




OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible

This is an author's version published in: <https://oatao.univ-toulouse.fr/27496/>

Gillet, Candice . *Validation d'une méthode de lecture de bandelettes urinaires pour chat par une application de smartphone.* Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 2020, 123 p.

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

ANNEE 2020 THESE : 2020 – TOU 3 – 4006

VALIDATION D'UNE METHODE DE LECTURE DE BANDETTES URINAIRES POUR CHAT PAR UNE APPLICATION DE SMARTPHONE

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

Candice GILLET
Née, le 15 juillet 1995 à Viriat (01)

Directeur de thèse : **M. Didier CONCORDET**

JURY

PRESIDENT :
Mme Peggy GANDIA

Professeure à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :
M. Didier CONCORDET
M. Alain BOUSQUET-MELOU

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

ANNEE 2020 THESE : 2020 – TOU 3 – 4006

VALIDATION D'UNE METHODE DE LECTURE DE BANDETTES URINAIRES POUR CHAT PAR UNE APPLICATION DE SMARTPHONE

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

Candice GILLET
Née, le 15 juillet 1995 à Viriat (01)

Directeur de thèse : **M. Didier CONCORDET**

JURY

PRESIDENT :
Mme Peggy GANDIA

Professeure à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :
M. Didier CONCORDET
M. Alain BOUSQUET-MELOU

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

Directeur : Professeur Pierre SANS

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie - Thérapeutique*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

PROFESSEURS 1° CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie Vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootechne*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **HAGEN-PICARD, Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

PROFESSEURS 2° CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
- M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales (ruminants)*

PROFESSEURS CERTIFIÉS DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

- Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
- M. **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

MAÎTRES DE CONFÉRENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*

- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
 M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
 M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
 M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
 Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*
 Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
 M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
 Mme **BENNIS-BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
 Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
 Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
 M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
 M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
 Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie- Bactériologie-Pathologie infectieuse*
 Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et Industrie des aliments*
 Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*
 M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
 Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
 Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*
 Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie - Analgésie*
 Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*
 Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
 M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
 M. **LHERMIE Guillaume**, *Economie de la santé animale*
 M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
 Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*
 Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
 M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
 Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
 Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles et porcins*
 M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire – Maladies animales règlementées*
 Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT CONTRACTUELS

- M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et Industrie des aliments*
 M. **LEYNAUD Vincent**, *Médecine interne*
 Mme **ROBIN Marie-Claire**, *Ophthalmologie*
 Mme **ROMANOS Lola**, *Pathologie des ruminants*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

- Mme **BLONDEL Margaux**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
 M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie-Imagerie médicale*
 M. **COMBARROS-GARCIA Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*
 M. **GAIDE Nicolas**, *Histologie, Anatomie Pathologique*
 M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
 M. **LESUEUR Jérémy**, *Gestion de la santé des ruminants – Médecine collective de précision*
 M. **TOUITOU Florian**, *Alimentation animale*

REMERCIEMENTS

A Madame la Professeure Peggy Gandia

Professeure de la Faculté des sciences pharmaceutiques, Toulouse III.
Qui me fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse.

A Monsieur le Professeur Didier Concordet

Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.

Biostatistiques.

Pour son aide dans la réalisation de ce travail, sincères remerciements.

A Monsieur le Professeur Alain Bousquet-Mélou

Professeur de l'Ecole Nationale vétérinaire de Toulouse.

Pharmacologie-Thérapeutique.

Pour sa participation bienveillante à ce jury de thèse.

Au Docteur Vincent Leynaud, pour sa bonne humeur lors de la réalisation des manipulations et son aide précieuse dans la rédaction de cette thèse, merci.

Je remercie également la Société Nov&Sat de m'avoir fait confiance pour la réalisation de cette étude préliminaire. J'espère que ce projet arrivera à voir le jour.

A mon p  p   et ma m  m  , merci de m'avoir transmis cette passion pour les animaux.

A mes parents, mon frère, Benjamin, ma famille et mes amis qui de près ou de loin m'ont soutenue durant ces 7 années et ont permis la réalisation de ce rêve de petite fille.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES ILLUSTRATIONS	13
INTRODUCTION.....	17
PREMIERE PARTIE : L'ANALYSE D'URINE CHEZ LE CHAT	19
I. L'échantillon d'urine : prélèvement et conservation	22
1. Les méthodes de prélèvement.....	22
1.1. La miction naturelle	22
1.2. Le taxis vésical.....	22
1.3. Le cathétérisme des voies urinaires	23
1.4. La cystocentèse.....	24
1.5. Avantages et inconvénients	24
2. Conservation de l'échantillon.....	25
II. Analyse physico-chimique	26
1. Évaluation macroscopique.....	26
1.1. Couleur de l'urine	26
1.2. Transparence de l'urine.....	26
2. Analyse de la densité urinaire	26
2.1. Diminution de la densité urinaire : hyposthénurie.....	27
2.2. Isosthénurie.....	27
3. Analyse par bandelette urinaire	28
3.1. pH	28
<i>i.</i> <i>Méthode de mesure par la bandelette urinaire</i>	<i>29</i>
<i>ii.</i> <i>Interprétation</i>	<i>29</i>
3.2. Les protéines.....	30
<i>i.</i> <i>Méthode de mesure par la bandelette urinaire</i>	<i>31</i>
<i>ii.</i> <i>Modification de la plage évaluant les protéines sur la bandelette.....</i>	<i>31</i>
<i>iii.</i> <i>Interprétation</i>	<i>32</i>
3.3. Le glucose	33
<i>i.</i> <i>Méthode de mesure par la bandelette urinaire</i>	<i>33</i>
<i>ii.</i> <i>Interprétation</i>	<i>34</i>
3.4. Les corps cétoniques.....	35
<i>i.</i> <i>Méthode de mesure par la bandelette urinaire</i>	<i>35</i>
<i>ii.</i> <i>Interprétation</i>	<i>35</i>
3.5. La bilirubine	36

<i>i.</i>	<i>Méthode de mesure par la bandelette urinaire</i>	37
<i>ii.</i>	<i>Interprétation</i>	37
3.6.	Les hématies, l'hémoglobine	38
<i>i.</i>	<i>Méthode de mesure par la bandelette urinaire</i>	38
<i>ii.</i>	<i>Interprétation</i>	38
III.	Analyse du sédiment urinaire	40
1.	Méthode de lecture	40
2.	Hématurie	41
3.	Leucocytes	41
4.	Cellules épithéliales	42
5.	Bactéries.....	42
6.	Cylindres.....	42
7.	Les cristaux.....	44
7.1.	Les PAM (Phosphate Ammoniac Magnésien) ou struvites.....	44
7.2.	Les cristaux d'oxalate de calcium	45
7.3.	Les cristaux d'urate d'ammonium	45
7.4.	Les cristaux de bilirubine.....	46
7.5.	Les cristaux de cystine	46
	DEUXIEME PARTIE : COLORIMETRIE APPLIQUEE A L'ANALYSE D'URINE	47
I.	Principe de la colorimétrie.....	49
1.	Fondements de la colorimétrie	49
2.	Les différents espaces colorimétriques.....	49
2.1.	Le système de primaires RVB CIE 1931.	50
<i>i.</i>	<i>Courbe colorimétrique RVB</i>	50
<i>ii.</i>	<i>Diagramme de l'espace couleur RVB CIE 1931</i>	50
2.2.	L'espace couleur XYZ CIE 1931 et XYZ CIE 1964	51
<i>i.</i>	<i>Les fonctions colorimétriques de l'espace couleur XYZ CIE 1964</i>	51
<i>ii.</i>	<i>Le diagramme de chromaticité xyY</i>	52
2.3.	L'espace couleur HSV ou TSV	53
2.4.	L'espace couleurs CIELAB	54
<i>i.</i>	<i>Les coordonnées et l'espace CIE L*a*b*</i>	54
<i>ii.</i>	<i>Les distances couleur</i>	55
II.	Les limites de la perception visuelle dans la lecture des bandelettes urinaires	56
1.	Principes physiques de la perception visuelle	56
2.	Lecture de bandelette de test colorimétrique à l'œil nu.....	56

3.	Variations individuelles de la perception visuelle	57
4.	Utilisation des analyseurs automatique pour l'analyse urinaire.....	58
III.	L'utilisation du smartphone pour la lecture colorimétrique de bandelettes urinaires	58
1.	Les difficultés à prendre en compte dans le développement de l'application	59
1.1.	Gestion de la luminosité extérieure	59
	<i>i. Influence de la luminosité extérieure sur la lecture colorimétrique</i>	<i>59</i>
	<i>ii. Les solutions possibles pour s'affranchir de ce problème.....</i>	<i>59</i>
1.2.	Repérer correctement la bandelette urinaire.....	61
2.	Fonctionnement des applications de lecture de bandelettes urinaires	64
2.1.	Acquisition de l'image et extraction des données.....	64
2.2.	Analyse des données	65
TROISIEME PARTIE : COMPARAISON DES RESULTATS D'ANALYSE DE BANDELETTES URINAIRES ENTRE UN ANALYSEUR DE REFERENCE ET UNE APPLICATION SMARTPHONE.....		
		69
I.	Matériels et méthodes	71
1.	Solution de contrôle	71
1.1.	Solutions de contrôle négatif et positif commerciales	71
1.2.	Solution à concentrations pertinentes (urine de synthèse)	72
2.	Bandelettes urinaires	73
2.1.	Les bandelettes urinaires utilisées.....	73
2.2.	Procédure d'utilisation des bandelettes	74
3.	Lecture des bandelettes par l'automate.....	74
3.1.	Principe de lecture de l'automate.....	74
3.2.	Obtention des résultats de l'analyse de la bandelette	75
4.	Lecture des bandelettes urinaires par l'application smartphone	76
4.1	Dispositif.....	76
4.2.	L'application d'analyse de la bandelette urinaire.....	77
4.3.	Obtention des résultats de l'analyse de la bandelette	78
5.	Recueil des résultats.....	79
6.	Statistiques.....	79
II.	Résultats.....	80
1.	Solution de contrôle négatif	80
1.1.	Résultats de la plage « protéines »	80
1.2.	Résultats de la plage « sang »	81
1.3.	Résultats pour la plage « glucose »	81

1.4.	Résultats pour les plages « corps cétoniques » et « bilirubine »	82
2.	Solution de contrôle positif.....	82
2.1.	Résultats pour la plage « sang ».....	82
2.2.	Résultats pour la plage « glucose »	83
2.3.	Résultats pour la plage « corps cétoniques »	83
2.4	Résultats pour les plages « protéines » et « bilirubine »	84
3.	Urine de synthèse	84
3.1.	Résultats pour la plage « protéines ».....	84
3.3.	Résultats pour la plage « glucose »	85
3.4.	Résultats pour la plage « corps cétoniques »	86
3.5.	Résultats pour la plage « bilirubine »	87
4.	Étude globale des trois solutions	87
III.	Discussion	88
1.	Efficacité de l'application smartphone « Caremitou ®»	88
2.	Faisabilité de la lecture de bandelette urinaire chez le propriétaire.....	88
2.1.	Récolte de l'urine.....	89
2.2.	Analyse d'urine	89
3.	L'application ne remplace pas une visite vétérinaire	90
	CONCLUSION	93
	Bibliographie	95
	ANNEXES	99

Liste des annexes :

Annexe 1 : Résultats obtenues avec l'analyseur de référence et l'application smartphone pour la solution de contrôle négatif.....	99
Annexe 2 : Résultats obtenues avec l'analyseur de référence et l'application smartphone pour la solution de contrôle positif.	108
Annexe 3 : Résultats obtenues avec l'analyseur de référence et l'application smartphone pour la solution d'urine de synthèse	116

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figures :

Figure 1 : Procédure de réalisation d'une analyse urinaire (Reine et Langston 2005).	21
Figure 2 : Réalisation de la cathétérisation des voies urinaires chez le chat – 2a : le pénis est en position physiologique rendant le sondage compliqué 2b – orientation du pénis afin de permettre la cathétérisation (Osborne et Stevens 1999).	23
Figure 3 : Réalisation d'une cystocentèse « à l'aveugle » chez le chat (Maurey 2005).	24
Figure 4 : Filtration et réabsorption rénale des protéines (Lacour 2013).	30
Figure 5 : Réaction enzymatique de la plage « Glucose » de la bandelette urinaire (Arnaut de Toledo <i>et al.</i> 2012).	34
Figure 6 : Métabolisme de la bilirubine (Strasinger et Dilorenzo 2008).	37
Figure 7A : Hématurie ; 7B : hémoglobinurie ou myoglobinurie (Chew et DiBartola 1998).	40
Figure 8 : Identification des hématies et des leucocytes sur une analyse microscopique d'urine entre lame et lamelle (Rizzi 2014).	41
Figure 9 : Identification des cellules squameuses sur une analyse microscopique d'urine entre lame et lamelle, objectif x40 (Laboratoire central de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse).	42
Figure 10 : Cristaux de struvite dans l'urine de chat observés au microscope, objectif x40 (Laboratoire central de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse).	44
Figure 11 : Cristaux d'oxalate de calcium 11A : dihydraté, 11B : monohydraté dans l'urine de chat observés au microscope, objectif x40 (Laboratoire central de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse).	45
Figure 12 : Cristaux d'urate d'ammonium dans l'urine de chat observés au microscope, objectif x40 (Laboratoire central de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse).	45
Figure 13 : Cristaux de bilirubine dans l'urine de chat observés au microscope, objectif x40 (Laboratoire central de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse).	46
Figure 14 : Cristaux de bilirubine dans l'urine de chat observés au microscope, objectif x40 (Laboratoire central de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse).	46
Figure 15 : Fonctions colorimétriques du système RVB CIE 1931 (Trémeau 2006).	50
Figure 16 : Diagramme de chromaticité de l'espace couleur RVB (Ding <i>et al.</i> 2013).	51
Figure 17 : Fonctions colorimétriques du système XYZ CIE 1931 2° (Trémeau 2006).	52
Figure 18: Diagramme de chromaticité dans le plan xy à Y constant (Chandler 2016).	53
Figure 19 : Représentation en trois dimensions de l'espace couleur TSV (Chang <i>et al.</i> 2010).	54
Figure 20 : Représentation de l'espace couleur CIE L*a*b* (Ryan <i>et al.</i> 2018).	55
Figure 21 : Comparaison des résultats obtenus sur la bandelette avec la plaquette de référence (Notice d'utilisation bandelette urinaire URITOP®).	56
Figure 22 : Adaptation du diamètre pupillaire en fonction de l'âge selon la luminosité (Weale 1961).	57

Figure 23 : Effet de la source lumineuse sur la couleur des tampons de la bandelette urinaire A : lampe fluorescente, B : lumière extérieure, : lumière de faible intensité (Hong et Chang 2014).	59
Figure 24 : Utilisation d'un système où le test est placé à côté d'un référentiel couleur (Karlsen et Dong 2017).	60
Figure 25: Utilisation d'un système en plexiglass ® blanc avec emplacement pour la caméra du smartphone (Jalal <i>et al.</i> 2017).	60
Figure 26 : Utilisation d'un système de boîtier équipé d'un système LED pour créer une lumière blanche uniforme (Yang <i>et al.</i> 2018).	61
Figure 27 : Interface de l'application de lecture de bandelette urinaire, A : photo de chaque tampons, B : extraction et recadrage d'un tampon, C : choix de l'analyte par l'utilisateur (Jalal <i>et al.</i> 2017).	62
Figure 28 : Détection des coins par la transformation de Hough afin de s'affranchir de la perspective (Karlsen et Dong 2017).	63
Figure 29 : Détection de la bandelette urinaire A : détection du motif périodique, B : détection des deux marques rectangulaires, C : image résultant de la reconnaissance automatique (Hong et Chang 2014).	64
Figure 30 : Position du smartphone et de l'utilisateur en fonction de la source lumineuse a : smartphone positionné parallèlement à la bandelette urinaire, b : smartphone placé avec un angle pour éviter les ombres (Karlsen et Dong 2017).	65
Figure 31 : Mesure des distances couleurs entre le tampon test et les couleurs de références (Ryan <i>et al.</i> 2018).	66
Figure 32 : Gammes de concentrations et leurs couleurs respectives présentées sur les bandelettes urinaires testées (URIT series urine reagent strips 14G).	73
Figure 33 : Schéma de la structure de l'automate.	75
Figure 34 : Résultats imprimés par le lecteur automatique de bandelette urinaire Urit 31 Vet analyzer.	75
Figure 35 : Plaque avec les couleurs de référence et un emplacement pour déposer la bandelette urinaire au centre.	76
Figure 36 : Dispositif permettant de maintenir une distance et une luminosité constante pour assurer la reproductibilité des expériences.	77
Figure 37 : Interface de l'application Caremitou.	78
Figure 38 : Résultats donnés par l'application Caremitou avec deux types de fichier A : fichier photo, B : fichier texte.	78

Tableaux :

Tableau 1 : Avantages et inconvénients des différentes techniques de prélèvement urinaire chez le chat.	25
Tableau 2 : Modification des paramètres de l'urine mal conservée après 30 minutes à 1h à l'air libre (Chew et DiBartola 1998).	25
Tableau 3 : Les différentes causes de variation de coloration de l'urine du chat (Chew et DiBartola 1998, Stockham <i>et al.</i> 2008).	26
Tableau 4 : Les différentes causes de modification du pH urinaire chez le chat (Chew et DiBartola 1998, Parrah <i>et al.</i> 2013, Stockman <i>et al.</i> 2008).	29
Tableau 5 : Interprétation de la protéinurie en fonction de la densité urinaire (Zatelli <i>et al.</i> 2010).	31
Tableau 6 : Les différentes origines de protéinurie chez le chat (Harley et Langston 2004, Strasinger et DiLorenzo 2008, Stockham <i>et al.</i> 2008).	33

Tableau 7 : Les différentes causes de glycosurie chez le chat (Strasinger et DiLorenzo 2008, Stochkamn <i>et al.</i> 2008).	35
Tableau 8 : Les différentes causes de cétonurie chez le chat (Chew et DiBartola 1998, Strasinger et DiLorenzo 2008).	36
Tableau 9 : Les différentes causes de bilirubinurie chez le chat (Chew et DiBartola 1998, Strasinger et DiLorenzo 2008).	38
Tableau 10 : Origine du sang présent dans les urines chez le chat (Reine et Langston 2005).	39
Tableau 11 : Les différents types de cylindre rencontrés chez le chat, leur composition, leur origine. (Laboratoire central de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, Chew et DiBartola 1998).	43
Tableau 12 : Comparaison de l'efficacité des différents espaces couleurs (Yang <i>et al.</i> 2018).	66
Tableau 13 : Résultats attendus pour les solutions de contrôles négatives et positives avec l'appareil de référence.	71
Tableau 14 : Composition de l'urine de synthèse.	72
Tableau 15 : Table de correspondance analyseur URIT 31Vet et Application smartphone Caremitou.	79
Tableau 16 : Concentrations fixées comme « pertinentes » lors de l'analyse d'urine chez le chat.	79
Tableau 17 : Pourcentages de concordance entre les deux méthodes de lecture de bandelettes urinaires pour la solution de contrôle négatif.	80
Tableau 18 : Résultats de l'automate de référence et de l'application smartphone pour la plage « protéines ».	80
Tableau 19 : Résultats de l'automate de référence et de l'application smartphone pour la plage « sang ».	81
Tableau 20 : Résultats de l'automate de référence et de l'application smartphone pour la plage « glucose ».	81
Tableau 21 : Pourcentages de concordance entre les deux méthodes de lecture de bandelettes urinaires pour la solution de contrôle positif.	82
Tableau 22 : Résultats de l'automate de référence et de l'application smartphone pour la plage « sang ».	82
Tableau 23 : Résultats de l'automate de référence et de l'application smartphone pour la plage « glucose ».	83
Tableau 24 : Résultats de l'automate de référence et de l'application smartphone pour la plage « corps cétoniques ».	84
Tableau 25 : Pourcentages de concordance entre les deux méthodes de lecture de bandelettes urinaires pour l'urine de synthèse.	84
Tableau 26 : Résultats de l'automate de référence et de l'application smartphone pour la plage « protéines ».	85
Tableau 27 : Résultats de l'automate de référence et de l'application smartphone pour la plage « sang ».	85
Tableau 28 : Résultats de l'automate de référence et de l'application smartphone pour la plage « glucose ».	86
Tableau 29 : Résultats de l'automate de référence et de l'application smartphone pour la plage « corps cétoniques ».	86
Tableau 30 : Pourcentages de concordance globale entre les deux méthodes de lecture de bandelettes urinaires.	87
Tableau 31. Sensibilité et spécificité de l'application smartphone.	87

INTRODUCTION

Le développement des applications offre une diversification importante de l'utilisation des smartphones. Aujourd'hui tous les domaines de la vie courante, dont celui de la santé, sont concernés par ces évolutions. Les applications de conseils et de suivi médical permettent un contact simplifié entre les professionnels de santé et les patients. La profession vétérinaire est également concernée par l'utilisation de ces nouvelles technologies. Bien que cette révolution soit très récente, elle progresse très rapidement. En effet, de nouveaux outils connectés se développent chaque jour et beaucoup s'inspirent de la médecine humaine en l'adaptant aux animaux. En se plaçant comme interface entre le vétérinaire et le propriétaire, ces applications permettent un suivi médical à la maison. Ceci représente un gain de temps et évite d'éventuelles contraintes liées au déplacement de l'animal.

Aujourd'hui, la lecture de bandelette urinaire chez le chat ne peut être effectuée que chez le vétérinaire par le biais d'analyseurs automatiques non accessibles au grand public. Mettre en place une application pour smartphone capable de lire les bandelettes urinaires permettrait alors aux propriétaires de réaliser cet examen de façon rapide et efficace à la maison. Ce genre d'application existe déjà en médecine humaine et utilise des moyens colorimétriques permettant d'obtenir, à partir d'une photographie de la bandelette urinaire, une estimation de la concentration urinaire de chaque analyte testé.

L'objectif de cette thèse est de valider une nouvelle méthode de lecture de bandelettes urinaires par le biais d'une application smartphone, l'application « Caremitou® », développée par la société Nov&Sat.

Dans un premier temps, un rappel sur l'analyse d'urine chez le chat est effectué puis, afin de mieux appréhender le fonctionnement des applications smartphones, la colorimétrie et les espaces colorimétriques appliqués à l'analyse d'urine sont développés. Pour finir, l'application smartphone est testée en comparant les résultats obtenus avec ceux d'un analyseur de référence pour des solutions de contrôles et de l'urine de synthèse.

PREMIERE PARTIE : L'ANALYSE D'URINE CHEZ LE CHAT

L'urine est un fluide biologique riche en informations et dont les caractéristiques physiques et chimiques peuvent être modifiées lors de nombreuses conditions pathologiques (rénales, vasculaires, hépatiques, métaboliques, etc.). Par ailleurs, son analyse « de routine » est facile à réaliser, rapide et peu coûteuse, ce qui en fait un examen très intéressant dans la pratique médicale au quotidien. De nombreux internistes considèrent même que cet acte devrait faire partie des examens complémentaires de base pour toute consultation relative à un problème médical. (Kipperman 2014).

Après avoir récolté l'urine, son analyse « de routine » comprend :

1. L'évaluation macroscopique de l'échantillon ;
2. La mesure de densité urinaire au réfractomètre ;
3. La lecture d'une bandelette urinaire ;
4. L'analyse du sédiment urinaire au microscope.

La démarche recommandée pour la réalisation de ces étapes essentielles est représentée dans la figure 1.

