

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  
TARIK GUILLO

DÉVELOPPEMENT DE NOUVELLES FONCTIONNALITÉS ET AMÉLIORATIONS  
DES PERFORMANCES DE FONCTIONNALITÉS DÉJÀ EXISTANTES D'UN  
PROTOTYPE AUTOMATIQUE POUR LA CAPTURE ET L'ANALYSE DE MESURE  
PHYSIOLOGIQUES POUR L'ÉVALUATION DES FACULTÉS D'UNE PERSONNE

NOVEMBRE 2018

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

Prendre le risque de conduire avec les facultés affaiblies, c'est mettre sa vie et la vie d'autrui en péril. La conduite avec les facultés affaiblies demeure encore aujourd'hui la principale cause de décès routiers et de blessures au Canada.

Des dizaines de campagnes de sensibilisation ont vu le jour, afin de sensibiliser toutes les générations du danger et de l'illégalité de la conduite automobile avec des facultés affaiblies par l'alcool. Cependant conduire sous l'influence de drogues n'est pas une notion toujours prise au sérieux par les gens. Il y a plusieurs personnes qui ne sont pas conscientes que la conduite sous l'influence de drogues et des médicaments est aussi grave que la conduite sous l'influence de l'alcool.

Certains policiers sont formés pour faire passer des tests de dépistage liés aux comportements oculaires aux personnes soupçonnées de conduire avec des facultés affaiblies que ce soit par l'alcool, par des drogues ou par des médicaments. Les tests du nystagmus horizontal et vertical ainsi que le test de convergence oculaire ont fait leurs preuves pour détecter les facultés affaiblies.

En revanche, ces tests appliqués manuellement par les policiers peuvent occasionner un risque d'erreurs vu qu'ils sont assujettis à l'interprétation humaine.

L'automatisation des tests symptomatiques oculaires effectués dans le test de détection de facultés affaiblies à vue le jour en 2008 [1], une gamme de tests incluant celui du nystagmus horizontal, de la contraction/dilatation de la pupille et de la convergence oculaire ont alors été automatisés par la capture et l'analyse de séquences d'images vidéo de l'œil [2].

L'objectif principal de cette recherche est d'améliorer certaines fonctionnalités logicielles de ce système déjà existant et l'optimisation des performances du test du nystagmus horizontal et de la convergence oculaire par l'implémentation d'une méthode de calcul plus robuste de la direction de visée et de la dimension de la pupille.

Nos résultats sont très encourageants et prometteurs, ils apportent des informations nécessaires pour la détection des facultés affaiblies par l'alcool et les drogues. Ce système pourrait être utile aux policiers dans un avenir proche et pourrait les aider dans leur détection des facultés de conduite sous l'influence d'alcool, de médicaments ou drogues de conducteurs.

## Abstract

Taking the risk of driving while being impaired means putting your life and other's lives in peril. Nowadays impaired driving continues to be the leading cause of road deaths and injuries in Canada.

Dozens of awareness campaigns have emerged to educate all generations about the danger and lawlessness of driving while impaired by alcohol. However, driving under the influence of drugs is not a concept always taken seriously by people. Many people who aren't aware that driving under the influence of drugs and medications is as serious as driving under the influence of alcohol.

Some police officers are trained to conduct eye tests for those suspected of impaired driving, whether through alcohol, drugs or medication. The horizontal and vertical nystagmus tests and ocular convergence test have been proven to detect impairment.

On the other hand, they are applied manually by trained police officers, so a risk of errors is produced as they are subject to human interpretation.

An automatic visual tool to perform symptomatic tests in the impaired driving test was introduced in 2008 [1], a range of tests including horizontal gaze nystagmus, pupil contraction / dilation and ocular convergence were automated by capturing and analyzing video sequences of the eyes [2].

The main objective of this research is to improve some software functionalities of this already existing system and the optimization of the test performance of horizontal gaze nystagmus and ocular convergence by the implementation of a more robust calculation method of the gaze direction and the size of the pupil. Our results are very encouraging and promising, they provide information necessary for the detection of impaired faculties by alcohol and drugs. This system could be useful to police officers in the near future and could help detecting driving under the influence of alcohol, medication or drugs.

## **Avant-propos et remerciements**

Mes remerciements les plus sincères sont adressés à Monsieur François Meunier, professeur à l'Université du Québec à Trois-Rivières, qui a su m'encadrer et sans lequel ce travail n'aurait jamais pu être réalisé. Mes remerciements les plus sincères pour sa disponibilité, la patience avec laquelle il a répondu à mes nombreuses questions, ses conseils et son aide.

Mes remerciements à mes très chers parents Guillo Mohamed et Ouarak Zahira pour leurs sacrifices et leurs encouragements, Merci pour votre compréhension, et votre soutien permanent. Merci d'avoir toujours été là.

Mes remerciements à mes très chers frères et sœur, Khalid, Hicham et Loubna de m'avoir encouragé et soutenu pour réaliser ce travail.

Je tiens finalement à remercier tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation, de ce travail et ceux qui me sont chers.

# Table des matières

Sommaire .....	2
Abstract .....	3
Avant-propos et remerciements .....	4
Table des matières .....	5
Liste des figures .....	8
Liste des tableaux .....	11
Chapitre 1 Introduction .....	12
1.1 Quelques faits .....	12
1.2 Objectifs et contenus de ce mémoire. ....	13
Chapitre 2 - Revue de littérature .....	15
2.1 Introduction .....	15
2.2 Les facultés affaiblies et la conduite automobile.....	15
2.2.1 Consommation d'alcool et performance au volant .....	15
2.2.2 Effets des principales drogues sur la capacité de conduire .....	16
2.2.3 Médicaments et la conduite automobiles .....	18
2.3 Les tests pour la détection des facultés affaiblies.....	20
2.3.1 Test de la dilatation des pupilles .....	20
2.3.2 Test de nystagmus horizontal.....	21
2.3.3 Test de convergence.....	24
2.4 Techniques de détection de la direction du regard .....	24
2.4.1 Configurations.....	24
2.4.2 Éclairage .....	25

2.4.3 Modèles de l'œil .....	25
2.4.4 Modèles de la direction du regard.....	26
2.5 Méthodes de calibration existantes.....	27
2.5.1 Les méthodes basées sur les caractéristiques de l'œil humain .....	27
2.5.1.1 Méthodes basées sur la géométrie .....	28
2.5.1.2 Approches basées sur l'interpolation .....	29
2.5.2 Estimation du regard basée sur l'apparence de l'œil.....	29
2.6 Conclusion.....	29
<i>Chapitres 3 : Méthodes expérimentales.....</i>	<i>31</i>
3.1 Introduction .....	31
3.2 Open CV.....	31
3.3 Prototype matériel actuel.....	32
3.4 Techniques utilisées.....	32
3.4.1 Algorithmes généraux.....	34
3.4.1.1 Algorithme du script exécuté pour effectuer le test du nystagmus horizontal .	34
3.4.1.2 Algorithme du script exécuté pour effectuer le test de convergence.....	34
3.4.1.3 Traitement générique d'une séance de tests.....	34
3.4.1.4 Traitement de la vidéo de capture des tests du nystagmus horizontal et de la convergence amélioré dans la présente recherche.....	37
3.4.2 Détection des pupilles.....	38
3.4.2.1 Traitement des images pour la détection des pupilles avec Open CV (EMGU CV).....	38
3.4.2.2 Traitement de la vidéo de capture pour la détection des pupilles avec Open CV (EMGU CV).....	45
3.4.3 Méthode proposée pour calculer l'angle d'orientation du regard.....	46

3.5 Conclusion .....	51
Chapitre 4 Résultats et discussion .....	52
4.1 Introduction .....	52
4.2 Test de nystagmus horizontal .....	52
4.3 Test de convergence .....	57
4.4 Comparaison des résultats avec les travaux antérieurs.....	59
4.4 Conclusion .....	63
Chapitre 5 Conclusion.....	65
Références .....	67



# Liste des figures

Figure 1 : Distribution de l'alcoolémie chez les conducteurs décédés testés en 2012 [3].	17
Figure 2 : Proportion des résultats au test de présence de drogues chez les conducteurs décédés testés en 2012 [3].	17
Figure 3 : Démonstration d'un test de dilatation de la pupille [37].	22
Figure 4 : Nombre de présences de nystagmus horizontal en fonction du taux d'alcool dans le sang [13].	22
Figure 5 : Nombre de présences de nystagmus vertical en fonction du taux d'alcool dans le sang (BAC) [13].	23
Figure 6 : Démonstration d'un test HGN [36].	24
Figure 7 : Modèle de l'œil : (a) Suivi de la pupille par détection de points de contour. (b) Ajustement d'ellipse [21].	26
Figure 8 : Détection de la pupille.(a) Image brillante. (b) Image sombre. (c) Pupilles détectées [24].	27
Figure 9 : Modèle géométrique : œil, source lumineuse et caméra [39].	28
Figure 10 : Vue de face du prototype [2].	32
Figure 11 : Vue de côté du prototype [2].	33
Figure 12 : Carte permettant la communication entre le prototype et l'ordinateur [2].	33
Figure 13 : Algorithme du script exécuté pour effectuer le test du nystagmus horizontal [2].	35
Figure 14 : Algorithme du script exécuté pour effectuer le test de convergence [2].	36
Figure 15 : Traitement générique d'une séance de tests [2].	37
Figure 16 : Algorithme effectué pour le traitement de la première image de la vidéo de capture du test de nystagmus horizontal et de convergence.	39
Figure 17 : Algorithme effectué pour le traitement des autres images de la vidéo de capture du test de nystagmus horizontal et de convergence.	40

Figure 18 : Conversion de l'image original en niveau de gris. (a) Image originale RGB. (b) Image convertie en niveau de gris.....	41
Figure 19 : Érosion de l'image en niveau de gris avec 3 itérations. (a) Image originale. (b) Erosion avec itération 3.....	41
Figure 20 : Seuillage sur une image. (a) Image originale. (b) Image seuillée.....	42
Figure 21 : Création de notre zone d'intérêt (ROI).....	43
Figure 22 : Sélection de l'ellipse qui est la pupille. (a) Après élimination. (b) Avant élimination. ....	45
Figure 23 : Calcul de l'angle d'orientation du regard pour chaque pupille dans la vidéo sans faculté affaiblie.....	47
Figure 24 : Calibration des positions des centres des pupilles en fonction de l'angle d'orientation du regard dans la vidéo sans facultés affaiblies. ....	50
Figure 25 : Résultat du test du nystagmus d'une personne n'ayant consommée aucune substance. ....	53
Figure 26 : Résultat du test du nystagmus de la personne A avec un taux d'alcoolémie supérieur de 80 mg d'alcool par 100 ml de sang. ....	54
Figure 27 : Résultat du test du nystagmus de la personne B avec un taux d'alcoolémie supérieur de 80 mg d'alcool par 100 ml de sang. ....	54
Figure 28 : Résultat du test du nystagmus de la personne C avec un taux d'alcoolémie supérieur de 80 mg d'alcool par 100 ml de sang. ....	55
Figure 29 : Mouvement involontaire et saccadé de l'œil entre l'image 250 et 462 de la personne A avec un taux d'alcoolémie supérieur de 80 mg d'alcool par 100 ml de sang. ....	55
Figure 30 : Mouvement involontaire et saccadé de l'œil entre l'image 250 et 462 de la personne B avec un taux d'alcoolémie supérieur de 80 mg d'alcool par 100 ml de sang. ....	56
Figure 31 : Mouvement involontaire et saccadé de l'œil entre l'image 250 et 462 de la personne C avec un taux d'alcoolémie supérieur de 80 mg d'alcool par 100 ml de sang. ....	56

Figure 32 : Résultat du test de convergence d'une personne n'ayant consommée aucune substance. ....	58
Figure 33 : Résultat du test du nystagmus d'une personne avec un taux d'alcoolémie supérieur de 80 mg d'alcool par 100 ml de sang. ....	59
Figure 34 : Résultat du test du nystagmus d'une personne n'ayant consommée aucune substance [2]. ....	60
Figure 35: Résultats combinés de trois tests du nystagmus d'une personne n'ayant pas les facultés affaiblies [2]. ....	60
Figure 36 : Résultat du test du nystagmus d'une personne avec un taux d'alcoolémie supérieur à 80 mg d'alcool par 100 ml de sang [2]. ....	61
Figure 37 : Test de convergence d'une personne n'ayant consommée aucune substance dans le travail.....	62
Figure 38 : Résultat du test du nystagmus de la personne B avec un taux d'alcoolémie supérieur à 80 mg d'alcool par 100 ml de sang [2]. ....	63

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Capacité de conduire un véhicule en fonction du taux d'alcool dans le sang [37].	16
Tableau 2 : Impact des substances psychoactives sur la conduite automobile [10].	19
Tableau 3 : Risque d'avoir un accident mortel en fonction des drogues consommées [7].	19
Tableau 4: Influence des médicaments sur la capacité de conduire [12].	21

# Chapitre 1 Introduction

## 1.1 Quelques faits

Récemment la politique du Québec en matière de lutte contre les stupéfiants au volant a été promulguée et le gouvernement du Québec a durci les sanctions concernant la conduite en état d'ivresse afin de sensibiliser les conducteurs aux dangers de la conduite avec les facultés affaiblies.

L'alcool au volant est la première cause de mortalité sur les routes du Québec, reléguant la drogue au volant un peu plus bas dans le classement. En effet, les accidents impliquent un conducteur ayant consommé de l'alcool ont causé en moyenne, 33 % des décès, 18 % des blessés graves et 5 % des blessés légers de 2010 à 2014 [3].

Au Québec, la conduite avec les facultés affaiblies par les drogues et les médicaments est relativement courante, et on estime à 19,7 % le nombre d'accidents de la route mortels liés à la consommation de cannabis, 7,8 % pour la cocaïne et 1,8 % pour les opiacés [3]. La présence d'alcool a également été relevée dans près de la moitié (47,5 %) de tous les cas de présence de drogues. Tout comme l'alcool au volant ou la drogue au volant, certains médicaments comme les somnifères, les tranquillisants, les neuroleptiques peuvent entraîner une incapacité temporaire qui rend la conduite impossible [4].

Au cours des 30 dernières années, la conduite avec les facultés affaiblies par l'alcool a diminué au Québec. Le nombre de conducteurs décédés dans un accident de la route au Québec ayant subi un test d'alcoolémie et dont l'alcoolémie dépassait la limite permise de 80 mg/100 ml est passée de 561 morts en 1987 à 156 en 2012, soit une diminution de 72 % [3], ce nombre reste quand même important. Ainsi ce dernier a diminué ces dernières années, mais moins rapidement que le nombre d'accidents non liés à l'alcool.

Afin de détecter, d'intercepter et retirer de la route les conducteurs dont les facultés sont affaiblies par l'alcool ou les drogues ou les médicaments, divers tests efficaces existent déjà. Les policiers utilisent de tels tests comme les tests de sobriété standardisés ou Standardized Field Sobriety Test (SFT) ou le programme Drug Evaluation and Classification (DEC) aussi connu sous le nom de Drug Recognition Expert (DRE). Ceux-ci peuvent alors être appliqués

aux conducteurs soupçonnés d'avoir les facultés affaiblies. Tous ces tests donnent généralement de bons résultats, mais peuvent comporter certaines imprécisions face aux consommateurs accoutumés et aussi à l'interprétation des résultats par les agents évaluateurs vu que ces tests sont effectués manuellement par ces mêmes agents évaluateurs. Certaines personnes, présentent avec des facultés affaiblies réussissant à passer au travers certains de ces tests, dont les tests d'équilibre qui peuvent être réussis par les conducteurs accoutumés à de fortes doses d'alcool. Les tests oculaires sont quant à eux beaucoup plus rigoureux et se montrent plus performants puisqu'ils détectent les réflexes involontaires de l'œil comme le nystagmus horizontal, la dilatation / contraction pupillaire et la convergence oculaire.

## **1.2 Objectifs et contenus de ce mémoire.**

Ce travail de recherche porte sur la détection des facultés affaiblies d'un individu pouvant être causée par la consommation d'alcool, de drogues ou des médicaments.

Les tests du nystagmus horizontal et de la convergence oculaire sont déjà automatisés par la capture et l'analyse de séquences d'images vidéo de l'œil [2]. L'objectif de ce mémoire est d'améliorer les performances de ces tests par l'implémentation d'une méthode plus robuste de détection de la pupille et de calcul de la direction de visée et de la dimension de la pupille.

Ce travail est subdivisé en plusieurs parties. En premier, au chapitre 2 une revue de littérature présentant une description générale des effets de l'alcool, la drogue et les médicaments sur le corps humain et sur la conduite d'un véhicule moteur. Ensuite, nous expliquerons les tests du nystagmus horizontal, de la dilatation des pupilles et les tests de convergence utilisés par les policiers et nous regarderons les différentes techniques ou approches utilisées pour la détection de la direction du regard et les méthodes de calibration existantes. Dans le troisième chapitre, nous expliquerons la méthode expérimentale proposée pour l'amélioration de la détection de la pupille et la direction du regard. Dans le chapitre 4 nous vérifierons les résultats appliqués de cette méthode améliorée et discuterons de l'efficacité de cette méthode améliorée en les comparant à ceux obtenus dans des recherches antérieures [2]. Une conclusion mettant en relief la qualité des résultats obtenus par les améliorations de la détection des pupilles et du calcul de

la direction du regard ainsi que les développements futurs des travaux qui pourraient bénéficier de ces améliorations, suivront au chapitre 5

## **Chapitre 2 - Revue de littérature**

### **2.1 Introduction**

Le présent chapitre vise à expliquer les effets des médicaments, de l'alcool et des drogues sur le corps humain et les tests oculaires utilisés par les policiers pour détecter les facultés affaiblies. La revue de littérature traitera aussi des techniques de détection de la direction du regard et les méthodes de calibration existantes, ces techniques étant utiles afin d'améliorer certaines fonctionnalités logicielles déjà existantes de notre système [2].

### **2.2 Les facultés affaiblies et la conduite automobile**

L'alcool, le cannabis, les autres stupéfiants ou médicaments sont incompatibles avec la conduite d'un véhicule, ce sont des milliers de personnes qui voient leur permis de conduire être suspendu pour avoir conduit avec les facultés affaiblies. Il s'agit d'ailleurs, de l'une des plus importantes causes de décès sur nos routes, sans compter les blessés graves et légers.

#### **2.2.1 Consommation d'alcool et performance au volant**

L'alcool se diffuse rapidement dans le corps et se répartit dans tous les organes, il agit sur les différentes parties du corps. Il influence la perception, l'attention et la capacité de réaction et il rend les gens souvent plus audacieux.

L'alcool produit également des effets sur les émotions et le comportement, ainsi que sur les fonctions physiologiques élémentaires telles que la régulation de la température du corps et la respiration [5].

Avec un taux de 0.8g % d'alcool dans le sang, un conducteur de 18 ans et plus court un risque 4 fois plus grand d'avoir un accident fatal qu'un conducteur sobre du même âge.

Le Tableau 1 démontre les effets progressifs de l'alcool sur la conduite d'un véhicule :



<p>+ ou - 30 mg %</p> <p>+ ou - 150 mg %</p>	Troubles de la perception	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prédiction et estimation des distances rendues difficiles</li> <li>• Adaptation à l'obscurité diminuée</li> <li>• Angle visuel diminué</li> <li>• Trouble du sens de l'équilibre</li> </ul>
	Troubles de la concentration	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Attention amoindrie dans la circulation</li> </ul>
	Troubles de la motricité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapidité d'exécution, coordination des mouvements et stabilité du comportement diminués</li> <li>• Réactions complexes ralenties et temps de réaction augmenté</li> </ul>
	Modifications des aptitudes et de la personnalité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vigilance amoindrie</li> <li>• Surestimation de ses propres aptitudes et sous-estimation des risques</li> <li>• Agressivité</li> <li>• Manque de maîtrise de soi</li> </ul>
	Troubles de la motricité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordination des mouvements rendue difficile</li> </ul>
	Enregistrement et assimilation des informations	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Déchiffrement des signaux de la circulation rendu difficile</li> <li>• Relations avec d'autres usagers de la route plus difficiles à établir</li> <li>• Regard fixe, centré sur un objet</li> </ul>

Tableau 1 : Capacité de conduire un véhicule en fonction du taux d'alcool dans le sang [37].

L'alcool est devenu la première cause de mortalité au Québec avant la vitesse. Le taux d'implication de l'alcool dans les accidents avec dommages corporels est d'ailleurs une constante depuis plusieurs années, autour de 37 %. Ainsi, en 2012, 262 conducteurs sont décédés dans les accidents de la route, l'alcoolémie de 178 de ces conducteurs a été mesurée, 66 d'entre eux avaient une alcoolémie supérieure à 80 mg/100 ml comme le montre la figure 1.

### 2.2.2 Effets des principales drogues sur la capacité de conduire

La conduite en toute sécurité est décrite comme une activité complexe qui exige l'utilisation des capacités et compétences ainsi que la coordination de plusieurs tâches visuelles (être à l'affût de dangers sur la route), cognitives (diviser son attention entre différents événements simultanés) et motrices (réaliser plusieurs mouvements, comme tourner le volant et appuyer sur l'accélérateur et sur le frein). L'altération d'une ou de plusieurs de ces aptitudes peut rendre la conduite dangereuse.

La conduite sous l'effet des drogues préoccupe de plus en plus, les statistiques démontrent qu'il s'agit d'un problème plus présent chez les jeunes que l'alcool au volant et que 55 des 172 conducteurs décédés testés se sont avérés positifs en 2012, comme le montre la figure 2.

