



HAL
open science

Urolithiase chez le chat : étude rétrospective sur 4 705 calculs urinaires félines prélevés de 2016 à 2021 en France et analysés par spectrométrie infrarouge

Hortense Hélier

► To cite this version:

Hortense Hélier. Urolithiase chez le chat : étude rétrospective sur 4 705 calculs urinaires félines prélevés de 2016 à 2021 en France et analysés par spectrométrie infrarouge. Médecine vétérinaire et santé animale. 2024. dumas-04810871

HAL Id: dumas-04810871

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04810871v1>

Submitted on 29 Nov 2024

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Année 2024

**UROLITHIASE CHEZ LE CHAT : ÉTUDE RÉTROSPECTIVE
SUR 4 705 CALCULS URINAIRES FÉLINS PRÉLEVÉS DE
2016 À 2021 EN FRANCE ET ANALYSÉS PAR
SPECTROMÉTRIE INFRAROUGE**

THÈSE

pour obtenir le diplôme d'État de
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE
présentée et soutenue publiquement devant
la Faculté de Médecine de Créteil (UPEC)
le 25 octobre 2024

par

Hortense Clara Marie HÉLIER

sous la direction de
Christelle MAUREY-GUÉNEC

JURY

Président du jury :	M. Laurent TIRET	Professeur à l'EnvA
Directrice de thèse :	Mme Christelle MAUREY-GUÉNEC	Professeure à l'EnvA
Examinatrice :	Mme Morgane CANONNE-GUIBERT	Maître de Conférences à l'EnvA

Liste des enseignants intervenant dans l'encadrement des thèses de Doctorat vétérinaire

version mai 2024



Liste des Professeurs et Maîtres de conférences titulaires de l'HDR

M	Adjou	Karim	Professeur	DPASP
M	Audigié	Fabrice	Professeur	DEPEC
M	Bellier	Sylvain	Professeur	DSBP
Mme	Benchkroun	Ghita	Maître de conférences HDR	DEPEC
M	Blaga	Radu	Professeur	DSBP
M	Blot	Stéphane	Professeur	DEPEC
M	Boulouis	Henri-Jean	Professeur émérite	DSBP
Mme	Chahory	Sabine	Professeur	DEPEC
Mme	Chastant	Sylvie	Professeur	DPASP
M	Chateau	Henry	Professeur	DSBP
Mme	Chetboul	Valerie	Professeur	DEPEC
Mme	Crepeaux	Guillemette	Maître de conférences HDR	DSBP
Mme	Crevier-Denoix	Nathalie	Professeur	DSBP
M	Degueurce	Christophe	Professeur	DSBP
M	Denoix	Jean-Marie	Professeur	DEPEC
M	Desquilbet	Loïc	Professeur	DSBP
Mme	Dufour	Barbara	Professeur émérite	DPASP
M	Fayolle	Pascal	Professeur émérite	DEPEC
M	Federighi	Michel	Professeur	DPASP
M	Fontbonne	Alain	Professeur	DEPEC
Mme	Gilbert	Caroline	Professeur	DSBP
M	Grandjean	Dominique	Professeur	DEPEC
Mme	Grimard-Ballif	Bénédicte	Professeur	DPASP
Mme	Haddad-Hoang Xuan	Nadia	Professeur	DPASP
M	Jouvion	Gregory	Professeur	DSBP
M	Kohlhauer	Matthias	Professeur	DSBP
Mme	Le Poder	Sophie	Professeur	DSBP
Mme	Le Roux	Delphine	Maître de conférences HDR	DSBP
M	Manassero	Mathieu	Professeur	DEPEC
Mme	Maurey-Guéneec	Christelle	Professeur	DEPEC
M	Millemann	Yves	Professeur	DPASP
M	Ponter	Andrew	Professeur	DPASP
Mme	Risco-Castillo	Véronica	Maître de conférences HDR	DSBP
Mme	Rivière	Julie	Professeur	DPASP
Mme	Robert	Céline	Professeur	DSBP
M	Tiret	Laurent	Professeur	DSBP
M	Tissier	Renaud	Professeur	DSBP
M	Verwaerde	Patrick	Professeur	DEPEC
Mme	Viateau	Véronique	Professeur	DEPEC

Liste des Maîtres de conférences et Ingénieurs de recherche DMV

M	Arné	Pascal	Maître de conférences	DPASP
Mme	Barassin	Isabelle	Maître de conférences	DPASP
Mme	Barbarino	Alix	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Béguin	Jérémy	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Bertoni	Leïa	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Canonne-Guibert	Morgane	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Chevallier	Lucie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Cochet-Faivre	Noëlle	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Cordonnier-Lefort	Nathalie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Coudry	Virginie	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Crozet	Guillaume	Maître de conférences	DPASP
Mme	De Paula Reis	Alline	Maître de conférences	DPASP
M	Delsart	Maxime	Maître de conférences	DPASP
Mme	Denis	Marine	Ingénieur de recherche (DMV)	DPASP
M	Deshuillers	Pierre	Maître de conférences	DSBP
M	Gauthier	Michel	Maître de conférences associé	DPASP
Mme	Guérin	Virginie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Guétin-Poirier	Valentine	Maître de conférences	DPASP
Mme	Jacquet	Sandrine	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Kurtz	Maxime	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Lagrée	Anne-Claire	Maître de conférences	DSBP
Mme	Le Dudal	Marine	Ingénieur de recherche (DMV)	DSBP
Mme	Legrand	Chantal	Maître de conférences associé	DSBP
M	Mammeri	Mohamed	Maître de conférences	DSBP
Mme	Manguin	Estelle	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Marignac	Genevieve	Maître de conférences	DSBP
Mme	Marotto	Stéphanie	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Maurice	Emeline	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Mespoules-Rivière	Céline	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Mortier	Jérémy	Maître de conférences associé	DEPEC
Mme	Mitimet	Narjès	Maître de conférences	DPASP
M	Nudelmann	Nicolas	Maître de conférences	DEPEC
M	Pignon	Charly	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Polack	Bruno	Maître de conférences	DSBP
Mme	Quéré	Émilie	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Radière	Guéric	Maître de conférences associé	DSBP
Mme	Ravary-Plumioën	Bérandère	Ingénieur de recherche (DMV)	DPASP
M	Reyes-Gomez	Edouard	Maître de conférences	DSBP
Mme	Rose	Hélène	Maître de conférences associé	DSBP
M	Tanquerel	Ludovic	Maître de conférences	DEPEC

Remerciements

Au Président du Jury de cette thèse, M Laurent Tiret, Professeur à l'EnvA, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider ce jury de thèse, hommages respectueux.

A Mme Christelle Maurey, Professeur à l'EnvA, pour son encadrement, ses encouragements et sa rigueur scientifique qui ont été essentiels dans l'élaboration et la rédaction de ce travail. Merci pour votre patience et pour avoir su m'orienter avec justesse dans mes recherches, sincères remerciements.

A Mme Morgane Canonne, Maitre de conférences à l'EnvA, pour avoir accepté d'évaluer ce travail. Je vous remercie pour le temps et l'attention que vous avez accordés à sa lecture.

A Mme Claire Nélaton, Chargée de communication chez Royal Canin, pour l'aide précieuse qu'elle m'a apportée lors de la rédaction de cette thèse. Son soutien a été d'une grande aide dans l'élaboration de ce travail.

A M Jérémie Laxalde, Statisticien chez Royal Canin, pour l'assistance qu'il m'a apporté pour la partie statistique de cette thèse. Son expertise a grandement contribué à la qualité de ce travail et je lui en suis profondément reconnaissante.

A Royal Canin, pour le partage des données ayant servi à l'élaboration de la partie expérimentale de ce travail.

A Vet'Analys, pour le recueil et l'analyse des calculs urinaires, ainsi que le partage des photographies étayant ce travail.

**

A ma famille, merci de m'avoir donné les moyens de réaliser mes rêves.

A mes amis, pour tous les moments de joie et vos encouragements précieux.

Liste des figures	5
Liste des tableaux	9
Liste des abréviations	11
Introduction	14
Première partie : étude bibliographique	16
1 Généralités sur les calculs urinaires	16
1.1 Le principe de formation des calculs urinaires.....	16
1.1.1 <i>La lithogenèse</i>	16
1.1.1.1 Sursaturation urinaire.....	17
1.1.1.2 Germination cristalline.....	17
1.1.1.3 Croissance cristalline.....	19
1.1.1.4 Agrégation cristalline.....	20
1.1.1.5 Agglomération cristalline.....	20
1.1.1.6 Rétention des particules cristallines.....	20
1.1.1.7 Croissance du calcul et/ou conversion cristalline.....	22
1.1.2 <i>Evaluation du risque de formation des calculs urinaires</i>	22
1.1.3 <i>Rôle du pH urinaire</i>	23
1.1.4 <i>Infection</i>	24
1.1.5 <i>Rôle des corps étrangers</i>	24
1.2 Epidémiologie.....	24
1.2.1 <i>Prévalence</i>	24
1.2.2 <i>Type de calculs</i>	27
1.2.3 <i>Facteurs de risque</i>	29
1.2.3.1 Age.....	29
1.2.3.2 Race.....	30
1.2.3.3 Statut sexuel.....	30
1.2.3.4 Note d'état corporel (NEC).....	30
1.2.3.5 Alimentation et consommation d'eau.....	30
1.2.3.6 Environnement.....	31
1.2.3.7 Infection du tractus urinaire (ITU).....	31
1.2.3.8 Médicaments.....	32
1.2.3.9 Métabolisme.....	32
2 Etude des principaux types d'urolithes rencontrés chez le chat	32
2.1 Oxalates de calcium.....	32
2.1.1 <i>Structure</i>	32
2.1.2 <i>Physiopathologie</i>	34
2.1.2.1 Hypercalciurie.....	36
2.1.2.2 Hyperoxalurie.....	37
2.1.2.3 Inhibiteurs.....	37
2.1.3 <i>Traitements</i>	37
2.1.4 <i>Pronostic et prévention des récurrences</i>	38
2.1.4.1 Alimentation.....	38
2.1.4.2 Médicalisation.....	40
2.1.4.3 Suivi à court, moyen et long terme.....	40
2.1.5 <i>Oxalate de calcium mono et dihydraté</i>	42
2.2 Struvite.....	42
2.2.1 <i>Structure</i>	42
2.2.2 <i>Physiopathologie</i>	43
2.2.3 <i>Traitement</i>	43
2.2.3.1 Diététique.....	43
2.2.4 <i>Pronostic et prévention des récurrences</i>	43
2.3 Phosphate de calcium.....	44
2.3.1 <i>Structure(s)</i>	44
2.3.2 <i>Physiopathologie</i>	44

2.3.3	Traitement	44
2.3.4	Pronostic et prévention des récurrences.....	44
2.4	Purines	44
2.4.1	Structure(s).....	45
2.4.2	Physiopathologie	45
2.4.2.1	Urates.....	45
2.4.2.2	Xanthine	46
2.4.3	Traitement calculolytique.....	46
2.4.4	Pronostic et prévention des récurrences.....	47
2.5	Cystine	47
2.5.1	Structure	47
2.5.2	Physiopathologie	47
2.5.3	Traitement	47
2.5.4	Pronostic et prévention des récurrences.....	48
2.6	Silice.....	48
2.6.1	Structure	48
2.6.2	Physiopathologie	48
2.6.3	Traitement	48
2.6.4	Pronostic et prévention des récurrences.....	48
3	Présentation clinique et démarche diagnostique	49
3.1	Signes cliniques	49
3.2	Examens complémentaires	49
3.2.1	Analyses biologiques.....	49
3.2.1.1	Examen sanguin	49
3.2.1.2	Analyses d'urine	50
3.2.2	Imagerie médicale	50
3.2.2.1	Radiographie	50
3.2.2.2	Echographie	51
3.2.2.3	Cystoscopie.....	52
3.2.2.4	Examen tomodensitométrique	52
3.2.3	Analyse du (des) calcul(s)	52
3.2.3.1	Analyse SPIR	52
3.2.3.2	Classification morpho-constitutionnelle chez l'homme.....	53
	Deuxième partie : étude expérimentale.....	56
1	Objectif.....	56
2	Matériel et méthodes	56
2.1	Sélection et étude des cas	56
2.2	Analyse minérale	57
2.3	Analyse statistique	59
3	Résultats.....	60
3.1	Population animale étudiée	60
3.1.1	Poids	60
3.1.2	Race	61
3.1.3	Statut sexuel.....	62
3.1.4	Age	63
3.1.5	Note d'état corporel (NEC)	63
3.2	Paramètres urinaires	64
3.2.1	pH.....	64
3.2.2	Densité urinaire (DU).....	65
3.2.3	Origine des calculs	66
3.3	Caractéristiques des calculs.....	66
3.3.1	Nature des calculs.....	66

3.3.1.1	Calculs purs	66
3.3.1.2	Calculs composés	67
3.3.1.3	Corps étrangers	67
3.3.1.4	Calculs mixtes	68
3.3.2	<i>Occurrence et pourcentages moyens des minéraux</i>	68
3.3.3	<i>Morphologie des calculs</i>	71
3.3.3.1	Nombre de calculs	71
3.3.3.2	Taille.....	71
3.3.3.3	Forme et consistance	71
3.3.3.4	Aspect et couleur de la surface	72
3.4	Calculs purs : évolution, étude des variations de leur nature minérale en fonction de leur morphologie, de l'animal et de ses paramètres urinaires.	74
3.4.1	<i>Etude de l'évolution des natures minérales sur la période d'étude</i>	74
3.4.2	<i>Relation entre nature du calcul pur et animal</i>	74
3.4.2.1	Nature et race	74
3.4.2.2	Nature et poids.....	76
3.4.2.3	Nature et statut sexuel	77
3.4.2.4	Nature et âge	79
3.4.2.5	Nature et NEC.....	80
3.4.3	<i>Relation entre nature du calcul pur et paramètres urinaires</i>	83
3.4.3.1	Nature et pH.....	83
3.4.3.2	Nature et DU	84
3.4.4	<i>Relation entre nature du calcul pur et morphologie macroscopique</i>	85
3.4.4.1	Nature et origine.....	85
3.4.4.2	Nature et nombre de calculs	86
3.4.4.3	Nature et taille	87
3.4.4.4	Nature et consistance	88
3.4.4.5	Nature et forme	89
3.4.4.6	Nature et surface.....	90
3.4.4.7	Nature et section	93
3.4.5	<i>Comparaison whewellite et weddelite</i>	94
3.4.6	<i>Analyse multivariée</i>	100
4	Discussion	101
4.1	Analyse et résultats	101
4.1.1	<i>Population féline</i>	101
4.1.2	<i>Variables urinaires</i>	102
4.1.3	<i>Calculs urinaires</i>	103
4.1.4	<i>Morphologie des calculs</i>	107
4.1.5	<i>Analyse multivariée</i>	107
4.2	Limites de notre travail	110
4.2.1	<i>Population féline</i>	110
4.2.2	<i>Formulaire de demande d'analyse</i>	110
4.2.3	<i>Saisie des données</i>	111

Liste des figures

<i>Figure 1 : Principales étapes de la lithogenèse, d'après (Daudon et al., 2012)</i>	17
<i>Figure 2 : Des promoteurs aux espèces cristallines (Daudon et al., 2012)</i>	18
<i>Figure 3 : Dépôt de cristaux dans le tubule rénal d'un rat après injection intrapéritonéale d'oxalate de sodium.(de Bruijn et Boevé, 1995)</i>	Erreur ! Signet non défini.
<i>Figure 3 : Dépôt de cristaux dans le tubule rénal d'un rat après injection intrapéritonéale d'oxalate de sodium.(de Bruijn et Boevé, 1995)</i>	Erreur ! Signet non défini.
<i>Figure 3 : Dépôt de cristaux dans le tubule rénal d'un rat après injection intrapéritonéale d'oxalate de sodium.(de Bruijn et Boevé, 1995)</i>	22
<i>Figure 4 : Interprétation des valeurs de RSS des urines.(Nélaton, 2021)</i>	23
<i>Figure 5 : Prévalences des causes d'ABAU non obstructives adapté de (Gunn-Moore, 2003)</i>	26
<i>Figure 6 : Prévalences des causes d'ABAU obstructives, adapté de (Gunn-Moore, 2003)</i>	26
<i>Figure 7 : Composition minérale des urolithes félines analysés au Minnesota Urolith Center (Etats-Unis) en 2013. CaOx : oxalate de calcium, MAP : struvites, CaPO4 : phosphate de calcium, d'après (Osborne, 2014)</i>	28
<i>Figure 8 : Composition minérale des urolithes félines analysés au Canadian Veterinary Urolith Centre (Canada) entre 1998 et 2008, CaOx : oxalate de calcium, MAP : struvites, CaPO4 : phosphate de calcium d'après (Houston et Moore, 2009).</i>	29
<i>Figure 9 : Calcul d'oxalate de calcium (whewellite 70%, weddellite 20%, carapatite 10%) (photographie VetAnalys)</i>	33
<i>Figure 10 : Cristaux d'oxalate de calcium monohydratés en lumière polarisée (x400) (De Lorenzi et al., 2005)</i>	34
<i>Figure 11 : Cristaux d'oxalate de calcium dihydratés au microscope optique (Bazin et Daudon, 2016)</i>	34
<i>Figure 12 : Recommandations pour la gestion des calculs d'oxalates de calcium du BAU chez le chat, adapté de (Palm et Westropp, 2011)</i>	41
<i>Figure 13 : Calcul de struvite à 100%. (photographie VetAnalys)</i>	42
<i>Figure 14 : Calcul composé d'urate d'ammonium à 100% (photographie VetAnalys)</i>	45
<i>Figure 15 : Formation d'acide urique à partir des purines d'après (Ettinger et al., 2016) XDH : xanthine déshydrogénase, UC : Uricase</i>	46
<i>Figure 16 : Calculs d'oxalate de calcium rénaux et vésicaux chez un chat mâle castré de 12 ans en radiographie (photographie : service d'imagerie du CHUVA)</i>	51

<i>Figure 17 : Calcul rénal d'oxalate de calcium chez un chat mâle castré de 12 ans et calcul vésical chez un chat femelle stérilisée de 8 ans visualisés en échographie (photographies : service d'imagerie du CHUVA)</i>	52
<i>Figure 18 : Note d'état corporel sur 9,(Royal Canin, 2019) adapté de Laflamme et al.,1997.</i>	57
<i>Figure 19 : Pic d'absorption de l'oxalate de calcium monohydraté (whewellite)(Daudon et al., 2012)</i>	59
<i>Figure 20 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction de leur poids.....</i>	61
<i>Figure 21 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction de leur race dans notre étude (seules les races dont l'effectif est supérieur à 9 sont représentées).</i>	62
<i>Figure 22 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction de leur race dans notre étude hors européen (seules les races dont l'effectif est supérieur à 9 sont représentées).</i>	62
<i>Figure 23 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction de leur âge.</i>	63
<i>Figure 24 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction de leur note d'état corporel.</i>	64
<i>Figure 25 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction de leur statut corporel (basé sur la notation de la figure 18).....</i>	64
<i>Figure 26 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction du pH de leur urine.....</i>	65
<i>Figure 27 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction de la densité de leurs urines.</i>	65
<i>Figure 28 : Représentation graphique de la proportion de chaque minéral lorsqu'il est le minéral principal du calcul.....</i>	69
<i>Figure 29: Représentation graphique du nombre d'occurrence de chaque minéral lorsqu'il est le deuxième minéral d'un calcul.</i>	70
<i>Figure 30 : Représentation graphique de la proportion de chaque minéral lorsqu'il est le deuxième minéral du calcul.</i>	70
<i>Figure 31 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction de la taille du calcul extrait.</i>	71
<i>Figure 32 : Représentation graphique du nombre de chat en fonction de la forme du calcul extrait.</i>	72
<i>Figure 33 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction de l'aspect du la surface du calcul extrait.</i>	73
<i>Figure 34 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction de la couleur du calcul extrait.</i>	73
<i>Figure 35 : Représentation graphique de la distribution des analyses demandées par année en fonction de la nature du calcul.....</i>	74

<i>Figure 36 : Représentation graphique de la distribution des races des chats en fonction de la nature de leur calcul.</i>	<i>75</i>
<i>Figure 37 : Représentation graphique de la distribution des races des chats en fonction de la nature de leur calcul (hors européen).....</i>	<i>75</i>
<i>Figure 38 : Représentation graphique du poids moyen des chats et son intervalle de confiance à 95 % en fonction de la nature de leur calcul.</i>	<i>77</i>
<i>Figure 39 : Représentation graphique de la distribution du poids des chats en fonction de la nature de leur calcul.</i>	<i>77</i>
<i>Figure 40 : Représentation graphique du nombre de calculs purs en fonction du sexe des chats.</i>	<i>78</i>
<i>Figure 41 : Représentation graphique de la répartition des différents statuts sexuels des chats en fonction de la nature des calculs purs.</i>	<i>79</i>
<i>Figure 42 : Représentation graphique de la moyenne d'âge des chats et de son intervalle de confiance à 95 % en fonction de la nature des calculs purs.</i>	<i>80</i>
<i>Figure 43 : Représentation graphique de la distribution des âges des chats en fonction de la nature des calculs.....</i>	<i>80</i>
<i>Figure 44 : Représentation graphique de la NEC moyenne des chats en fonction de la nature des calculs purs.</i>	<i>81</i>
<i>Figure 45 : Représentation graphique du statut corporel des chats en fonction de la nature des calculs purs.</i>	<i>82</i>
<i>Figure 46 : Représentation graphique du nombre de cas en fonction du pH des urines et de la nature des calculs.....</i>	<i>83</i>
<i>Figure 47 : Représentation graphique du nombre de cas en fonction de la densité urinaire et de la nature du calcul.</i>	<i>85</i>
<i>Figure 48 : Nombre de cas en fonction de la nature des calculs et de leur nombre.</i>	<i>86</i>
<i>Figure 49 : Nombre de cas en fonction de la nature des calculs et de leur taille.</i>	<i>87</i>
<i>Figure 50 : Nombre de cas en fonction de la nature des calculs et de leur consistance.</i>	<i>89</i>
<i>Figure 51: Nombre de cas en fonction de la nature des calculs et de leur forme.</i>	<i>90</i>
<i>Figure 52 : Nombre de cas en fonction de la nature des calculs et de l'aspect de leur surface.</i>	<i>91</i>
<i>Figure 53 : Nombre de cas en fonction de la nature des calculs et de la couleur de leur surface. .</i>	<i>92</i>
<i>Figure 54 : Nombre de cas en fonction de la nature des calculs et de la couleur de leur section. .</i>	<i>94</i>
<i>Figure 55 : Age moyen des chats en fonction de la nature du calcul d'oxalate de calcium avec leur intervalle de confiance à 95%.</i>	<i>95</i>
<i>Figure 56 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction du sexe des chats.</i>	<i>96</i>

<i>Figure 57 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction de leur consistance.</i>	<i>97</i>
<i>Figure 58 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction de leur forme.</i>	<i>98</i>
<i>Figure 59 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction de leur couleur.</i>	<i>99</i>
<i>Figure 60 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction de l'aspect de leur surface.</i>	<i>100</i>
<i>Figure 61 : Exemple de conversion cristalline d'un calcul initialement formé de weddellite se transformant progressivement en whewellite. Noter la transformation des cristaux anguleux de weddellite initialement formés en structure mamelonnée de whewellite. (Daudon et al., 2012)...</i>	<i>105</i>

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Les inhibiteurs de la cristallisation, d'après (Daudon et al., 2008) OxCa : Oxalate de calcium, PCa : Phosphate de calcium, CaCO₃ : Carbonate de Calcium.....</i>	19
<i>Tableau 2 : Comparaison par espèce des facteurs de risque de la formation d'oxalates de calcium (O'Kell et al., 2017).....</i>	35
<i>Tableau 3 : Maladies pouvant provoquer une hypercalciurie (Aubugeau, 2022 ; Ettinger et al., 2016 ; Midkiff et al., 2000 ; Milligan et Berent, 2019)</i>	36
<i>Tableau 4 : Répartition des calculs purs en fonction de leur nature.</i>	67
<i>Tableau 5 : Comparaison des différentes proportions de calculs purs en fonction de la race des chats.....</i>	76
<i>Tableau 6 : Comparaison des différentes proportions des calculs purs en fonction du sexe des chats.</i>	78
<i>Tableau 7 : Comparaison des différentes proportions des calculs purs en fonction du statut sexuel des chats.</i>	79
<i>Tableau 8 : Comparaison des différentes proportions des calculs purs en fonction du score corporel des chats.</i>	82
<i>Tableau 9 : Comparaison des différentes proportions des calculs purs en fonction de la densité urinaire des urines des chats.</i>	84
<i>Tableau 10 : Nature des calculs en fonction de la densité urinaire.....</i>	85
<i>Tableau 11 : Nature des calculs en fonction de leur localisation d'origine.....</i>	86
<i>Tableau 12 : Nature des calculs en fonction de leur nombre.....</i>	87
<i>Tableau 13 : Nature des calculs en fonction de leur taille.....</i>	88
<i>Tableau 14 : Nature des calculs en fonction de leur consistance.</i>	89
<i>Tableau 15 : Nature des calculs en fonction de leur forme.</i>	90
<i>Tableau 16 : Nature des calculs en fonction de l'aspect de leur surface.</i>	91
<i>Tableau 17 : Nature des calculs en fonction de la couleur de leur surface.....</i>	93
<i>Tableau 18 : Nature des calculs en fonction de la couleur de leur section.</i>	94
<i>Tableau 19 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction du sexe des chats. ...</i>	96
<i>Tableau 20 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction de l'origine de ces calculs.</i>	97
<i>Tableau 21 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction de leur consistance. .</i>	97

Tableau 22 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction de leur forme. 98

Tableau 23 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction de leur couleur. 99

Tableau 24 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction de l'aspect de leur surface..... 100

Liste des abréviations

ABAU : Affections du Bas Appareil Urinaire

BAU : Bas Appareil Urinaire

CaCO₃ : Carbonate de Calcium.

CHUVA : Centre Hospitalier Universitaire Vétérinaire d'Alfort

DU : Densité Urinaire

ECBU : Examen CytoBactériologique des Urines

HAU : Haut Appareil Urinaire

ITU : Infection du Tractus Urinaire

MRC : Maladie Rénale Chronique

NEC : Note d'Etat Corporel

OxCa : Oxalate de Calcium

PAM : Phosphate Ammoniac-Magnésien (struvite)

PCa : Phosphate de calcium,

PO : *Per Os*

RSS : Relative Super Saturation

SPIR : SpectoPhotométrie InfraRouge

SPS : Shunt Porto-Systémique

Introduction

Depuis l'Antiquité, les calculs urinaires ont tourmenté l'humanité, touchant aussi bien les pharaons que les nobles et les bourgeois, témoignant souvent d'un statut social élevé marqué par une alimentation riche en protéines.

Des preuves archéologiques, telles que le calcul retrouvé dans la momie de Ramsès II, illustrent la persistance de cette maladie à travers les siècles, reflétant les habitudes alimentaires et les conditions de vie de différentes époques.

Les premiers traitements de l'urolithiase ont été documentés dès 3200 avant JC, témoignant de l'ancienneté de cette condition et de la quête perpétuelle de remèdes efficaces (Domingos et Serra, 2004). Cependant, malgré les avancées médicales, les calculs urinaires restent une préoccupation majeure de la santé humaine et animale.

En dépit de leur prévalence et de leur impact sur le bien-être des animaux de compagnie, les études épidémiologiques sur les calculs urinaires félines demeurent limitées, particulièrement en France, représentant un défi majeur pour la compréhension et la gestion de cette pathologie chez les chats domestiques.

Ainsi, ce travail vise à réaliser un état des lieux de l'urolithiase chez les chats en France. En analysant la prévalence des calculs urinaires félines en fonction de différents facteurs, nous chercherons à mieux comprendre les dynamiques de cette maladie dans la population féline française.

Première partie : étude bibliographique

1 Généralités sur les calculs urinaires

L'urolithiase est une accréation cristalline se formant à partir de minéraux présents dans les voies urinaires : le rein, les uretères, la vessie et l'urètre. A partir de ces minéraux se forment des cristaux microscopiques, puis des calculs macroscopiques.

Les différents cristaux les plus fréquemment retrouvés dans les urines chez l'animal sont les oxalates de calcium (CaOx), struvites ou phosphates ammoniaco-magnésiens (PAM), urates d'ammonium, phosphates de calcium, cystine, xanthine, silice.

Les urolithes peuvent être désignés en fonction de leur localisation dans l'appareil urinaire. Ainsi, lorsqu'ils se forment dans le rein, les uretères, la vessie et l'urètre, ils sont dénommés respectivement néphrolithes, urétérolithes, cystolithes, urétrolithes.

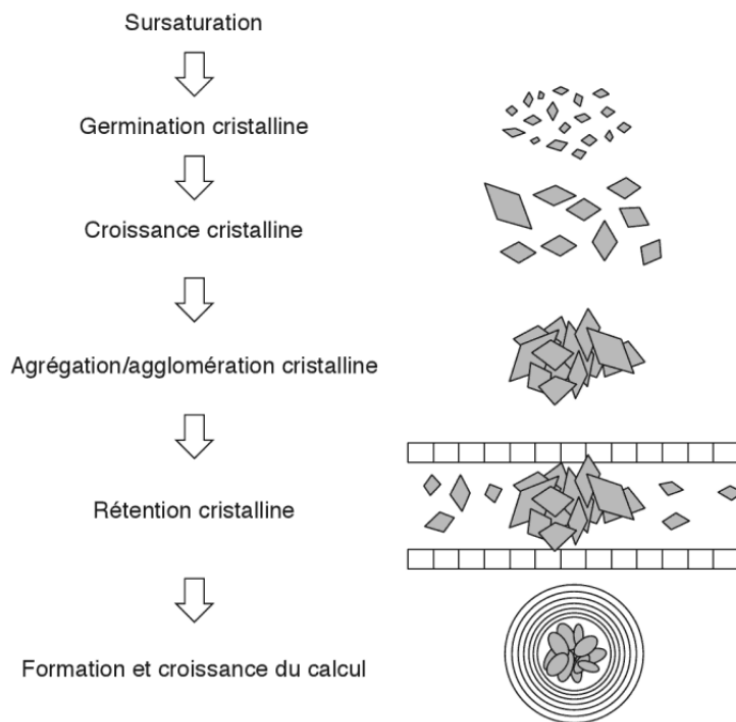
1.1 Le principe de formation des calculs urinaires

1.1.1 La lithogénèse

La lithogénèse désigne l'ensemble des processus qui aboutissent à la formation d'un calcul dans les voies urinaires. C'est un mécanisme complexe qui comporte sept étapes pouvant se recouvrir dans le temps : (Daudon *et al.*, 2012)

- Sursaturation des urines
- Germination cristalline
- Croissance cristalline
- Agrégation cristalline
- Agglomération cristalline
- Rétention des particules cristallisées
- L'évolution du calcul (croissance et/ou conversion). (Figure 1)

Figure 1 : Principales étapes de la lithogénèse, d'après (Daudon *et al.*, 2012)



1.1.1.1 Sursaturation urinaire

La sursaturation urinaire β est l'élément fondamental qui conditionne le début de la formation des cristaux. Elle traduit l'excès de concentration d'une substance dissoute dans l'urine par rapport aux capacités solvantes de celle-ci. Elle se définit pour une substance donnée dans une solution comme le rapport de sa concentration initiale C_i par rapport à son produit de solubilité thermodynamique K_{ps} :

$$\beta = C_i / K_{ps}$$

Lorsque la concentration de la substance égale son produit de solubilité, alors la solution est dite saturée vis-à-vis de cette substance ($\beta=1$) et lorsqu'elle le dépasse elle est dite sursaturée ($\beta>1$). C'est dans ce dernier cas de figure que la formation de cristaux peut s'effectuer.

La sursaturation urinaire est également modulée par les concentrations des autres ions présents dans la solution et le degré d'hydratation de la phase cristalline, si bien que dans les urines, les cristaux se forment à partir d'une sursaturation égale à 2 (Daudon *et al.*, 2012).

1.1.1.2 Germination cristalline

Le produit de formation est défini comme le seuil de risque à partir duquel le niveau de sursaturation est tel les cristaux se forment pendant le temps de transit de l'urine. Il est propre à chaque substance cristalline.

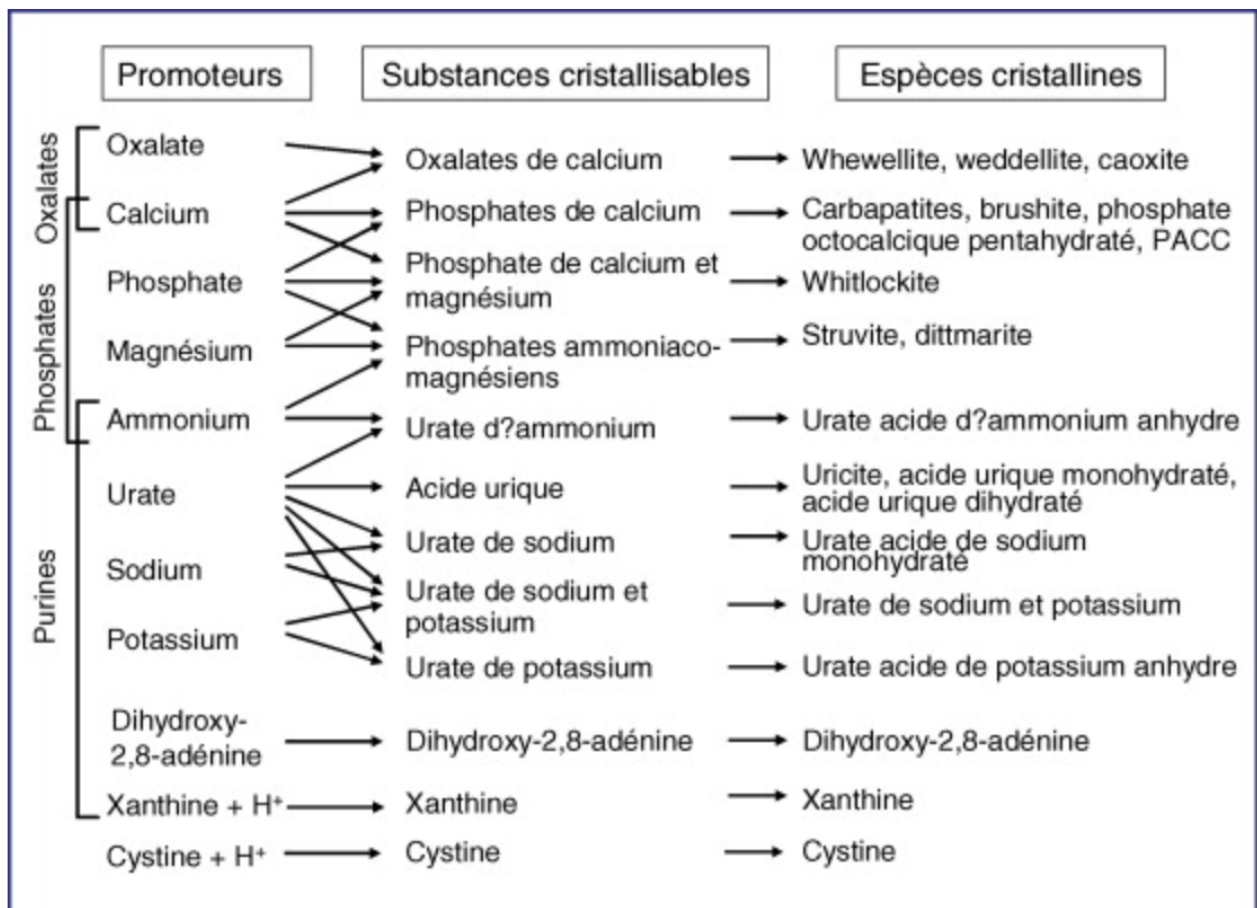
Lorsque ce produit de formation d'une espèce est atteint, des germes cristallins de cette espèce se forment à partir des ions de la substance en solution dans l'urine.

Lorsque le produit de formation d'une seule espèce est atteint, la germination se fait par un processus de nucléation homogène, si le produit de formation de plusieurs espèces est atteint alors la germination se fait par un processus de nucléation hétérogène. Chez l'homme, c'est le second phénomène qui prédomine (Daudon *et al.*, 2008).

C'est lors de ce processus de germination que peuvent intervenir les promoteurs et inhibiteurs de la cristallisation.

Les promoteurs de la cristallisation sont tous les ions participant à la formation des espèces insolubles.

Figure 2 : Des promoteurs aux espèces cristallines (Daudon *et al.*, 2012)



Les inhibiteurs de la cristallisation s'opposent aux effets des promoteurs, ils peuvent être de deux types : d'une part les ions de faible poids moléculaire et d'autre part les macromolécules.

Les inhibiteurs de faible poids moléculaire, notamment le citrate, forment des complexes avec les promoteurs, diminuent sa sursaturation et peuvent également se fixer à la surface des cristaux déjà formés.

Les inhibiteurs macromoléculaires sont les polysaccharides ou des protéines, ils agissent par adsorption à la surface des cristaux grâce à leurs charges anioniques ce qui aboutit à une inhibition de la croissance et de l'agrégation cristalline. Cela ne requiert qu'une très faible concentration en inhibiteurs macromoléculaires dans l'urine par rapport aux inhibiteurs de faible poids moléculaire.

Tableau 1 : Les inhibiteurs de la cristallisation, d'après (Daudon et al., 2008) OxCa : Oxalate de calcium, PCa : Phosphate de calcium, CaCO₃ : Carbonate de Calcium.

Inhibiteurs de faible poids moléculaire	Cible	Inhibiteurs macromoléculaires	Cible
<i>Cations :</i>		<i>Protéines :</i>	
Zn ²⁺	OxCa	Protéine de Tamm-Horsfall	OxCa
Fe ³⁺	OxCa	Néphrocalcine	OxCa
Mg ²⁺	OxCa	Uropontine	OxCa, PCa
<i>Anions :</i>		Bikunine	OxCa
Citrate	OxCa, PCa	Fragment 1 de la prothrombine	OxCa
Isocitrate	OxCa, PCa	Fibronectine	OxCa
Phosphocitrate	OxCa, PCa	Calprotectine	OxCa
Pyrophosphate	OxCa, PCa	Lithostathine	CaCO ₃
Aspartate	OxCa	<i>Glycosaminoglycanes :</i>	
Glutamate	OxCa	Sulfate de chondroïtine	OxCa, acide urique, urates
Hippurate	OxCa	Sulfate d'héparane	OxCa
<i>Cofacteurs d'inhibition :</i>		Sulfate de kératane	OxCa
Variabilité du pH	Acide urique, urates, PCa, struvite	Sulfate de dermatane	OxCa
Force ionique	Tous cristaux	Acide hyaluronique	OxCa, PCa

1.1.1.3 Croissance cristalline

Les premiers cristaux formés sont de très petite taille (<100nm) et vont ensuite grossir plus ou moins rapidement par captation de nouvelles molécules de la substance sursaturée pour former

des cristaux plus gros (entre 1 et 100 μm). Ce processus prend du temps, ce qui limite la formation de cristaux aussi gros dans le rein. En revanche, l'urine restant beaucoup plus longtemps dans la vessie, ce phénomène est retrouvé largement au sein de cette dernière (Daudon *et al.*, 2008).

1.1.1.4 Agrégation cristalline

Ce processus est beaucoup plus rapide que la croissance cristalline précédemment décrite. Il met en jeu des phénomènes d'attraction électrostatique en fonction de la charge superficielle des cristaux. Il peut engendrer des particules volumineuses de plusieurs dizaines ou centaines de microns. Les cristaux formés étant de grande taille, de forme irrégulière et présentant de nombreuses aspérités, ils peuvent être retenus dans les segments terminaux des néphrons, sur l'épithélium papillaire ou dans les cavités excrétrices du rein. Cela peut être le point de départ d'un processus lithiasique dans le cas où un agrégat de grande taille retient des cristaux plus petits en amont, formant un bouchon cristallin (Daudon *et al.*, 2012).

1.1.1.5 Agglomération cristalline

L'agglomération des cristaux implique des macromolécules urinaires (le plus souvent des protéines) qui, par leurs nombreuses charges négatives, peuvent se fixer à la surface des cristaux et favoriser secondairement la fixation de nouveaux cristaux sur les premiers en les organisant les uns par rapport aux autres, contribuant ainsi à l'architecture du calcul. Elle peut avoir lieu à différents moments de la lithogénèse et dans tout l'appareil urinaire.

L'agglomération cristalline explique pourquoi on peut retrouver une part organique dans les calculs urinaires.

Les interactions entre les cristaux et ces macromolécules sont complexes et dépendent d'énormément de facteurs, eux-mêmes différant en fonction de la macromolécule.

Les principales protéines retrouvées chez l'homme dans les urines sont la protéine de Tamm-Horsfall, l'albumine et l'uropontine (Daudon *et al.*, 2012). Chez le chat, la protéine de Tamm-Horsfall semble également être présente dans les urines (Houston *et al.*, 2003).

1.1.1.6 Rétenion des particules cristallines

Cette étape peut être considérée comme la première étape du processus de lithogénèse *stricto-sensu*. Les particules cristallines sont retenues dans les reins ou les voies urinaires pour pouvoir former les calculs.

Plusieurs situations sont alors possibles :

- Adhésion d'un cristal ou agrégat à la surface de l'épithélium tubulaire du néphron puis évacuation par le flux urinaire ;
- Rétenion d'un cristal ou agrégat du fait de sa taille et/ou de sa forme dans le tubule ;
- Adhésion d'un cristal ou agrégat à l'épithélium papillaire suite à sa formation dans le tubule ou à proximité de la papille ;
- Blocage ou sédimentation des cristaux excrétés par le néphron dans un repli muqueux, un diverticule ou un calice rénal.

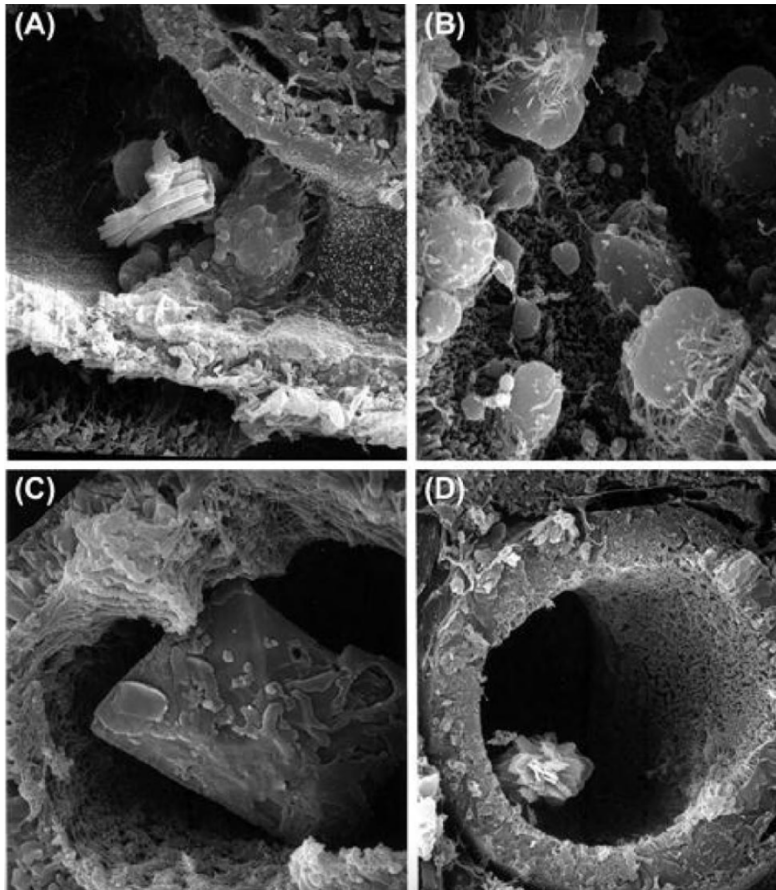
Lorsque les cristaux restent accrochés à la membrane apicale des cellules, ils sont internalisés par des vésicules d'endocytose puis soumis à une lyse intracellulaire. Ce dernier phénomène nécessitant quelques heures, si un très grand nombre de cristaux est retenu sur l'épithélium, alors ils s'accumulent dans l'espace intracellulaire et cela engendre l'apoptose de la /des cellule(s).

Chez l'homme, il est prouvé que certains calculs d'oxalate de calcium se forment à la surface de la papille rénale par contact avec une plaque de carbapatite (phosphate de calcium) appelée plaque de Randall. Cette dernière est mise en contact avec l'urine après effraction de la surface de l'épithélium papillaire et entraîne la formation d'un calcul, le plus souvent de whewellite (Daudon *et al.*, 2007). Les modèles animaux pour étudier la maladie lithiasique à oxalate de calcium impliquent le plus souvent une hyperoxalurie induite expérimentalement chez les rats. Bien que ces modèles réussissent à induire la cristallisation intratubulaire de l'oxalate de calcium et la néphrolithiase, aucun modèle de rongeur formant des plaques de Randall similaires à celles de l'homme n'a été identifié (Khan, 2013). Chez le chat, une étude non publiée de 2016 suggère que la minéralisation parenchymateuse, possiblement similaire aux plaques de Randall chez l'homme, peut se produire dans cette espèce. Le rapport d'un seul chat présentant une néphrolithiase à l'oxalate de calcium décrit un matériau minéral coloré au Von Kossa (probablement du phosphate de calcium) adjacent aux tubules rénaux dans les tissus près du pelvis rénal (Lulich, 2016 ; O'Kell *et al.*, 2017).