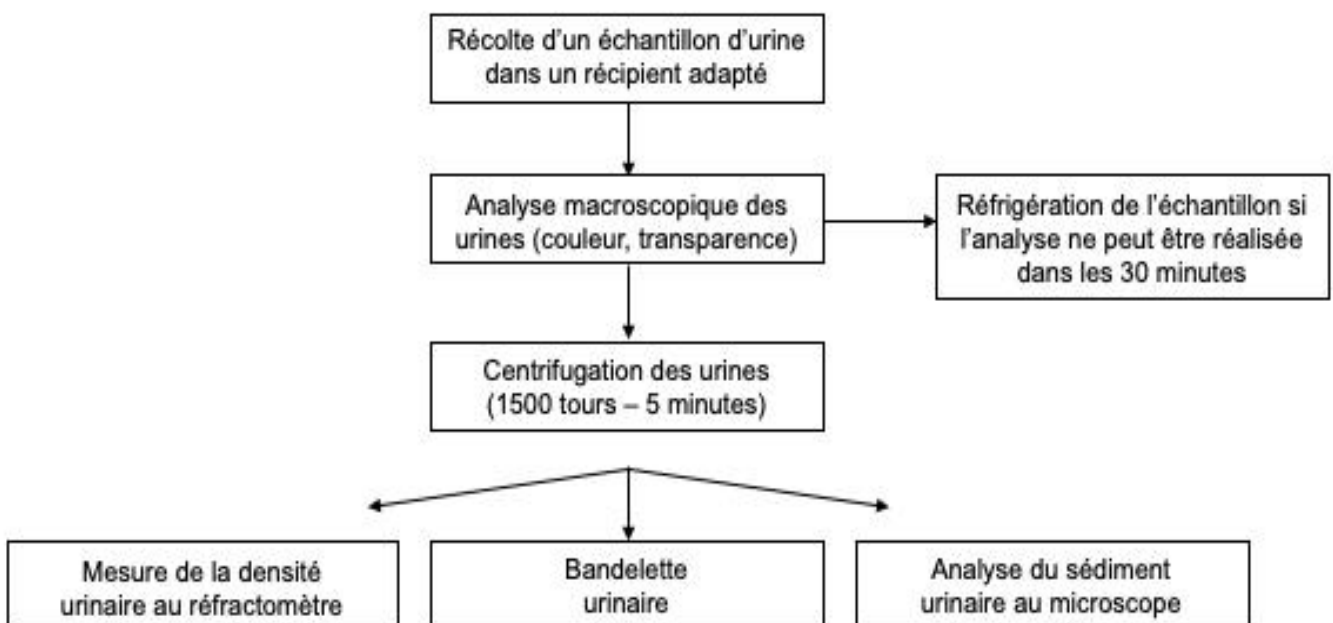


Figure 1 : Procédure de réalisation d'une analyse urinaire (Reine et Langston 2005).

I. L'échantillon d'urine : prélèvement et conservation

1. Les méthodes de prélèvement

1.1. La miction naturelle

L'obtention d'urine par miction naturelle est une méthode non invasive mais présentant un risque de contamination bactérienne important. L'urine passe à travers différentes structures anatomiques telles que l'urètre, le vagin ou le prépuce. Celles-ci présentent naturellement une flore commensale, des bactéries potentiellement pathogènes, des débris et des cellules qui peuvent être retrouvés dans l'urine récoltée ainsi et donc influencer son analyse (Klausner *et al.* 1975, Carter *et al.* 1978, Comer et Ling 1981).

Par ailleurs, il est parfois difficile d'obtenir des urines de cette manière, notamment chez le chat stressé.

Il existe désormais des litières non absorbantes (hydrophobes). Celles-ci facilitent la récolte par les propriétaires mais requièrent que le bac de litière soit propre. Notons qu'une contamination par des produits de nettoyage est possible, pouvant modifier l'analyse (Lavabre et Trumel 2019).

Il n'existe aujourd'hui que très peu de données sur ces nouvelles litières. Aucune étude n'a été menée afin d'évaluer leur éventuelle influence sur les caractéristiques physico-chimiques de l'urine.

1.2. Le taxis vésical

Le taxis vésical permet d'obtenir de l'urine en réalisant une pression sur la vessie. Cela n'est possible que si cette dernière est suffisamment remplie.

Cette méthode est atraumatique à condition que la pression effectuée sur la vessie ne soit pas trop importante.

L'urine obtenue peut également être contaminée par les différentes structures anatomiques traversées (Klausner *et al.* 1975, Carter *et al.* 1978, Comer et Ling 1981). Cette pratique engendre toutefois un stress important chez le chat et se voit donc découragée en routine.

1.3. Le cathétérisme des voies urinaires

Cette technique consiste en un sondage urétral. Afin d'éviter le risque de contamination iatrogène, la pose d'une sonde urinaire doit se faire dans des conditions d'asepsie et avec du matériel stérile (Figure 2).

Cet acte étant invasif, il doit être réalisé sous anesthésie chez le chat. De plus, le risque de lésions du tractus urinaire liées au sondage est non négligeable. Ainsi, cette méthode est déconseillée pour l'obtention d'urine en routine chez le chat. Cependant, elle peut s'appliquer au cas particulier de l'obstruction urétrale où le sondage représente un acte thérapeutique qui peut permettre la récolte d'urine par la même occasion. Il est toutefois important de préciser que l'urine obtenue est souvent fortement modifiée et son analyse difficile à interpréter du fait de la stase qu'elle a subi (Klausner *et al.* 1975).

De plus, il a été montré que la mise en place d'un cathéter urétral augmente le risque d'infection du tractus urinaire (Barsanti *et al.* 1985) et que l'urine obtenue par cette méthode est souvent contaminée par des bactéries (Klausner *et al.* 1975, Carter *et al.* 1978, Biertuempfel et Ling 1981, Comer et Ling 1981).

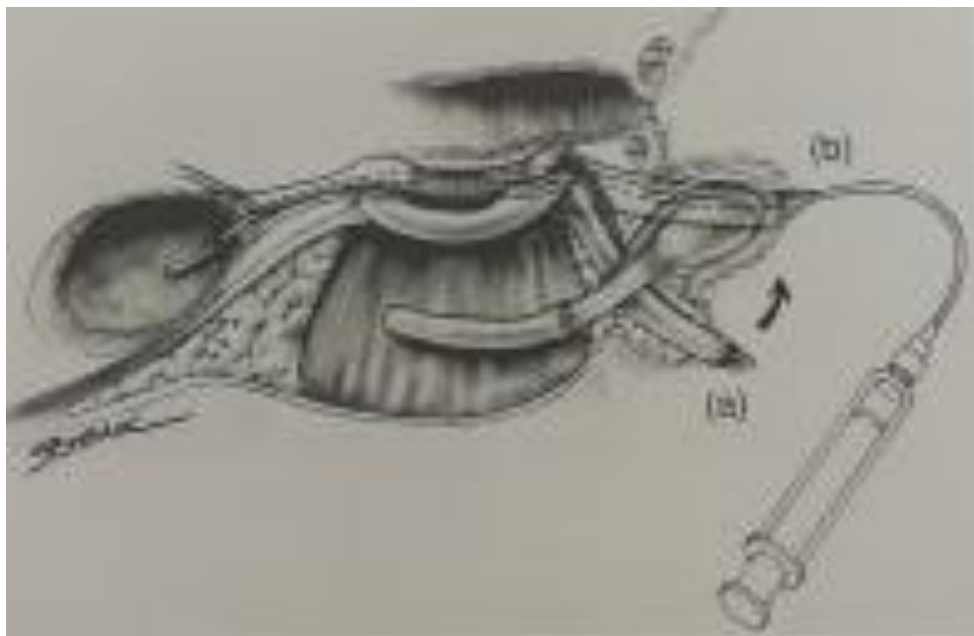


Figure 2 : Réalisation de la cathétérisation des voies urinaires chez le chat – 2a : le pénis est en position physiologique rendant le sondage compliqué 2b – orientation du pénis afin de permettre la cathétérisation (Osborne et Stevens 1999).

1.4. La cystocentèse

La cystocentèse est un prélèvement d'urine directement depuis la vessie à l'aide d'une aiguille et d'une seringue. Elle peut être effectuée sous contrôle échographique (permettant de localiser la vessie et de visualiser directement l'aiguille) ou à l'aveugle (à condition que la vessie soit facilement palpable). Dans ce cas-ci, une main maintient la vessie et l'autre permet la collecte d'urine en aspirant grâce à la seringue (Figure 3). Il est conseillé de tondre et de désinfecter la zone avant de procéder à la ponction d'urine (Maurey 2005).

C'est un acte généralement atraumatique et bien toléré par le chat. Le risque de contamination du prélèvement par des bactéries est très faible. Cependant, une contamination sanguine par saignement lors de l'introduction de l'aiguille est possible (Klausner *et al.* 1975, Carter *et al.* 1978).

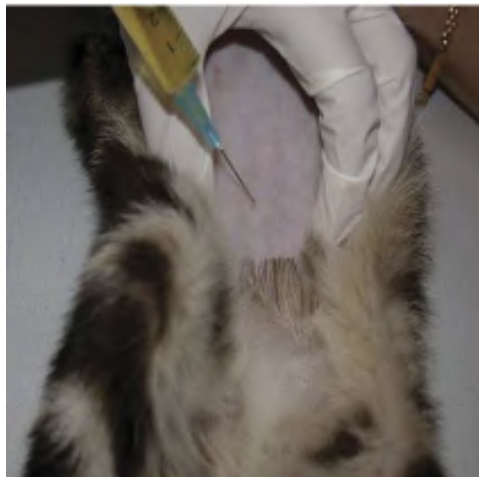


Figure 3 : Réalisation d'une cystocentèse « à l'aveugle » chez le chat (Maurey 2005).

Lorsqu'elle est effectuée dans les meilleures conditions, il s'agit de la méthode de choix pour la réalisation d'un examen urinaire. Notamment dans le cadre d'une suspicion d'infection bactérienne de par le risque minime de contamination iatrogène par des bactéries.

1.5. Avantages et inconvénients

Chaque méthode présente des avantages et des inconvénients (Tableau 1).

Tableau 1 : Avantages et inconvénients des différentes techniques de prélèvement urinaire chez le chat.

Techniques	Avantages	Inconvénients
Miction naturelle	<ul style="list-style-type: none"> - Atraumatique - Réalisable sur animal vigile - Rapide, simple 	<ul style="list-style-type: none"> - Contamination du prélèvement par les voies urinaires inférieures - Animal stressé
Taxis vésical	<ul style="list-style-type: none"> - Réalisable sur animal vigile selon le caractère du chat - Rapide, simple 	<ul style="list-style-type: none"> - Engendre du stress pour le chat - Contamination du prélèvement par les voies urinaires inférieures - Nécessite une vessie suffisamment remplie - Traumatisme possible
Cathétérisme des voies urinaires	<ul style="list-style-type: none"> - Perméabilisation des voies urinaires 	<ul style="list-style-type: none"> - Lésions des voies urinaires possibles - Risque d'infection iatrogène - Anesthésie nécessaire - Complexité de mise en œuvre - Asepsie
Cystocentèse	<ul style="list-style-type: none"> - Peu traumatique - Contamination bactérienne faible - Pas de risque d'infection iatrogène - Animal vigile selon le caractère 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessite une vessie suffisamment remplie - Contention sur le dos - Contamination sanguine iatrogène

2. Conservation de l'échantillon

L'urine doit être placée dans un récipient propre, non contaminé par des produits de nettoyage. Une fois la collecte effectuée, l'analyse doit être réalisée dans les 30 à 60 minutes qui suivent (Stockham *et al.* 2008) afin d'éviter des modifications *in vitro* (Tableau 2).

Tableau 2 : Modification des paramètres de l'urine mal conservée après 30 minutes à 1h à l'air libre (Chew et DiBartola 1998).

Modifications physiques	Modifications chimiques
<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la turbidité (formation de cristaux, prolifération bactérienne) - Coloration plus foncée des urines 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation du pH : libération de CO₂ et dégradation de l'urée par les bactéries - Diminution de la teneur en glucose qui est métabolisé par les bactéries - Diminution de la teneur en corps cétoniques lors de métabolisation de l'acétoacétate en acétone par les bactéries - Diminution de la teneur en bilirubine par formation de biliverdine après exposition à la lumière

II. Analyse physico-chimique

1. Évaluation macroscopique

L'analyse physico-chimique commence par l'évaluation macroscopique de l'urine : celle-ci doit être jaune clair et transparente.

1.1. Couleur de l'urine

Une urine plus concentrée apparaît plus foncée et au contraire, une urine diluée est jaune très clair (Tableau 3). Cependant, l'examen de la couleur et du degré de transparence ne doit pas substituer à la réalisation d'une mesure de densité urinaire par réfractométrie qui est le seul indicateur fiable et objectif de la concentration des urines (Reine et Langston 2005).

Tableau 3 : Les différentes causes de variation de coloration de l'urine du chat (Chew et DiBartola 1998, Stockham *et al.* 2008).

Couleur de l'urine	Cause
Rouge	- Hématurie - Hémoglobinurie - Myoglobinurie
Marron foncé/noir	- Methémoglobinurie
Jaune foncé	- Urine concentrée
Jaune très clair	- Urine diluée
Orange	-Bilirubinurie

1.2. Transparence de l'urine

La présence de globules rouges, de globules blancs, de bactéries, de cristaux dans l'urine peut entraîner une turbidité qui n'est pas normale (Reine et Langston 2005).

2. Analyse de la densité urinaire

La mesure de la densité urinaire doit systématiquement être évaluée au réfractomètre et toujours corrélée à l'état d'hydratation de l'animal (Reine et Langston 2005). Elle est le reflet de la capacité du rein à concentrer ou diluer les urines. La densité urinaire peut varier selon de nombreux facteurs tels que l'alimentation (Anderson 1982, Thrall et Miller 1976), l'état d'hydratation de l'animal, la température,

les traitements reçus (fluidothérapie, traitements avec des diurétiques) ou une affection sous-jacente (Grebert et Trumel 2019, Stockham *et al.* 2008). Elle fluctue au cours de la journée et peut varier chez un chat sain entre 1,001 et 1,080 (Lees *et al.* 1979). Néanmoins, de nombreuses études ont montré que la densité urinaire du chat sain est supérieure à 1,035 dans plus de 85% des cas (Lees *et al.* 1979, Paepe et Verjans 2013, Paepe *et al.* 2013). C'est ce seuil qui est généralement utilisé en pratique pour identifier une densité urinaire trop faible.

Étant donné l'importance des fluctuations au cours de la journée, même sur un animal normohydraté, la densité urinaire ne s'interprète qu'en parallèle de l'évaluation de l'état d'hydratation. En ce sens, seule une valeur « basse » de densité urinaire chez un animal déshydraté est considérée comme pathologique. Il est cependant possible de présenter deux situations particulières, parfois associées à des affections précises : l'hyposthénurie et l'isosthénurie.

2.1. Diminution de la densité urinaire : hyposthénurie

On parle d'hyposthénurie lorsque la densité urinaire est inférieure à 1,008. Cette situation est retrouvée lorsque les tubules rénaux réabsorbent les solutés en quantité plus importante que l'eau. C'est notamment le cas lors d'un état d'hydratation trop important, lors d'altération de la réabsorption d'eau (diabète insipide, tubulopathies proximales, hypercalcémie, hyponatrémie ou hypokaliémie) ou lors d'une polydipsie primaire (Watson 1998, Rishniw et Bicalho 2015).

Ce processus de dilution nécessitant une fonction tubulaire rénale conservée, un patient insuffisant rénal ne peut avoir une urine hyposthénurique (Reine et Langston 2005).

2.2. Isosthénurie

Lorsque la densité de l'urine est identique à celle du plasma (1,008 - 1,012) on parle d'isosthénurie. Cette situation est retrouvée dans 66% des cas lors de maladie rénale (Reine et Langston 2005). L'isosthénurie suggère l'existence d'une insuffisance rénale. Cependant, d'autres maladies telles que le diabète insipide, la maladie de

Cushing, la potomanie peuvent également donner de telles densités urinaires (Reine et Langston 2005).

3. Analyse par bandelette urinaire

Une bandelette urinaire est un moyen rapide d'évaluer de nombreuses variables biochimiques de manière semi-quantitative. Les bandelettes urinaires utilisées en médecine vétérinaire sont en réalité développées pour la médecine humaine. Ainsi, certaines plages ne sont pas interprétables pour l'urine de chat

Par exemple, la plage leucocytes de la bandelette urinaire ne détecte pas directement les globules blancs mais mesure l'activité de l'enzyme leucocyte estérase. Lors de l'analyse de la plage leucocyte chez des chats, de nombreux faux positifs apparaissent. La raison n'est pas connue mais il semblerait qu'il existe des enzymes leucocytes estérases présentes naturellement, même en l'absence de leucocytes, dans l'urine du chat (Holan *et al.* 1997).

Par ailleurs, si de nombreuses bactéries produisent des nitrites, celles responsables des infections urinaires chez le chat n'augmentent pas la concentration en nitrite, entraînant de nombreux faux négatifs. La plage nitrite n'est donc pas interprétée. (Osborne et Stevens 1999).

La mesure de la densité urinaire par la bandelette n'est pas fiable et doit être réalisée au réfractomètre (Osborne et Stevens 1999).

Les variables pouvant être évaluées et interprétées à l'aide de la bandelette urinaire chez le chat sont donc le pH, les corps cétoniques, la bilirubine, le glucose, les protéines et le sang.

3.1. pH

Le potentiel hydrogène (pH) est une mesure de l'activité chimique des ions hydrogènes (H^+) dans une solution. Le pH urinaire est donc le reflet de la capacité des reins à conserver les ions hydrogènes. Il donne une indication sur le statut acido-basique de l'organisme. Il est compris de façon physiologique entre 5,0 et 7,0 chez le chat.

i. Méthode de mesure par la bandelette urinaire

Le tampon réactif de la bandelette urinaire contient du rouge de méthylène, du bleu de bromothymol et de la phénolphtaléine qui vont réagir avec les ions hydrogènes présents dans l'urine et entraîner un changement de couleur de la plage. Ce changement a lieu pour des pH compris entre 5 et 9 (Chew et DiBartola 1998, Reine et Langston 2005).

La mesure du pH par bandelette permet une estimation de celui-ci mais n'est pas optimale. La méthode de référence est l'emploi d'un pH-mètre mais peu de cliniques sont équipées de ce type d'appareil (Reine et Langston 2005).

ii. Interprétation

Le pH urinaire n'est pas constant : il fluctue au cours de la journée et notamment en période postprandiale au cours de laquelle les urines sont plus alcalines. Il peut également varier selon des facteurs rénaux ou extra-rénaux (Stockham *et al.* 2008).

Par ailleurs, selon le régime alimentaire de l'animal, les urines sont plus ou moins acides. En effet, une alimentation riche en protéines entraîne une acidification du pH (Chew et DiBartola 1998, Parrah *et al.* 2013).

Le tableau 4 présente les différentes causes de modification du pH urinaire.

Tableau 4 : Les différentes causes de modification du pH urinaire chez le chat (Chew et DiBartola 1998, Parrah *et al.* 2013, Stockman *et al.* 2008).

pH acide	pH alcalin
<ul style="list-style-type: none">- Alimentation riche en protéines (lait)- Acidose métabolique ou respiratoire- Hypokaliémie- Diabète acido-cétosique	<ul style="list-style-type: none">- Alcalose métabolique ou respiratoire- Infection du tractus urinaire par des bactéries uréasiques- Période post prandiale- Mauvaise conservation de l'échantillon

La précipitation de composés inorganiques dans l'urine peut entraîner la formation de calculs urinaires et celle-ci dépend en grande partie du pH urinaire. Ainsi, la mesure de ce dernier peut servir à orienter le diagnostic sur la nature d'éventuels calculs.

3.2. Les protéines

La persistance et l'augmentation de la quantité de protéines dans les urines de chats sont anormales. En situation physiologique le résultat de la bandelette urinaire doit être « négatif » ou « +1 » (Osborne et Stevens 1999).

Le résultat doit toujours être corrélé à la densité urinaire. En effet la bandelette urinaire mesure une concentration en protéines dans les urines. Or, celle-ci dépend de la quantité d'eau et donc de la dilution : plus les urines sont diluées (respectivement concentrées) et plus la concentration en protéines est faible (respectivement élevée) (Zatelli *et al.* 2010) (Tableau 5).

Afin de s'affranchir de ce facteur de dilution, il est utile de réaliser un dosage quantitatif de la protéinurie et de la concentration en créatinine dans les urines (qui varie proportionnellement avec la concentration des urines). A partir de ces deux valeurs obtenues, il est possible de déterminer le rapport Protéines/Créatinine Urinaire (RPCU) qui est la méthode d'évaluation de la protéinurie la plus précise chez le chat.

Les protéines passent à travers la paroi capillaire glomérulaire et sont réabsorbées par le tubule proximal (Figure 4). Seules les protéines de faible poids moléculaire peuvent passer cette barrière (70 kDa). Ainsi, des modifications de la perméabilité glomérulaire ou des lésions tubulaires peuvent entraîner une augmentation de la concentration en protéines dans les urines.

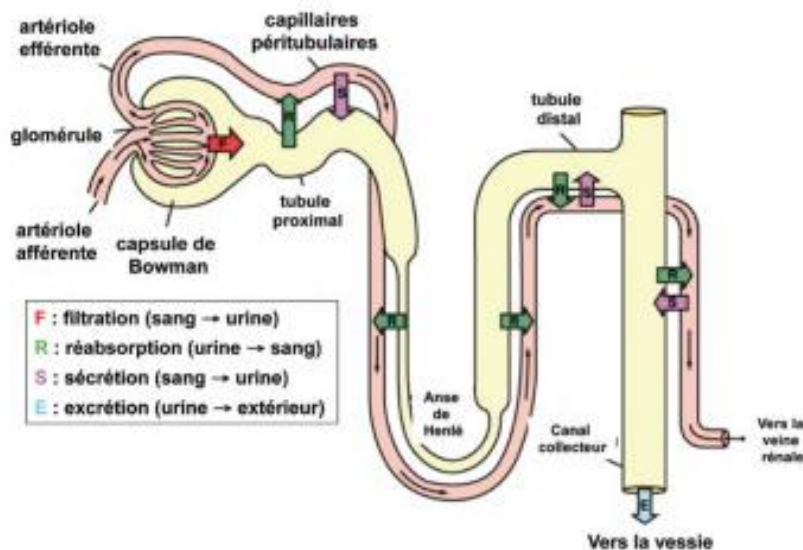


Figure 4 : Filtration et réabsorption rénale des protéines (Lacour 2013).

i. Méthode de mesure par la bandelette urinaire

Le pH de la plage réactive évaluant les protéines est maintenu constant par un tampon (pH=3). A ce pH, les fonctions aminées des protéines sont protonées et vont alors se lier au tétrabromophénol entraînant l'apparition d'une couleur verte. Cette plage est plus sensible à l'albumine qu'à d'autres protéines (Schooeky *et al.* 1987).

ii. Modification de la plage évaluant les protéines sur la bandelette

La mise en évidence de protéines dans l'urine par la bandelette urinaire est un test sensible. Malgré tout, il existe différentes causes pouvant entraîner des faux positifs et des faux négatifs.

Une urine alcaline, une urine concentrée ou une hématurie peuvent entraîner des faux positifs (Reine et Langston 2005).

Par ailleurs, le test étant plus sensible à l'albumine, il est possible d'avoir des faux négatifs. (Schooeky *et al.* 1987). Par exemple, lors de myélome multiple, la protéine de Bence-Jones peut être produite et entraîner une protéinurie qui ne sera pas détectée par la bandelette (Vivaldi *et al.* 1994).

Ces faux négatifs et faux positifs rendent difficile l'interprétation de la plage évaluant les protéines. Ce test permet surtout d'orienter le choix vers des méthodes d'évaluation plus précises (Tableau 5). Si la bandelette indique un résultat négatif, il n'est pas nécessaire de poursuivre. Si la bandelette indique un résultat positif, il faut réaliser un RPCU, éventuellement associé à une électrophorèse de protéines urinaires (Zatelli *et al.* 2010).

Tableau 5 : Interprétation de la protéinurie en fonction de la densité urinaire (Zatelli *et al.* 2010).