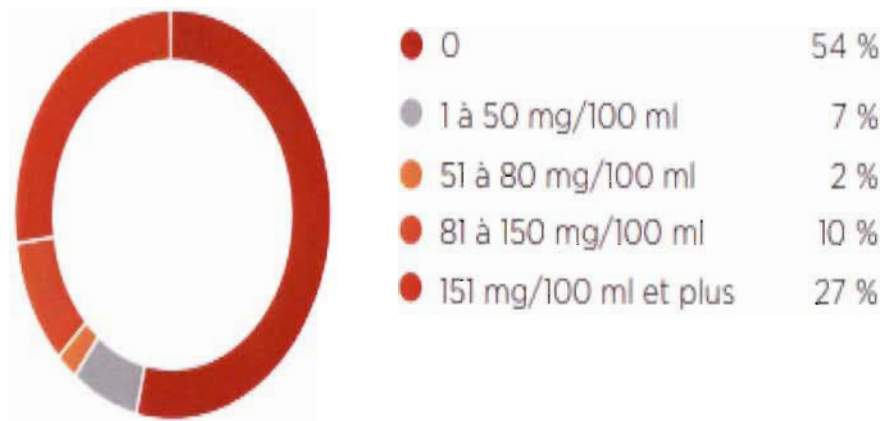


Figure 1 : Distribution de l'alcoolemie chez les conducteurs décédés testés en 2012 [3].

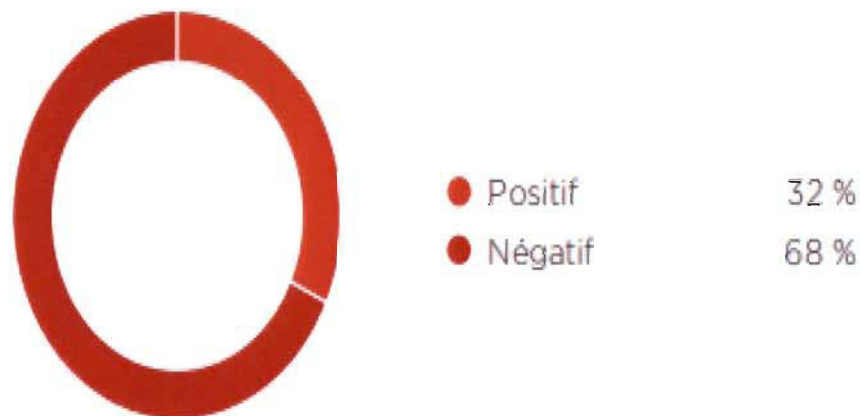


Figure 2 : Proportion des résultats au test de présence de drogues chez les conducteurs décédés testés en 2012 [3].

En général, les études mentionnent que le cannabis est la drogue la plus fréquemment détectée (autre que l'alcool) dans le corps des conducteurs décédés à la suite d'un accident de la route. Elles démontrent aussi que sa consommation nuit à la conduite [8].

Les dépresseurs du système nerveux central comme les barbituriques et les benzodiazépines ainsi que les stimulants du système nerveux central comme la cocaïne affectent aussi les habiletés nécessaires pour conduire un véhicule en toute sécurité [9]. Ces deux types de

drogues se retrouvent également dans le système de certains conducteurs décédés. D'autres sont moins souvent détectées, bien que l'ecstasy, un hallucinogène, soit relativement répandu. De façon générale, le fait de consommer des drogues augmente de deux à cinq fois le risque d'être impliqué dans un accident mortel par rapport à un conducteur sobre [7].

Certains effets des drogues sont évidents en termes d'altération de la conduite. Le cannabis et les dépresseurs du système nerveux central comme les barbituriques et les benzodiazépines ainsi que les stimulants du système nerveux central comme la cocaïne affectent les habiletés nécessaires pour conduire un véhicule en toute sécurité [6].

Le tableau 2 démontre l'influence des drogues sur la conduite.

Les statistiques et les études ont démontré que le fait de consommer alcool et drogue à la fois augmente le risque d'être impliqué dans un accident mortel de la route comme montre le tableau 3 [7].

Le fait de consommer différentes substances peut multiplier le risque d'avoir un accident mortel. Par exemple, le risque d'être impliqué dans un accident mortel est 500 fois plus élevé lorsqu'un conducteur avec un taux supérieur à 80 mg% a aussi consommé de la cocaïne.

### **2.2.3 Médicaments et la conduite automobiles**

On parle souvent des effets de l'alcool et de la drogue sur la conduite, mais on a tendance à minimiser les effets des médicaments. Près de 3 % des accidents de la route sont dus aux médicaments et la consommation conjointe d'alcool et de cannabis ce qui entraîne une accumulation des effets et une multiplication par 14 du risque d'être responsable d'un accident mortel [11].

De nombreux médicaments peuvent entraîner des troubles de la vue, du comportement, ou encore des nausées et des vomissements. Ils altèrent la capacité à conduire et favorisent la somnolence. Aussi, il est préférable de s'assurer que les médicaments prescrits ou achetés sans ordonnance ne présentent pas de risque pour la conduite.

Le Tableau 4 démontre l'influence des médicaments sur la capacité de conduire.

	TYPE DE DROGUE	EFFETS SUR LA CONDUITE
Perturbateur du SNC*	<b>Tranquillisant et somnifère</b> Barbiturique Benzodiazépine GHB (drogue du viol)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Somnolence</li> <li>• Vertige</li> <li>• Perte de la vision périphérique</li> <li>• Augmentation du temps de réaction</li> <li>• Perte de conscience</li> </ul>
	<b>Opiacé</b> Morphine Héroïne Méthadone	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminution des capacités physiques et mentales nécessaires à la conduite automobile</li> <li>• Conduite lente</li> <li>• Perte de coordination</li> <li>• Perte de contrôle du véhicule</li> <li>• Augmentation du temps de réaction</li> <li>• Somnolence</li> <li>• Vision trouble</li> </ul>
	<b>Solvant</b> Colle Aérosol ( <i>Poppers</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminution des habiletés psychomotrices et cognitives</li> <li>• Diminution de la perception visuelle</li> <li>• Incapacité à se concentrer</li> <li>• Diminution de la rapidité des mouvements</li> <li>• Augmentation du temps de réaction</li> </ul>
Stimulant du SNC	<b>Cocaine</b> <b>Amphétamine</b> <i>Speed</i> Méthamphétamine <i>Crystal meth</i> MDMA (Ecstasy)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comportements à haut risque comme la vitesse excessive, virage devant d'autres véhicules, agressivité</li> <li>• Faux sentiment de confiance</li> <li>• Somnolence, état dépressif, inattention (après la phase euphorique)</li> <li>• Perte de coordination</li> <li>• Dilatation des pupilles, ce qui a pour conséquence de diminuer l'adaptation à une lumière vive</li> </ul>
Dépresseur du SNC	<b>Cannabis</b> Haschich Résine Marijuana	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Difficultés à se concentrer, à rester attentif à l'environnement routier</li> <li>• Risque de moins bien percevoir l'environnement</li> <li>• Perte de coordination</li> <li>• Difficulté à maintenir une trajectoire en ligne droite</li> <li>• Difficulté à rouler à une vitesse constante et à évaluer les distances</li> <li>• Temps de réaction augmenté, réflexes ralentis et conduite hésitante</li> <li>• Risque de ne pas pouvoir faire face à l'imprévu</li> </ul>
	<b>Hallucinogène</b> LSD Mescaline Champignon magique Kétamine	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hallucination</li> <li>• Problèmes de coordination</li> <li>• Perte du sens de la réalité</li> <li>• Vision déformée</li> <li>• Diminution importante des habiletés psychomotrices et cognitives</li> </ul>

\* SNC: Système nerveux central

Tableau 2 : Impact des substances psychoactives sur la conduite automobile [10].

Risque d'avoir un accident mortel lorsque vous avez consommé :		
Drogues	Seul	Avec alcool > 80 mg %
Alcool > 80 mg %	X 70,0	
Cannabis	X 1,6	X 203
Cocaïne	X 4,5	X 500
Benzodiazépine	X 3,9	Indéterminé

Tableau 3 : Risque d'avoir un accident mortel en fonction des drogues consommées [7].

## **2.3 Les tests pour la détection des facultés affaiblies**

Les policiers peuvent intercepter des conducteurs et les soumettre à différents tests dans le but de détecter les intoxications possibles par la consommation d'alcool ou de drogue ou de médicaments et leur capacité de conduire.

Les policiers ont plusieurs moyens pour intercepter les conducteurs qui ne sont pas en état de conduire, les tests effectués avec un appareil de détection du taux d'alcoolémie et les tests de coordination de mouvement sont effectués sur place et donnent des résultats fiables. Sur la base de ces tests et de ces observations, les policiers peuvent avoir des motifs raisonnables pour amener le conducteur au poste de police et faire des tests plus poussés (DRE) liés au comportement oculaire pour la détection de facultés affaiblies.

### **2.3.1 Test de la dilatation des pupilles**

Les composants actifs des drogues agissent non seulement sur les neurotransmetteurs du cerveau mais peuvent également affecter l'organisme, ceci inclut les muscles des yeux et le tonus musculaire en général.

La taille de la pupille peut se dilater jusqu'à 8,5 mm et en temps normal est d'environ 2,5 à 5 mm et réagit à la lumière en changeant son diamètre pour autoriser plus ou moins de lumière à entrer dans l'œil.

Certaines substances comme les dépresseurs du système nerveux central ralentissent le processus de contraction ou de dilatation de la pupille. Ainsi, l'alcool, la cocaïne, la marijuana ou les amphétamines dilatent les pupilles, alors que les opiacés comme l'héroïne contractent les pupilles.

Ce test se déroule à la noirceur, alors que le policier utilise sa lampe de poche et examine ensuite les pupilles de l'individu sous trois types d'éclairages différents comme le montre la figure 3. Il mesure ensuite la grosseur de la pupille en fonction de l'exposition à ces différents éclairages.

Somnifères et tranquillisants	Somnolence, augmentation du temps de réaction, réduction des capacités psychomotrices, apathie, troubles de la concentration, mais aussi états d'excitation.
Antalgiques	Léthargie, somnolence, euphorie
Autres analgésiques	Vertiges et des nausées (surtout en cas de surdosage)
Médicaments contre l'allergie (antihistaminiques)	Somnolence, léthargie et, parfois, des états d'excitation sont possibles.
Médicament contre les maux du voyage	Somnolence et allongement du temps de réactions.
Relaxants musculaires	Temps de réaction allongé, somnolence et réduction des capacités psychomotrices.
Antiépileptiques	Effet soporifique, temps de réaction allongé, réduction des capacités psychomotrices. En cas de changement de dosage, des modifications importantes de l'état général peuvent survenir.
Médicaments contre l'hypertension	Allongement du temps de réaction, troubles de la concentration, somnolence. En cas d'usage de vasodilatateur: maux de tête, vertiges et troubles circulatoires.
Médicaments contre la toux	Allongement du temps de réaction et somnolence.
Médicaments contre l'hyperglycémie	Du fait d'un sous-dosage ou d'un surdosage passager, la glycémie peut s'avérer trop élevée ou trop basse. La vision crépusculaire et l'acuité visuelle peuvent être diminuées.
Diurétiques	Diminution de la capacité visuelle. Dans des situations de stress, une hyperventilation peut survenir.
Médicaments entraînant une dilatation ou un rétrécissement de la pupille	Réduction de la vision crépusculaire et l'acuité. Il y a risque d'éblouissement en cas de pupilles dilatées.
Cortisone	Limitation l'acuité visuelle
Neuroleptiques	Réduction des capacités psychomotrices et perturbation de la faculté de concentration.
Antidépresseurs	Troubles circulatoires, diminution de l'acuité visuelle, tendance à être vite fatigué, surestimation des capacités.
Stimulants et médicaments coupe-faim agissant sur le cerveau	Tendance à surestimer ses capacités et brusques accès de fatigue.
Lithium	Au début du traitement surtout, allongement du temps de réaction, tremblements et nausées.
Médicaments contre le syndrome de Parkinson	Certaines substances peuvent allonger le temps de réaction, une fatigue peut survenir.
Médicament contre la diarrhée	Certaines substances peuvent allonger le temps de réaction, une fatigue peut survenir.
Substances anesthésiantes	Réactions après une narcose (pouvant se manifester durant 48 heures): léthargie, allongement du temps de réaction, somnolence.
Médicaments à base de plantes contenant de l'alcool	Lors de la prise de doses importantes, les effets de l'alcool se font sentir.

Tableau 4: Influence des médicaments sur la capacité de conduire [12].

### 2.3.2 Test de nystagmus horizontal

Le nystagmus est un mouvement saccadé involontaire, rapide et répétitif des yeux. En général, le mouvement peut être lent ou rapide, et touche généralement les deux yeux, il est observable lorsqu'une personne regarde vers l'extrême gauche ou l'extrême droite (nystagmus horizontal) mais aussi de haut en bas (nystagmus vertical) ou être circulaire (nystagmus rotatoire) [13] [14].

Le nystagmus horizontal et vertical devient généralement plus prononcé lorsqu'une personne est sous l'influence de l'alcool comme montré aux figures 4 et 5 et/ou d'une drogue. Le

nystagmus peut dans certains cas plus rares être également provoqué par un problème médical sans aucun lien avec la consommation d'alcool ou de drogue.

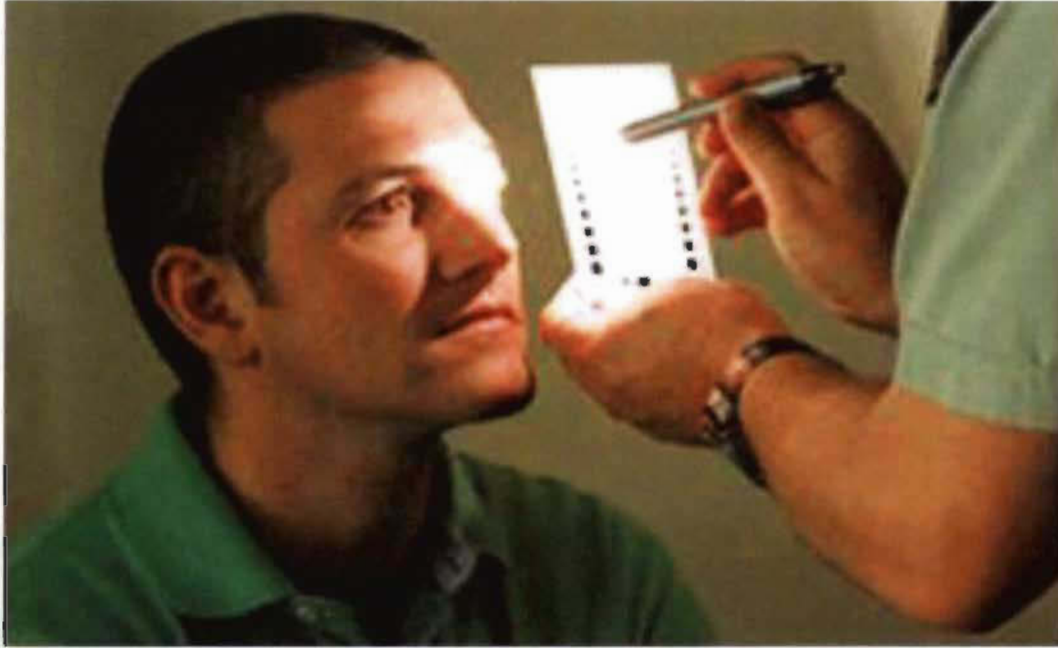


Figure 3 : Démonstration d'un test de dilatation de la pupille [37].

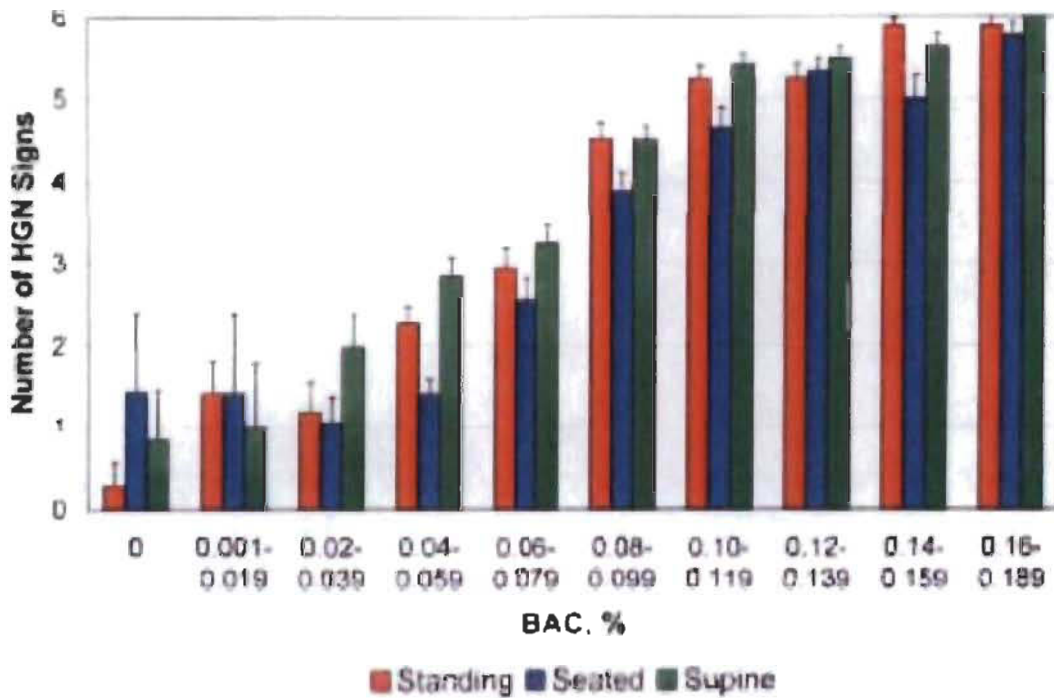


Figure 4 : Nombre de présences de nystagmus horizontal en fonction du taux d'alcool dans le sang [13].

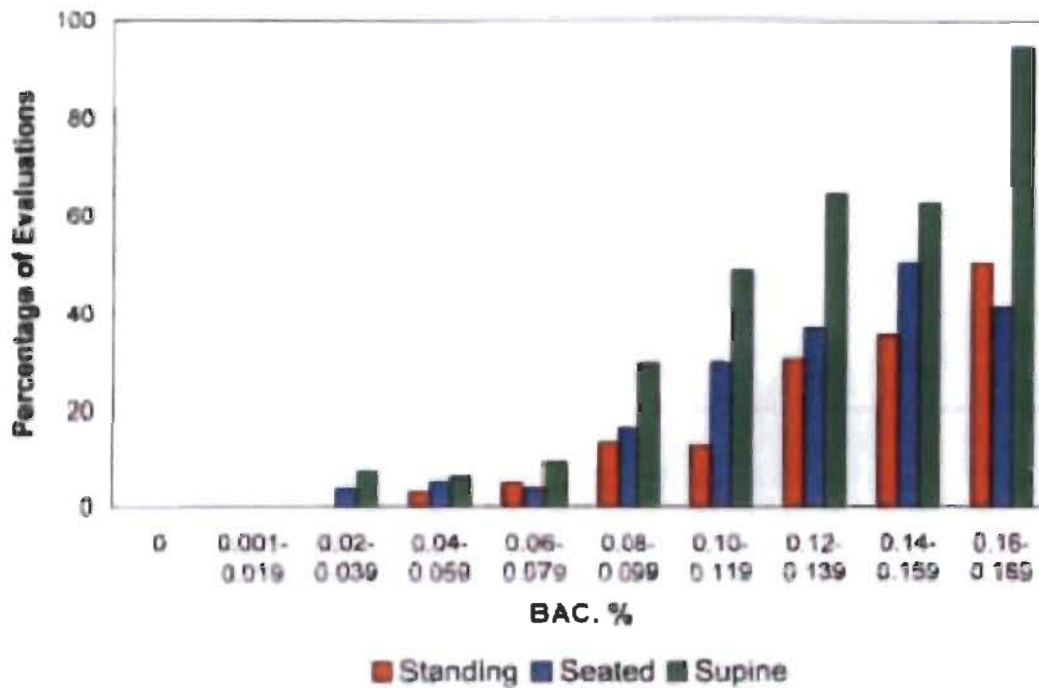


Figure 5 : Nombre de présences de nystagmus vertical en fonction du taux d'alcool dans le sang (BAC) [13].

Le policier désirant effectuer le test du nystagmus du regard horizontal et évaluer l'angle d'apparition du nystagmus doit vérifier si les yeux bougent simultanément et si les pupilles ont la même taille avant de procéder à ce test.

Une fois ces vérifications de base effectuées, le policier déplace un objet lumineux, habituellement une lampe de poche ou un crayon, devant les yeux du suspect comme le montre la figure 6. Il vérifie si il y a apparition d'un mouvement saccadé de l'œil à moins de 45 degrés en regard latéral. Ensuite, il observe si le déplacement de l'œil est fluide lorsqu'il se déplace d'un côté à l'autre selon l'axe horizontal, et si des saccades de l'œil surviennent lorsque le regard se porte à l'extrême d'un côté et de l'autre. La procédure est similaire pour le nystagmus vertical, mais effectuée du bas vers le haut.

La présence d'un nystagmus est due à une intoxication par un type de drogue ou par l'alcool ou par certains médicaments [13].