La rétention cristalline peut également se faire sans adhésion à l'épithélium, ce qui est le cas lors de stagnation de l'urine par exemple dans un diverticule, une cavité déclive ou en amont d'un obstacle (Daudon *et al.*, 2012).

Figure 3 : Dépôt de cristaux dans le tubule rénal d'un rat après injection intrapéritonéale d'oxalate de sodium (de Bruijn et Boevé, 1995).

(A) : 3 heures après l'injection, des cristaux d'OxCa sont observés dans tous les segments des tubules rénaux. Ici, ce qui ressemble à des plaques d'OxCa monohydraté sont observées dans l'anse de Henle. x3000 (B) : Bordure en brosse du tube proximal montrant des signes d'effraction. Les microvillosités sont ballonnées focalement. x2000 (C) : 15 minutes après l'injection, un cristal d'OxCa dihydraté est logé dans le tube proximal. x2500 (D) : Coupe transversale d'un tube proximal montrant une rosette de ce qui ressemble à une plaque d'OxCa monohydraté.



1.1.1.7 Croissance du calcul et/ou conversion cristalline

La vitesse de croissance d'un calcul est très variable et dépend de la sursaturation des urines. Lorsque la cause est génétique, les calculs se développent à une vitesse plutôt régulière, les plus vieux étant donc les plus volumineux. Lorsque la cause est alimentaire, les calculs se développent plutôt par poussée selon la sursaturation urinaire.

Le calcul peut également suivre un autre mode d'évolution, en effet certaines formes cristallines hydratées ne sont pas stables et évoluent vers des formes moins hydratées. Ainsi, sous certaines conditions, la weddelite (oxalate de calcium dihydraté) peut se convertir en whewellite (oxalate de calcium monohydraté) (Daudon *et al.*, 2012).

1.1.2 Evaluation du risque de formation des calculs urinaires

Des programmes informatiques ont été développés pour prédire le potentiel de cristallisation des oxalates de calcium et struvites grâce au pH et aux concentrations en différents ions présents

dans les urines et peuvent être utilisés chez le chat. C'est le cas du logiciel SUPERSAT® qui mesure un indice de risque de formation du calcul, la RSS, pour l'oxalate de calcium et la struvite (Robertson *et al.*, 2002).

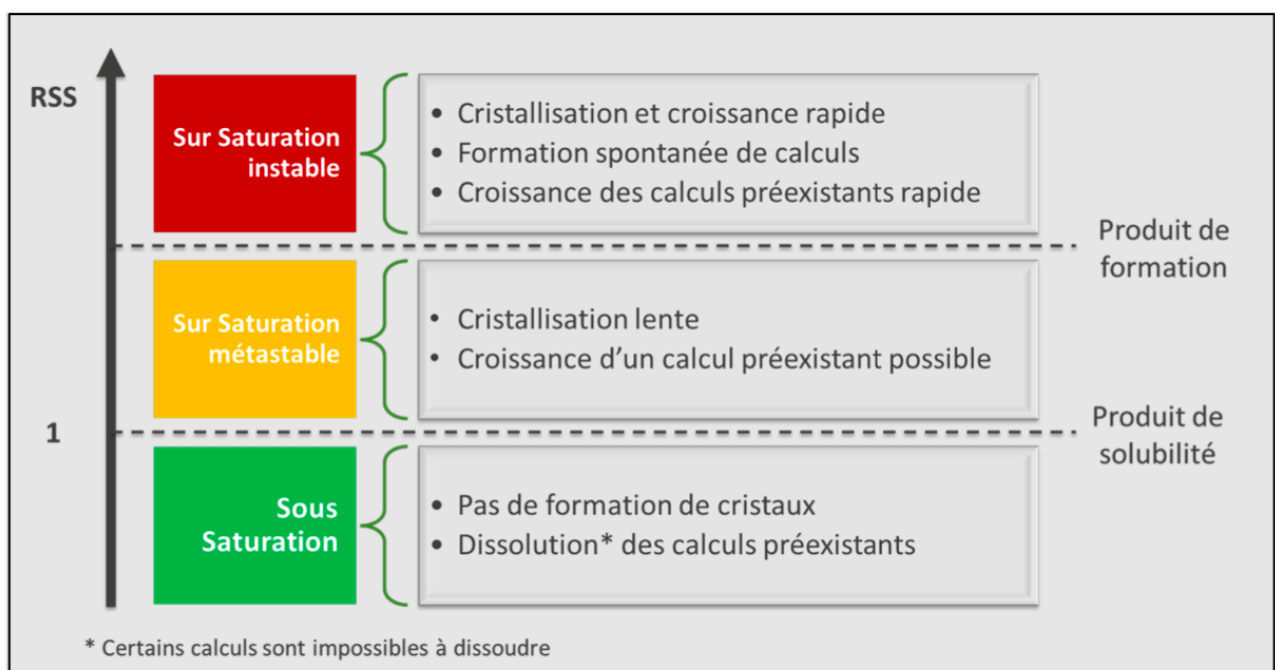
La RSS est définie comme suit :

$$RSS_{\text{Oxalate de calcium}} = [\text{Ca}^{2+}] \times [\text{Oxalates}^{2-}] / K_{sp} \text{Oxalate de Calcium}$$

Avec Ksp le produit de solubilité.

Cela a permis de déterminer trois niveaux de saturation urinaire pour prédire le risque de formation de calculs : la sous-saturation, la sursaturation métastable et la sursaturation instable (Queau, 2019) (Figure 4).

Figure 4 : Interprétation des valeurs de RSS des urines (Nélaton, 2021).



D'autres algorithmes ont été développés, comme le Bonn Risk Index (Bartges, 2011) mais manquent encore de publications démontrant leur véritable utilité (Queau, 2019).

1.1.3 Rôle du pH urinaire

Les substances cristallisables ont une sensibilité variable au pH. Elles peuvent être classées en trois catégories selon qu'elles cristallisent en urine acide, en urine basique ou indépendamment du pH urinaire.

Nous nous intéresserons ici aux cristaux rencontrés en médecine vétérinaire.

Les espèces cristallines observées en urines acides sont la xanthine (pH 5,2-6,5), la cystine (pH<7) et les phosphates de calcium (brushite autour de 6,35 et carbapatite autour de 6,65).

Les espèces cristallines observées à pH urinaire basique sont les struvites et les urates (autour de 7,95)

Les espèces indépendantes ou faiblement dépendantes du pH sont limitées aux oxalates de calcium.

1.1.4 Infection

Des calculs urinaires, le plus souvent de struvite (phosphate ammoniaco-magnésien ou PAM) et phosphates de calcium, sont parfois formés à la faveur d'une infection du tractus urinaire.

En effet, les micro-organismes possédant une uréase active, hydrolysent l'urée pour former des ions ammonium et génèrent une sursaturation en ammonium en plus d'une augmentation du pH urinaire, rendant l'environnement favorable à la formation de struvites et phosphates de calcium. C'est le cas principalement des espèces *Staphylococcus*, *Proteus* et *Corynebacterium urealyticum* (Daudon *et al.*, 2012 ; Grauer, 2015).

Chez le chat, ce type de formation de calculs urinaire est cependant bien moins fréquent que chez le chien.

1.1.5 Rôle des corps étrangers

Les corps étrangers constituent des surfaces parfaites pour démarrer l'agrégation cristalline, et sont souvent associés à une infection permettant la croissance rapide des calculs comme vu ci-dessus.

Ils sont parfois retrouvés dans les voies urinaires de nos animaux de compagnie : le plus souvent il s'agit de fils de suture suite à une cystotomie, mais parfois d'autres types de corps étrangers peuvent être identifiés comme des végétaux, poils ou encore morceaux de sonde urinaire (Grauer, 2015).

Les calculs entourant des corps étrangers représentaient 0,25% des calculs urinaires canins étudiés, dont une majorité était des fils de suture entourés de struvite ou oxalate de calcium (Ulrich *et al.*, 2009).

La seule étude réalisée sur chiens et chats ne comporte qu'un effectif limité de 13 chats ayant développé des calculs sur des fils de suture. Les résultats montrent que les calculs associés aux fils de suture représentent 0,17% des urolithes félines, et 4% des urolithes félines récidivants (Appel *et al.*, 2008).

1.2 Epidémiologie

1.2.1 Prévalence

La prévalence de la maladie lithiasique est comprise entre 0,6 et 0,77% chez l'ensemble des chats médicalisés aux Etats-unis, Canada et Mexique (Lekcharoensuk *et al.*, 2001a ; Mendoza-López *et al.*, 2019).

Des études récentes ont montré que 7 à 28% des chats montrant des signes d'affections du bas appareil urinaire (ABAU) présentent une maladie lithiasique (Gerber *et al.*, 2005 ; Gunn-Moore, 2003 ; Lekcharoensuk *et al.*, 2001a).

Figure 5 : Prévalences des causes d'ABAU non obstructives adapté de (Gunn-Moore, 2003).

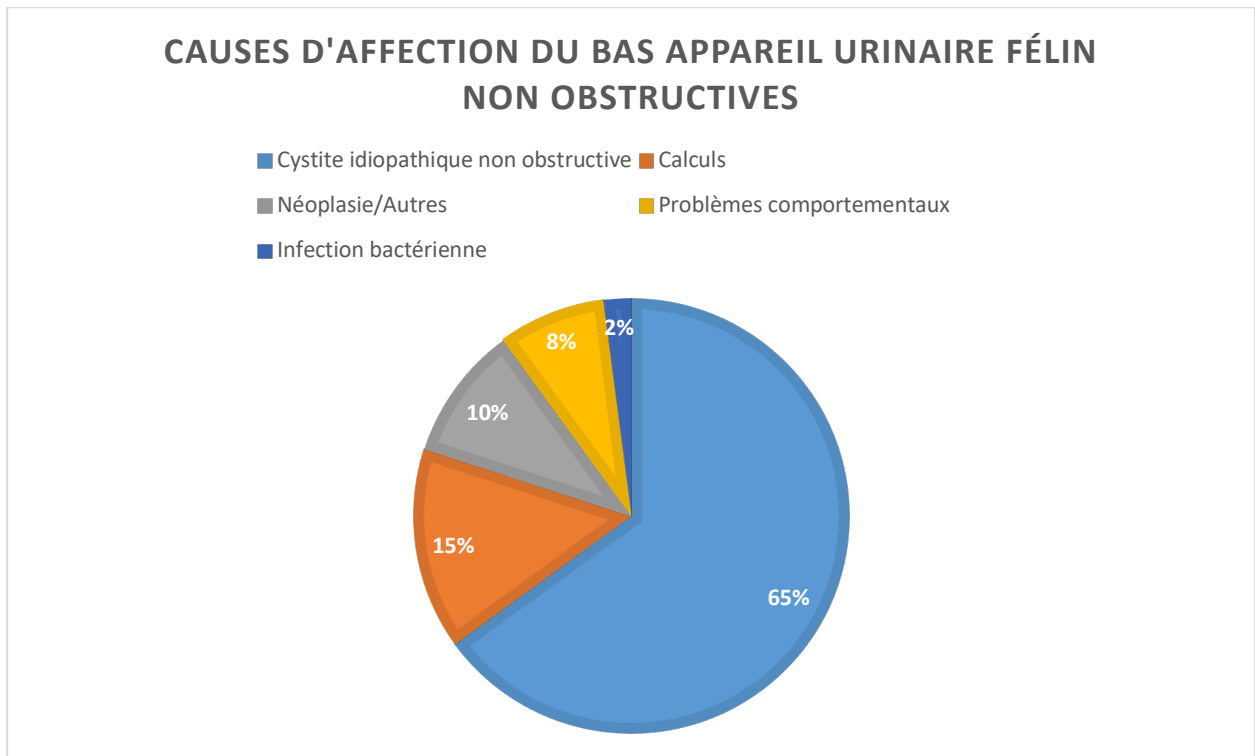
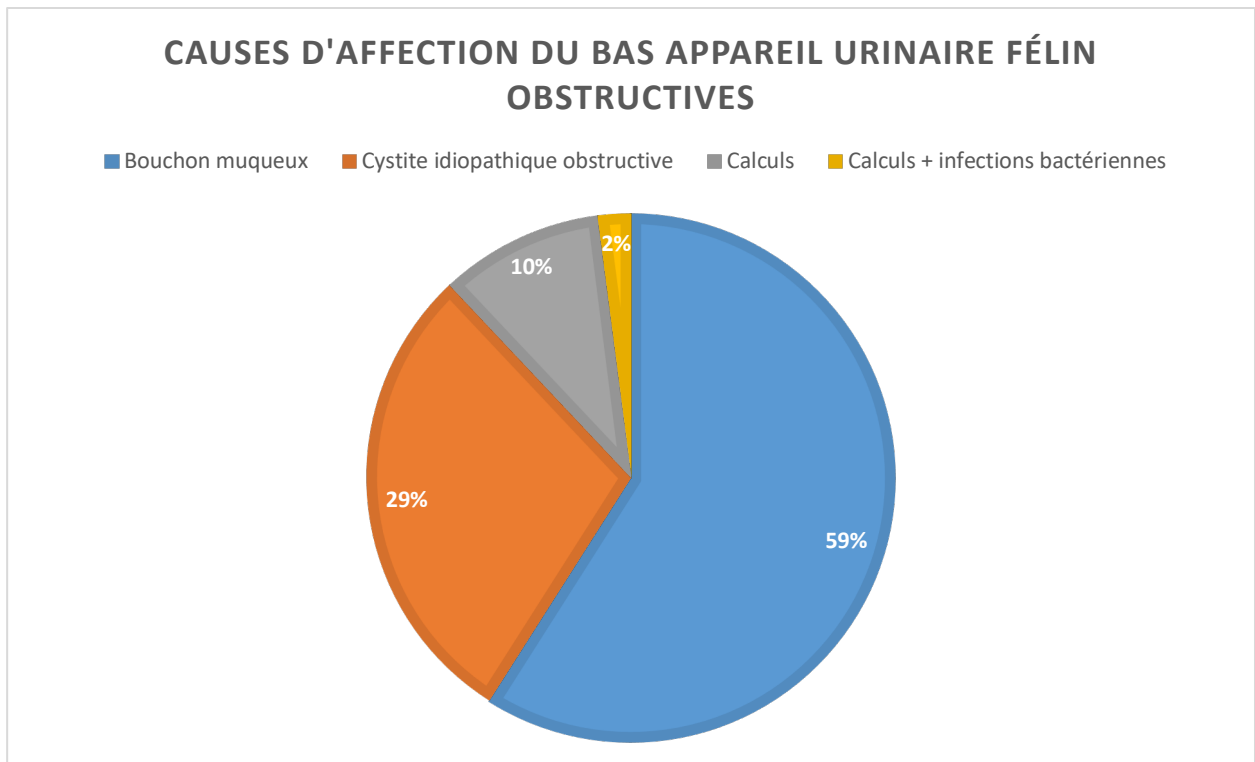


Figure 6 : Prévalences des causes d'ABAU obstructives, adapté de (Gunn-Moore, 2003).



1.2.2 Type de calculs

La classification utilisée est celle proposée par l'équipe de Lulich et Osborne en 1999 chez le chien, elle permet de différencier trois types de calculs :

-Les calculs purs : ces calculs ne présentent pas de noyau et contiennent un minimum de 70% d'un minéral, ils prennent alors le nom de ce dernier.

-Les calculs mixtes : ces calculs ne présentent pas de noyau et le minéral majoritaire est présent à moins de 70%.

-Les calculs composés : ces calculs sont organisés en couches concentriques autour d'un noyau (Lulich *et al.*, 1999).

Les plus fréquemment rencontrés chez le chat sont les calculs purs, puisqu'ils représentent 80,9% des calculs analysés (Kopecny *et al.*, 2021), en particulier de struvite et d'oxalate de calcium, avec une prévalence retrouvée de plus de 40% chacun dans les études récentes. Certains auteurs montrent une prévalence supérieure des calculs de struvite par rapport aux oxalates de calcium aux Etats-Unis (Kopecny *et al.*, 2021 ; Osborne, 2014). D'autres études, montrent le contraire, notamment au Mexique, Allemagne et au Canada (Breu et Müller, 2022 ; Houston *et al.*, 2016 ; Houston et Moore, 2009 ; Mendoza-López *et al.*, 2019).

En France en 2003, on observait une prévalence de 50% de struvites et 40% d'oxalates de calcium sur les 53 cas étudiés (Paragon *et al.*, 2003).

Les autres types de calculs le plus souvent retrouvés dans les urines des chats sont les purines, les phosphates de calcium et la cystine (Ling *et al.*, 1998).

Ces types minéraux sont rares et seront peu abordés dans la partie suivante.

Figure 7 : Composition minérale des urolithes félines analysés au Minnesota Urolith Center (Etats-Unis) en 2013. CaOx : oxalate de calcium, MAP : struvites, CaPO4 : phosphate de calcium, d'après (Osborne, 2014).

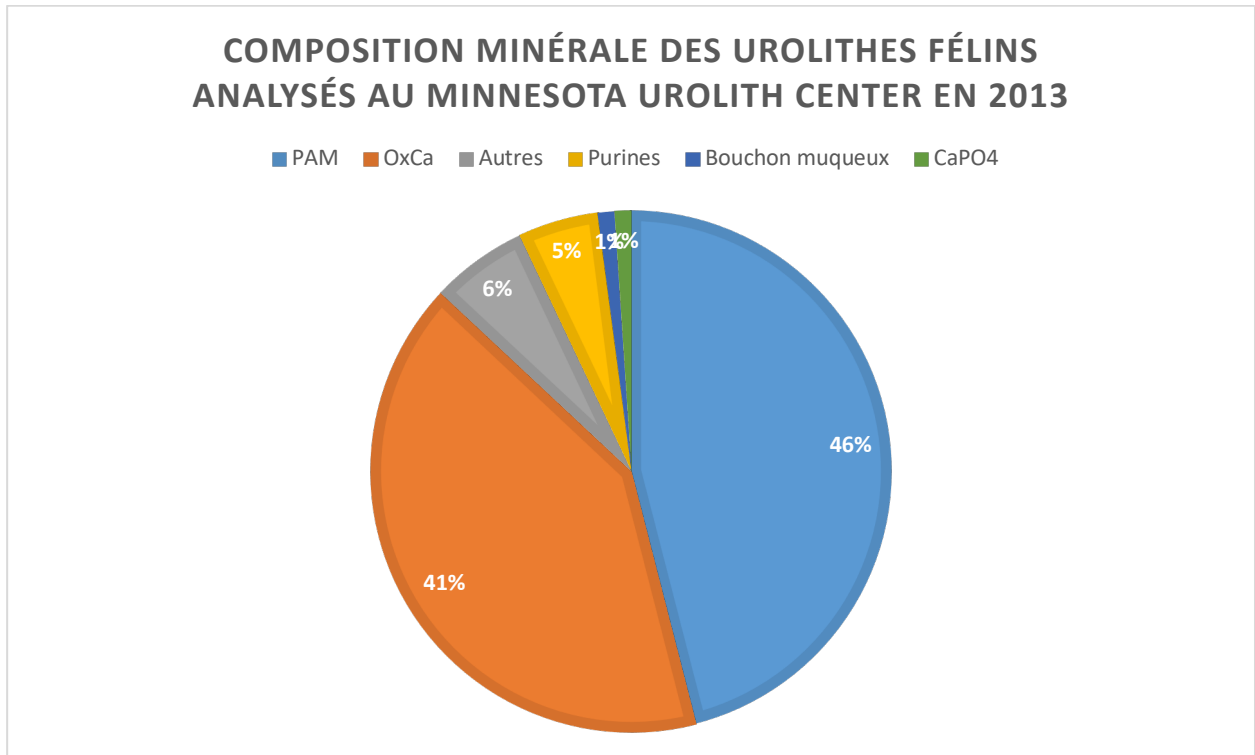
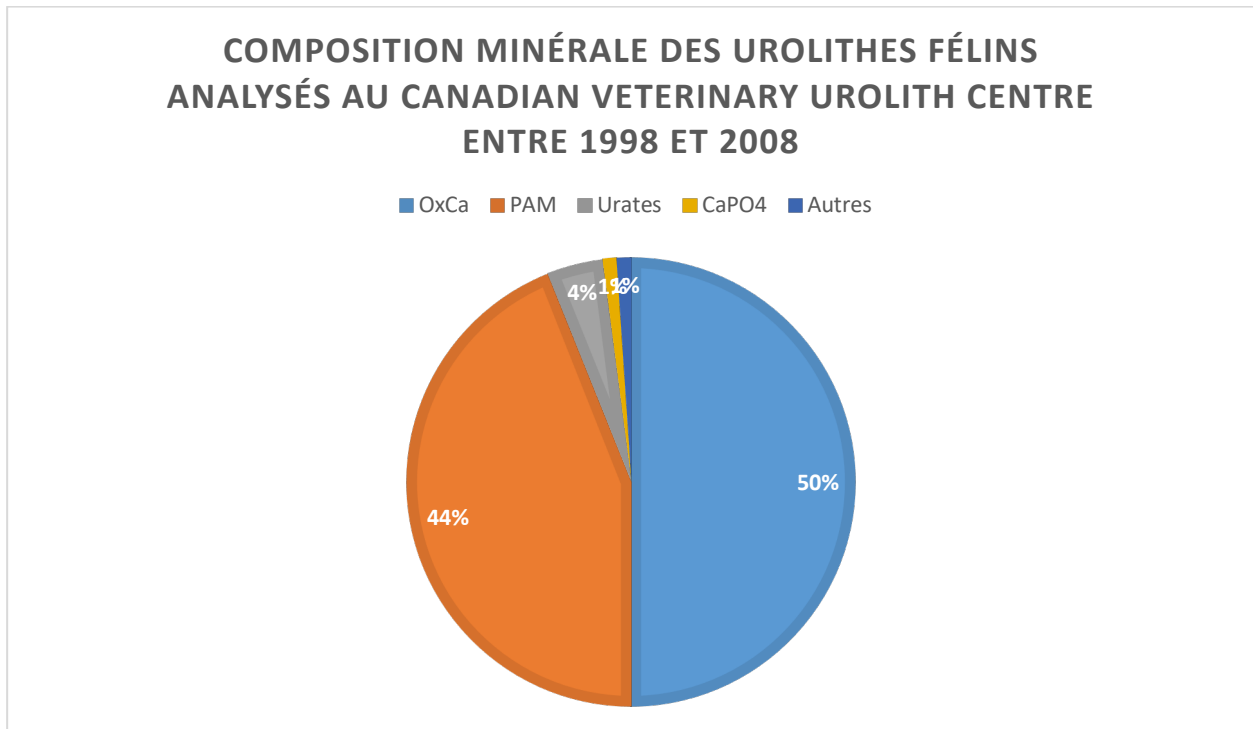


Figure 8 : Composition minérale des urolithes félines analysés au Canadian Veterinary Urolith Centre (Canada) entre 1998 et 2008, CaOx : oxalate de calcium, MAP : struvites, CaPO4 : phosphate de calcium d'après (Houston et Moore, 2009).



1.2.3 Facteurs de risque

L'urolithiase doit être vue comme la conséquence de divers facteurs de risque. Ces derniers peuvent être intrinsèques comme la race, l'âge, le sexe ou le statut corporel, ou extrinsèques comme le régime alimentaire, l'environnement, les infections ou affections concomitantes et la consommation de médicaments. La connaissance des différents facteurs affectant le développement de l'urolithiase permet de choisir les meilleures options thérapeutiques et préventives après reconnaissance d'une population ou d'un individu à risque.

1.2.3.1 Age

Les chats entre 4 et 10 ans présentent un plus grand risque de développer une maladie lithiasique, tandis que les chats de moins de 2 ans présentent un risque réduit. (Grauer, 2015 ; Lekcharoensuk *et al.*, 2001a ; Rogers *et al.*, 2011).

Les chats entre 7 et 10 ans présentent 67 fois plus de risque de développer des calculs d'oxalate de calcium par rapport aux chats âgés de 1 à 2 ans (Lekcharoensuk *et al.*, 2000). D'autres études montrent un risque augmenté entre 10 et 15 ans pour ce type de calcul (Osborne *et al.*, 2009a).

Le risque de développer une urolithiase à struvite diminue après dix ans, et est le plus haut entre quatre et sept ans (Cannon *et al.*, 2007 ; Osborne *et al.*, 2009a).

1.2.3.2 Race

Pour les calculs d'oxalate de calcium en particulier, les Persans, Ragdoll, Himalayen et Burmese sont surreprésentés (Cannon *et al.*, 2007 ; Houston *et al.*, 2016 ; Ling *et al.*, 1998).

Pour les calculs de struvite les Persans, Himalayen, Siamois, Ragdoll, Chartreux, Oriental et Manx semblent prédisposés (Cannon *et al.*, 2007 ; Houston et Moore, 2009 ; Osborne *et al.*, 2009a).

Dans le cas des calculs d'urate, la race Mau Egyptien semble prédisposée, et dans une moindre mesure le sacré de Birmanie et le siamois (Appel *et al.*, 2010 ; Houston et Moore, 2009 ; Albanan *et al.*, 2012 ; Houston *et al.*, 2016).

En France, une prédisposition des chats sacrés de Birmanie aux calculs d'oxalate de calcium du haut appareil urinaire est rapportée (Aubugeau, 2022 ; Chéry, 2014).

1.2.3.3 Statut sexuel

Les chats stérilisés ont un risque 7 fois plus élevé de développer des urolithes par rapport au mâles et femelles non stérilisés. (Lekcharoensuk *et al.*, 2001a ; Lekcharoensuk *et al.*, 2000 ; Ulrich *et al.*, 2009 ; Picavet *et al.*, 2007 ; Houston *et al.*, 2016)

Les femelles semblent présenter plus souvent des calculs de struvite tandis que chez les mâles, on retrouve plutôt des calculs d'oxalate de calcium (Thumchai *et al.*, 1996 ; Cannon *et al.*, 2007 ; Houston et Moore, 2009 ; Palm et Westropp, 2011 ; Osborne *et al.*, 2009a ; Houston *et al.*, 2016). Les chats présentant des calculs d'urate étaient également plus souvent des femelles (Appel *et al.*, 2010).

1.2.3.4 Note d'état corporel (NEC)

Chez l'homme, le surpoids est rapporté comme étant un facteur de risque avéré dans la formation de calculs urinaires (Sarica *et al.*, 2008 ; Taylor *et al.*, 2005).

Dans l'espèce féline, le poids est difficilement interprétable puisque ce dernier n'est pas forcément lié à un surpoids de l'animal. Le poids moyen évalué chez les chats présentant des calculs urinaires est de 5,3 kg (Gerber *et al.*, 2005).

La NEC est rapportée dans certains articles et semble être un facteur de risque lorsqu'elle est augmentée (Gerber *et al.*, 2005 ; Palm et Westropp, 2011).

1.2.3.5 Alimentation et consommation d'eau

L'alimentation sèche semble être un facteur de risque dans la plupart des études : 91% des chats développant des urolithes mangent plus de 50% de nourriture sèche (Gerber *et al.*, 2005 ; Osborne *et al.*, 2009a).

- Struvites :

Les régimes à forte teneur en magnésium, phosphore, calcium, sodium, chlore et fibres, et à faible teneur en protéines sont associés à un risque plus important de développer des calculs de struvites (Lekcharoensuk *et al.*, 2001b).

- Oxalates de calcium :

De plus, chez le chat, le risque de formation de calculs d'oxalate de calcium est trois fois plus élevé lorsqu'ils sont nourris avec un régime produisant une urine à un pH de 5,99 à 6,15, comparé à une alimentation produisant un pH urinaire compris entre 6,5 à 6,9. Un régime restreint en sodium et potassium est également un facteur de risque de formation d'oxalates de calcium (Lekcharoensuk *et al.*, 2001b ; Kirk *et al.*, 1995). Les régimes exclusifs pour le traitement et la prévention des urolithes de struvite sont acidifiants et restreints en magnésium, ce qui entraîne un pH urinaire acide et provoque une hypomagnésémie. Le magnésium agit en formant un complexe avec l'oxalate, inhibant son agrégation avec le calcium, de sorte que son absence et/ou sa diminution contribuent à la formation de cristallurie par l'oxalate de calcium (Grauer, 2015 ; Lekcharoensuk *et al.*, 2001a). L'augmentation de la prévalence des calculs d'oxalate de calcium peut être expliquée en partie par ce mécanisme (Osborne *et al.*, 2009a ; Palm et Westropp, 2011).

En effet, les calculs d'oxalate de calcium n'étaient que très peu représentés chez les chats il y a 40 ans (environ 2%), et ont fortement augmenté pour se stabiliser ces dernières années (Cannon *et al.*, 2007 ; Houston *et al.*, 2016 ; Osborne *et al.*, 2009a ; Osborne, 2014). L'utilisation très répandue de régimes calculolytiques formulés pour la dissolution des struvites et le suivi parfois inconstant pour déterminer l'efficacité de ces protocoles de dissolution pourrait également être à l'origine de cette augmentation (Grauer, 2015 ; Osborne *et al.*, 2009a).

1.2.3.6 Environnement

Les chats d'intérieur semblent prédisposés puisque 71% de ceux présentant une maladie lithiasique vivent en intérieur strict, ce qui pourrait réduire leur consommation d'eau et le volume de leurs urines, ainsi que le temps passé à faire de l'exercice (Cannon *et al.*, 2007 ; Cari *et al.*, 1996 ; Houston *et al.*, 2003).

Des facteurs régionaux comme la qualité de l'eau et du sol ainsi que le climat semblent également influencer la formation d'urolithes, notamment d'oxalates de calcium dans les études humaines (Lonsdale, 1968 ; Soucie *et al.*, 1996 ; Lieske *et al.*, 2014). Cependant à ce jour, aucun lien géographique n'a pu être établi pour l'urolithiase féline.

1.2.3.7 Infection du tractus urinaire (ITU)

Les calculs de struvite infectés sont rares chez le chat mais ce mécanisme est possible. Ainsi le risque de développer un calcul de struvite infecté est en lien avec la prédisposition aux ITU.

Les Persans et Abyssins, les femelles (stérilisées ou non), les chats d'âge avancé ou avec une faible NEC, les chats présentant une maladie rénale chronique, une hyperthyroïdie, un diabète sucré ou une urétrostomie sont ainsi plus à risque de développer une ITU et donc ce type de calcul urinaire. (Bailiff *et al.*, 2008 ; Lekcharoensuk *et al.*, 2001a).

1.2.3.8 Médicaments

L'utilisation de médicaments tels que les sulfamides, les fluoroquinolones, l'allopurinol et les anti-acides interfèrent avec différents processus de formation des cristaux. En effet, ils peuvent modifier le pH urinaire et créer un environnement propice à la précipitation, altérer le filtre glomérulaire et la réabsorption tubulaire, promouvoir les promoteurs et inhiber les inhibiteurs de la lithogénèse, ou encore précipiter pour former tout ou partie du calcul (Osborne *et al.*, 2009b).

Des sulfamides ont été retrouvés dans les calculs urinaires de 8 chats, dont 6 avaient reçu un traitement à base de ce médicament (Osborne *et al.*, 2009b).

Chez le chien, l'allopurinol est connu pour participer à la formation de calculs de xanthine (Bartges *et al.*, 1999). Chez le chat, cela est moins évident et seulement un des 171 chats ayant présenté des calculs de xanthine de l'étude d'Osborne avait reçu ce médicament.

De la fluoroquinolone a été retrouvée seulement chez un seul chat dans cette même étude.

Les suppléments en vitamine C, précurseur de l'oxalate, devraient être évités (Bartges et Callens, 2015). Au contraire, une déficience en vitamine B6 pourrait entraîner une néphrocalcinose chez les chatons en croissance (O'Kell *et al.*, 2017).

1.2.3.9 Métabolisme

Les calculs d'urate d'ammonium chez le chien peuvent être associés à la présence d'un shunt porto-systémique (SPS). Dans une étude de 2011, sept chats présentaient un shunt porto-systémique pour 159 chats atteints de calculs d'urate d'ammonium. Cependant la recherche d'un shunt n'a pas été effectuée systématiquement ; d'autres études seraient donc nécessaires pour évaluer cette association (Dear *et al.*, 2011).

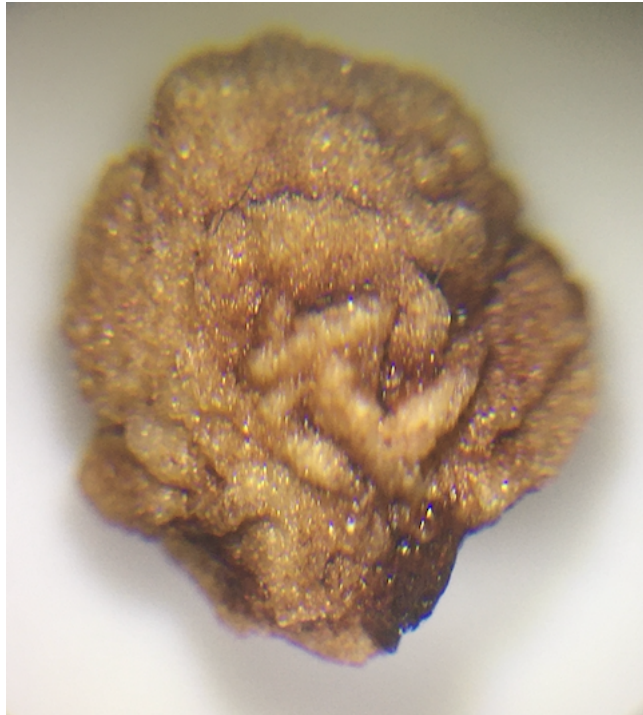
2 Etude des principaux types d'urolithes rencontrés chez le chat

2.1 Oxalates de calcium

2.1.1 Structure

Les calculs d'oxalate de calcium ont une coloration claire et ont le plus souvent des bords irréguliers, mamelonnés ou spiculés (Gomes *et al.*, 2018).

Figure 9 : Calcul d'oxalate de calcium (whewellite 70%, weddellite 20%, carbapatite 10%)
(photographie VetAnalys)



Le principal déterminant de la formation d'oxalates de calcium est le produit molaire oxalocalcique $pCaOx$. Lorsque celui-ci est élevé, alors les urines contiennent des cristaux d'oxalate de calcium.

Les calculs d'oxalate de calcium se retrouvent sous deux formes : monohydratée (whewellite) et dihydratée (weddellite). La forme cristalline observée dépend principalement du rapport molaire calcium sur oxalate. S'il est inférieur à 5 (hyperoxalurie) il se forme préférentiellement de la whewellite. A l'inverse, s'il est supérieur à 14 (hypercalciurie), il se forme préférentiellement de la weddellite. Entre ces deux seuils, les phases cristallines sont équitablement réparties. De plus, une fois formés, les cristaux peuvent passer d'une forme à l'autre par transition cristalline (Daudon *et al.*, 2012).

Figure 10 : Cristaux d'oxalate de calcium monohydratés en lumière polarisée (x400) (De Lorenzi et al., 2005)

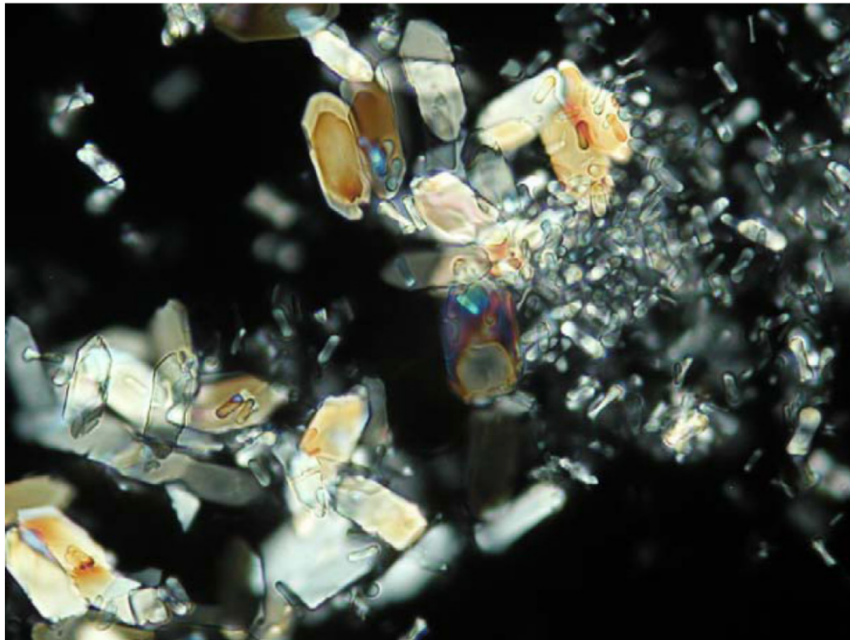
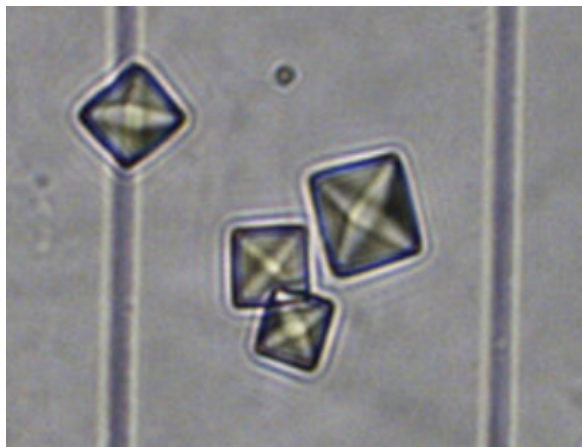


Figure 11 : Cristaux d'oxalate de calcium dihydratés au microscope optique (Bazin et Daudon, 2016)



2.1.2 Physiopathologie

Le mécanisme exact de la formation de calculs d'oxalates de calcium est inconnu, et implique sûrement différents facteurs comme le sexe, la race, l'environnement et le régime alimentaire. Le modèle humain amène à penser qu'une anomalie rénale pourrait être à l'origine de la formation d'oxalate de calcium dans cet organe à la faveur de lésions appelées plaques de Randall (Daudon *et al.*, 2012 ; Ohman et Larsson, 1992 ; Palm et Westropp, 2011).

L'importance du pH urinaire dans la formation d'oxalates de calcium est controversée. En effet, nous avons vu plus haut que la formation d'oxalate de calcium est indépendante du pH urinaire (Daudon *et al.*, 2012).

Cependant, il existe plusieurs raisons pour lesquelles un pH bas peut être associé à un risque de formation de ces calculs : une acidurie persistante peut être associée à une acidose métabolique qui induit la résorption du calcium osseux, pouvant entraîner son excrétion urinaire. L'acidité urinaire peut également diminuer l'action du citrate et pyrophosphate en tant qu'inhibiteurs (Osborne *et al.*, 2009a).

Comme vu dans la partie « facteurs de risque », certains paramètres du régime alimentaire ont un rôle à jouer dans la formation d'oxalates de calcium.

Finalement, le tableau suivant résume les différents facteurs de risque de formation des calculs d'oxalate de calcium chez le chat en comparaison avec le chien et l'homme, montrant les nombreuses zones d'ombre encore présentes chez les carnivores domestiques.

Tableau 2 : Comparaison par espèce des facteurs de risque de la formation d'oxalates de calcium (O'Kell et al., 2017)

Facteur de risque	Chat	Chien	Homme
Sexe	Mâle	Mâle	Mâle
Saison	Inconnu	Inconnu	Eté
Hypercalciurie	Oui	Oui	Oui
Hyperoxalurie	Inconnu	Possible	Oui
Absence de <i>Oxalobacter formigenes</i> dans le tube digestif	Inconnu	Possible	Oui
Hypocitraturie	Inconnu	Non	Oui
Hyperuricosurie	Inconnu	Inconnu	Oui
Défaut d'apport en vitamine D	Possible	Inconnu	Inconnu
Défaut d'apport en calcium	Oui	Oui	Oui
Excès d'apport en sodium	Non	Non	Oui

2.1.2.1 Hypercalciurie

L'excrétion de calcium dans l'urine dépend de l'apport alimentaire, de l'absorption intestinale et de la sécrétion tubulaire rénale. Le calcium est absorbé lorsqu'il est libre dans la lumière intestinale, donc la quantité absorbée dépend de la quantité ingérée et de la quantité de substances pouvant le chélater (comme le phosphate par exemple).

L'hypercalciurie peut également résulter d'une hypercalcémie ou d'une mauvaise réabsorption tubulaire. Trente-cinq pourcent des chats présentés pour CaOx étaient hypercalcémiques (Houston *et al.*, 2003 ; Ulrich *et al.*, 2009). Une étude a montré que 15% des chats présentant une hypercalcémie ont des calculs d'oxalate de calcium, mais n'explique pas si l'hypercalcémie est la cause de cette urolithiase par le biais d'une hypercalciurie (Savary *et al.*, 2000). Il est donc impératif de doser la calcémie des chats présentant des CaOx.

Enfin, certaines maladies pouvant provoquer une hypercalciurie sont répertoriées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3 : Maladies pouvant provoquer une hypercalciurie (Aubugeau, 2022 ; Ettinger *et al.*, 2016 ; Midkiff *et al.*, 2000 ; Milligan et Berent, 2019)

Hypercalciurie
Maladie rénale chronique
Hypercalcémie idiopathique
Hyperparathyroïdie primaire
Alimentation rénale
Syndrome paranéoplasique : lymphome, myélome multiple, carcinome à cellules squameuses...
Administration répétée de corticoïdes
Administration répétée de diurétiques de l'anse
Hypoadrénocorticisme (rare)

Par ailleurs, il est préconisé de la mesurer à distance d'une épisode obstructif car l'hyperphosphatémie associée à la dégradation de la fonction rénale qui accompagne l'épisode obstructif peut masquer une hypercalcémie (Kennedy, Alexandra J. et White, 2021).

Certaines molécules sont connues pour chélater le calcium dans les urines comme le magnésium, le citrate et le pyrophosphate, ce qui diminue le risque de formation de cristaux d'oxalate de calcium. Le citrate permet également une alcalinisation des urines, diminuant encore le risque de formation d'oxalate de calcium. Certaines protéines diminuent également le risque de formation de ces cristaux comme la néphrocalcine ou l'uromoduline.

2.1.2.2 Hyperoxalurie

L'excrétion d'oxalates dans l'urine dépend de l'apport alimentaire, de l'absorption intestinale, de la sécrétion tubulaire rénale et de la synthèse endogène.

L'absorption intestinale dépend, comme celle du calcium, de la quantité d'oxalate libre dans la lumière intestinale. Lorsque du magnésium est présent dans le bol alimentaire, le calcium peut alors former avec lui des complexes qui sont excrétés plutôt qu'absorbés. La flore intestinale peut également jouer un rôle en dégradant l'oxalate, notamment *Oxalobacter formigenes* et les bactéries lactiques, ce qui a été étudié chez l'humain et le chien, mais pas encore chez le chat bien que cette bactérie soit présente chez cette espèce (Gnanandarajah *et al.*, 2012 ; Mittal et Kumar, 2004 ; Palm et Westropp, 2011).

L'hyperoxalurie peut également être due à une maladie génétique bien décrite chez l'homme, l'hyperoxalurie primaire, provoquant une surproduction endogène et existant sous deux formes : type I et II. Quelques cas d'hyperoxalurie primaire ont été étudiés chez le chat, ressemblant particulièrement au type II humain (déficience en D-glycerol déshydrogenase) (Bhasin *et al.*, 2015 ; Danpure *et al.*, 1989 ; De Lorenzi *et al.*, 2005).

L'augmentation de la concentration urinaire en acide oxalique semble être un facteur de risque plus important pour la formation de calculs urinaires de CaOx que des augmentations équivalentes de la concentration urinaire en calcium, car des increments plus petits d'acide oxalique sont nécessaires pour la formation de CaOx insoluble (Lulich *et al.*, 2004).

En situation d'hyperoxalurie, nous avons vu plus haut que la forme d'oxalate de calcium formée principalement chez l'homme est la whewellite.

En 2014, il a été montré que, tout comme chez l'homme et le rat, l'augmentation de l'apport alimentaire en hydroxyproline chez le chat augmenterait l'excrétion d'oxalate dans les urines (Dijcker *et al.*, 2014). Cet acide aminé provenant principalement du collagène (contenu notamment dans la gélatine) peut en effet être métabolisé en oxalate dans les hépatocytes. Les régimes alimentaires à visée préventive des oxalates de calcium devraient donc contenir des protéines présentant moins d'hydroxyproline, par exemple celles provenant du soja ou de la viande de cheval.

2.1.2.3 Inhibiteurs

La diminution de concentration des inhibiteurs de la cristallisation de l'oxalate de calcium (citrate, magnésium, nephrocalcine et osteopontine) peut contribuer à la formation d'oxalates de calcium. Le citrate de potassium est utilisé afin de prévenir les récurrences de formation d'oxalate de calcium puisqu'il possède un fort pouvoir complexant du calcium et se fixe à la surface des cristaux.

Les autres inhibiteurs n'ont pas bénéficié d'essai chez le chat pour l'inhibition de la formation de calculs d'oxalate de calcium.

2.1.3 Traitements

La dissolution de ce type de calcul n'est pas réalisable, ce qui implique donc l'utilisation d'autres techniques plus ou moins invasives pour extraire les calculs.

2.1.4 Pronostic et prévention des récives

2.1.4.1 Alimentation

Le régime alimentaire doit être basé sur la nature du ou des calculs mis en évidence, et ne doit dans aucun cas augmenter le risque de formation de calculs d'autre type. Ces régimes alimentaires reposent sur la diminution de la concentration des urines en solutés et cristaux précurseurs à la formation de calculs, et sur l'augmentation de la concentration en inhibiteurs des de ces urolithiases. Si nécessaire, le régime alimentaire peut également aider à modifier le pH des urines pour atteindre un pH cible.