Densité urinaire	Résultat de la plage protéine de la bandelette urinaire		
	0	1+	>2+
< 1,012	NP	P	P
> 1,012 et < 1,030	NP	NP	P
> 1,030	NP	NP	P

NP = non protéinurique

P = possiblement protéinurique, il est nécessaire de réaliser un RPCU

iii. Interprétation

Après s'être assuré que la protéinurie est réelle (confrontée à la densité urinaire, au pH et au mode de prélèvement), on distingue trois origines de protéinurie possibles : une protéinurie pré-rénale, rénale, ou post-rénale (Tableau 6).

Protéinurie pré-rénale :

Lors de protéinurie pré-rénale, des protéines de faible poids moléculaire telles que la myoglobine, l'hémoglobine, les protéines colostrales sont présentes dans les urines et surchargent la capacité de réabsorption du rein. Celles-ci entraînent alors une augmentation des protéines dans l'urine. Cette situation est notamment possible lors d'hypertension systémique ou de réaction médicamenteuse (Strasinger et DiLorenzo 2008, Harley et Langston 2012, Stockham *et al.* 2008).

Protéinurie rénale :

Une protéinurie rénale peut être transitoire et minime lors d'une origine fonctionnelle (hyperthermie, stress, effort intense, ...). Elle peut également être pathologique lorsqu'elle est persistante. On distingue trois origines de protéinurie rénale :

- Une origine glomérulaire : lors de lésions du filtre glomérulaire. Celui-ci devient alors perméable à des protéines de plus fort poids moléculaires et aux protéines chargées négativement (Strasinger et DiLorenzo 2008, Stockham *et al.* 2008).
- Une origine tubulaire : lors de lésions au niveau du tubule rénal proximal. Les protéines ne sont pas réabsorbées et sont alors excrétées dans les urines (Stockham *et al.* 2008).
- Une origine mixte : lors de lésions du filtre glomérulaire et du tube proximal.

Protéinurie post-rénale :

La protéinurie post-rénale a pour origine un dépôt de protéines dans l'urine à partir du tractus urinaire situé en aval du rein. Ainsi, les infections du tractus urinaire, les urétérites, les calculs urinaires, les tumeurs ou les affections génitales (vaginite, prostatite, traumatisme), sont des causes possibles de protéinurie post-rénale (Strasinger et DiLorenzo 2008, Stockham *et al.* 2008).

Cette protéinurie n'est jamais persistante une fois la cause sous-jacente traitée (Harley et Langston 2012).

Tableau 6 : Les différentes origines de protéinurie chez le chat (Harley et Langston 2004, Strasinger et DiLorenzo 2008, Stockham *et al.* 2008).

Protéinurie pré-rénale	<ul style="list-style-type: none"> - Hypertension systémique - Réaction médicamenteuse 		
Protéinurie rénale pathologique	Origine glomérulaire	Origine tubulaire	Origine interstitielle
	Glomérulonéphrite Amyloïdose	Syndrome de Fanconi Néphrite tubulo-interstitielle Nécrose tubulaire aiguë	Leptospirose, Ehrlichiose Pyélonéphrite, Néoplasie
Protéinurie rénale fonctionnelle	<ul style="list-style-type: none"> - Fièvre - Chaleur - Stress - Effort intense - Congestion veineuse 		
Protéinurie post-rénale	<ul style="list-style-type: none"> - Hémorragie au niveau du tractus génital (traumatisme, inflammation, néoplasie, nécrose) - Inflammation du tractus urinaire - Inflammation du tractus génital : vaginite, prostatite 		

3.3. Le glucose

Le glucose est filtré librement et réabsorbé par transports actifs et passifs dans le tubule proximal. Ces mécanismes sont néanmoins saturables : au-delà d'un certain seuil de glycémie (entre 2,5 et 3g/L), la réabsorption est inférieure à la filtration (Parrah *et al.* 2013, Reine et Langston 2005).

En situation physiologique, la quantité de glucose est nulle à très faible dans les urines de chat (Parrah *et al.* 2013).

Cette plage de la bandelette est souvent utilisée pour le diagnostic et le suivi du diabète sucré (Strasinger et DiLorenzo 2008).

i. Méthode de mesure par la bandelette urinaire

La plage réactive de la bandelette contient deux enzymes : la glucose oxydase et la peroxydase. Le glucose présent dans l'urine est oxydé en acide gluconique et en

peroxyde d'hydrogène par la glucose oxydase. Le peroxyde d'hydrogène réagit avec l'o-dianisidine en présence de peroxydase pour former un produit coloré et entraîner un changement de couleur de la plage réactive (Figure 5).

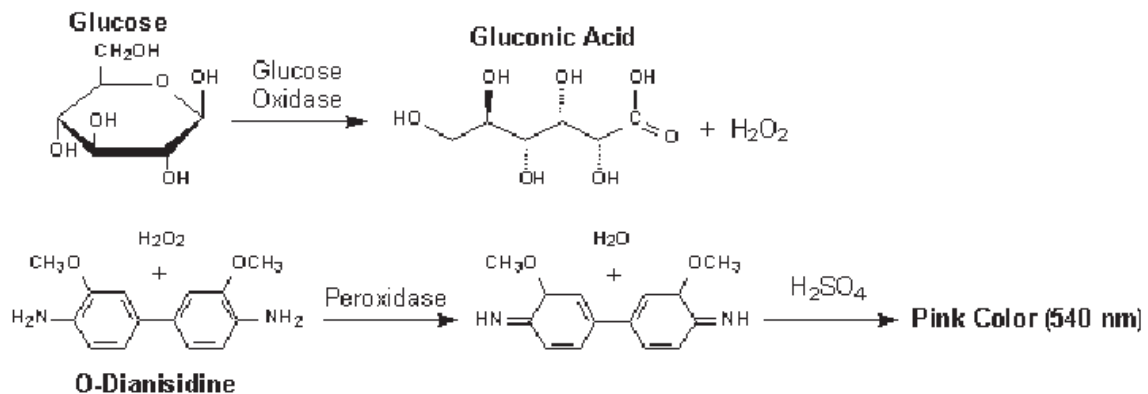


Figure 5 : Réaction enzymatique de la plage « Glucose » de la bandelette urinaire (Arnaut de Toledo *et al.* 2012).

ii. Interprétation

La présence de glucose dans les urines (glycosurie) peut être liée à une hyperglycémie. Au-delà de 3 g/L de glucose dans le sang, les transporteurs tubulaires sont saturés ; il n'est donc plus réabsorbé et se retrouve dans l'urine définitive. (Parrah *et al.* 2013, Reine et Langston 2005).

Cependant, une glycosurie peut être présente sans hyperglycémie. Notamment lors de trouble de la réabsorption par les tubules proximaux, souvent lié à un dysfonctionnement des transporteurs.

Lors d'un stress, les chats peuvent présenter une hyperglycémie entraînant une glycosurie par saturation des transporteurs comme expliqué précédemment. Cette particularité du chat rend parfois difficile l'interprétation d'une glycosurie ponctuelle détectée à la bandelette.

Afin d'identifier la cause de la glycosurie, on distinguera les glycosuries avec hyperglycémie et les glycosuries sans hyperglycémie (Tableau 7).

Tableau 7 : Les différentes causes de glycosurie chez le chat (Strasinger et DiLorenzo 2008, Stochkamm *et al.* 2008).

Glycosurie non pathologique	- Stress - Post prandial
Glycosurie avec hyperglycémie	- Diabète sucré
Glycosurie sans hyperglycémie	- Tubulopathies proximales (néoplasie, toxique, infectieux, ...)

3.4. Les corps cétoniques

Les corps cétoniques comprennent le béta-hydroxybutyrate, l'acide acéto-acétique et l'acétone. Ils sont issus du métabolisme de dégradation des acides gras. En conditions physiologiques, la cétonurie est rare chez les chats. Cependant, si la production des corps cétoniques est trop importante, ils se retrouvent en grande quantité dans les urines.

La bandelette urinaire doit donner un résultat négatif ou très faiblement positif (Strasinger et DiLorenzo 2008, Stockham *et al.* 2008).

i. Méthode de mesure par la bandelette urinaire

L'acide acéto-acétique et l'acétone sont deux corps cétoniques qui vont réagir avec le sodium nitroprusside présent sur la bandelette et former un complexe de couleur violet. (Strasinger et DiLorenzo 2008). La plage réactive de la bandelette ne réagit pas avec le béta-hydroxybutyrate. Or, ce dernier représente 78% des corps cétoniques retrouvés dans les urines du chat (Strasinger et DiLorenzo 2008). Cette caractéristique de la bandelette est donc à prendre en considération dans l'évaluation de la cétonurie (risque de faux négatifs).

ii. Interprétation

Une cétonurie peut apparaître lors d'un déficit énergétique par défaut d'apport en glucides (jeûne prolongé, activité physique importante, déficit en glucide dans la ration), par excès de pertes en glucides lors d'affections digestives (vomissements) ou encore par défaut d'utilisation du glucose lors de diabète sucré (Strasinger et DiLorenzo 2008).

Chez les chattes en fin de gestation, des corps cétoniques peuvent être produits, c'est ce que l'on appelle la toxémie de gestation (Parrah *et al.* 2013).

Les différentes causes de cétonurie chez le chat sont présentées dans le tableau 8.

Tableau 8 : Les différentes causes de cétonurie chez le chat (Chew et DiBartola 1998, Strasinger et DiLorenzo 2008).

Animal apparemment sain	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentation riche en graisses, faible en glucides - Jeûne prolongé - Déficit énergétique - Toxémie de gestation
Animal malade	<ul style="list-style-type: none"> - Complication en diabète acido-cétosique - Ingestion de substances toxiques (paracétamol, cystéine) - Septicémie

La détection d'une cétonurie est importante, notamment dans le suivi des chats diabétiques afin de surveiller qu'ils ne développent pas un diabète acido-cétosique qui est une complication grave, représentant souvent une urgence vitale (Rudloff 2017).

3.5. La bilirubine

La bilirubine provient de la dégradation de l'hème de l'hémoglobine par les macrophages. Une petite partie de la bilirubine se lie à l'albumine dans la circulation sanguine alors que la majorité est captée par les hépatocytes et conjuguée avec un acide glucuronique pour la rendre hydrosoluble. La présence de bilirubine dans l'urine du chat est toujours pathologique. En effet, elle est majoritairement éliminée dans les selles ou dans les urines sous forme d'urobilinogène. Le métabolisme de la bilirubine est décrit dans la figure 6.

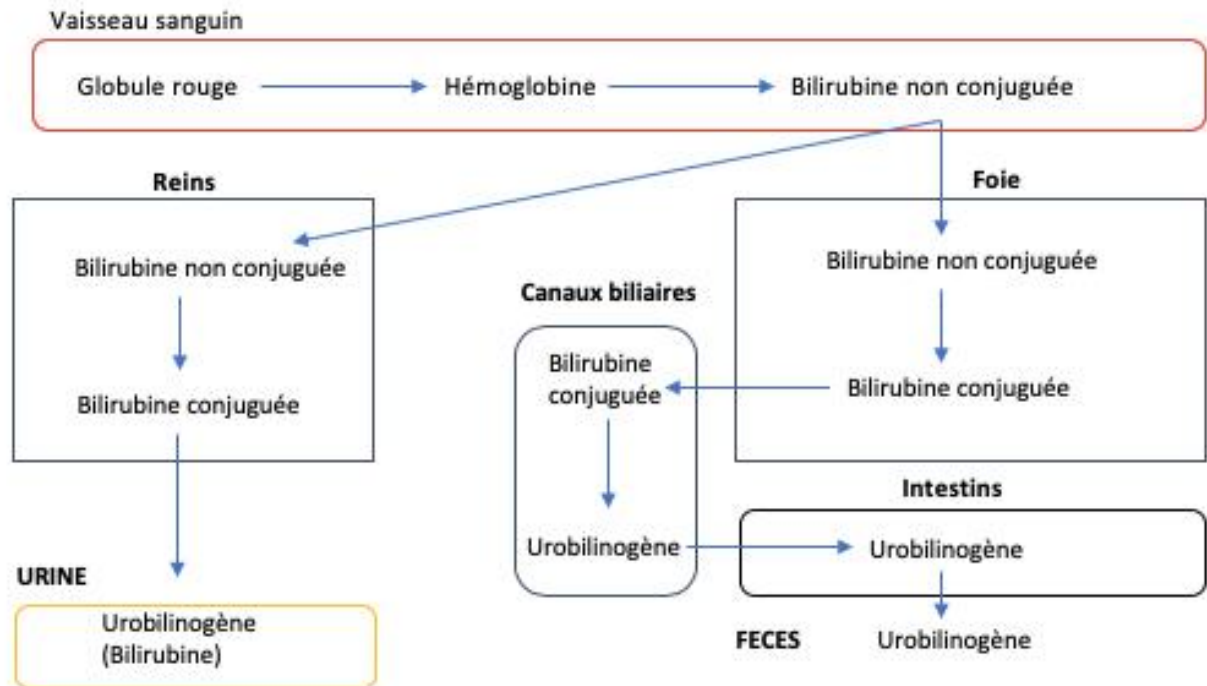


Figure 6 : Métabolisme de la bilirubine (Strasinger et DiLorenzo 2008).

i. Méthode de mesure par la bandelette urinaire

La bilirubine se couple avec un sel de diazonium présent sur la plage réactive pour former un colorant azoïque. Ce test est plus sensible à la bilirubine conjuguée (Reine et Langston 2005).

L'interprétation du changement de couleur de cette plage est plus difficile que pour les autres. Il est souvent modifié par d'autres pigments présents dans l'urine (Strasinger et DiLorenzo 2008).

ii. Interprétation

Une bilirubinurie peut apparaître si le cycle de dégradation de l'hémoglobine est interrompu. C'est le cas lors d'affections choléstatiques (cholangites obstructives), de lipidose hépatique (choléstase intrahépatique) ou lors d'insuffisance hépatique.

La bilirubine peut également être présente dans les urines lors d'un ictère pré-hépatique lié à une hyperhémolyse des globules rouges.

Ces situations provoquent alors un passage de la bilirubine conjuguée dans la circulation sanguine (Tableau 9).

Tableau 9 : Les différentes causes de bilirubinurie chez le chat (Chew et DiBartola 1998, Strasinger et DiLorenzo 2008).

Origine hépatique	- Hépatite - Cirrhose
Origine extra-hépatique	- Obstruction des canaux biliaires (lithiase, néoplasie)
Hyperhémolyse	- Ictère pré-hépatique

3.6. Les hématies, l'hémoglobine

Du sang peut être présent dans les urines sous forme de globules rouges intacts (hématurie) ou d'hémoglobine (hémoglobinurie) (Strasinger et DiLorenzo 2008, Osborne et Stevens 1999). La plage « sang » peut aussi réagir avec la myoglobine, entraînant un faux positif (Strasinger et DiLorenzo 2008).

La mise en évidence du sang peut se faire par analyse macroscopique des urines (coloration rosée à rouge). Pour cela, il faut un minimum de 0,5 mL de sang par litre d'urine (environ 2500 hématies/mL). Généralement la quantité de sang n'atteint pas ce seuil, la bandelette urinaire est alors un moyen plus fiable de détecter la présence de sang. En effet, la plage réagit à partir de 20 hématies/mL d'urine. Cependant, ce test n'indique pas l'origine du saignement (Reine et Langston 2005).

i. Méthode de mesure par la bandelette urinaire

La plage réactive pour le sang contient un peroxyde et un chromogène réduit. L'activité peroxydase de l'hème d'hémoglobine ou de myoglobine catalyse la réaction de libération d'oxygène du peroxyde qui va alors réagir avec le chromogène réduit, formant un oxyde chromogène coloré. La bandelette est aussi sensible à la présence d'hémoglobine que de myoglobine (Strasinger et DiLorenzo 2008).

ii. Interprétation

En cas de réaction anormale de la plage sang, il faut pouvoir distinguer une hématurie, une hémoglobinurie ou une myoglobinurie afin de déterminer l'origine du sang dans les urines (Tableau 10).

Tableau 10 : Origine du sang présent dans les urines chez le chat (Reine et Langston 2005).

Hématurie	<p>ORIGINE UROGENITALE</p> <p>Origine haut appareil urinaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kystes rénaux - Inflammation (glomérulonéphrite, pyélonéphrite) - Néoplasie - Néphrolithiase - Atteinte urétérale (calculs, inflammation,...) - Hématurie rénale idiopathique - Iatrogène (biopsie) <p>Origine bas appareil urinaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inflammation (cystite, urétrite, urétérite) - Infection (ITU, <i>Capillaria plica</i>) - Urolithiase - Iatrogène (cystocentèse, traumatisme, sondage) - Polype <p>Origine génitale :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pyomètre, métrite - Néoplasie - Oestrus - Syndrome prostatique 	<p>ORIGINE EXTRA-UROGENITALE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Troubles de l'hémostase (primaire ou secondaire) - Coup de chaleur
Hémoglobininurie	<ul style="list-style-type: none"> - Anémie hémolytique à médiation immune (primaire ou secondaire) - Toxique (paracétamol, métaux lourds, etc.) - Génétique (déficience en phosphofructokinase, déficience en pyruvate kinase) - Agent infectieux (mycoplasmes hémotropes) - Hémolyse dans les urines (souvent artefactuelle) 	
Myoglobininurie	<ul style="list-style-type: none"> - Traumatisme - Toxique - Ischémie - Rhabdomyolyse 	

Afin de différencier l'hématurie, l'hémoglobininurie et la myoglobininurie, il faut centrifuger les urines. Dans le cas d'une hématurie, le surnageant est transparent et le culot coloré (Figure 7A). Dans le cas d'une hémoglobininurie ou d'une myoglobininurie, le surnageant est coloré en rouge-rosé (Figure 7B). Pour distinguer les deux il faut ensuite observer la couleur du plasma qui est coloré en rouge lors d'une hémoglobininurie (secondaire à une hyper-hémoglobinémie) et est transparent si c'est une myoglobininurie (secondaire à une hyper-myoglobininémie) (Reine et Langston 2005, Chew et DiBartola 1998).

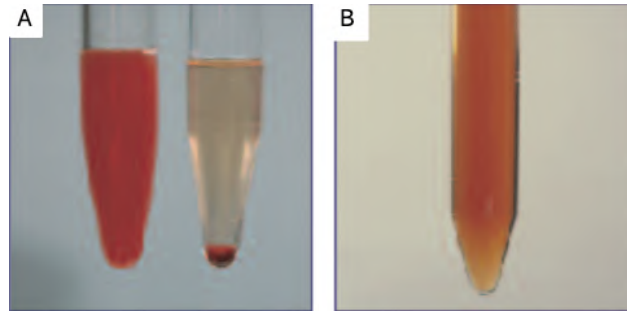


Figure 7A : Hématurie ; 7B : hémoglobininurie ou myoglobininurie (Chew et DiBartola 1998).

III. Analyse du sédiment urinaire

L'examen du sédiment urinaire doit être réalisé en complément de l'analyse physico-chimique de l'urine. Il permet de mettre en évidence des cristaux, des cylindres, des cellules épithéliales, des hématies, des leucocytes, des bactéries ou encore plus rarement des parasites qui ne peuvent pas être détectés par les bandelettes urinaires.

1. Méthode de lecture

L'urine est centrifugée pendant 5 minutes à 1500 tours par minute. Le surnageant est éliminé et le culot urinaire est remis en suspension dans l'urine restante. Une goutte est déposée entre lame et lamelle. La lame est observée au microscope avec le condenseur en bas, la luminosité au minimum et le diaphragme fermé (Reine et Langston 2005).

Une première lecture au grossissement x100 est réalisée afin d'évaluer la richesse de la lame et de détecter la présence de cylindres. Puis la lame est observée au grossissement x400 afin de voir les cellules (hématies, leucocytes, cellules épithéliales, parasites).

On peut également placer une autre goutte sur une lame de microscope et l'étaler comme un frottis sanguin puis colorer cette lame à l'aide de colorants rapides (ex Diff-Quik).

2. Hématurie

Un faible nombre d'hématies peut être retrouvé lors de l'analyse du sédiment. L'origine des globules rouges peut être pathologique ou iatrogène (liée au mode de prélèvement de l'urine).

Les globules rouges non colorés apparaissent comme des disques pâles sans noyau (Figure 8).

Les hématies présentes dans une urine concentrée sont plus petites et crénelées, celles présentes dans une urine diluée sont gonflées et certaines peuvent se rompre (Chew et DiBartola 1998).

3. Leucocytes

Les globules blancs les plus souvent retrouvés dans les urines sont les neutrophiles. Ils font entre 1,5 à 2 fois la taille des globules rouges. Ils sont facilement identifiables grâce à leur noyau polylobé. Les neutrophiles réactifs ou dégénérés sont parfois plus difficiles à reconnaître (Figure 8).

La présence de leucocytes dans l'urine est appelée pyurie et indique une inflammation du tractus urinaire. Une pyurie peut apparaître lors d'infection bactérienne mais aussi lors d'urolithiase ou de phénomène néoplasique (Chew et Di Bartola 1998).

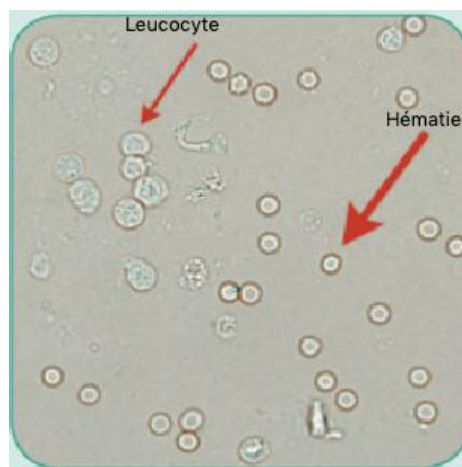


Figure 8 : Identification des hématies et des leucocytes sur une analyse microscopique d'urine entre lame et lamelle (Rizzi 2014).

4. Cellules épithéliales

L'analyse du sédiment peut aussi mettre en évidence des cellules squameuses. Ces cellules sont grandes, plates, anguleuses à petit noyau (Figure 9). Elles proviennent de l'urètre distal, de l'appareil génital ou de la vessie et sont le plus souvent retrouvées dans le sédiment urinaire à partir d'un prélèvement par miction naturelle ou par cathétérisation des voies urinaires.

Il est aussi possible de trouver des cellules urothéliales qui proviennent de l'urètre proximal et de la vessie lors de cathétérisation des voies urinaires ou lors d'inflammation, de tumeur ou à cause de toxique (chimiothérapie).

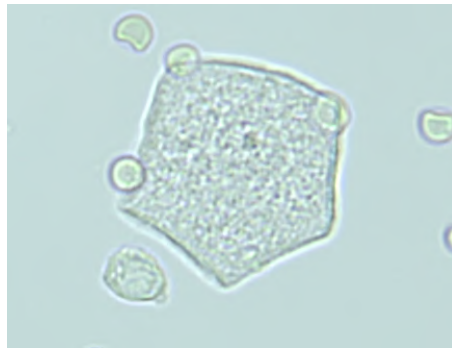


Figure 9 : Identification des cellules squameuses sur une analyse microscopique d'urine entre lame et lamelle, objectif x40 (Laboratoire central de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse).

5. Bactéries

Des coques (rondes, parfois organisées en « grappe » ou en « chaînette ») ou des bacilles (de forme allongée) sont parfois mises en évidence au microscope.

Ces bactéries, associées à des leucocytes, permettent de suspecter une infection du tractus urinaire. La présence de bactéries peut aussi être due au mode de prélèvement (miction naturelle ou sondage, défaut d'asepsie).

6. Cylindres



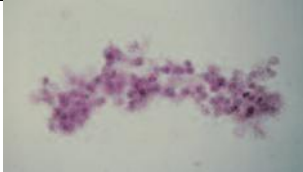


Les cylindres sont formés par la précipitation d'une matrice mucoprotéique : la matrice de Tamm-Horsfall (MTH) et d'éléments présents dans les tubules qui vont être piégés dans la matrice (débris cellulaires, protéines, cellules, ...).