Figure 6 : Démonstration d'un test HGN [36].

### **2.3.3 Test de convergence**

La convergence oculaire est un réflexe associé au mouvement des deux yeux vers le nez. L'évaluation de la convergence consiste à examiner la capacité de fixer un objet d'une manière à forcer l'angle de visée des yeux à se croiser.

Les drogues peuvent altérer la capacité de convergence, les déresseurs dont l'alcool et les drogues de la famille du PCP peuvent venir altérer la capacité de convergence des yeux.

Pour le déroulement du test de convergence, le policier doit détecter si les yeux du conducteur ne converge pas lorsqu'il essaie de suivre un stimulus qui se rapproche vers son nez.

## **2.4 Techniques de détection de la direction du regard**

Différentes configurations et différentes méthodes algorithmiques ont été proposées pour estimer la direction du regard à partir du système visuel (position des yeux). Afin de concevoir un système de suivi du regard, il existe 4 composants à définir : la configuration, l'éclairage le modèle de l'œil et le modèle d'orientation du regard.

### **2.4.1 Configurations**

Il existe deux types de configurations pour la mise en place d'un appareil de mesure des mouvements des yeux (oculomètre) :

- Un système non intrusif qui n'interagit pas avec l'utilisateur. Ce système est équipé d'une ou de plusieurs caméras qui sont orientées vers le visage de l'utilisateur de manière à capturer les mouvements de ses yeux. Dans cette configuration la position et les mouvements de la tête de l'utilisateur sont contraints. Une calibration par rapport à un écran d'ordinateur est nécessaire dans le but de permettre une interaction avec ce dernier.
- Un système porté permet d'estimer la direction du regard de l'utilisateur à tout instant, car il est fixe par rapport à la tête de la personne. L'œil reste alors en permanence dans le champ de vision de la caméra.

### 2.4.2 Éclairage

L'extraction visuelle de caractéristiques de l'œil est réalisée avec un éclairage performant et dynamique, la totalité des systèmes de mesure des mouvements des yeux, soit fixes ou portés fonctionnent en lumière infrarouge.

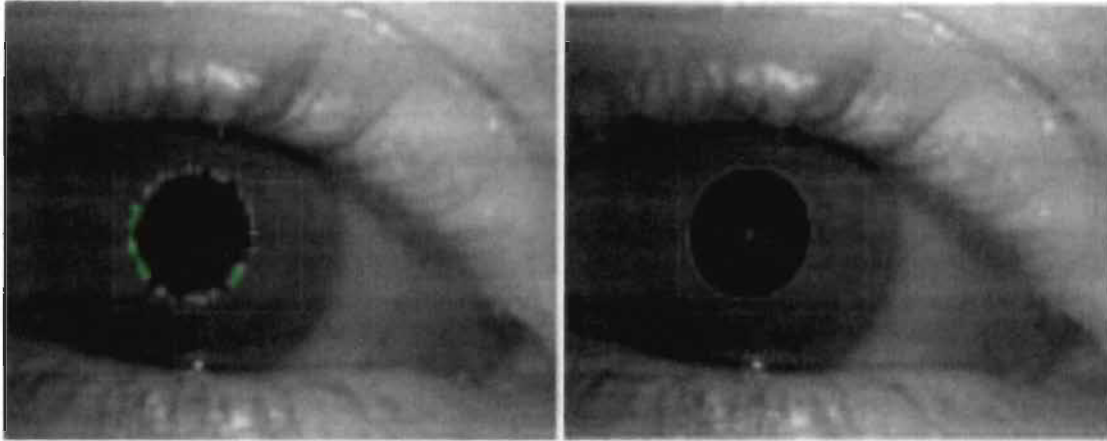
Un éclairage prolongé en infrarouge peut poser un risque pour la santé et peut entraîner une surchauffe au niveau de la rétine et provoquer des dommages irréversibles [15]. Cependant, de nombreuses méthodes ont été proposées pour les systèmes de mesure des mouvements des yeux en éclairage visible pour des raisons de sécurité médicale [16].

### 2.4.3 Modèles de l'œil

Afin d'estimer la direction du regard, il est nécessaire de définir un modèle de l'œil et d'en extraire les caractéristiques associées. L'éclairage infrarouge permet d'obtenir une image contrastée de la pupille et donc permet de faciliter la détection et le suivi de la pupille, il existe plusieurs méthodes de suivi de la pupille notamment en appliquant des seuillages [18], une méthode basée sur la différence d'images en appliquant deux sources d'illumination infrarouge d'orientation différentes [17].

L'algorithme Starburst [19] est certainement le plus connu pour les systèmes portés qui bénéficient d'une image de plus haute résolution, l'approche proposée commence par la localisation d'un point de départ au sein de la pupille, des rayons sont radialement propagés jusqu'à leur intersection avec le contour de la pupille comme montré à la figure 7(a). Ensuite,

les points d'intersection sont transmis à un algorithme d'ajustement d'ellipse qui repose sur la méthode RANSAC [20] comme montré à la figure 7 (b).



(a)

(b)

Figure 7 : Modèle de l'œil : (a) Suivi de la pupille par détection de points de contour. (b) Ajustement d'ellipse [21].

#### 2.4.4 Modèles de la direction du regard

L'estimation de la direction du regard nécessite la modélisation de la relation entre les données multi dimensionnelles extraites de l'image de l'œil et la direction du regard [22], cette relation peut être obtenue par une fonction de régression pour les systèmes portés.

Les approches qui se basent sur les fonctions de régression consistent à établir une relation entre la position de la pupille de l'œil et la direction du regard et ne nécessitent pas de calibration géométrique. En revanche, l'estimation de la position du regard se fait uniquement en suivant la pupille et en effectuant une calibration avec l'image de la caméra scène pour les systèmes de suivi des mouvements des yeux portés.

Afin de compenser les faibles mouvements de la tête, plusieurs méthodes ont été proposées. Une de ces méthodes consiste à calculer la position relative du centre de la pupille et du reflet brillant d'une source lumineuse sur l'œil (le reflet cornéen). À partir de ce vecteur la direction du regard est estimée en employant une régression linéaire, ou polynomiale pour prendre en

compte la non-linéarité [23]. Une autre méthode a été proposée qui elle permet de faire l'apprentissage d'une régression polynomiale pour chaque dimension de l'espace du regard (voir eq. 1) [24] :

$$\begin{aligned}x_s &= a_0 + a_1x_p + a_2y_p + a_3x_py_p + a_4x_p^2 + a_5y_p^2 \\y_s &= a_6 + a_7x_p + a_8y_p + a_9x_py_p + a_{10}x_p^2 + a_{11}y_p^2\end{aligned}\quad (1)$$

Avec  $(x_p, y_p)$  et  $(x_s, y_s)$ , représentant respectivement, les coordonnées du vecteur de position de la pupille et du point de regard sur l'écran, et  $(a_0, \dots, a_{11})$  étant les paramètres de régression. La figure 8 montre les résultats du système de détection des pupilles fonctionnant avec des images bruitées [24], en utilisant un seuillage simple et une érosion pour éliminer les artéfacts.

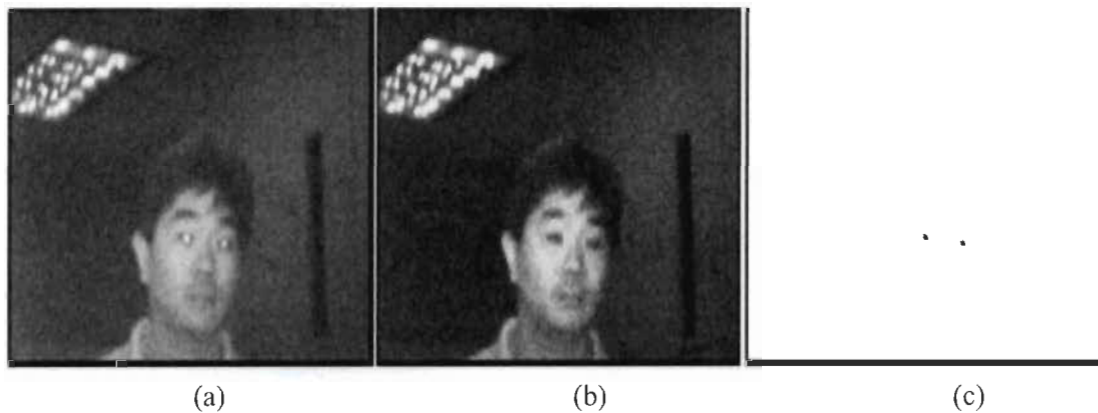


Figure 8 : Détection de la pupille.(a) Image brillante. (b) Image sombre. (c) Pupilles détectées [24].

## 2.5 Méthodes de calibration existantes

Il existe deux approches de calibration principales, les méthodes basées sur les caractéristiques de l'œil humain et les méthodes basées sur l'apparence de l'œil.

### 2.5.1 Les méthodes basées sur les caractéristiques de l'œil humain

Les méthodes basées sur les caractéristiques explorent les caractéristiques de l'œil humain tels que l'ouverture et l'angle de champ de l'œil pour identifier un ensemble de caractéristiques

distinctives telles que la position et la taille de l'iris et de la pupille, qui sont ensuite utilisées pour l'estimation de la direction du regard.

Ces méthodes ont des problèmes de performances à l'extérieur ou sous une forte lumière ambiante. De plus, la précision de l'estimation de la direction du regard diminue lorsque les caractéristiques précises de l'iris et de la pupille ne sont pas disponibles.

Il existe deux types d'approches, une première basée sur un modèle (géométrique) et une seconde sur une interpolation (basées sur la régression) [25].

### 2.5.1.1 Méthodes basées sur la géométrie

Les approches basées sur la géométrie reposent sur des informations (métriques) nécessitant donc un modèle géométrique 3D global (extérieur à l'œil), des sources de lumière, le positionnement et l'orientation de la caméra et un étalonnage de cette caméra pour estimer le vecteur de direction du regard (voir figure 9).

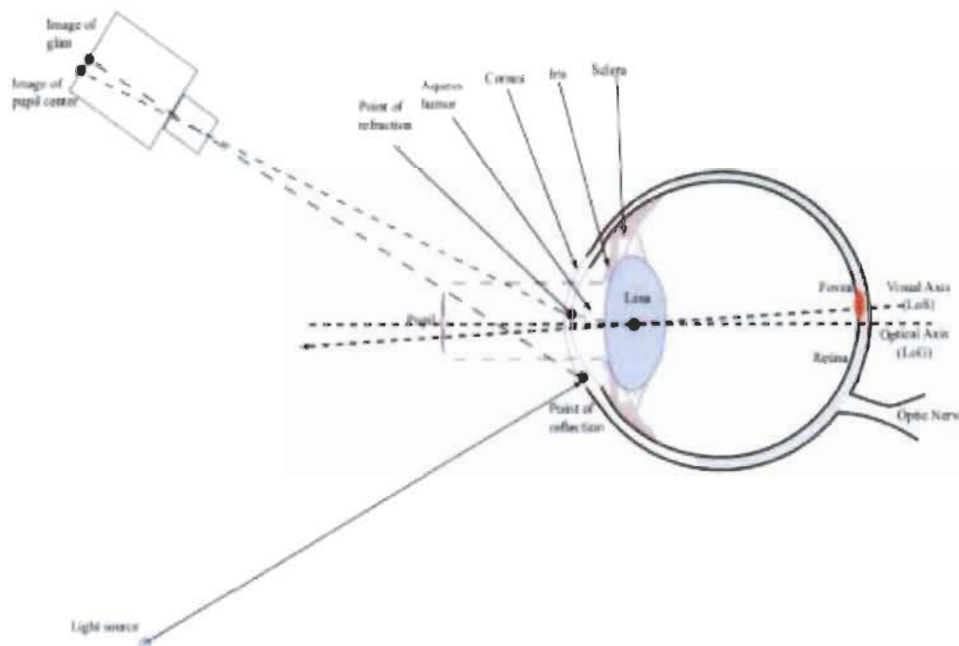


Figure 9 : Modèle géométrique : œil, source lumineuse et caméra [39].

Ces méthodes suivent une stratégie commune, tout d'abord l'axe optique de l'œil est reconstruit en 3D par estimation de la forme de la cornée et du centre de la pupille, ensuite l'axe visuel est reconstruit et enfin les directions du regard sont estimées sous forme de vecteur du centre du globe oculaire au centre de l'iris [26] [27] [28].

### **2.5.1.2 Approches basées sur l'interpolation**

Ces méthodes supposent que la mise en correspondance des caractéristiques de l'œil extraites de l'image avec les coordonnées du regard (2D ou 3D) a une forme paramétrique particulière, telle qu'une forme polynomiale [29] [30], ou non paramétrique comme dans les réseaux de neurones [31].

Les méthodes basées sur l'interpolation évitent l'utilisation de la géométrie et la physiologie de l'œil humain, mais décrivent plutôt le point de regard en tant que fonction générique des caractéristiques de l'image. La direction du regard se fait en calculant les coefficients inconnus de la fonction de calibration via un processus d'ajustement numérique, tel que des régressions linéaires multiples ou un réseau de neurones formés en extrayant les coordonnées de certains points de l'image.

### **2.5.2 Estimation du regard basée sur l'apparence de l'œil**

Les méthodes basées sur l'apparence détectent et suivent les yeux directement en fonction de l'apparence photométrique. Ces techniques utilisent le contenu de l'image pour estimer la direction du regard en calibrant les données de l'image aux coordonnées de l'écran [32].

Ces méthodes sont basées sur le contenu des images unitaires en niveaux de gris [28], l'interpolation gaussienne qui est un puissant outil d'interpolation non linéaire pour ajuster un interpolant qui passe exactement par les points de données et pour ajuster une courbe à l'aide de données bruitées [33]. Elles ne nécessitent généralement pas de calibration des caméras et des données géométriques, la calibration est faite directement sur le contenu de l'image.

## **2.6 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons parcouru les différents techniques et méthodes essentielles pour l'amélioration des performances de test du nystagmus horizontal et de la convergence oculaire. Nous avons présenté les approches existantes pour la détection de la direction du regard et les

méthodes de calibration existantes. Elles ont contribué à donner une base solide et aussi développer une bonne compréhension de ces concepts.

Notre méthode, inspirée par plusieurs des techniques mentionnées dans cette revue de littérature, est présentée au chapitre 3. On y retrouve des similitudes notamment avec la méthode de seuillage pour la détection de la pupille, la méthode des moindres carrés polynomiaux et la méthode de l'élimination gaussienne pour calculer la fonction d'approximation qui permet de faire la correspondance entre la position horizontale de la pupille et la direction du regard.

## ***Chapitres 3 : Méthodes expérimentales***

### **3.1 Introduction**

Dans ce chapitre, nous allons d'abord décrire la librairie Open CV utilisée pour la détection du centre, la taille et la position des pupilles. Par la suite, nous décrirons le prototype d'acquisition d'images. Enfin, nous détaillerons la technique proposée pour améliorer les performances du calcul de la direction du regard, fonctionnalité incluse dans les tests du nystagmus horizontal et de la convergence oculaire.

### **3.2 Open CV**

Dans le cadre de cette recherche, nous avons utilisé les fonctions de la librairie Open CV.

Open CV (Open Source Computer Vision) est la librairie de référence pour le traitement d'image distribuée sous une licence BSD (libre) pour les plateformes Windows, GNU/Linux, Android et MacOS. Elle permet d'effectuer des opérations simples sur les images (lecture, écriture et affichage d'une image, contraste, rotations, filtrage, opérations morphologiques (dilatation, érosion)... ) et les vidéos (lecture, écriture et affichage d'une vidéo (depuis un fichier ou une caméra), estimation de mouvement, etc). Aussi, elle permet de réaliser des opérations très complexes comme la détection des objets, des formes géométriques et la reconstruction d'une scène en 3 dimensions, et de nombreuses autres fonctions comme l'apprentissage automatique (K-means, AdaBoost, Réseau de neurones artificiels et Machine à vecteurs de support) [34].

Emgu CV est un wrapper multi-plateforme.NET pour la bibliothèque de traitement d'image Open CV qu'on utilise dans notre recherche pour appeler les fonctions Open CV à partir de langages compatibles .NET tels que C #, VB, VC ++, IronPython.



### 3.3 Prototype matériel actuel

Le prototype actuel [2] permet d'effectuer la capture d'images vidéo du mouvement de l'œil soumis à des stimuli visuels. Il est constitué de deux caméras pour la capture d'images vidéo de chacun des yeux, des lumières « led » pour l'éclairage des yeux, un verre réfléchissant et transparent qui permet l'affichage du stimulus et un moteur de chorégraphies visuelles qui permet de déplacer le stimulus visuel, la communication avec un port COM, ainsi que la saisie et l'extraction de données (Voir les figures 10 à 12).



Figure 10 : Vue de face du prototype [2].

### 3.4 Techniques utilisées

Dans la présente section, nous allons nous intéresser tout particulièrement aux détails des techniques et méthodes utilisées. En premier lieu, les techniques utilisées pour détecter les pupilles et faire le suivi du déplacement des pupilles dans les séquences d'images provenant du système de capture du prototype seront décrites. Ensuite, les méthodes appliquées pour estimer l'angle d'orientation du regard seront présentées.

Afin d'appliquer ces méthodes, la librairie **EMGU CV** est utilisée pour la capture, le traitement des vidéos et l'analyse des images.



Figure 11 : Vue de côté du prototype [2].

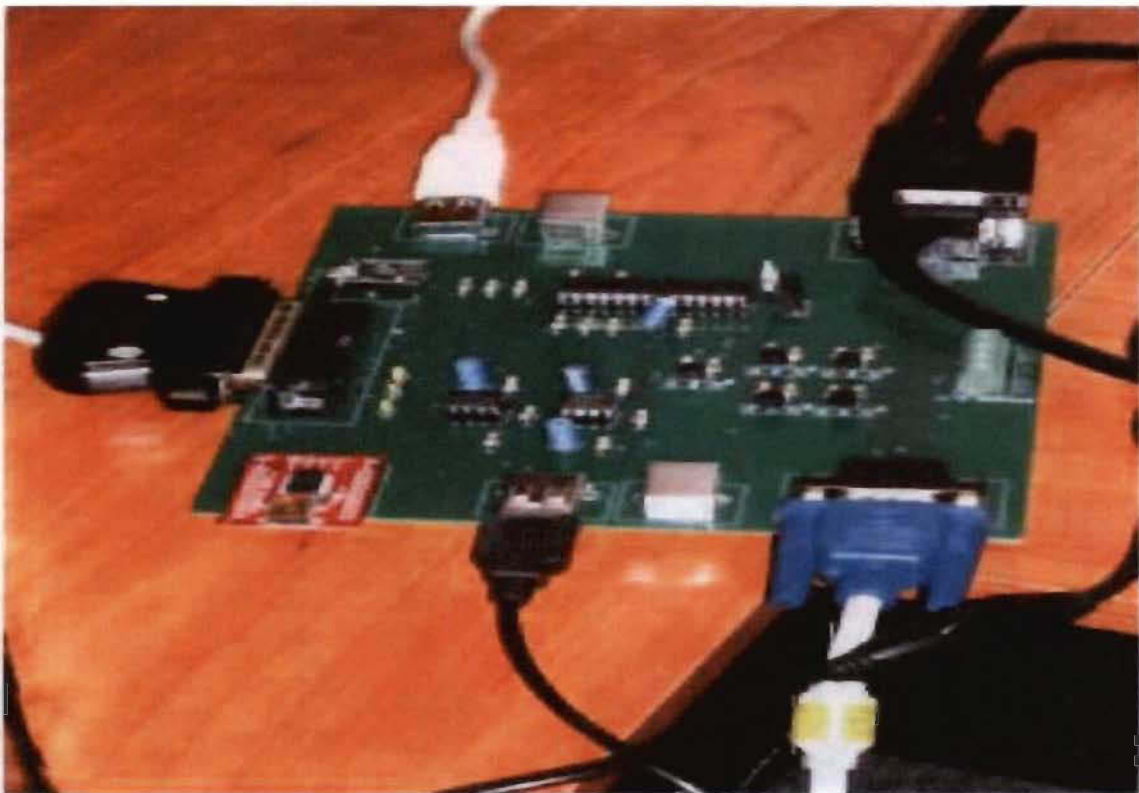


Figure 12 : Carte permettant la communication entre le prototype et l'ordinateur [2].

### **3.4.1 Algorithmes généraux**

Les principaux algorithmes utilisés dans les tests du nystagmus horizontal et de la convergence seront expliqués en détails dans cette section.

#### **3.4.1.1 Algorithme du script exécuté pour effectuer le test du nystagmus horizontal**

Pour effectuer le test du nystagmus horizontal, on commence par définir les paramètres de départ tels que la grosseur et la couleur de la cible, la couleur du fond d'écran, les paramètres de déplacement de la cible. Ensuite, on joue les séquences sonores (ex : voix), tels que le son de départ du test et des directives à suivre, on envoie au port COM une demande de mesure de la température corporelle et de la fréquence cardiaque. Après cela, on positionne la cible dans l'écran disposé en face des yeux à la position de départ pour le test et on le fait clignoter pour quelques secondes, et puis, on démarre la capture vidéo de l'œil et on effectue une série de déplacements de la cible. Enfin, on termine la capture vidéo, on sauvegarde la vidéo et on joue les sons de terminaison du test (Voir figure 13).

#### **3.4.1.2 Algorithme du script exécuté pour effectuer le test de convergence**

L'application du test de convergence est très semblable au test du nystagmus et fonctionne de la même façon pour les deux yeux (Voir figure 14).