De nombreuses gammes thérapeutiques de nourriture pour chat sont disponibles sur le marché dans le but de :

- 1) Promouvoir une urine diluée
- 2) Diminuer la sursaturation relative des urines pour différentes natures de calculs

La présentation de la nourriture et de l'eau peut impacter certaines caractéristiques physiologiques comme le volume d'urine et son pH, et l'excrétion d'eau dans les fèces.

L'augmentation de la prise de boisson est essentielle dans la prévention et le traitement de l'urolithiase quel qu'en soit sa nature, avec comme but d'obtenir de larges volumes d'urine diluée, et des mictions fréquentes. Une urine diluée permet de diminuer la sursaturation en solutés précurseurs dans la formation d'urolithes, et le volume plus important permet une miction plus fréquente, donc un temps de rétention dans la vessie plus faible diminuant la formation potentielle d'urolithes (Markwell *et al.*, 1998). Ces mictions plus fréquentes permettraient également de diminuer les risques d'ITU grâce au flux urinaire délogeant les bactéries potentiellement présentes dans l'urètre et/ou la vessie (Dorsch *et al.*, 2019).

La première méthode pour augmenter la prise d'eau est d'augmenter l'eau dans l'alimentation. Le passage à une alimentation humide ou bien en mouillant une alimentation sèche sont des possibilités (Castonguay, 1981). Cependant, la prise de boisson totale doit être augmentée (et non seulement l'eau dans l'alimentation) pour espérer voir une augmentation de la dilution des urines. En 2011, une étude a montré qu'il n'existait pas de différence significative dans le volume d'eau ingéré total (99 à 105 mL/j), la densité urinaire (1,052 à 1,054) et le volume urinaire chez des chats nourris avec des nourritures d'humidité 6, 25 et 53%. Cependant, pour une humidité de 73%, le volume d'eau total ingéré était augmenté (145mL/j), comme le volume d'urines (87mL/j) et la DU était diminuée (1,036) (Buckley *et al.*, 2011).

Une étude a montré que les chats dont le régime alimentaire contient plus d'aliments humides sont moins à risque de former des calculs d'oxalate de calcium.(Lekcharoensuk *et al.*, 2001b) Pour les chats refusant de manger de la nourriture humide, il est possible d'ajouter de l'eau ou du bouillon (non salé) sur la nourriture sèche, voire même du bouillon dans l'eau. Les fontaines à eau peuvent également aider à la prise de boisson. La densité urinaire recherchée dans l'idéal est de 1,025 ou moins, ce qui peut être très compliqué à atteindre chez certains chats (Ettinger *et al.*, 2016 ; Palm et Westropp, 2011).

Des aliments ont été étudiés pour limiter la formation des calculs d'oxalate de calcium en abaissant le RSS, ils présentent une restriction modérée en calcium, oxalate, sodium et potassium en association avec une augmentation discrète du magnésium. Cependant, il n'existe pas d'étude montrant une réelle limitation de la formation de ces calculs, et certaines montrent même un plus grand risque de formation de CaOx avec un régime pauvre en calcium (Dijcker *et al.*, 2014, 2012 ; Lulich *et al.*, 2004 ; Osborne, 2014 ; Palm et Westropp, 2011).

Le chlorure de sodium augmente la prise de boisson, cependant ils peut avoir des effets délétères à trop forte dose puisqu'il augmente l'excrétion urinaire du calcium, augmentant ainsi en théorie les chances de formation de calculs d'oxalate de calcium. Une étude de 2006 va dans ce sens (Kirk *et al.*, 2006), d'autres ont démontré que finalement, l'effet d'augmentation de la prise de boisson (et donc du volume urinaire) prend le dessus chez le chien, c'est pourquoi les aliments à visée préventive des CaOx sont légèrement plus concentrés en NaCl (Stevenson *et al.*, 2003). Aucun effet indésirable à court terme n'a été noté chez les chats sains nourris avec une alimentation supplémentée à 1.1-1.3% de la matière sèche en sodium. En revanche, un régime alimentaire riche en sodium est contre-indiqué chez les chats présentant une maladie cardiaque ou rénale (Luckschander *et al.*, 2004 ; Xu *et al.*, 2009).

Les régimes riches en protéines sont historiquement connus pour augmenter le risque de formation d'oxalates de calcium notamment chez l'homme, cependant certaines études récentes ont montré un moins grand risque de formation d'oxalates de calcium avec un régime plus riche en protéines chez le chat. En effet, la prise de boisson et le volume des urines étaient augmentés lorsque les chats étaient nourris avec un régime plus riche en protéines. Cependant, la quantité exacte de protéines permettant un moins grand risque n'a pas été déterminé (Funaba *et al.*, 1996 ; Lekcharoensuk *et al.*, 2001b).

Il a été montré récemment que les régimes alimentaires spécialisés de soutien de la MRC dit « régimes rénaux » favorisaient l'apparition d'une hypercalcémie ionisée. En effet, la composition de ces aliments est telle que le phosphore est en quantité diminuée pour un ratio Ca / P haut ce qui a pour conséquence une augmentation de la calcémie probablement par hyperabsorption digestive. Les études démontrent que le calcium ionisé plasmatique peut se normaliser en adoptant un régime alimentaire dit modérément restreint en phosphore. Cependant, les chats atteints d'hypercalcémie dite idiopathique ne normalisent pas leur calcémie en changeant de régime (Geddes, 2021).

De plus, certains nutriments agissent en inhibiteurs de formation d'oxalates de calcium, comme le magnésium, le phosphate et le citrate, il doivent donc être présents dans le régime alimentaire. Le phosphore ne doit également pas être oublié car un régime trop pauvre en phosphore peut entraîner l'activation des parathyroïdes, augmentant le taux sanguin de vitamine D et donc l'absorption intestinale de calcium (Ettinger *et al.*, 2016).

Le pH est moins important pour la gestion des calculs d'oxalate de calcium que pour celle d'autres urolithes, comme les struvites par exemple. En revanche, il semble raisonnable de ne pas trop acidifier les urines, et un pH d'environ 7 semble être un bon compromis. Cependant, certains aliments sont élaborés pour prévenir la formation d'oxalates et de struvites : en acidifiant les urines, pour les struvites, et en abaissant le RSS, pour les oxalates.

Les dernières recommandations de l'ACVIM en termes d'alimentation pour la prévention des oxalates de calcium sont de diminuer la concentration des urines, éviter leur acidification ainsi que d'éviter les régimes hyperprotéinés (Lulich *et al.*, 2016).

2.1.4.2 Médicalisation

Le citrate de potassium agit comme agent alcalinisant des urines et comme inhibiteur de formation d'OxCa grâce au citrate formant un complexe avec le calcium. Il peut être utilisé à 75mg/kg toutes les 12h *per os*. Si le pH des urines n'est pas satisfaisant après contrôle, les doses peuvent être augmentées jusqu'à atteindre un pH de 7, en contrôlant toujours la kaliémie (Grauer, 2015). Cet additif est utilisé en médecine humaine mais son efficacité n'a été prouvée que chez les patients dont l'excrétion urinaire de citrate est basse. Ses effets bénéfiques dans la formation de calculs d'oxalate de calcium chez le chat restent encore à déterminer (Markwell *et al.*, 1998).

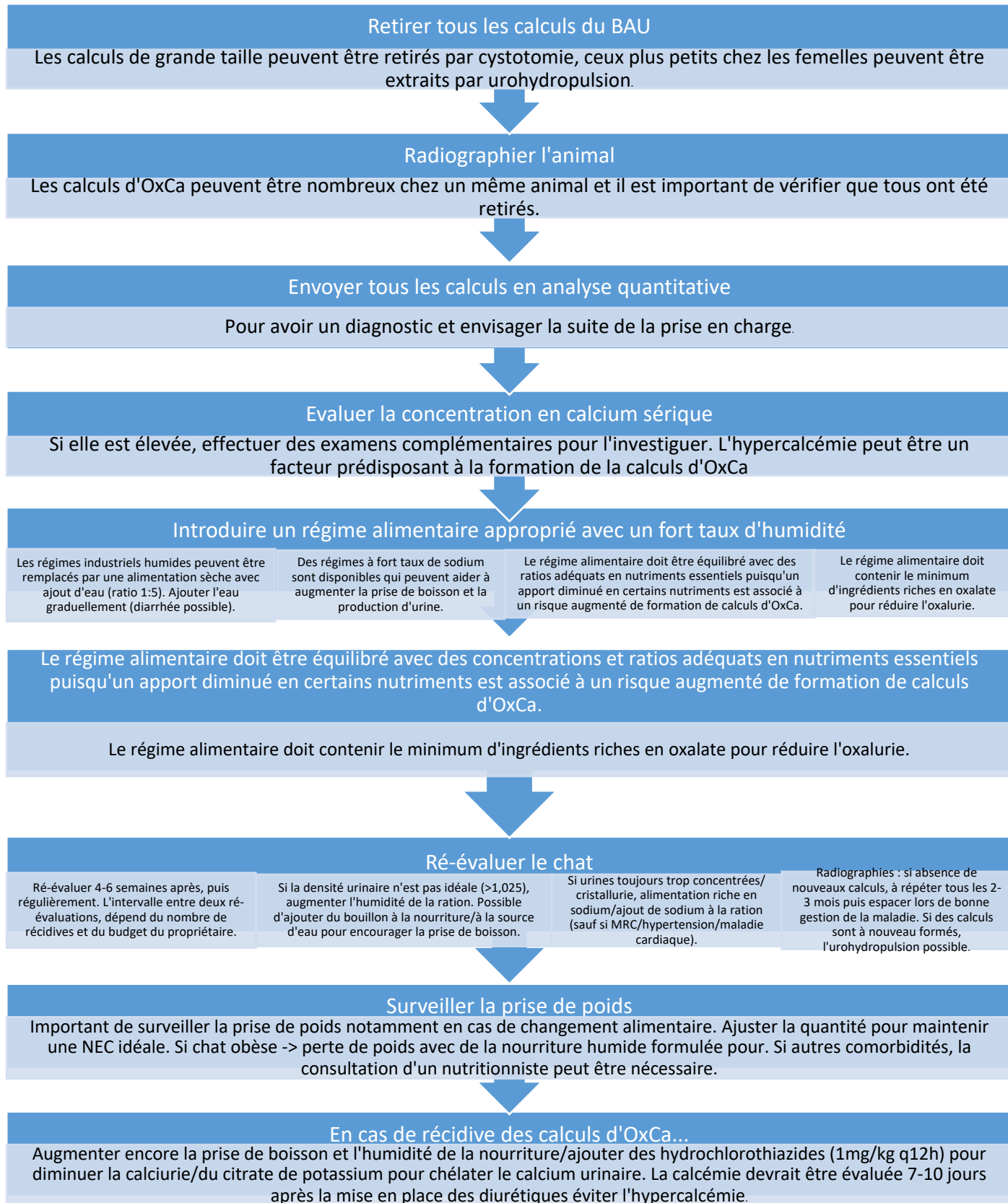
Les diurétiques thiazidiques aident à diminuer la saturation en OxCa. Ces diurétiques inhibent le co-transporteur sodium-chlorure au niveau du tubule distal, il stimule donc la réabsorption du calcium et diminue son excrétion dans les urines, ce qui a été prouvé chez le chien (Lulich *et al.*, 2001). Dans une étude sur des chats en bonne santé, une diminution du RSS en OxCa urinaire a été observée pour des doses de 1mg/kg toutes les 12 heures *per os*. Cependant, il faudrait observer les effets à long terme de l'administration de ces diurétiques (Hezel *et al.*, 2007).

2.1.4.3 Suivi à court, moyen et long terme

Les récurrences après traitement chirurgical ne sont pas rares, certaines études montrent un risque de récurrence de 6,8% après 2 ans (Albasan *et al.*, 2009). Lors de la prise en charge de calculs d'oxalate de calcium, il est conseillé d'effectuer des radiographies tous les 3 mois, en post-opératoire la première année puis tous les 6 mois.

Finalement, Palm *et al.* ont proposé en 2011 des recommandations pour la gestion des CaOx du BAU :

Figure 12 : Recommandations pour la gestion des calculs d'oxalates de calcium du BAU chez le chat, adapté de (Palm et Westropp, 2011)



2.1.5 Oxalate de calcium mono et dihydraté

Les calculs d'oxalate de calcium peuvent se retrouver sous deux formes dans les urines : une forme monohydratée (whewellite) et une forme dihydratée (weddellite).

Chez l'homme, la whewellite (oxalate de calcium monohydraté) est avant tout oxalate-dépendante, donc un marqueur d'états hyperoxaluriques, alors que la weddellite (oxalate de calcium dihydraté) est plutôt calcium-dépendante et observée préférentiellement dans des contextes hypercalciuriques.

Cette différence n'est pas rapportée dans les différentes études en médecine vétérinaire.

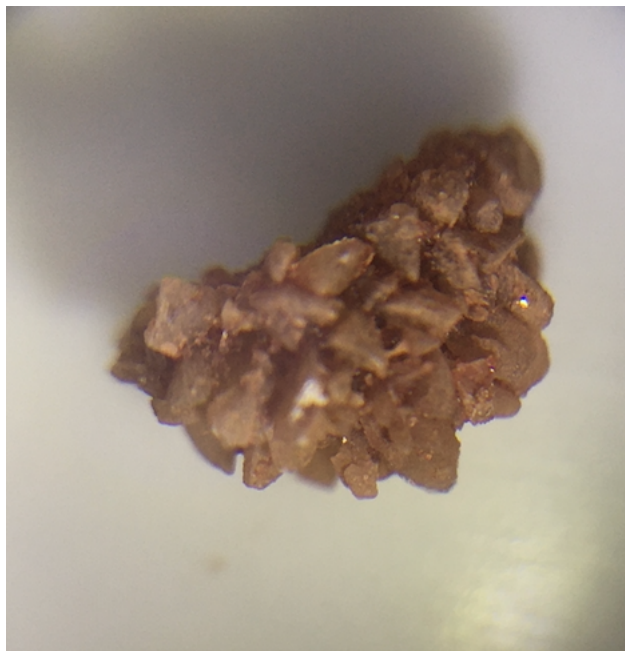
Chez le chat, aucune étude n'a encore étudié les différences entre oxalates de calcium monohydratés et dihydratés.

2.2 Struvite

2.2.1 Structure

Les calculs de struvite ont généralement une forme tétraédrique, ellipsoïdale ou sphérique, et sont le plus souvent observés dans la vessie et l'urètre (Ross *et al.*, 1999 ; Houston *et al.*, 2003). Ils sont souvent faits de cristaux agrégés dont les angles et les arrêtes sont émoussés (Daudon *et al.*, 2012).

Figure 13 : Calcul de struvite à 100%. (photographie VetAnalys)



2.2.2 Physiopathologie

Chez le chat, les calculs de struvite se forment le plus souvent dans des urines stériles, ce qui est en opposition avec le mécanisme de lithogénèse infectieuse retrouvé chez le chien et l'homme. Les calculs de struvite se retrouvent le plus souvent chez les chats entre 1 et 10 ans (Osborne, 2014).

Le Minnesota Urolith Center rapporte qu'en 2016, les calculs de struvite représentent 46% des calculs analysés chez les chats, alors qu'ils représentaient plus de 80% des calculs analysés en 1981 (Osborne, 2014). Un facteur majeur ayant contribué au déclin des urolithes de struvite féline au cours des 35 dernières années est l'utilisation répandue de régimes restreints en magnésium et acidifiants, les struvites se formant en milieu alcalin. Les régimes riches en magnésium, phosphore, calcium, chlore et fibres, ainsi que des quantités modérées de protéines, sont suggérés comme étant des facteurs de risque majeurs (Grauer, 2015 ; Lekcharoensuk *et al.*, 2001b), car leur consommation peut entraîner une hypermagnésurie, une hyperammoniurie et une hyperphosphaturie. Ainsi, le risque de précipitation et d'agrégation des cristaux de struvite dans l'urine est plus élevé (Lekcharoensuk *et al.*, 2001b). La physiopathologie de formation de ces calculs n'est pas encore entièrement comprise mais semble être une association de plusieurs facteurs comme la race, le sexe et l'alimentation.

L'alcalinité des urines est communément liée au régime alimentaire, mais peut également être associée à la prise de médicaments, comme vu précédemment, ou à des dysfonctions tubulaires (acidose tubulaire distale).

2.2.3 Traitement

2.2.3.1 Diététique

Comme expliqué dans la partie dédiée aux oxalates de calcium, la dilution des urines est un premier rempart à la formation de calculs urinaires et les recommandations restent donc les mêmes.

Les calculs de struvite ont en revanche la particularité de pouvoir être dissous par acidification des urines. La teneur en sodium et en protéines de ces régimes sont généralement hautes ce qui les contre-indique en cas de maladie rénale chronique, hypertension artérielle systémique, hypokaliémie, azotémie ou chez le chat immature. Si une ITU par germe uréolytique est présente, alors la dissolution des calculs de struvite sera moins aisée ; si tel est le cas une antibiothérapie est indispensable (Grauer, 2015 ; Hezel *et al.*, 2007).

2.2.4 Pronostic et prévention des récurrences

Le pronostic lors de calculs de struvites est bon, notamment grâce aux possibilités de dissolution. Lors de mise en place d'un régime de dissolution, de nouvelles radiographies abdominales devraient être prises deux à quatre semaines après l'introduction de ce régime et les calculs devraient avoir régressé de 33% à 100%. Si ce n'est pas le cas, soit les calculs ne sont pas des struvites, soit l'observance du régime alimentaire est mauvaise. Une fois la disparition de signes

radiographiques de calculs, le régime devrait être poursuivi deux à quatre semaines (Ettinger *et al.*, 2016 ; Grauer, 2015).

La prévention des récives passe par la dilution des urines et la miction fréquente en encourageant le chat à augmenter sa prise de boisson. De la nourriture spécifique pour la prévention des calculs de struvite est également présente sur le marché et peut être donnée au long cours au chat ayant présenté ces calculs (Ettinger *et al.*, 2016 ; Grauer, 2015).

2.3 Phosphate de calcium

Le phosphate de calcium est souvent retrouvé en association avec d'autres minéraux dans un même calcul. Les calculs purs de phosphate de calcium sont rares et retrouvés dans moins de 1% des calculs analysés (Houston et Moore, 2009 ; Osborne *et al.*, 2009a).

2.3.1 Structure(s)

Les phosphates de calcium sont généralement retrouvées sous deux formes dans les urines félines : la carbapatite et plus rarement la brushite. Leur aspect est blanchâtre à brun-jaune et ces calculs ont souvent une surface rugueuse (Daudon *et al.*, 2012).

2.3.2 Physiopathologie

Chez l'homme et le chien, leur présence est associée à une hyperparathyroïdie primaire, mais cela n'a pas été rapporté chez le chat (Thumchai *et al.*, 1996).

Les facteurs de risque de formation de calculs de phosphate de calcium incluent l'hypercalcémie due à une hypercalcémie, un excès de vitamine D et de calcium dans la ration (Gomes *et al.*, 2018), l'hyperphosphaturie due à un excès d'absorption du phosphore, en plus d'urines à pH basique et d'un faible volume urinaire (Thumchai *et al.*, 1996).

Les chats développant ce type de calcul sont majoritairement des femelles à 57% (Gomes *et al.*, 2018). L'âge moyen est de 8 ans +/- 5 ans, mais ils peuvent affecter des chats de tout âge (Thumchai *et al.*, 1996).

2.3.3 Traitement

Le phosphate de calcium étant rarement le constituant primaire d'un calcul, le traitement repose sur la gestion du calcul selon ce dernier. Lors des rares cas de calculs purs de phosphate de calcium, la dissolution est impossible et il faut donc avoir recours à des techniques d'extraction du ou des calcul(s).

2.3.4 Pronostic et prévention des récives

Il est important de privilégier, comme pour les calculs d'oxalate de calcium, la dilution des urines et de limiter les apports en calcium et en phosphate (Queau, 2019).

2.4 Purines

Les purines sont des composés organiques qui sont les précurseurs des bases azotées présentes dans l'ADN et l'ARN, comme l'adénine et la guanine. Elles sont également présentes

dans certains aliments et boissons. Lorsque les purines sont dégradées dans le corps, elles sont converties en acide urique.

En 2013, 5% des calculs analysés au MUC étaient des calculs de purine (Houston *et al.*, 2016 ; Osborne, 2014).

2.4.1 Structure(s)

Ces calculs ont une teinte jaune ou marron et sont généralement petits et sphériques (Ulrich *et al.*, 2009).

Figure 14 : Calcul composé d'urate d'ammonium à 100% (photographie VetAnalys)



2.4.2 Physiopathologie

2.4.2.1 Urates

Les urates sont des sels d'acide urique. L'acide urique est le produit final du métabolisme des purines. Normalement, l'acide urique est dissous dans le sang et éliminé par les reins dans l'urine. Cependant, si les niveaux d'acide urique dans le sang sont trop élevés (hyperuricémie), ou si l'élimination par les reins est inefficace, l'acide urique peut cristalliser et former des calculs d'urates.

Dans les conditions physiologiques, il n'y a pas d'excrétion d'acide urique dans les urines chez le chat. C'est pourquoi des recherches approfondies de la fonction hépatique devraient être menées chez les chats présentant ce type de calcul bien que dans la plupart des cas, il n'y ait pas d'insuffisance hépatique identifiée et qu'une origine génétique soit probable, comme pour le Dalmatien. Chez ce dernier, la mutation du gène SLC2A9 est responsable du défaut de transport de l'acide urique dans le foie et les reins qui conduit à l'hyperuricosurie et l'hyperuricémie.

Une prédisposition de la race Mau Egyptien a été observée lors de cas de calculs d'urates, ainsi qu'une association avec l'âge : les chats présentant des calculs d'urate semble être plus jeunes que ceux présentant d'autres calculs, d'autant plus lorsqu'ils sont de race Mau Egyptien (Appel *et al.*, 2010).

Une autre cause décrite chez le chat est la consommation d'un régime riche en protéines, pouvant mener à une plus grande excrétion d'urates par le rein et donc à une acidification des urines diminuant la solubilité de ces cristaux (Albasan *et al.*, 2012). Cette lithiase peut également être idiopathique (Ulrich *et al.*, 2009).

2.4.2.2 Xanthine

La xanthine est un intermédiaire dans la dégradation des purines en acide urique (figure 15). Les xanthines sont converties en acide urique par l'enzyme xanthine oxydase. Les calculs de xanthine sont rares et surviennent généralement, chez l'homme, chez les personnes présentant une déficience en xanthine oxydase, une maladie génétique appelée xanthinurie. Dans cette situation, la xanthine ne peut pas être convertie en acide urique et s'accumule dans le corps, formant des cristaux puis des calculs.

Ce type de calcul est rarement rencontré chez le chat puisqu'il représente environ 0,14% des calculs analysés. Une prédisposition de sexe n'est pas claire mais les mâles notamment castrés semblent plus souvent présenter des calculs de xanthine (Osborne *et al.*, 2009a). Les animaux affectés ont moins de 5 ans avec un âge moyen de 2,8 ans mais aucune prédisposition de race n'a été mise en évidence (Del-Ángel-Caraza *et al.*, 2012).

La formation de xanthine peut être associée à un déficit en enzyme xanthine déshydrogénase (XDH), qui permet de former l'acide urique à partir de la xanthine. Ce déficit conduit à l'excrétion de xanthine, insoluble dans les urines, c'est la xanthinurie primaire (Cari *et al.*, 1996). Ce mode de formation semble plutôt être majoritaire chez le chat (Del-Ángel-Caraza *et al.*, 2012).

La forme secondaire est reliée à l'utilisation de régimes très concentrés en purines comme lors de traitement des lithiases d'urate, l'allopurinol, bien qu'il n'y ait pas de publication rapportant la présence de xanthine chez des chats traités avec ce médicament (Albasan *et al.*, 2012, 2009).

Figure 15 : Formation d'acide urique à partir des purines d'après (Ettinger *et al.*, 2016) XDH : xanthine déshydrogénase, UC : Uricase



2.4.3 Traitement calculolytique

La dissolution de ce type de calcul n'est pour le moment pas possible, les techniques d'extraction restent donc les traitements de choix pour les éliminer.

2.4.4 Pronostic et prévention des récurrences

Il est recommandé d'apporter au chat un régime alcalinisant et pauvre en protéines pour éviter les récurrences, si possible en nourriture humide pour favoriser l'absorption d'eau. Des récurrences de ce type de calcul sont décrites dans 21% des cas entre 3 et 12 mois après la première extractions (Del-Ángel-Caraza *et al.*, 2012).

2.5 Cystine

Les calculs de cystine chez le chat ont été diagnostiqués chez des chats entre 4 mois et 12 ans d'âge, avec une moyenne à 3,6 ans (Cannon *et al.*, 2007 ; Lieske *et al.*, 2014).

2.5.1 Structure

Les calculs de cystine sont jaune à marron, généralement petits et de forme arrondie (Houston *et al.*, 2016 ; Osborne *et al.*, 2009a).

2.5.2 Physiopathologie

Les calculs de cystine sont rares chez le chat puisqu'ils représentent 0,1% des calculs analysés (Houston *et al.*, 2016 ; Osborne *et al.*, 2009a).

La cystinurie a été documentée pour la première fois en 1991 chez un chat. Celui-ci présentait des défauts de réabsorption de la cystine, l'ornithine, la lysine et l'arginine (COLA) ayant pu ensuite conduire à la formation de calculs de cystine (DiBartola *et al.*, 1991).

Cette maladie est décrite dans différentes espèces d'animaux domestiques et sauvages. Chez l'Homme et le chien, elle est associée à une mutation des gènes SLC3A1 et SLC7A9. Un cas de mutation du gène SLC3A1 a été décrit en 2015 chez un très jeune chat atteint de cystinurie avec calculs de cystine associés (Mizukami *et al.*, 2015). Un an plus tard, les mêmes auteurs décrivent plusieurs variants d'un autre gène, le gène SLC7A9 chez des chats cystinuriques (Mizukami *et al.*, 2016).

Même si aucune étude n'a montré l'existence d'une prédisposition de certaines races, le siamois semble légèrement surreprésenté. Pour le moment, tous les calculs de cystine ont été retrouvés dans le bas appareil urinaire chez les chats.

En plus des signes cliniques d'affection du bas appareil urinaire, les chats présentant des calculs de cystine peuvent également présenter de l'hypersalivation, de la léthargie et des crises d'épilepsie. En effet, le défaut d'absorption interstitielle et l'augmentation de l'excrétion rénale en arginine causent un déficit pouvant provoquer une hyperammoniémie responsable de ce tableau clinique (Ettinger *et al.*, 2016).

2.5.3 Traitement

Le traitement des calculs de cystine n'a pas été décrit chez le chat contrairement à chez l'humain et le chien. La solubilité de la cystine augmente avec le pH, notamment au-dessus de 7,5, ce qui conduit à recommander une alcalinisation des urines à l'aide de citrate de potassium (75mg/kg PO q12h), et une augmentation de la prise de boisson pour diluer les urines. Des chélateurs de

de la cystine comme la D-pénicillamine ou la 2-mercaptoproprionylglycine (2-MPG) sont déjà utilisés chez l'homme et le chien mais seule la 2-MPG a montré une utilisation sans risque chez le chat (Mizukami *et al.*, 2015).

Si un déficit en arginine est mis en évidence, une complémentation alimentaire peut être envisagée (Mizukami *et al.*, 2015).

La cystinurie de type III chez le chien est actuellement prise en charge grâce à la castration chirurgicale, qui serait donc possiblement une option si cette forme androgène-dépendante était également retrouvée chez le chat, ce qui reste à prouver (Mizukami *et al.*, 2015).

2.5.4 Pronostic et prévention des récives

Le pronostic peut être sombre en cas de récive fréquente des calculs chez les très jeunes chats. Dans les autres cas, d'autres études sont nécessaires pour évaluer le risque de récive chez le chat.

2.6 Silice

Les calculs de silice apparaissent dans une étude comme représentant 0,3% des urolithiases félines, sans prédisposition de sexe ou d'âge. En revanche, le Minnesota Urolith Center rapporte une incidence de la silice de 6% lors de calculs composés (Osborne *et al.*, 2009a).

2.6.1 Structure

Les calculs de silice sont généralement gris-blanc et à surface rugueuse. (Daudon *et al.*, 2012)

2.6.2 Physiopathologie

La silice présente dans la nourriture est absorbée puis éliminée dans les urines sans complication la plupart du temps. Cependant, il se pourrait qu'une augmentation du taux de silice dans l'alimentation ou l'eau prédispose à la formation de calculs de silice (Gomes *et al.*, 2018).

La physiopathologie de la formation de ces calculs chez le chat n'est pas encore bien comprise à ce jour (Gomes *et al.*, 2018).

2.6.3 Traitement

Aucun traitement par dissolution n'est disponible actuellement, les méthodes de choix sont donc les méthodes d'extraction.

2.6.4 Pronostic et prévention des récives

Chez le chien, un régime pauvre en légumes et riche en protéines animale et eau est recommandé (Ettinger *et al.*, 2016).

3 Présentation clinique et démarche diagnostique

3.1 Signes cliniques

Lorsque le calcul est situé dans la vessie ou l'urètre, les signes cliniques seront ceux d'une affection du bas appareil urinaire, c'est-à-dire pollakiurie, strangurie, hématurie, malpropreté urinaire. Plusieurs de ces signes peuvent être associés et il peut également n'y avoir aucun signe clinique. Les manifestations cliniques dépendent de la taille, la quantité et la localisation des urolithes (Ettinger *et al.*, 2016 ; Gerber *et al.*, 2005 ; Lekcharoensuk *et al.*, 2001b ; Osborne, 2014 ; Palm et Westropp, 2011).

Ces signes sont peu spécifiques et il faut penser à faire le diagnostic différentiel avec d'autres affections comme une infection urinaire, une cystite idiopathique ou une néoplasie (Ettinger *et al.*, 2016 ; Gerber *et al.*, 2005).

Parfois, une obstruction partielle ou totale de l'urètre peut être observée. Dans ce cas, les signes cliniques seront plus spécifiques, mais il faut toujours vérifier qu'une autre cause n'est pas à l'origine de cette obstruction (Gerber *et al.*, 2005).

Dans les cas de calculs rénaux ou urétéraux, les animaux sont très souvent asymptomatiques si l'affection est unilatérale. Parfois, des vomissements, de l'anorexie, de l'apathie ou une douleur abdominale peuvent être rapportés (Kyles *et al.*, 2005 ; Maurey *et al.*, 2015 ; Palm et Westropp, 2011). Lorsque de l'hématurie est rapportée sans autre signe d'atteinte du bas appareil urinaire, une recherche de lithiase du haut appareil urinaire devrait alors être menée (Palm et Westropp, 2011 ; Ross *et al.*, 1999).

3.2 Examens complémentaires

3.2.1 Analyses biologiques

Les examens complémentaires auront comme objectif de déterminer les conséquences fonctionnelles de la présence du calcul, en particulier s'il est responsable d'une obstruction du flux urinaire et d'aider à préciser la nature minérale. C'est cet aspect qui sera détaillé ici.

3.2.1.1 Examen sanguin

L'évaluation du calcium ionisé sérique devrait être également évalué lors de suspicion de calcul d'oxalate de calcium pour écarter une hypercalcémie. En effet, 11% des chats atteints d'hypercalcémie présentent conjointement des calculs urinaires, et ce pourcentage est amené à 14% lorsque l'on s'intéresse au calcium ionisé (Broughton *et al.*, 2023 ; Palm et Westropp, 2011 ; Savary *et al.*, 2000).

3.2.1.2 Analyses d'urine

Une analyse d'urine complète avec bandelette, densité et culot urinaire devrait être réalisée systématiquement avant tout traitement, à moins d'une heure du prélèvement pour éviter la cristallisation *in vitro* (Ettinger *et al.*, 2016). Il faut cependant bien retenir que la cristallurie n'est pas synonyme d'urolithes, et inversement.

Il est important de déterminer la densité urinaire puisqu'il sera important de créer des urines plus diluées dans le futur si besoin pour éviter d'atteindre le point de saturation des cristaux. Comme vu précédemment, le pH urinaire affecte également la formation de cristaux.

Une culture sur les urines prélevées doit être demandée dans les cas où la densité urinaire est basse et le risque d'infection urinaire fort (Ettinger *et al.*, 2016). Certains auteurs recommandent de l'effectuer dans tous les cas (Grauer, 2015).

3.2.2 Imagerie médicale

L'imagerie est essentielle en cas de suspicion de calculs urinaires car la visualisation directe de ces derniers permet un diagnostic de certitude.

3.2.2.1 Radiographie

- Radiographie sans préparation

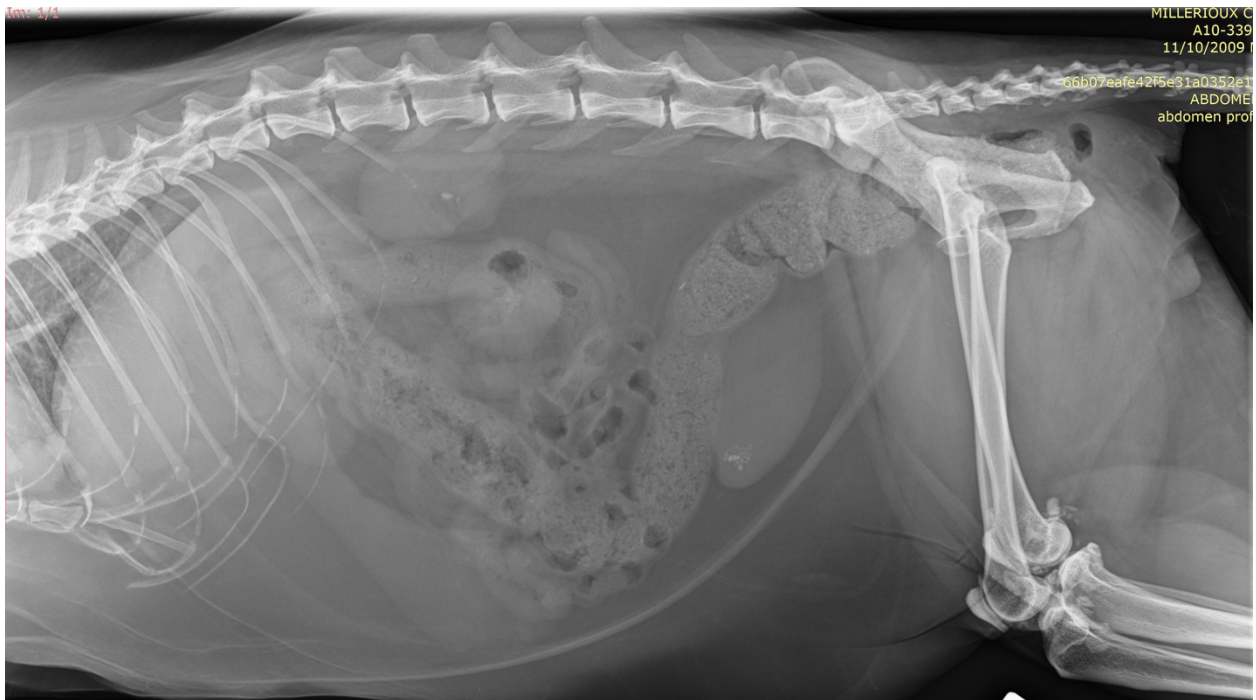
Cette technique est accessible et peu coûteuse et permet d'évaluer la forme, la taille et la localisation des calculs urinaires.

La radiographie sans préparation est intéressante pour visualiser certains calculs minéralisés qui sont, du plus radio-opaque au moins radio-opaque : oxalates de calcium, struvite et phosphate de calcium. La radiographie doit inclure l'entièreté du système urinaire, y compris l'urètre.

La quantité limitée d'informations quantitatives disponibles à partir de l'imagerie humaine suggère que environ 50% des urocystolithes sont détectables sur les radiographies sans préparation (Weichselbaum *et al.*, 1999). Notamment, les petits calculs de moins de 3 millimètres peuvent être difficile à visualiser. L'incidence des faux négatifs pour tous types de calculs est de 13% (Langston *et al.*, 2008 ; Weichselbaum *et al.*, 1999). La sensibilité de la radiographie pour la détection de calculs dans les uretères est de 81% (Grauer, 2015 ; Kyles *et al.*, 2005 ; Palm et Westropp, 2011).

Les struvites associés à une infection urinaire tendent à être plus radio-opaques que celles formées dans l'urine stérile (Grauer, 2015).

Figure 16 : Calculs d'oxalate de calcium rénaux et vésicaux chez un chat mâle castré de 12 ans en radiographie (photographie : service d'imagerie du CHUVA)



- Radiographie avec préparation

Une autre méthode est la radiographie avec préparation, permettant de mettre en évidence des calculs non radio-opaques comme les urates ou les cystines.

Il est possible de réaliser une cystographie rétrograde (injection de produit de contraste dans la vessie puis suivi radiographique) dans le cas de suspicion de calculs dans le bas appareil urinaire (Grauer, 2015). Pour les calculs du haut appareil urinaire, la pyélographie antérograde (injection de produit de contraste dans la cavité pyélique puis suivi radiographique) est préférée à l'urographie intraveineuse car cette dernière peut provoquer une hypotension, un choc anaphylactique ou une crise d'IRA (Adin *et al.*, 2003 ; Grauer, 2015).

La sensibilité et la spécificité sont toutes les deux de 100 % dans l'étude d'Adin *et al.*, ce qui en fait une technique de choix pour établir avec certitude un diagnostic d'obstruction.

3.2.2.2 Echographie

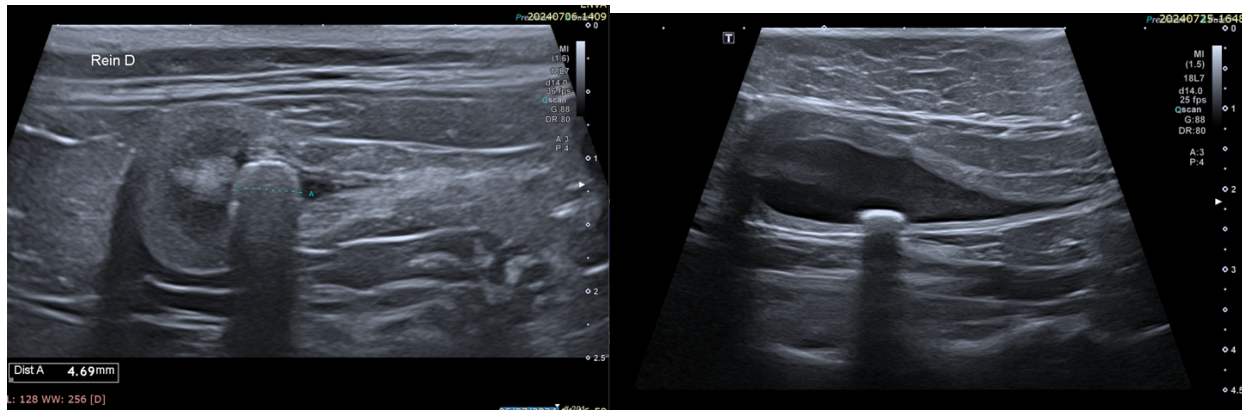
Cette technique est également facilement accessible et peu onéreuse, permettant la visualisation de calculs radio transparents, qu'ils soient minéralisés ou non. Cet examen permet également de visualiser une dilatation en amont d'une obstruction (urétrale ou urétérale) par le calcul.

Un calcul peut être visualisé en échographie comme suit : l'interface entre l'urine et le calcul est intensément hyperéchogène avec des cônes d'ombres acoustiques sous le calcul. Les calculs urétraux sont difficiles à visualiser avec l'échographie à moins qu'ils ne soient près du col de la vessie (Langston *et al.*, 2008).

Actuellement, la sensibilité de l'échographie pour la détection de calculs urinaires est d'environ 98% (Wormser *et al.*, 2019).

La combinaison de radiographies sans préparation et d'une échographie abdominale amène à 90% la sensibilité de détection des calculs et devrait donc être pratiquée lors de suspicion de lithiase du haut appareil urinaire (Kyles *et al.*, 2005).

Figure 17 : Calcul rénal d'oxalate de calcium chez un chat mâle castré de 12 ans et calcul vésical chez un chat femelle stérilisée de 8 ans visualisés en échographie (photographies : service d'imagerie du CHUVA)



3.2.2.3 Cystoscopie

La cystoscopie transurétrale peut être réalisée chez la femelle avec un endoscope rigide pour diagnostiquer une urolithiase. En revanche, cette intervention nécessite une anesthésie générale et n'est pas forcément disponible facilement (Ettinger *et al.*, 2016).

3.2.2.4 Examen tomодensitométrique

L'examen tomодensitométrique permet de visualiser le calcul en s'affranchissant des problèmes de superposition des tissus mous comme c'est le cas avec la radiographie. Pour les calculs urétéraux, la sensibilité et la spécificité du scanner sont meilleures que celle de l'échographie (Testault *et al.*, 2021) et un avantage de cette technique réside dans une meilleure description de leur position.

Les principaux inconvénients sont surtout la nécessité d'une anesthésie générale pour réaliser des images de bonne qualité, la disponibilité qui peut parfois être limitée selon la zone géographique et le coût pour le propriétaire qui est bien plus important que pour les autres examens cités ci-dessus alors qu'une combinaison avec échographie et radiographie suffit dans la très large majorité des cas à mettre en évidence un urolithe.

3.2.3 Analyse du (des) calcul(s)

3.2.3.1 Analyse SPIR

L'analyse du ou des calculs extraits est fortement recommandée puisque c'est le seul moyen de savoir avec certitude la nature du calcul et donc d'adapter notre prise en charge.

Si le calcul est extrait, l'analyse SPIR permettra de mettre en place un traitement préventif. Toutefois dans de nombreux cas, une suspicion de la nature minérale est émise afin de déterminer le meilleur choix thérapeutique. Si la suspicion évoque une nature minérale qui ne

permet pas la dissolution (calculs calciques) une approche chirurgicale ou mini invasive sera proposée. Dans le cas contraire, un traitement calculolytique sera proposé.

La suspicion de la nature minérale est basée sur :

- Les antécédents médicaux et les facteurs de risque présentés par l'animal :

S'il a déjà présenté des calculs par le passé, la composition des anciens calculs peut donner une indication sur la nature des nouveaux.

Comme développé précédemment, certaines comorbidités sont associées à des types spécifiques de calculs. Par exemple, les chats présentant un shunt porto-systémique ont plus de chance de développer des calculs d'urate d'ammonium. Egalement, les infections urinaires chroniques, notamment avec des bactéries à uréase positive, augmentent le risque développement de calculs de struvite.

- Analyse d'urine :

Les résultats peuvent orienter la suspicion vers un type particulier de calcul : un pH acide favorise les calculs d'acide urique, et un pH alcalin favorise les calculs de struvite. Les cristaux retrouvés à l'analyse microscopique du culot urinaire peuvent donner une indication sur le type de calcul mais ne sont pas diagnostiques. En effet, il est fréquent de retrouver des cristaux de struvite même en présence de calculs d'oxalate de calcium.

- Examen macroscopique et imagerie médicale :

La nature physique du calcul peut parfois fournir des indices. Par exemple : Les calculs d'oxalate de calcium sont souvent durs, rugueux, et de couleur brune. Les calculs d'acide urique sont plus lisses et de couleur jaunâtre ou orangée. Les calculs de struvite sont généralement plus friables et de couleur blanc-grisâtre. Bien que tous les types de calculs puissent varier en taille, les calculs de struvite peuvent parfois atteindre des tailles importantes (Daudon *et al.*, 2012).

Certains examens d'imagerie permettent d'identifier la présence de calculs et donnent des indices sur leur nature en fonction de leur apparence radiologique. Par exemple, les calculs d'acide urique peuvent parfois être radiotransparents. Au contraire, les calculs contenant du calcium sont souvent très radio-opaques.

- Facteurs alimentaires :

Chez le chat, la consommation d'un régime calculolytique ne permettant pas la disparition radiographique des calculs permet de s'orienter vers des calculs d'oxalate de calcium.

3.2.3.2 Classification morpho-constitutionnelle chez l'homme

En médecine humaine, il existe une classification morpho-constitutionnelle des calculs urinaires permettant de les différencier ainsi que de comprendre la cause de leur formation, différente pour chaque type de calcul (Daudon *et al.*, 2012).

Cette classification comporte 7 types et 22 sous-types et est rapportée en Annexe 1.

La classification morpho-constitutionnelle des calculs urinaires est un outil précieux car elle offre de nombreux avantages pour la prise en charge des calculs urinaires :

- Caractérisation précise du calcul :

Cette classification repose sur l'analyse approfondie de la morphologie externe et interne du calcul, permettant de comprendre son mode de formation. La surface, les couches internes et la texture donnent des informations sur le processus de formation, comme la rapidité de la croissance ou l'impact des infections. L'analyse de la composition minérale et organique du calcul révèle les composants principaux et leurs proportions. Cette approche permet d'obtenir une vue globale du calcul, facilitant ainsi son identification précise

- Compréhension du mécanisme de formation :

En combinant la morphologie et la composition, cette classification aide à retracer le processus de formation du calcul. Un calcul dont la composition est homogène peut indiquer un facteur métabolique prédominant, tel qu'une hypercalciurie dans les calculs d'oxalate de calcium. Un calcul présentant plusieurs types de composants minéraux peut indiquer des phases successives de formation, associées à des changements métaboliques. Les couches internes et externes du calcul peuvent donc indiquer une évolution temporelle. Par exemple, une base de struvite due à une infection urinaire (même si rare chez le chat) peut être recouverte d'une couche d'oxalate de calcium, indiquant un changement de conditions métaboliques.