La matrice de Tamm-Horsfall est sécrétée en petite quantité par les cellules épithéliales tubulaires. Cette matrice précipite plus facilement lorsque l'urine est acide ou très concentrée.

La taille des cylindres formés dépend de la localisation de leur formation : des cylindres de grande taille sont formés dans le tubule ou dans une partie anormalement dilatée du tubule distal alors que des cylindres de petite taille proviennent d'une anse de Henlé.

A l'exception des cylindres hyalins (et granulaires en faible quantité) qui peuvent être présents dans les urines en conditions physiologiques, une cylindrurie évoque une souffrance rénale. Il existe plusieurs types de cylindres (Tableau 11).

Tableau 11 : Les différents types de cylindre rencontrés chez le chat, leur composition, leur origine. (Laboratoire central de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, Chew et DiBartola 1998).

Nature des cylindres	Composition	Origine	Photo
Cylindres hyalins	MTH + albumine	- Protéinurie ; - Glomérulonéphrite ; - Amyloïdose.	
Cylindres épithéliaux	MTH + cellules épithéliales	- Ischémie ; - Néphrotoxicité ; - Infarctus rénal ; - Néphrite aiguë ; - Pyélonéphrite ; - Dommages rénaux importants.	
Cylindres leucocytaires	MTH + leucocytes	- Pyélonéphrite bactérienne aiguë ; - Néphrite interstitielle.	
Cylindres hématiques	MTH + hématies	- Traumatisme rénal (Accident de la voie publique (AVP), biopsie rénale) ; - Glomérulonéphrite.	
Cylindres granuleux	MTH + débris cellulaires	- Désordres tubulo-interstitiels.	

7. Les cristaux

La formation de cristaux est influencée par la densité urinaire, le pH urinaire et la présence de précurseurs dans les urines (Reine et Langston 2005).

Les cristaux peuvent se former *in vitro* après le prélèvement et entraîner ainsi des faux positifs. Par exemple, une étude de Reine et Langston en 2005 sur les causes de cristallurie a déterminé que 28% d'entre-elles étaient artefactuelles.

L'accumulation de cristaux peut conduire à la formation de calculs. Ainsi, l'analyse de ces derniers peut aider le clinicien dans le diagnostic des urolithiases. Il est cependant important de garder en tête que ces deux formations (calculs et cristaux) ne sont pas toujours présentes de façon concomitante et que leur nature n'est pas systématiquement identique.

7.1. Les PAM (Phosphate Ammoniac Magnésien) ou struvites

Ils apparaissent dans une urine neutre ou basique avec une forme caractéristique de « cercueil » ou « enveloppe » (Figure 10).

Ils peuvent être retrouvés en faible quantité chez des animaux sains.

Chez le chat, ils peuvent être retrouvés dans des urines stériles et sont le plus souvent liés à l'alimentation. Cependant, des bactéries possédant une uréase (enzyme capable de dégrader l'urée) peuvent favoriser l'apparition de ces cristaux en provoquant une alcalinisation des urines par production d'ammoniac. Ce cas de figure reste rare chez le chat. (Ogeer-Gyles *et al.* 2006).

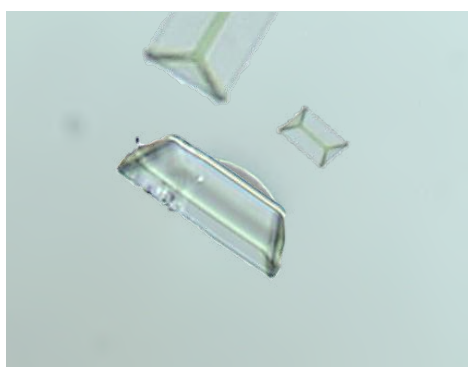


Figure 10 : Cristaux de struvite dans l'urine de chat observés au microscope, objectif x40 (Laboratoire central de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse).

7.2. Les cristaux d'oxalate de calcium

Il existe des cristaux d'oxalate de calcium dihydratés et monohydratés. Ils ont une forme caractéristique respectivement de pyramide (Figure 11A) et d'hexagone à angles mousses ou parfois en forme « d'haltères »(Figure 11B).

Ils peuvent être retrouvés dans une urine acide, neutre ou basique.

Les cristaux d'oxalate de calcium dihydratés peuvent être présents dans l'urine de chat sain ou malade. Les cristaux monohydratés sont quant à eux toujours pathologiques et peuvent apparaître lors d'hypercalciurie (avec ou sans hypercalcémie) ou d'hyperoxalurie (notamment lors d'intoxication à l'éthylène glycolose) (Rizzi 2014).

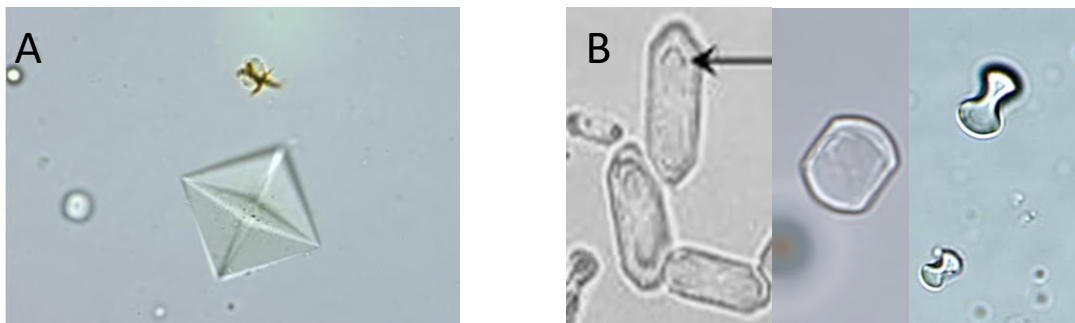


Figure 11 : Cristaux d'oxalate de calcium 11A : dihydraté, 11B : monohydraté dans l'urine de chat observés au microscope, objectif x40 (Laboratoire central de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse).

7.3. Les cristaux d'urate d'ammonium

Les cristaux d'urate d'ammonium ont une forme caractéristique ronde avec des spicules (Figure 12). Chez le chat, ils sont retrouvés lors de maladies hépatiques chroniques, notamment lors de shunt porto-systémique.

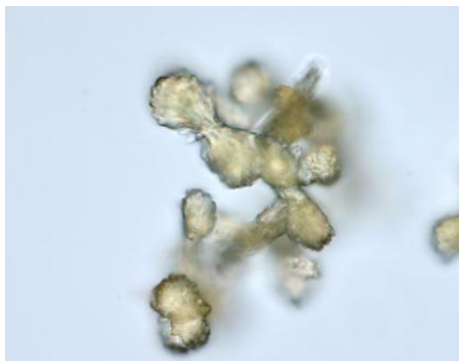


Figure 12 : Cristaux d'urate d'ammonium dans l'urine de chat observés au microscope, objectif x40 (Laboratoire central de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse).

7.4. Les cristaux de bilirubine

Les cristaux de bilirubine sont de couleur jaune à orange avec une forme en « fagot ».

La présence de ces cristaux dans l'urine est toujours pathologie chez le chat. Ils peuvent être des indicateurs d'hémolyse ou de maladies hépatiques comme il a été présenté dans la partie 4.5 (Figure 13).

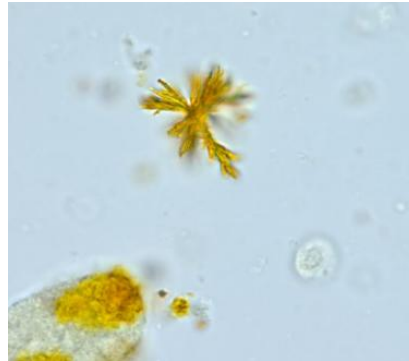


Figure 13 : Cristaux de bilirubine dans l'urine de chat observés au microscope, objectif x40 (Laboratoire central de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse).

7.5. Les cristaux de cystine

Les cristaux de cystine sont plus rares et sont généralement liés à des mutations génétiques entraînant un déficit de réabsorption de la cystine et d'autres acides aminés au niveau du tubule proximale (Chew et DiBartola 1998).

Ils sont incolores, plats, en forme d'hexagone (Figure 14).

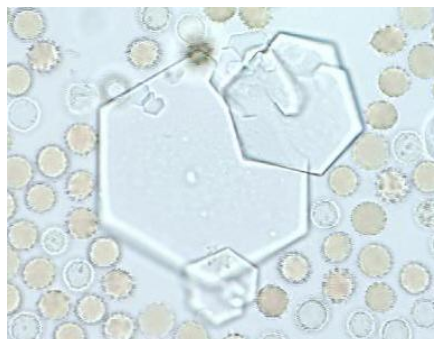


Figure 14 : Cristaux de bilirubine dans l'urine de chat observés au microscope, objectif x40 (Laboratoire central de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse).

DEUXIEME PARTIE :
COLORIMETRIE APPLIQUEE A
L'ANALYSE D'URINE

La lecture de bandelette urinaire se fait par colorimétrie : les indicateurs colorés présents sur les tampons réactifs réagissent avec les composants de l'urine et forment un produit coloré.

I. Principe de la colorimétrie

La colorimétrie est la science qui mesure la couleur. Elle permet d'analyser et de décrire objectivement n'importe quelle couleur.

1. Fondements de la colorimétrie

Cette science s'appuie sur des recherches de scientifiques ayant eu lieu dès le 17^e siècle. En 1666, Newton énonce qu' « il y a deux sortes de couleurs. Les unes originales et pures, les autres composées de celles-ci. Les couleurs originales ou primaires sont le Rouge, le Vert, le Bleu » (Guthman 2010). Grâce à cela, il a été établi que la lumière blanche est en réalité un mélange des trois couleurs primaires : le rouge, le bleu et le vert.

Chaque couleur peut ainsi être décrite par une certaine proportion de rouge, de bleu et de vert. L'équation obtenue est alors la suivante :

$$C_{\lambda i} = r_{\lambda i}.R, v_{\lambda i}.V b_{\lambda i}.B$$

A partir de ces travaux, des espaces de représentation des couleurs ont été créés.

2. Les différents espaces colorimétriques

Les espaces colorimétriques ont été développés afin de se rapprocher le plus de la vision humaine. (Chandler 2016).

Le système le plus utilisé à l'heure actuelle est le système CIE*Lab. Ce dernier est établi depuis 1976 par transformation de plusieurs systèmes déjà existant (Dupont et Steen 2004).

2.1. Le système de primaires RVB CIE 1931.

i. Courbe colorimétrique RVB

En 1931, la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) définit le premier système colorimétrique : le système « Rouge-Vert-Bleu » (RVB).

Ce système est basé sur les trois couleurs primaires : rouge (700nm), vert (546,1 nm) et bleu (435,8 nm). Cet espace couleur est très utilisé, notamment en télévision (Trémeau 2006, Dupont et Steen 1971).

Après avoir déterminé les valeurs $r_{\lambda i}, v_{\lambda i}, b_{\lambda i}$ avec i variant entre 380 et 700 nm, les fonctions colorimétriques $x(\lambda), y(\lambda), z(\lambda)$ sont construites (Figure 15).

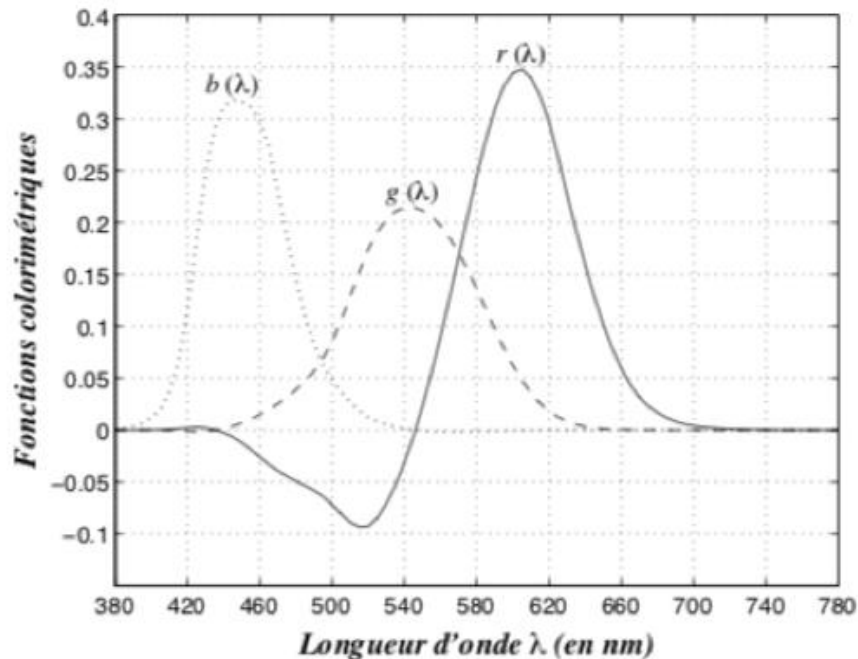


Figure 15 : Fonctions colorimétriques du système RVB CIE 1931 (Trémeau 2006).

ii. Diagramme de l'espace couleur RVB CIE 1931

Le diagramme trichromatique permet de représenter les couleurs en trois dimensions. A partir des trois primaires (R, V, B) il est possible de former des vecteurs directeurs $\vec{R}, \vec{V}, \vec{B}$. Ainsi, toute couleur C peut être décrite dans cet espace vectoriel par la formule :

$$\vec{C} = R.\vec{R} + V.\vec{V} + B.\vec{B}$$

Les coordonnées sont appelées coordonnées trichromatiques et la représentation en trois dimensions de l'espace RVB est un cube (Figure 16).

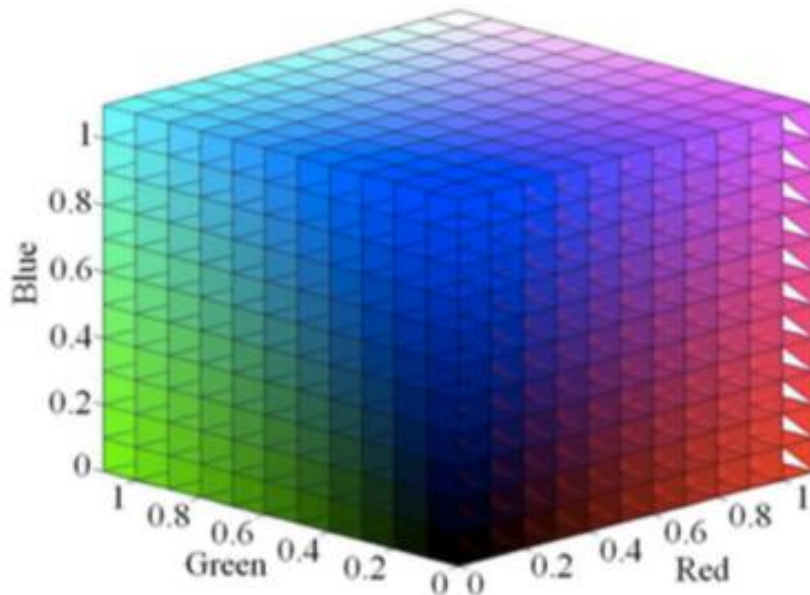


Figure 16 : Diagramme de chromaticité de l'espace couleur RVB (Ding *et al.* 2013).

2.2. L'espace couleur XYZ CIE 1931 et XYZ CIE 1964

i. Les fonctions colorimétriques de l'espace couleur XYZ CIE 1964

Le système de primaire RVB présente l'inconvénient d'avoir des valeurs négatives sur la courbe colorimétrique $r(\lambda)$. Or il n'est pas possible de reproduire une lumière négative. Ainsi, un nouveau système de primaires artificielles a été créé par transformation du système RVB (Chandler 2016). Ce système est noté XYZ.

Les primaires X, Y et Z sont purement théoriques et ne peuvent être reproduites physiquement (Chandler 2016). Le passage du système RVB CIE 1931 au système XYZ CIE se fait grâce à une matrice de passage (Trémeau 2006).

Grâce à ce système, aucune des courbes $x(\lambda), y(\lambda), z(\lambda)$ n'a de valeurs négatives (Figure 17).

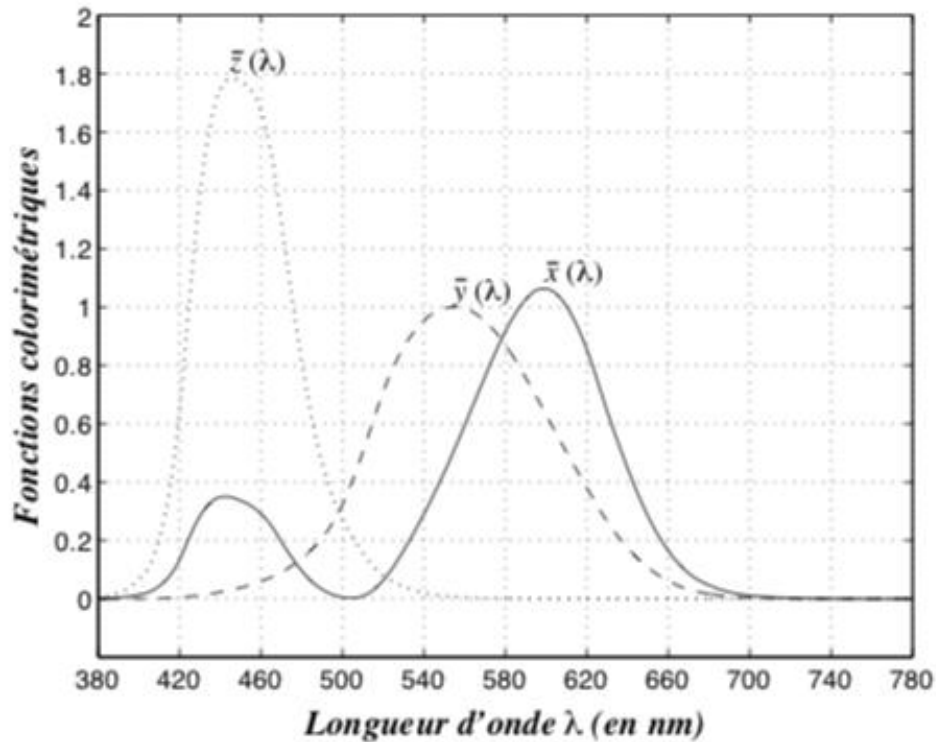


Figure 17 : Fonctions colorimétriques du système XYZ CIE 1931 2° (Trémeau 2006).

ii. Le diagramme de chromaticité xyY

De la même façon que dans le diagramme RVB, toute couleur peut être décrite en trois dimensions par :

$$\vec{C} = X.\vec{X} + Y.\vec{Y} + Z.\vec{Z}$$

Il est plus facile de représenter les couleurs dans le plan plutôt que dans l'espace (Figure 18). C'est pourquoi le système colorimétrique xyY a été créé. Il dérive du système XYZ à Y constant et utilise les relations suivantes :

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \text{ et } y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

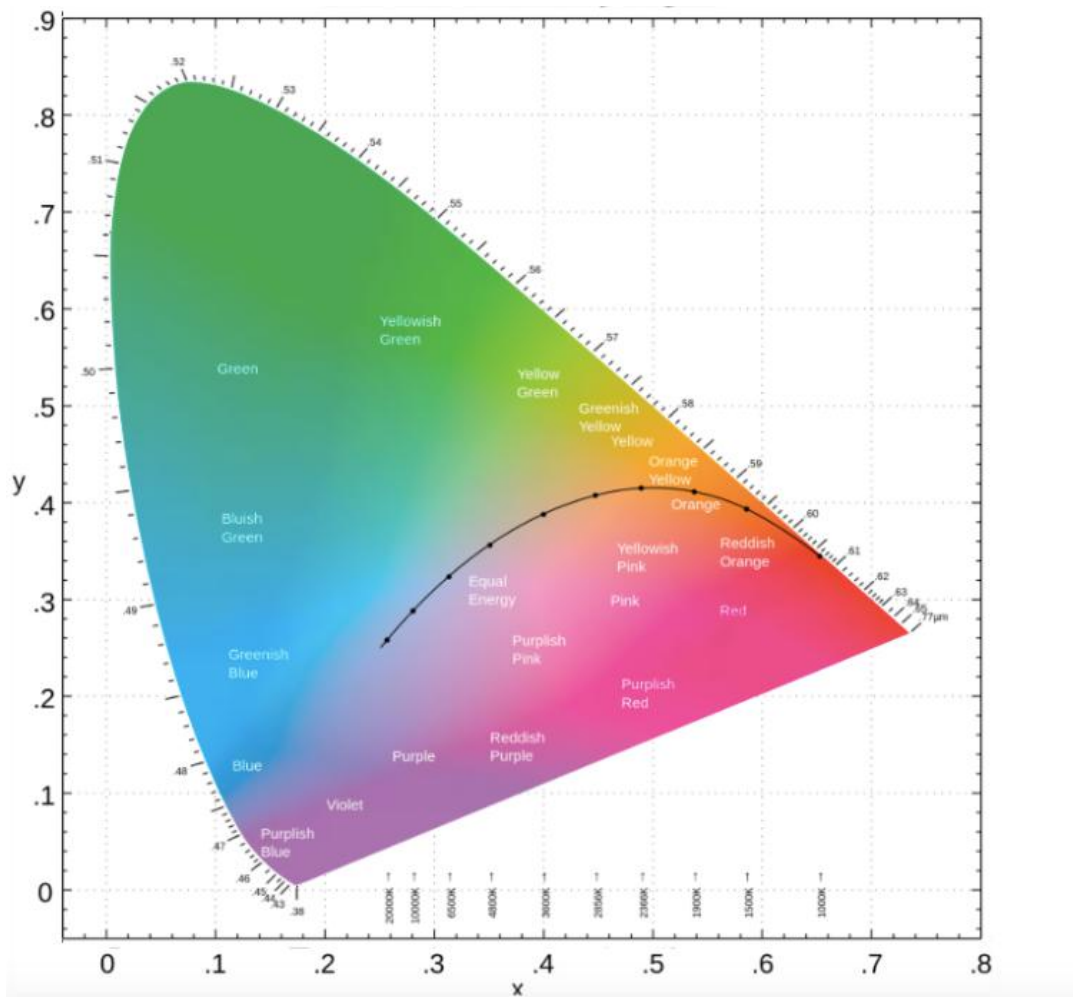


Figure 18: Diagramme de chromaticité dans le plan xy à Y constant (Chandler 2016).

2.3. L'espace couleur HSV ou TSV

En français, l'espace HSV s'écrit TSV et signifie Teinte Saturation Valeur. La teinte décrit la nuance de couleur, la saturation la pureté par rapport au blanc et la valeur indique la perception de luminosité (Chang *et al.* 2010). Comme pour l'espace RVB, toutes les couleurs peuvent être décrites par trois composantes : la teinte, la saturation et la valeur. On peut donc définir l'espace couleur TSV qui est une transformation non linéaire de l'espace RVB. La représentation en trois dimensions de cet espace représente un cône (Figure 19). Il permet de décrire de façon plus précise la perception de la couleur en tenant compte de la saturation et la luminosité (Chang *et al.* 2010).