#### **3.4.1.3 Traitement générique d'une séance de tests**

Pour le traitement générique d'une séquence de tests, on commence par définir le répertoire de destination, le numéro de dossier, les choix des caméras vidéo et le choix du port com, ensuite, on choisit les tests à effectuer. Le module effectue les traitements et analyses, affiche les résultats des tests et enfin le module effectue la classification de la catégorie de substances possiblement consommée et des signes observés (Voir figure 15).

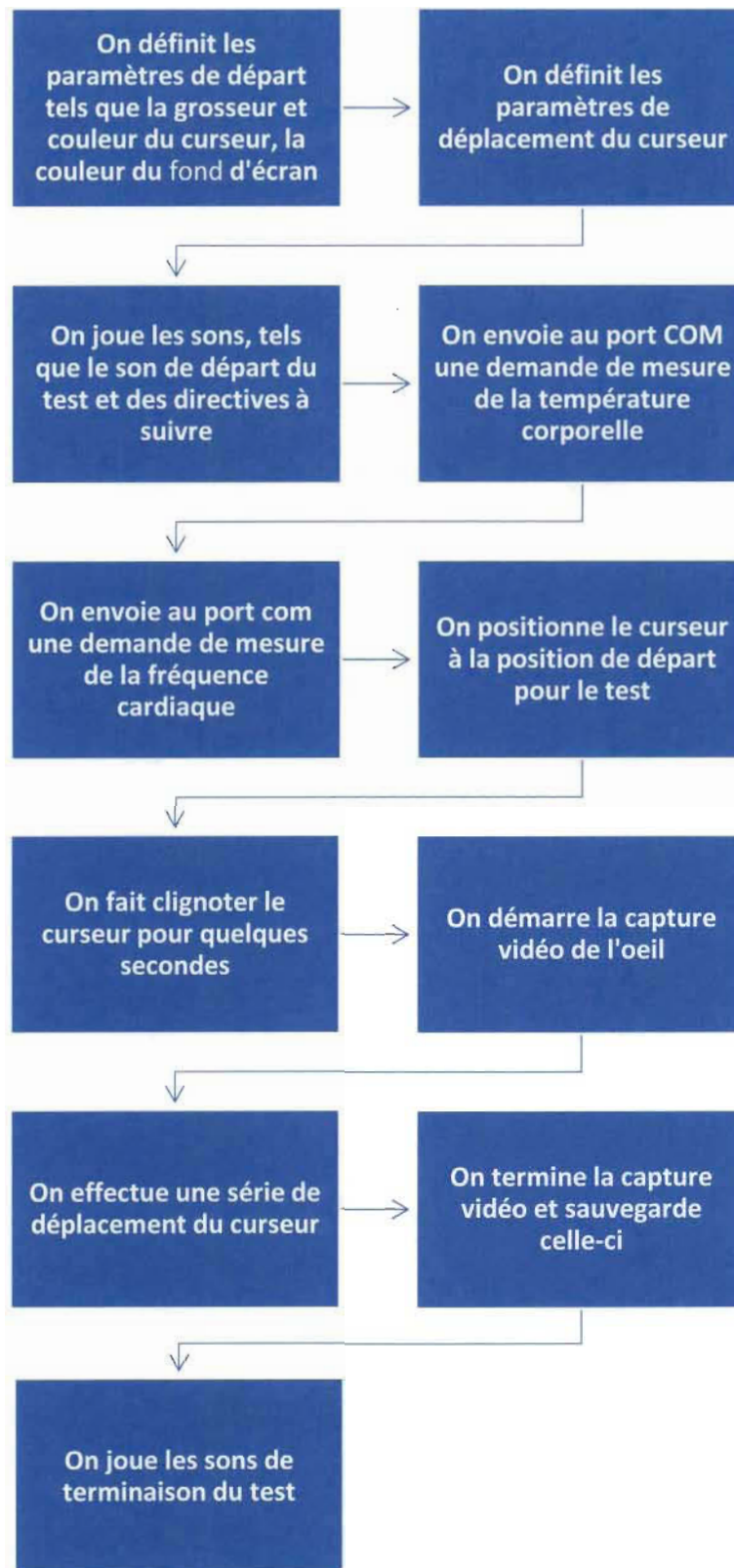


Figure 13 : Algorithme du script exécuté pour effectuer le test du nystagmus horizontal [2].

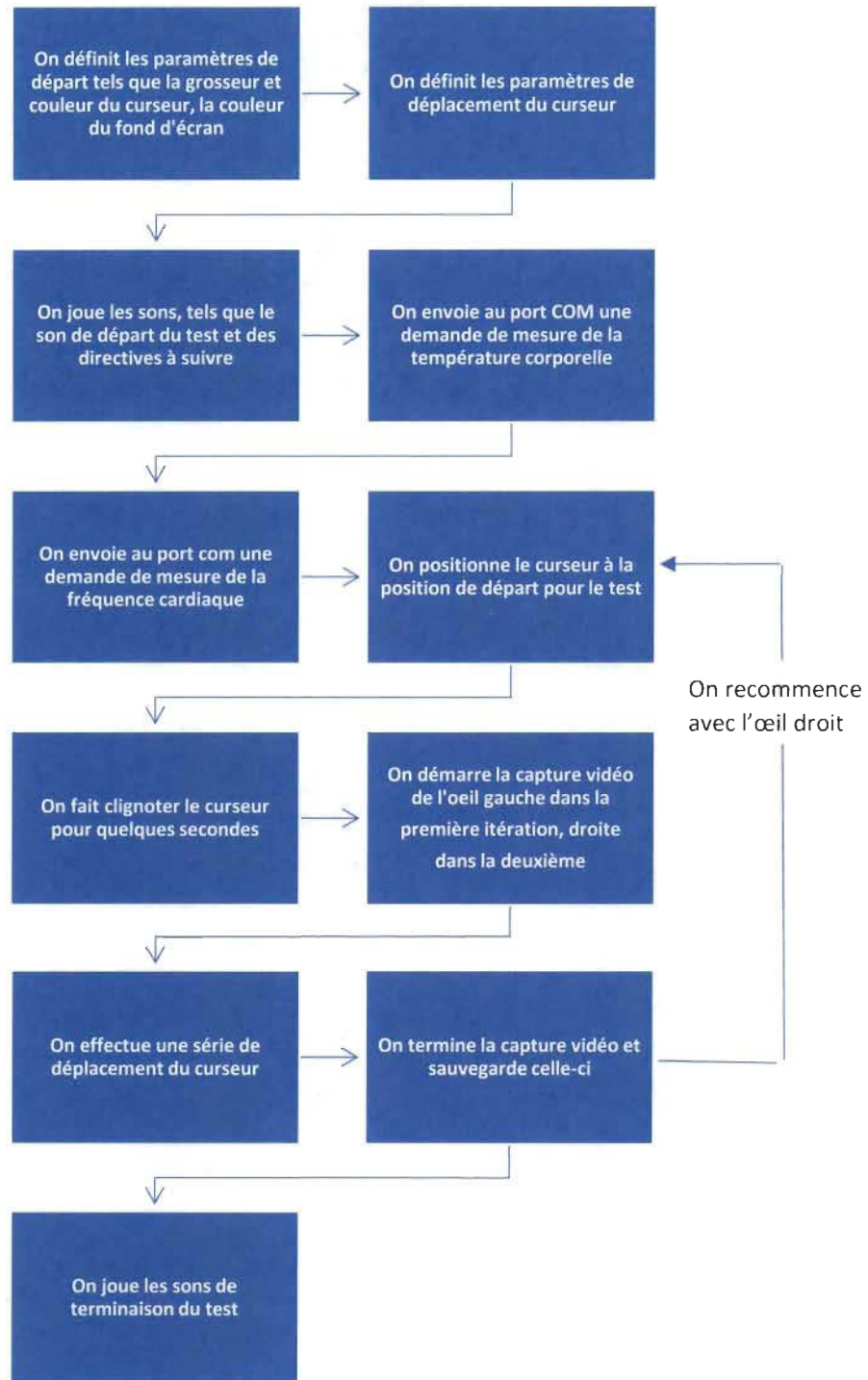


Figure 14 : Algorithme du script exécuté pour effectuer le test de convergence [2].

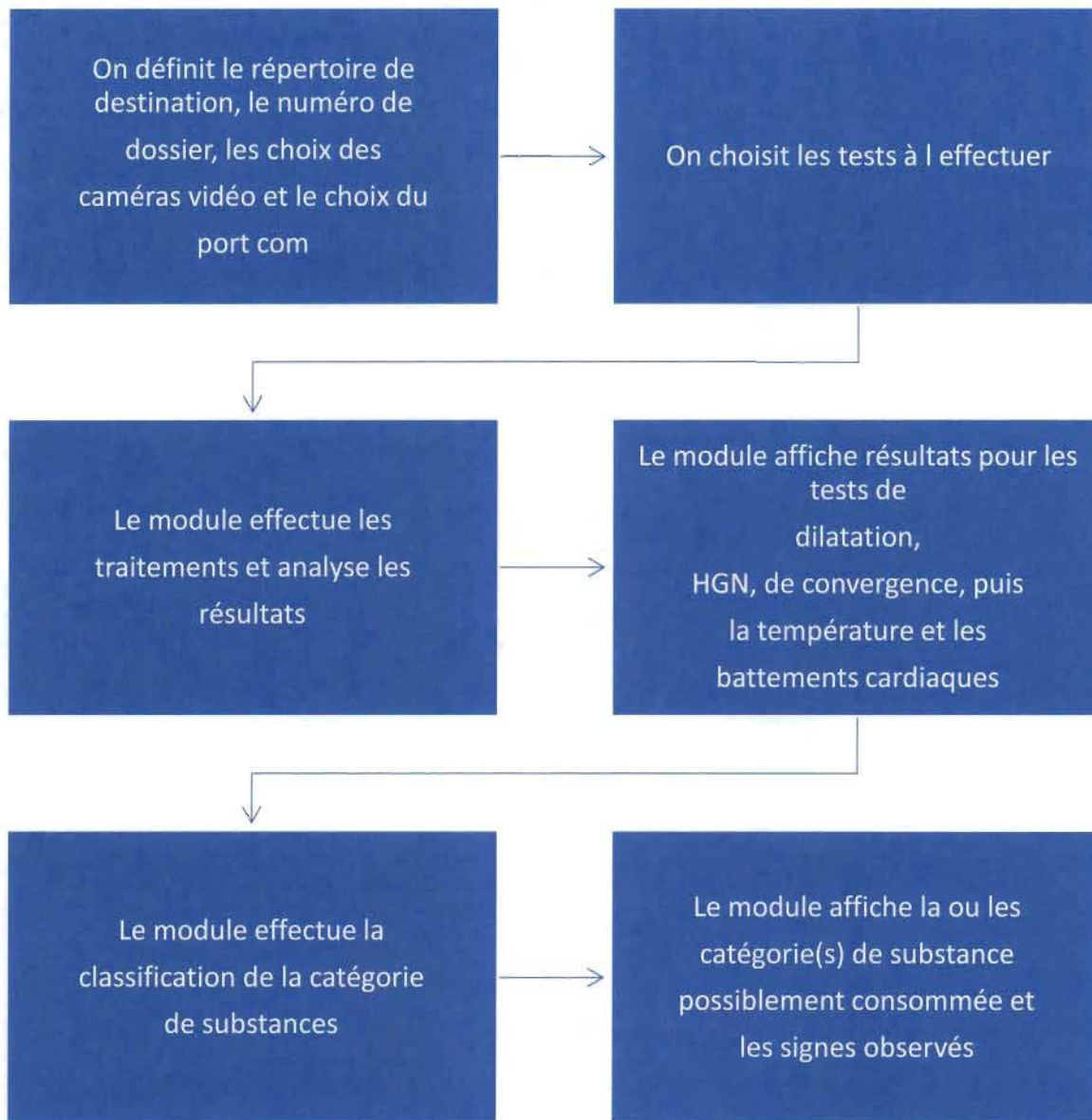


Figure 15 : Traitement générique d'une séance de tests [2].

#### 3.4.1.4 Traitement de la vidéo de capture des tests du nystagmus horizontal et de la convergence amélioré dans la présente recherche

On commence par convertir la première image originale en niveau de gris, ensuite, on applique une érosion sur l'image de 3 itérations. On définit la zone d'intérêt et on applique un seuillage sur l'image binaire. Alors on retrouve les points de contours dans la zone d'intérêt avec lesquels on forme des ellipses. Enfin, on analyse les ellipses détectées afin de vérifier si elles sont conformes à nos critères de sélection. Par la suite, on définit les valeurs de départ de la première

pupille et on conserve la valeur des centres d'ellipse en position x et les numéros de frames. Si l'ellipse détectée ne respecte pas nos critères de sélection, il faut refaire les mêmes étapes comme montrées à la figure 16.

Pour le traitement des autres images, on suit le même processus fait à la première image et on vérifie si la différence entre la position de l'ellipse de l'image courante et celle de l'image précédente en x et y est plus petite d'une valeur fixée pour nos expérimentations à 25. Enfin, on conserve la valeur des centres d'ellipse en position x et les numéros de frames qui nous servirons pour le traitement des résultats comme le montre la figure 17.

### 3.4.2 Détection des pupilles

Dans la présente section, on va tenter de décrire de façon très détaillée chacune des étapes présentées en y exposant les différents techniques rattachées, telles que la conversion en niveau de gris, l'érosion, la détection des contours et la détection des ellipses conformes à nos critères de sélection afin de localiser les pupilles d'un sujet dans les images provenant du système de capture du prototype.

#### 3.4.2.1 Traitement des images pour la détection des pupilles avec Open CV (EMGU CV)

La première étape consiste à convertir l'image RGB courante en niveau de gris tel que décrit par les énoncés suivants :

```
Image<Gray, Byte> imgGray = null;  
Image<Bgr, Byte> imgTraitement = null;  
Image<Bgr, Byte> imgOriginal = null;  
imgOriginal = imgFrame.Clone();  
imgTraitement = imgFrame.Clone();  
imgGray = imgTraitement.Convert<Gray, Byte>().PyrDown().PyrUp();
```

La fonction « Clone » permet de faire une copie de l'image courante. La fonction « Convert » permet de convertir l'image en niveau de gris pour supprimer toutes les informations de teinte et de saturation contenues dans les pixels (voir la figure 18).

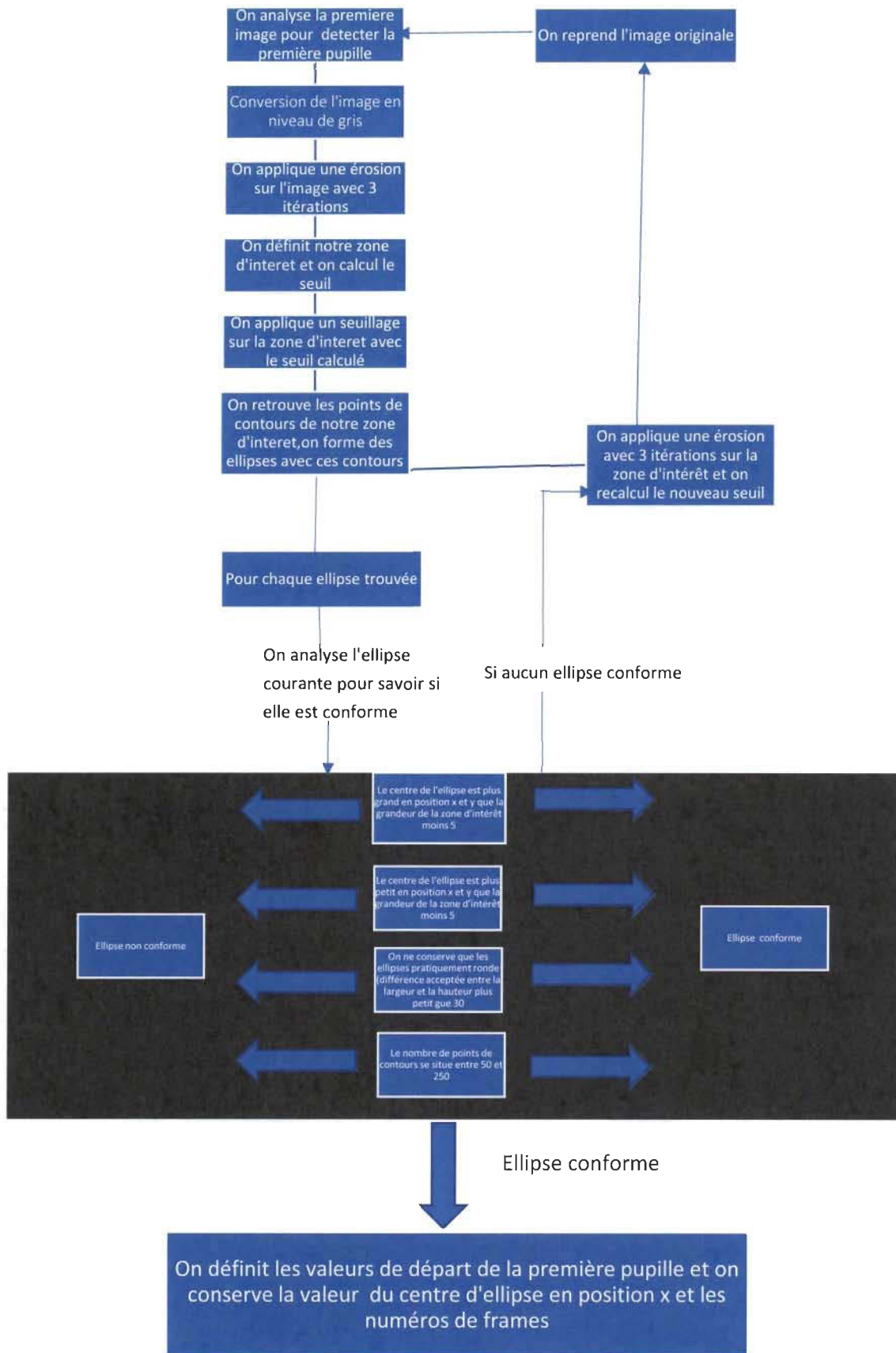


Figure 16 : Algorithme effectué pour le traitement de la première image de la vidéo de capture du test de nystagmus horizontal et de convergence.



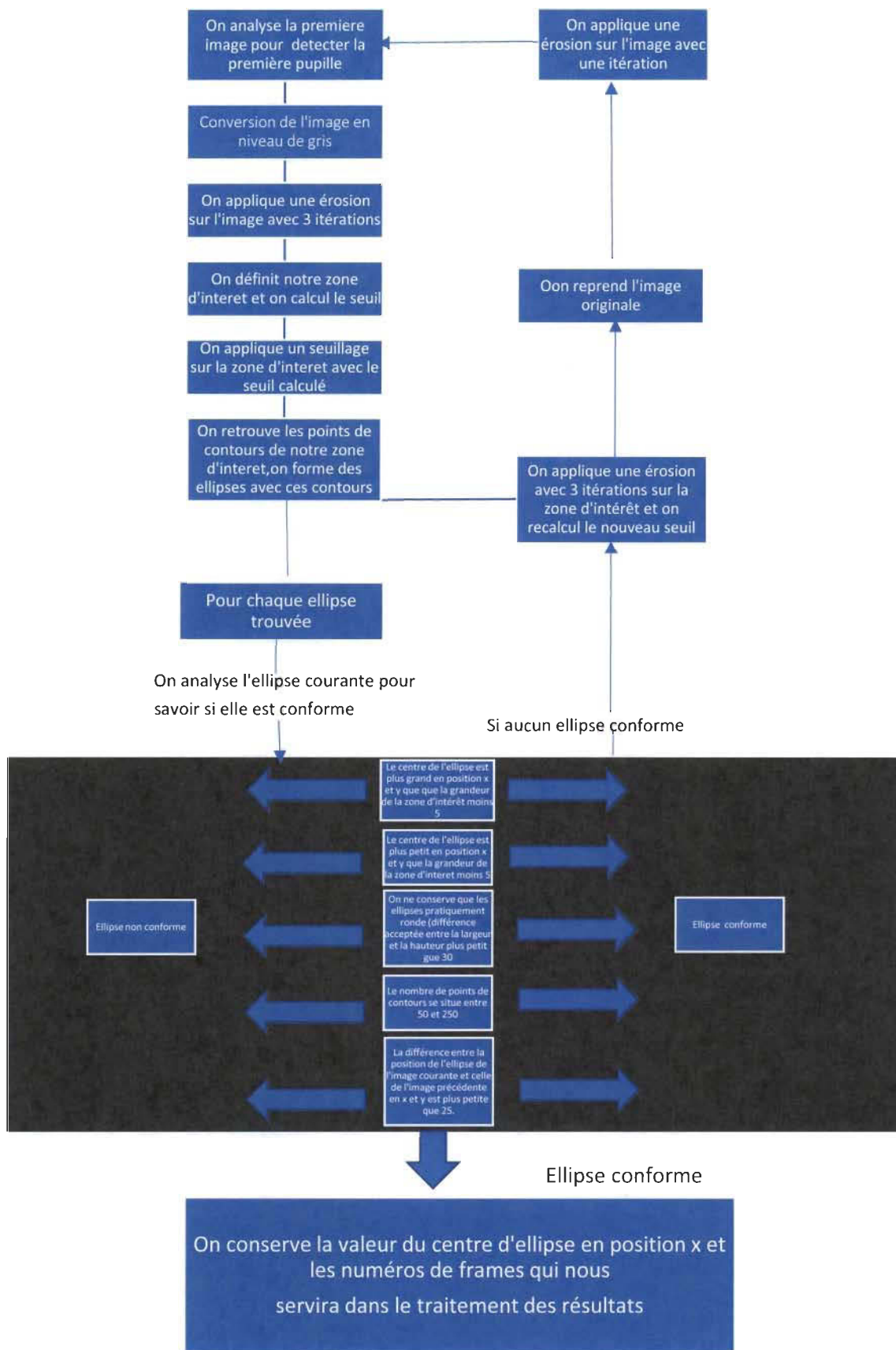


Figure 17 : Algorithme effectué pour le traitement des autres images de la vidéo de capture du test de nystagmus horizontal et de convergence.