- Diagnostic étiologique :

La classification morphologique-constitutionnelle permet de mieux comprendre l'origine des calculs, ce qui aide à établir un diagnostic étiologique précis. Le clinicien peut ainsi déterminer les facteurs de risque sous-jacents (alimentaires, infectieux, métaboliques) et ajuster le traitement en conséquence. Parfois, il peut également identifier des troubles plus rares, comme la cystinurie, un shunt porto-systémique, ou d'autres anomalies métaboliques, en fonction de la composition du calcul.

- Optimisation de la prise en charge thérapeutique :

En comprenant l'étiologie et la composition d'un calcul, le clinicien peut adapter au mieux la prise en charge médicale ou chirurgicale mais également évaluer le risque de récurrence et donc tenter de le palier.

- Contribution à la recherche et à la compréhension des calculs :

Cette classification offre un cadre standardisé pour les études cliniques et épidémiologiques, permettant de mieux comprendre les facteurs influençant la formation des calculs urinaires dans différentes populations. Elle contribue à la recherche clinique en offrant des informations précieuses sur les mécanismes de cristallisation des calculs, permettant ainsi de développer de nouvelles stratégies préventives et thérapeutiques.

- Identification de calculs complexes et rares :

La classification morphologique-constitutionnelle aide également à identifier des calculs moins courants, comme ceux formés par des médicaments ou ceux liés à des anomalies métaboliques rares.

La classification morphologique-constitutionnelle des calculs urinaires chez l'homme apporte donc une approche détaillée de l'analyse des calculs. Elle permet de mieux comprendre les mécanismes de formation, d'optimiser le traitement, de prévenir les récurrences, et d'affiner le diagnostic étiologique.

Les causes de formation de chaque calcul n'étant pas complètement élucidées en médecine vétérinaire, il n'existe à ce jour pas de classification des calculs urinaire félines.

Deuxième partie : étude expérimentale

1 Objectif

La seule étude épidémiologique concernant les calculs urinaires du chat en France porte sur 110 calculs analysés par spectrophotométrie infrarouge (SPIR) ou diffraction des rayons X entre 1999 et 2000 (Paragon *et al.*, 2003).

Dans cette précédente étude, les praticiens français ont été contactés pour recueillir les calculs urinaires et bouchons urétraux extraits par voie naturelle ou chirurgicale.

Les résultats montraient, comme dans les études des autres pays, une forte émergence des calculs d'oxalate de calcium qui étaient alors représentés à 40%. La population était constituée de mâles et femelles de tous âges parfois obèses. Une prédisposition de la race Persan avait alors été soulignée.

Les objectifs de cette étude sont donc :

- Faire l'état des lieux en France sur un large échantillon de la nature minérale des calculs urinaires félines et de l'éventuelle évolution depuis 2003
- De préciser les facteurs de risque
- Envisager l'intérêt de l'utilisation de la classification morpho- constitutionnelle permettant de prédire la nature du calcul.
-

2 Matériel et méthodes

2.1 Sélection et étude des cas

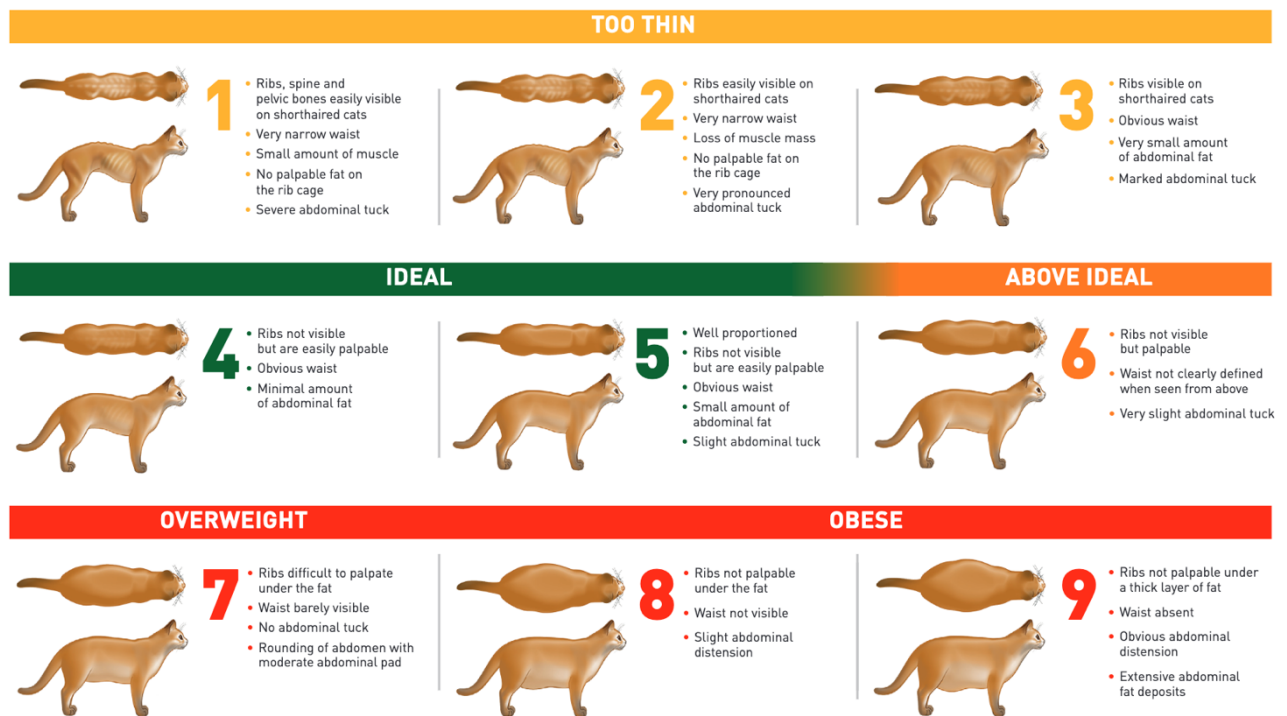
Cette thèse est une étude rétrospective réalisée à partir des dossiers de calculs urinaires félines analysés par le laboratoire VET'ANALYS, dans le cadre d'un partenariat avec ROYAL CANIN France, entre 2016 et 2021. En effet, ROYAL CANIN offre les analyses de calculs urinaires par spectrophotométrie infra-rouge aux vétérinaires qui le souhaitent. Avec les résultats ils reçoivent systématiquement les conseils nutritionnels adaptés et peuvent être rappelés par un vétérinaire expert sur demande.

Les informations concernant l'animal et le(s) calcul(s) sont obtenues à partir de la feuille de demande d'analyse qui accompagne chaque calcul (Annexe 2). La race, l'âge, le statut sexuel, le poids et la note d'état corporel de l'animal sont demandés, ainsi que le pH, la densité urinaire et la (les) localisation(s) du(des) calcul(s). D'autres informations sont également demandées

comme le résultat de l'ECBU le cas échéant, l'alimentation de l'animal ou encore ses maladies intercurrentes.

Pour l'étude de la NEC, une échelle en 9 points (échelle de référence) est utilisée pour noter la note d'état du chat, le poids idéal étant de 5. Les notes de 1,2 et 3 sont attribués à des animaux trop fins, et les notes de 6,7,8, et 9 sont attribuées à des animaux en surpoids, tandis que 4 et 5 correspondent à des animaux ayant une NEC idéale.

Figure 18 : Note d'état corporel sur 9, (Royal Canin, 2019) adapté de Laflamme et al., 1997.



2.2 Analyse minérale

La SPIR est une technique analytique utilisée pour identifier et caractériser les substances chimiques. Son principe et son application à l'étude des calculs urinaires sont décrits ci-dessous :

Principe de la Spectrophotométrie Infrarouge :

1) Absorption de la Lumière Infrarouge :

- Les molécules absorbent la lumière infrarouge à des longueurs d'onde spécifiques, ce qui provoque des transitions vibratoires dans les liaisons chimiques de la molécule.
- Chaque type de liaison chimique (par exemple, C-H, O-H, C=O) absorbe l'IR à des fréquences particulières, créant un spectre caractéristique pour chaque molécule.

2) Production du Spectre Infrarouge :

- Un spectrophotomètre IR mesure la quantité de lumière infrarouge absorbée par un échantillon à différentes longueurs d'onde.

- Le résultat est un spectre IR, qui représente l'absorbance en fonction de la longueur d'onde ou du nombre d'onde (inverse de la longueur d'onde).

3) Interprétation du Spectre :

- Les pics dans le spectre IR correspondent aux fréquences d'absorption des différentes liaisons chimiques dans la molécule.
- En comparant le spectre obtenu avec des bases de données de spectres connus, on peut identifier les composants chimiques de l'échantillon.

Application à l'étude des calculs urinaires

La spectrophotométrie IR permet donc de déterminer la composition chimique des calculs urinaires, l'analyse se déroule comme suit :

1) Préparation de l'Échantillon :

- Les calculs urinaires sont prélevés et broyés en une fine poudre pour une meilleure analyse.
- L'échantillon est ensuite placé dans le spectrophotomètre IR.

2) Acquisition du Spectre IR :

- Le spectrophotomètre IR utilisé ici est le FT-IR (Fourier Transform InfraRed), il analyse l'échantillon en mesurant l'absorption de la lumière infrarouge.
- Un spectre IR est obtenu, montrant les caractéristiques d'absorption spécifiques des composants du calcul.

3) Identification des Composants :

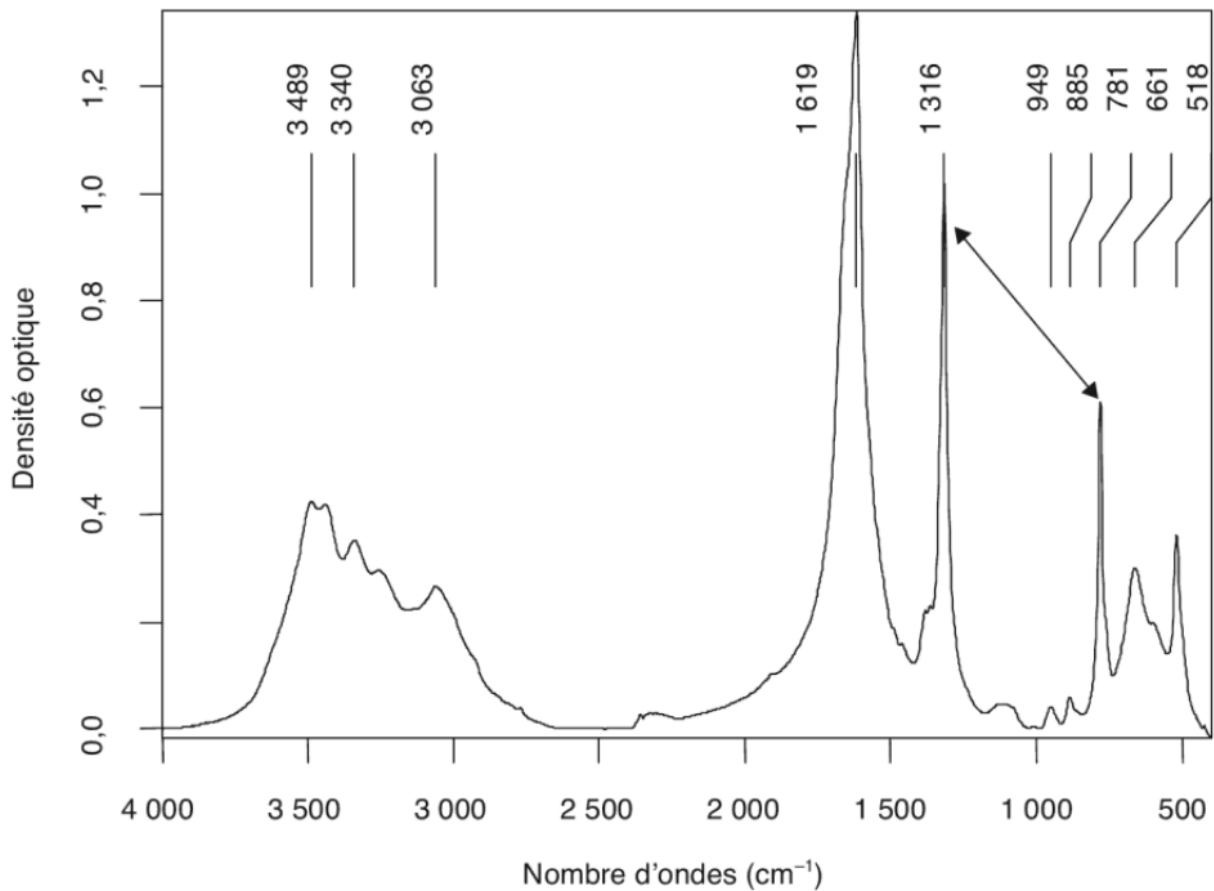
- Les pics dans le spectre IR sont comparés à des spectres de référence pour identifier les différents composants du calcul urinaire, comme par exemple celui de l'oxalate de calcium monohydraté (figure 18).
- Chaque type de calcul a un spectre IR distinctif qui permet son identification précise.

4) Avantages de la Spectrophotométrie IR :

- Rapide et Non Destructive : L'analyse est rapide et ne détruit pas l'échantillon.
- Haute Précision : Permet une identification précise et fiable des composants chimiques, en effet elle permet de connaître à 5% près la composition des calculs.

En résumé, la SPIR est la méthode de référence pour l'étude des calculs urinaires, permettant une identification précise de leur composition chimique et aidant ainsi à orienter le traitement médical approprié.

Figure 19 : Pic d'absorption de l'oxalate de calcium monohydraté (whewellite)(Daudon et al., 2012)



2.3 Analyse statistique

Jérémy Laxalde, biostatisticien employé par Royal Canin, a effectué l'analyse statistique. L'analyse statistique a été réalisée sur le logiciel Rstudio Version 1.1.456 – © 2009-2018 RStudio, Inc.

Une ANOVA à un facteur a été appliquée pour étudier le lien entre la nature des calculs et les variables continues (âge, poids, score corporel, pH urinaire, densité urinaire, nombre d'éléments et taille du calcul).

Pour l'étude du lien entre la nature des calculs et les facteurs d'intérêts (sexe, stérilisation, origine, forme, consistance, aspect de la surface, couleur de la section, couleur de la surface, aspect de la section), un modèle linéaire généralisé a été utilisé.

Pour les deux types d'analyses, un test de Tukey a ensuite été utilisé pour les comparaisons multiples deux à deux. Le niveau de significativité a été fixé à 5 % après corrections.

Les tests statistiques ont été choisis en fonction du type de données en présence (données continues, données nominales...) et du nombre de modalités dans les données nominales de façon à toujours utiliser le test le plus approprié.

Les données concernant le fichier I-Cad pour comparaison à la population féline française ont été récoltées sur la synthèse 2023 du site officiel I-Cad. On y retrouve le nombre d'identification ainsi que les enregistrements en nombre par race.

3 Résultats

Il y a dans notre étude 4705 calculs analysés. Certains paramètres restent inexploitable car trop peu renseignés dans la fiche de demande d'analyse, ou bien trop d'entrées différentes sont renseignées ; c'est le cas pour l'alimentation, ainsi que le résultat de l'ECBU ou encore le traitement en cours.

3.1 Population animale étudiée

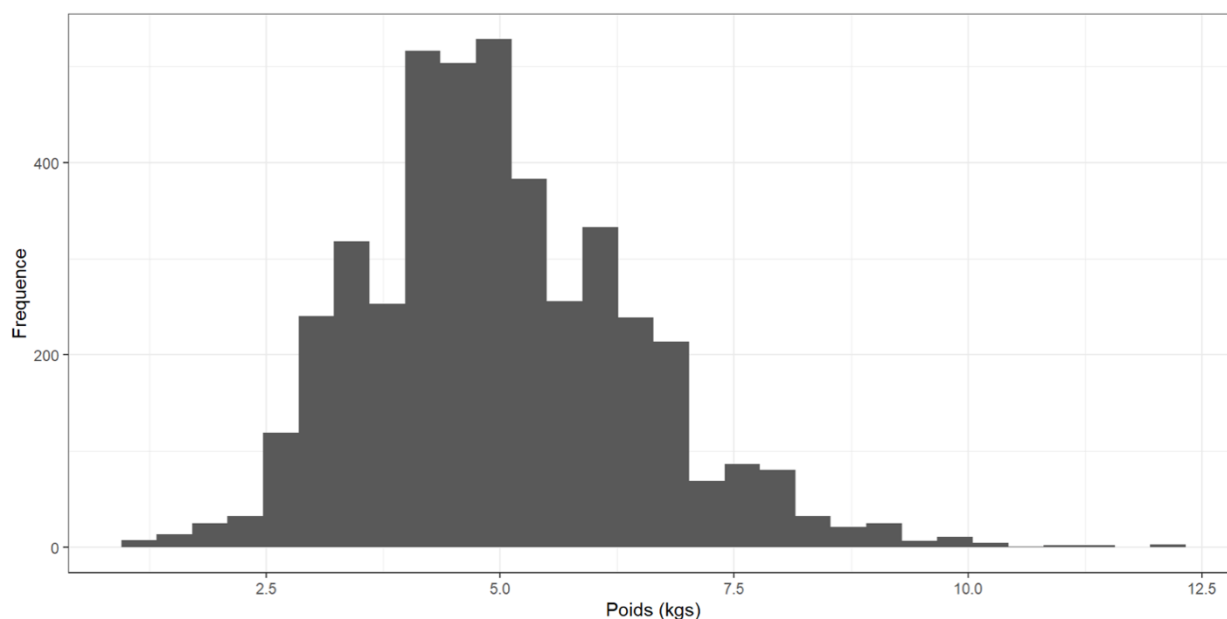
3.1.1 Poids

Les valeurs aberrantes (>20kg) ont été enlevées de la base de données.

Dans la base de données, 4333 dossiers sont exploitables pour le poids, soit 92,1%. Dans la population de l'étude, le poids moyen des chats est de 4,995 kg et le poids médian est de 4,9 kg.

En France en 2022, le poids moyen des chats était de 4,6 kg (KANTAR et FACCO, 2023).

Figure 20 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction de leur poids.



3.1.2 Race

Dans notre base de données, 4656 dossiers sont exploitables pour la race soit 98,9%.

Evidemment, les chats de race européen sont représentés très majoritairement (4000 individus soit 85,9%), mais certaines races sont majoritaires dans les 657 dossiers restant avec plus de 50 individus, notamment le persan (224 individus soit 4,8% des dossiers exploitables et 34,1% des non-européens), le sacré de Birmanie (112 individus soit 2,4% des dossier exploitables et 17% des non-européens), le british (86 individus soit 1,8% des dossier exploitables et 13,1% des non-européens), et le Maine coon (51 individus soit 1,1% des dossiers exploitables et 7,8% des non-européens).

En France en 2023, 917 590 chats ont été identifiés sur le fichier I-cad. Au sein de cette population, 764 184 sont des européens soit 83,2%. Le chat de race le plus représenté était le Maine Coon avec 39 803 identifications (4,3% toutes races confondues et 26% des non-européens), puis le Sacré de Birmanie avec 10 700 identifications (1,2% toutes races confondues et 7% des non-européens), le Siamois avec 10 398 identifications (1,1% toutes races confondues et 6,8% des non-européens), et le Persan avec 9 068 identifications (1% toutes races condondues et 5,9% des non-européens) (Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2023).

On n'observe donc pas de surreprésentation globale des chats de race dans notre étude, en revanche au sein de ces chats de race, on observe une surreprésentation par rapport à la population française des Persans, Sacré de Birmanie et British. En effet, ces trois races surpassent en nombre le Maine Coon dans notre étude, alors que ce dernier est le chat de race le plus représenté dans la population française.

Figure 21 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction de leur race dans notre étude (seules les races dont l'effectif est supérieur à 9 sont représentées).

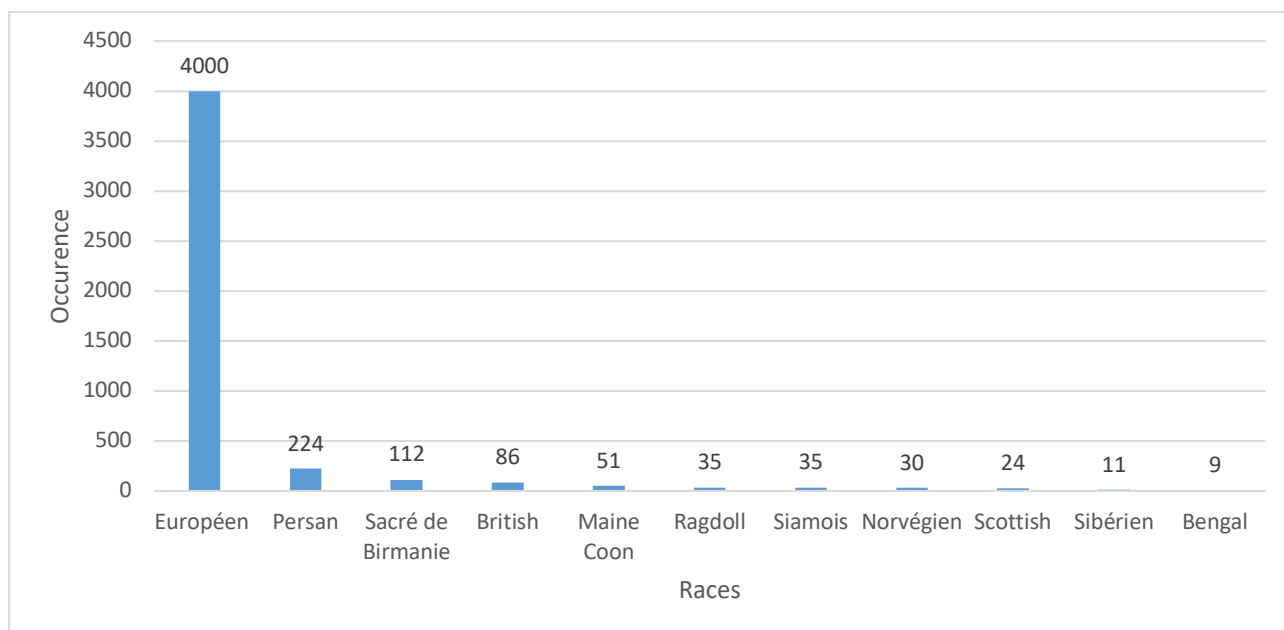
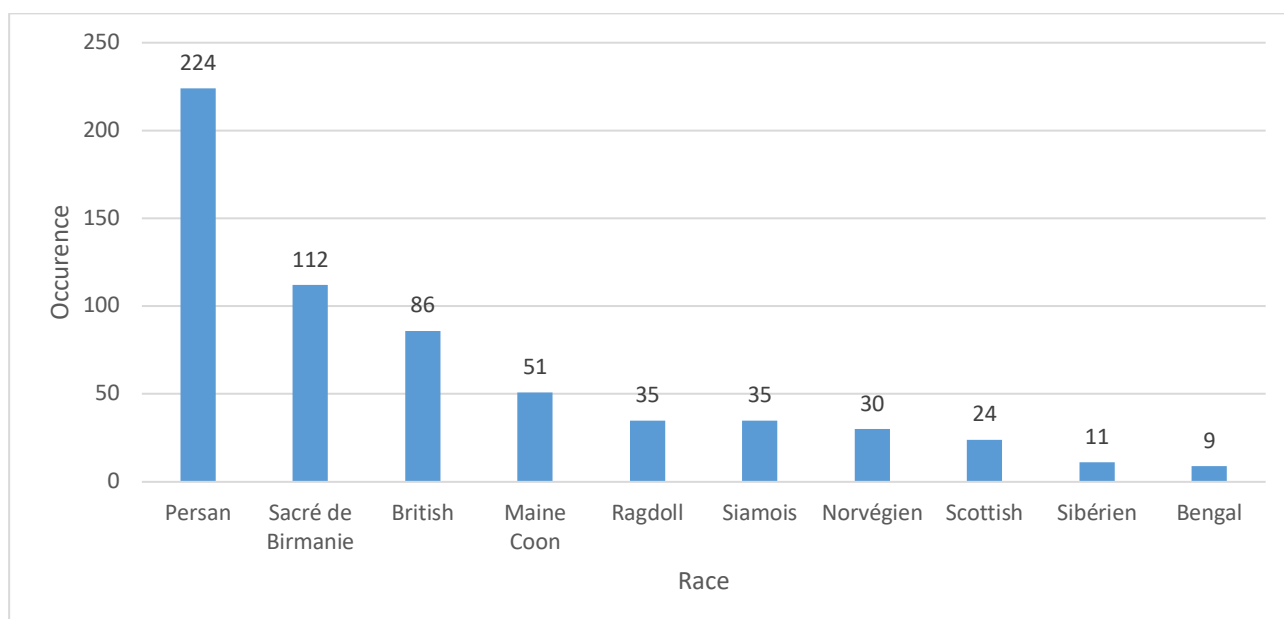


Figure 22 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction de leur race dans notre étude hors européen (seules les races dont l'effectif est supérieur à 9 sont représentées).



3.1.3 Statut sexuel

Dans notre base de données, 4090 dossiers sont exploitables (86,9%), dont 1967 femelles (48,1%) et 2123 mâles (51,9%). Parmi les femelles, 1527 sont stérilisées (77,6% des femelles) et parmi les mâles, 1642 sont castrés (77,3% des mâles). Les chats stérilisés représentent donc 77,6% dans l'étude.

En France en 2022, 51,1% des chats sont des mâles et 82,2% d'entre eux sont castrés, 48,9% sont des femelles et 96,1% d'entre elles sont stérilisées. 89% des chats sont stérilisés. (KANTAR et FACCO, 2023)

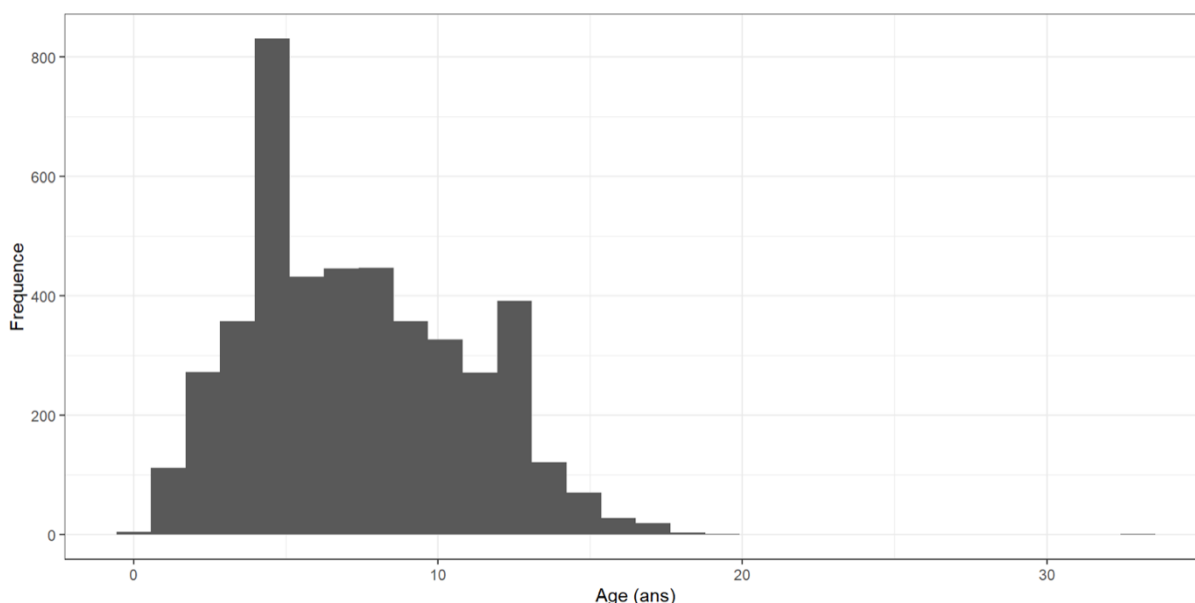
Les chats stérilisés mâles et femelles sont sous-représentés dans notre étude.

3.1.4 Age

Dans notre base de données, 4 499 dossiers sont exploitables pour l'âge soit 97,7%. La moyenne est de 7,3 ans et la médiane est de 7 ans.

En France en 2022, l'âge moyen des chats est de 7 ans. (KANTAR et FACCO, 2023)

Figure 23 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction de leur âge.



3.1.5 Note d'état corporel (NEC)

Dans notre base de données, 3751 dossiers sont exploitables pour la note d'état corporel, soit 79,7%. La NEC moyenne est de 5,64 et la NEC médiane de 6. Trois cent quarante-quatre animaux sont en-dessous de leur poids idéal (9,2%), et 2 008 sont au-dessus (53,5%).

Le surpoids est une pathologie estimée en France entre 14% et 26,8% des chats. (Colliard *et al.*, 2009 ; KANTAR et FACCO, 2023)

Les animaux en surpoids sont donc surreprésentés dans notre étude.

Figure 24 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction de leur note d'état corporel.

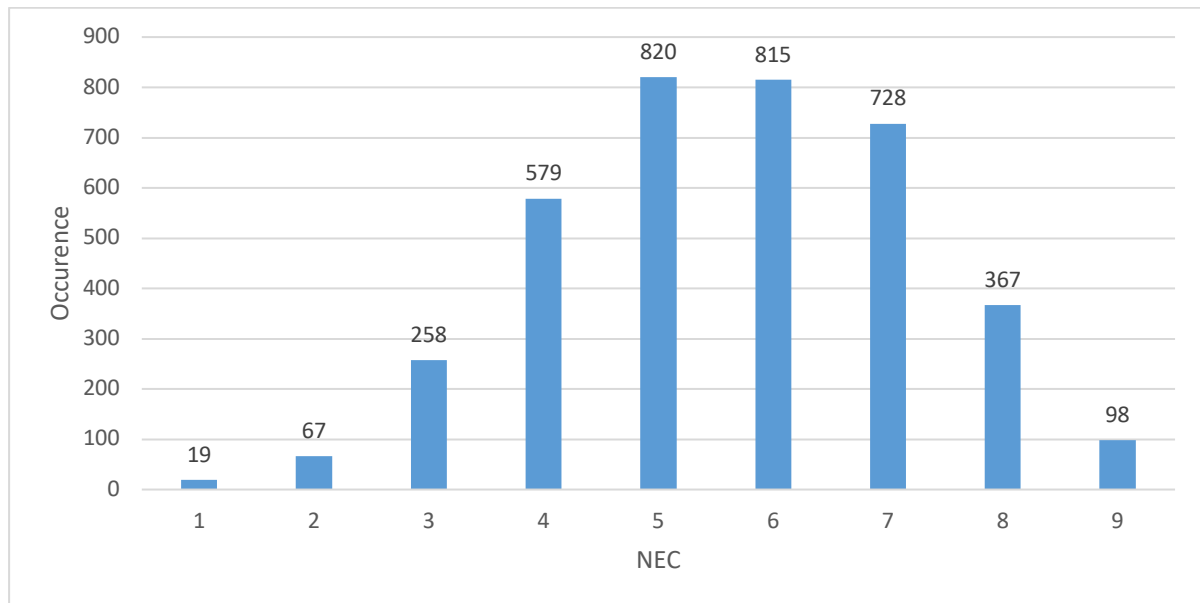
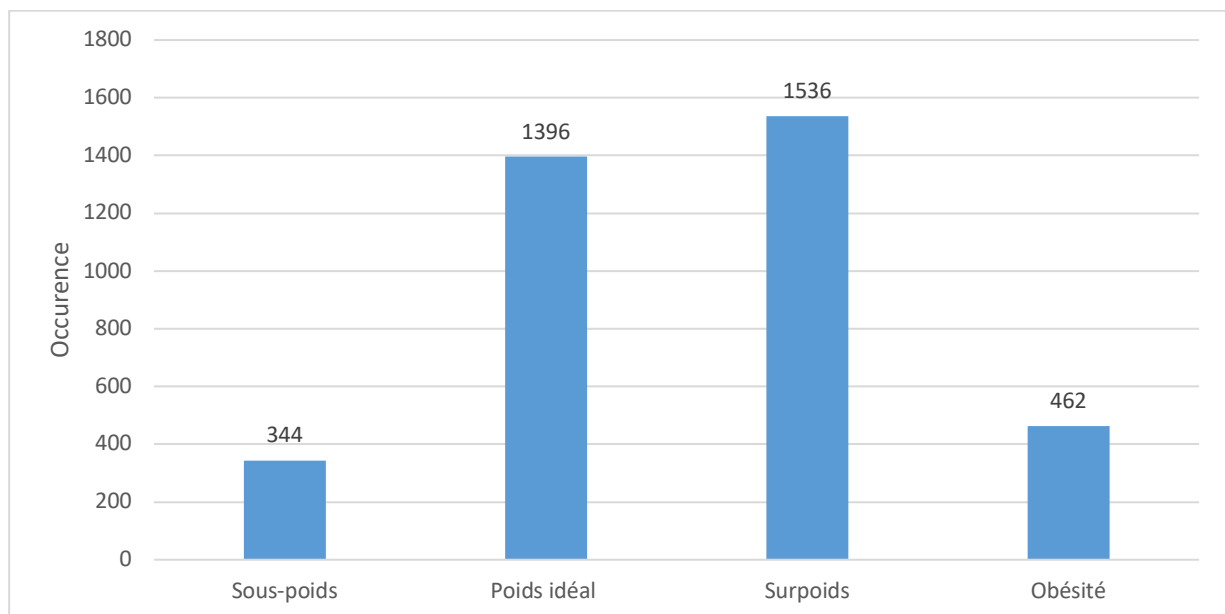


Figure 25 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction de leur statut corporel (basé sur la notation de la figure 18).

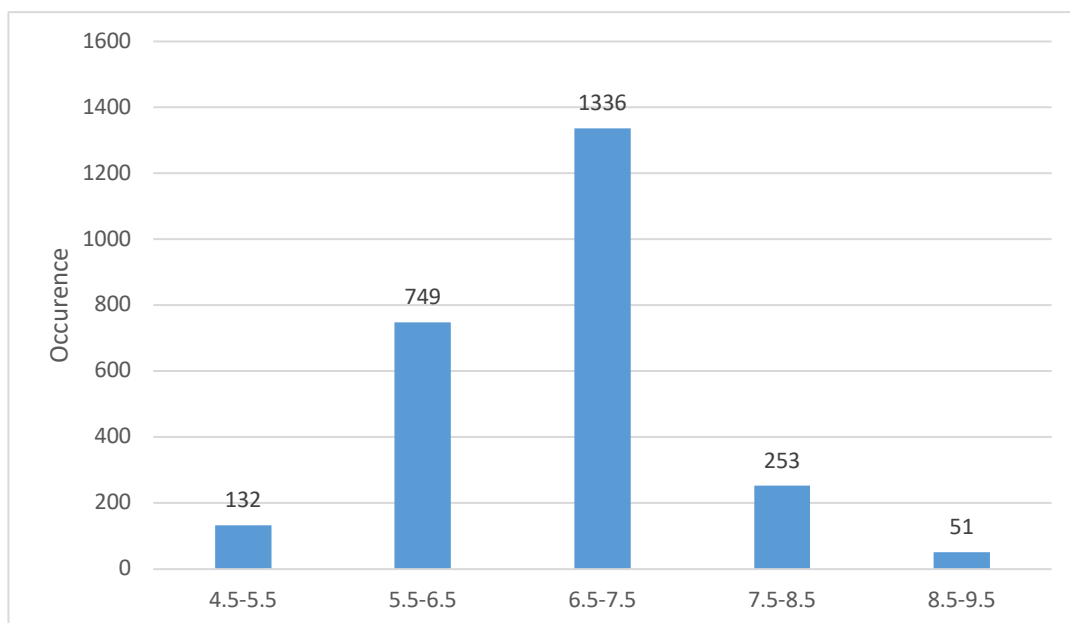


3.2 Paramètres urinaires

3.2.1 pH

Pour le pH, 2521 dossiers sont renseignés soit 53,6%, le pH moyen est de 6,5 et le pH médian est de 7.

Figure 26 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction du pH de leur urine.

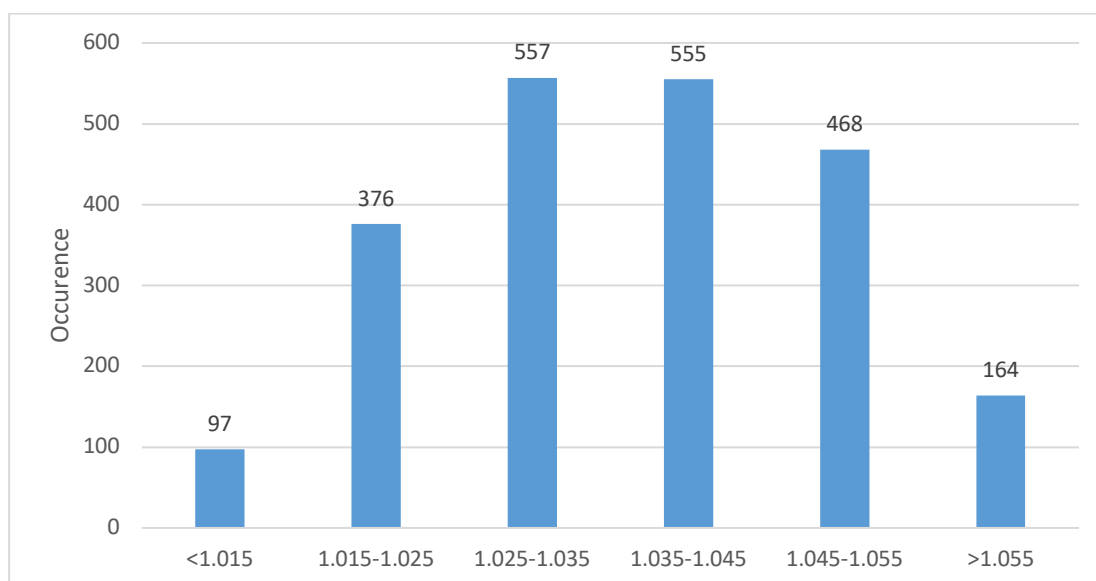


3.2.2 Densité urinaire (DU)

La densité urinaire est renseignée dans 2 217 dossiers (47,1%). Un nettoyage des DU inférieures à 1,000 et supérieures à 1,100 a été réalisé au préalable. La densité urinaire est inférieure à 1,025 dans 473 cas (21,3%), et supérieure à 1,045 dans 632 cas (28,5%).

Les études rapportent des densités urinaires chez les chats présentant des calculs urinaires comprises entre 1,015 et 1,050 avec une médiane à 1,038 (Gerber *et al.*, 2005).

Figure 27 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction de la densité de leurs urines.



3.2.3 Origine des calculs

L'origine des calculs est renseignée dans 4 322 dossiers soit dans 91,8 % des cas. Dans notre étude, 4 164 calculs provenaient du bas appareil urinaire (BAU) soit 96,3%, 128 provenaient du bas et du haut appareil urinaire soit 3%, et 30 provenaient du haut appareil urinaire (HAU) soit 0,7%.

3.3 Caractéristiques des calculs

3.3.1 Nature des calculs

3.3.1.1 Calculs purs

Comme détaillé dans la première partie, les calculs purs sont composés d'un seul minéral à plus de 70%.

Dans cette étude, il y a 4263 calculs purs soit 90,6% des calculs étudiés. Leur nature est reportée dans le tableau 4, et on peut observer que les struvites et oxalates représentent à eux seuls environ 83% des calculs, avec des proportions quasi identiques : respectivement 46 et 47%. Au sein des oxalates de calcium, les proportions de whewellite ou de weddellite sont détaillées, les non classés correspondent aux calculs présentant un mélange de whewellite et weddellite avec moins de 70% de chaque.

On retrouve en troisième position les urates d'ammonium avec 219 calculs soit 5% dans notre étude puis les protéines qui représentent 1% des effectifs. Les phosphates de calcium, xanthines, silices, cystines et carbonates de calcium représentent tous des effectifs inférieurs à 30 cas soit moins de 1%.

Tableau 4 : Répartition des calculs purs en fonction de leur nature.

Nature	Occurrence	Proportion
OxCa	1982	0,47
Whewellite	1586	80% des calculs d'OxCa
Weddellite	203	10,2% des calculs d'OxCa
Non classés	193	9,8% des calculs d'OxCa
Struvite	1939	0,46
Urate d'ammonium	219	0,05
Protéines	31	0,01
Phosphate de calcium	29	<0,01
Xanthine	25	<0,01
Silice	20	<0,01
Cystine	13	<0,01
Carbonate de calcium	5	<0,01

3.3.1.2 Calculs composés

Les calculs composés sont organisés autour d'un noyau identifiable

Dans cette étude, les calculs composés sont au nombre de 33 soit 0,7% de la totalité des calculs. Parmi eux, 16 oxalates de calcium (tous de whewellite), 9 struvites, 3 phosphates de calcium, 2 urates d'ammonium et 3 mixtes (whewellite, phosphate de calcium, urate d'ammonium et struvite en quantités différentes).

3.3.1.3 Corps étrangers

Un seul cas de calcul sur corps étranger a été retrouvé dans cette étude, il s'agissait d'un calcul d'urate d'ammonium sur un fil de suture.

3.3.1.4 Calculs mixtes

Il y a 408 calculs mixtes dans notre étude soit 8,7% des calculs analysés. La nature du calcul n'est exploitable que pour 107 d'entre eux.

Les calculs dont la section principale est de la struvite sont au nombre de 42 et parmi eux 15 (36%) ont comme deuxième section du phosphate de calcium et 5 (12%) ont comme deuxième section de l'oxalate de calcium.

Les calculs dont la section principale est de l'oxalate de calcium sont au nombre de 19 et parmi eux 8 (42%) ont comme deuxième section du phosphate de calcium et 4 (21%) ont comme deuxième section de la struvite.

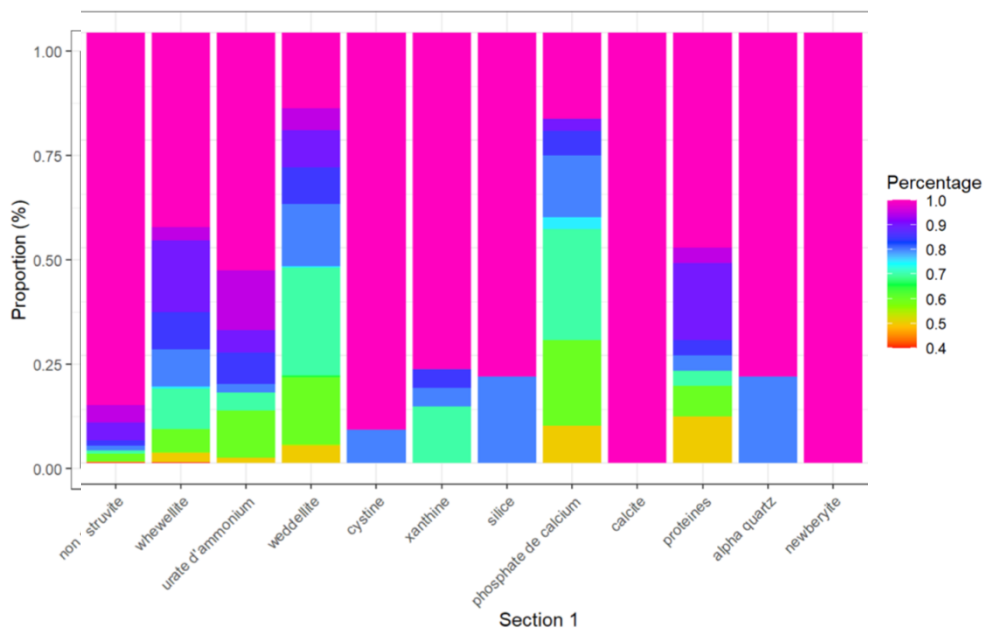
Les calculs dont la section principale est de l'urate d'ammonium sont au nombre de 28 et parmi eux 15 (53%) ont comme deuxième section de l'oxalate de calcium et 13 (46%) ont comme deuxième section de la struvite.

On remarque que la carbapatite est, du moins pour les struvites et oxalates, souvent présente comme deuxième voire troisième section.

3.3.2 Occurrence et pourcentages moyens des minéraux

Les différents minéraux peuvent être présents dans les calculs en de nombreuses proportions, en effet comme nous l'avons vu dans la partie bibliographique, les calculs considérés comme purs sont ceux contenant *a minima* 70% d'un minéral. Nous pouvons observer ici les différentes proportions de chaque minéral dans les différents calculs selon qu'ils soient le minéral principal, le deuxième, ou même le troisième.

Figure 28 : Représentation graphique de la proportion de chaque minéral lorsqu'il est le minéral principal du calcul.



On remarque que pour la struvite et la cystine, lorsqu'il s'agit du minéral principal d'un calcul, alors ils représentent plus de 80% de ce dernier. Ce n'est pas le cas pour les oxalates de calcium qui représentent généralement moins de 80% du calcul.

Certains minéraux représentent exclusivement 100% des calculs lorsqu'ils sont le minéral principal comme la calcite (carbonate de calcium).

Figure 29: Représentation graphique du nombre d'occurrence de chaque minéral lorsqu'il est le deuxième minéral d'un calcul.