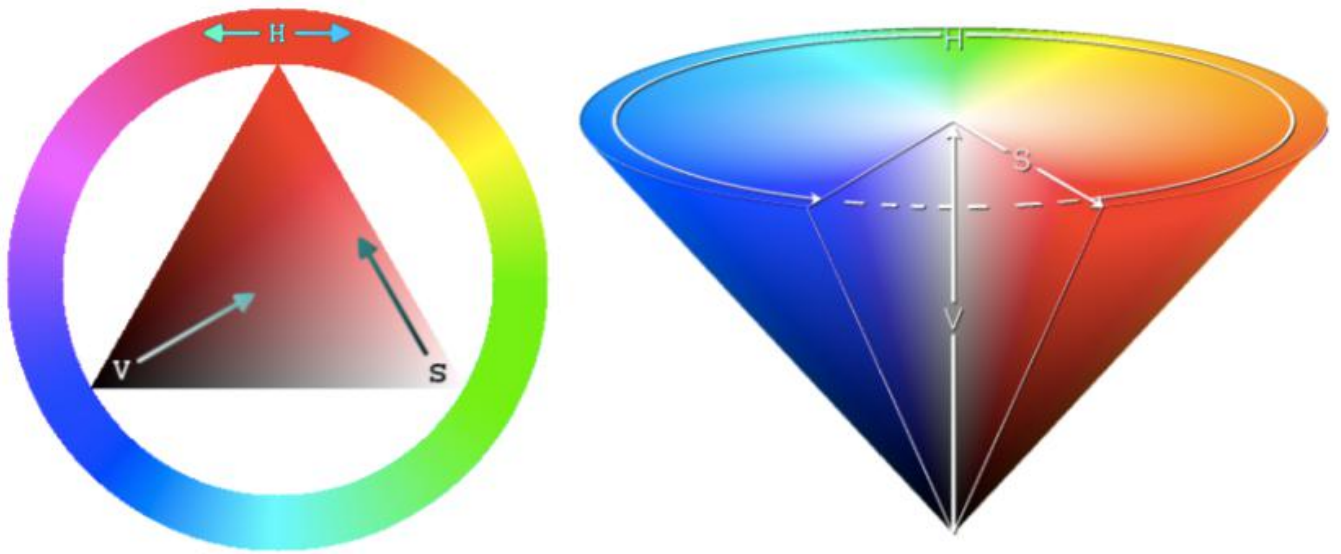


Figure 19 : Représentation en trois dimensions de l'espace couleur TSV (Chang *et al.* 2010).

2.4. L'espace couleurs CIELAB

*i. Les coordonnées et l'espace CIE $L^*a^*b^*$*

Cet espace a été créé par transformation non linéaire de l'espace couleur XYZ pour décrire toutes les couleurs visibles par l'œil humain.

L'espace colorimétrique correspond à une sphère (Figure 20) avec un axe vertical L qui correspond à la luminosité et prend des valeurs comprises entre 0 (noir) et 100 (blanc). Puis deux axes orthonormés servent à positionner les coordonnées de chromaticité avec l'axe $-a^*/+a^*$ correspondant à l'axe du vert et du rouge et l'axe $-b^*/+b^*$ correspondant à l'axe du bleu et du jaune (Dupont et Steen 2004).

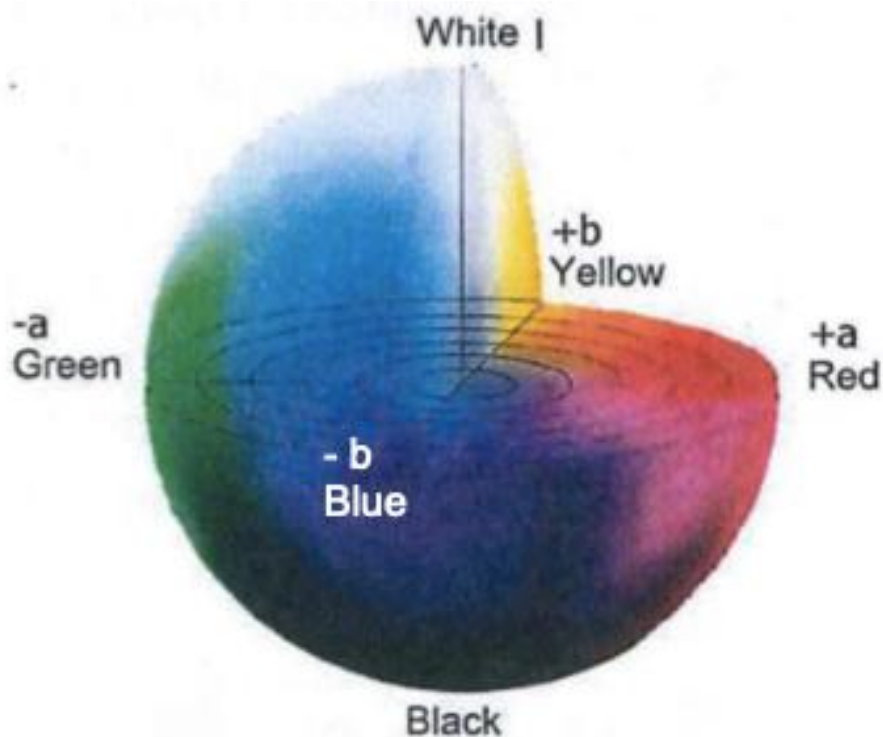


Figure 20 : Représentation de l'espace couleur CIE L*a*b* (Ryan *et al.* 2018).

ii. *Les distances couleur*

Il est possible de calculer la différence de couleur de deux stimuli dans l'espace CIE L*a*b* en calculant la distance entre ces couleurs grâce à l'équation :

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}$$

Avec ΔE la différence de couleur entre le stimulus 1 et 2

L_1^* , a_1^* , b_1^* les coordonnées de la couleur 1 dans l'espace CIE L*a*b*

L_2^* , a_2^* , b_2^* les coordonnées de la couleur 2 dans l'espace CIE L*a*b*

Deux stimuli sont considérés comme non différenciables si la distance couleur est inférieure à 1 (Trémeau 2006).

II. Les limites de la perception visuelle dans la lecture des bandelettes urinaires

1. Principes physiques de la perception visuelle

Lorsqu'une source lumineuse arrive sur un objet, les rayons sont réfléchis et arrivent au niveau de l'œil humain. Le signal lumineux est alors transformé en signal électrique. Pour permettre la perception de ce signal lumineux, l'œil est organisé en différentes couches. Plusieurs milieux transparents permettent le passage des rayons lumineux qui sont ensuite concentrés sur la rétine grâce au cristallin jouant le rôle de lentille. Les rayons lumineux sont intégrés par le biais de cellules photoreceptrices présentes au niveau de la rétine.

2. Lecture de bandelette de test colorimétrique à l'œil nu

L'utilisateur observe la bandelette urinaire et compare la couleur des tampons à une plaquette de référence. Il définit alors la couleur se rapprochant le plus parmi les couleurs de référence afin de déterminer la concentration en analyte (Figure 21). Lorsque cette lecture est faite à l'œil nu, elle est subjective et dépendante du lecteur, de son acuité visuelle et de la luminosité ambiante



Figure 21 : Comparaison des résultats obtenus sur la bandelette avec la plaquette de référence (Notice d'utilisation bandelette urinaire URITOP®).

3. Variations individuelles de la perception visuelle

La perception visuelle n'est pas constante, elle varie selon les individus et les couleurs. C'est ce que l'on appelle le comportement non-uniforme de la couleur (Trémeau 2006).

A cause de changements fonctionnels de l'œil liés à l'âge, la perception visuelle est modifiée. L'œil ne s'adapte plus de la même façon. La lumière et l'énergie qui parviennent à la rétine sont alors diminuées.

Le diamètre pupillaire varie en fonction de la quantité de lumière : plus la luminosité est importante, plus le diamètre pupillaire diminue, et inversement. Cette variation est possible grâce aux muscles pupillaires. Avec l'âge, ces muscles sont moins efficaces (Figure 22). L'adaptation du diamètre pupillaire lors de faible éclairage est alors difficile pour les lecteurs âgés (Weale 1961).

La rétine et le système nerveux central subissent aussi des modifications, entraînant une diminution de la capacité de traitement des informations (Marquie 1986). De ce fait, il faut beaucoup plus de lumière à un lecteur âgé pour reconnaître la même couleur qu'un lecteur plus jeune.

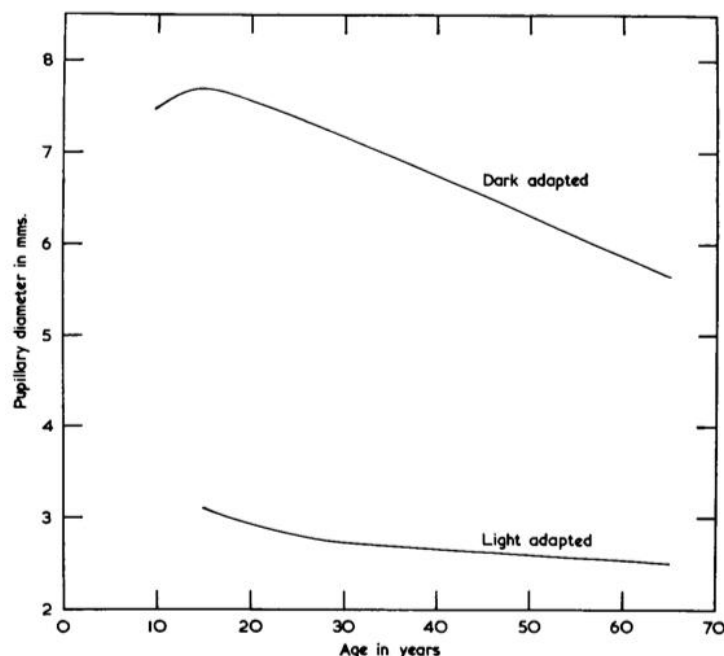


Figure 22 : Adaptation du diamètre pupillaire en fonction de l'âge selon la luminosité (Weale 1961).

En considérant cette variabilité, une même couleur peut être perçue différemment selon l'observateur. Ces différences posent problème dans la lecture des bandelettes urinaires pouvant parfois entraîner des erreurs d'interprétation.

4. Utilisation des analyseurs automatique pour l'analyse urinaire

Afin de pallier à la diversité d'interprétation des couleurs, des analyseurs automatiques ont été développés. Grâce à ces appareils de lecture de bandelettes urinaires, les couleurs sont toutes analysées de la même manière, permettant ainsi d'obtenir des résultats fiables, identiques et répétables quel que soit le manipulateur.

Afin de permettre une analyse uniforme de chaque couleur, les espaces couleurs précédemment décrits sont utilisés. Chaque concentration en analyte correspond à une couleur précise. Cette dernière est représentée par des coordonnées colorimétriques. La couleur obtenue lors de la réaction entre l'urine et le tampon réactif présente également des coordonnées dans ces espaces colorimétriques.

La concentration en analyte présent dans l'urine testée peut alors être déterminée en comparant les coordonnées du test et du référentiel.

III. L'utilisation du smartphone pour la lecture colorimétrique de bandelettes urinaires

Depuis plusieurs années, l'utilisation des smartphones et des nouvelles technologies est reconnue en médecine humaine. De plus en plus d'applications et d'outils sont développés afin de réaliser les tests au chevet du patient ou proche du lieu de traitement, sans passer par un laboratoire extérieur. L'objectif est de fournir un diagnostic rapide afin que le traitement approprié soit mis en place le plus précocement possible.(Price 2001).

La technologie de diagnostic au chevet du patient présente des attraits importants tels que la simplicité d'utilisation, la facilité de transport, l'analyse rapide avec des résultats précis (Yang *et al.* 2018).

Il existe déjà de nombreuses applications à l'utilisation des smartphones en médecine humaine couvrant de nombreux domaines.

Il est notamment possible de réaliser des analyses urinaires à partir d'une photographie prise par un smartphone.

1. Les difficultés à prendre en compte dans le développement de l'application

Il est important de prendre en compte les facteurs pouvant modifier l'interprétation de la couleur par le smartphone. Notamment, l'intensité d'éclairage, l'uniformité spatiale, la sensibilité du capteur d'image, les paramètres de l'appareil photo et le traitement des données.

1.1. Gestion de la luminosité extérieure

i. Influence de la luminosité extérieure sur la lecture colorimétrique

Le principal défi est de s'affranchir du manque de constance des couleurs en fonction de la source lumineuse et de l'appareil photo. En effet, selon la lumière utilisée, les couleurs ne seront pas les mêmes et donc les valeurs obtenues seront différentes (Figure 23).

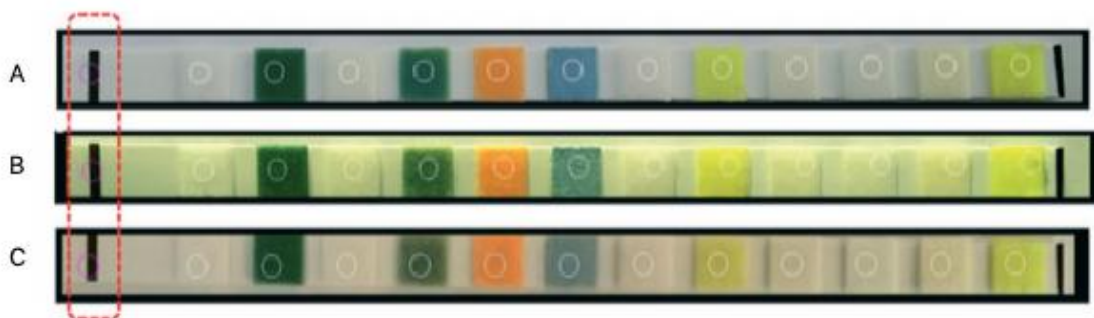


Figure 23 : Effet de la source lumineuse sur la couleur des tampons de la bandelette urinaire A : lampe fluorescente, B : lumière extérieure, C : lumière de faible intensité (Hong et Chang 2014).

ii. Les solutions possibles pour s'affranchir de ce problème

Afin de supprimer l'influence de l'environnement extérieur sur la luminosité, plusieurs solutions peuvent être choisies.

Dans l'expérience menée par Karlsen et Dong (2017), il a été choisi de photographier la bandelette urinaire à côté du référentiel couleur. Ainsi, la modification des couleurs liée à l'éclairage s'applique à la fois au test et à la référence (Figure 24).

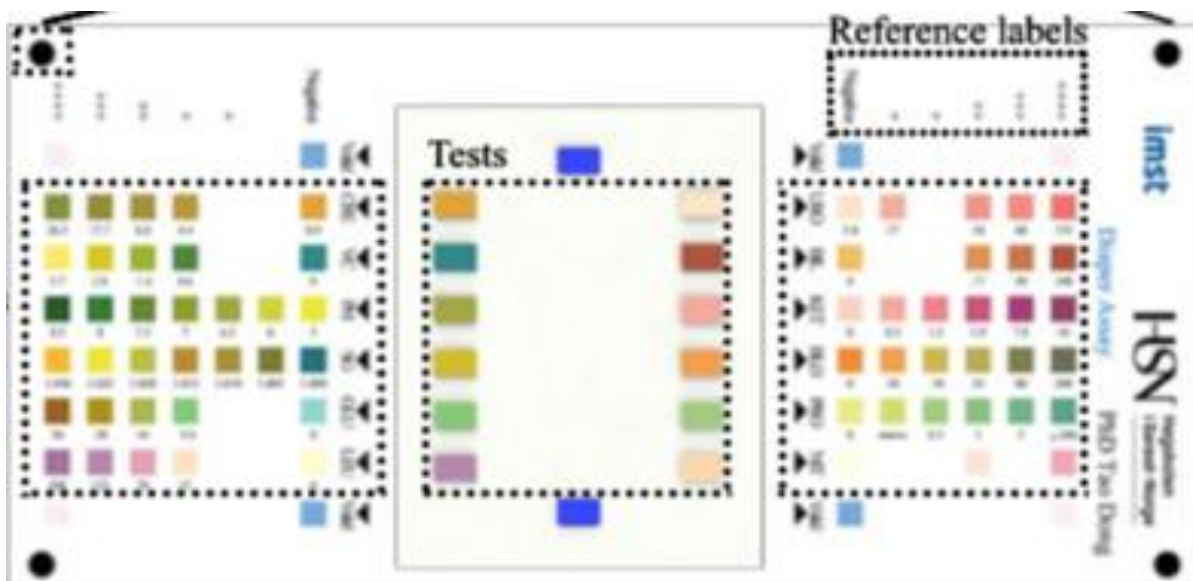


Figure 24 : Utilisation d'un système où le test est placé à côté d'un référentiel couleur (Karlsen et Dong 2017).

Dans l'expérience de Jalal *et al.* (2017), la bandelette urinaire est placée dans un boîtier en feuille de poly méthacrylate de méthyle blanche (Plexiglas®).

Le boîtier d'imagerie comprend un diffuseur de lumière qui répartit uniformément le flash de l'appareil photo en maintenant une distance constante entre l'objectif de l'appareil et les tampons de la bandelette (Figure 25). Grâce à cette technique, chaque test est reproductible avec des conditions d'éclairage identiques.



Figure 25: Utilisation d'un système en plexiglass® blanc avec emplacement pour la caméra du smartphone (Jalal *et al.* 2017).

L'expérience de Yang *et al.* (2018) utilise aussi un système de boîtier afin d'isoler la bandelette urinaire de la lumière extérieure. Celui-ci est équipé d'une source de lumière blanche créée par un groupe de six LED (Diode électroluminescente) pour permettre une luminosité constante (Figure 26).

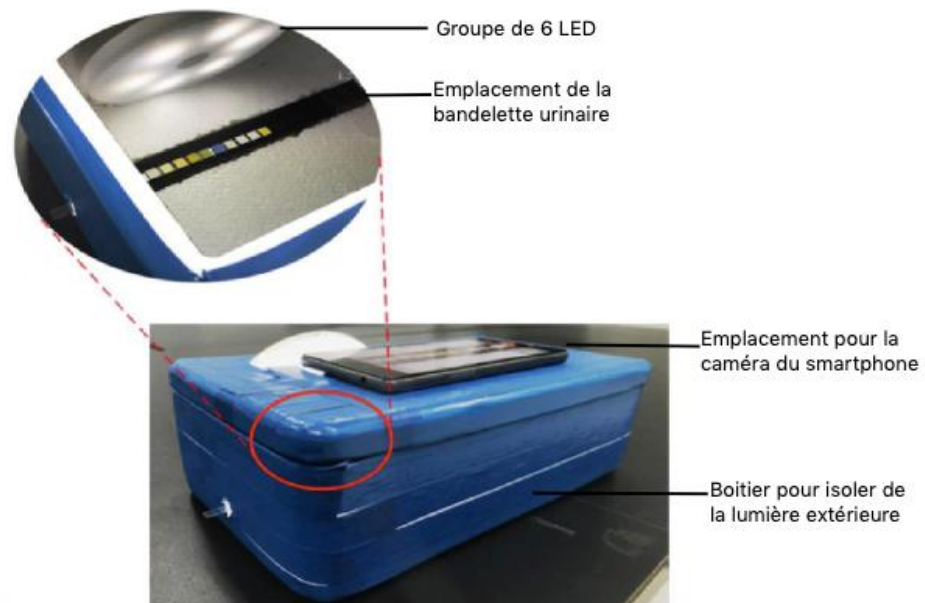


Figure 26 : Utilisation d'un système de boîtier équipé d'un système LED pour créer une lumière blanche uniforme (Yang *et al.* 2018).

1.2. Repérer correctement la bandelette urinaire

Tous les utilisateurs ne cadreront pas l'image de la même façon. Ainsi, il est important que l'application soit capable de recadrer l'image afin d'analyser uniquement la bandelette et non le support autour. Pour cela différentes méthodes sont possibles : l'application peut détecter tous les tampons réactifs en une fois ou procéder à une analyse des tampons réactifs un à un.

Dans l'expérience de Jalal *et al.* (2017), chaque tampon est analysé séparément (Figure 27A)

L'application procède au recadrage de chaque tampon (Figure 27B) et demande à l'utilisateur de sélectionner l'analyte concerné (Figure 27C).

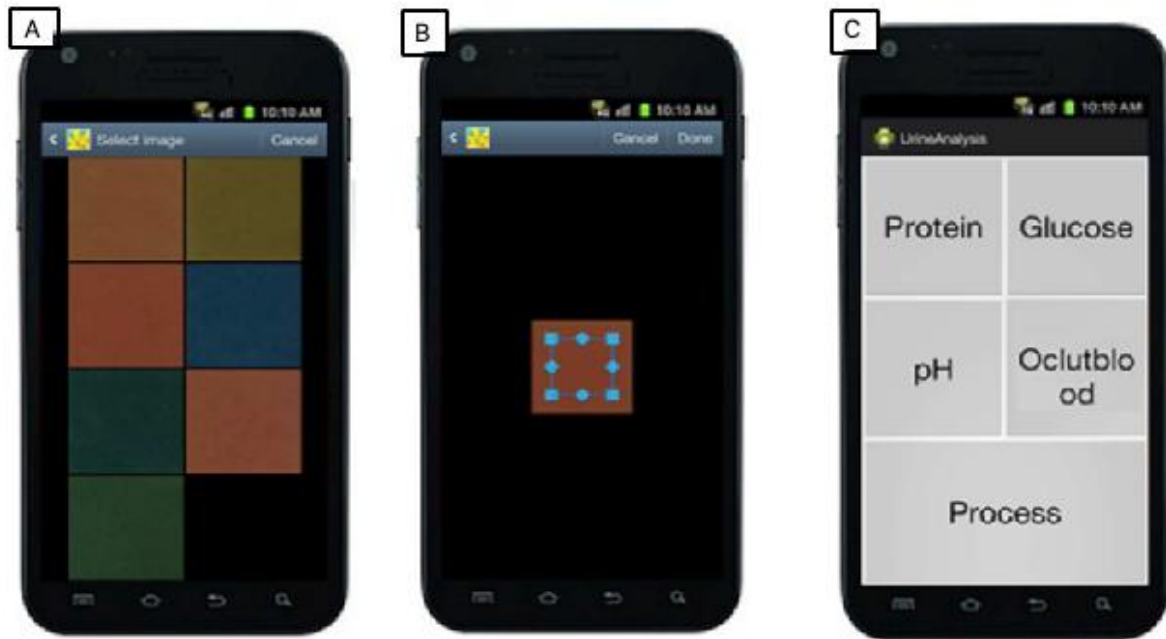


Figure 27 : Interface de l'application de lecture de bandelette urinaire, A : photo de chaque tampons, B : extraction et recadrage d'un tampon, C : choix de l'analyte par l'utilisateur (Jalal *et al.* 2017).

Karlsen et Dong ont décidé de tracer des cercles autour du référentiel (Figure 28), ceux-ci sont repérés grâce à la transformation de Hough (technique de reconnaissance de forme utilisée dans le traitement des images numériques).

Les coordonnées des coins sont établies et cela permet de centrer l'image sur le référentiel et le test. De plus, par une équation mathématique de transformation projective, l'image est aplatie permettant d'éliminer une éventuelle perspective mise en place lors de la prise de la photo.

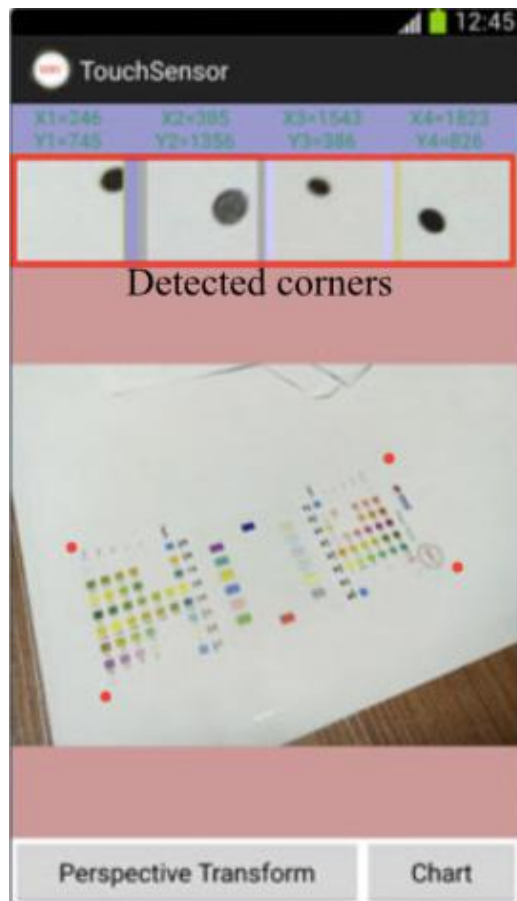


Figure 28 : Détection des coins par la transformation de Hough afin de s'affranchir de la perspective (Karlsen et Dong 2017).