(a)

(b)

Figure 18 : Conversion de l'image original en niveau de gris. (a) Image originale RGB. (b) Image convertie en niveau de gris.

Dans la deuxième étape on applique une érosion sur l'image en niveau de gris tel que décrit par l'énoncé:

```
imgGray = imgGray.Erode(3);
```

La fonction « Erode » permet d'appliquer une érosion sur une image afin de supprimer ou séparer les régions présentant des cils dans image binaire. La figure 19 démontre les résultats obtenus après 3 itérations.



(a)

(b)

Figure 19 : Érosion de l'image en niveau de gris avec 3 itérations. (a) Image originale. (b) Erosion avec itération 3.

Dans la troisième étape, on calcule la valeur du seuil optimal et on applique un seuillage à l'image (érosion avec 3 itérations) tel que décrit par l'énoncé suivant:

```
Gray avgGray = imgGGray.GetAverage();
```

La méthode « GetAverage » est utilisée pour calculer la valeur moyenne de niveau de gris d'une image.

Le seuillage d'image est utilisé pour créer une image binaire comportant uniquement deux valeurs, il remplace un à un les pixels d'une image à l'aide d'une valeur seuil fixée. Si un pixel a une valeur supérieure au seuil, il prendra la valeur 255 (blanc), et si sa valeur est inférieure, il prendra la valeur 0 (noir) comme décrit par l'énoncé suivant :

```
imgGraySeuillage = new Image<Gray, Byte>(imgGray.Width, imgGray.Height);  
CvInvoke.CvThreshold(imgGray, imgGraySeuillage, avgGray.Intensity, 255, THRESH.CV_THRESH_BINARY);
```

La fonction « cv.threshold » permet d'appliquer un seuillage à l'image et de créer l'image comportant uniquement deux valeurs : le premier argument est l'image source en niveaux de gris, le deuxième argument est l'image (binaire) comportant uniquement deux valeurs, le troisième argument est la valeur de seuil calculé (avec la fonction « GetAverage.Intensity ») pour classer les valeurs de pixel, le quatrième argument est 255 qui représente la valeur à donner si la valeur de pixel est supérieure à la valeur de seuil et le cinquième argument représente le type de seuillage (seuillage binaire). La figure 20 présente les résultats obtenus après un seuillage sur une image.

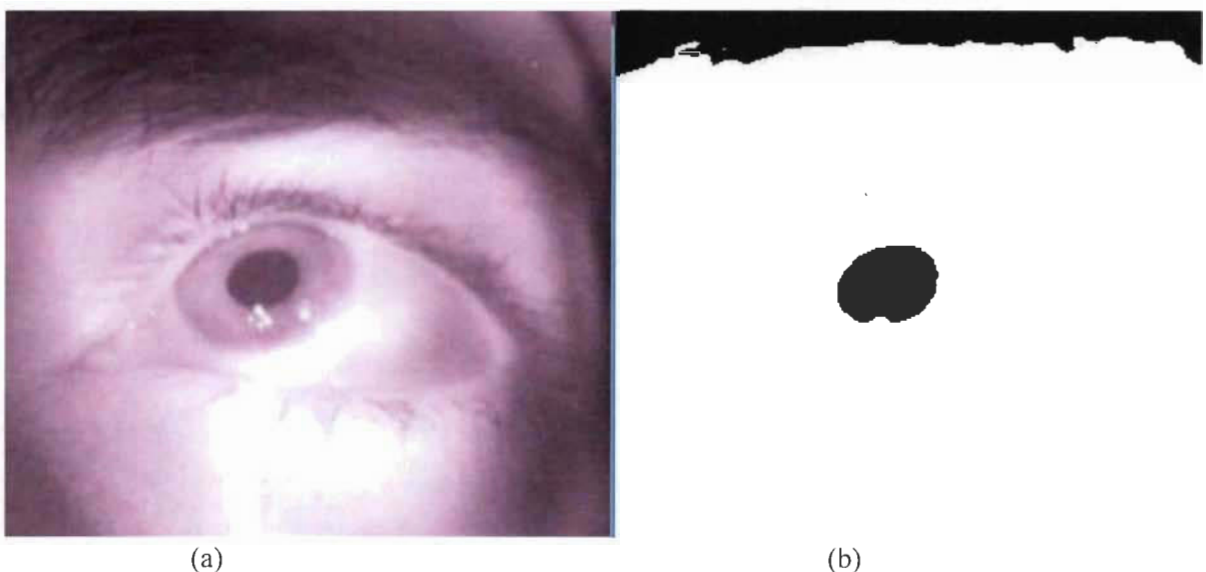


Figure 20 : Seuillage sur une image. (a) Image originale. (b) Image seuillée.

Dans la quatrième étape, une région d'intérêt (ROI) qui représente seulement la partie de la pupille de l'œil dans les images est créée afin de retrouver les points de contours correspondant aux pupilles qui se retrouvent vers le centre de l'image (Voir figure 21) comme décrit dans les énoncés suivants :

```
Rectangle roi = new Rectangle(80, 80, imgGraySeuillage.Width-290, imgGraySeuillage.Height - 190);  
imgGraySeuillage.ROI = roi;  
CvInvoke.cvRectangle(imgTraitement, new Point(80, 145), new Point(imgGraySeuillage.ROI.Right - 20,  
imgGraySeuillage.ROI.Bottom), new MCvScalar(255, 0, 0), 1, LINE_TYPE_FOUR_CONNECTED, 0);
```

La fonction « CvInvoke.cvRectangle » permet de dessiner notre zone d'intérêt (ROI) sur l'image originale afin de mettre en évidence la région de la pupille pour être analysé.



Figure 21 : Création de notre zone d'intérêt (ROI).

L'extraction des points de contour est une des étapes les plus importantes pour la reconnaissance des pupilles. Ci-après, les énoncés permettant la détection et l'approximation par une ellipse de chaque contour, sont décrits :

La fonction « FindContours » permet de détecter les listes de points de contours dans l'image du ROI sélectionné à l'étape précédente. La fonction « CvInvoke.cvFitEllipse2 » permet d'approximer par une ellipse chacune des listes de points de contours de chaque image. Puis, la fonction « CvInvoke.cvEllipse » permet de dessiner les ellipses dans notre zone d'intérêt.

```

for(Contour<Point>contours=
imgGraySeuillage.FindContours(CHAIN_APPROX_METHOD.CV_CHAIN_APPROX_NONE,
RETR_TYPE.CV_RETR_LIST); contours != null; contours = contours.HNext)
{
    int count = contours.Total;
    //On essaie de construire une ellipse avec les contours
    Emgu.CV.Structure.Ellipse ellip = new Ellipse();
    ellip.MCvBox2D = CvInvoke.cvFitEllipse2(contours);
    //Paramètres de l'ellipse
    PointF pt = ellip.MCvBox2D.center;
    SizeF Size = ellip.MCvBox2D.size;

    MCvScalar couleurLigne = new MCvScalar(255, 255, 255);
    Point center_ellipse = new Point((int)(ellip.MCvBox2D.center.X)+60,
(int)(ellip.MCvBox2D.center.Y)+50);
    Size size_ellipse = new Size((int)(ellip.MCvBox2D.size.Width / 2),
(int)(ellip.MCvBox2D.size.Height / 2));

    Point center_ellips= newPoint((int)ellip.MCvBox2D.center.X,
(int)ellip.MCvBox2D.center.Y);

    CvInvoke.cvEllipse(imgTraitement, new Point(center_ellips.X +
imgGraySeuillage.ROI.X, center_ellips.Y + imgGraySeuillage.ROI.Y), size_ellipse,
angle_ellipse, 0, 360, couleurLigne, 1, LINE_TYPE.CV_AA, 0);
}

```

Certains critères de sélection des ellipses détectées dans les tests de nystagmus et de convergence doivent être fixés. Ces critères sont implémentés dans les énoncés suivants :

```

if ((count < 50) || (count > 250))
    continue;

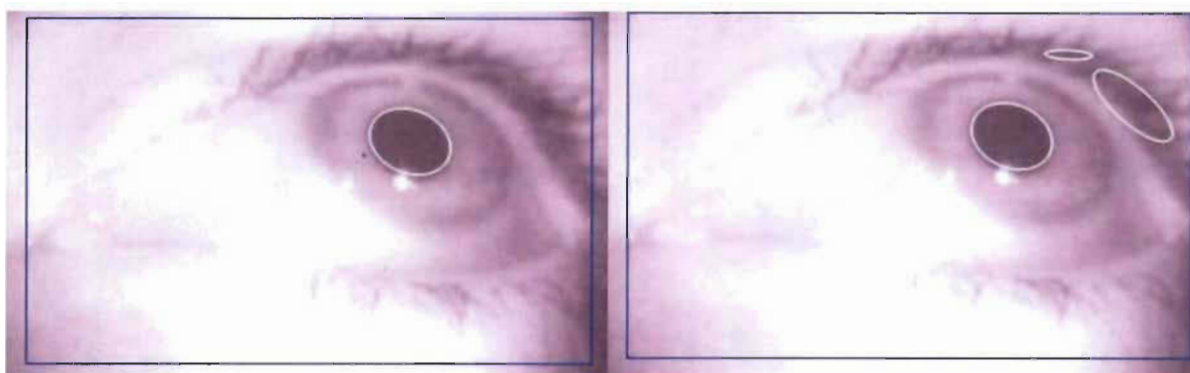
if ((pt.X > roi.Width - 5 || (pt.X < 5)))
    continue;

if ((pt.Y > roi.Height - 5) || (pt.Y < 5))
    continue;
//On garde les ellipses qui sont pratiquement ronds seulement
if ((Size.Width - Size.Height < -30) || (Size.Width - Size.Height > 30))
    continue;
if (!premiereImage)
{
    //Si la position est pas proche de celle précédente on arrête
    if (((pt.X - posXPrecedent) > 25) || ((pt.X - posXPrecedent) < -25))
        continue;
    if (((pt.Y - posYPrecedent) > 25) || ((pt.Y - posYPrecedent) < -25))
        continue;
}
nbTrouve++;

```

- 1) Le nombre de points (count) de contours de la pupille se situe entre 50 et 250.
- 2) Le centre de l'ellipse est plus petit en position x et y que la grandeur de la zone d'intérêt moins 5.
- 3) L'ellipse est pratiquement ronds (différence acceptée entre la largeur et la hauteur plus petit que 30).
- 4) La différence entre la position de l'ellipse de l'image courante et celle de l'image précédente en x et y est plus petite que 25.

La figure 22 présente les résultats obtenus après l'application des critères de sélection des pupilles détectées.



(a)

(b)

Figure 22 : Sélection de l'ellipse qui est la pupille. (a) Après élimination. (b) Avant élimination.

### 3.4.2.2 Traitement de la vidéo de capture pour la détection des pupilles avec Open CV (EMGU CV)

```
Capture capture = null;
bool finLecture = false;
Image<Bgr, Byte> imgFrame = null;
FileInfo file = new FileInfo(sVideo);
imgViewer.Text = file.Name;

videoTempsReel = dureeVideoReel;
visualiserVideo = voirVideo;
//On traite le video

try
{
    capture = new Capture(sVideo);
    //On capture le frame courant
    imgFrame = capture.QueryFrame();
    //On retrouve la zone de l'oeil
    trouverZoneOeil(imgFrame, 1);
    imgViewer.Width = capture.Width+20 ;
    imgViewer.Height = capture.Height+20;
    //On affiche le vidéo
    if (visualiserVideo)
    {
        imgViewer.Show();
    }
    while (!finLecture)
    {
        if (nbFrame > 0)
            imgFrame = capture.QueryFrame();
        if (imgFrame != null)
            traiterImage(imgFrame, 1, nbFrame);
        else
        {
            finLecture = true;
        }
        nbFrame++;
    }
}
```

L'objet « Capture» permet d'analyser les images de la vidéo en format .avi.

L'objet « ImageViewer » permet le visionnement d'une image.

La fonction « QueryFrame » permet d'extraire l'image courante dans le vidéo,

La fonction « traiterImage» permet de faire le traitement expliqué dans la section précédente 3.4.2.1.

### 3.4.3 Méthode proposée pour calculer l'angle d'orientation du regard

Une première approche consiste à déduire l'angle de visée en degré (direction du regard) degré (i) directement à partir de numéro de frame i de chaque pupille qui respecte les critères de sélection dans les vidéos de personnes sans faculté affaiblie. L'angle de visée degré (i) de chaque pupille détectée dans ces vidéos est calculé par la formule donnée par l'équation 2 (eq. 2). Cette formule suppose que l'angle de visée est égal à 0° pour les frames dans lesquels la pupille est en regard avant. Cette même formule (eq. 2) donne un angle dans l'intervalle ] 0, 45 [ degrés pour les frames correspondant aux déplacements latéraux de la pupille entre 0 et 45 degrés. Finalement cette formule donne 45 degrés pour les frames dont la pupille est en regard latéral à 45 degrés. Il est alors possible de calculer l'angle d'orientation du regard pour chaque frame contenant une pupille dans une vidéo d'une personne sans faculté affaiblie comme le montre la figure 23.

$$\text{Degré (i)} = \begin{cases} 0 \text{ degré pour } i \in \{\text{les frame en regard avant}\}, \\ \text{Nombre de frames de la vidéo} \cdot 45 \text{ pour } i \in \{\text{Les frames lors du déplacement de } 0 \text{ à } 45 \text{ degrés}\}, \\ 45 \text{ degrés pour } i \in \{\text{les frames en regard à } 45 \text{ degrés}\}. \end{cases} \quad (2)$$

La première approche présentée n'est cependant valide que pour des vidéos de personnes n'ayant pas les facultés affaiblies. Sachant que l'état des facultés d'une personne n'est pas connu à priori il faut donc utiliser une approche plus générale.

Une seconde approche basée plutôt sur la position  $\Delta x$  des centres des pupilles détectées dans les vidéos est alors préconisée. Ainsi, une fonction d'approximation de l'angle du regard en fonction des positions  $\Delta x$  des centres de pupille doit alors être déduite

La méthode des moindres carrés polynomiaux permet alors de trouver une courbe qui approxime le mieux l'ensemble de nos points de données (l'orientation du regard en degré associé à chaque pupille en fonction de sa position  $\Delta x$ ).

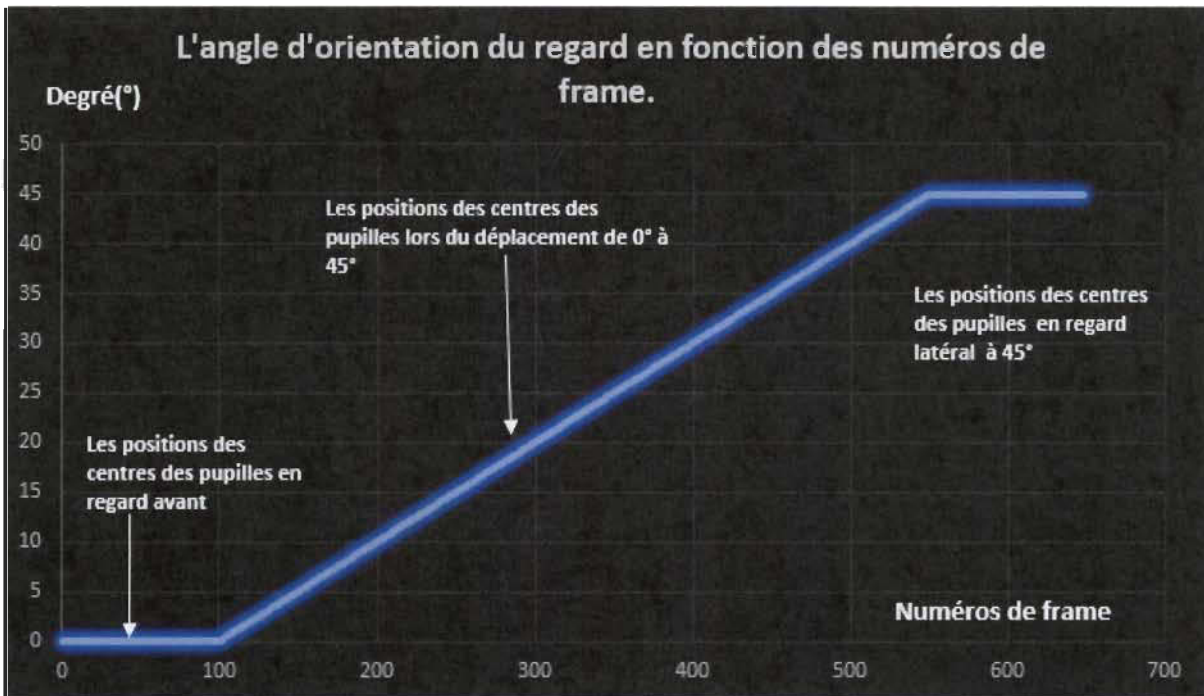


Figure 23 : Calcul de l'angle d'orientation du regard pour chaque pupille dans la vidéo sans faculté affaiblie.

Avec un ajustement des moindres carrés polynomiaux de degré  $d$ , on est capable de trouver les coefficients  $A_0, A_1, \dots, A_d$  pour que l'équation 3 corresponde autant que possible aux points de données [35] :

$$y = A_0 * x^0 + A_1 * x^1 + A_2 * x^2 + \dots \dots \dots A_d * x^d \quad (3)$$

Où les valeurs de  $x$  représentent les positions  $\Delta x$  des centres des pupilles et  $y$  l'angle de visée de la pupille.

L'objectif de la méthode des moindres carrés polynomiaux est de minimiser la somme des carrés des distances verticales entre la courbe et les points de mesures.

L'équation 4 montre la fonction d'erreur [35] :

$$E(A_1, A_2, \dots, A_d) = \sum (y_i - (A_0 * x^0 + A_1 * x^1 + A_2 * x^2 + \dots \dots \dots A_d * x^d))^2 \quad (4)$$



Pour simplifier cette expression, prenons  $E_i$  comme valeur d'erreur sur chaque donnée [35] :

$$E(A_1, A_2, \dots, A_d) = \sum E_i^2 \quad (5)$$

Les étapes pour trouver la meilleure solution sont les mêmes que celles pour trouver la meilleure solution des moindres carrés linéaires [35] :

- Prenons les dérivées partielles de la fonction d'erreur par rapport aux variables, dans ce cas  $A_0, A_1, \dots, A_d$
- Définissons les dérivées partielles égales à 0 pour obtenir  $N + 1$  équations et  $N + 1$  inconnues  $A_0, A_1, \dots, A_d$ .
- On résoud les équations pour  $A_0, A_1, \dots, A_d$ .

Les dérivées partielles de la fonction d'erreur sont simples parce que cette fonction implique uniquement des puissances simples. Par exemple, la dérivée partielle par rapport à  $A_k$  est [35] :

$$\frac{\partial E}{\partial A_k} = \sum 2 * E_i * \frac{\partial E_i}{\partial A_k} \quad (6)$$

La dérivée partielle de  $E_i$  par rapport à  $A_k$  contient beaucoup de termes impliquant des puissances de  $x_i$  et différents  $A_s$ , mais en ce qui concerne  $A_k$ , ils sont des constantes sauf le terme unique  $A_k * x_i^k$ .

On peut décrire les autres termes par l'équation [35] :

$$\frac{\partial E}{\partial A_k} = \sum 2 * E_i * (-x_i^k) \quad (7)$$

En substituant la valeur de  $E_i$ , on multiplie par le terme  $-x_i^k$ , et on ajoute le  $A_s$  séparément [35]:

$$\frac{\partial E}{\partial A_k} = 2 * (\sum y_i * x_i^k - A_0 \sum x_i^k - A_1 \sum x_i^{k+1} - A_2 \sum x_i^{k+2} - \dots - A_d \sum x_i^{k+d}) \quad (8)$$

On constate que la plupart des termes sont des valeurs qu'on peut calculer à l'aide des valeurs  $x_i$  et  $y_i$ . Par exemple, le premier terme est simplement la somme des produits des valeurs de  $y_i$  et des valeurs de  $x_i$  élevées à la puissance  $k$ . Le terme suivant est  $A_0$  multiplié par la somme

des  $x_i$ , valeurs relevées à la puissance  $k$ . Les valeurs  $x_i$  et  $y_i$  étant toutes connues, cette équation est la même que celle qui suit pour un ensemble particulier de constantes  $S$  [35] :

$$\frac{\partial E}{\partial A_k} = 2 * (S - A_0 * S_0 - A_1 * S_1 - \dots - A_d * S_d) \quad (9)$$

C'est une équation relativement simple avec  $d + 1$  inconnues  $A_0, A_1, \dots, A_d$ . Lorsqu'on prend les dérivées partielles pour les autres valeurs de  $k$ , avec  $k$  qui varie de 0 à  $d$ , on obtient  $d + 1$  équations à  $d + 1$  inconnues et on peut alors résoudre ces inconnues.