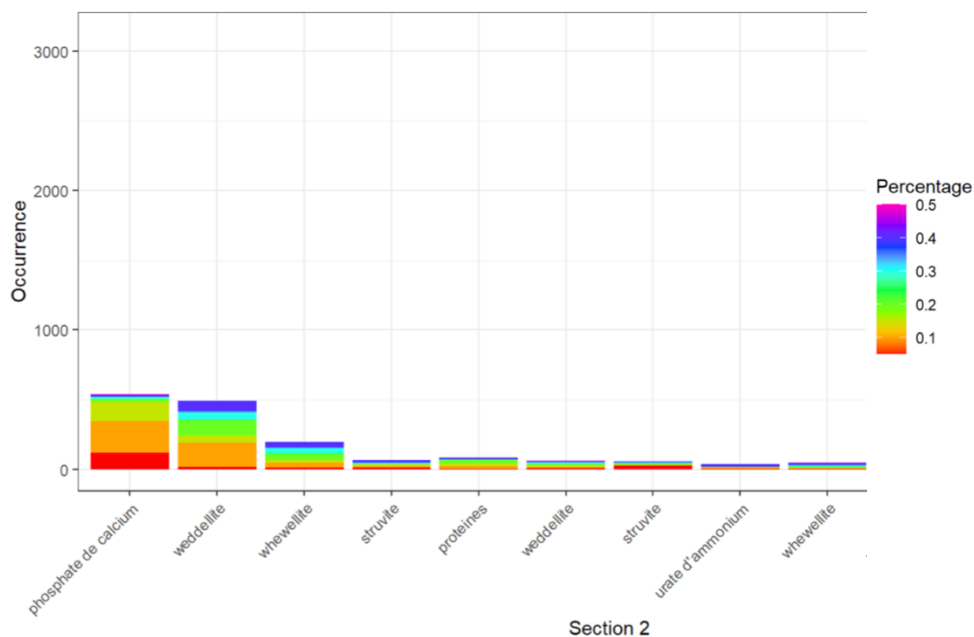
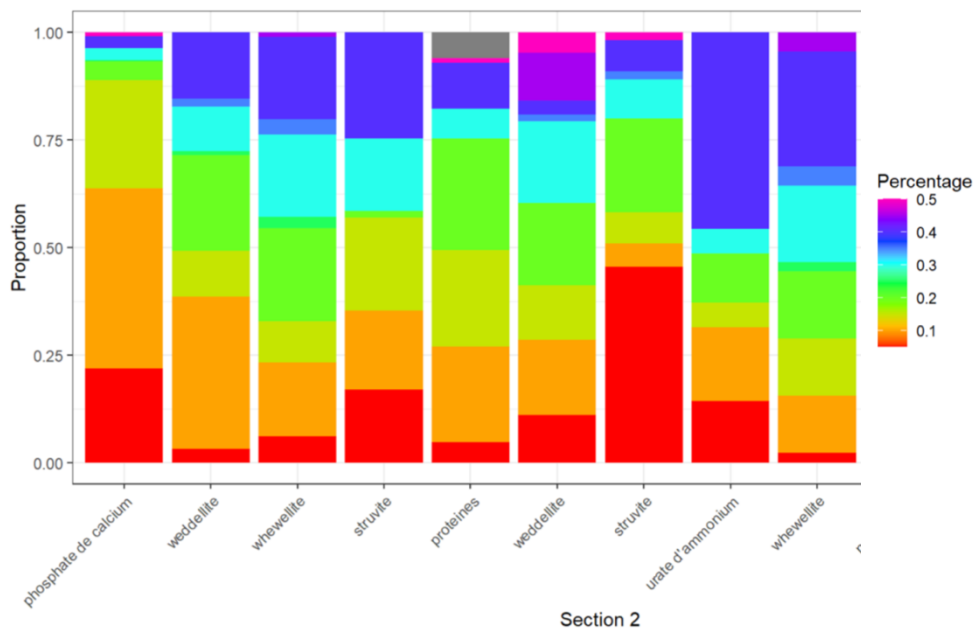


Figure 30 : Représentation graphique de la proportion de chaque minéral lorsqu'il est le deuxième minéral du calcul.



Pour ce qui est de la seconde section, le phosphate de calcium est le type minéral qui revient le plus souvent, avec en général des proportions entre 5% et 30%, suivi par les oxalates de calcium.

Dans notre base de données, il y a 31 calculs purs provenant exclusivement du HAU, dont 24 dont la nature renseignée.

Au sein de ces derniers, 19 sont des calculs d'oxalate de calcium (79%). Ils sont 11 sont composés de whewellite à 100%, soit 58% des oxalates du HAU.

Sept sont composés de whewellite en première section et de carbapatite en seconde section (entre 5 et 30% du calcul), soit 37% des oxalates du HAU.

Le dernier est composé de whewellite en première section et de protéines en seconde section, soit 5% des oxalates du HAU.

3.3.3 Morphologie des calculs

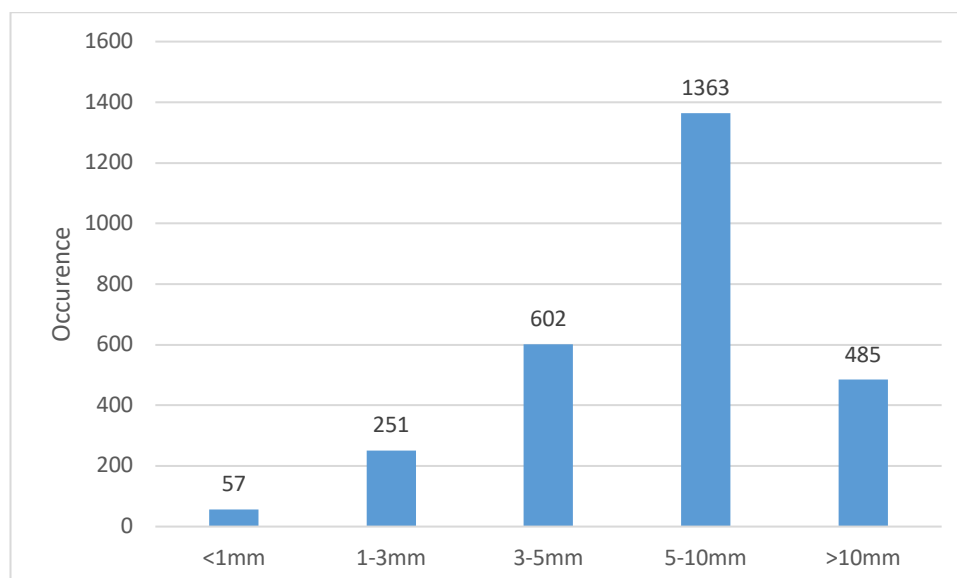
3.3.3.1 Nombre de calculs

Dans notre base de données, 4 418 dossiers renseignent le nombre de calculs soit 93,9%. Dans certains dossiers, il était précisé que le nombre de calculs n'était pas mesurable car il étaient sous forme de sable. Au sein des dossiers exploitables, 3 239 présentent un nombre inférieur à 5 (73,3%) et 1 179 un nombre supérieur à 5 (26,7%).

3.3.3.2 Taille

Pour la taille des calculs, 2 758 dossiers sont exploitables, soit 58,6%. Au sein de ces dossiers exploitables, 910 calculs font moins de 5mm (33%), 1 363 font entre 5 et 10mm (49,4%), et 418 font plus de 10mm (17,6%).

Figure 31 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction de la taille du calcul extrait.

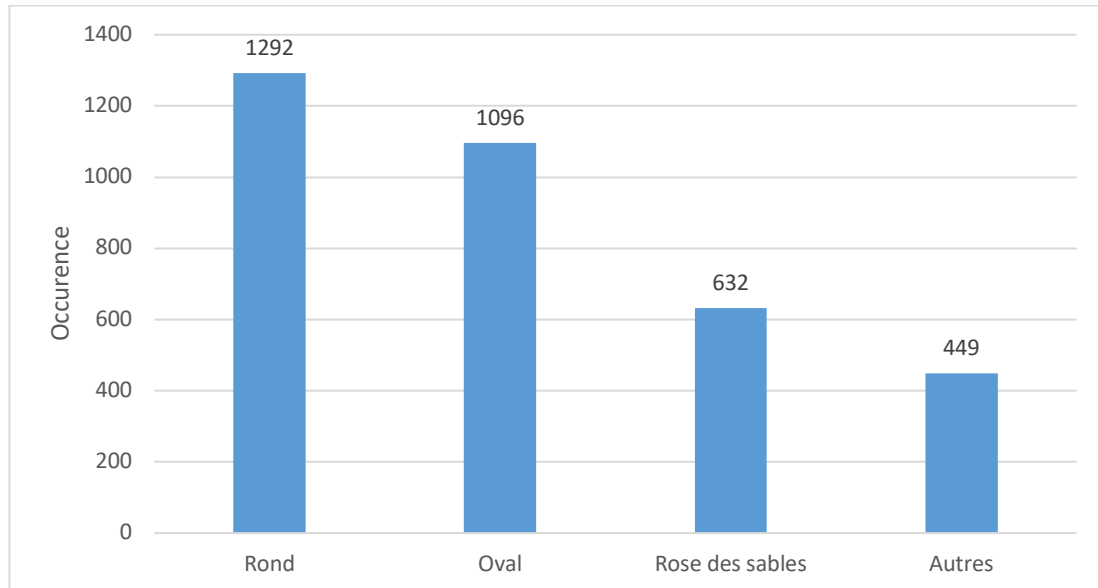


3.3.3.3 Forme et consistance

La forme des calculs est renseignée dans 3 469 dossiers soit 73,7%. Leur forme peut être ronde, ovale, en rose des sables, plate ou pyramidale. Les formes plates et pyramidale sont peu représentées avec 449 occurrences (12,9%) et sont donc réunies sous le terme « autres » sur le

graphique ci-dessous. 1 292 calculs étaient ronds (37,2%), 1 096 étaient ovales (31,6%) et 632 avaient une forme de rose des sables (18,2%).

Figure 32 : Représentation graphique du nombre de chat en fonction de la forme du calcul extrait.

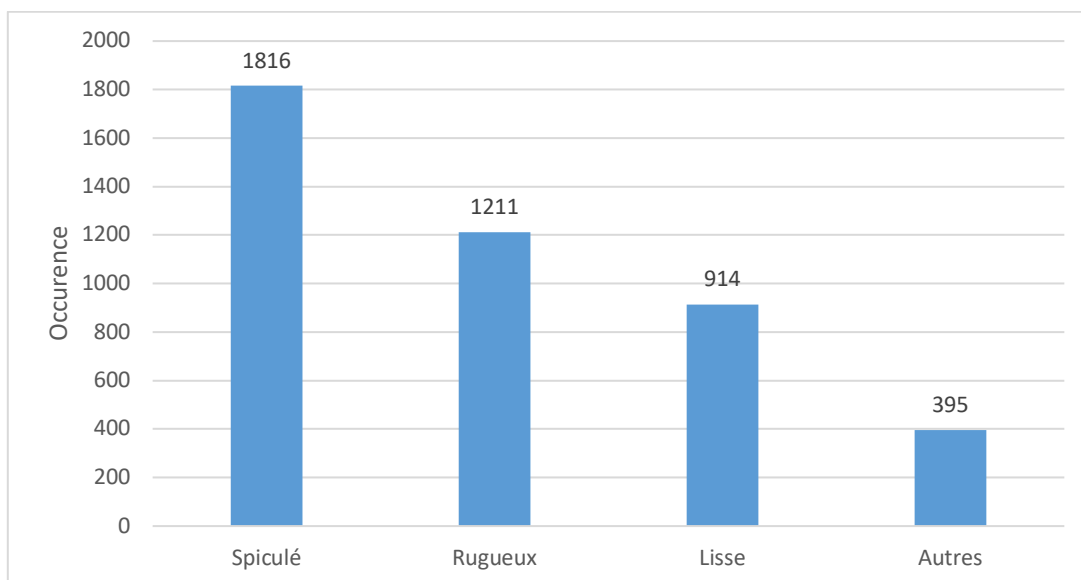


La consistance était renseignée dans 4 206 dossiers soit 89,4%. La consistance est séparée en deux catégories : le calcul est soit dur soit friable. Les calculs étaient durs dans 3 506 dossiers (83,4%) et étaient friables dans 800 dossiers (19%).

3.3.3.4 Aspect et couleur de la surface

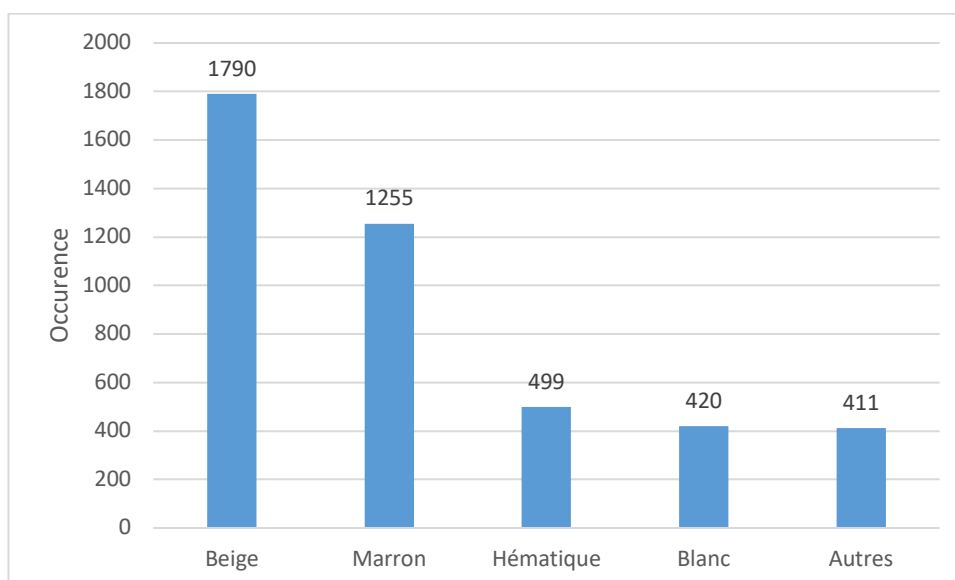
L'aspect de la surface du calcul est renseigné dans 4 336 dossiers, soit 92,2%. Les différents aspects rapportés étaient les suivants : spiculé, rugueux, lisse, mamelonné, poreux, vernissé ou craquelé. Les quatre derniers étant peu représentés avec 395 dossiers en tout (9,1%), nous les avons réunis sous le terme « autres » sur le graphique ci-dessous. Les calculs étaient spiculés pour 1 816 d'entre eux (41,9%), rugueux pour 1 211 (27,9%) et lisses pour 914 (21,1%).

Figure 33 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction de l'aspect de la surface du calcul extrait.



La couleur de la surface était renseignée dans 4 375 dossiers soit 93%. Un grand nombre de couleurs ont été rapportées ; les plus renseignées étant beige, marron, hématique et blanc, les autres ont été réunis sous le terme « autres » sur le graphique ci-dessous avec 411 calculs (9,4%). 1 790 calculs étaient beiges (40,9%), 1 255 étaient marrons (28,7%), 499 étaient hématiques (11,4%) et 420 étaient blancs (9,6%).

Figure 34 : Représentation graphique du nombre de chats en fonction de la couleur du calcul extrait.

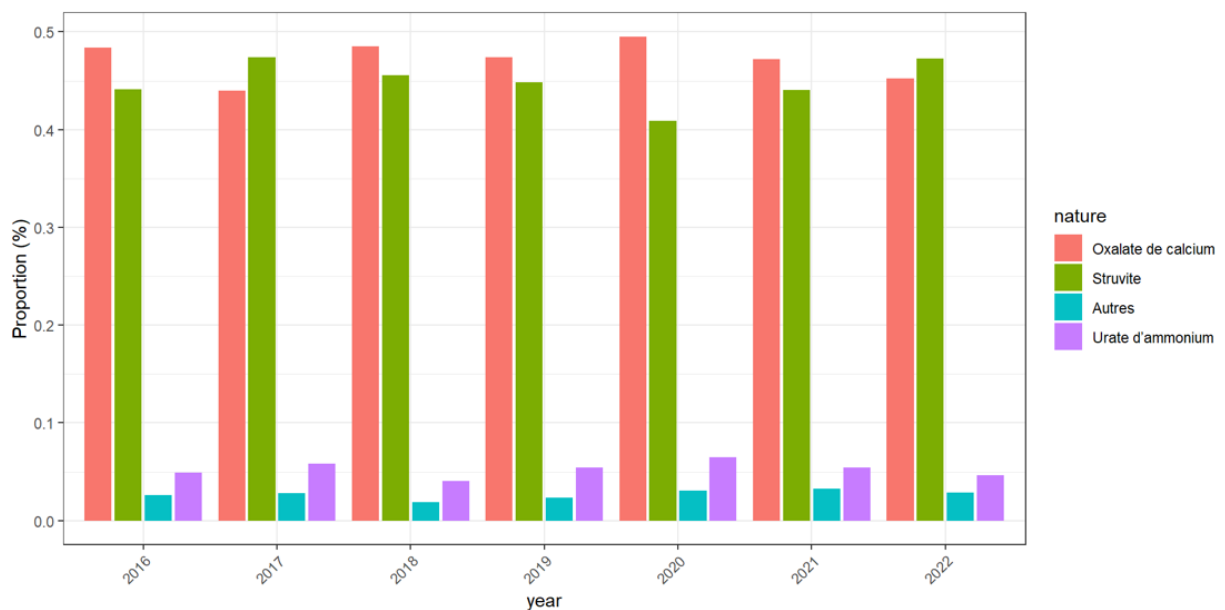


3.4 Calculs purs : évolution, étude des variations de leur nature minérale en fonction de leur morphologie, de l'animal et de ses paramètres urinaires.

3.4.1 Etude de l'évolution des natures minérales sur la période d'étude

Les calculs ayant été soumis à analyse sur la période de 2016 à 2021, les proportions de calculs reçus chaque année sont détaillées ci-dessous (Figure 42). Aucune tendance ne peut vraiment être distinguée sur une période de 5 ans.

Figure 35 : Représentation graphique de la distribution des analyses demandées par année en fonction de la nature du calcul.



3.4.2 Relation entre nature du calcul pur et animal

3.4.2.1 Nature et race

Seules les races avec un effectif supérieur à 9 sont représentées.

Figure 36 : Représentation graphique de la distribution des races des chats en fonction de la nature de leur calcul.

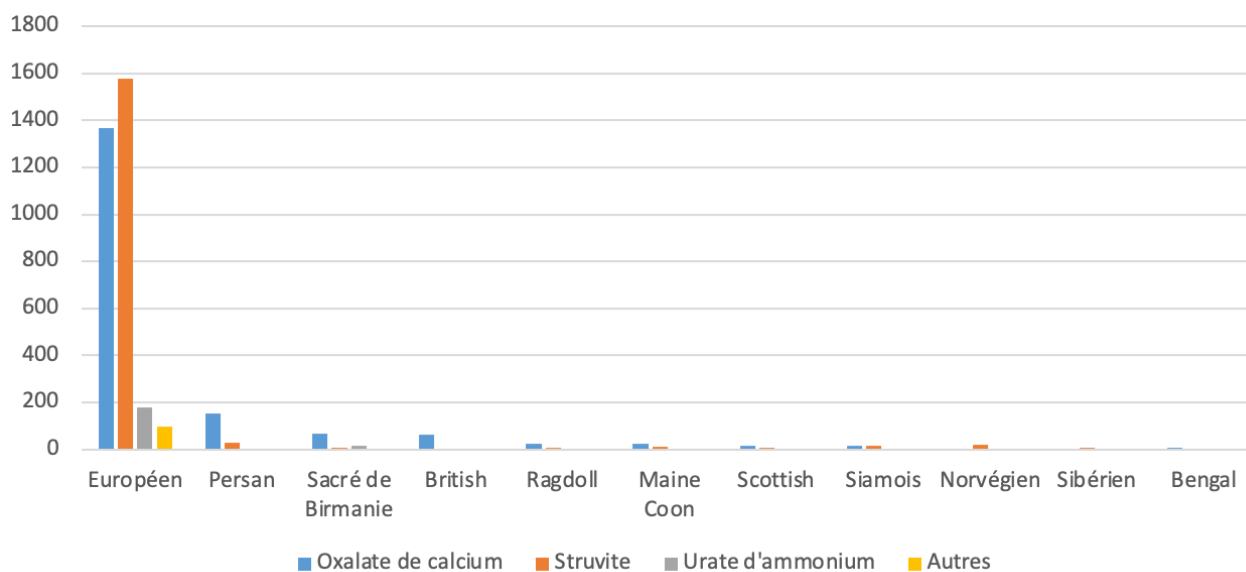


Figure 37 : Représentation graphique de la distribution des races des chats en fonction de la nature de leur calcul (hors européen)

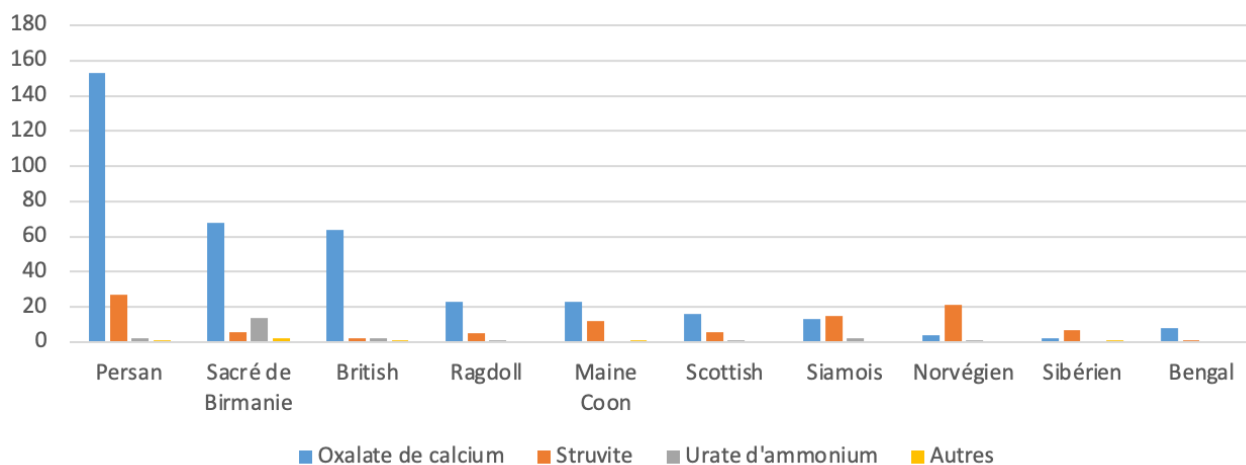


Tableau 5 : Comparaison des différentes proportions de calculs purs en fonction de la race des chats.

	Européen	Persan	Sacré de Birmanie	British	Maine Coon	Siamois	Ragdoll	Norvégien	Scottish	Sibérien
Oxalate de calcium	1369 (42,5%)	153 (83,6%)	68 (75,5%)	64 (92,7%)	23 (63,9%)	13 (43,3%)	23 (79,3%)	4 (15,4%)	16 (69,6%)	2 (20%)
Struvite	1577 (49%)	27 (14,8%)	6 (6,7%)	2 (2,9%)	12 (33,3%)	15 (50%)	5 (17,2%)	21 (80,8%)	6 (26,1%)	7 (70%)
Urate d'ammonium	177 (5,5%)	2 (1,1%)	14 (15,6%)	2 (2,9%)	0	2 (6,7%)	1 (3,5%)	1 (3,8%)	1 (4,3%)	0
Autres	95 (3%)	1 (0,5%)	2 (2,2%)	1 (1,5%)	1 (2,8%)	0	0	0	0	1 (10%)

Chez les chats européens, les calculs de struvite sont discrètement plus nombreux que les calculs d'oxalate de calcium avec 49 contre 42,5% des calculs, mais cette différence reste significative. ($p = 0,0014$)

On observe plusieurs tendances chez les différents chats de race.

Les Persans, Sacré de Birmanie, British, Ragdoll, Scottish et Bengal ont significativement plus de chance de développer des oxalates de calcium que d'autres types de calcul ($p < 0,002$).

On peut également remarquer que chez le Sacré de Birmanie, les urates d'ammonium sont plus nombreux que chez les autres races.

D'un autre côté, les Norvégiens ont significativement plus de chance de développer des struvites que d'autres types de calcul ($p < 0,001$). Pour ses Sibériens, la tendance semble être la même mais n'est pas significative.

Pour le Siamois et le Maine Coon, le résultat se rapproche de celui de l'européen mais la différence entre oxalates et struvites n'est pas significative.

3.4.2.2 Nature et poids

Les chats sujets aux calculs d'oxalate de calcium ont un poids moyen significativement plus faible que les chats sujets aux calculs de struvite ($p < 0,0001$) et aux calculs d'urate d'ammonium ($p = 0,02$). (Figure 41 et 42)

La différence de poids moyen des chats sujets aux autres types de calcul deux à deux n'est en revanche pas significative.

Figure 38 : Représentation graphique du poids moyen des chats et son intervalle de confiance à 95 % en fonction de la nature de leur calcul.

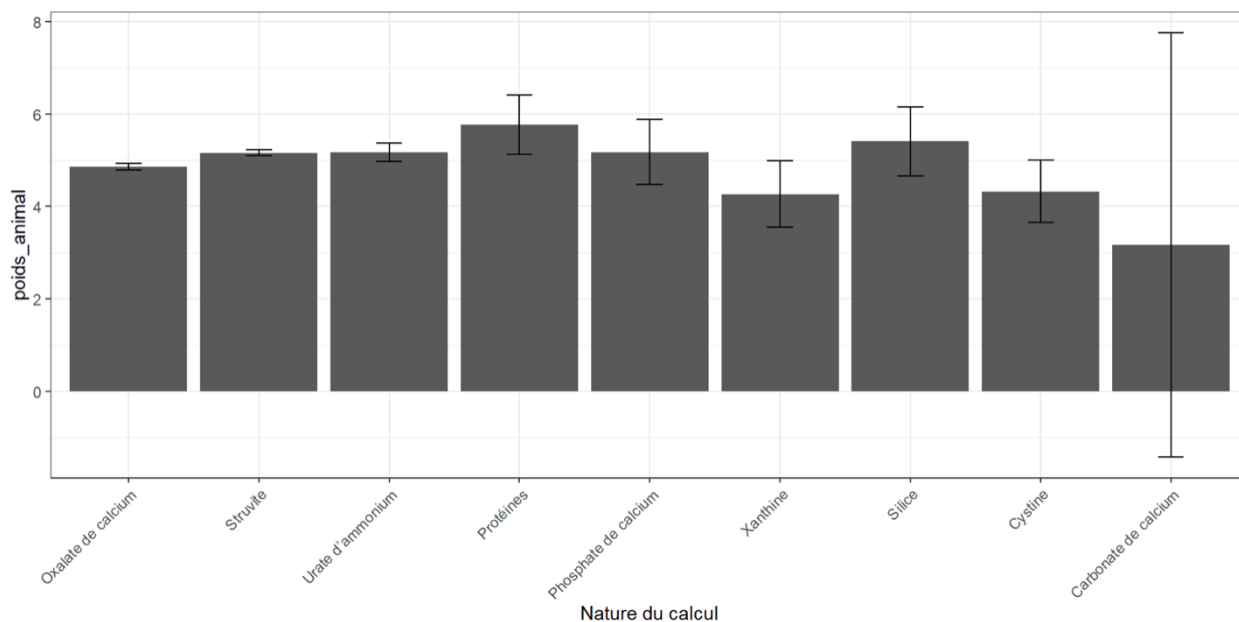
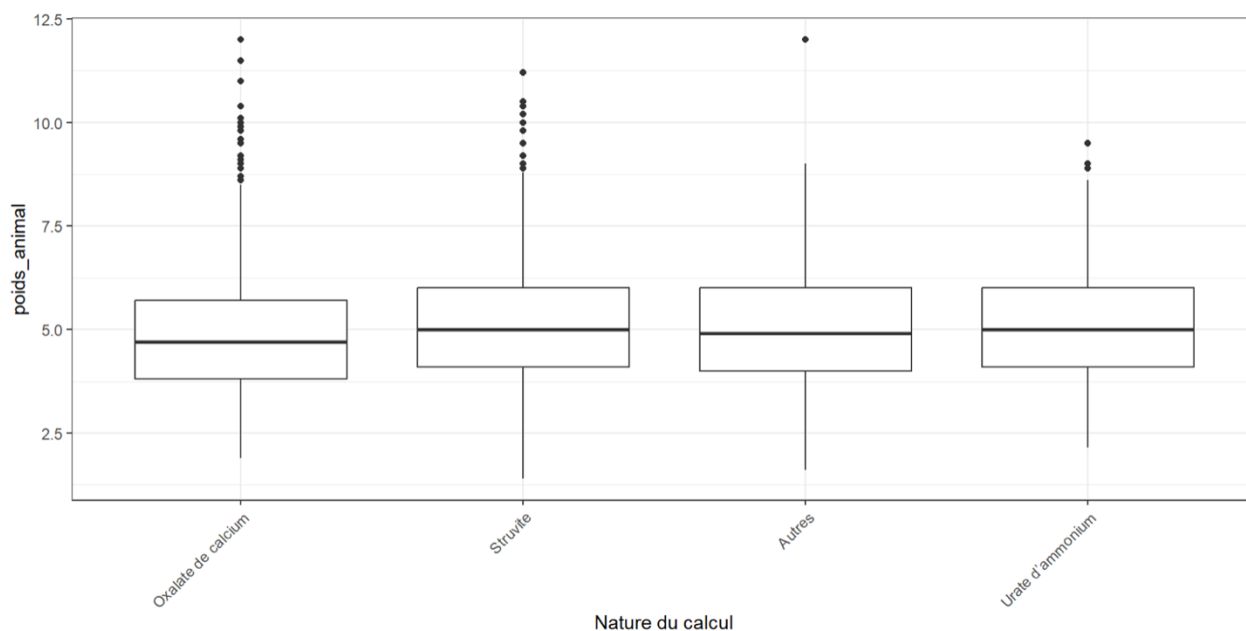


Figure 39 : Représentation graphique de la distribution du poids des chats en fonction de la nature de leur calcul.



3.4.2.3 Nature et statut sexuel

La répartition des chats mâles et femelles diffère selon la nature minérale des calculs retrouvés (figure 40).

Lorsqu'on compare pour chaque nature de calcul les différences entre les chats mâles et femelles, on retrouve une différence significative pour les calculs d'oxalate de calcium et de

struvite (avec respectivement des p-values de 0,0001 et <0,0001) : les mâles sont surreprésentés parmi les calculs d'oxalate de calcium et les femelles sont surreprésentées parmi les calculs de struvite.

Figure 40 : Représentation graphique du nombre de calculs purs en fonction du sexe des chats.

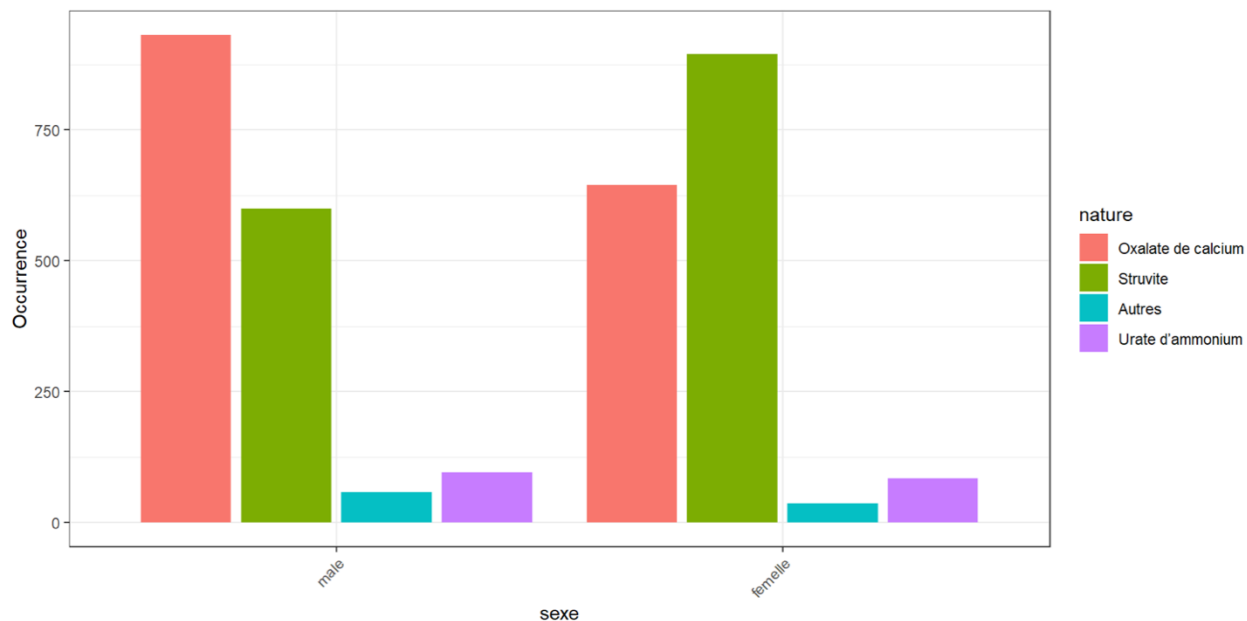


Tableau 6 : Comparaison des différentes proportions des calculs purs en fonction du sexe des chats.

	Oxalate de calcium	Struvite	Urate d'ammonium	Autres
Mâle	931 (55,3)	600 (35,6)	96 (5,7)	58 (3,4)
Femelle	645 (38,8)	895 (53,9)	84 (5,1)	37 (2,2)
Odds ratio	0,16	0,18	0,006	0,01

Il n'y a pas de différence significative entre les chats mâles entiers et les chats mâles castrés pour les différentes natures de calculs (oxalates de calcium, struvites, urates d'ammonium et autres). Il en est de même chez les femelles.

Figure 41 : Représentation graphique de la répartition des différents statuts sexuels des chats en fonction de la nature des calculs purs.

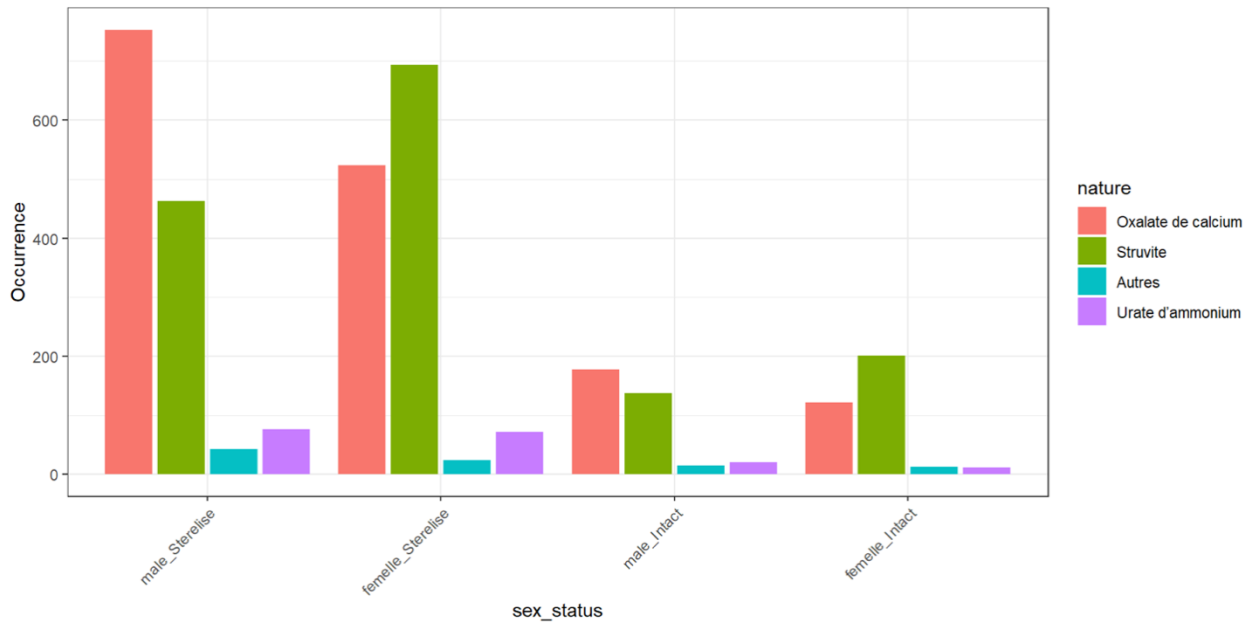


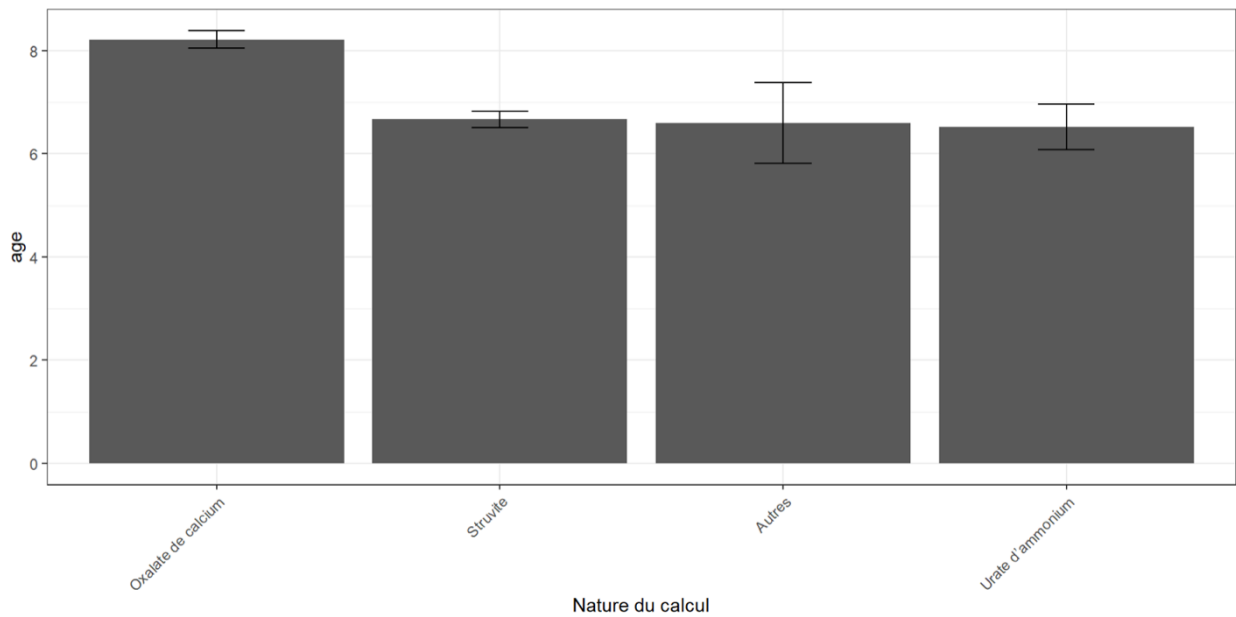
Tableau 7 : Comparaison des différentes proportions des calculs purs en fonction du statut sexuel des chats.

	Oxalate de calcium	Struvite	Urate d'ammonium	Autres
Mâle entier	178 (50,9)	137 (39,1)	20 (5,7)	15 (4,3)
Mâle castré	753 (56,4)	463 (34,7)	76 (5,7)	43 (3,2)
Femelle entière	122 (35,1)	201 (57,8)	12 (3,5)	13 (3,6)
Femelle stérilisée	523 (39,8)	694 (52,9)	72 (5,5)	24 (1,8)

3.4.2.4 Nature et âge

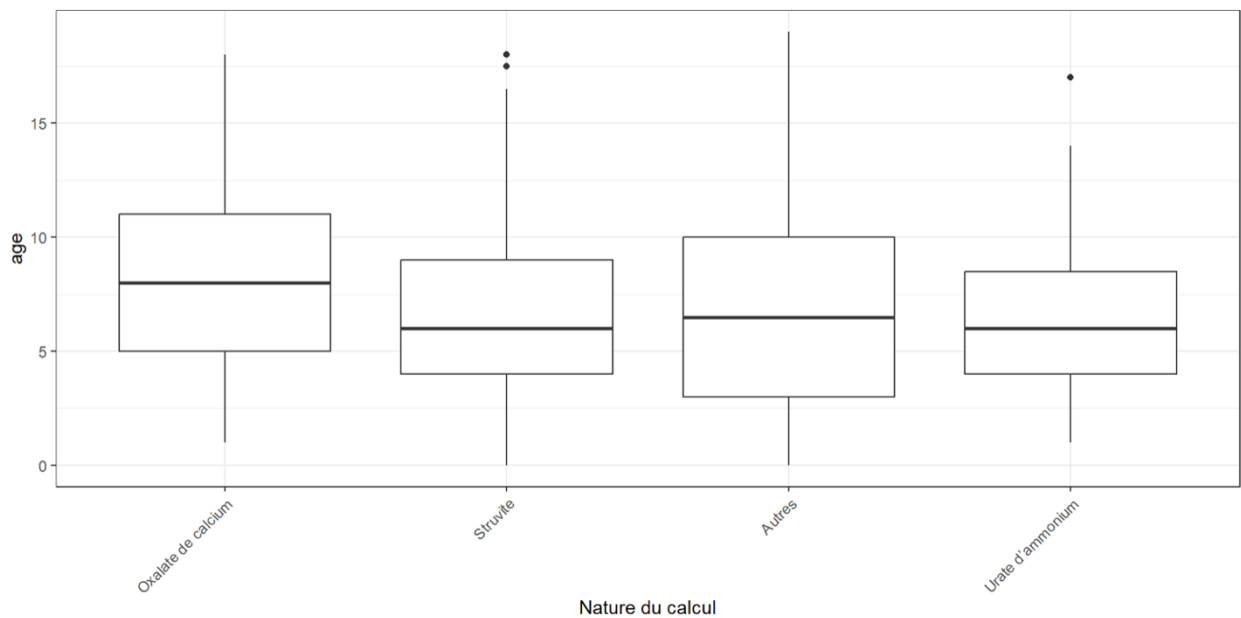
Les chats présentant des calculs d'oxalate de calcium sont significativement plus vieux que les chats présentant d'autres types de calculs ($p < 0,0001$ pour les struvites, urates d'ammonium et autres). En effet, leur âge moyen est de 8,2 ans contre 6,6 ans pour les struvites.

Figure 42 : Représentation graphique de la moyenne d'âge des chats et de son intervalle de confiance à 95 % en fonction de la nature des calculs purs.



Malgré cela, la distribution de l'âge reste tout de même proche pour les différents types de calculs.

Figure 43 : Représentation graphique de la distribution des âges des chats en fonction de la nature des calculs.

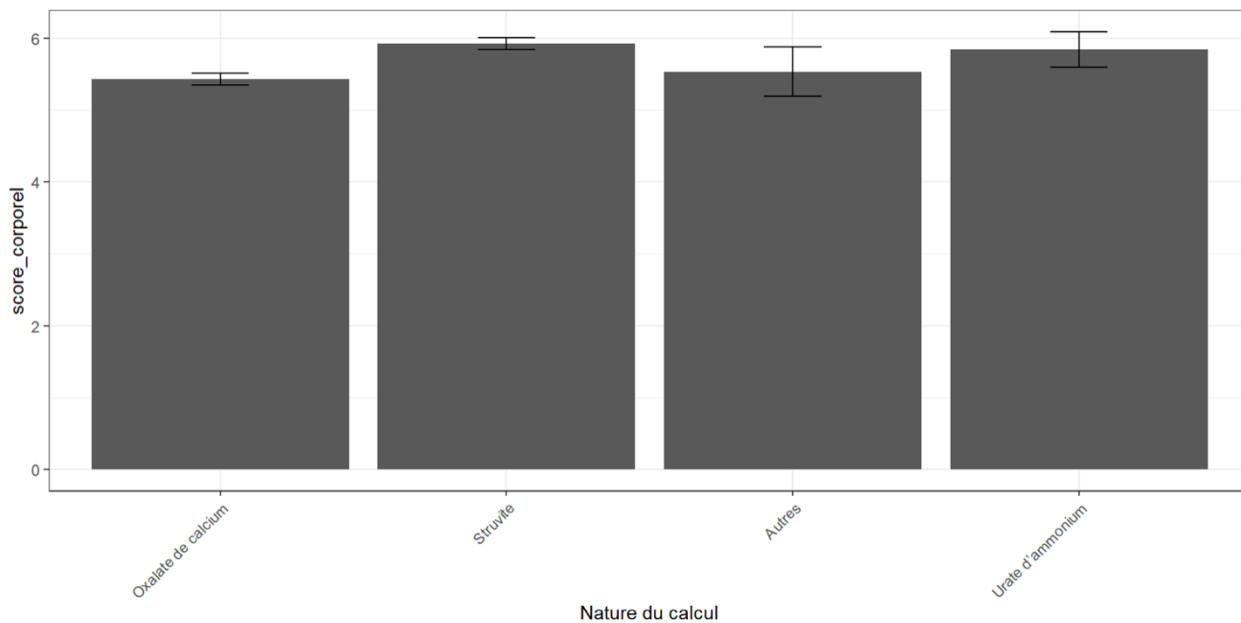


3.4.2.5 Nature et NEC

Les moyennes des NEC sont significativement différentes ($p < 0,01$) entre les oxalates de calcium et les struvites, en effet les chats présentant des oxalates de calcium ont une NEC moyenne de

5,4 et ceux présentant des struvites ont une NEC moyenne de 5,9. En revanche, cette différence ne se traduit pas cliniquement puisque les NEC des animaux s'évaluent par palier de 1 unité.

Figure 44 : Représentation graphique de la NEC moyenne des chats en fonction de la nature des calculs purs.