Dans l'expérience de Hong et Chang (2014), la position de la bandelette urinaire est estimée grâce au motif périodique créé par les tampons réactifs (Figure 29A). Puis, à l'aide de deux marques rectangulaires présentes aux extrémités des bandelettes, la taille est estimée (Figure 29B) permettant ainsi de recouper l'image (Figure 29C). Ainsi peu importe le fond sur lequel la bandelette est posée, seules les couleurs de la bandelette sont analysées.

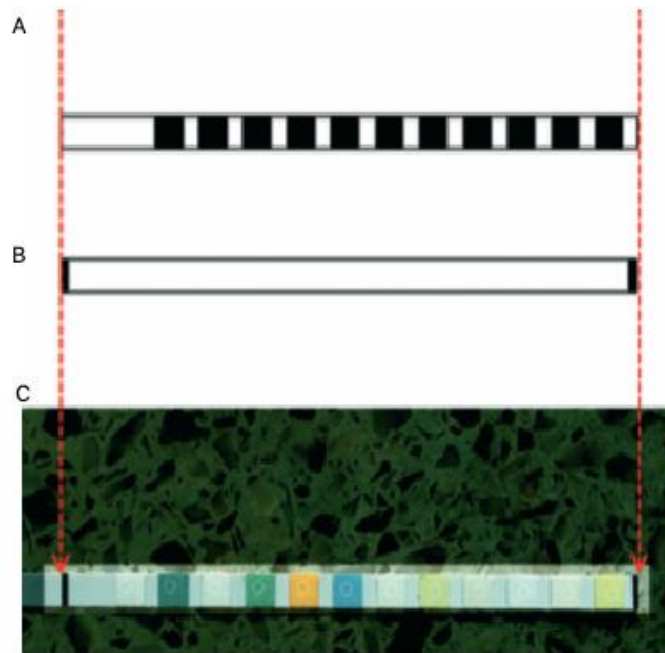


Figure 29 : Détection de la bandelette urinaire A : détection du motif périodique, B : détection des deux marques rectangulaires, C : image résultant de la reconnaissance automatique (Hong et Chang 2014).

2. Fonctionnement des applications de lecture de bandelettes urinaires

Toutes les applications smartphones de lecture de bandelettes urinaires peuvent être séparées en deux parties : une partie destinée à l'acquisition de l'image et l'extraction des données et l'autre à l'analyse de ces données.

2.1. Acquisition de l'image et extraction des données

Le smartphone peut être posé directement sur un dispositif prévu à cet effet (Jalal *et al.* 2017, Yang *et al.* 2018). La bandelette est ensuite photographiée à l'aide de la caméra du smartphone.

Dans le cas où il n'existe pas de boîtier (Karlsen et Dong 2017), l'utilisateur doit maintenir l'appareil au-dessus du dispositif où se trouvent la bandelette urinaire et le référentiel couleur puis prendre une photographie à l'aide de la caméra du smartphone.

Afin de limiter les ombres causées par l'utilisateur, ses mains ou le smartphone, ce dernier doit être placé parallèlement à la plaque de référence permettant ainsi de réduire l'angle et d'éviter les ombres (Figure 30).

Cependant, dans certaines situations, une ombre peut être créée. Cet artefact peut modifier la luminosité et donc l'interprétation de la bandelette par le smartphone. Le smartphone peut alors être placé avec un certain angle afin d'éviter la création d'une ombre (Figure 30).

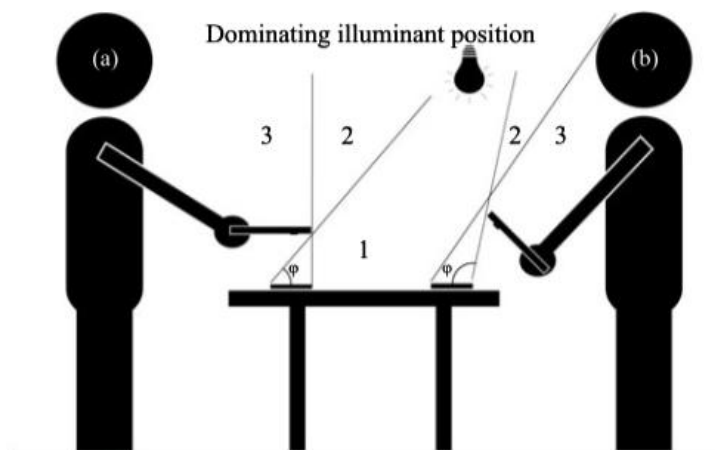


Figure 30 : Position du smartphone et de l'utilisateur en fonction de la source lumineuse a : smartphone positionné parallèlement à la bandelette urinaire, b : smartphone placé avec un angle pour éviter les ombres (Karlsen et Dong 2017).

Une fois la photographie prise, la bandelette est repérée comme décrit précédemment.

2.2. Analyse des données

Les espaces colorimétriques ne sont pas adaptés à toutes les situations. Dans la plupart des applications disponibles, plusieurs algorithmes sont utilisés et comparés afin de déterminer le plus efficace pour lire la bandelette urinaire.

L'utilisation des espaces couleurs est indispensable mais tous ne donnent pas le même résultat. Dans l'expérience de Yang *et al.* (2018), il a été démontré que l'espace CIE $L^*a^*b^*$ avec mesure de la distance entre les couleurs est la technique la plus efficace.

25 bandelettes urinaires ont été testées avec les différents espaces couleurs et comparées avec les résultats des lecteurs automatiques (Tableau 12).

Tableau 12 : Comparaison de l'efficacité des différents espaces couleurs (Yang *et al.* 2018).

Analyse	Espace RGB	Espace CIE XYZ	Espace HSV	Espace CIE L*a*b* - calcul distance
pH	15/25	18/25	20/25	25/25
Glucose	20/25	24/25	22/25	24/25
Acide ascorbique	23/25	23/25	20/25	24/25
Densité urinaire	20/25	23/25	22/25	23/25
Sang	20/25	25/25	20/25	25/25
Protéines	22/25	22/25	23/25	23/25
Bilirubine	25/25	25/25	25/25	25/25
Urobilinogène	25/25	25/25	25/25	25/25
Corps cétoniques	25/25	25/25	25/25	25/25
Leucocytes	25/25	25/25	25/25	25/25

Ainsi, à l'aide des distances couleurs, les couleurs obtenues sont comparées avec la plaquette de référence. Pour cela, l'application détermine pour chaque couleur du référentiel la distance couleur avec le test. La distance couleur la plus faible correspond alors à la couleur se rapprochant le plus du test (Figure 31).

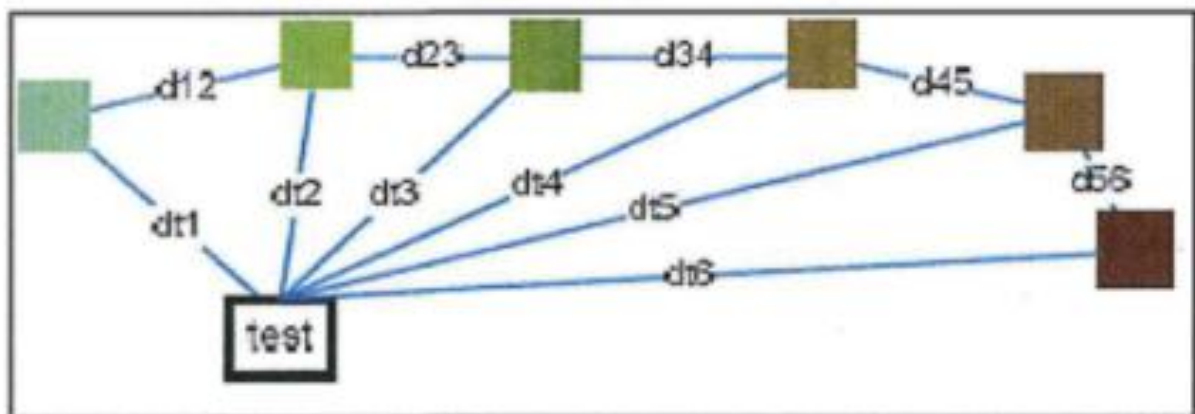


Figure 31 : Mesure des distances couleurs entre le tampon test et les couleurs de références (Ryan *et al.* 2018).

L'application peut donner un résultat semi-quantitatif avec un seuil : « négatif », « +/- », « 1+ », « 2+ », « 3+ » et « 4+ ».

Chaque application a été validée en comparant les résultats avec ceux obtenus par un lecteur automatique.

3. L'utilisation des smartphones dans la lecture de bandelette urinaire en médecine vétérinaire.

Toutes ces études ont montré l'efficacité de l'application smartphone en comparaison avec les automates de lecture. Ainsi, la colorimétrie par le biais d'applications smartphones est un moyen fiable pour lire les bandelettes urinaires chez l'Homme.

A ce jour, l'utilisation des smartphones en médecine vétérinaire est beaucoup moins développée. Cependant, de plus en plus d'applications apparaissent sur le marché. Certaines existent déjà pour le suivi des maladies chroniques telles que le diabète sucré ou encore pour le suivi de la fréquence cardiaque, de l'ECG, etc. Pour l'heure il n'existe pas, sur les plateformes de téléchargement, d'application vétérinaire permettant la lecture de bandelettes urinaires.

La société Nov&Sat s'est donc penchée sur le problème et a créé une application : « Caremitou ® » afin de permettre aux propriétaires de chats d'effectuer des analyses d'urine à la maison sans avoir besoin de déplacer l'animal. Cette application s'inscrit dans un projet global permettant de mettre à disposition des marqueurs pour suivre l'état de santé de leur animal (poids, comportement, urine) et faire le lien avec leur vétérinaire.

L'objectif est donc de déterminer si l'application est performante pour la lecture des bandelettes urinaires en la comparant à un appareil de lecture semi-automatique.

TROISIEME PARTIE :
COMPARAISON DES RESULTATS
D'ANALYSE DE BANDELETTES
URINAIRES ENTRE UN ANALYSEUR
DE REFERENCE ET UNE
APPLICATION SMARTPHONE.

I. Matériels et méthodes

1. Solution de contrôle

1.1. Solutions de contrôle négatif et positif commerciales

Des solutions de contrôles permettant d'obtenir des résultats correspondant à des concentrations standardisées sont utilisées (Tableau 13). Ces dernières sont fournies avec l'automate servant de référence (Urit 31 VET analyzer). Il s'agit d'une solution de contrôle négatif (URIT UQ-10 Urinalysis Control – Level I) et une solution de contrôle positif (URIT UQ-10 Urinalysis Control – Level II).

Tableau 13 : Résultats attendus pour les solutions de contrôles négatives et positives avec l'appareil de référence.

Solution	Analyte	Concentration	Couleur attendue sur la bandelette urinaire
URIT UQ-14 Urinalysis Control – level I	pH	4.5-6.0	Jaune (5.0) – vert clair (6.0)
	Protéines	- 0 g/L	Jaune pâle
	Bilirubine	- 0 µmol/L	Jaune pâle
	Sang	- 0 cellules/µL	Jaune
	Glucose	- 0 mmol/L	Beige
	Corps cétoniques	- 0 mmol/L	Saumon
URIT UQ-14 Urinalysis Control – level II	pH	6.0-7.0	Vert clair (6.0) – Vert (7.0)
	Protéines	+1 (0,3 g/L) à +3 (3,0 g/L)	Vert clair (+1) à Vert foncé (+3)
	Bilirubine	+2 (33 µmol/L) à +3 (100 µmol/L)	Orange (+2) à Brique (+3)
	Sang	+1 (25 cell/µL) à +3 (200 cell/µL)	Vert clair (+1) à Vert foncé (+3)
	Glucose	+2 (14 mmol/L) à +4 (55 mmol/L)	Rose foncé (+2) à Violet (+4)
	Corps cétoniques	± (0,5 mmol/L) à +2 (8,0 mmol/L)	Rose (±) à Rose foncé (+2)

Les solutions de contrôles sont utilisées selon les recommandations du fabricant :

- Conserver les solutions entre 2 et 8 °C à l'abri de la lumière. Une fois ouverte, conserver la solution 15 jours ;
- Avant le test, la solution doit être placée à température ambiante ;
- Une solution de contrôle peut être utilisée 6 fois maximum.

1.2. Solution à concentrations pertinentes (urine de synthèse)

Une urine de synthèse est constituée, à laquelle sont ajoutés les composants chimiques dans le but d'obtenir des concentrations cliniquement pertinentes (seuils pathologiques chez le chat) pour chaque analyte d'intérêt (Tableau 14).

Tableau 14 : Composition de l'urine de synthèse.

	Composant	Concentration (g/L)*	Plage correspondante	Seuils fixés comme pathologiques
Urine de base	Chlorure de potassium	7,6		
	Chlorure de sodium	17		
	Urée	49		
	Acide citrique	2,06		
	Acide ascorbique	0,68		
	Phosphate tripotassique	2,36		
	Créatinine	2,4		
	Hydroxyde de sodium	1,28		
	Bicarbonate de sodium	0,94		
	Acide sulfurique	1,03		
Analytes	Albumine bovine	1,2	Protéines	2+
	Hémoglobine humaine	0,0013	Sang	1+
	Glucose	0,6	Glucose	+/-
	Bilirubine	0,005	Bilirubine	1+
	Corps cétoniques	0,051**	Corps cétoniques	+/-

* Les concentrations pour les analytes ont été fixées à partir de seuils pathologiques

** L'ajout de corps cétoniques n'a pas permis de faire réagir la plage de la bandelette

A partir de l'urine de base, l'élaboration est faite en deux temps : d'abord avec l'ajout d'albumine (Bovine serum albumin $\geq 96\%$, Sigma-Aldrich, USA), d'hémoglobine (Hemoglobin human, Sigma-Aldrich, USA) et de glucose (Glucose 30%, B. Braun, Allemagne). Puis avec l'ajout de bilirubine (Bilirubin $\geq 98\%$, Sigma-Aldrich, USA) afin de ne pas interférer avec les autres plages à cause du changement de couleur engendré par le pigment.

Pour les corps cétoniques, la solution utilisée (Methyl acétoacétate 99%, Sigma-Aldrich, USA) ne s'est pas bien solubilisée. Après ajout de bilirubine, la plage de corps cétoniques est devenue positive dans une majorité des cas permettant tout de même l'évaluation de cette plage de couleur au seuil pathologique.

2. Bandelettes urinaires

2.1. Les bandelettes urinaires utilisées

Les solutions précédentes sont utilisées avec des bandelettes urinaires adaptées (URIT series urine reagent strips 14G).

Chaque plage réactive permet une mesure semi-quantitative d'un analyte. Les tests sont spécifiques pour chaque analyte et utilisent des moyens colorimétriques : chaque couleur sur la bandelette correspond à un intervalle de concentration (Figure 32).

Les analytes évalués sont ceux présentant un intérêt clinique chez le chat, c'est à dire le pH, les protéines, la bilirubine, le sang, le glucose et les corps cétoniques.

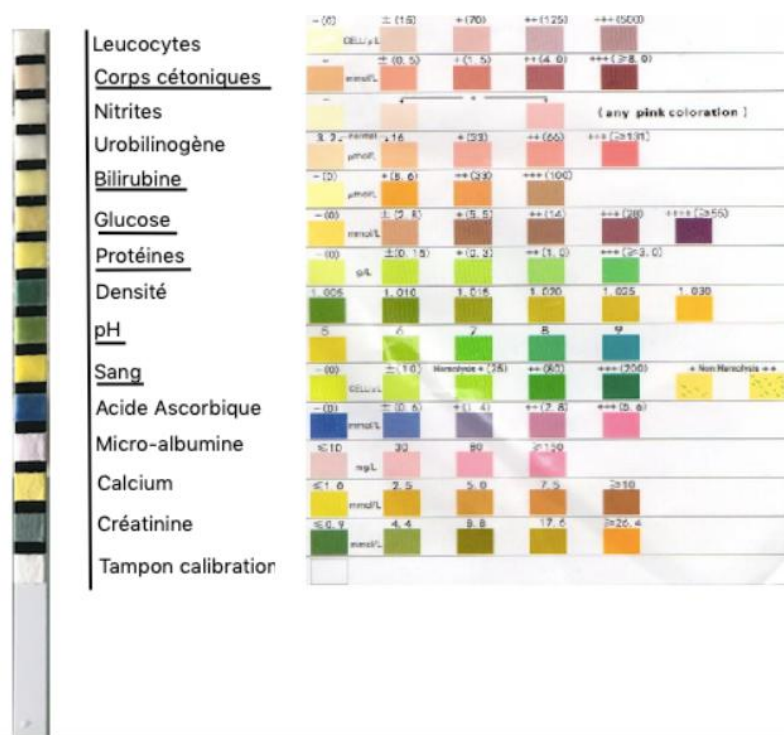


Figure 32 : Gammes de concentrations et leurs couleurs respectives présentées sur les bandelettes urinaires testées (URIT series urine reagent strips 14G).

Les bandelettes urinaires sont utilisées selon les recommandations du fabricant :

- Ne pas toucher les plages réactives des bandelettes avec les doigts ;
- Les bandelettes sont à usage unique ;
- Les bandelettes sont conservées à l'abri de la lumière, dans un étui avec un sachet dessiccant.

2.2. Procédure d'utilisation des bandelettes

Deux bandelettes accolées dos à dos sont plongées dans l'une des solutions de contrôle pendant 5 secondes puis apposées sur un papier absorbant, du côté opposé aux plages de réactifs. Une des bandelettes est introduite dans l'automate de lecture et l'autre est placée en face du smartphone, sur le dispositif d'acquisition photographique conçu pour l'expérience (Figure 36).

Les deux analyses de bandelettes sont lancées simultanément.

Cette manipulation est répétée à 80 reprises pour chacune des solutions de contrôle positif et négatif. Il a ensuite été réalisé autant de tests que nécessaire jusqu'à obtenir 80 comparaisons par analyte pour l'urine de synthèse.

Chaque solution de contrôle est utilisée 6 fois au maximum c'est-à-dire avec 12 bandelettes (14 solutions de chacun des contrôles ont donc été nécessaires).

Toutes les manipulations sont effectuées par les mêmes opérateurs.

3. Lecture des bandelettes par l'automate

3.1. Principe de lecture de l'automate

La bandelette est introduite dans l'emplacement prévu à cet effet, plages réactives vers le haut.

Le système de capteur optique-électronique comprend une source lumineuse dirigée vers les tampons réactifs de la bandelette et un récepteur de lumière. L'absorption et la réflexion varient avec le développement de la couleur du tampon réactif. La couleur dépend de la concentration de l'analyte dans l'urine : si la couleur du tampon de réactif est plus sombre, d'avantage de lumière sera absorbée et donc moins de lumière sera réfléchi, et vice versa.

La lumière réfléchi est transmise au système de capteur optique-électronique où les signaux optiques sont transformés en signaux électriques puis traités par l'unité centrale de traitement (Figure 33).

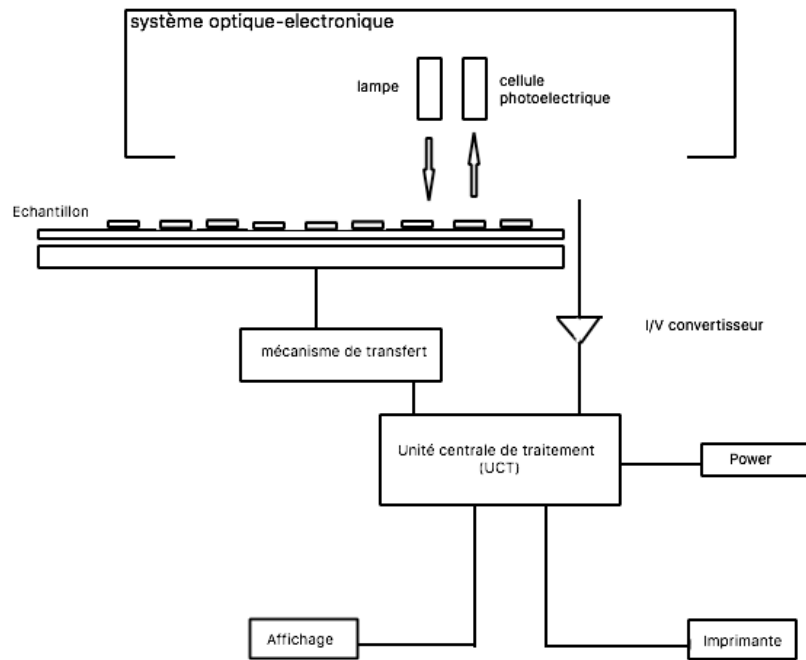


Figure 33 : Schéma de la structure de l'automate.

3.2. Obtention des résultats de l'analyse de la bandelette

Le temps d'analyse et d'obtention des résultats est de 60 secondes. Les résultats du test sont imprimés par l'intermédiaire de l'imprimante et sont collés dans un cahier. Chaque résultat est identifié par un numéro (Figure 34).

ID.	-----	
NO. 9233	2019-01-12	(38)
	16:27:42	
LEU	-	0 leu/uL
KET	-	0mg/dL
NIT	-	
URO	Normal	
BIL	-	0mg/dL
*GLU	+1	100mg/dL
*PRO	+2	100mg/dL
SG	1.015	
pH	5.0	
*BLD	+1	0.075mg/dL
*Vc	+3	0mg/dL
*MA		>=15mg/dL
*Ca		<=4.0mg/dL
GR		100mg/dL
*ACR	+1	30-300mg/g

Figure 34 : Résultats imprimés par le lecteur automatique de bandelette urinaire Urit 31 Vet analyzer.

4. Lecture des bandelettes urinaires par l'application smartphone

4.1 Dispositif

La bandelette urinaire est posée, plages des réactifs vers le haut, sur un support de couleur blanche avec une plaque de couleur de référence (Figure 35).

Un smartphone (modèle Redmi Note 5, Xiaomi, Chine) est placé sur un dispositif d'acquisition photographique conçu pour l'expérience de telle sorte que l'appareil se situe à 20 cm au-dessus de la bandelette (Figure 36).

Un système de LED est installé, permettant une luminosité constante.

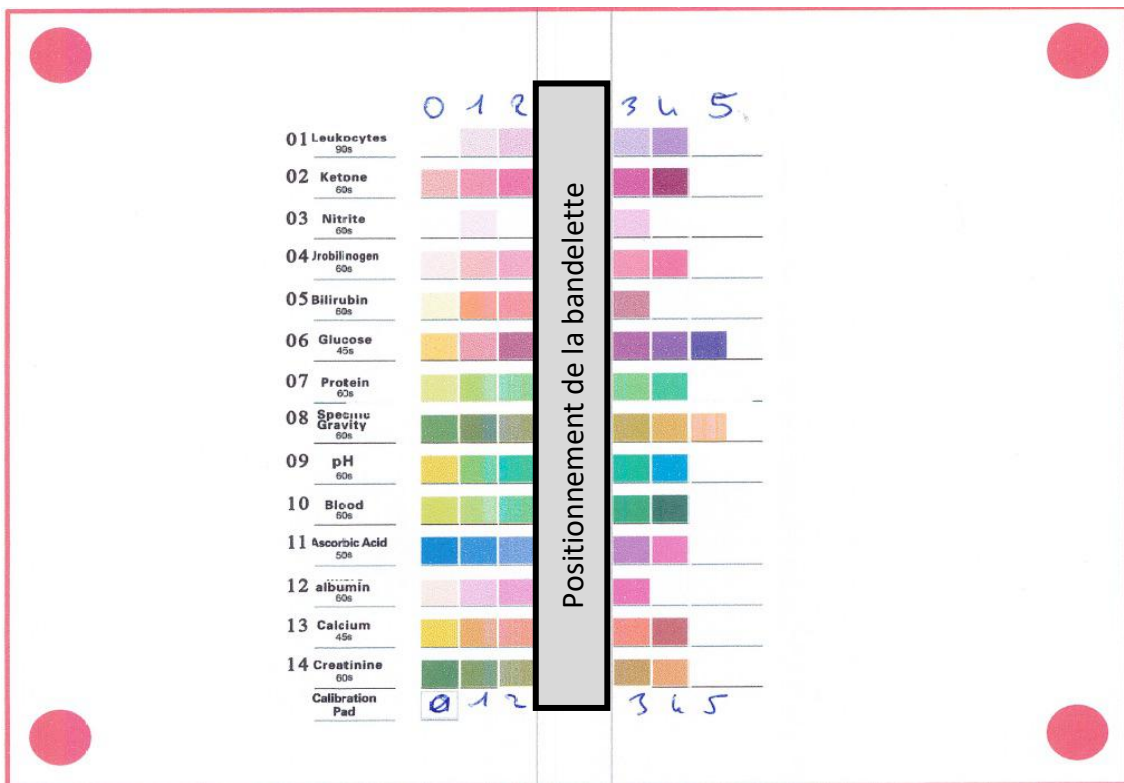


Figure 35 : Plaque avec les couleurs de référence et un emplacement pour déposer la bandelette urinaire au centre.