L'approche des moindres carrés linéaire est un cas spécifique où  $d = 1$  et pour lequel il est facile de résoudre les équations.

Dans notre expérimentation, on a utilisé la méthode de l'élimination gaussienne implémentée par l'algorithme décrit ci-après pour résoudre le système d'équations linéaires d'ordre 2 ( $d=2$ ) [35] :

```
private static double[] GaussianElimination(double[,] coeffs)
{
    int max_equation = coeffs.GetUpperBound(0);
    int max_coeff = coeffs.GetUpperBound(1);
    for (int i = 0; i <= max_equation; i++)
    {
        // On utilise equation_coeffs[i, i] pour éliminer la n ième coefficient de toutes les
        // autres équations.
        // On recherche une ligne avec un coefficient différent de zéro.
        if (coeffs[i, i] == 0)
        {
            for (int j = i + 1; j <= max_equation; j++)
            {
                // on vérifie si ça fonctionne.
                if (coeffs[j, i] != 0)
                {
                    for (int k = i; k <= max_coeff; k++)
                    {
                        double temp = coeffs[i, k];
                        coeffs[i, k] = coeffs[j, k];
                        coeffs[j, k] = temp;
                    }
                    break;
                }
            }
        }
        // On vérifie si on trouve un coefficient non nul
        double coeff_i_i = coeffs[i, i];
        if (coeff_i_i == 0)
        {
            throw new ArithmeticException(String.Format("There is no unique
            solution for these points.", coeffs.GetUpperBound(0) - 1));
        }
        // On normalize l'équation.
        for (int j = i; j <= max_coeff; j++)
```

```

        {
            coeffs[i, j] /= coeff_i_i;
        }
// Cette valeur d'équation est utilisée pour mettre zéro à les coefficients des autres
équations
    for (int j = 0; j <= max_equation; j++)
    {
// On ignore la première équation.
        if (j != i)
        {
            double coef_j_i = coeffs[j, i];
            for (int d = 0; d <= max_coeff; d++)
            {
                coeffs[j, d] -= coeffs[i, d] * coef_j_i;
            }
        }
    }
}
// A ce stade, la nième équation contient deux entrées non nulles.
// La ième entrée qui est 1 et la dernière entrée coeffs[max_coeff]
double[] solution = new double[max_equation + 1];
for (int i = 0; i <= max_equation; i++)
{
    solution[i] = coeffs[i, max_coeff];
}
return solution;

```

La figure 24 présente la courbe de calibration des positions des centres des pupilles  $\Delta x$  par rapport à la position  $X_0$  du centre de la pupille (avant le déplacement horizontal) en fonction de l'angle d'orientation du regard dans la vidéo d'une personne sans faculté affaiblie.

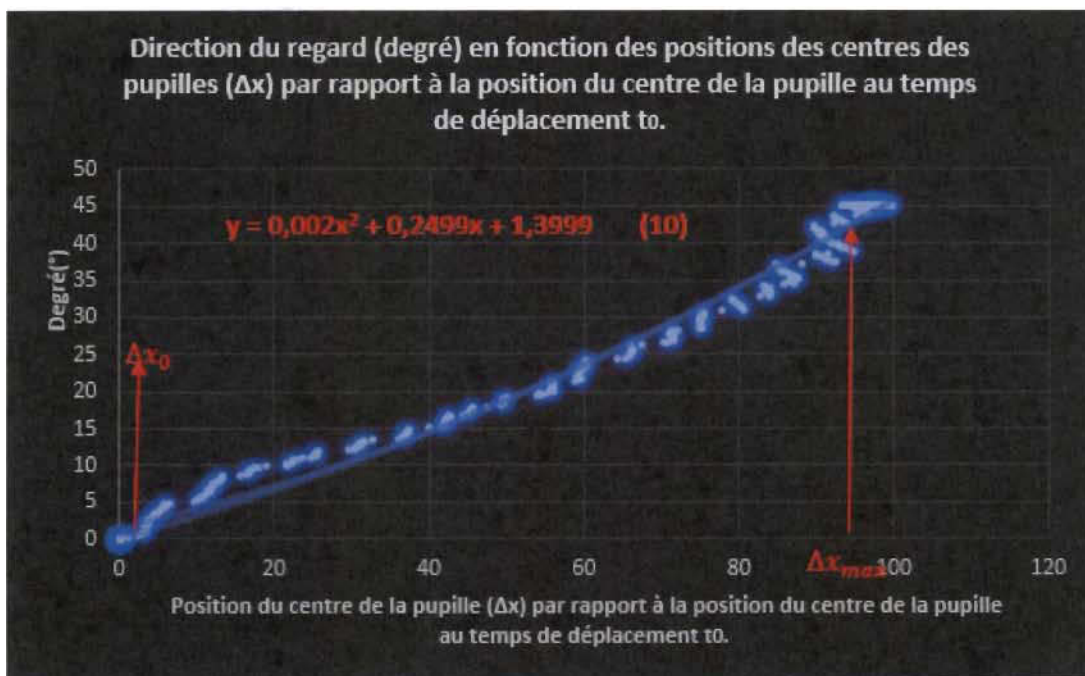


Figure 24 : Calibration des positions des centres des pupilles en fonction de l'angle d'orientation du regard dans la vidéo sans facultés affaiblies.

$\Delta x_{max}$  et l'équation 10 représentent respectivement, la position de la pupille par rapport à la position  $X_0$  du centre de la pupille au temps  $t_0$  (avant le déplacement horizontal), en regard latéral (45 degrés) et la fonction d'approximation d'ordre 2 découlant du processus d'approximation. Cette fonction (eq. 10) peut ensuite être utilisée pour calculer l'angle d'orientation du regard pour des vidéos de personnes ayant des facultés affaiblies.

### **3.5 Conclusion**

Avec ces différentes méthodes expliquées, on est en mesure d'améliorer les performances des tests du nystagmus horizontal et de la convergence oculaire. Les méthodes utilisées permettent, de détecter la pupille dans chacune des images de la vidéo. Les caractéristiques des pupilles détectées permettent de calculer l'orientation du regard dans les tests du nystagmus et de la convergence en utilisant la méthode des moindres carrés polynomiaux et l'élimination gaussienne (voir l'équation 10). Le prochain chapitre présente les résultats de l'application des méthodes améliorées dans cette recherche pour détecter les pupilles et ensuite calculer la direction du regard

# Chapitre 4 Résultats et discussion

## 4.1 Introduction

Dans la section suivante, nous allons présenter les résultats et analyser les résultats obtenus pour identifier les mouvements oculaires involontaires du nystagmus et de la convergence oculaire.

## 4.2 Test de nystagmus horizontal

Pour le déroulement du test de nystagmus horizontal, la personne concernée doit installer le prototype et suivre un stimulus qui se déplace de 0 à 45 degrés devant son œil pendant que la capture des images vidéo s'effectue. Ensuite, à partir des séquences vidéo, on doit examiner si l'œil produit un nystagmus, c'est-à-dire s'il y a apparition d'un mouvement involontaire et saccadé du globe oculaire à moins de 45 degrés et s'il y a des saccades de l'œil lorsque le regard se porte à l'extrême d'un côté et de l'autre.

Comme il a été mentionné dans le chapitre 2, le nystagmus (l'apparition d'un mouvement involontaire et saccadé) peut survenir temporairement lorsque sa cause principale est liée à certains médicaments, stupéfiants, alcool en excès ou sédatifs.

La figure 25 nous démontre les résultats obtenus d'un déplacement de regard de 0 degré jusqu'à 45 degrés déduit par l'équation 10, d'une personne n'ayant consommée aucune substance. Dans ce graphique, on peut constater que la courbe obtenue est lisse. Ceci démontre que le mouvement de l'œil est constant et aussi en phase avec le stimulus visuel ainsi que l'absence du phénomène du nystagmus horizontal.

Les figures 26 à 28 nous démontrent les résultats obtenus d'un déplacement du regard de 0 degré jusqu'à 45 degrés déduit par l'équation 10, pour des personnes avec un taux d'alcoolémie supérieur de 80 mg d'alcool par 100 ml de sang. Sur ces graphiques, on peut constater la présence de quelques saccades qui ont pour effet de ne pas produire une courbe lisse dans ce graphique.

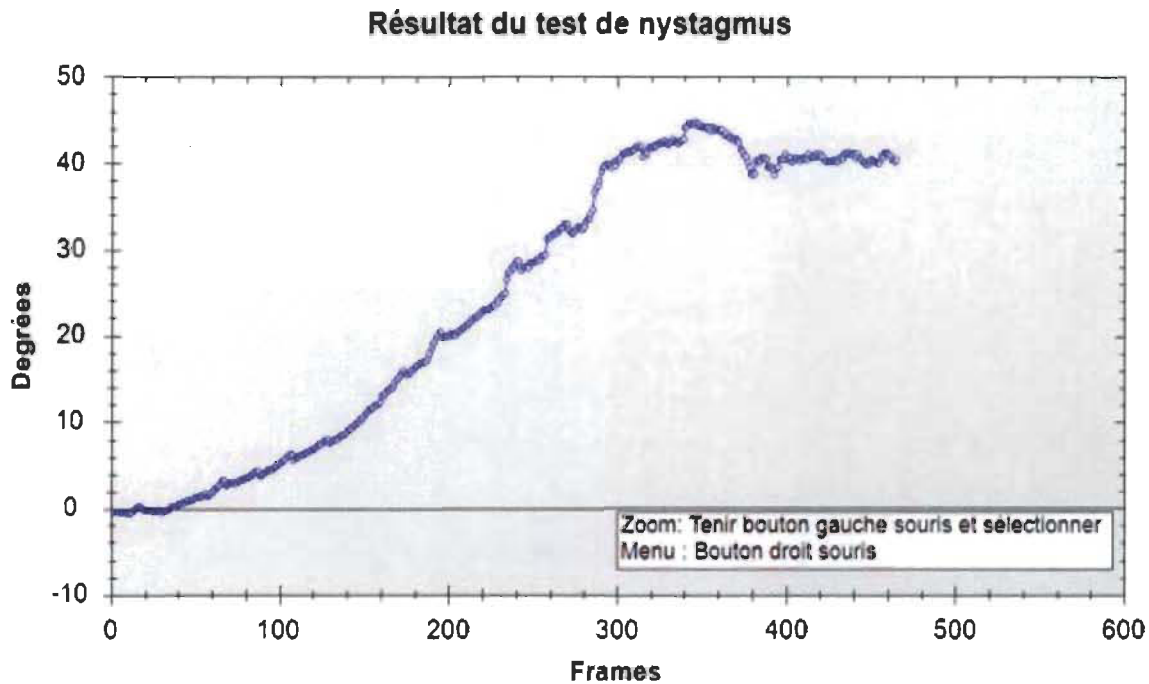


Figure 25 : Résultat du test du nystagmus d'une personne n'ayant consommée aucune substance.

À la figure 28, on constate l'apparition de plusieurs saccades (mouvement involontaire rapide), suivi d'un retour à la position de départ pour les personnes A, B et C avec un taux d'alcoolémie supérieur de 80 mg d'alcool par 100 ml de sang entre l'image 2 et 462 (voir respectivement les figures 29 à 31). Sur ces graphiques, on peut constater la présence de plus de 5 saccades qui ont pour effet de ne pas produire une courbe lisse dans ces graphiques. Ceci s'explique par la présence du phénomène du nystagmus horizontal qui fait que l'œil rebondit et produit un mouvement involontaire rapide lorsqu'il tend à se déplacer horizontalement.

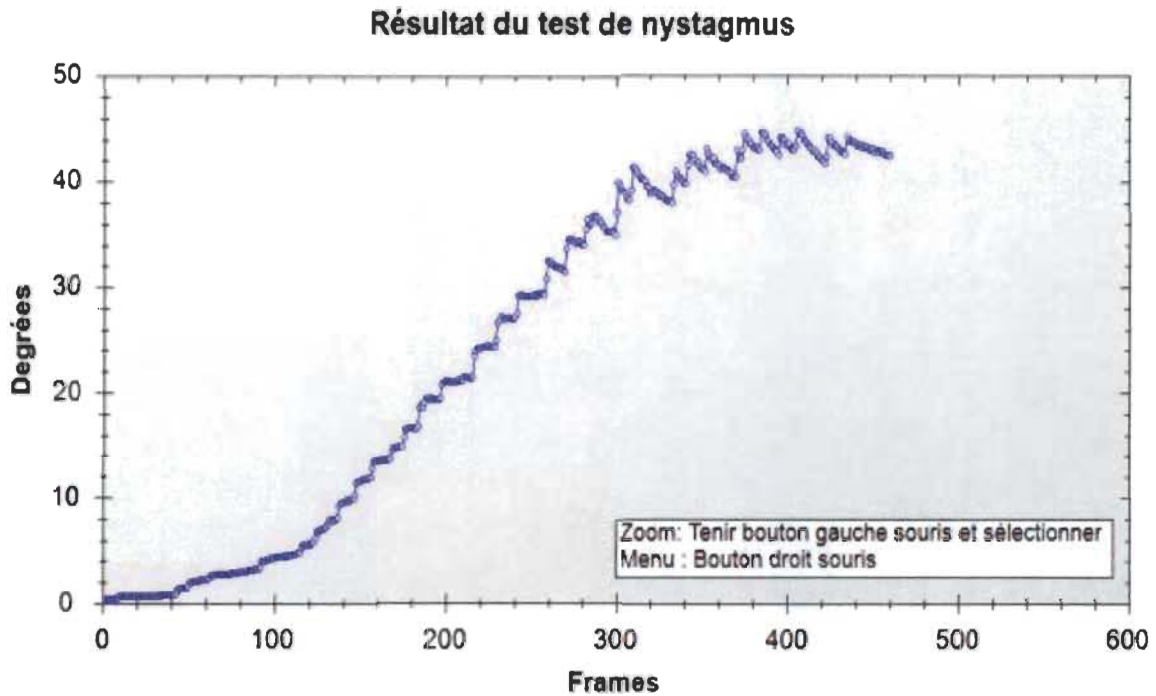


Figure 26 : Résultat du test du nystagmus de la personne A avec un taux d'alcoolémie supérieur de 80 mg d'alcool par 100 ml de sang.

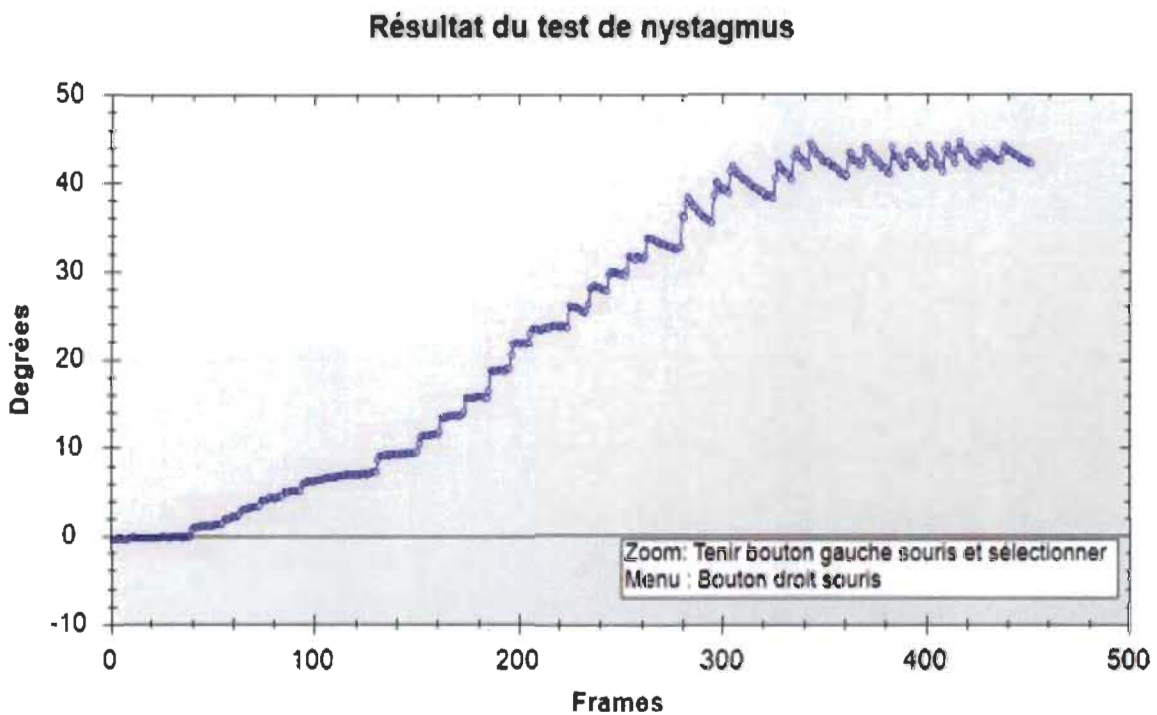


Figure 27 : Résultat du test du nystagmus de la personne B avec un taux d'alcoolémie supérieur de 80 mg d'alcool par 100 ml de sang.

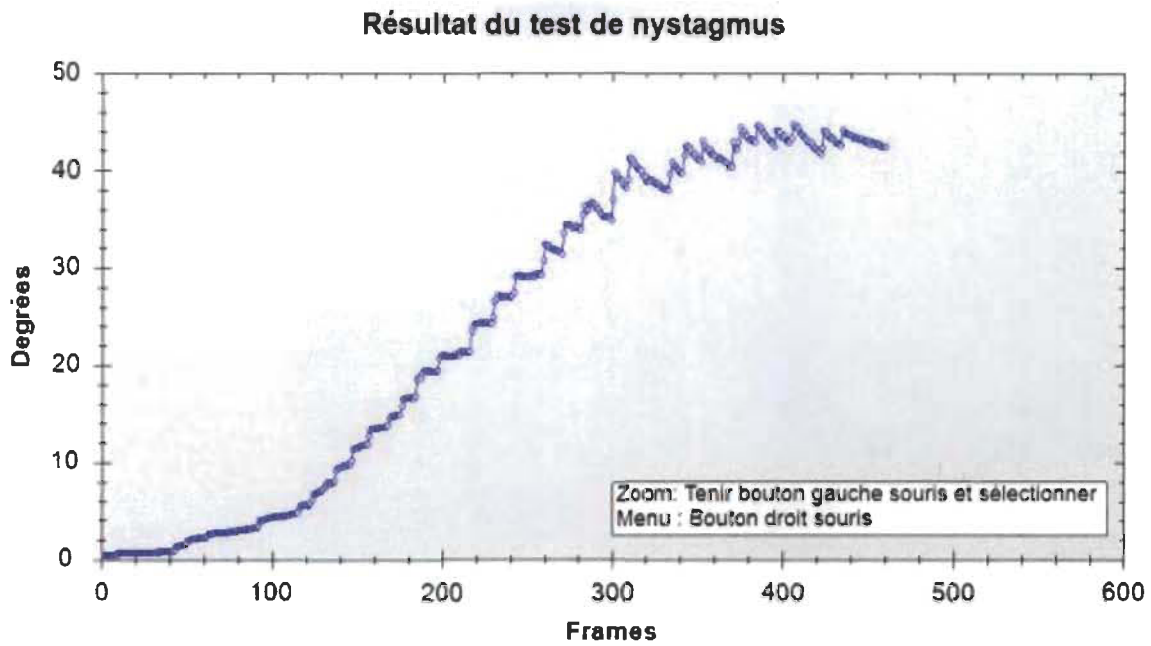


Figure 28 : Résultat du test du nystagmus de la personne C avec un taux d'alcoolémie supérieur de 80 mg d'alcool par 100 ml de sang.

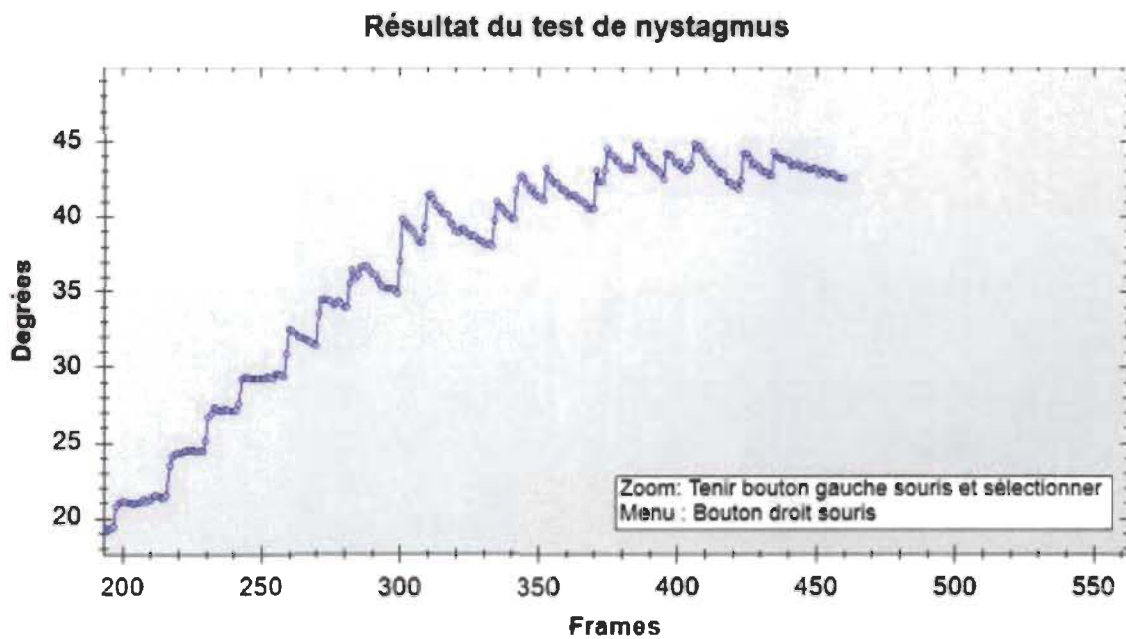


Figure 29 : Mouvement involontaire et saccadé de l'œil entre l'image 250 et 462 de la personne A avec un taux d'alcoolémie supérieur de 80 mg d'alcool par 100 ml de sang.