En utilisant la grille d'évaluation de la NEC (figure 25), on peut regrouper les NEC pour aboutir à une classification avec des animaux en sous-poids, des animaux à leur poids idéal et des animaux en surpoids ou obèses.

Figure 45 : Représentation graphique du statut corporel des chats en fonction de la nature des calculs purs.

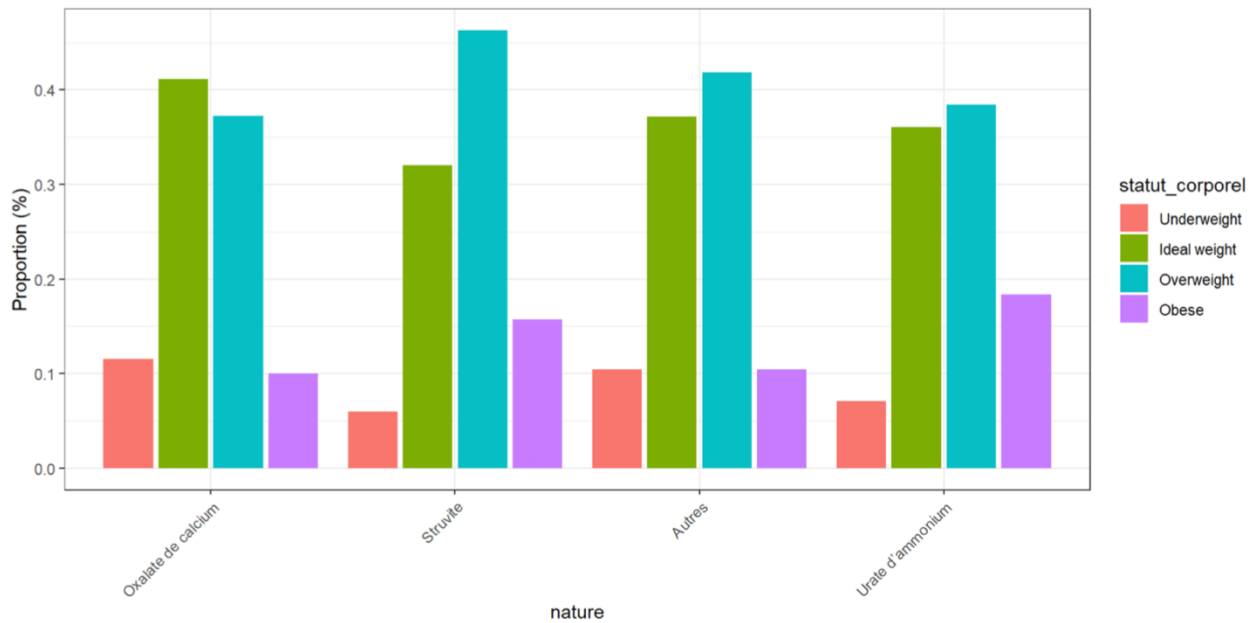


Tableau 8 : Comparaison des différentes proportions des calculs purs en fonction du score corporel des chats.

	Oxalate de Calcium	Struvite	Urate d'ammonium	Autres
Sous-poids	168 (61,3%)	85 (31%)	12 (4,3%)	9 (3,4%)
Poids idéal	597 (52,1%)	456 (39,8%)	61 (5,3%)	32 (2,8%)
Surpoids	540 (41,5%)	659 (50,7%)	65 (5%)	36 (2,8%)
Obésité	145 (35,4%)	224 (54,8%)	31 (7,6%)	9 (2,2%)

On observe ici que les chats présentant des calculs urinaires en surpoids ou obèses sont surreprésentés et qu'entre 50 et 54% d'entre eux présentent des calculs de struvite particulièrement. Lorsque comparée avec les animaux de poids idéal, cette différence est significative ($p=0,0007$). A l'inverse, 61% des chats en sous-poids de notre étude présentent des calculs d'oxalate de calcium, cette différence est significative lorsque comparée aux animaux en surpoids ($p=0,0003$) et obèses ($p=0,0001$).

3.4.3 Relation entre nature du calcul pur et paramètres urinaires

3.4.3.1 Nature et pH

Pour rappel, on considère les urines acides celles de pH inférieur à 6,5 et les urines basiques celles de pH supérieur à 7,5. Entre ces deux valeurs, on considère les urines comme neutres.

Les urines des chats présentant des calculs d'oxalate de calcium sont significativement plus souvent acides que celui des chats présentant des calculs autres ($p=0,0002$ pour les struvites et $p<0,0001$ pour les autres). Les urines de chats présentant des calculs de struvite sont significativement plus souvent acides que celles des chats présentant des calculs d'urate d'ammonium ($p<0,0001$).

Les urines des chats présentant des calculs d'oxalate de calcium ne sont pas significativement plus souvent neutres que celles des chats présentant des struvites ($p=0,7753$).

Enfin, les urines des chats présentant des calculs de struvite sont significativement plus souvent basiques que les urines des chats présentant des calculs d'oxalate de calcium ($p=0,0135$). En revanche, les urines des chats présentant des oxalates de calcium sont significativement plus souvent basiques que les urines des chats présentant des urates d'ammonium ($p<0,0001$).

Figure 46 : Représentation graphique du nombre de cas en fonction du pH des urines et de la nature des calculs.

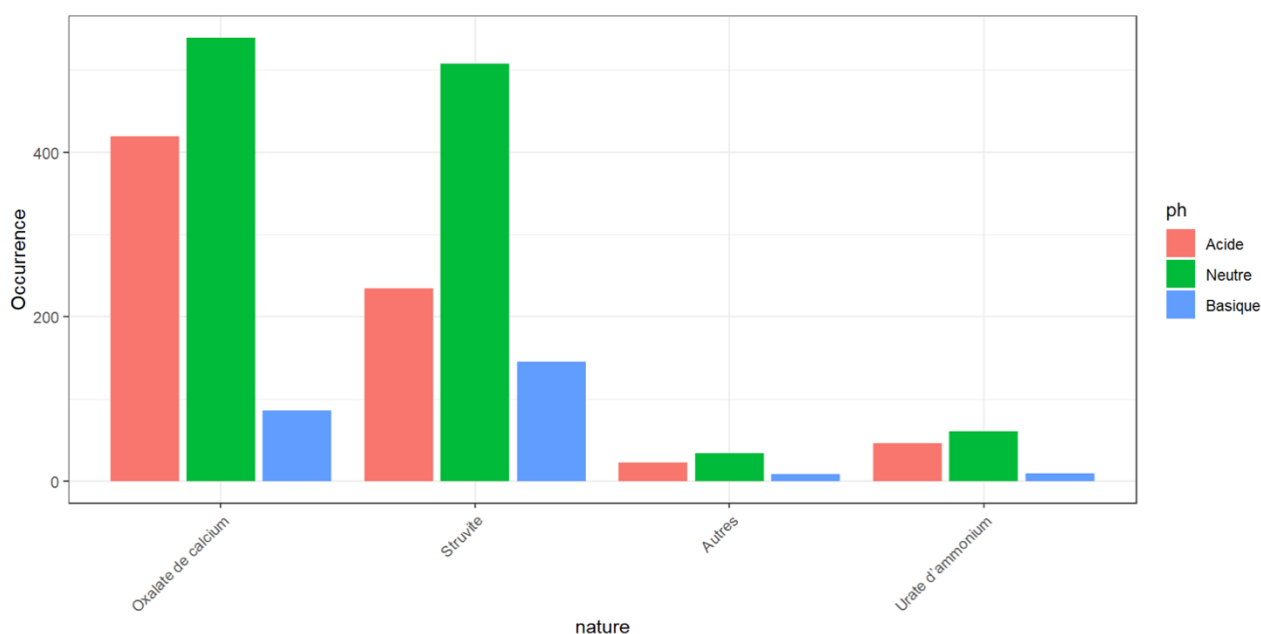


Tableau 9 : Comparaison des différentes proportions des calculs purs en fonction du pH des urines des chats.

	Oxalates de calcium	Struvites	Urates d'ammonium	Autres
Acide	419 (58%)	234 (32,4%)	46 (6,4%)	23 (3,2%)
Neutre	539 (47,2%)	508 (44,5%)	61 (5,3%)	34 (3%)
Basique	86 (34,4%)	145 (58%)	10 (4%)	9 (3,6%)

3.4.3.2 Nature et DU

Lorsque la densité urinaire des chats est inférieure à 1,025, les calculs formés sont significativement plus souvent des calculs d'oxalates que des struvites ou des urates d'ammonium (respectivement $p=0,0009$ et $p<0,0001$).

Lorsque la densité urinaire des chats est comprise entre 1,025 et 1,045, les calculs formés ne sont pas significativement plus souvent des calculs d'oxalates que de struvites. En revanche, ce sont significativement plus souvent des calculs d'oxalates de calcium ou de struvites que d'urates d'ammonium ($p<0,0001$ dans les deux cas).

Lorsque la densité urinaire des chats est supérieure à 1,045, les calculs formés ne sont pas non plus significativement plus souvent des calculs d'oxalates que de struvites. Ce sont significativement plus souvent des calculs d'oxalates de calcium ou de struvites que d'urates d'ammonium ($p<0,0001$ dans les deux cas).

Figure 47 : Représentation graphique du nombre de cas en fonction de la densité urinaire et de la nature du calcul.

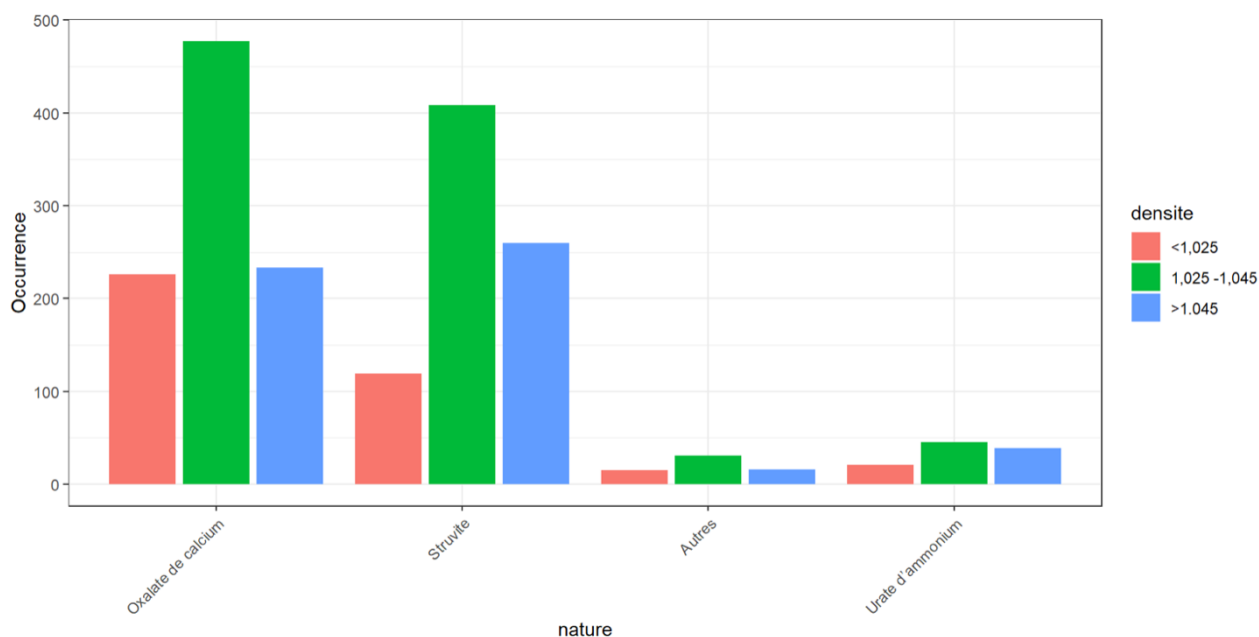


Tableau 10 : Nature des calculs en fonction de la densité urinaire.

	Oxalates de calcium	Struvites	Urates d'ammonium	Autres
<1,025	226 (59,3%)	119 (31,2%)	21 (5,5%)	15 (4%)
1,025-1,045	477 (49,6%)	408 (42,5%)	45 (4,7%)	31 (3,2%)
>1,045	233 (42,5%)	260 (47,5)	39 (7,1%)	16 (2,9%)

3.4.4 Relation entre nature du calcul pur et morphologie macroscopique

3.4.4.1 Nature et origine

L'origine des calculs est significativement différente en fonction de leur nature (p toujours <0,0001).

Les calculs provenant du haut appareil urinaire sont plus souvent des oxalates de calcium, et c'est également le cas lorsque ces derniers proviennent du bas et du haut appareil urinaire.

Les calculs provenant du bas appareil urinaire sont significativement plus souvent des calculs de struvite.

Tableau 11 : Nature des calculs en fonction de leur localisation d'origine.

	Oxalates de calcium	Struvites	Urates d'ammonium	Autres
BAU	1602 (44%)	1653 (45,5%)	209 (5,7%)	173 (4,8%)
HAU	20 (83,3%)	1 (4,2%)	0	3 (12,5%)
BAU+HAU	102 (91,1%)	7 (6,3%)	1 (0,9%)	2 (1,7%)

3.4.4.2 Nature et nombre de calculs

Les calculs de struvites ne sont pas significativement plus souvent en nombre réduit (<5) que les calculs d'oxalates de calcium. Ils sont en revanche significativement plus souvent en nombre réduit que les urates d'ammonium ou les calculs autres ($p < 0,0001$). Il en est de même pour les oxalates de calcium.

Figure 48 : Nombre de cas en fonction de la nature des calculs et de leur nombre.

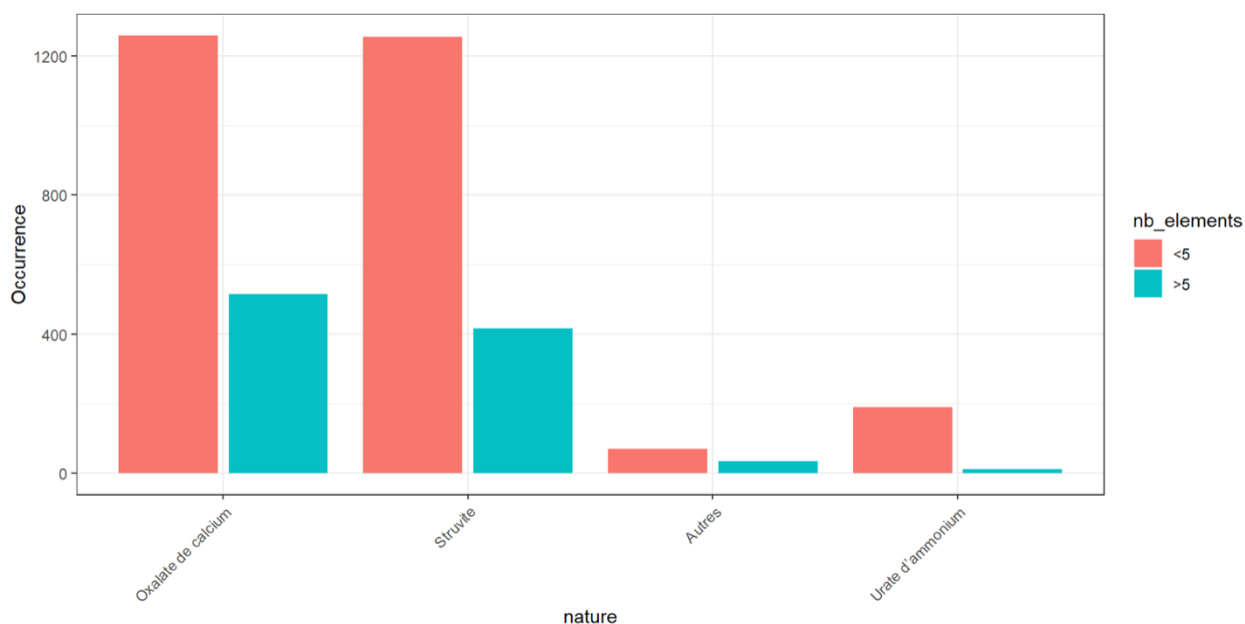


Tableau 12 : Nature des calculs en fonction de leur nombre.

	Oxalates de calcium	de Struvites	Urates d'ammonium	Autres
<5	1258 (45,4%)	1255 (45,3%)	190 (6,9%)	69 (2,4%)
>5	514 (52,8%)	416 (42,7%)	33 (3,4%)	11 (1,1%)
Odds ratio	0,07	0,03	0,06	0,009

3.4.4.3 Nature et taille

Lorsque les calculs sont de taille inférieure à 5mm, alors il y a significativement plus de chance que ce soit un oxalate de calcium qu'un calcul de struvite ($p=0,0052$), ou d'urate d'ammonium ($p<0,0001$).

Lorsque les calculs sont de taille intermédiaire entre 5 et 10mm, alors la différence entre oxalate ou struvite n'est pas significative. En revanche, il y a plus de chance que ce soit un oxalate de calcium ou un calcul de struvite qu'un urate d'ammonium ($p<0,0001$ dans les deux cas).

Enfin, lorsque le calcul est de taille supérieure à 10mm, alors il y a plus de chance que ce soit un calcul de struvite qu'un oxalate de calcium ou qu'un urate d'ammonium ($p<0,0001$ dans les deux cas).

Figure 49 : Nombre de cas en fonction de la nature des calculs et de leur taille.

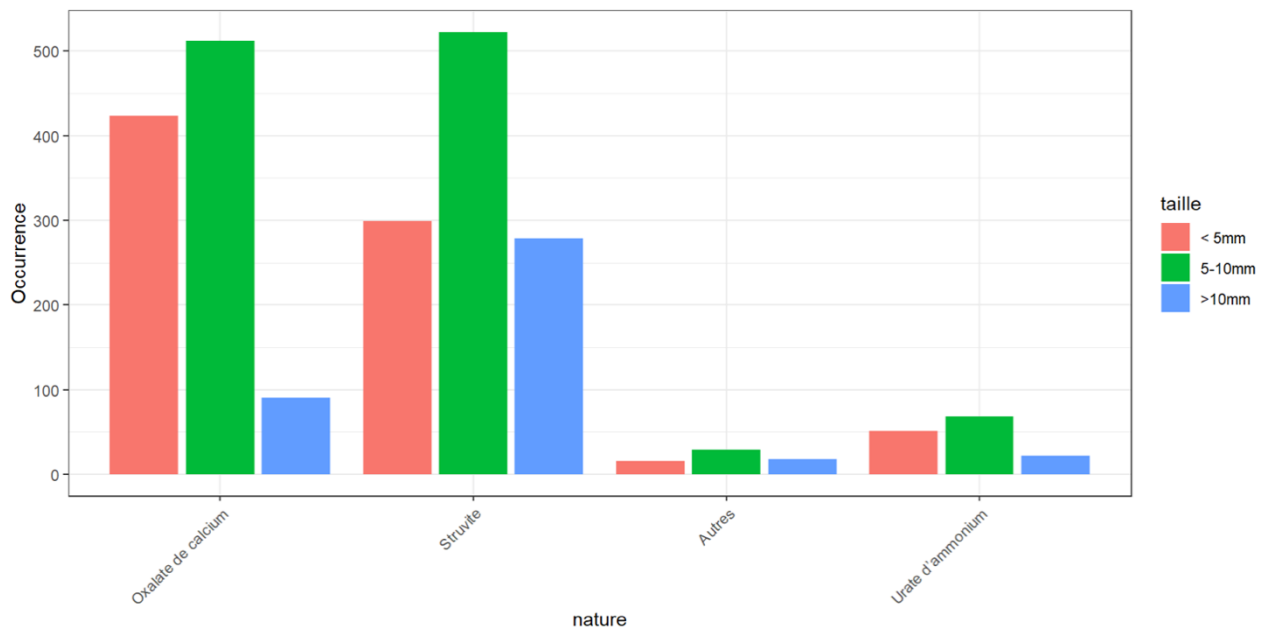


Tableau 13 : Nature des calculs en fonction de leur taille.

	Oxalates de calcium	Struvites	Urates d'ammonium	Autres
<5mm	423 (53,6%)	299 (37,9%)	51 (6,5%)	16 (2%)
5- 10mm	512 (45,3%)	522 (46,2%)	68 (6%)	29 (2,5%)
>10mm	90 (22%)	279 (68,2%)	22 (5,4%)	18 (4,4%)

3.4.4.4 Nature et consistance

Pour tous les calculs, la consistance est plus souvent dure que friable, mais si un calcul est dur, il y a tout de même significativement plus de chances que ce soit un oxalate de calcium plutôt qu'une struvite ($p=0,0025$). Inversement, si un calcul est friable, il y a significativement plus de chances que ce soit un calcul de struvite ($p=0,0005$).

Figure 50 : Nombre de cas en fonction de la nature des calculs et de leur consistance.

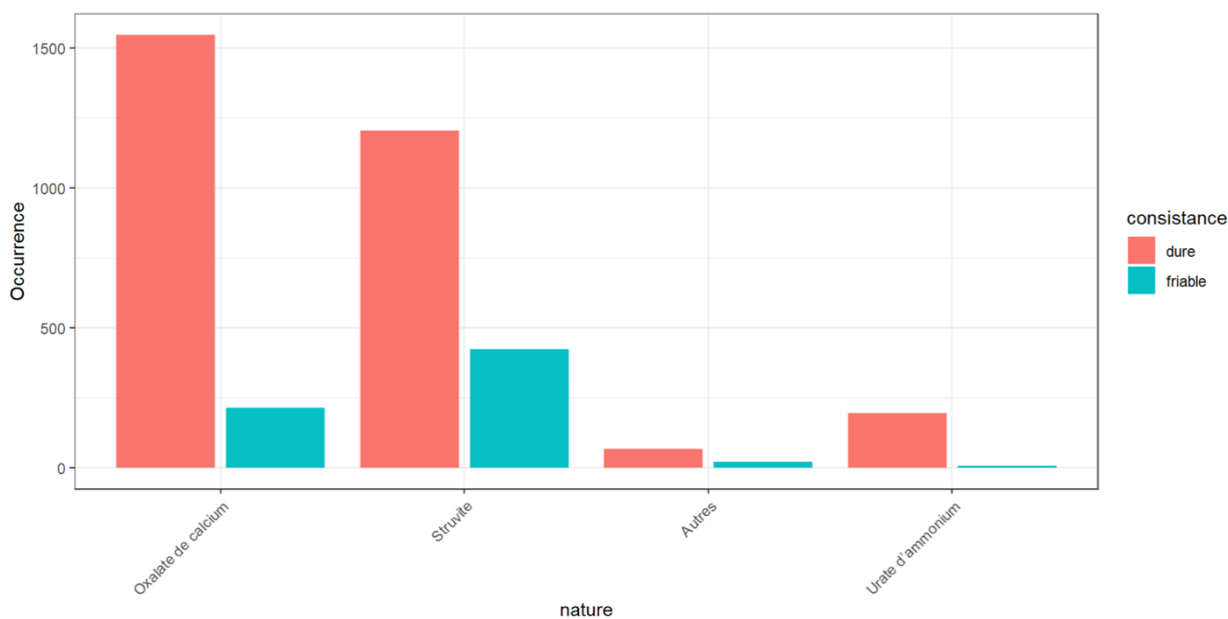


Tableau 14 : Nature des calculs en fonction de leur consistance.

	Oxalates de calcium	Struvites	Urates d'ammonium	Autres
Dure	1545 (51,3%)	1204 (40%)	195 (6,5%)	68 (2,2%)
Friable	214 (32,3%)	423 (63,8%)	6 (0,9%)	20 (3%)
Odds ratio	0,19	0,24	0,06	0,08

3.4.4.5 Nature et forme

Les calculs de struvite sont majoritairement ovales (à 38,3%), alors que les calculs d'oxalate de calcium sont majoritairement ronds (à 47%). Si le calcul est rond, il y a significativement plus de chance que ce soit un oxalate qu'une struvite ($p < 0,0001$) et inversement s'il est ovale ($p = 0,0005$).

Si le calcul a une forme de rose des sables, alors il y a significativement plus de chances que ce soit un oxalate de calcium qu'une struvite ($p = 0,0005$) ou qu'un urate d'ammonium ($p < 0,0001$).

Figure 51: Nombre de cas en fonction de la nature des calculs et de leur forme.

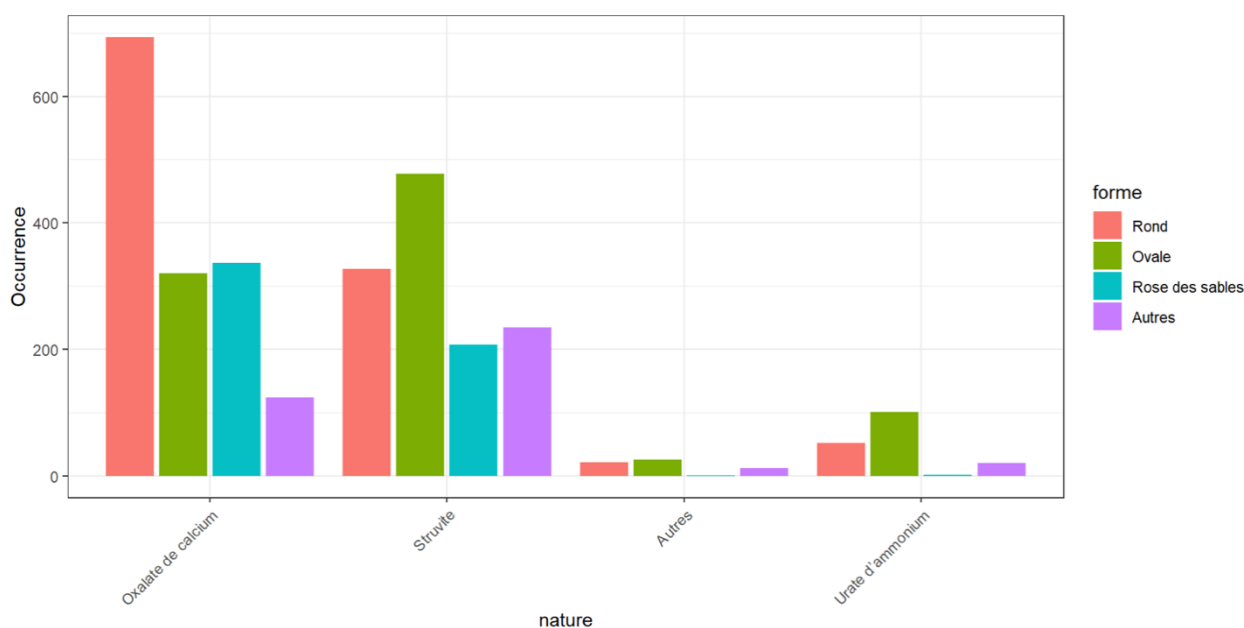


Tableau 15 : Nature des calculs en fonction de leur forme.

	Oxalates de calcium	Struvites	Urates d'ammonium	Autres
Rond	693 (63,3%)	327 (29,9%)	52 (4,8%)	22 (2%)
Ovale	320 (34,6%)	477 (51,6%)	101 (11%)	26 (2,8%)
Rose des sables	337 (61,6%)	207 (37,8%)	2 (0,4%)	1 (0,2%)
Autres	124 (31,7%)	234 (59,8%)	21 (5,4%)	12 (3,1)

3.4.4.6 Nature et surface

La surface des calculs a été étudiée selon deux paramètres : sa couleur et son aspect.

Lorsque l'aspect de la surface est spiculé, il n'y a pas plus de chance que le calcul soit un oxalate de calcium plutôt qu'une struvite. Il y a en revanche significativement plus de chance que ce soit un oxalate ou une struvite qu'un urate d'ammonium ($p < 0,0001$ dans les deux cas).

Lorsqu'il est rugueux, il y a significativement plus de chance que ce soit un calcul de struvite que d'oxalate de calcium ou d'urate d'ammonium ($p < 0,0001$ dans les deux cas).

Lorsqu'il est lisse, il y a significativement plus de chance que ce soit un oxalate de calcium qu'une struvite ou un urate d'ammonium ($p < 0,0001$ dans les deux cas), ce n'est en revanche pas significatif entre la struvite et l'urate d'ammonium.

Figure 52 : Nombre de cas en fonction de la nature des calculs et de l'aspect de leur surface.

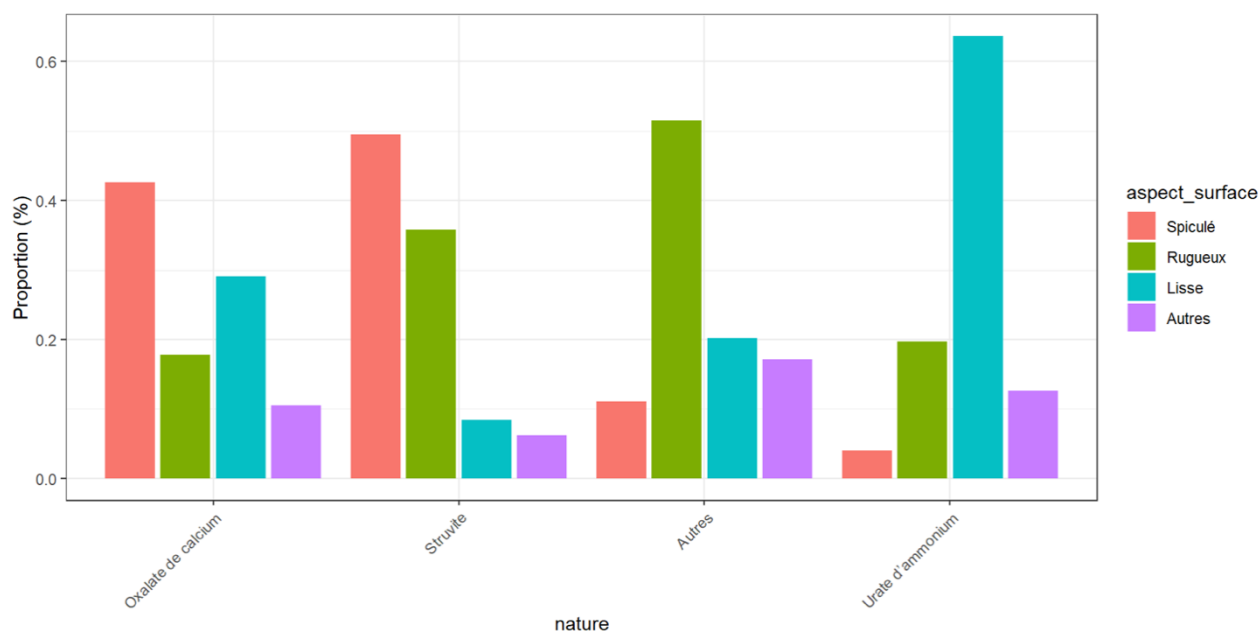


Tableau 16 : Nature des calculs en fonction de l'aspect de leur surface.

	Oxalates de calcium	Struvites	Urates d'ammonium	Autres
Spiculé	744 (47,1%)	816 (51,7%)	8 (0,5%)	11 (0,7%)
Rugueux	311 (31,4%)	590 (59,5%)	39 (3,9%)	51 (5,2%)
Lisse	507 (64%)	139 (17,6%)	126 (15,9%)	20 (2,5%)
Autres	183 (55,8%)	103 (31,4%)	25 (7,6%)	17 (5,2%)

Lorsque la surface du calcul est marron, il y a significativement plus de chance que ce soit un oxalate de calcium qu'une struvite ou qu'un urate d'ammonium ($p < 0,0001$ dans les deux cas).

Lorsque la surface du calcul est beige, il y a significativement plus de chances que ce soit une struvite ou un oxalate de calcium plutôt qu'un urate d'ammonium ($p < 0,0001$ dans les deux cas). Il n'y a en revanche pas significativement plus de chance que ce soit un oxalate de calcium plutôt qu'une struvite.

Lorsque la surface du calcul est hématique, il y a significativement plus de chance que ce soit un calcul de struvite plutôt qu'un oxalate de calcium ou qu'un urate d'ammonium ($p < 0,0001$ dans les deux cas).

De même, lorsque la surface du calcul est blanche, il y a significativement plus de chance que ce soit un calcul de struvite plutôt qu'un oxalate de calcium ou qu'un urate d'ammonium ($p < 0,0001$ dans les deux cas).

On notera que les calculs d'urate d'ammonium sont très souvent marrons (63,8% des urates d'ammonium).

Figure 53 : Nombre de cas en fonction de la nature des calculs et de la couleur de leur surface.

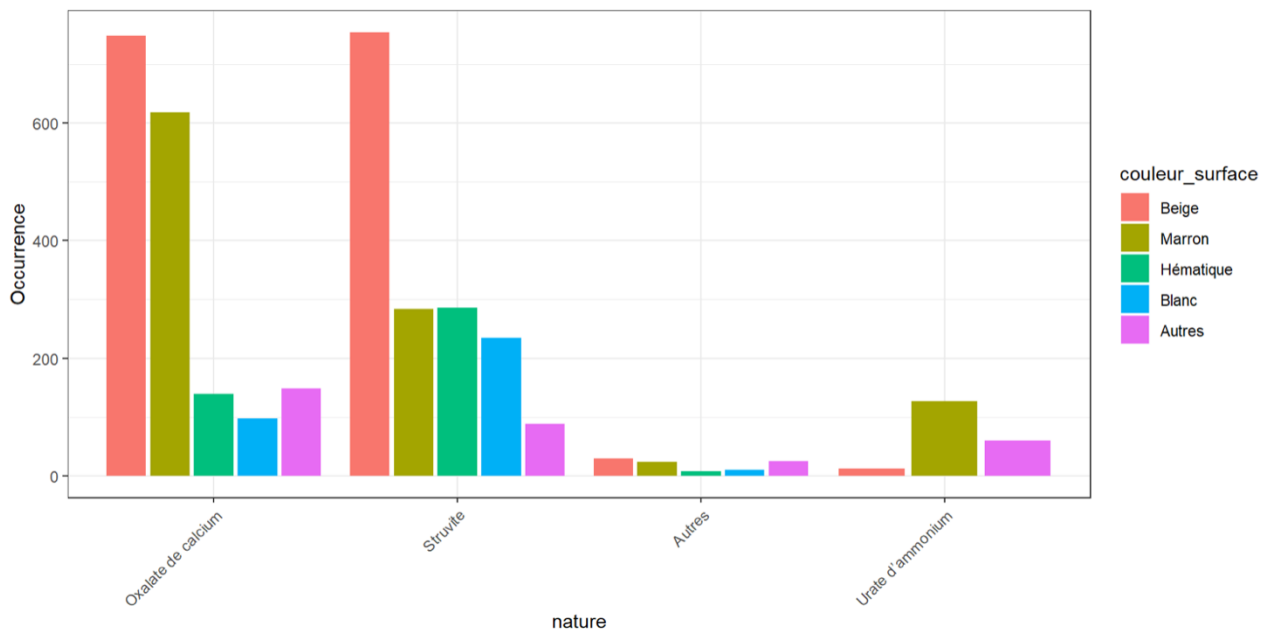


Tableau 17 : Nature des calculs en fonction de la couleur de leur surface.

	Oxalates de calcium	Struvites	Urates d'ammonium	Autres
Beige	749 (48,5%)	754 (48,8%)	12 (0,8%)	29 (1,9%)
Marron	618 (58,7%)	284 (27%)	127 (12,1%)	24 (2,2%)
Hématique	139 (32,1%)	286 (66%)	0	8 (1,9%)
Blanc	97 (28,4%)	235 (68,7%)	0	10 (2,9%)
Autres	149 (46,3%)	88 (27,3%)	60 (18,6%)	25 (7,8%)

3.4.4.7 Nature et section

Lorsque la section du calcul est beige, il n'y a pas significativement plus de chance que ce soit un oxalate de calcium plutôt qu'une struvite. En revanche, il y a significativement plus de chance que ce soit un oxalate de calcium ou une struvite plutôt qu'un urate d'ammonium ($p < 0,0001$ dans les deux cas).

Lorsque la section du calcul est marron, il y a significativement plus de chance que ce soit un oxalate de calcium plutôt qu'une struvite ou qu'un urate d'ammonium ($p < 0,0001$ dans les deux cas). La différence entre calcul de struvite ou urate d'ammonium est à la limite de la significativité ($p = 0,0441$).

Lorsque la section du calcul est blanche, il y a alors significativement plus de chance que ce soit un calcul de struvite que d'oxalate de calcium ou d'urate d'ammonium ($p < 0,0001$ dans les deux cas). Il y a également significativement plus de chances que ce soit un oxalate de calcium qu'un urate d'ammonium ($p < 0,0001$).

Figure 54 : Nombre de cas en fonction de la nature des calculs et de la couleur de leur section.

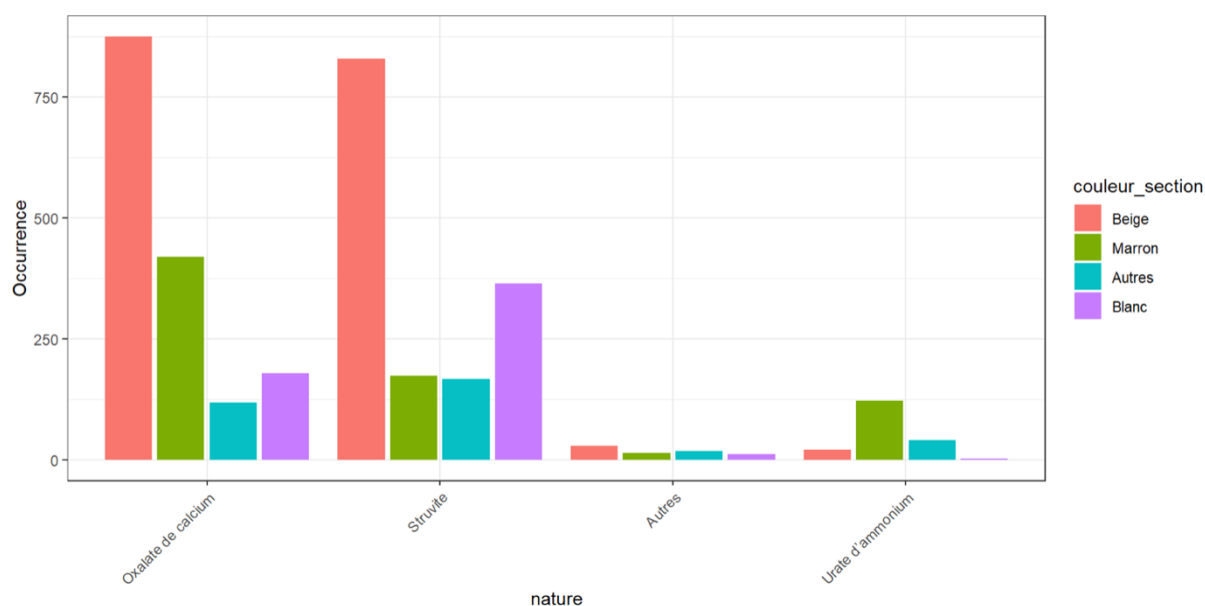


Tableau 18 : Nature des calculs en fonction de la couleur de leur section.

	Oxalates de calcium	Struvites	Urates d'ammonium	Autres
Beige	874 (49,9%)	829 (47,3%)	21 (1,2%)	29 (1,6%)
Marron	419 (57,5%)	174 (23,9%)	122 (16,7%)	14 (1,9%)
Blanc	179 (32,1%)	364 (65,2%)	3 (0,5%)	12 (2,2%)
Autres	118 (34,4%)	167 (48,7%)	40 (11,7%)	18 (5,2%)

3.4.5 Comparaison whewellite et weddellite

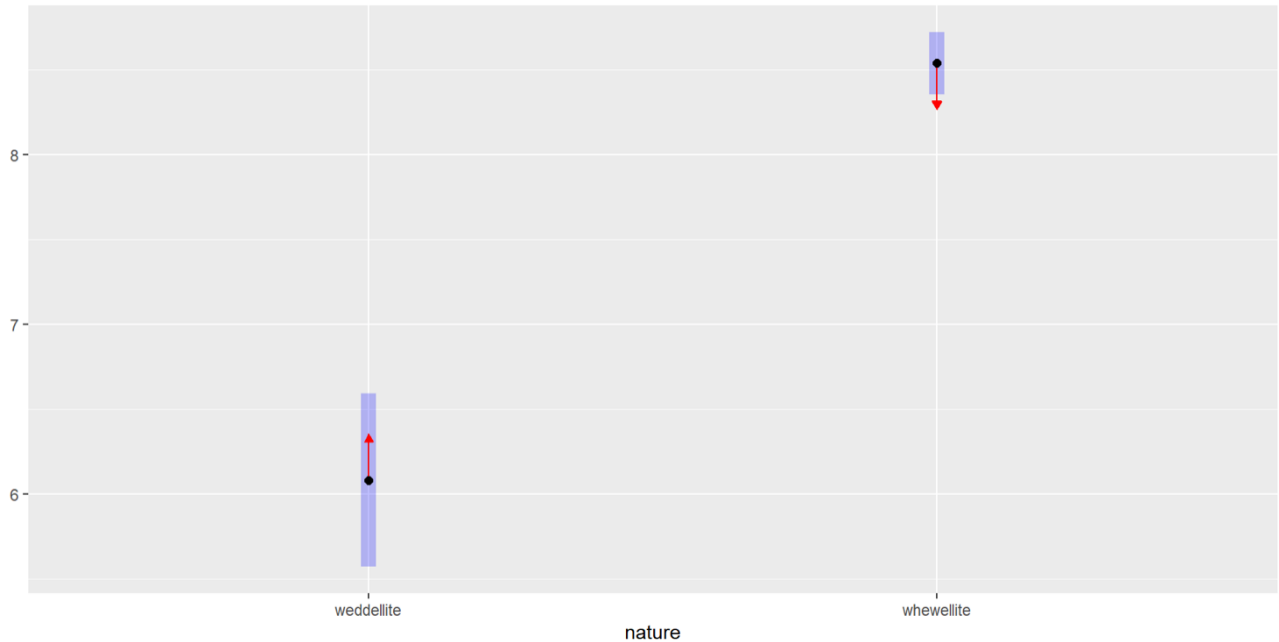
Parmi les calculs d'oxalate de calcium purs, il y a 11,3% de weddellite et 88,7% de whewellite. Nous avons analysé de même pour chaque variable le nombre d'occurrence de ces calculs.

Dans toutes nos races de chats, aucune ne présente significativement plus de chance de présenter des calculs de weddellite que de whewellite.

De même, le statut corporel n'est pas significativement différent chez les chats présentant un des deux types de calcul.

L'âge moyen des chats présentant des calculs de weddellite (6,1 ans) est significativement inférieur à l'âge moyen des chats présentant des calculs de whewellite (8,5 ans) ($p < 0,01$).

Figure 55 : Age moyen des chats en fonction de la nature du calcul d'oxalate de calcium avec leur intervalle de confiance à 95%.



Pour ce qui est du sexe, il y a significativement plus de chats mâles présentant des calculs d'OxCa monohydratés que dihydratés ($p < 0,01$), en revanche, le statut stérilisé ou non ne semble pas influencer sur l'hydratation du calcul d'oxalate de calcium.

Figure 56 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction du sexe des chats.

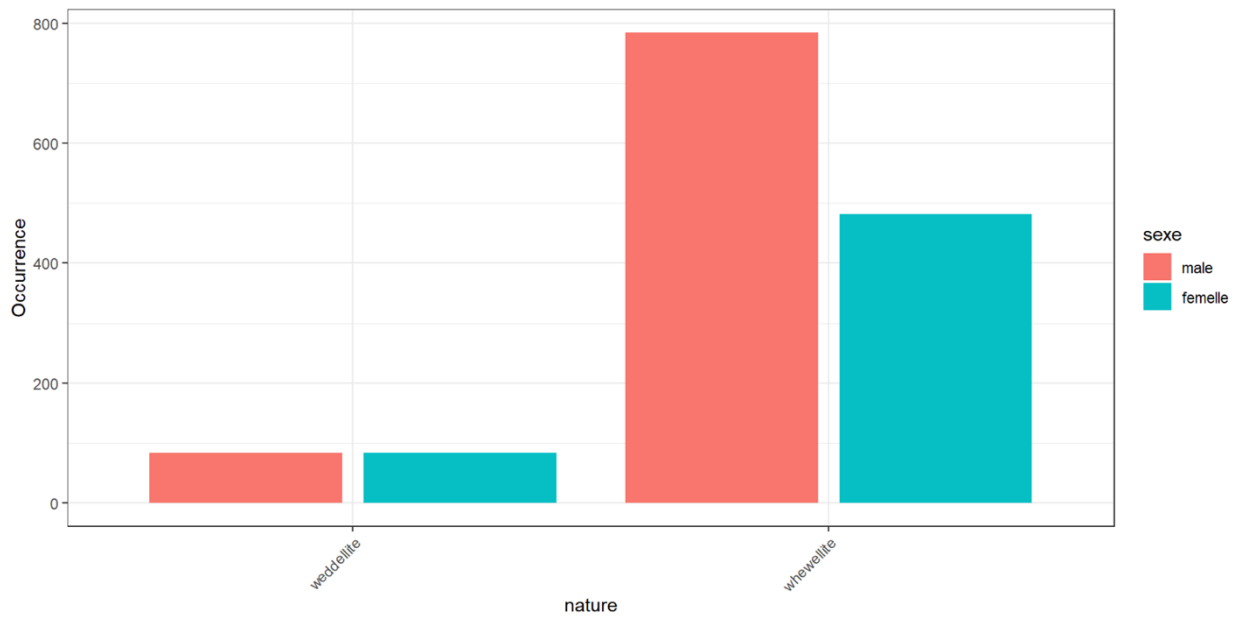


Tableau 19 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction du sexe des chats.

