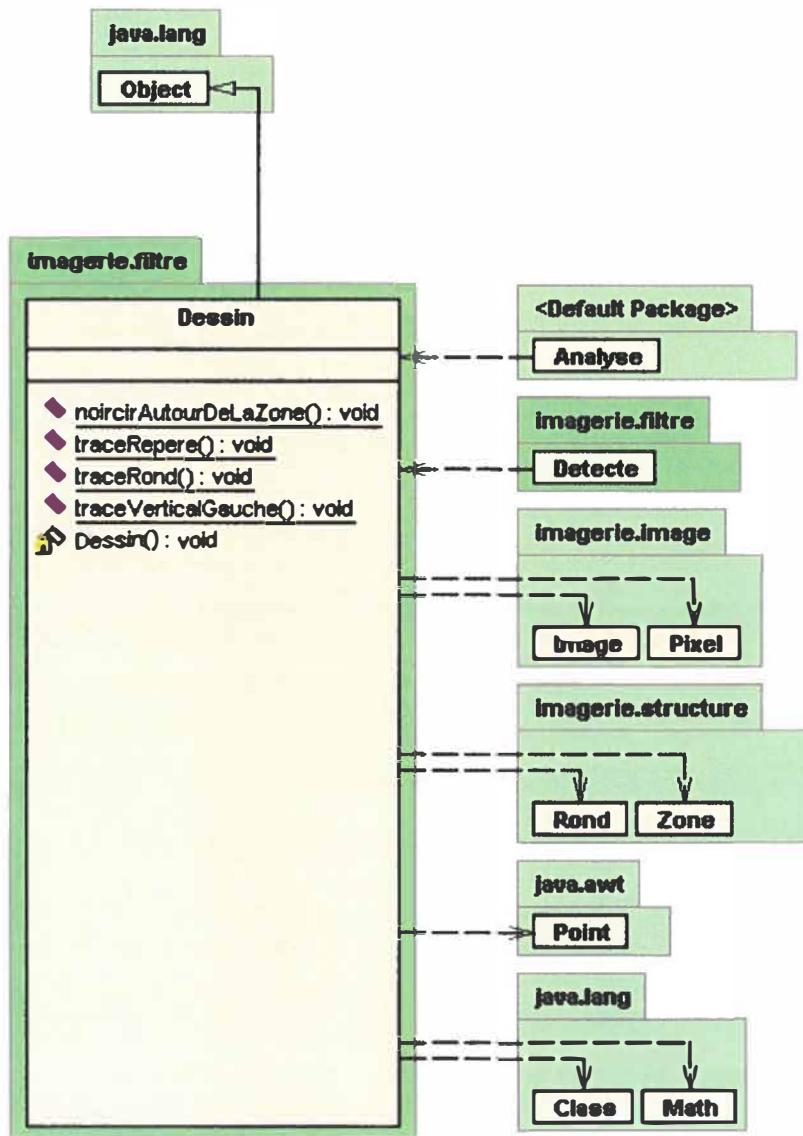
2. Forme



3. CorrélationRank



4. Dessin



Bibliographie

- [1] Institut canadien d'information sur la santé & Conseil canadien de la sécurité.
- [2] Normes et procédures recommandées par la Société canadienne des sciences judiciaires – Comité des analyses d'alcool (2003). *Canadian Society of Forensic Science Journal*, Vol. 36, No 3, pp. 129–159.
- [3] DWI Detection and standardized field sobriety testing. NHTSA, HS 178, R6/92.
- [4] Code de la sécurité routière. L.R.Q. Chapitre C-24.2, Éditeur officiel du Québec.
- [5] Guedry, F.E.Jr., Gilson, R.D., Schroeder, D.J. & Collins, W.E. (1975). Some effects of alcohol on various aspects of oculomotor control. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 46(8), p.p. 1008-1013.
- [6] A Florida Validation Study of the Standardized Field Sobriety Test (S.F.S.T.) Battery. State of Florida in cooperation with the National Highway Traffic Safety Administration, U.S. Department of Transportation (under project number AL-97-05-14-01).
- [7] National Highway Traffic Safety Administration. *Horizontal gaze nystagmus: The science & the law*, [En ligne]. www.nhtsa.dot.gov/people/injury/enforce/nystagmus/.
- [8] Los Angeles Police Department. *The drug recognition expert program*.
- [9] Drug evaluation and classification training program. NHTSA, HS 172, R4/93.
- [10] HDR de Philippe Guillemant. *Chapitre II : Le plongement fractal*, [En ligne]. www.uratek.fr/recherche/hdr/chap2.php.

- [11] Guillemant, P. & Vicente, J. (2000). Analyse automatique de scènes dynamiques complexes par la méthode du plongement fractal. *Traitement du signal*, Vol. 17, No. 5/6, pp. 463-477.
- [12] Guillemant, P. & Vicente, J. (2001). Real time identification of smoke images by clustering motions on a fractal curve with a temporal embedding method. *Optical engineering*, Vol. 40, No. 4, pp 554-563.
- [13] Daugman, J.G. (1993). High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, Vol. 15, No 11.
- [14] Tisse, C., Martin, L., Torres, L. & Robert, M. (2002). Person identification technique using human iris recognition. *Vision Interface 2002*, p.294.
- [15] Sûreté du Québec (1997). *Les épreuves standards de sobriété*. Document audio-visuel de formation produit en collaboration avec le Laboratoire de sciences judiciaires et de médecine légale.
- [16] Zabih, R. & Woodfill, J. (1994). Non-parametric local transforms for computing visual correspondance. *3rd European Conf. Computer Vision*, Stockholm.
- [17] Castleman, K.R. (1996). *Digital Image Processing*. New Jersey : Prentice Hall.
- [18] Schmitt, M. & Mattioli, J. (1993). *Morphologie mathématique*. Paris : Masson.
- [19] Baillargeon, G. (1990). *Méthodes statistiques de l'ingénieur, volume 1* (3^e éd.). Trois-Rivières : SMG.
- [20] Russel, S.J. & Norvig, P. (1995). *Artificial Intelligence: a modern approach*. New Jersey : Prentice Hall.