Figure 36 : Dispositif permettant de maintenir une distance et une luminosité constante pour assurer la reproductibilité des expériences.

4.2. L'application d'analyse de la bandelette urinaire

L'application « Caremitou ® » est lancée et le menu « WebcamTex » est utilisé pour permettre l'acquisition. L'image est recentrée grâce aux cercles rouges présents autour de la plaque de référence (Figure 37).

Le temps d'analyse de l'automate est de 60 secondes et l'acquisition par le smartphone est immédiate. Afin d'obtenir des résultats comparables, l'acquisition par le smartphone est effectuée en appuyant sur l'écran lorsque le compte à rebours de l'analyseur de référence est à 0 seconde.

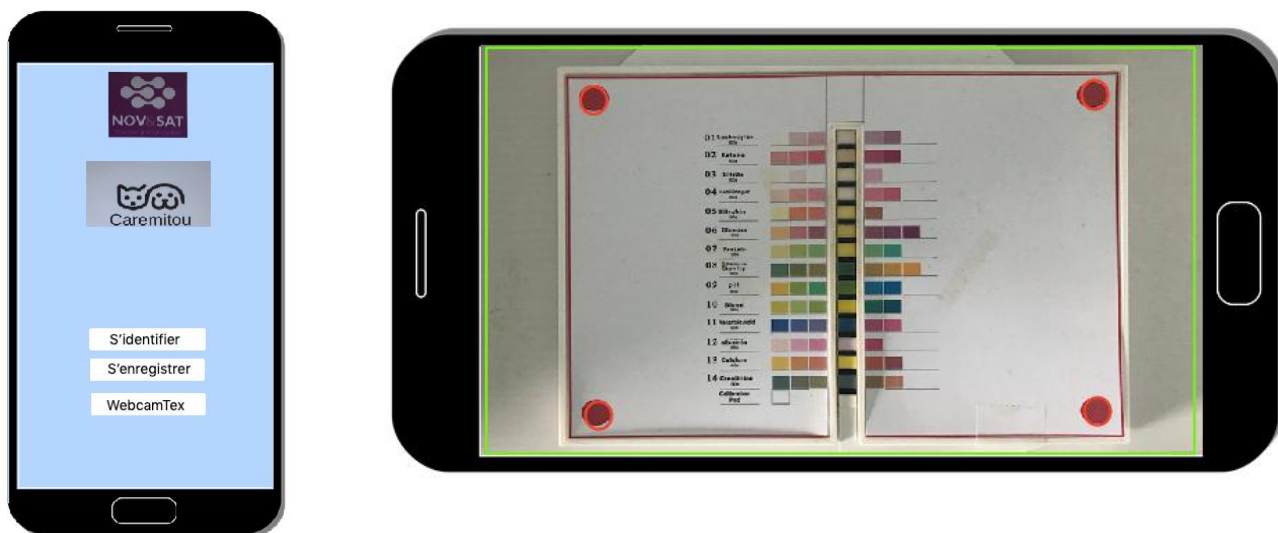


Figure 37 : Interface de l'application Caremitou.

4.3. Obtention des résultats de l'analyse de la bandelette

Les couleurs des tampons de la bandelette sont comparées avec celles du nuancier grâce à la méthode de distances présentée dans la partie II (II-2.4. ii).

L'application affiche une photo et un fichier texte qui sont renommés avec le même numéro que le résultat obtenu par l'automate (Figure 38). Les résultats sont donnés sous forme de chiffres allant de 0 à 5 pour chaque ligne correspondant à un composant analysé.

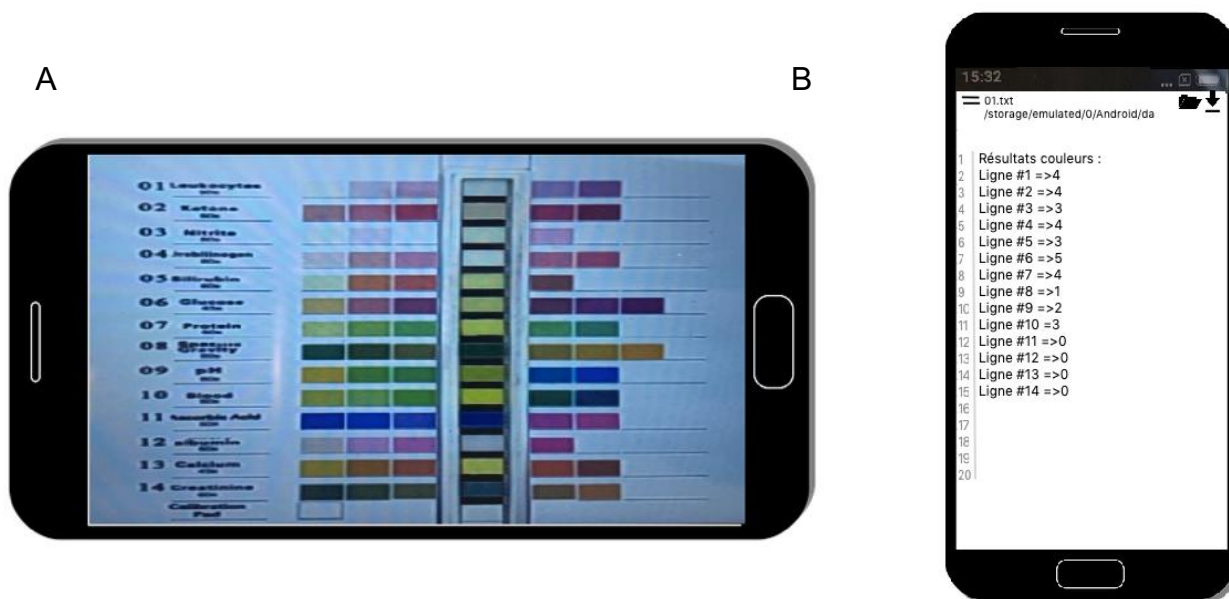


Figure 38 : Résultats donnés par l'application Caremitou avec deux types de fichier
A : fichier photo, B : fichier texte.

Le tableau 15 montre les équivalences entre les résultats obtenus par le smartphone et ceux de la méthode de référence.

Tableau 15 : Table de correspondance analyseur URIT 31Vet et Application smartphone Caremitou.

Smartphone Analyseur	0	1	2	3	4	5
pH	5	6	7	8	9	
Protéines g/L	- 0	+ / - 0,15	+1 0,3	+2 1,0	+ 3 > 3,0	
Bilirubine µmol/L	- 0	+1 8,6	+2 33	+3 100		
Sang cellules /µL	- 0	+/- 10	+1 25	+2 80	+3 200	
Glucose mmol/L	- 0	+/- 2,8	+1 5,5	+2 14	+3 28	+4 >55
Corps cétoniques mmol/L	- 0	+/- 0,5	+1 1,5	+2 4,0	+3 >8,0	

5. Recueil des résultats

Les résultats pour chaque bandelette analysée avec chacune des méthodes, pour chaque solution (contrôles négatifs et positifs, urine artificielle) sont reportés dans des tableaux présentés dans l'annexe 1 pour la solution de contrôle négatif, l'annexe 2 pour la solution de contrôle positif et l'annexe 3 pour l'urine de synthèse.

6. Statistiques

A la fin des manipulations, tous les résultats sont reportés dans un tableur permettant le calcul des pourcentages de concordances entre les 2 méthodes de lecture. Les sensibilités et spécificité de l'application smartphone ont également été calculées en prenant en compte les seuils pertinents chez le chat (Tableau 16).

Tableau 16 : Concentrations fixées comme « pertinentes » lors de l'analyse d'urine chez le chat.

Analytes	Résultat de la bandelette urinaire
Protéines	2+
Sang	1+
Glucose	+/-
Bilirubine	1+
Corps cétoniques	+/-

II. Résultats

Pour les trois solutions, les résultats de la plage « pH » ne sont pas analysés. Les valeurs obtenues ne sont pas assez variées pour permettre une interprétation.

1. Solution de contrôle négatif

80 comparaisons sont effectuées avec la solution de contrôle négatif. Les pourcentages de concordance sont reportés dans le tableau 17.

Tableau 17 : Pourcentages de concordance entre les deux méthodes de lecture de bandelettes urinaires pour la solution de contrôle négatif.

Élément de comparaison		Pourcentage de concordance
Par plage		94,00%
Par analyte	Protéines	93,8%
	Bilirubine	100%
	Sang	77,5%
	Glucose	98,8%
	Corps cétoniques	100%

1.1. Résultats de la plage « protéines »

Lors de l'évaluation de la plage « protéines », l'application donne 5 fois un résultat positif de 1 (tests 19 28, 43, 61, 71) alors que l'analyseur fournit un résultat négatif. Les résultats des autres tests sont identiques : systématiquement le résultat est négatif (0).

Les résultats sont récapitulés dans le tableau 18.

Tableau 18 : Résultats de l'automate de référence et de l'application smartphone pour la plage « protéines ».

Résultats Smartphone	Résultats Analyseur						TOTAL
	0	1	2	3	4	5	
0	75	0	0	0	0	0	75
1	5	0	0	0	0	0	5
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	80	0	0	0	0	0	80

1.2. Résultats de la plage « sang »

La plage « sang » est celle présentant la plus faible concordance entre les méthodes avec 18 résultats différents sur les 80 obtenus (tests 2, 5, 14, 20, 21, 28, 33, 43, 45, 53, 55, 59, 63, 71, 72, 74, 76, 78). Dans ces 18 cas, l'analyseur de référence donne un résultat faussement positif (1).

Dans un seul cas (test 1), l'application et l'analyseur de référence concluent à un résultat faussement positif (1).

Les résultats sont récapitulés dans le tableau 19.

Tableau 19 : Résultats de l'automate de référence et de l'application smartphone pour la plage « sang ».

Résultats Smartphone	Résultats Analyseur						TOTAL
	0	1	2	3	4	5	
0	61	18	0	0	0	0	79
1	0	1	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	61	19	0	0	0	0	80

1.3. Résultats pour la plage « glucose »

Pour l'évaluation du glucose, seul 1 test (test 30) n'est pas identique entre les deux méthodes. L'analyseur de référence donne une valeur anormalement positive (1) alors que l'application attribue un résultat négatif (0).

Les résultats sont récapitulés dans le tableau 20.

Tableau 20 : Résultats de l'automate de référence et de l'application smartphone pour la plage « glucose ».

Résultats Smartphone	Résultats Analyseur						TOTAL
	0	1	2	3	4	5	
0	79	1	0	0	0	0	80
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	79	1	0	0	0	0	80

1.4. Résultats pour les plages « corps cétoniques » et « bilirubine »

Les résultats donnés par l'automate et l'application sont négatifs (0) dans les 80 cas pour les plages « bilirubine » et « corps cétoniques ».

2. Solution de contrôle positif

80 comparaisons sont effectuées avec la solution de contrôle positif. Les pourcentages de concordance sont reportés dans le tableau 21.

Tableau 21 : Pourcentages de concordance entre les deux méthodes de lecture de bandelettes urinaires pour la solution de contrôle positif.

Élément de comparaison		Pourcentage de concordance
Par plage		60.8%
Par analyte	Protéines	100%
	Bilirubine	100%
	Sang	0%
	Glucose	98,8 %
	Corps cétoniques	5%

2.1. Résultats pour la plage « sang »

Aucun test ne conclut à des résultats identiques entre l'automate et l'application pour le sang. Pour les 80 tests, une sous-estimation systématique par l'application est notée (résultat automate = 4 et résultat de l'application = 3). Les résultats sont récapitulés dans le tableau 22.

Tableau 22 : Résultats de l'automate de référence et de l'application smartphone pour la plage « sang ».

Résultats Smartphone	Résultats Analyseur						TOTAL
	0	1	2	3	4	5	
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	80	0	80
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	0	0	0	0	80	0	80

2.2. Résultats pour la plage « glucose »

Pour le glucose, seul un test (test 69) n'est pas identique entre les 2 méthodes. L'analyseur donne un résultat positif intermédiaire (3) alors que l'application fournit un résultat maximal (5). Dans les 79 autres cas, le résultat est maximal (5) pour les deux méthodes. Les résultats sont récapitulés dans le tableau 23.

Tableau 23 : Résultats de l'automate de référence et de l'application smartphone pour la plage « glucose ».

Résultats Smartphone	Résultats Analyseur						TOTAL
	0	1	2	3	4	5	
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	79	80
TOTAL	0	0	0	1	0	1	80

2.3. Résultats pour la plage « corps cétoniques »

Seuls 4 tests de corps cétoniques donnent un résultat identique entre l'analyseur et l'application : (test 3 : 3 pour les deux méthodes, tests 17, 38 et 61 : 2 pour les deux méthodes).

Dans tous les autres cas, l'application surestime toujours la coloration : d'1 palier dans 27/76 cas, de 2 paliers dans 37/76 cas, de 3 paliers dans 12/76 cas.

Cette plage présente également des résultats différents entre les tests pour la méthode de référence avec 25 tests sur 80 donnant un résultat de 1, 52 tests sur 80 un résultat de 2 et 3 tests sur 80 un résultat de 3.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau 24.

Tableau 24 : Résultats de l'automate de référence et de l'application smartphone pour la plage « corps cétoniques ».

Résultats Smartphone	Résultats Analyseur						TOTAL
	0	1	2	3	4	5	
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	4	2	0	0	0	6
3	0	8	22	1	0	0	31
4	0	13	28	2	0	0	43
5	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	0	25	52	3	0	0	80

2.4 Résultats pour les plages « protéines » et « bilirubine »

Les résultats donnés par l'automate et l'application sont identiques pour les 80 tests relatifs aux plages « protéines » et « bilirubine » avec un résultat de 4 pour les protéines et de 3 pour la bilirubine.

3. Urine de synthèse

80 comparaisons sont effectuées aux seuils pathologiques pour chacun des analytes. Les pourcentages de concordance sont reportés dans le tableau 25.

Tableau 25 : Pourcentages de concordance entre les deux méthodes de lecture de bandelettes urinaires pour l'urine de synthèse.

Élément de comparaison		Pourcentage de concordance
Par plage		70 %
Par analyte	Protéines	97,5%
	Bilirubine	100%
	Sang	85%
	Glucose	22,5%
	Corps cétoniques	85 %

3.1. Résultats pour la plage « protéines »

Pour la plage évaluant les protéines, des résultats identiques sont notés dans 78/80 cas. Les 2 seuls résultats discordants (tests 32 et 51) sont liés à une sous-évaluation par l'application (résultat automate = 3 et résultat de l'application = 2)

Les résultats sont récapitulés dans le tableau 26.

Tableau 26 : Résultats de l'automate de référence et de l'application smartphone pour la plage « protéines ».

Résultats Smartphone	Résultats Analyseur						TOTAL
	0	1	2	3	4	5	
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	2	0	0	2
3	0	0	0	78	0	0	78
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	0	0	0	80	0	0	80

3.2. Résultats pour la plage « sang »

Des résultats identiques sont notés dans 68/80 cas pour la plage « sang » avec 64 fois des résultats de 2 et 4 fois des résultats de 1 pour les deux méthodes. Dans 2/12 cas, l'automate sur estime les résultats (résultat automate = 3 et résultats de l'application = 2) et dans 10/12 cas, celui-ci les sous-estime (résultats automate = 1 et résultats de l'application = 2).

Les résultats sont récapitulés dans le tableau 27.

Tableau 27 : Résultats de l'automate de référence et de l'application smartphone pour la plage « sang ».

Résultats Smartphone	Résultats Analyseur						TOTAL
	0	1	2	3	4	5	
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	4	0	0	0	0	4
2	0	10	64	2	0	0	76
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	0	14	64	2	0	0	80

3.3. Résultats pour la plage « glucose »

Les résultats de lecture de la plage glucose montrent le plus de désaccords entre les deux méthodes avec seulement 18/80 cas identiques. Dans les autres cas,

une surestimation par l'application est notée : d'1 palier dans 6/62 cas, de 2 paliers dans 27/62 cas, de 3 paliers dans 21/62 cas et de 4 paliers dans 8/62 cas.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau 28.

Tableau 28 : Résultats de l'automate de référence et de l'application smartphone pour la plage « glucose ».

Résultats Smartphone	Résultats Analyseur						TOTAL
	0	1	2	3	4	5	
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	7	0	0	0	0	7
2	0	1	6	0	0	0	7
3	0	16	4	5	0	0	20
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	8	21	11	1	0	41
TOTAL	0	32	31	16	0	0	80

3.4. Résultats pour la plage « corps cétoniques »

Concernant les corps cétoniques, les méthodes de lecture donnent des résultats identiques dans 68/80 cas. Dans 1/80 cas (test 21), l'application fournit un résultat faussement négatif (0) pour un résultat au seuil pathologique par l'automate (1).

11/80 fois, la valeur est surévaluée d'un palier par l'application : dans 5/80 cas l'automate fournit un résultat de 1 et l'application un résultat de 2 (test 7,14,36,41,62) et dans 6/80 cas l'automate donne un résultat de 0 et application un résultat de 1 (tests 4,15,27,28,45,56).

Les résultats sont récapitulés dans le tableaux 29.

Tableau 29 : Résultats de l'automate de référence et de l'application smartphone pour la plage « corps cétoniques ».

Résultats Smartphone	Résultats Analyseur						TOTAL
	0	1	2	3	4	5	
0	0	1	0	0	0	0	1
1	6	68	0	0	0	0	74
2	0	5	0	0	0	0	5
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	6	74	0	0	0	0	80

3.5. Résultats pour la plage « bilirubine »

L'intégralité des tests réalisés pour la bilirubine concluent à des résultats identiques (0) entre les deux méthodes.

4. Étude globale des trois solutions

Les pourcentages de concordance totaux, comprenant les 3 solutions, sont reportés dans le tableau 30.

Tableau 30 : Pourcentages de concordance globale entre les deux méthodes de lecture de bandelettes urinaires.

Élément de comparaison		Pourcentage de concordance
Par plage		77,5%
Par analyte	Protéines	97,1%
	Bilirubine	100%
	Sang	54,2%
	Glucose	73,3%
	Corps cétoniques	62,9%

Les calculs de sensibilité et spécificité aux seuils pathologiques d'intérêt sont reportés dans le tableau : en globalité et pour chaque analyte. Les résultats sont reportés dans le tableau 31.

Tableau 31. Sensibilité et spécificité de l'application smartphone.

Élément de comparaison		Sensibilité	Spécificité
Par analyte	Protéines	98,8%	100%
	Bilirubine	100%	100%
	Sang	100%	89,4%
	Glucose	99,4%	100%
	Corps cétoniques	99,4%	93%
TOTAL		99,4%	96,8%

III. Discussion

1. Efficacité de l'application smartphone « Caremitou ®»

L'application smartphone de lecture de bandelette urinaire donne des résultats identiques à l'analyseur de référence dans 77,5% des cas. De plus la spécificité et la sensibilité sont respectivement de 99,4% et 96,8% permettant de dire que l'application semble être un moyen fiable de lecture de bandelette urinaire.

Au vu des pourcentages de concordance établis avec les trois solutions, l'application semble plus efficace dans la détection des résultats négatifs (94% de concordance entre les deux méthodes pour les résultats négatifs contre 60% pour les résultats positifs).

Certains résultats diffèrent entre les deux techniques de lecture mais parfois aussi au sein de la même méthode. En effet, les résultats ne sont pas toujours identiques pour la méthode de référence avec pourtant la même solution de contrôle.

Par exemple, les résultats pour la plage corps cétoniques avec la solution de contrôle positif varient entre +2 et +4, ceux pour la plage glucose avec l'urine de synthèse varient entre +1 et +3. Ainsi, il existe des faux positifs et faux négatifs même en utilisant la méthode de référence.

L'application Caremitou ® est aussi performante qu'un analyseur semi-automatique mais il n'est pas possible d'assurer la fiabilité à 100%. En effet, pour affirmer cela il serait nécessaire de tester un plus grand nombre de concentrations.

2. Faisabilité de la lecture de bandelette urinaire chez le propriétaire

L'application est simple et ne requiert pas de compétences particulières en médecine vétérinaire pour être utilisée. Les propriétaires peuvent aisément pratiquer l'analyse d'urine chez eux. Cependant, certains points doivent être pris en compte.

2.1. Récolte de l'urine

Les méthodes d'obtention de l'urine habituellement utilisées en cabinet vétérinaire ne sont pas applicables chez le propriétaire. En effet, il n'est pas qualifié pour effectuer un taxis vésical, une cystocentèse ou un sondage urinaire. Il faut alors utiliser une litière spécifique qui permet de récupérer de l'urine le plus simplement possible.

La société Nov&Sat souhaite développer un modèle de maison de toilette pour chat comprenant un bac incliné avec une litière non absorbante. L'urine s'écoule dans un réservoir prévu à cet effet. Ce système implique que les propriétaires achètent une litière spécifique, qui est plus onéreuse que les litières classiques et peut donc être un frein à la récupération correcte des urines.

Une autre solution serait d'utiliser un bac classique et une litière non agglomérante. Le propriétaire prélève alors les urines au fond du bac. Dans ce cas de figure, la litière doit être maintenue propre pour limiter les souillures. Par ailleurs, l'urine doit être récupérée le plus rapidement possible afin d'éviter les modifications liées au temps écoulé entre le prélèvement et l'analyse

Le propriétaire n'étant pas présent toute la journée, l'analyse d'urine peut être effectuée plusieurs heures après l'émission, entraînant une modification de l'analyse comme il a été présenté dans la première partie (I-2, page 22).

Étant donné que la composition de l'urine varie au cours de la journée, la récolte d'urine dans la litière permet de récupérer des urines émises à plusieurs moments de la journée et donc d'être plus représentative qu'un prélèvement d'urine ponctuel.

2.2. Analyse d'urine

Cette étude a été réalisée de façon standardisée avec un seul modèle de téléphone, un éclairage artificiel fixe et une distance entre la caméra et la bandelette urinaire constante. Or, ces conditions ne seront pas retrouvées chez le propriétaire. Il possède son propre smartphone avec des caractéristiques techniques et photographiques spécifiques.

L'éclairage sera celui de l'environnement ambiant et pourra varier selon les jours, le temps extérieur ou encore l'heure de la journée. Or, comme il a été abordé dans la

partie 2, l'éclairage est un paramètre de variation très important et peut entraîner des modifications dans le résultat obtenu.

Le dispositif d'acquisition photographique utilisé dans notre étude permet de maintenir toujours le même angle et la même distance entre la caméra et la bandelette urinaire.

Cependant, ce dernier ne sera pas fourni aux propriétaires.

Ne pouvant mesurer la distance entre le smartphone et la bandelette pour chaque analyse, le propriétaire devra se placer à une distance et un angle approximatif qui pourront varier de ceux utilisés dans notre étude.