	Mâle	Femelle
Weddellite	84	84
Whewellite	784	482

Pour rappel, on considère les urines acides celles de pH inférieur à 6,5 et les urines basiques celles de pH supérieur à 7,5. Entre ces deux valeurs, on considère les urines comme neutres.

Le pH n'est pas significativement différent pour les deux types d'OxCa, tout comme la densité urinaire.

L'origine des calculs n'est pas significativement différente pour les deux types de calculs, en revanche on n'observe pas de calcul de weddellite présent seulement dans le haut appareil urinaire, ils sont soit présents dans le bas appareil urinaire, soit dans le haut et dans le bas appareil urinaire conjointement.

Tableau 20 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction de l'origine de ces calculs.

	BAU	BAU+HAU	HAU
Weddellite	167	11	0
Whewellite	1272	88	19

La consistance des calculs d'oxalate de calcium mono-et di- hydratés est significativement plus souvent dure que friable ($p < 0,01$).

Figure 57 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction de leur consistance.

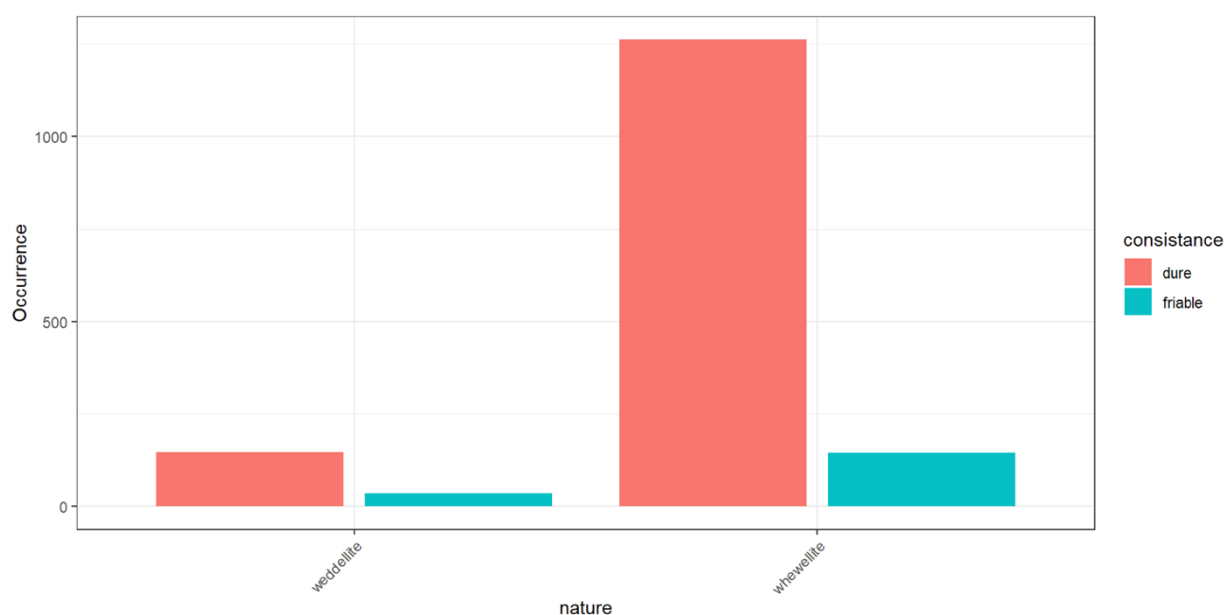


Tableau 21 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction de leur consistance.

	Dure	Friable
Weddellite	147	35
Whewellite	1262	146

La forme de ces deux types de calcul est significativement différente ($p < 0,01$), en effet les weddellites sont plus souvent en forme de rose des sables alors que les whewellites sont plus souvent rondes.

Figure 58 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction de leur forme.

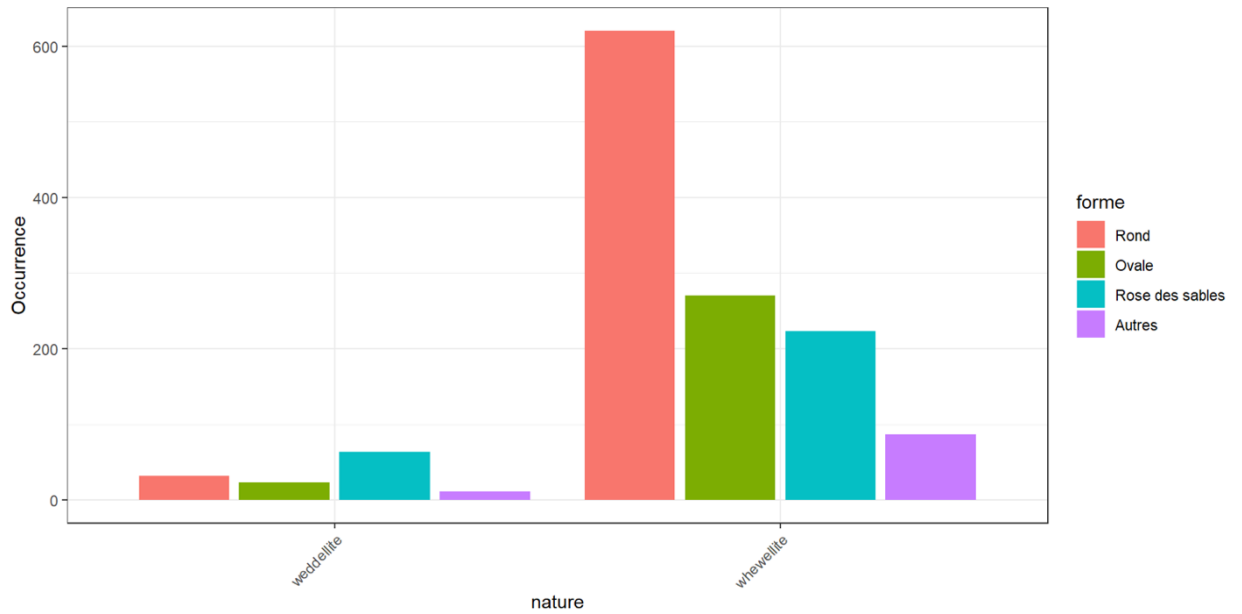


Tableau 22 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction de leur forme.

	Rond	Ovale	Rose des sables	Autres
Weddellite	32	23	64	11
Whewellite	620	270	223	87

La couleur de la surface des calculs de weddellite est plus souvent beige que d'une autre couleur, la couleur de la surface des calculs de whewellite est plus souvent beige ou marron que d'autres couleurs ($p < 0,01$ pour chaque).

Figure 59 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction de leur couleur.

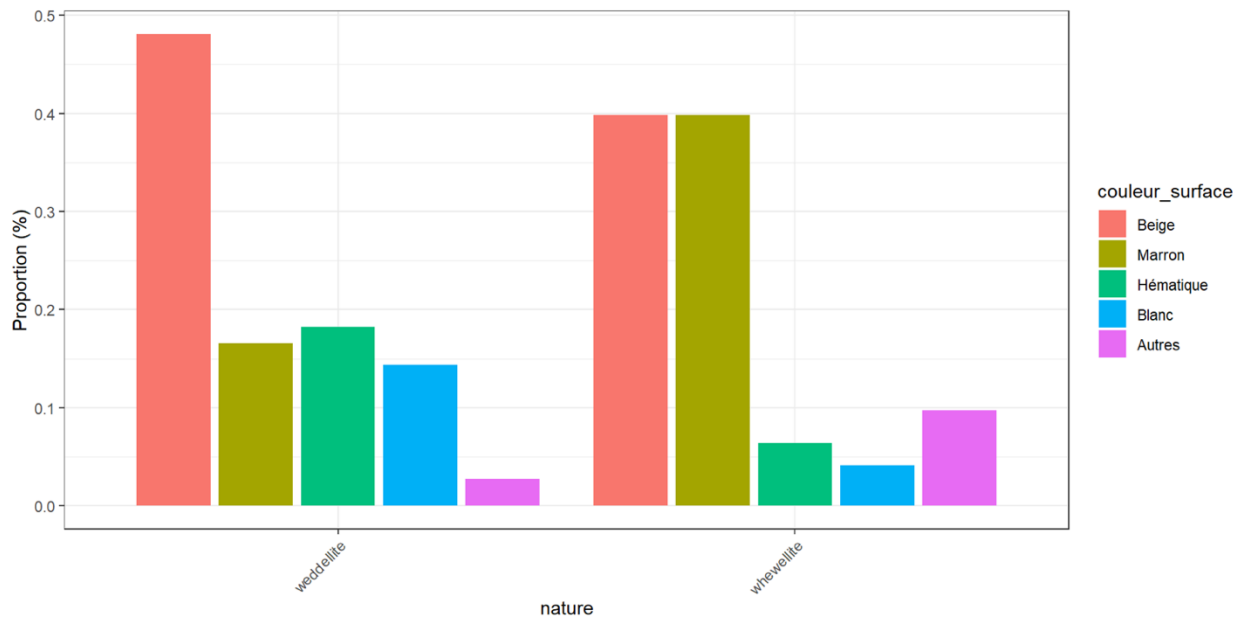


Tableau 23 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction de leur couleur.

	Beige	Marron	Hématique	Blanc	Autres
Weddellite	87	30	33	26	5
Whewellite	560	560	90	58	137

L'aspect de la surface du calcul est significativement plus souvent spiculée pour les calculs de weddellite ($p < 0,01$). Pour ceux de whewellite, elle est significativement plus souvent spiculée ou lisse que rugueuse ($p < 0,01$).

Figure 60 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction de l'aspect de leur surface.

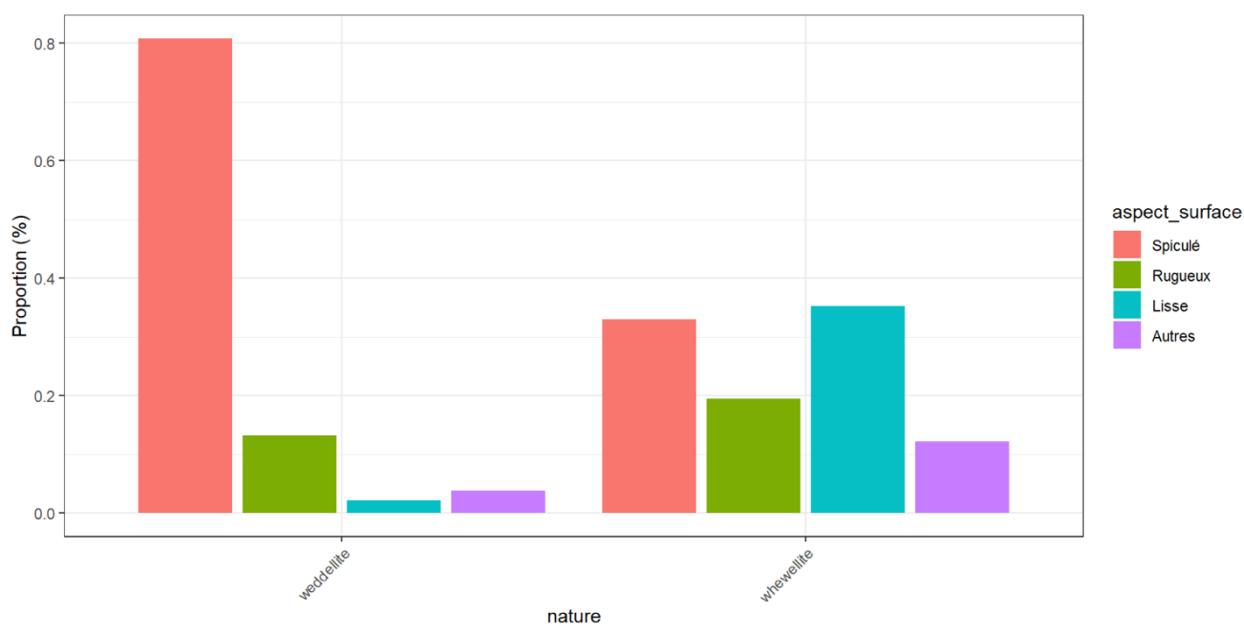


Tableau 24 : Nombre de calculs de weddellite et de whewellite en fonction de l'aspect de leur surface.

	Spiculé	Rugueux	Lisse	Autres
Weddellite	147	24	4	7
Whewellite	460	272	492	171

3.4.6 Analyse multivariée

Lorsqu'on combine plusieurs paramètres d'intérêt d'un calcul, une analyse multivariée peut être utilisée basée sur les paramètres précédemment étudiés pour tenter de prédire sa nature avant son analyse.

Ici, l'analyse multivariée a été développée avec la nature du calcul en variable à prédire et le sexe, la stérilisation, l'âge, le statut corporel, le pH et la densité comme variables explicatives.

Lorsqu'on effectue cette analyse pour trouver la nature d'un calcul grâce à ces variables, l'algorithme permet de prédire avec exactitude qu'un calcul est une struvite dans 75% des cas, et dans 61% des cas pour les oxalates de calcium.

4 Discussion

4.1 Analyse et résultats

4.1.1 Population féline

- Race

Nos résultats montrent qu'au sein des chats de race, les Persans, Sacré de Birmanie et British sont surreprésentés parmi les chats présentant des calculs urinaires, en comparaison avec la population féline française. En revanche, le Maine Coon est sous-représenté dans cette même population.

Cela concorde pour les Persans avec les études réalisées outre-Atlantique mais également en France (Houston et Moore, 2009 ; Paragon *et al.*, 2003). Une étude a déjà suspecté que les Sacrés de Birmanie en France étaient prédisposés à la lithiase urinaire notamment à oxalates de calcium, ici nous confirmons qu'ils sont surreprésentés dans la population de chats présentant des calculs urinaires (Aubugeau, 2022). Au Pays-Bas, il a déjà été montré que les sacrés de Birmanie présentent plus souvent des calculs d'oxalate de calcium. Pour les British, cette même étude a montré qu'ils étaient surreprésentés dans la population de chats présentant de la lithiase urinaire, notamment d'oxalate de calcium (Burggraaf *et al.*, 2021).

La surreprésentation des Siamois et Himalayens n'est en revanche pas retrouvée dans notre étude ; pour cette dernière race cela est expliqué par le fait qu'il est considéré comme une robe du Persan, ses représentants sont donc classés ici comme Persans.

- Sexe et statut sexuel

Parmi les chats de notre étude, les mâles sont surreprésentés parmi les chats présentant des calculs d'oxalate de calcium et d'urate d'ammonium et les femelles sont surreprésentées parmi les chats présentant des calculs de struvite, ce qui concorde avec les études outre-Atlantique (Houston *et al.*, 2016 ; Picavet *et al.*, 2007). Aux Pays-bas, les résultats sont les mêmes à la différence que les calculs de struvites sont présents de manière plutôt égale chez les mâles et les femelles (Burggraaf *et al.*, 2021).

Pour ce qui est de la stérilisation, les chats mâle et femelle stérilisés sont sous-représentés dans notre étude, ce qui n'est pas en accord avec les précédentes études montrant un plus grand risque de développement de calculs urinaires chez les chats stérilisés (Gomes *et al.*, 2018 ; Picavet *et al.*, 2007). Cela peut-être lié à des oublis sur le questionnaire de demande d'analyse.

- Age

L'âge moyen des chats en France est de 7 ans (KANTAR et FACCO, 2023). Dans notre étude, les chats ont en moyenne 7,3 ans, ce qui est proche de la moyenne nationale.

Les chats présentant des calculs d'oxalate de calcium sont en moyenne plus vieux que les chats développant les autres types de calculs urinaires, avec une moyenne à 8,2 ans pour une moyenne à environ 6,5 ans pour tous les autres types de calculs. Ces résultats sont en accord

avec les précédentes études aux Etats-unis et aux Pays-Bas (Burggraaf *et al.*, 2021 ; Lulich *et al.*, 1999 ; Osborne *et al.*, 2009a).

Les chats présentant des calculs de xanthine et de cystine sont en moyenne plus jeunes que les chats présentant d'autres types de calculs avec des moyennes d'âge de 2,5 et 4,9 ans respectivement. Cela pourrait s'expliquer par l'origine génétique de ces deux types de calculs.

- NEC

La NEC des chats présentant des oxalates de calcium est en moyenne inférieure à celle des chats présentant des calculs de struvite mais les deux ne sont pas cliniquement différentes : la première est de 5,4 et la seconde de 5,9.

Les chats en surpoids ou obèses sont surreprésentés dans notre étude, et ils présentaient notamment à 50% des calculs de struvite, ce qui est en accord avec une étude récente montrant une plus grande prévalence de ce type de calculs chez les individus obèses (Burggraaf *et al.*, 2021).

Différentes études ont montré que les maladies de l'appareil urinaire sont associées à l'obésité chez le chat puisque les individus obèses absorbent beaucoup de nourriture et peuvent donc être plus à risque d'excréter plus de minéraux dans les urines. A cela s'ajoute la sédentarité favorisant la stase urinaire et une prise de boisson diminuée, conduisant à une urine plus concentrée (Osborne, 2014 ; Palm et Westropp, 2011).

Dans la dernière étude française, les individus obèses représentaient 16% des chats présentant des calculs urinaires, ce qui correspond à peu de choses près à ce que nous retrouvons ici avec 13% des individus. En revanche, la nature de ces calculs n'avait pas été étudiée (Paragon *et al.*, 2003).

A l'inverse, 61% des chats en sous-poids de notre étude présentent des calculs d'oxalate de calcium. Une explication pourrait résider dans le fait que certains chats avec ce type de calculs présentent également une maladie rénale chronique provoquant une perte de poids (Gambaro *et al.*, 2017 ; Midkiff *et al.*, 2000).

4.1.2 Variables urinaires

- Origine

La très grande majorité des calculs recueillis proviennent du bas appareil urinaire ; seulement 2,9% des calculs ont été retrouvés dans le haut appareil urinaire. Différentes études ont montré qu'environ 4% des calculs analysés chez les chats proviennent du rein, ce qui semble plus élevé que chez le chien. Les calculs d'oxalate de calcium et de phosphate de calcium sont très prédominants lors de néphrolithe : seulement 7% des calculs ne contiennent aucun de ces deux minéraux. Les chats de race pure, notamment les sacrés de birmanie, semblent prédisposés au néphrolithes. Selon d'autres études, entre 70 % et 98% des néphrourolithes contiennent de l'oxalate de calcium (Ling *et al.*, 1998 ; Osborne *et al.*, 2009a, 1990 ; Palm et Westropp, 2011 ; Ross *et al.*, 1999).

Au sein de ces calculs du HAU, 83% étaient composés d'oxalate de calcium. Lorsqu'un chat présente des calculs à la fois dans le haut et dans le bas appareil urinaire, alors 91% sont des oxalates de calcium.

- DU

Nos résultats montrent que lorsque la densité urinaire des chats est inférieure à 1,025, les calculs formés sont plus souvent des oxalates de calcium. Cela va dans le sens des études montrant que les chats atteints de calculs urinaires sont plus à risque de développer une MRC (Grauer, 2015 ; Savary *et al.*, 2000) ce qui est déjà bien montré chez l'homme (Siener, 2021).

- pH urinaire

Le pH urinaire des chats présentant des calculs d'oxalate de calcium étaient plus souvent inférieur à 6,5 que celui des chats présentant d'autres types de calculs, pourtant leur formation est censée être indépendante du pH urinaire (Daudon *et al.*, 2012). Cela pourrait être expliqué par la consommation par ces chats d'une alimentation acidifiante, notamment celles formulées pour la dissolution des calculs de struvite, hypothèse retrouvées dans plusieurs études comme pouvant être une cause également de l'augmentation de la part des calculs d'oxalate de calcium dans la population féline (Osborne *et al.*, 2009a). Une autre explication serait l'association avec la maladie rénale chronique précédemment évoquée qui expose à une acidurie.

Le pH urinaire des chats présentant des calculs de struvite est plus souvent supérieur à 7,5 que celui des chats présentant des calculs d'oxalate de calcium, ce qui est en accord avec leur mécanisme de formation dépendant du pH.

4.1.3 Calculs urinaires

Les calculs les plus représentés dans notre étude sont les oxalates de calcium avec 47% des cas analysés quasi au même niveau que les struvites à 1% près. Cela est en accord avec certaines études montrant une prévalence de 46 à 50% d'OxCa (Houston *et al.*, 2016 ; Osborne *et al.*, 2009a). Aux Pays-bas et en Allemagne, ils représentent 59,5 à 68,8% des calculs analysés. En revanche, ces mêmes études montrent une prévalence des struvites moindre, entre 24 et 33% (Breu et Müller, 2022 ; Burggraaf *et al.*, 2021). Une hypothèse explicative pourrait être une différence d'alimentation des chats dans ces pays avec des régimes plus acidifiants ou la plus large utilisation des régime calculolytiques. On pourrait également penser que les vétérinaires Français ont plus rapidement recours à la cystotomie, résultant en un plus grand nombre de calculs de struvite analysés.

- Oxalates de calcium

Les auteurs s'accordent sur la forte augmentation de la prévalence de ce type de calcul et c'est le cas également en France. En effet la dernière étude remontant à 21 ans relate de 40% de calculs d'OxCa (Paragon *et al.*, 2003).

Les chats de race présentent plus d'OxCa que les chats européens qui présentent en majorité des struvites. Cela est notamment le cas pour le Persan, le Sacré de Birmanie, le British, le Ragdoll, le Scottish et le Bengal. Ces résultats étaient déjà connus pour le Persan, le Sacré de

Birmanie, le British et le Ragdoll (Breu et Müller, 2022 ; Burggraaf *et al.*, 2021 ; Palm et Westropp, 2011). Il avait déjà été montré une prévalence des oxalates de calcium chez le Scottish fold, ici la différence n'a pas été faite entre Scottish fold et Scottish straight. Une prévalence de l'oxalate de calcium chez le British shorthair seulement avait été mise en évidence, (Breu et Müller, 2022) ici le choix a été fait de ne pas distinguer shorthair et longhair et le résultats reste sans appel avec 92,7% d'OxCa chez cette race.

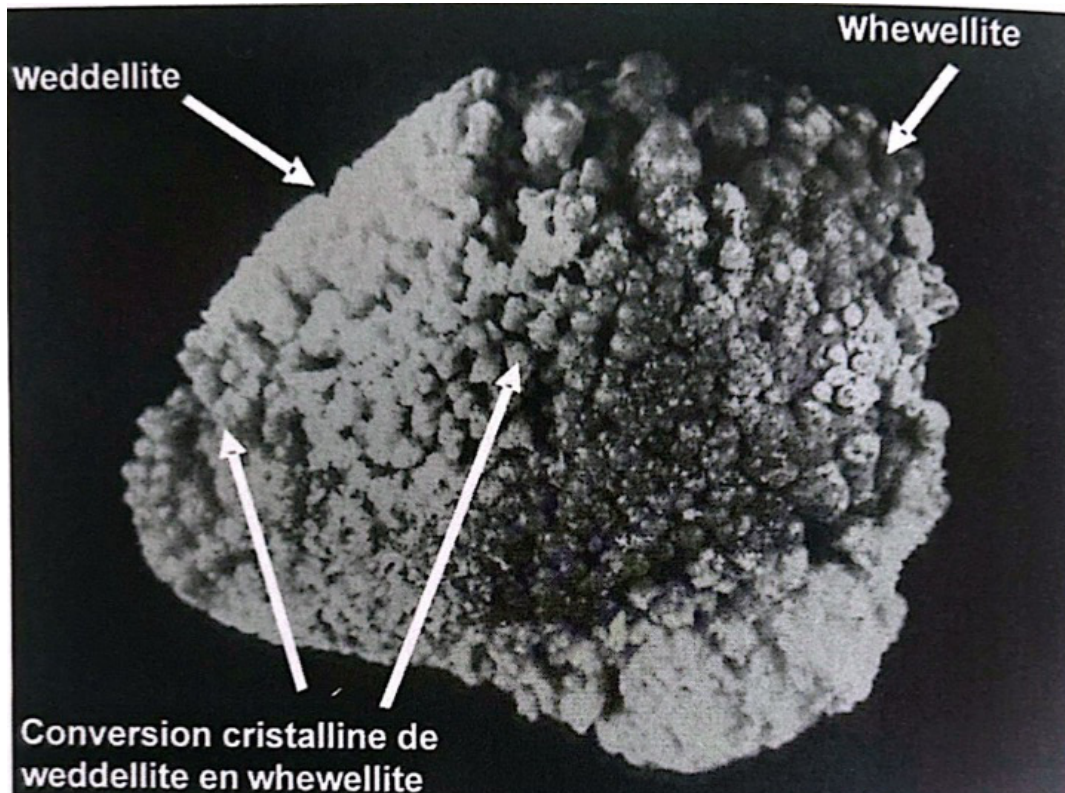
Les chats mâles présentant des oxalates de calcium sont surreprésentés dans notre étude, ce qui a déjà été vu précédemment (Breu et Müller, 2022 ; Burggraaf *et al.*, 2021), en revanche la stérilisation ne semble pas avoir d'impact ici contrairement à ce qui a déjà été montré avec une plus forte prévalence chez les animaux stérilisés (Burggraaf *et al.*, 2021 ; Lekcharoensuk *et al.*, 2001c). Il est possible que les animaux entiers dans notre étude soient surreprésentés par manque d'information sur la feuille de demande d'analyses.

Les chats présentant des calculs d'OxCa sont en moyenne plus âgés que ceux présentant d'autres types de calculs avec une moyenne de 8,2 ans, ce qui est en accord avec le fait que les chats entre 7 et 10 ans sont plus à risque de développer des calculs d'OxCa (Lekcharoensuk *et al.*, 2000).

- Whewellite et weddellite

Les calculs de weddellite sont retrouvés chez des chats plus jeunes que les calculs de whewellite avec des moyennes d'âge respectives de 6,1 et 8,5 ans. Une hypothèse serait que les calculs de weddellite se transforment en whewellite (Figure 69), leur forme thermodynamiquement stable, par conversion cristalline (Daudon *et al.*, 2012). Chez le chien, ceux atteints de calculs de whewellite présentent également un âge plus élevé que ceux atteints de weddellite selon les études (Blavier *et al.*, 2012 ; Nélaton, 2021).

Figure 61 : Exemple de conversion cristalline d'un calcul initialement formé de weddellite se transformant progressivement en whewellite. Noter la transformation des cristaux anguleux de weddellite initialement formés en structure mamelonnée de whewellite (Daudon *et al.*, 2012).



Les chats mâles présentent également plus souvent des calculs de whewellite que des calculs de weddellite, sans que la stérilisation ne semble apporter de différence.

- Struvite

En France, la dernière étude relate de 50% de calculs de struvite, la diminution de leur prévalence paraît donc moins importante que l'augmentation de la prévalence des calculs d'OxCa (Paragon *et al.*, 2003).

Les chats européens présentent plus souvent des struvites (49%) que des oxalate de calcium (42,5%) dans notre étude. Les seuls chats de race présentant plus de struvites que d'oxalate, sont le Norvégien et du Sibérien, mais seul le Norvégien présente une différence significative. Cela suit une étude récente allemande montrant une plus grande prévalence de calculs de struvites chez le Norvégien, le Sibérien, le British longhair et l'européen (Breu et Müller, 2022). Le British longhair n'est pas représenté dans notre étude puisqu'il est regroupé dans la race British avec le british shorthair.

On retrouve que les chats femelles sont surreprésentés au sein des cas de calculs de struvite, comme dans de nombreuses études précédentes (Breu et Müller, 2022 ; Burggraaf *et al.*, 2021 ; Houston *et al.*, 2016 ; Lekcharoensuk *et al.*, 2000). Ici, le statut stérilisé n'est pas significativement associé à un plus grand nombre de calculs de struvite, ce qui concorde avec certaines études

(Burggraaf *et al.*, 2021) tandis que d'autres montrent une plus grande prévalence chez les animaux stérilisés sur une petite cohorte (Paragon *et al.*, 2003) et d'autres une plus grande prévalence chez les animaux entiers (Breu et Müller, 2022). Cette dernière pousse à la réflexion puisque les animaux stérilisés sont plus à risque de prendre du poids, or nous avons montré plus haut que les animaux en surpoids présentaient plus souvent des calculs de struvite. Le développement de ce type de calcul serait donc plutôt associé au surpoids en lui-même plutôt qu'au statut stérilisé ou non, avec un rôle des hormones sexuelles revu à la baisse.

Les chats présentant des calculs de struvite ont en moyenne 6,6 ans, cela concorde avec les résultats des différentes études précédentes (Cannon *et al.*, 2007 ; Osborne, 2014).

- Urates d'ammonium

Les calculs d'urate d'ammonium représentent 5% des calculs urinaires félines dans notre étude, ce qui correspond aux 4% de l'étude Française il y a 24 ans, (Paragon *et al.*, 2003) et aux études outre-Atlantique (Houston et Moore, 2009 ; Osborne *et al.*, 2009a). Les plus récentes en Europe montrent des prévalences autour de 2% (Breu et Müller, 2022 ; Burggraaf *et al.*, 2021).

La prédisposition du Mau Egyptien n'est pas retrouvée dans notre étude. En revanche, 15,6% des calculs urinaires des Sacrés de Birmanie sont des urates d'ammonium. Une prédisposition à la formation d'urates chez cette race a déjà été montrée au Canada (avec 29% de leurs calculs urinaires) et aux Etats-Unis (Appel *et al.*, 2010 ; Houston *et al.*, 2016). Il a été montré que cette race est prédisposée aux shunts portosystémiques notamment extrahépatiques, ce qui pourrait expliquer en partie cette prévalence élevée (Darakamas *et al.*, 2022).

Il est montré chez l'homme que l'hyperuricosurie, est un facteur de risque de formation de calculs d'oxalate de calcium dans les reins, résultant en un mélange de calculs d'urate d'ammonium et d'oxalate de calcium, voire seulement d'oxalates de calcium. En effet un nombre élevé de patients présentant des calculs d'oxalates de calcium sont hyperuricosuriques (Coe, 1978 ; Moe et Xu, 2018). Cela n'est à ce jour pas étudié chez le chat mais il serait donc intéressant de mesurer ce paramètre urinaire chez les chats présentant des néphrolithes.

Le nombre de calculs d'urate d'ammonium n'est pas significativement différent chez les chats mâle et femelle, ni chez les chats stérilisés et entiers. Pourtant, une étude a montré que les chats stérilisés avaient 12 fois plus de chance de développer un calcul d'urate d'ammonium (Albasan *et al.*, 2012).

L'âge moyen des chats présentant des calculs d'urate d'ammonium est de 6,5 ans, ce qui est en accord avec la dernière étude concernant ces urolithes ayant montré une plus grande prévalence entre 4 et 7 ans (Albasan *et al.*, 2012).

- Calculs purs, mixtes ou composés

Les calculs purs représentent la grande majorité des calculs dans notre étude avec 90,6% des cas étudiés, ce qui est discrètement moins que les études précédentes : 97,5% au Canada et 97,9% aux Pays-Bas (Breu et Müller, 2022 ; Houston *et al.*, 2016).

Les calculs mixtes représentent ensuite 8,7% des calculs analysés, ce qui représente plus que d'autres études montrant une prévalence de 1,4 à 2% (Burggraaf *et al.*, 2021 ; Houston *et al.*, 2016).

Les phosphates de calcium sont très peu nombreux en tant que calculs purs chez le chat puisqu'ils représentent moins de 1% de ces derniers.

En revanche, l'hypothèse de l'existence de plaques de Randall chez le chat comme décrit dans la partie bibliographique confère au phosphate de calcium un rôle de précurseur de la formation de calculs d'oxalate de calcium. La carbapatite est la seule nature minérale composant en deuxième section les calculs purs d'oxalate de calcium dans notre étude.

Une hypothèse pourrait être que ces calculs se sont formés sur une plaque de Randall puis se sont détachés et ont continué de croître, conservant avec eux une partie de la plaque de carbapatite. Cette hypothèse est appuyée par le fait que ce constituant est quasi exclusivement retrouvé dans notre étude comme secondaire, avec des proportions inférieures à 10%.

Les calculs composés représentent 0,7 % des calculs urinaires dans notre étude, ce qui correspond aux 1% retrouvés au Canada (Houston *et al.*, 2016).

Un seul calcul sur corps étranger, ici un fil de suture, est retrouvé dans notre étude ce qui confirme la rareté de ces calculs.

4.1.4 Morphologie des calculs

Le nombre de calculs urinaire présents et extraits par animal est plus souvent inférieur à 5 dans notre étude, qu'importe leur nature. Aucune différence statistique n'a été notée entre les struvites et les oxalates pour le nombre de calculs retrouvés. En revanche, les urates d'ammonium sont significativement plus souvent en nombre supérieur à 5 que les struvites et les OxCa.

Lorsqu'un calcul est de taille inférieure à 5mm, alors il y a plus de chance que ce soit un calcul d'oxalate de calcium que de struvite, et inversement lorsqu'il fait plus de 10mm. Cela confirme les travaux réalisés chez le chien (Blavier *et al.*, 2012 ; Houston et Moore, 2009).

Tous les calculs ont plus souvent une consistance dure, mais les calculs friables sont plus souvent des calculs de struvite, ce qui est en accord avec les données de médecine humaine.

Les calculs de struvite et d'urate d'ammonium sont plus souvent ovales alors que ceux d'oxalate sont plus souvent ronds. Les études de médecine humaine montrent plutôt des calculs d'oxalate de calcium irréguliers, muriformes ou en rose des sables (Daudon *et al.*, 2012).

Au sein des oxalates de calcium, les calculs de weddellite sont plus souvent en forme de rose des sables et les calculs de whewellite sont plus souvent ronds. Comme vu sur la figure 61, les calculs de weddellite sont souvent spiculés, ce qui pourrait être décrit macroscopiquement comme une forme de rose des sables.

4.1.5 Analyse multivariée

L'analyse multivariée effectuée ici permet de prédire avec exactitude qu'un calcul est une struvite dans 75% des cas, et dans 61% des cas pour les oxalates de calcium. Ceci pourrait être amélioré par l'ajout d'autres paramètres comme les mesures effectuées par imagerie médicale ou encore

le régime alimentaire si des études arrivent à apporter des précisions sur son influence sur le développement des différentes natures de calculs urinaires.

En résumé...

1) Caractéristiques de la population féline présentant des calculs urinaires en France :

- Race :

Les races Persan, Sacré de Birmanie et British sont surreprésentés dans la population française des chats atteints de calculs urinaires. La prédisposition aux oxalates de calcium du Sacré de Birmanie est confirmée par cette étude.

-Sexe et statut sexuel :

Les chats mâles français sont plus susceptibles de développer des calculs d'oxalate de calcium et d'urate d'ammonium, tandis que les femelles sont surreprésentées pour les calculs de struvite. Contrairement à d'autres études, les animaux stérilisés sont sous-représentés.

-Âge :

Les chats présentant des calculs d'oxalate de calcium sont en moyenne plus âgés (8,2 ans) que ceux présentant d'autres types de calculs. Les chats très jeunes peuvent être affectés par des calculs de xanthine et de cystine.

-NEC :

Les chats obèses sont surreprésentés chez les chats français atteints de calculs urinaires, en particulier pour les calculs de struvite. À l'inverse, les chats en sous-poids sont plus souvent affectés par des calculs d'oxalate de calcium.

2) Paramètres urinaires de la population féline présentant des calculs urinaires en France :

-Origine :

La majorité des calculs est issue du bas appareil urinaire. Les calculs d'oxalate de calcium dominent dans le haut appareil urinaire

-Densité urinaire (DU) :

Les calculs d'oxalate de calcium sont plus fréquents lorsque la densité urinaire est inférieure à 1,025.

-pH urinaire :

Un pH urinaire bas est plus souvent associé à des calculs d'oxalate de calcium.

3) Morphologie des calculs urinaires présentés par la population féline française :

Les calculs d'oxalate de calcium sont généralement marrons, durs et ronds.

Les calculs de struvite sont souvent blancs, plus gros et friables. Ils sont également souvent en nombre moins élevé que les oxalates de calcium.

Les urates d'ammonium sont en nombre plus élevé par animal, souvent plus de cinq, comparativement aux oxalates de calcium et aux struvites.

4.2 Limites de notre travail

4.2.1 Population féline

La population féline est telle qu'on observe un très grand nombre de chats européens par rapport aux chats de race, ce qui amène à des cohortes limitées pour certaines races. De plus, de possibles biais existent, notamment le classement de certains chats d'apparence raciale dans les chats de race.

4.2.2 Formulaire de demande d'analyse

Certains commémoratifs n'ont pas pu être exploités du fait qu'ils sont mal renseignés. La cause principale est très probablement les libellés du formulaire de demande d'analyse (Annexe 2).

- *L'ECBU*

L'ECBU est trop rarement renseigné pour que des informations soient exploitables. En effet, le vétérinaire envoie généralement les calculs pour analyse en même temps ou à quelques jours d'écart de l'envoi de l'urine pour analyse, les résultats sont donc très souvent renseignés comme « en attente ». L'ECBU n'est pas nécessairement réalisé par VET'ANALYS. Les résultats ne sont donc qu'occasionnellement présents.

Pour permettre une meilleure exploitation de ces données à l'avenir, il faudrait reformuler avec des cases à cocher :

- Un ECBU a-t-il été demandé ? oui/non
- Si oui, les urines étaient-elles stériles ? oui/non
- Si non, quels isolats ?

- *Les maladies éventuelles associées*

Les comorbidités sont certainement difficiles à standardiser du fait des nombreuses possibilités. La présence d'un champ libre n'est pourtant pas souhaitable si les informations doivent être ultérieurement utilisées à des fins statistiques. Il faudrait proposer une liste de choix restreinte mais exploitable si, à l'avenir, il est envisagé d'analyser la relation entre les différents calculs urinaires et certaines maladies chez le chat en France telles que l'hypercalcémie, la fonction hépatique, la fonction rénale....

- *L'alimentation*

L'alimentation actuelle de l'animal telle que demandée dans le formulaire (Annexe 2) est un libellé ambigu. De nombreuses cliniques renseignent l'aliment recommandé du fait de la maladie lithiasique. Puisque c'est l'alimentation que l'animal recevait au moment où il a fait ses calculs qui est intéressante, il est préférable de reformuler en « alimentation avant le diagnostic d'urolithiase ». Quoi qu'il en soit l'antériorité de l'exposition sur un projet rétrospectif restera une limite pour analyser les facteurs de risque.

4.2.3 Saisie des données

- *Enregistrement de la date*

Les données du laboratoire ne comportent pas la date de l'analyse, seulement l'année. Ceci empêche une étude comparative de la proportion des différentes natures de calculs année par année. Concernant les animaux qui ont subi plusieurs analyses sur la période, cette information manquante rend impossible l'analyse du délai entre les récurrences.

- *Enregistrement du typage du calcul*

Le typage du calcul en fonction de ses critères morphologiques (Annexe 1) serait une donnée intéressante à enregistrer. Bien que cette classification ne soit en aucun cas validée en médecine vétérinaire, il serait pertinent à l'avenir de confronter les résultats de l'analyse par spectrométrie infrarouge à ce typage.

Conclusion

Cette thèse rétrospective a présenté l'épidémiologie actualisée de l'urolithiase féline en France basée sur l'analyse d'un grand nombre de calculs analysés.

Les principaux types de calculs observés incluent les oxalates de calcium, les struvites, et les urates d'ammonium. Chaque type de calcul a été étudié en relation avec des variables telles que l'âge ou le poids des chats, ou encore le pH, et la densité de leurs urines.

L'étude a inclus un échantillon de plus de 4000 chats, les oxalates de calcium et les struvites étaient les plus fréquents, représentant respectivement 47% et 46% des cas, suivis par les urates d'ammonium avec 5% des cas. Des races prédisposées ont été signalées.

Le nombre de calculs, leur taille, leur forme, ainsi que les caractéristiques morphologiques comme la consistance ou la couleur, varient en fonction de la nature du calcul. Bien que non validée actuellement, la classification morphologique des calculs pourrait être validée par une étude prospective. L'objectif étant en particulier pour la lithiase oxalo-calcique de déterminer si l'étiologie est différente en particulier entre whewellite et whedellite afin d'améliorer nos prises en charge.

Liste des références bibliographiques

- ADIN, C.A., HERRGESELL, E.J., NYLAND, T.G., *et al.* (2003) Antegrade pyelography for suspected ureteral obstruction in cats: 11 cases (1995–2001). *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 222, n° 11, p. 1576-1581. [<https://doi.org/10.2460/javma.2003.222.1576>]
- ALBASAN, H., OSBORNE, C.A., LULICH, J.P., *et al.* (2012) Risk factors for urate uroliths in cats. *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 240, n° 7, p. 842-847. [<https://doi.org/10.2460/javma.240.7.842>]
- ALBASAN, H., OSBORNE, C.A., LULICH, J.P., *et al.* (2009) Rate and frequency of recurrence of uroliths after an initial ammonium urate, calcium oxalate, or struvite urolith in cats. *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 235, n° 12, p. 1450-1455. [<https://doi.org/10.2460/javma.235.12.1450>]
- APPEL, S.L., HOUSTON, D.M., MOORE, A.E.P., *et al.* (2010) Feline urate urolithiasis. *The Canadian Veterinary Journal* vol. 51, n° 5, p. 493-496.
- APPEL, S.L., LEFEBVRE, S.L., HOUSTON, D.M., *et al.* (2008) Evaluation of risk factors associated with suture-nidus cystoliths in dogs and cats: 176 cases (1999–2006). *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 233, n° 12, p. 1889-1895. [<https://doi.org/10.2460/javma.233.12.1889>]
- AUBUGEAU, A. (2022) Caractérisation épidémiologique et phénotypique de la lithiase du haut appareil urinaire chez le chat Sacré de Birmanie. Thèse d'exercice vétérinaire, ENVA.
- BAILIFF, N.L., WESTROPP, J.L., NELSON, R.W., *et al.* (2008) Evaluation of urine specific gravity and urine sediment as risk factors for urinary tract infections in cats. *Veterinary Clinical Pathology* vol. 37, n° 3, p. 317-322. [<https://doi.org/10.1111/j.1939-165X.2008.00065.x>]
- BARTGES, J.W. (2011) Urinary Saturation Testing. In *Nephrology and Urology of Small Animals*. Nashville, John Wiley & Sons, Ltd, p. 75-85. [<https://doi.org/10.1002/9781118785546.ch12>]
- BARTGES, J.W., CALLENS, A.J. (2015) Urolithiasis. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, Urology vol. 45, n° 4, p. 747-768. [<https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2015.03.001>]
- BARTGES, J.W., OSBORNE, C.A., LULICH, J.P., *et al.* (1999) Canine urate urolithiasis. Etiopathogenesis, diagnosis, and management. *The Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice* vol. 29, n° 1, p. 161-191. [[https://doi.org/10.1016/s0195-5616\(99\)50010-7](https://doi.org/10.1016/s0195-5616(99)50010-7)]
- BAZIN, D., DAUDON, M. (2016) Respective influence of calcium and oxalate urine concentration on the formation of calcium oxalate monohydrate or dihydrate crystals. *Comptes Rendus Chimie* vol. 19. [<https://doi.org/10.1016/j.crci.2016.08.009>]
- BHASIN, B., ÜREKLI, H.M., ATTA, M.G. (2015) Primary and secondary hyperoxaluria: Understanding the enigma. *World Journal of Nephrology* vol. 4, n° 2, p. 235-244. [<https://doi.org/10.5527/wjn.v4.i2.235>]
- BLAVIER, A., SULTER, A., BOGEY, A., *et al.* (2012) Résultats des analyses par spectrométrie infrarouge de 1131 calculs urinaires canins prélevés de 2007 à 2010, en France. *Pratique Médicale et Chirurgicale de l'Animal de Compagnie* vol. 47, n° 1, p. 7-16. [<https://doi.org/10.1016/j.anicom.2011.11.001>]
- BREU, D., MÜLLER, E. (2022) Harnsteinbefunde bei Katzen aus Deutschland in den Jahren 2016–2020. *Tierärztliche Praxis Ausgabe K: Kleintiere / Heimtiere* vol. 50, n° 2, p. 102-111. [<https://doi.org/10.1055/a->

1795-8078]

BROUGHTON, S.E., O'NEILL, D.G., SYME, H.M., *et al.* (2023) Ionized hypercalcemia in 238 cats from a referral hospital population (2009-2019). *Journal of Veterinary Internal Medicine* vol. 37, n° 1, p. 80-91. [<https://doi.org/10.1111/jvim.16627>]

BUCKLEY, C.M.F., HAWTHORNE, A., COLYER, A., *et al.* (2011) Effect of dietary water intake on urinary output, specific gravity and relative supersaturation for calcium oxalate and struvite in the cat. *The British Journal of Nutrition* vol. 106 Suppl 1, p. S128-130. [<https://doi.org/10.1017/S0007114511001875>]

BURGGRAAF, N.D., WESTGEEST, D.B., CORBEE, R.J. (2021) Analysis of 7866 feline and canine uroliths submitted between 2014 and 2020 in the Netherlands. *Research in Veterinary Science* vol. 137, p. 86-93. [<https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2021.04.026>]

CANNON, A.B., WESTROPP, J.L., RUBY, A.L., *et al.* (2007) Evaluation of trends in urolith composition in cats: 5,230 cases (1985–2004). *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 231, n° 4, p. 570-576. [<https://doi.org/10.2460/javma.231.4.570>]

CARI, A.O., JODY, P.L., ROSAMA, T., *et al.* (1996) Feline Urolithiasis : Etiology and Pathophysiology. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice* vol. 26, n° 2, p. 217-232. [[https://doi.org/10.1016/S0195-5616\(96\)50204-4](https://doi.org/10.1016/S0195-5616(96)50204-4)]

CASTONGUAY, T.W. (1981) Dietary dilution and intake in the cat. *Physiology & Behavior* vol. 27, n° 3, p. 547-549. [[https://doi.org/10.1016/0031-9384\(81\)90347-4](https://doi.org/10.1016/0031-9384(81)90347-4)]

CHÉRY, C. (2014) Prise en charge des calculs urétraux chez le chat : étude rétrospective des cas présentés à l'enva de 2005 à 2013. Thèse d'exercice vétérinaire, ENVA.