### Résultat du test de nystagmus

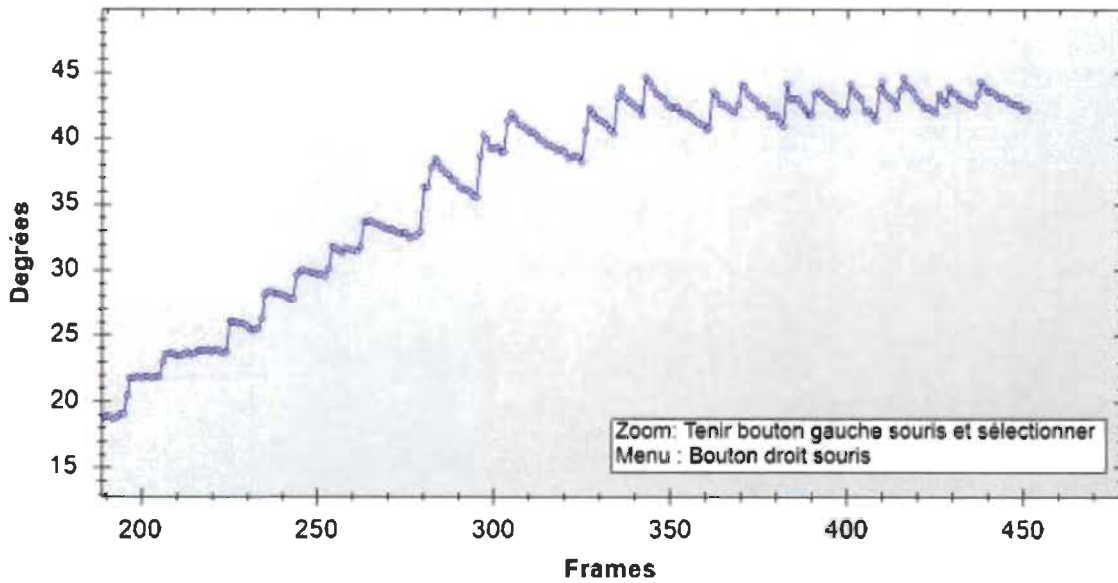


Figure 30 : Mouvement involontaire et saccadé de l'œil entre l'image 250 et 462 de la personne B avec un taux d'alcoolémie supérieur de 80 mg d'alcool par 100 ml de sang.

### Résultat du test de nystagmus

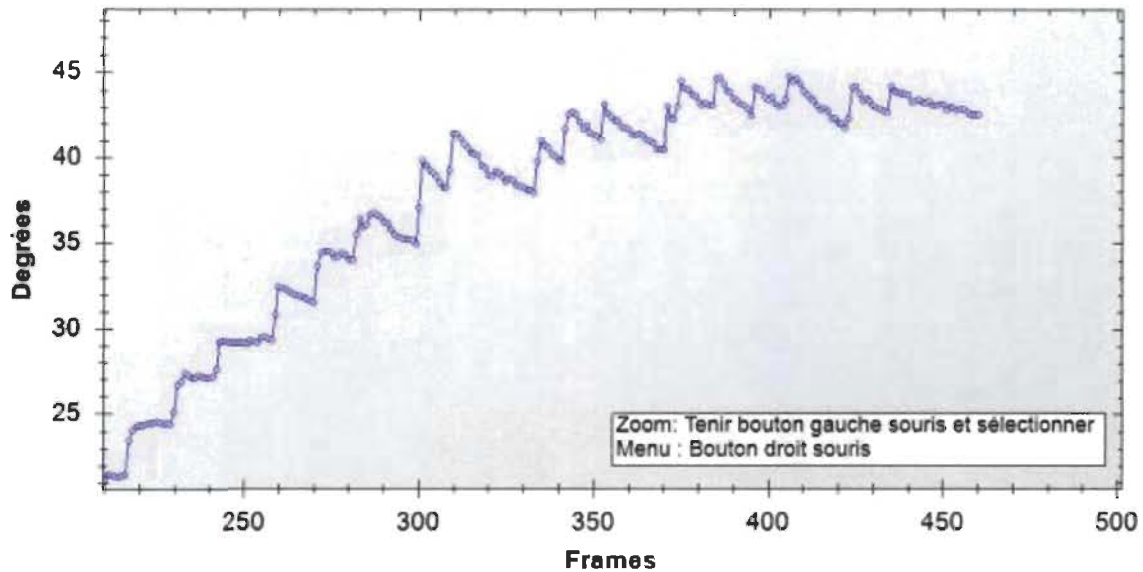


Figure 31 : Mouvement involontaire et saccadé de l'œil entre l'image 250 et 462 de la personne C avec un taux d'alcoolémie supérieur de 80 mg d'alcool par 100 ml de sang.

La détection des pupilles dans les images est très efficace avec un taux de 100 pour 100, corrigeant ainsi les inconsistances et imprécisions de cette détection dans les travaux antérieures [2]. Avec les données extraites des pupilles ( $\Delta x$ ) et les méthodes des moindres carrés

polynomiaux et l'élimination gaussienne, le calcul de l'angle d'orientation de la pupille est aussi très efficace.

Les résultats obtenus nous permettent d'affirmer que les méthodes proposées pour la détection des pupilles et le calcul de l'angle d'orientation ont données des très bons résultats. L'affichage graphique des angles d'orientations en fonction du temps permet de confirmer que la pupille est bien détectée durant le test de nystagmus et permet aussi de confirmer la présence du phénomène du nystagmus horizontal qui s'explique par la présence de plusieurs saccades dans la courbe.

### **4.3 Test de convergence**

Pour le déroulement du test de convergence du regard, la personne concernée doit installer le prototype et suivre un stimulus qui se déplace vers son nez pendant que la capture des images des pupilles s'effectue. Ensuite on doit vérifier si les deux pupilles convergent normalement vers le bout de son nez lorsque le stimulus se rapproche de celui-ci.

Au chapitre 2, on a mentionné que le test de convergence du regard est un test efficace pour détecter les facultés affaiblies par l'alcool. Lorsqu'une personne sous l'influence de l'alcool, des drogues et certains médicaments, ces yeux ne convergeront pas normalement vers le nez, parfois on remarque l'absence de convergence des deux yeux ou de l'un des deux yeux.

La figure 32 nous démontre les résultats du test de convergence de l'œil gauche d'une personne qui n'avait pas les facultés affaiblies. Les résultats de l'œil gauche ont été inversés pour représenter l'œil droit vu qu'on a seulement des vidéos de convergence de l'œil gauche. Les déviations sur le graphique s'expliquent par le fait d'analyser plusieurs images par seconde de la vidéo et la courbe obtenue est presque lisse ce qui explique que le mouvement de l'œil est constant avec le stimulus.

## Résultat du test de convergence

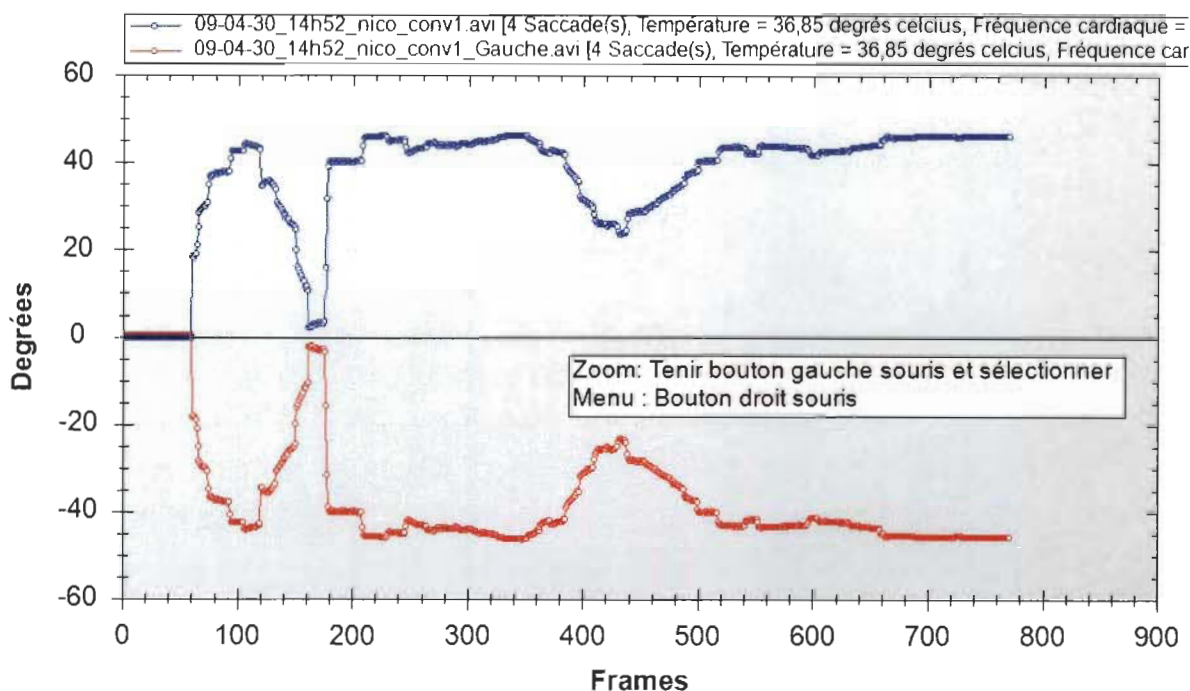


Figure 32 : Résultat du test de convergence d'une personne n'ayant consommée aucune substance.

La figure 33 nous démontre les résultats du test de convergence de l'œil gauche d'une personne avec un taux d'alcoolémie supérieur de 80 mg d'alcool par 100 ml de sang. Les résultats de l'œil gauche ont été inversés pour représenter l'œil droit. Sur ce graphique, on peut constater la présence de plusieurs déviations qui ont pour effet de ne pas produire une courbe lisse dans ce graphique. Ceci confirme clairement que la pupille produit un mouvement involontaire rapide lors qu'il tend à se déplacer.

L'œil gauche devrait avoir un angle d'orientation compris entre 0 et - 45 degrés, puis l'œil droit entre 0 et 45 degrés. Le manque de convergence sera détecté s'il y a la présence des saccades dans le suivi comme le montre la figure 33 et s'il y a une différence de l'angle d'orientation entre l'œil gauche et l'œil droit.

## Résultat du test de convergence

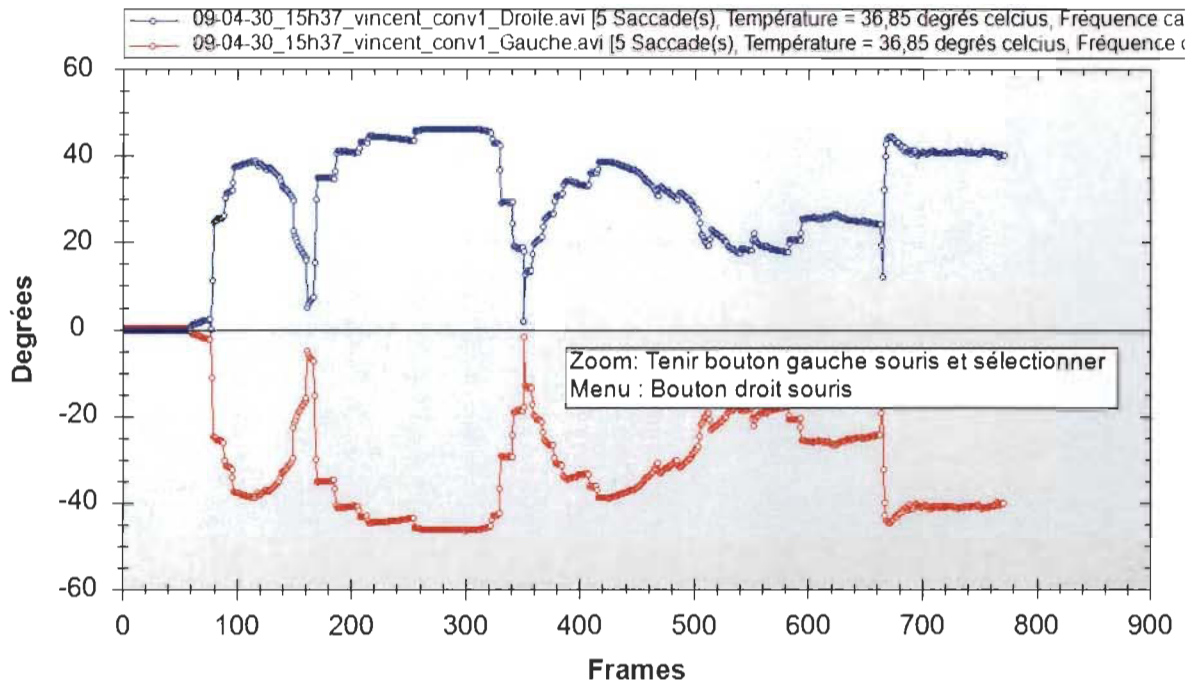


Figure 33 : Résultat du test du nystagmus d'une personne avec un taux d'alcoolémie supérieur de 80 mg d'alcool par 100 ml de sang.

## 4.4 Comparaison des résultats avec les travaux antérieurs

La fiabilité de la méthode proposée doit être démontrée par comparaison avec les résultats obtenus dans les travaux de recherche antérieurs [2].

La figure 34 présente les résultats obtenus d'un déplacement du regard de 0 à 45 degrés lors du test du nystagmus, d'une personne n'ayant consommée aucune substance (travaux antérieurs [2]).

La figure 35 permet d'observer les résultats combinés de trois tests du nystagmus d'une personne n'ayant pas les facultés affaiblies (travaux antérieurs [2]).

La figure 36 présente les résultats du test du nystagmus d'une personne (même consommateur B de la présente étude) ayant un taux d'alcoolémie supérieur à 80 mg d'alcool par 100 ml de sang (travaux antérieurs [2]).

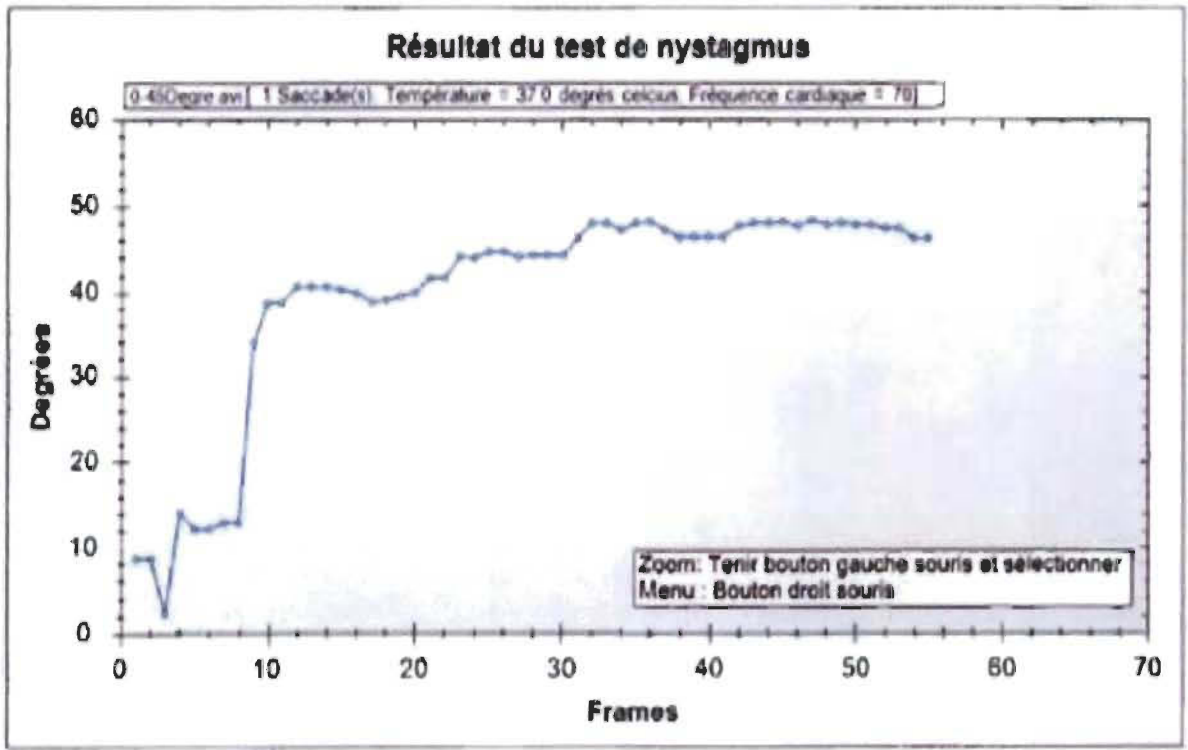


Figure 34 : Résultat du test du nystagmus d'une personne n'ayant consommée aucune substance [2].

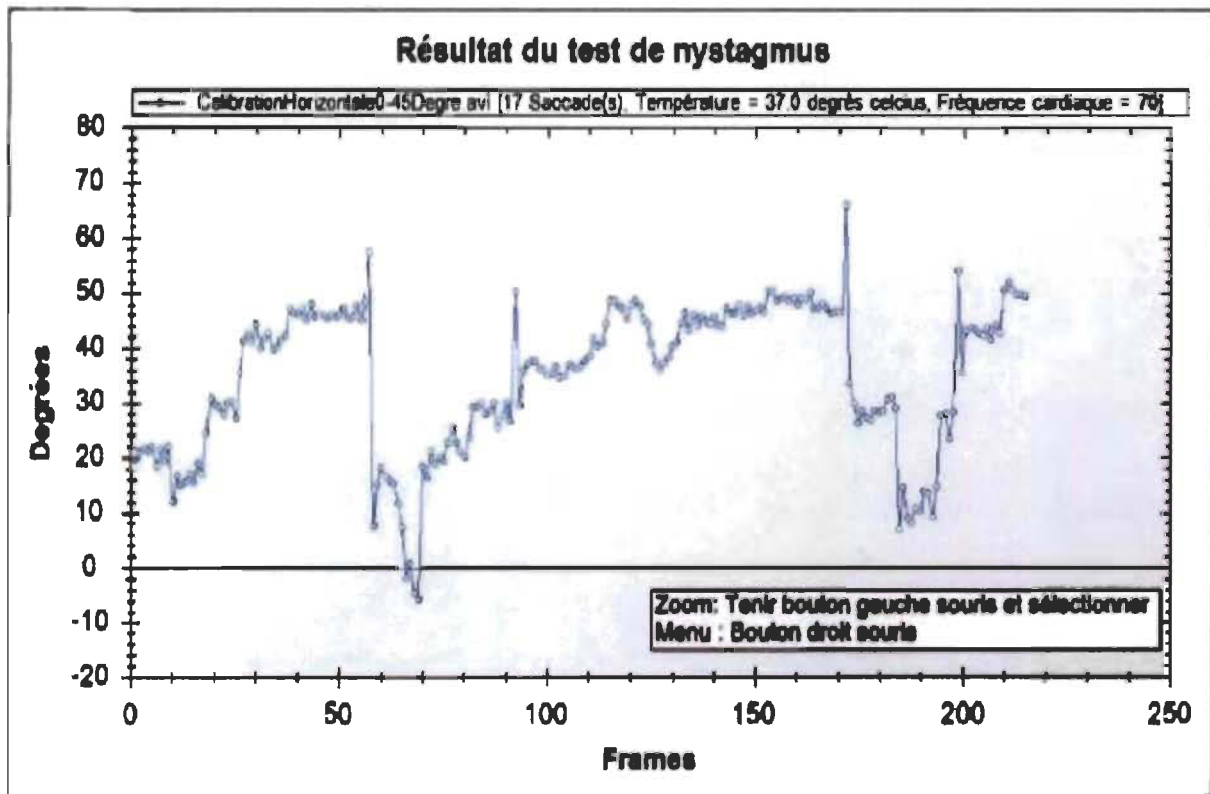


Figure 35: Résultats combinés de trois tests du nystagmus d'une personne n'ayant pas les facultés affaiblies [2].