Il faudrait donc tester l'application dans des conditions réelles, où ce sont les propriétaires qui effectuent les manipulations afin de voir si un changement dans la façon de manipuler entraîne un changement des résultats donnés par l'application.

Cette étude étant préliminaire, il était nécessaire de valider le fonctionnement de l'application dans des conditions standardisées avec des solutions de contrôle aux concentrations fixées avant de pouvoir l'appliquer aux chats . De plus, afin d'obtenir un nombre suffisant d'échantillons aux différents seuils fixés, il aurait fallu prélever de trop nombreux chats.

Les solutions de contrôle permettent d'évaluer les performances de l'automate pour des concentrations extrêmes (complètement négatif ou complètement positif). Ce qui ne reflète que partiellement la réalité lors de l'analyse des urines de chats (résultats souvent intermédiaires). Ainsi, la création d'urine de synthèse a permis de s'approcher au plus près des seuils considérés comme pathologiques et donc évaluer plus finement les performances diagnostiques de l'application smartphone.

Il faudra donc également s'assurer du bon fonctionnement de l'application lorsque la bandelette est utilisée avec de l'urine de chat et non des solutions standardisées.

3. L'application ne remplace pas une visite vétérinaire

Une analyse d'urine doit être complète afin d'obtenir toutes les informations. L'application smartphone permet uniquement une analyse chimique des paramètres d'intérêt chez le chat mais ne permet pas une analyse physique et microscopique. Cependant, comme précisé dans la première partie, il est important de confronter ces

résultats à ceux d'autres examens (la densité urinaire, l'aspect macroscopique, l'analyse des sédiments) afin que l'analyse urinaire soit complète.

Cette méthode présente tout de même l'avantage d'être réalisable à la maison et de limiter les variations de la composition des urines liées au stress (notamment concernant le glucose) ou au mode de prélèvement à la clinique (risque d'hématurie iatrogène lors de cystocentèse). Ainsi, s'il y'a présence de glucose ou de sang dans les urines, ce sera pathologique.

La sensibilité et la spécificité étant respectivement de 99,4% et 96,8%, l'application est capable de détecter des anomalies à la bandelette urinaire. Ainsi, l'utilisation de cette application à la maison peut se révéler efficace à la détection précoce d'anomalies et permettre un suivi vétérinaire anticipé. La mise en place d'un traitement adapté se fera alors dans de meilleurs délais.

De plus, lors de diabète sucré, l'analyse d'urine est un examens complémentaires important afin de détecter l'apparition de corps cétoniques dans les urines. L'application rend alors le suivi plus facile en permettant des analyses d'urine régulières à la maison.

CONCLUSION

La technologie est de plus en plus présente dans notre quotidien mais aussi dans le quotidien des professionnels de santé et des vétérinaires. Les nouvelles innovations offrent la possibilité d'obtenir des informations sur leur patient facilement et à faible coût. Néanmoins, il faut s'assurer que les informations résultant des analyseurs connectés sont fiables.

Cette étude permet de démontrer que l'application Caremitou® pour smartphone peut être utilisée pour la lecture de bandelette urinaire avec des performances diagnostiques semblables à celles d'un analyseur de référence. Avec une sensibilité de 96,8%, l'application est capable de détecter l'apparition de résultats positifs sur la bandelette urinaire de façon précoce.

Ainsi, cette innovation permettra de réaliser des analyses d'urine facilement pour le propriétaire et sans contrainte pour l'animal. Mais aussi d'obtenir une détection précoce des anomalies et une prise en charge plus rapide.

N'étant obtenus qu'à partir de solutions artificielles, il faut cependant s'assurer que les résultats de cette étude préliminaire seront toujours valables avec des urines de chats.

Tester l'application sur des urines de chats serait donc une étape de validation suivante pour s'assurer que la méthode puisse être utilisée au quotidien de façon fiable.

Si l'étude se porte uniquement sur les chats, il est possible de se demander si cette application pourra être également utilisée chez le chien.

AGREMENT SCIENTIFIQUE

En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire

Je soussigné(e), Didier CONCORDET, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **Candice GILLET** intitulée « **Validation d'une méthode de lecture de bandelettes urinaires pour chat par une application de smartphone** » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

Fait à Toulouse, le 18 Juin 2020
Enseignant-chercheur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Professeur Didier CONCORDET

Vu :
Le Directeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
M. Pierre SANS

Vu :
La Présidente du jury
Professeure Peggy GANDIA

Vu et autorisation de l'impression :
Le Président de l'Université Paul Sabatier
M. Jean-Marc BROTO

Mme Candice GILLET
a été admis(e) sur concours en : 2015
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le : 09/07/2019
a validé son année d'approfondissement le : 18/06/2020
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.

Bibliographie

ANDERSON R.S. Water Balance in the dog and cat. *Journal of small animal practice*. 1982, **23(9)**, 588-598.

ARNAUT DE TOLEDO V-A., COLLA RUVOLO-TAKASUSUKI M-C., BRAZ DE OLIVERIA A., DECHECHI CHAMBO E., SANCHES LOPES S-M. Spectrophotometry as a Tool for Dosage Sugars in Nectar of Crops Pollinated by Honeybees. *Macro to Nano Spectroscopy*. 2012, **14**, 270-290.

BARSANTI, JA. BLUE J., EDMUNDS J. Urinary Tract Infection Due to Indwelling Bladder Catheters in Dogs and Cats. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 1985, **187 (4)**, 384–388.

BIERTUEMPFEL PH., LING GV., LING GA. Urinary Tract Infection Resulting from Catheterization in Healthy Adult Dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 1981, **178(9)**, 989–991.

CARTER JM., KLAUSNER JS., OSBORNE CA., BATES FY. Comparison of Collection Techniques for Quantitative Urine Culture in Dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 1978, **173(3)**, 296–298.

CHANDLER A. A Beginner's Guide to (CIE) Colorimetry. Medium (*en ligne*), mis en ligne le 11 septembre 2016, consulté le 25 mai 2019, Disponible à l'adresse <https://medium.com/hipster-color-science/a-beginners-guide-to-colorimetry-401f1830b65a>.

CHANG J-D., SHYR-SHEN Y., HONG-HAO C., CHWEI-SHYONG T. HSV-Based Color Texture Image Classification Using Wavelet Transform and Motif Patterns. *Journal of Computers*. 2010, **20(4)**, 63-69.

CHEW D., DIBARTOLA S. Interpretation of Canine and Feline Urinalysis. Clinical Handbook Series. Nestlé Purina PetCare company. 1998.

COMER KM., LING GV. Results of Urinalysis and Bacterial Culture of Canine Urine Obtained by Antepubic Cystocentesis, Cauterization and the Midstream Voided Methods. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 1981, **179(9)**, 891–895.

DING C., GU J., MA X., GAO F., LI Y. Target Recognition in Different Color Spaces. International Conference on Information and Automation, Yinchuan, Chine, 2013.

DUPONT D., STEEN D. Colorimétrie, Eléments théoriques” *Techniques de l'Ingénieur*. 2004, **6(440)**.

GREBET M., TRUMEL C. L'analyse d'urine en 10 étapes –Etape 2, Réalisation pratique de l'analyse d'urine conventionnelle et interprétation de la densité urinaire. *Le point vétérinaire*, 2019, **50(396)**, 18-21.

GUTHMANN C. "Newton et la naissance de la théorie des couleurs. Bibnum (*en ligne*), mis en ligne en 2010, consulté le 25 mai 2019. Disponible à l'adresse : <http://journals.openedition.org/bibnum/743>

HARLEY L., LANGSTON C. Proteinuria in Dogs and Cat. *The Canadian veterinary journal*, 2012, **53(6)**, 631–638.

HOLAN K-M., KRUGER J., GIBBONS S., SWENSON C. Clinical Evaluation of a Leukocyte Esterase Test-Strip for Detection of Feline Pyuria. *Veterinary Clinical Pathology*. 1997, **26(3)**, 126–131.

HONG JI., CHANG B-Y. Development of the Smartphone-Based Colorimetry for Multi-Analyte Sensing Arrays. *Lab Chip*. 2014, **14(10)**, 1725–1732.

JALAL U., JUN JIN G., SHIM J. Paper–Plastic Hybrid Microfluidic Device for Smartphone-Based Colorimetric Analysis of Urine. *Analytical Chemistry*. 2017, **89(24)**, 13160–13166.

KARLSEN H. DONG T. Smartphone-Based Rapid Screening of Urinary Biomarkers. *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, 2017, **11(2)**, 455–463.

KIPPERMAN B. The Demise of the Minimum Database. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2014, **244(12)**, 1368–1370.

KLAUSNER JS, OSBORNE CA. HILGREN J. The Interpretation and Misinterpretation of Bacteriuria. *Minnesota Veterinarian*. 1975, **(15)**, 43–47.

LACOUR B. Physiologie Du Rein et Bases Physiopathologiques Des Maladies Rénales. *Revue Francophone des Laboratoires*. 2013, **(451)**, 25–37.

LAVABRE T., TRUMEL C. L'Analyse d'urine En 10 Étapes -Etape 1 : Prélèvement et Conservation Des Urines . *Le point vétérinaire*. 2019, **50(394)**, 18-20

LEES GE., OSBORNE CA. STEVENS JB. Antibacterial Properties of Urine: Studies of Feline Urine Specific Gravity, Osmolality and PH." *Anim Hosp Association*. 1979 **(15)**135–14.

MARQUIE JC. Perception visuelle et vieillissement. *L'année psychologique*. 1986, **86(4)**, 573-608.

MAUREY C., Sémiologie biologique urinaire. *EMC Vétérinaire*. 2005 **2(3)**, 156-168.

OGEER GYLES J., MATHEW K., BOERLIN P. Nosocomial infections and antimicrobial resistance in critical care medicine. *Journal of Veterinary Emergency Critical Care*. 2006 **16(1)**, 1-18

OSBORNE C., STEVENS J. Analyses Urinaires : Guide Clinique. Edition Bayer. 1999.

- PAEPE D., BAVEGEMS V., COMBES A., SAUNDERS J., DAMINET S. Prospective Evaluation of Healthy Ragdoll Cats for Chronic Kidney Disease by Routine Laboratory Parameters and Ultrasonography. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2013, **15(10)**, 849–857.
- PAEPE D., VERJANS D., DUCHATEAU L., PIRON K., GHYS L., DAMINET S. Routine Health Screening: Findings in Apparently Healthy Middle-Aged and Old Cats. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2013, **15(1)**, 8–19.
- PARRAH J.D., MOULVI B.A., MOSHIN A., GAZI D., MAKHDOOMO M., ATHAR H., MEHRAJ U., DIN U., SHADID D., MIR A.Q. Importance of Urinalysis in Veterinary Practice – A Review. *Veterinary World*. 2013, **6(9)**, 640–646.
- PRICE C. “Point of Care Testing.” *BMJ*. 2001, **322(7297)**, 1285–1288.
- REINE N., LANGSTON C. Urinalysis Interpretation: How to Squeeze out the Maximum Information from a Small Sample.” *Clinical Techniques in Small Animal Practice*. 2005, **20(1)**, 2–10.
- RISHNIW M., BICALHO R. Factors Affecting Urine Specific Gravity in Apparently Healthy Cats Presenting to First Opinion Practice for Routine Evaluation. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2015, **17**, 329–337.
- RIZZI T. “Urinalysis in Companion Animals Part 2: Evaluation of Urine Chemistry & Sediment.” *Today’s veterinary practice*, 2014. 86-91
- RUDLOFF E. Diabetic Ketoacidosis in the Cat: Recognition and Essential Treatment. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2017, **19(11)**, 1167–1174.
- RYAN B., PRANATA C., WICAKSANA J. Home-Based Device for Daily Urine Test with Lab-Level Accuracy.” *Conférence Hong Kong University of Science and Technology*. 2018.
- SCHOOEKY K., VERGES ALBA LUZ E., CHAVARRIA M. Simple Spectrophotometric Determination of Urinary Albumin by Dye-Binding with Use of Bromphenol Blue. *Clinical Chemistry*. 1987, **33(2)**, 223–226.
- STOCKHAM, STEVEN L., MICHAEL S. Fundamentals of Veterinary Clinical Pathology. *2nd ed. Ames, Iowa: Blackwell Pub*. 2008.
- STRASINGER SK., DI LORENZO MS. Urinalysis and Body Fluids. 2008, **5**.
- THRALL BE., MILLER LG. Water Turnover in Cats Fed Dry Rations. *Fel Pract*. 1976 **6**, 10–17.
- TREMEAU A. “Eléments de Base de La Colorimétrie.” *Université Jean Monnet*, 2006.
- VIVALDI P., COMOTTI C., PEDRAZZOLI M. The kidney in multiple myeloma. The physiopathological and clinical aspects. *Recenti Progressi in Medicina*. 1994, **85 (2)**, 123-133.

WATSON AD. Urine Specific Gravity in Practice. *Australian Veterinary Journal*. 1998, **76(6)**, 392–398.

WEALE R. A. Retinal Illumination and Age. *Transactions of the Illuminating Engineering Society. Sage journals*. 1961, **26**, 95–100.

YANG R., CHENG W., CHEN X., QIAN Q., ZHANG Q., PAN Y., DUAN P., MIAO P. Color Space Transformation-Based Smartphone Algorithm for Colorimetric Urinalysis. *American chemistry society Omega*. 2018, **3(9)**, 12141–12146.

ZATELLI A., PALTRINIERI S., NIZI F., ROURA X., ZINI E. Evaluation of a Urine Dipstick Test for Confirmation or Exclusion of Proteinuria in Dogs. *American Journal of Veterinary Research*. 2010, **71(2)**, 235–240.

ANNEXES

Annexe 1 : Résultats obtenues avec l'analyseur de référence et l'application smartphone pour la solution de contrôle négative.

Test 1

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	1	1
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 2

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	1	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 3

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 4

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 5

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	1	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 6

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 7

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 8

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 9

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 10

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 11

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 12

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 13

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 14

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	1	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 15

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 16

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 17

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 18

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 19

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	1
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 20

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	1	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 21

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	1	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 22

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 23

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 24

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 25

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 26

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 27

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 28

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	1
Bilirubine	0	0
Sang	1	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 29

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 30

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	1	0
Corps cétoniques	0	0

Test 31

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 32

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 33

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	1	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 34

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 35

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 36

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 37

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 38

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 39

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 40

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 41

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 42

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 43

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	1
Bilirubine	0	0
Sang	1	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 44

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 45

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	1	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 46

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 47

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 48

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 49

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 50

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 51

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 52

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 53

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	1	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 54

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 55

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	1	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 56

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 57

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 58

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 59

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	1	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 60

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 61

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	1
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 62

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 63

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	1	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 64

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 65

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 66

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 67

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 68

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 69

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 70

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 71

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	1
Bilirubine	0	0
Sang	1	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 72

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	1	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 73

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 74

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	1	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 75

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 76

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	0
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	1	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 77

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 78

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	1	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 79

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Test 80

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	0	0
Bilirubine	0	0
Sang	0	0
Glucose	0	0
Corps cétoniques	0	0

Annexe 2 : Résultats obtenues avec l'analyseur de référence et l'application smartphone pour la solution de contrôle positive.

Test 1

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 2

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 3

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	3	3

Test 4

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 5

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	3	4

Test 6

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 7

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	4

Test 8

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	4

Test 9

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	3	4

Test 10

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 11

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 12

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 13

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 14

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	2
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	4

Test 15

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	2

Test 16

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	2

Test 17

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	2

Test 18

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 19

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 20

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 21

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 22

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	4

Test 23

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 24

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	3

Test 25

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 26

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 27

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	3

Test 28

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 29

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	3

Test 30

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 31

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	3

Test 32

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 33

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 34

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	4

Test 35

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 36

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	2

Test 37

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 38

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	2

Test 39

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	4

Test 40

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	3

Test 41

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 42

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	4

Test 43

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 44

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 45

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 46

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	4

Test 47

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	2

Test 48

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 49

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 50

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 51

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 52

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 53

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 54

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 55

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 56

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 57

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	3

Test 58

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 59

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 60

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 63

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	3

Test 64

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 65

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	4

Test 66

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 67

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 68

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 69

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	3	5
Corps cétoniques	2	4

Test 70

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 71

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	4

Test 72

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 73

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 74

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 75

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	4

Test 76

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	2
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	3

Test 77

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	4

Test 78

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 79

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	2	4

Test 80

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	4	4
Bilirubine	3	3
Sang	4	3
Glucose	5	5
Corps cétoniques	1	3

Annexe 3 : Résultats obtenues avec l'analyseur de référence et l'application smartphone pour la solution d'urine de synthèse

Test 1

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	3	2
Glucose	3	3
Corps cétoniques	1	1

Test 2

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	3
Corps cétoniques	1	1

Test 3

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	3
Corps cétoniques	1	1

Test 4

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	3
Corps cétoniques	0	1

Test 5

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	1
Corps cétoniques	1	1

Test 6

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	5
Corps cétoniques	1	1

Test 7

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	3
Corps cétoniques	1	2

Test 8

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	3
Corps cétoniques	1	1

Test 9

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	3	2
Glucose	1	1
Corps cétoniques	1	1

Test 10

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	3
Corps cétoniques	1	1

Test 11

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	3
Corps cétoniques	1	1

Test 12

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	3
Corps cétoniques	1	1

Test 13

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	5
Corps cétoniques	1	1

Test 14

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	5
Corps cétoniques	1	2

Test 15

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	3
Corps cétoniques	0	1

Test 16

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	2
Corps cétoniques	1	1

Test 17

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	1
Corps cétoniques	1	1

Test 18

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	5
Corps cétoniques	1	1

Test 19

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	5
Corps cétoniques	1	1

Test 20

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	3
Corps cétoniques	1	1

Test 21

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	5
Corps cétoniques	1	0

Test 22

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	3	3
Corps cétoniques	1	1

Test 23

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	3
Corps cétoniques	1	1

Test 24

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	5
Corps cétoniques	1	1

Test 25

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	2
Corps cétoniques	1	1

Test 26

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	5
Corps cétoniques	1	1

Test 27

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	5
Corps cétoniques	0	1

Test 28

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	3
Corps cétoniques	0	1

Test 29

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	2
Corps cétoniques	1	1

Test 30

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	5
Corps cétoniques	1	1

Test 31

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	1	2
Glucose	2	5
Corps cétoniques	1	1

Test 32

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	2
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	5
Corps cétoniques	1	1

Test 33

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	3
Corps cétoniques	1	1

Test 34

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	3
Corps cétoniques	1	1

Test 35

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	1	1
Glucose	1	1
Corps cétoniques	1	1

Test 36

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	1	1
Glucose	1	3
Corps cétoniques	1	2

Test 37

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	5
Corps cétoniques	1	1

Test 38

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	1	2
Glucose	2	5
Corps cétoniques	1	1

Test 39

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	1	1
Glucose	2	5
Corps cétoniques	1	1

Test 40

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	1	1
Glucose	3	3
Corps cétoniques	1	1

Test 41

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	1	2
Glucose	1	5
Corps cétoniques	1	2

Test 42

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	1
Sang	1	2
Glucose	3	5
Corps cétoniques	1	1

Test 43

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	2
Corps cétoniques	1	1

Test 44

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	1	2
Glucose	1	1
Corps cétoniques	1	1

Test 45

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	1	2
Glucose	2	5
Corps cétoniques	0	1

Test 46

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	5
Corps cétoniques	1	1

Test 47

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	3
Corps cétoniques	1	1

Test 48

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	1	2
Glucose	1	5
Corps cétoniques	1	1

Test 49

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	5
Corps cétoniques	1	1

Test 50

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	2
Corps cétoniques	1	1

Test 51

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	2
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	3	5
Corps cétoniques	1	1

Test 52

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	5
Corps cétoniques	1	1

Test 53

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	3	5
Corps cétoniques	1	1

Test 54

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	3
Corps cétoniques	1	1

Test 55

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	3	5
Corps cétoniques	1	1

Test 56

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	2
Corps cétoniques	0	1

Test 57

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	1
Sang	2	2
Glucose	2	5
Corps cétoniques	1	1

Test 58

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	5
Corps cétoniques	1	1

Test 59

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	5
Corps cétoniques	1	1

Test 60

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	5
Corps cétoniques	1	1

Test 61

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	3	3
Corps cétoniques	1	1

Test 62

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	3
Corps cétoniques	1	1

Test 63

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	3	3
Corps cétoniques	1	1

Test 64

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	1	2
Glucose	3	5
Corps cétoniques	1	1

Test 65

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	5
Corps cétoniques	1	1

Test 66

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	5
Corps cétoniques	1	1

Test 67

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	5
Corps cétoniques	1	1

Test 68

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	2	2
Corps cétoniques	1	1

Test 69

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	1
Corps cétoniques	1	1

Test 70

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	2	2
Glucose	1	1
Corps cétoniques	1	1

Test 71

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	1	2
Glucose	1	3
Corps cétoniques	1	1

Test 72

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	0	1
Protéines	3	3
Bilirubine	0	0
Sang	1	2
Glucose	1	3
Corps cétoniques	1	1

Test 73

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	2	2
Bilirubine	1	1
Sang	2	2
Glucose	3	5
Corps cétoniques	1	1

Test 74

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	2	2
Bilirubine	1	1
Sang	2	2
Glucose	3	5
Corps cétoniques	1	1

Test 75

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	2	2
Bilirubine	2	1
Sang	2	2
Glucose	3	5
Corps cétoniques	1	1

Test 76

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	2	2
Bilirubine	2	1
Sang	2	2
Glucose	3	5
Corps cétoniques	1	1

Test 77

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	2	2
Bilirubine	1	1
Sang	2	2
Glucose	3	5
Corps cétoniques	1	1

Test 78

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	2	2
Bilirubine	2	1
Sang	2	2
Glucose	2	5
Corps cétoniques	1	1

Test 79

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	2	2
Bilirubine	2	1
Sang	2	2
Glucose	3	5
Corps cétoniques	1	1

Test 80

Analyte	MéthRéf	Smartphone
pH	1	1
Protéines	2	2
Bilirubine	1	1
Sang	2	2
Glucose	4	5
Corps cétoniques	1	1

GILLET Candice

VALIDATION D'UNE METHODE DE LECTURE DE BANDELETTES URINAIRES POUR CHAT PAR UNE APPLICATION DE SMARTPHONE

Mots clés : analyse ; urine ; chat ; smartphone ; application ; colorimétrie

L'analyse d'urine est un examen complémentaire facile et peu coûteux mais néanmoins très important chez le chat. Habituellement l'analyse d'urine complète doit être réalisée chez un vétérinaire. Cependant, le développement d'applications connectées et l'utilisation des smartphones en milieu vétérinaire tend à rendre possible la réalisation d'examens complémentaires directement chez le propriétaire. La société Nov&Sat a développé une application smartphone « Caremitou ® » permettant de lire les bandelettes urinaires grâce à une photographie smartphone. En utilisant des algorithmes colorimétriques, l'application analyse les résultats de la bandelette urinaire et permet d'obtenir des résultats rapidement et de manière aussi fiable qu'un analyseur de référence. Le suivi des analyses d'urine pourra alors être facilité et les contraintes de manipulation du chat ainsi que les modifications de l'analyse d'urine liées au stress seront diminuées.

VALIDATION OF A METHOD FOR URINARY STRIPS READING BY A SMARTPHONE APPLICATION ON CAT

Key words : analysis, urine, cat, application, colorimetry

Urinalysis is an easy and inexpensive complementary test, but nevertheless very important on cats. Usually the full urine test should be done by a veterinarian. However, the development of connected applications and the use of smartphones in the veterinary medicine tends to make it possible to carry out additional examinations directly at home. The company « Nov & Sat » has developed a smartphone application "Caremitou ®" for reading urinary strips using smartphone photography. Using color algorithms, the application analyzes the results of the urine strip and provides results quickly. Results are as reliable as an automatic analyzer. The monitoring of urinalysis can be facilitated and the manipulation of the cat as well as changes in urinalysis linked to stress will be reduced.