COE, F.L. (1978) Hyperuricosuric calcium oxalate nephrolithiasis. *Kidney International* vol. 13, n° 5, p. 418-426. [<https://doi.org/10.1038/ki.1978.60>]

COLLIARD, L., PARAGON, B.-M., LEMUET, B., *et al.* (2009) Prevalence and risk factors of obesity in an urban population of healthy cats. *Journal of Feline Medicine and Surgery* vol. 11, n° 2, p. 135-140. [<https://doi.org/10.1016/j.jfms.2008.07.002>]

DANPURE, C.J., JENNINGS, P.R., MISTRY, J., *et al.* (1989) Enzymological characterization of a feline analogue of primary hyperoxaluria type 2: a model for the human disease. *Journal of Inherited Metabolic Disease* vol. 12, n° 4, p. 403-414. [<https://doi.org/10.1007/BF01802035>]

DARAKAMAS, P., CHANDRASAKHA, P., MANEEN, S., *et al.* (2022) Feline Portosystemic Shunts: A Case Report. *Journal of Applied Animal Science* vol. 15, n° 1, p. 23-34.

DAUDON, M., JUNGERS, P., TRAXER, O. (2012) Lithiase urinaire. Paris, Lavoisier.

DAUDON, M., TRAXER, O., JUNGERS, P., *et al.* (2007) Stone Morphology Suggestive of Randall's Plaque. *AIP Conference Proceedings* vol. 900, n° 1, p. 26-34. [<https://doi.org/10.1063/1.2723556>]

DAUDON, M., TRAXER, O., LECHEVALLIER, E., *et al.* (2008) La lithogénèse. *Progrès en Urologie, Rapport AFU 2007. Lithiase du haut appareil urinaire* vol. 18, n° 12, p. 815-827. [<https://doi.org/10.1016/j.purol.2008.09.032>]

DE LORENZI, D., BERNARDINI, M., PUMAROLA, M. (2005) Primary hyperoxaluria (l-glyceric aciduria)

- in a cat. *Journal of Feline Medicine and Surgery* vol. 7, n° 6, p. 357-361. [https://doi.org/10.1016/j.jfms.2005.03.007]
- DEAR, J.D., SHIRAKI, R., RUBY, A.L., *et al.* (2011) Feline urate urolithiasis: a retrospective study of 159 cases. *Journal of Feline Medicine and Surgery* vol. 13, n° 10, p. 725-732. [https://doi.org/10.1016/j.jfms.2011.07.001]
- DE BRUIJN, W.C., BOEVÉ, E.R. (1995) Etiology of Calcium Oxalate Nephrolithiasis in Rats. I. Can This Be a Model for Human Stone Formation? *Scanning Microscopy* vol. 9, n° 1, p. 103-114.
- DEL-ÁNGEL-CARAZA, J., PÉREZ-GARCÍA, C.C., QUIJANO-HERNÁNDEZ, I.A., *et al.* (2012) Xantiniuria: una causa rara de urolitiasis en el gato. *Veterinaria Mexico* vol. 43, n° 4, p. 317-325.
- DIBARTOLA, S.P., CHEW, D.J., HORTON, M.L. (1991) Cystinuria in a cat. *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 198, n° 1, p. 102-104.
- DIJCKER, J.C., HAGEN-PLANTINGA, E.A., THOMAS, D.G., *et al.* (2014) The effect of dietary hydroxyproline and dietary oxalate on urinary oxalate excretion in cats¹. *Journal of Animal Science* vol. 92, n° 2, p. 577-584. [https://doi.org/10.2527/jas.2013-6178]
- DIJCKER, J.C., KUMMELING, A., HAGEN-PLANTINGA, E.A., *et al.* (2012) Urinary oxalate and calcium excretion by dogs and cats diagnosed with calcium oxalate urolithiasis. *The Veterinary Record* vol. 171, n° 25, p. 646. [https://doi.org/10.1136/vr.101130]
- DOMINGOS, F., SERRA, A. (2004) História da litíase urinária - os primórdios da nefrologia. *Revista Portuguesa de Nefrologia e Hipertensão* vol. 18, n° 3, p. 143-153.
- DORSCH, R., TEICHMANN-KNORRN, S., SJETNE LUND, H. (2019) Urinary tract infection and subclinical bacteriuria in cats: A clinical update. *Journal of Feline Medicine and Surgery* vol. 21, n° 11, p. 1023-1038. [https://doi.org/10.1177/1098612X19880435]
- ETTINGER, S.J., FELDMAN, E.C., COTE, E. (2016) Textbook of Veterinary Internal Medicine - eBook: Textbook of Veterinary Internal Medicine - eBook, 8e ed. St Louis, Elsevier Health Sciences.
- FUNABA, M., HASHIMOTO, M., YAMANAKA, C., *et al.* (1996) Effects of a high-protein diet on mineral metabolism and struvite activity product in clinically normal cats. *American Journal of Veterinary Research* vol. 57, n° 12, p. 1726-1732. [https://doi.org/10.2460/ajvr.1996.57.12.1726]
- GAMBARO, G., CROPPI, E., BUSHINSKY, D., *et al.* (2017) The Risk of Chronic Kidney Disease Associated with Urolithiasis and its Urological Treatments: A Review. *Journal of Urology* vol. 198, n° 2, p. 268-273. [https://doi.org/10.1016/j.juro.2016.12.135]
- GEDDES, R.F. (2021) The effect of attenuating dietary phosphate restriction on blood ionized calcium concentrations in cats with chronic kidney disease and ionized hypercalcemia. *Journal of Veterinary Internal Medicine* vol. 35, n° 8, p. 997-1007. [https://doi.org/10.1111/jvim.16050]
- GERBER, B., BORETTI, F.S., KLEY, S., *et al.* (2005) Evaluation of clinical signs and causes of lower urinary tract disease in European cats. *Journal of Small Animal Practice* vol. 46, n° 12, p. 571-577. [https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2005.tb00288.x]
- GNANANDARAJAH, J.S., ABRAHANTE, J.E., LULICH, J.P., *et al.* (2012) Presence of Oxalobacter formigenes in the intestinal tract is associated with the absence of calcium oxalate urolith formation in dogs.

- Urological Research* vol. 40, n° 5, p. 467-473. [<https://doi.org/10.1007/s00240-011-0451-1>]
- GOMES, V. da R., ARIZA, P.C., BORGES, N.C., *et al.* (2018) Risk factors associated with feline urolithiasis. *Veterinary Research Communications* vol. 42, n° 1, p. 87-94. [<https://doi.org/10.1007/s11259-018-9710-8>]
- GRAUER, G.F. (2015) Feline Struvite and Calcium Oxalate Urolithiasis. *Today's Veterinary Practice* vol. 27, n° 9, p. 11-18.
- GUNN-MOORE, D.A. (2003) Feline lower urinary tract disease. *Journal of Feline Medicine and Surgery* vol. 5, n° 2, p. 133-138. [[https://doi.org/10.1016/S1098-612X\(02\)00129-8](https://doi.org/10.1016/S1098-612X(02)00129-8)]
- HEZEL, A., BARTGES, J., KIRK, C., *et al.* (2007) Influence of hydrochlorothiazide on urinary calcium oxalate relative supersaturation in healthy young adult female domestic shorthaired cats. *Veterinary therapeutics : research in applied veterinary medicine* vol. 8, n° 4, p. 247-54.
- HOUSTON, D.M., MOORE, A.E.P. (2009) Canine and feline urolithiasis: Examination of over 50 000 urolith submissions to the Canadian Veterinary Urolith Centre from 1998 to 2008. *The Canadian Veterinary Journal* vol. 50, n° 2, p. 1263-1268.
- HOUSTON, D.M., MOORE, A.E.P., FAVRIN, M.G., *et al.* (2003) Feline urethral plugs and bladder uroliths: A review of 5484 submissions 1998–2003. *The Canadian Veterinary Journal* vol. 44, n° 12, p. 974-977.
- HOUSTON, D.M., VANSTONE, N.P., MOORE, A.E.P., *et al.* (2016) Evaluation of 21 426 feline bladder urolith submissions to the Canadian Veterinary Urolith Centre (1998–2014). *The Canadian Veterinary Journal* vol. 57, n° 2, p. 196-201.
- KANTAR, FACCO (2023) Parc des animaux familiers 2022. Rapport annuel de la Fédération des fabricants d'Aliments pour Chiens, Chats, Oiseaux et autres animaux familiers. Paris.
- KENNEDY, ALEXANDRA J., WHITE, J.D. (2021) Feline ureteral obstruction: a case-control study of risk factors (2016-2019). *Sage Journals* vol. 24, n° 4, p. 298-303. [<https://doi.org/10.1177/1098612X211017461>]
- KHAN, S.R. (2013) Animal Models for the Study of Human Disease: Chapter 21. Animal Models of Calcium Oxalate Kidney Stone Formation. Londres, Elsevier Inc. Chapters.
- KIRK, C.A., JEWELL, D.E., LOWRY, S.R. (2006) Effects of sodium chloride on selected parameters in cats. *Veterinary Therapeutics: Research in Applied Veterinary Medicine* vol. 7, n° 4, p. 333-346.
- KIRK, C.A., LING, G.V., FRANTI, C.E., *et al.* (1995) Evaluation of factors associated with development of calcium oxalate urolithiasis in cats. *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 207, n° 11, p. 1429-1434. [<https://doi.org/10.2460/javma.1995.207.11.1429>]
- KOPECNY, L., PALM, C.A., SEGEV, G., *et al.* (2021) Urolithiasis in cats: Evaluation of trends in urolith composition and risk factors (2005-2018). *Journal of Veterinary Internal Medicine* vol. 35, n° 3, p. 1397-1405. [<https://doi.org/10.1111/jvim.16121>]
- KYLES, A.E., HARDIE, E.M., WOODEN, B.G., *et al.* (2005) Clinical, clinicopathologic, radiographic, and ultrasonographic abnormalities in cats with ureteral calculi: 163 cases (1984–2002). *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 226, n° 6, p. 932-936. [<https://doi.org/10.2460/javma.2005.226.932>]
- LANGSTON, C., GISSELMAN, K., PALMA, D., *et al.* (2008) Diagnosis of urolithiasis. *Compendium (Yardley, PA)* vol. 30, n° 8, p. 447-450, 452-454.

- LEKCHAROENSUK, C., LULICH, J.P., OSBORNE, C.A., *et al.* (2000) Association between patient-related factors and risk of calcium oxalate and magnesium ammonium phosphate urolithiasis in cats. *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 217, n° 4, p. 520-525. [<https://doi.org/10.2460/javma.2000.217.520>]
- LEKCHAROENSUK, C., OSBORNE, C.A., LULICH, J.P. (2001a) Epidemiologic study of risk factors for lower urinary tract diseases in cats. *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 218, n° 9, p. 1429-1435. [<https://doi.org/10.2460/javma.2001.218.1429>]
- LEKCHAROENSUK, C., OSBORNE, C.A., LULICH, J.P., *et al.* (2001b) Association between dietary factors and calcium oxalate and magnesium ammonium phosphate urolithiasis in cats. *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 219, n° 9, p. 1228-1237. [<https://doi.org/10.2460/javma.2001.219.1228>]
- LEKCHAROENSUK, C., OSBORNE, C.A., LULICH, J.P. (2001c) Epidemiologic study of risk factors for lower urinary tract diseases in cats. *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 218, n° 9, p. 1429-1435. [<https://doi.org/10.2460/javma.2001.218.1429>]
- LIESKE, J.C., RULE, A.D., KRAMBECK, A.E., *et al.* (2014) Stone Composition as a Function of Age and Sex. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology* vol. 9, n° 12, p. 2141-2146. [<https://doi.org/10.2215/CJN.05660614>]
- LING, G.V., RUBY, A.L., JOHNSON, D.L., *et al.* (1998) Renal Calculi in Dogs and Cats: Prevalence, Mineral Type, Breed, Age, and Gender Interrelationships (1981–1993). *Journal of Veterinary Internal Medicine* vol. 12, n° 1, p. 11-21. [<https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.1998.tb00491.x>]
- LONSDALE, K. (1968) Human Stones: Limited studies give some details of composition, rates of growth, distribution, and possible causes. *Science* vol. 159, n° 3820, p. 1199-1207. [<https://doi.org/10.1126/science.159.3820.1199>]
- LUCKSCHANDER, N., IBEN, C., HOSGOOD, G., *et al.* (2004) Dietary NaCl does not affect blood pressure in healthy cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine* vol. 18, n° 4, p. 463-467. [<https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2004.tb02567.x>]
- LULICH, J.P. (2016) Microanatomy of feline nephrolithiasis, conférence.
- LULICH, J.P., BERENT, A.C., ADAMS, L.G., *et al.* (2016) ACVIM small animal consensus recommendations on the treatment and prevention of uroliths in dogs and cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine* vol. 30, n° 5, p. 1564-1574. [<https://doi.org/10.1111/jvim.14559>]
- LULICH, J.P., OSBORNE, C.A., LEKCHAROENSUK, C., *et al.* (2004) Effects of diet on urine composition of cats with calcium oxalate urolithiasis. *Journal of the American Animal Hospital Association* vol. 40, n° 3, p. 185-191. [<https://doi.org/10.5326/0400185>]
- LULICH, J.P., OSBORNE, C.A., LEKCHAROENSUK, C., *et al.* (2001) Effects of hydrochlorothiazide and diet in dogs with calcium oxalate urolithiasis. *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 218, n° 10, p. 1583-1586. [<https://doi.org/10.2460/javma.2001.218.1583>]
- LULICH, J.P., OSBORNE, C.A., THUMCHAI, R., *et al.* (1999) Epidemiology of canine calcium oxalate uroliths: identifying risk factors. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice* vol. 29, n° 1, p. 113-122. [[https://doi.org/10.1016/S0195-5616\(99\)50007-7](https://doi.org/10.1016/S0195-5616(99)50007-7)]
- MARKWELL, P.J., BUFFINGTON, C.T., SMITH, B.H.E. (1998) The effect of diet on lower urinary Tract

- diseases in cats. *The Journal of Nutrition* vol. 128, n° 12, p. 2753S-2757S. [<https://doi.org/10.1093/jn/128.12.2753S>]
- MAUREY, C., BENCHEKROUN, G., BARIL, A., *et al.* (2015) Calculs urétéraux chez le chat : étude rétrospective de 71 cas (2005–2013). *Revue Vétérinaire Clinique* vol. 50, n° 2, p. 75-76. [<https://doi.org/10.1016/j.anicom.2015.06.008>]
- MENDOZA-LÓPEZ, C.I., DEL-ANGEL-CARAZA, J., AKÉ-CHIÑAS, M.A., *et al.* (2019) Epidemiology of feline urolithiasis in Mexico (2006–2017). *JFMS Open Reports* vol. 5, n° 2, p. 1-6. [<https://doi.org/10.1177/2055116919885699>]
- MIDKIFF, A. m., CHEW, D. j., RANDOLPH, J. f., *et al.* (2000) Idiopathic Hypercalcemia in Cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine* vol. 14, n° 6, p. 619-626. [<https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2000.tb02286.x>]
- MILLIGAN, M., BERENT, A.C. (2019) Medical and Interventional Management of Upper Urinary Tract Uroliths. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice, Urology* vol. 49, n° 2, p. 157-174. [<https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2018.11.004>]
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION (2023) Identification 2023 des chiens et des chats. *In Fichier national I-Cad.* [<https://www.i-cad.fr/uploads/INFOGRAPHIE.premieres.identifications.2022.pdf>] (consulté le 23/09/2024).
- MITTAL, R.D., KUMAR, R. (2004) Gut-inhabiting bacterium *Oxalobacter formigenes*: role in calcium oxalate urolithiasis. *Journal of Endourology* vol. 18, n° 5, p. 418-424. [<https://doi.org/10.1089/0892779041271706>]
- MIZUKAMI, K., RAJ, K., GIGER, U. (2015) Feline cystinuria caused by a missense mutation in the SLC3A1 gene. *Journal of Veterinary Internal Medicine* vol. 29, n° 1, p. 120-125. [<https://doi.org/10.1111/jvim.12501>]
- MIZUKAMI, K., RAJ, K., OSBORNE, C.A., *et al.* (2016) Cystinuria associated with different SLC7A9 gene variants in the cat. *PLoS ONE* vol. 11, n° 7, p. 159-247. [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159247>]
- MOE, O., XU, L.H.R. (2018) Hyperuricosuric calcium urolithiasis. *Journal of nephrology* vol. 31, n° 7, p. 189-196. [<https://doi.org/10.1007/s40620-018-0469-3>]
- NÉLATON, C. (2021) Urolithiases chez le chien : étude rétrospective sur 6 700 calculs urinaires canins prélevés de 2016 à 2020 en France et analysés par spectrométrie infrarouge. Thèse d'exercice vétérinaire. Créteil, Ecole nationale vétérinaire d'Alfort.
- OHMAN, S., LARSSON, L. (1992) Evidence for Randall's plaques to be the origin of primary renal stones. *Medical Hypotheses* vol. 39, n° 4, p. 360-363. [[https://doi.org/10.1016/0306-9877\(92\)90062-h](https://doi.org/10.1016/0306-9877(92)90062-h)]
- O'KELL, A.L., GRANT, D.C., KHAN, S.R. (2017) Pathogenesis of calcium oxalate urinary stone disease: species comparison of humans, dogs, and cats. *Urolithiasis* vol. 45, n° 4, p. 329-336. [<https://doi.org/10.1007/s00240-017-0978-x>]
- OSBORNE, C.A. (2014) Canine and feline urolith epidemiology: 1981-2013. *In DVM 360.* [<https://www.dvm360.com/view/canine-and-feline-urolith-epidemiology-1981-2013>] (consulté le 15/02/2024).
- OSBORNE, C.A., LULICH, J.P., BARTGES, J., *et al.* (1990) Medical dissolution and prevention of canine

- and feline uroliths: diagnostic and therapeutic caveats. *The Veterinary Record* vol. 127, n° 15, p. 369-373.
- OSBORNE, C.A., LULICH, J.P., KRUGER, J.M., *et al.* (2009a) Analysis of 451,891 canine uroliths, feline uroliths, and feline urethral plugs from 1981 to 2007: perspectives from the Minnesota Urolith Center. *The Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice* vol. 39, n° 1, p. 183-197. [<https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2008.09.011>]
- OSBORNE, C.A., LULICH, J.P., SWANSON, L.L., *et al.* (2009b) Drug-Induced Urolithiasis. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice, Changing Paradigms in Diagnosis and Treatment of Urolithiasis* vol. 39, n° 1, p. 55-63. [<https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2008.09.004>]
- PALM, C.A., WESTROPP, J.L. (2011) Cats and Calcium Oxalate: Strategies for managing lower and upper tract stone disease. *Journal of Feline Medicine and Surgery* vol. 13, n° 9, p. 651-660. [<https://doi.org/10.1016/j.jfms.2011.07.018>]
- PARAGON, B., COTARD, J.-P., VEDRENNE, N. (2003) L'uro lithiase féline : actualités épidémiologiques. *Le Point Vétérinaire* vol. 232, n° 2, p. 44-48.
- PICAVET, P., DETILLEUX, J., VERSCHUREN, S., *et al.* (2007) Analysis of 4495 canine and feline uroliths in the Benelux. A retrospective study: 1994–2004. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* vol. 91, n° 5-6, p. 247-251. [<https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2007.00699.x>]
- QUEAU, Y. (2019) Nutritional Management of Urolithiasis. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice, Urology* vol. 49, n° 2, p. 175-186. [<https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2018.10.004>]
- ROBERTSON, W.G., JONES, J.S., HEATON, M.A., *et al.* (2002) Predicting the crystallization potential of urine from cats and dogs with respect to calcium oxalate and magnesium ammonium phosphate (struvite). *The Journal of Nutrition* vol. 132, n° 6, p. 1637S-1641S. [<https://doi.org/10.1093/jn/132.6.1637S>]
- ROGERS, K.D., JONES, B., ROBERTS, L., *et al.* (2011) Composition of uroliths in small domestic animals in the United Kingdom. *The Veterinary Journal* vol. 188, n° 2, p. 228-230. [<https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2010.04.022>]
- ROSS, S.J., OSBORNE, C.A., LULICH, J.P., *et al.* (1999) Canine and feline nephrolithiasis. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice* vol. 29, n° 1, p. 231-250. [[https://doi.org/10.1016/S0195-5616\(99\)50013-2](https://doi.org/10.1016/S0195-5616(99)50013-2)]
- ROYAL CANIN (2019) Body Condition Score Cat. In *The webinarvet*. [https://thewebinarvet.s3-eu-west-1.amazonaws.com/royal+canin+digital+delegate+goody+bag/BCS_Cat_A5.pdf] (consulté le 23/09/2024).
- SARICA, K., ALTAY, B., ERTURHAN, S. (2008) Effect of being overweight on stone-forming risk factors. *Urology* vol. 71, n° 5, p. 771-774. [<https://doi.org/10.1016/j.urology.2007.11.164>]
- SAVARY, K.C.M., PRICE, G.S., VADEN, S.L. (2000) Hypercalcemia in cats: a retrospective study of 71 cases (1991–1997). *Journal of Veterinary Internal Medicine* vol. 14, n° 2, p. 184-189. [<https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2000.tb02234.x>]
- SIENER, R. (2021) Nutrition and kidney stone disease. *Nutrients* vol. 13, n° 6, p. 1917. [<https://doi.org/10.3390/nu13061917>]
- SOUCIE, J.M., COATES, R.J., MCCLELLAN, W., *et al.* (1996) Relation between geographic variability in kidney stones prevalence and risk factors for stones. *American Journal of Epidemiology* vol. 143, n° 5, p.

487-495. [<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a008769>]

STEVENSON, A.E., HYNDS, W.K., MARKWELL, P.J. (2003) Effect of dietary moisture and sodium content on urine composition and calcium oxalate relative supersaturation in healthy miniature schnauzers and labrador retrievers. *Research in Veterinary Science* vol. 74, n° 2, p. 145-151. [[https://doi.org/10.1016/S0034-5288\(02\)00184-4](https://doi.org/10.1016/S0034-5288(02)00184-4)]

TAYLOR, E.N., STAMPFER, M.J., CURHAN, G.C. (2005) Obesity, weight gain, and the risk of kidney stones. *JAMA* vol. 293, n° 4, p. 455-462. [<https://doi.org/10.1001/jama.293.4.455>]

TESTAULT, I., GATEL, L., VANEL, M. (2021) Comparison of nonenhanced computed tomography and ultrasonography for detection of ureteral calculi in cats: A prospective study. *Journal of Veterinary Internal Medicine* vol. 35, n° 5, p. 2241-2248. [<https://doi.org/10.1111/jvim.16210>]

THUMCHAI, R., LULICH, J.P., OSBORNE, C.A., *et al.* (1996) Epizootiologic evaluation of urolithiasis in cats: 3,498 cases (1982-1992). *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 208, n° 4, p. 547-551. [<https://doi.org/10.2460/javma.1996.208.04.547>]

ULRICH, L.K., OSBORNE, C.A., COKLEY, A., *et al.* (2009) Changing paradigms in the frequency and management of canine compound uroliths. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice, Changing Paradigms in Diagnosis and Treatment of Urolithiasis* vol. 39, n° 1, p. 41-53. [<https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2008.09.009>]

WEICHSELBAUM, R.C., FEENEY, D.A., JESSEN, C.R., *et al.* (1999) urocystolith detection : comparison of survey, contrast radiographic and ultrasonographic techniques in an *in vitro* bladder phantom. *Veterinary Radiology & Ultrasound* vol. 40, n° 4, p. 386-400. [<https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.1999.tb02131.x>]

WORMSER, C., REETZ, J.A., DROBATZ, K.J., *et al.* (2019) Diagnostic utility of ultrasonography for detection of the cause and location of ureteral obstruction in cats: 71 cases (2010–2016). *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 254, n° 6, p. 710-715. [<https://doi.org/10.2460/javma.254.6.710>]

XU, H., LAFLAMME, D.P.L., LONG, G.L. (2009) Effects of dietary sodium chloride on health parameters in mature cats. *Journal of Feline Medicine and Surgery* vol. 11, n° 6, p. 435-441. [<https://doi.org/10.1016/j.jfms.2008.10.001>]

Annexe 1 : Classification morpho-constitutionnelle des calculs urinaires

Type et sous-type morphologiques	Composants chimiques		Aspect morphologique	Interprétation clinique
	Périphérie	Section		
I				
Ia	Whewellite	Mamelonné, ombilication, plaque de Randall. Brun généralement foncé	Concentrique à cristallisation radiale, brun foncé	Hyperoxalurie intermittente, Cacchi Ricci
Ib	Whewellite	Rugueux, mamelonné, mamelons souvent cassés, voire creux. Pas d'ombilication. Brun foncé à brun noir	Inorganisé, parfois lacunaire. Brun foncé	Hyperoxalurie avec stase urologique, hyperoxalurie ancienne
Ic	Whewellite	Lisse bourgeonné, couleur crème	Cristaux prismatiques plus ou moins soudés, inorganisé. Brun clair à crème	Oxalose, hyperoxalurie primaire
Id	Whewellite	Lisse, brun, jaune	Concentrique en très fines couches sans cristallisation radiale	Hyperoxalurie avec confinement anatomique souvent lié à des anomalies morphologiques des voies urinaires
Ie	Whewellite	Localement bourgeonnant, mamelonnée ou rugueuse. Brun jaune clair à brun	Localement inorganisé ou à structure radiale. Brun, jaune clair à brun	Hyperoxaluries absorbatives, pathologies intestinales inflammatoires (maladie de Crohn et/ou résection de l'intestin grêle), diarrées graisseuses
II				
IIa	Weddellite	Cristaux bipyramidaux brillants aux angles vifs. Brun clair, jaune	Cristallisation radiale lâche. Brun, jaune clair	Hypocalcémie
IIb	Whewellite et weddellite	Cristaux épais et ternes aux angles émoussés, beige crème	Inorganisé, brun, jaune	Hypercalcémie intermittente et hyperoxalurie
IIc	Weddellite	Rugueux, beige à jaune	Concentrique en périphérie mais inorganisé au centre. Brun, jaune plus ou moins foncé	Hypercalcémie avec stase
III				
IIIa	Acide urique anhydre	Lisse ou très peu bosselé. De beige à orange	Concentrique à cristallisation radiale. Ocre à rouge	Hyperurémie intermittente avec pH urinaire acide
IIIb	Acide urique anhydre et dihydraté	Rugueux, poreux. Crème à brun rouge	Inorganisé, compacté. Orange à rouge	Hyperurémie, pH urinaire acide
IIIc	Urates	Rugueux, poreux. Crème à brun	Inorganisé, compacté. Gris à brun	Hyperurémie et alcalinisation thérapeutique
IIId	URAM	Rugueux, poreux. Gris à brun	Inorganisé. Gris à brun	Avec phosphates : diarrées infectieuses ou iatrogènes
IV				
IVa1	Carbapatite	Rugueux, bosselé. Blanc à beige	Friable, concentrique. Blanc à beige	Avec struvite : hyperurémie + infection urinaire à germes uréasiques
IVa2	Carbapatite et protéines	Bosselé, craquelé, vermissé, brun, jaune	Concentrique en couches de couleurs alternées, blanc et brun	Avec acide urique : alcalinisation thérapeutique
IVb	Carbapatite, struvite et URAM	Bosselé, rugueux avec des dépôts blancs à brun foncé	Concentrique en couches de couleurs alternées, blanc et brun	Infection urinaire, hypercalcémie, hyperparathyroïdie primaire, acidose tubulaire secondaire
IVc	Carbapatite et struvite	Cristaux soudés aux angles peu vifs, blanc	Lâche, concentricité et structure radiale floue blanchâtre	Troubles de l'acidification rénale (acidose d'Albright, Sjögren, Cacchi Ricci)
IVd	Brushite	Rugueux ou pommelé, légèrement translucide. Crème à beige	Concentrique radiale. Crème à grège	Injection urinaire avec alcalinisation
V				
Va	Cystine	Granuleux ou bosselé, creux, translucide brun à jaune	Radiale, grossier, jaune à brun clair	Hypercalcémie, hyperparathyroïdie, hyperphosphaturie
Vb	Cystine et carbapatite	Plus ou moins lisse. Crème à jaune	Finement concentrique, jaune au centre et blanchâtre en périphérie	Injection urinaire à germes uréasiques
VI				
VIa	Protéines et phosphates	Souvent mou, lisse. Blanc à brun	Inorganisé, brun à blanchâtre en condensation variable	Cystinurie
VIb	Protéines et divers constituants	Rugueux, écaillé, brun à noir	Feuilleté, friable. Brun à noir	Cystinurie traitée par alcalinisation
VIc	Protéines et whewellite	Lisse. Brun noir	Inorganisé ou composé d'une couche protéique, contenant des éléments cristallins brun noir	Pyélonéphrite
				Lithiase médicamenteuses et sécrétion de protéines tubulaires Dialyse



ANNEXE 2 : Formulaire de demande d'analyse de calcul urinaire Vet'Analys

BON POUR 1 ANALYSE DE CALCUL OU SABLOSE URINAIRE AVEC RECOMMANDATION NUTRITIONNELLE ASSOCIÉE

***OFFRE VALABLE DU 01/01/2019 AU 31/12/2019 EN FRANCE MÉTROPOLITAINE**

- ROYAL CANIN® vous offre une analyse par spectrométrie infra-rouge réalisée par le laboratoire Vet'Analys.
- Envoyez ce bon rempli avec le calcul ou la sablose urinaire à l'adresse ci-dessous au plus tard le 31/12/2019 (cachet de la poste faisant foi).
- Envoi à effectuer selon les normes en vigueur et en respectant le **triple emballage**.
- **Pour une analyse de sablose** : envoyez à minima un culot de **3 mm de sablose dans un tube sec de 5 ml centrifugé et séparé de l'urine**.
- **Pour une analyse de calcul** : envoyez le calcul au sec, séparé de l'urine.
- Vous recevrez par mail, sous **5 jours ouvrés**, les résultats avec la recommandation nutritionnelle ROYAL CANIN® associée (pensez à vérifier l'**adresse mail** renseignée sur ce bon).

IDENTIFIANTS

 PROPRIÉTAIRE	Nom :	 ANIMAL	Nom :
		Chat <input type="checkbox"/> / Chien <input type="checkbox"/>
		Race :
			Âge : / Poids :
			Score corporel : 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>
			Sexe : Mâle <input type="checkbox"/> Femelle <input type="checkbox"/> Stérilisé(e) <input type="checkbox"/>

COMMÉMORATIFS

Premier épisode : Oui Non / Date du précédent épisode lithiasique :

Aliment actuel :

Souhaitez-vous être appelé par un vétérinaire de la communication scientifique ROYAL CANIN® ? Oui Non

pH urinaire : Densité urinaire :

Résultats ECBU (le cas échéant) :

Localisation de la sablose ou du/des calcul(s) envoyés : Reins Uretère Vessie Urètre Expulsé

L'animal a-t-il reçu de l'Allopurinol dans sa vie ? : Oui Non

L'animal présente-t-il une autre maladie associée ?

non surpoids troubles dermatologiques troubles digestifs autre :

Adresse d'envoi :
**VET'ANALYS Laboratoire
 de Biologie Vétérinaire**
 Pôle d'activité hyérois
 1128 route de Toulon, la Bayorre
 83400 HYÈRES
 Tél. 04 94 66 99 90

COORDONNÉES DE LA CLINIQUE* :

.....

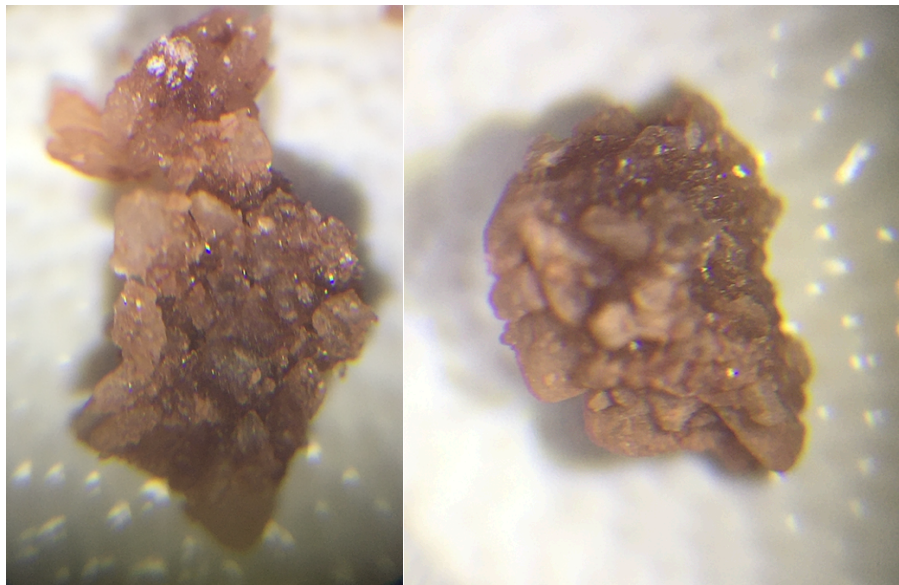
CODE CLIENT* :

.....

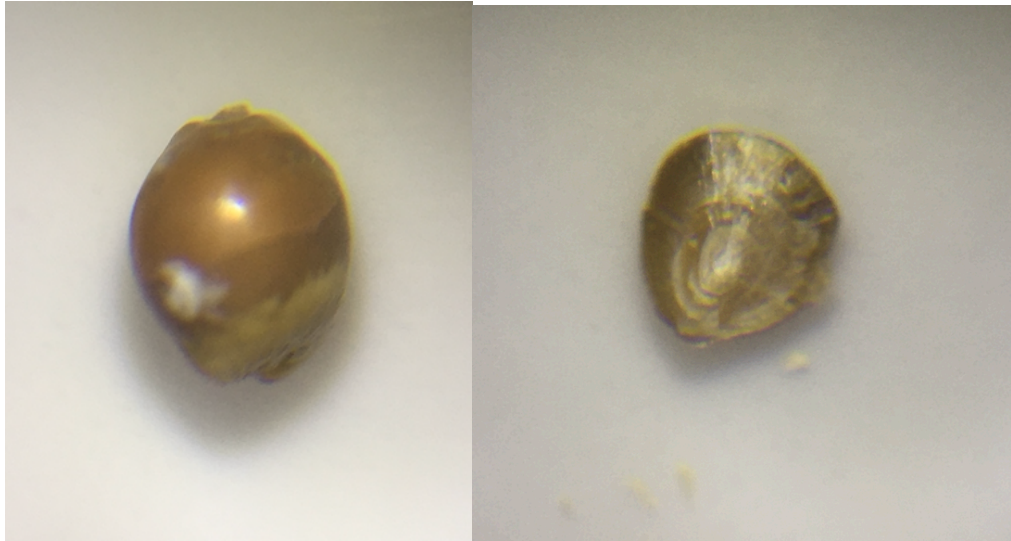
 Tél.* :
 Email* :



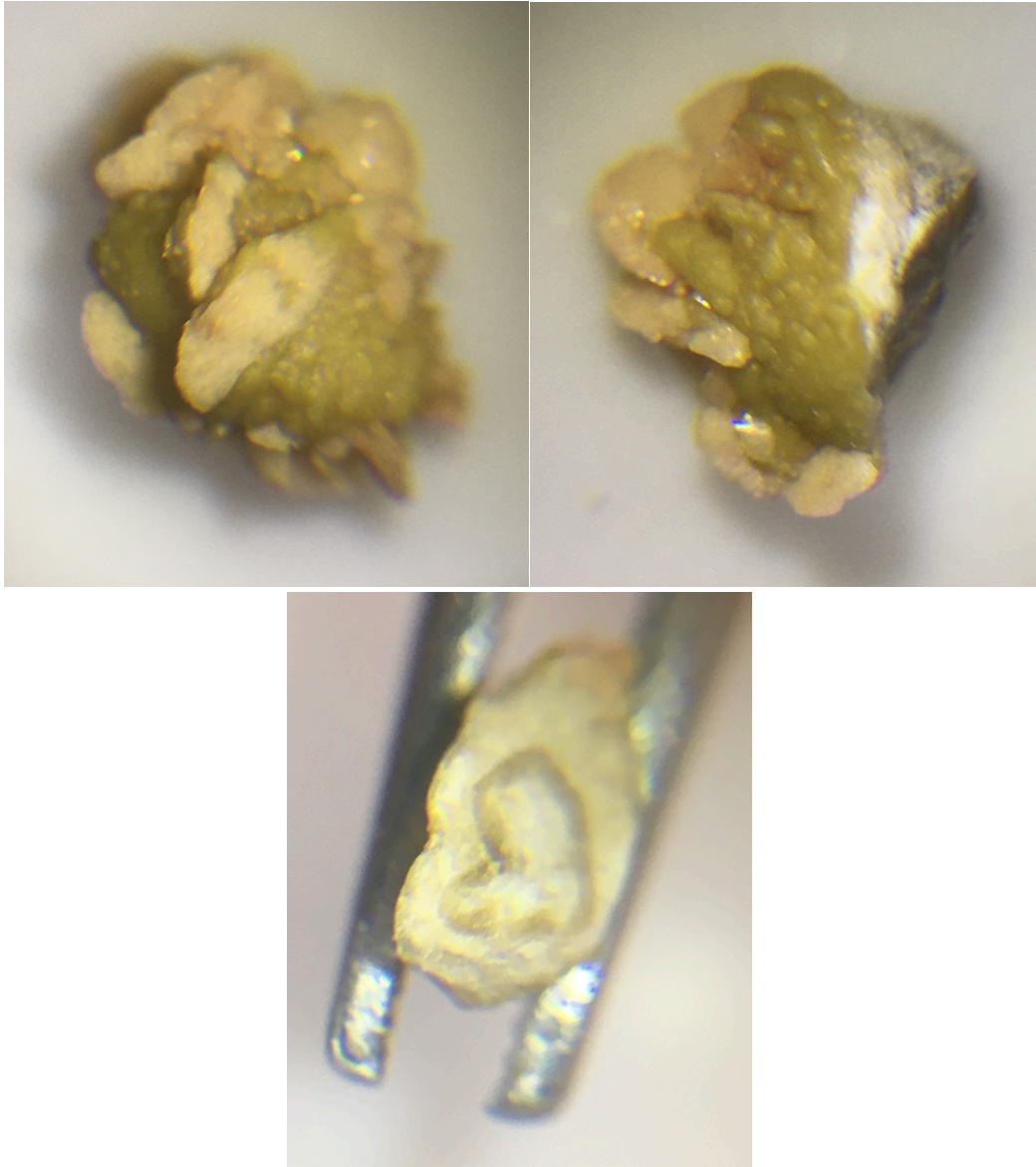
ANNEXE 3 : Quelques exemples de calculs urinaires félines (photographies Vet'Analys).



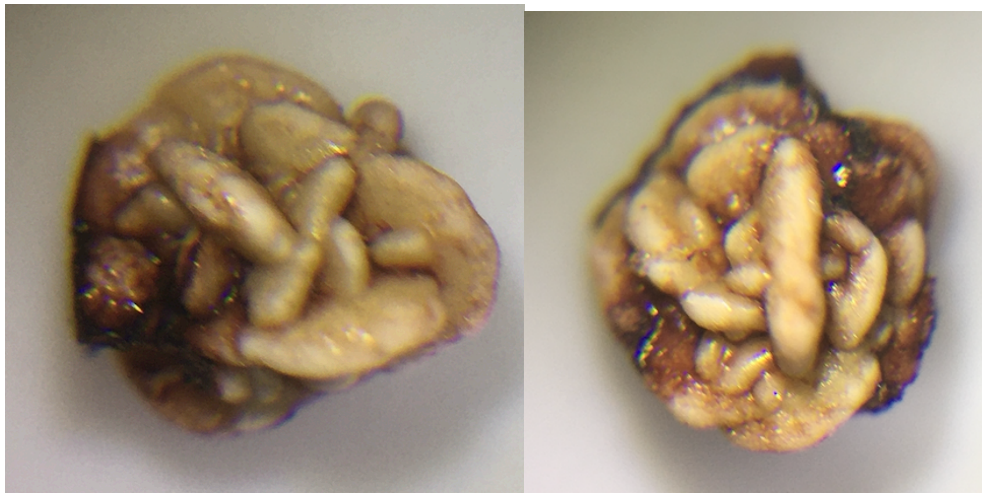
Calculs de struvite 100%.



Calcul de whewellite de type Ia (voir annexe 1) avec une plaque de Randall. La section est composée de stries radiales et concentriques.



Calcul d'oxalate de calcium (whewellite et weddellite) et carbapatite, avec suspicion de conversion cristalline.



Calcul d'oxalate de calcium (whewellite et weddellite) et carbapatite aux spicules émoussées.



Calcul d'urate d'ammonium 100%.

UROLITHIASE CHEZ LE CHAT : ÉTUDE RÉTROSPECTIVE SUR 4 705 CALCULS URINAIRES FÉLINS PRÉLEVÉS DE 2016 À 2021 EN FRANCE ET ANALYSÉS PAR SPECTROMÉTRIE INFRAROUGE

AUTEUR : Hortense HÉLIER

RÉSUMÉ :

Ce travail aborde dans une première partie bibliographique les généralités sur la lithogenèse, l'évaluation des risques de formation de calculs, l'épidémiologie et la prise en charge de l'urolithiase féline.

Dans un second temps, une étude rétrospective portant sur 4 705 calculs urinaires prélevés chez les chats entre 2016 et 2021 en France et analysés par spectrométrie infrarouge est menée. Cette étude a pour objectif de présenter l'épidémiologie actuelle, de mesurer l'évolution des proportions des différents calculs depuis la dernière étude française, et de préciser les facteurs de risque liés à leur formation. De plus, elle envisage l'intérêt potentiel d'adapter la classification morpho-constitutionnelle en médecine vétérinaire.

Chez les chats, les oxalates de calcium sont les calculs les plus fréquents, suivis de près par les struvites. En particulier, les chats de race tels que les Persans, Sacrés de Birmanie et British sont surreprésentés dans la population française féline présentant des calculs urinaires. Les chats européens, en revanche, présentent plus souvent des calculs de struvite. Les mâles et les chats plus âgés (en moyenne 8,2 ans) sont davantage affectés par les oxalates de calcium, tandis que les femelles sont plus touchées par les struvites. Les chats en surpoids sont surreprésentés dans les cas de calculs de struvite. Les données récoltées permettent d'établir une analyse multivariée afin de prédire la nature du calcul avant son analyse.

Le nombre de calculs, leur taille, leur forme, ainsi que les caractéristiques morphologiques comme la consistance ou la couleur, varient en fonction de la nature du calcul.

MOTS CLÉS :

CALCUL URINAIRE, CHAT, UROLITHIASE, SPECTROMÉTRIE INFRAROUGE, OXALATE DE CALCIUM, STRUVITE, WHEWELLITE, WEDDELLITE.

JURY :

Président : Pr Laurent TIRET

Directrice de thèse : Pr Christelle MAUREY-GUÉNEC

Examinatrice : Dr Morgane CANONNE-GUIBERT

Invitée : Dr Claire Nélaton

UROLITHIASIS IN CATS: RETROSPECTIVE STUDY OF 4,705 FELINE URINARY CALCULI COLLECTED FROM 2016 TO 2021 IN FRANCE AND ANALYZED BY INFRARED SPECTROMETRY

AUTHOR: Hortense HÉLIER

SUMMARY:

In a first bibliographical section, this work covers general information on lithogenesis, risk assessment for stone formation, epidemiology and management of feline urolithiasis.

Secondly, a retrospective study of 4,705 urinary calculi collected from cats between 2016 and 2021 in France and analyzed by infrared spectrometry is conducted. The aim of this study is to present the current epidemiology, measure changes in the proportions of different stones since the last French study, and specify the risk factors associated with their formation. It also considers the potential value of adapting the morpho-constitutional classification in veterinary medicine.

In cats, calcium oxalates are the most common stones, closely followed by struvites. In particular, pedigree cats such as Persians, Sacred Birmans and British are over-represented in the French feline population with urinary calculi. European cats, on the other hand, are more likely to have struvite stones. Males and older cats (average age 8.2 years) are more affected by calcium oxalates, while females are more affected by struvites. Overweight cats are over-represented in struvite stone cases. The data collected enables multivariate analysis to predict the nature of the calculus prior to analysis.

The number of calculi, their size and shape, as well as morphological characteristics such as consistency or color, vary according to the nature of the calculus.

KEYWORDS:

URINARY STONE, CAT, UROLITHIASIS, INFRARED SPECTROMETRY, CALCIUM OXALATE, STRUVITE, WHEWELLITE, WEDDELLITE.

JURY:

Chairperson: Pr Laurent TIRET

Thesis Director: Pr Christelle MAUREY-GUÉNEC

Reviewer: Dr Morgane CANONNE-GUIBERT

Guest: Dr Claire Nélaton