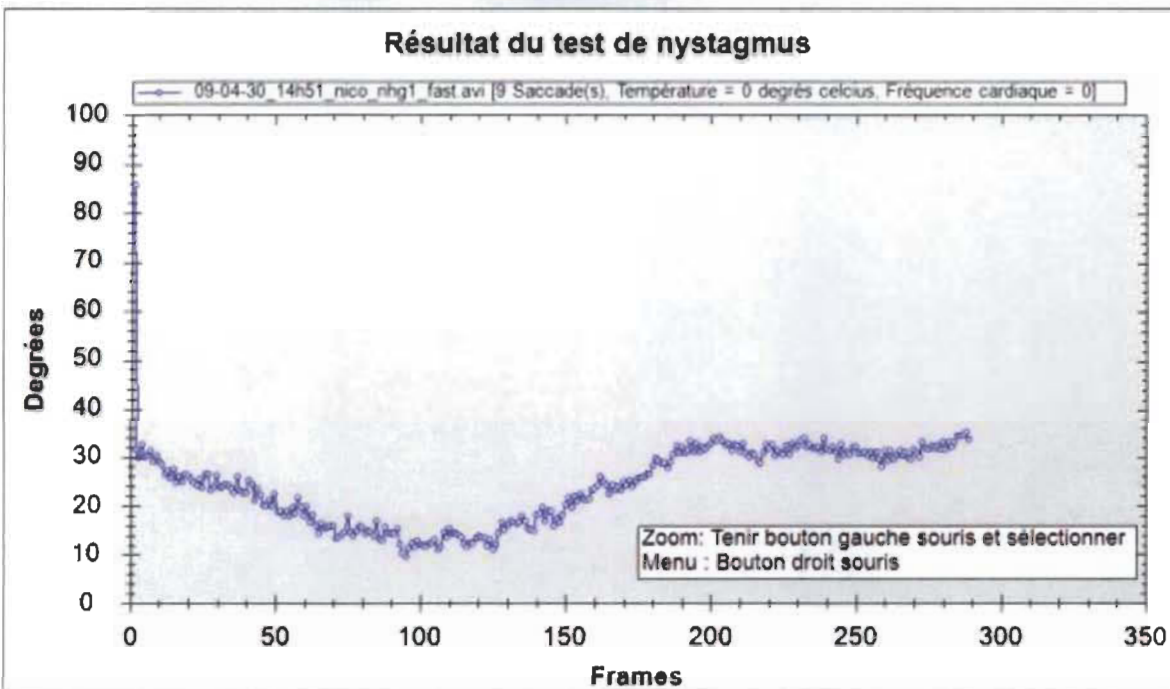


Figure 36 : Résultat du test du nystagmus d'une personne avec un taux d'alcoolémie supérieur à 80 mg d'alcool par 100 ml de sang [2].

En comparant les figures 34 à 36 avec les figures (25 à 31) découlant des expérimentations de la présente recherche, il est évident que la méthode proposée dans le présent mémoire peut se révéler très efficace. L'affichage graphique des angles d'orientation en fonction du temps de ces figures (figures 25 à 31) permet d'abord de confirmer que la détection de la pupille est beaucoup plus précise dans la présente recherche, le calcul de l'angle d'orientation de la pupille est aussi beaucoup plus précis ce qui permet de beaucoup mieux détecter la présence du phénomène du nystagmus horizontal qui s'explique par la présence de plusieurs saccades dans les courbes des figures 26 à 31.

Les améliorations par rapport aux travaux antérieurs [2] de la détection et localisation de la pupille et du calcul de l'angle d'orientation du regard rapportées dans ce mémoire découlent des raisons suivantes :

- 1) En utilisant une région d'intérêt (ROI) plus restreinte autour de la première pupille détectée à partir des premiers frames d'une vidéo et des critères de validation de pupilles plus restrictifs, la présente étude comparativement à celle découlant de travaux antérieurs [2], permet la détection et localisation plus précises des pupilles (voir figure 22).

2) En utilisant le centre  $\Delta x$  des pupilles détectées et l'équation 10, l'angle d'orientation du regard déduit est beaucoup plus précis puisque les centres des pupilles ( $\Delta x$ ) se sont avérés beaucoup plus stables que les paramètres de forme d'ellipse (largeur / hauteur) utilisés dans les travaux antérieurs [2]. Ces derniers étant très sensibles aux variations de forme de la pupille détectée, la forme des pupilles pouvant varier selon la précision de la détection de contour des pupilles.

Les figures 37 et 38 présentent respectivement les résultats du test de convergence de l'œil gauche d'une personne qui n'avait pas les facultés affaiblies (travaux antérieurs [2]) et d'une personne avec un taux d'alcoolémie supérieur à 80 mg d'alcool par 100 ml de sang (travaux antérieurs [2]), les résultats de l'œil gauche ont été inversés pour représenter l'œil droit.

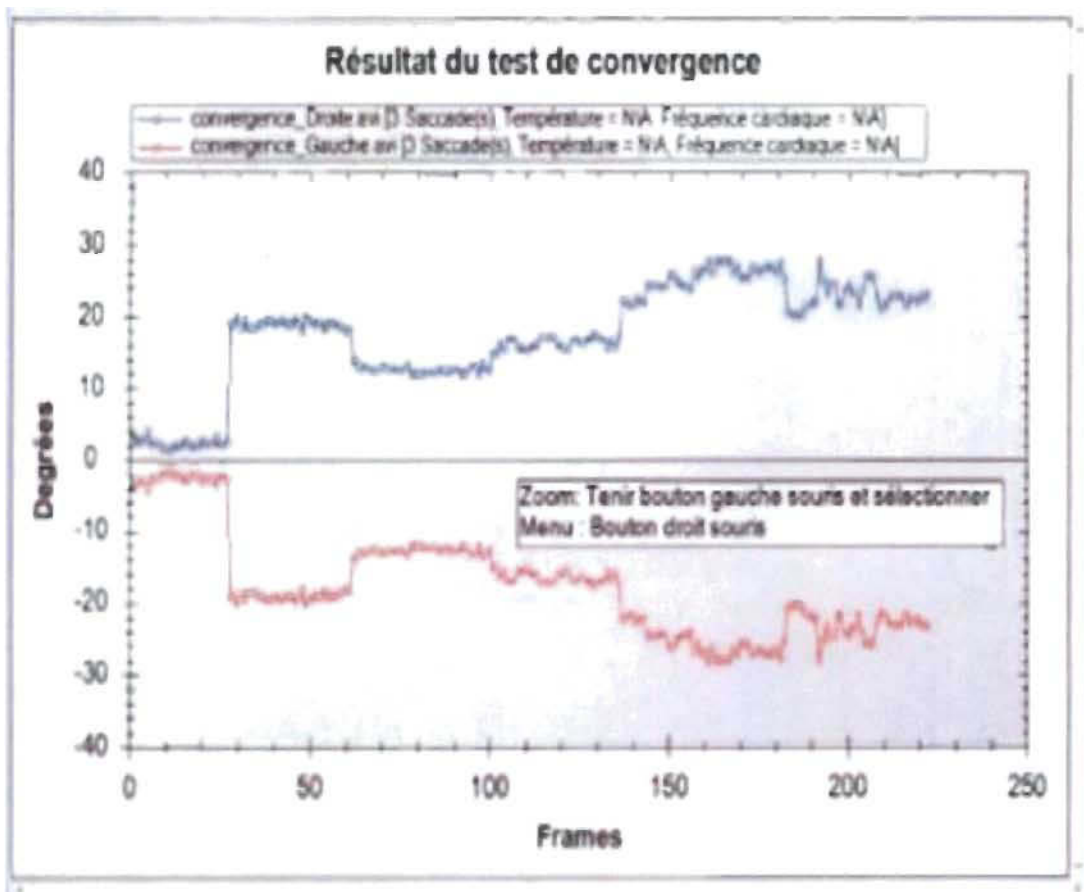


Figure 37 : Test de convergence d'une personne n'ayant consommée aucune substance dans le travail [2].

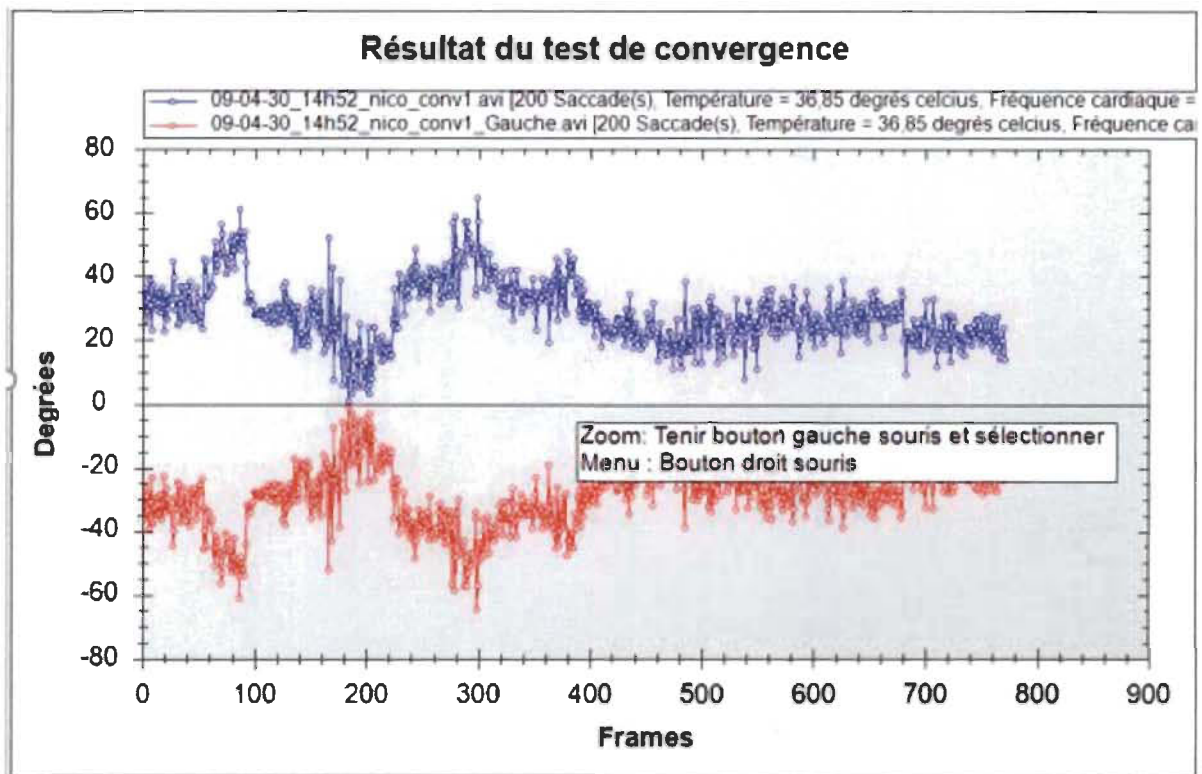


Figure 38 : Résultat du test du nystagmus de la personne B avec un taux d'alcoolémie supérieur à 80 mg d'alcool par 100 ml de sang [2].

En comparant les figures 37 et 38 avec les figures 32 et 33, on peut confirmer que la localisation de la pupille est beaucoup plus précise. L'angle d'orientation de la pupille est par conséquent aussi plus précis puisqu'il est calculé à partir de la position ( $\Delta x$ ) de la pupille qui est elle aussi plus précise. Ceci confirme que la méthode proposée est très efficace, il ne restera plus qu'à le confirmer par l'utilisation des vidéos de l'œil droit pour détecter si il y a une différence de l'angle d'orientation entre l'œil gauche et l'œil droit ce qui pourrait expliquer un manque de convergence.

## 4.4 Conclusion

Les résultats obtenus sont encourageants, la méthode proposée pour la détection de la pupille est beaucoup plus efficace que celle utilisée dans les travaux de recherche antérieurs [2]. Avec les caractéristiques extraites de la pupille détectée et la méthode des moindres carrés et la méthode d'élimination gaussienne, on a réussi à déterminer l'angle d'orientation et déduire la direction du regard et ainsi observer dans le graphique les mouvements involontaires et saccadés des pupilles obtenus pour les tests de nystagmus et de convergence.



Pour le test de convergence, le manque de convergence pourra être détecté en comparant le résultat de l'affichage graphique des angles orientations en fonction du temps de l'œil gauche et celui de l'œil droit.

## Chapitre 5 Conclusion

Dans ce mémoire, nous avons décrit les effets de l'alcool, des drogues et des médicaments sur le corps humain et sur la capacité de conduire. Par la suite, on a décrit en détails les tests de suivi oculaires effectués par les policiers pour la détection des facultés affaiblies. Comme, les tests du nystagmus et de convergence oculaire qui sont très efficaces pour détecter les facultés affaiblies par l'alcool chez un individu.

Nous avons présenté les grandes lignes des approches existantes pour la détection des pupilles, de la direction du regard et les méthodes de calibration existantes qui nous ont permis d'améliorer les approches utilisées dans les travaux antérieurs [2].

Ensuite, nous avons présenté les méthodes utilisées pour la détection des pupilles et le calcul de l'orientation du regard et les résultats qui y sont associés. Une approche par seuillage a été utilisée pour la détection de la pupille et les méthodes des moindres carrés polynomiaux et d'élimination gaussienne ont permis de calculer l'angle d'orientation de la pupille de façon très précise.

La présente recherche a permis d'améliorer la détection / localisation des pupilles ainsi que le calcul de l'angle d'orientation du regard et ce en utilisant d'une part une approche de détection / localisation beaucoup plus restrictive et rigoureuse que celle introduite dans les travaux antérieurs [2] et en basant d'autre part le calcul des angles d'orientation de la pupille (équation 10) sur la position des centres ( $\Delta x$ ) des pupilles plutôt que les paramètres de forme (largeur / longueur) des ellipses d'approximation des contours des pupilles utilisées dans l'étude antérieure [2].

En analysant les résultats obtenus, plusieurs améliorations possibles pourraient être apportées dans les prochaines recherches, en particulier sur le test de convergence. Avec un éclairage efficace et une bonne résolution d'image, la qualité de détection des saccades et du suivi du regard pourraient être améliorés.

Toutefois, il pourrait s'avérer utile dans le cadre d'un futur projet de recherche d'étudier des sujets ayant des facultés affaiblies par les drogues, comme le cannabis ou les opiacés. Il suffirait

d'avoir des séquences vidéo permettant de faire une analyse pour détecter la présence de drogues lors des tests du nystagmus et de la convergence oculaire.

Avec les résultats obtenus nous sommes en mesure d'affirmer que dans un avenir rapproché les policiers pourraient avoir un système efficace de détection des facultés affaiblies. De plus, il est également possible d'appliquer les approches utilisées dans ce projet de recherche à d'autres domaines tels que la détection des facultés de conduire des conducteurs de camions ou de la capacité d'opérer de la machinerie lourde.

## Références

- [1] David Laperrière, Automatisation de tests symptomatiques liés au comportement oculaire pour la détection de facultés affaiblies par l'alcool ou les drogues, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, 2006.
- [2] Dominic Adam Automatisation et analyse des résultats de tests symptomatiques liées au comportement oculaire pour la détection de facultés affaiblies par l'alcool ou les drogues, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, 2012.
- [3] Société de l'assurance automobile du Québec, L'alcool et les drogues au volant, <https://saaq.gouv.qc.ca/fileadmin/documents/publications/espace-recherche/stats-alcool-drogues-profil-detaille.pdf>. (Consulté //07/2018).
- [4] Société de l'assurance automobile du Québec, Les médicaments et les drogues, <http://www.saag.gouv.gc.ca/prevention/alcool/comprendre/drogues.php>. (Consulté //07/2018).
- [5] Société de l'assurance automobile du Québec, La conduite avec les facultés affaiblies par l'alcool, <http://www.saag.gouv.gc.ca/prevention/alcool>. (Consulté //08/2018).
- [6] Cannabis, [En ligne]. <http://psydoc-fr.broca.inserm.fr/toxicomanies/toxicomanie/>.
- [7] Société de l'assurance automobile du Québec, Les médicaments et les drogues, <http://www.saag.gouv.gc.ca/prevention/alcool/comprendre/drogues.php>. (Consulté //07/2018).
- [8] Institut national de santé publique du Québec, Les effets du cannabis sur la conduite automobile. [https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/2044\\_effets\\_cannabis\\_conduite\\_automobile.pdf](https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/2044_effets_cannabis_conduite_automobile.pdf). (Consulté //07/2018).
- [9] Société de l'assurance automobile du Québec, Effets des drogues et des médicaments sur la conduite.
- [10] Cannabis et conduite au Québec, <https://yapasdpresse.blogspot.com/2013/08/cannabis-et-conduite-automobile-au.html>. (Consulté //09/2018).

[11] Médicaments et conduite, [En ligne]. <http://www.securite-routiere.gouv.fr/conseils-pour-une-route-plus-sure/conseils-pratiques/ma-conduite/medicaments-et-conduite>.

(Consulté //09/2018).

[12] SFA/ispa (2004), Alcool, drogues illégales, médicaments et circulation routière, [http://www.prevention.ch/circulation\\_routiere.pdf](http://www.prevention.ch/circulation_routiere.pdf). (Consulté //09/2018).

[13] Karl Citek, Bret Ball and Dale A. Rutledge, Nystagmus testing in intoxicated individuals. *Optometry*, 2003.74(11), pp. 695-710.

[14] M. Burns, Oculomotor and Pupil Tests to Identify; Alcohol Impairment. *Alcohol, Drugs and Traffic Safety*, 1995. 2.

[15] F. Mulvey, A. Villanueva, D. Sliney, R. Lange, S. Cotmore et M Donegan, exploration of safety issues in eyetracking. In *Communication by Gaze Interaction (COGAIN)*, IST- 2003-511598: Deliverable 5.4. 16.

[16] B. Noris, K Benmachiche et A Billard, Calibration-free eye gaze direction detection with gaussian processes. In *International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP)*, (2008), pp. 611–616. 24.

[17] Y. Ebisawa and S. Satoh, Effectiveness of pupil area detection technique using two light sources and image difference method. *IEEE International Conference on Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS)*, 1993, pp. 1268–1269. 16.

[18] R. Stiefelhagen, J. Yang, and A. Waibel, A model-based gaze tracking system. In *IEEE International Joint Symposia on Intelligence and Systems*, 1996, pp. 304–310. 16.

[19] J. S. Babcock et J. B Pelz, Building a lightweight eyetracking headgear. In *ACM Symposium on Eye Tracking Research and Applications (ETRA)*, (2004), pp. 109–114. 16.

[20] M. A. Fischler et R. C Bolles, Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. In *Commun. ACM*, 1981, vol. 24, pp. 381–395.

[21] D. Li, D. Winfield and DParkhurst, Starburst: A hybrid algorithm for video-based eye tracking combining feature-based and model-based approaches. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition - Workshop (CVPR-W)*, 2005, pp. 16-17.

- [22] L. Young et D. Sheena, Methods and designs: Survey of eye movement recording methods. *Behavior Research Methods and Instruments*, 1975, 7: pp. 97–429. 19.
- [23] J. Merchant, R. Morrissette et J. Porterfield, Remote measurements of eye direction allowing subject motion over one cubic foot of space. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 1974, 21: pp. 309–317. 19.
- [24] C. H Morimoto, D. Koons, A. Amir et M. Flickner, Pupil detection and tracking using multiple light sources, 2000, 18: pp. 331–335. 19.
- [25] D. W. Hansen, J. S. Agustin and A. Villanueva, Homography Normalization for Robust Gaze Estimation in Uncalibrated setups *Proc. of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, 2010, pp. 13-20.
- [26] H. Yamazoe, A. Utsum, T. Yonezawa and S. Abe, Remote Gaze Estimation with a Single Camera Based on Facial-Feature Tracking without Special Calibration Actions *Proceedings of the Eye Tracking Research & Application Symposium ETRA 2008*, Savannah, Georgia.
- [27] I. Taba, Improving Eye-Gaze Tracking Accuracy Through Personalized Calibration of a User's Aspherical Corneal Model, MS Thesis, 2012, University of British Columbia.
- [28] X-H. Yang, J-D. Sun, J. Liu, X-C. Li, C-X. Yang and W. Liu, A Remote Gaze Tracking System Using Gray-Distribution-Based Video Processing, *Journal of Biomedical Engg: Applns, Basis & Communications*, 2012, 24(3): pp. 217-227.
- [29] X.L.C. Brolly and J.B. Mulligan, Implicit calibration of a remote gaze tracker, *Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop (CVPRW '04)*, 2004, Volume 8, pp. 134.
- [30] J. J. Cerrolaza, A. Villanueva and R. Caveza, Study of polynomial mapping functions in videooculography eye trackers. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 2012, 19, Article 10, 25.
- [31] E. Demjen, V. Abosi and Tomori, Eye Tracking Using Artificial Neural Networks for Human Computer Interaction, *Physiological Research*, 2011.
- [32] F. Lu, Y. Sugano, O. Takahiro and Y. Sato, A head pose-free approach for appearance-based gaze estimation, 2011, in *Proc. of the 22nd British Machine Vision Conf.*
- [33] Y. Sugano, Y. Matsushita, Y. Sato and H. Koike, An Incremental Learning Method for Unconstrained Gaze Estimation, 2008, *ECCV*: pp. 656-667.

[34] Wikipedia, <http://fr.wikipedia.org/wiki/OpenCV>. (Consulté //10/2018).

[35] Find a linear least square fit for a set of points in c#,

<http://csharpHelper.com/blog/2014/10/find-a-polynomial-least-squares-fit-for-a-set-of-points-in-c/>. (Consulté //03/2018).

[36] Tests de sobriété normalisés (TSN), <http://aideerd.ca/tests-de-sobriete-normalises/>.

(Consulté //10/2018).

[37] Evaluation de l'expert en reconnaissance de drogues, <http://www.rcmp-grc.gc.ca/ts-sr/dree-eert-fra.htm>. (Consulté //11/2018).

[38] L'alcool au volant, <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/0810424.pdf>.

(Consulté //11/2018).

[39] D. W. Hansen, J. San Agustin and A. Villanueva, Homography normalization for robust gaze estimation in uncalibrated setups. In ACM Symposium on Eye Tracking Research and Applications (ETRA), 2010, pp. 13–20. 23.