



HAL
open science

Étude de la prédictibilité des données épidémiologiques et radiographiques pour déterminer la nature minérale d'un calcul urinaire chez le chien

Mathieu Motteau-Lévêque

► **To cite this version:**

Mathieu Motteau-Lévêque. Étude de la prédictibilité des données épidémiologiques et radiographiques pour déterminer la nature minérale d'un calcul urinaire chez le chien. Médecine vétérinaire et santé animale. 2024. dumas-04660638

HAL Id: dumas-04660638

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04660638v1>

Submitted on 24 Jul 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.

Année 2024

**ÉTUDE DE LA PRÉDICTIBILITÉ DES DONNÉES
ÉPIDÉMIOLOGIQUES ET RADIOGRAPHIQUES POUR
DÉTERMINER LA NATURE MINÉRALE D'UN CALCUL
URINAIRE CHEZ LE CHIEN**

THÈSE

pour obtenir le diplôme d'État de

DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement devant
la Faculté de Médecine de Créteil (UPEC)

le 21 juin 2024

par

Mathieu, Thierry, Claude MOTTEAU-LÉVÊQUE

sous la direction de

Christelle MAUREY-GUENEC

JURY

Président du jury :	M. Loïc DESQUILBET	Professeur à l'EnvA
Directrice de thèse :	Mme Christelle MAUREY-GUÉNEC	Professeur à l'EnvA
Examineur :	M. Mathieu MANASSERO	Professeur à l'EnvA

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



version Janvier 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	Benckekroun	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	Desquibet	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-Guéneq	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
Mme	Bertoni	Lelia	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
Mme	Mtimet	Narjès	Maître de conférences	DPASP
M	Mortier	Jérémy	Maître de conférences associé	DEPEC
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
Mme	Ravary-Plumioën	Bérangère	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, Professeur DESQUILBET Loïc

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse et pour votre aide précieuse à l'élaboration de ce travail.

Sincères remerciements.

A Madame MAUREY-GUENEC Christelle, Maitre de conférences à l'EnvA,

Qui nous a fait l'honneur de reprendre l'encadrement de ce travail.

Pour votre disponibilité, vos nombreux conseils, votre patience et votre gentillesse ainsi que le temps pris pour corriger minutieusement ce manuscrit.

Sincères remerciements.

A Monsieur MANASSERO Mathieu, Professeur à l'EnvA,

Qui nous a fait l'honneur d'accepter de prendre part à ce jury de thèse.

Sincères remerciements.

A Monsieur MORTIER Jérémy, Professeur à l'EnvA,

Pour avoir choisi ce sujet et avoir commencé l'encadrement de cette thèse.

Sincères remerciements.

A Monsieur PULIDO VEGA Diégo, Résident en Imagerie médicale à l'EnvA

Pour m'avoir énormément aidé durant l'élaboration de cette thèse. J'espère que ce travail te sera utile pour ton article.

Sincères remerciements.

A Monsieur MOTTEAU Thierry, Madame MOTTEAU-LEVEQUE Véronique et Madame MOTTEAU-LEVEQUE Jessica, mes parents et ma sœur,

Pour votre aide précieuse et votre soutien sans faille tout au long de l'élaboration de ce manuscrit.

Sincères remerciements.

Table des matières

Liste des figures.....	3
Liste des tableaux	5
Liste des abréviations.....	7
Introduction	9
Première partie : Étude bibliographique	11
1. Généralités sur les urolithes	11
A. <i>La lithogenèse</i>	11
a. La cristallogenèse	11
b. La croissance du cristallin	13
c. Composition et classification des calculs	15
d. La balance entre promoteurs et inhibiteurs de la cristallisation.....	16
e. Le pH urinaire.....	18
B. <i>Les urolithes les plus fréquents chez le chien</i>	21
a. Épidémiologie des calculs chez le chien	21
b. Les oxalates de calcium	22
c. Les struvites	26
C. <i>Natures minérales plus rares chez le chien</i>	29
a. Les calculs d'urates d'ammonium	29
b. Les calculs de cystine	31
c. Les calculs de silice et opale.....	33
2. Les facteurs prédisposants à la lithiase urinaire	34
A. <i>Les facteurs liés à l'animal</i>	34
a. Le statut sexuel	34
b. Le statut castré ou intact	34
c. L'âge.....	35
d. La race.....	36
B. <i>Les facteurs prédisposants environnementaux</i>	36
a. Le cadre de vie	36
b. Les maladies systémiques	37
c. Les infections.....	38
d. Médicaments et toxiques.....	38
e. Alimentation.....	40
3. Démarche diagnostique et thérapeutique pour la prise en charge des urolithes.....	40
A. <i>Démarche diagnostique</i>	40
a. Présentation clinique	40
b. Confirmation de la présence des calculs.....	41
c. Prédiction de la nature minérale.....	42
B. <i>Démarche thérapeutique</i>	43
a. Traitement médical	43
b. Traitement chirurgical	43
c. Traitement préventif.....	44
Deuxième partie : Étude de la prédictibilité des données radiographiques des cas d'urolithiase canine présentés à l'EnvA entre octobre 2009 et août 2023.....	47
1. Introduction	47
2. Matériels et méthodes.....	47
A. <i>Définition de la population cible et recrutement</i>	47
a. Critères d'inclusion et recensement des cas	47
b. Critères d'exclusion	48
B. <i>Méthodologie</i>	49

a. Collecte des données épidémiologiques	49
b. Collecte des données radiographiques	50
c. Méthodes d'analyse statistique des résultats	52
3. Résultats	56
A. <i>Étude des données épidémiologiques</i>	56
a. Age	56
b. Sexe et statut reproducteur	58
c. Race	59
d. Infections urinaires	62
B. <i>Étude globale des données radiographiques dans les différents groupes</i>	65
a. Étude des calculs d'oxalate de calcium.....	65
b. Étude des calculs de struvite.....	66
c. Étude des calculs de cystine	67
C. <i>Études statistiques des données radiographiques</i>	68
a. Taille des calculs	68
b. Opacité	68
c. Présence de calculs dans le HAU	69
d. Nombre de calculs, organisation interne, contours et bords	70
e. Analyse des différentes formes	70
4. Discussion.....	72
A. <i>Analyse des résultats épidémiologiques</i>	72
B. <i>Analyse des résultats radiologiques</i>	73
C. <i>Limites de notre étude et ses perspectives</i>	76
Conclusion	81
Liste des références bibliographiques	83
Annexe 1 : Recueil de données sur les races pures les plus prédisposées à un type de calcul urinaire selon diverses études	86
Annexe 2 : Résumé des recommandations du consensus ACVIM sur le traitement des urolithiases du chien et du chat (Lulich et al., 2016)	88
Annexe 3 : Résumé des recommandations du consensus ACVIM sur la prévention des urolithiases du chien et du chat (Lulich et al., 2016)	Erreur ! Signet non défini.
Annexe 4 : Feuille de calcul Excel recueillant les données épidémiologiques de l'échantillon.	Erreur ! Signet non défini.
Annexe 5 : Feuille de calcul Excel recueillant les données radiographiques de l'échantillon.	Erreur ! Signet non défini.
Annexe 6 : Races de notre étude par groupe de calculs comparativement à deux études françaises (Nelaton2021, Blavier2012)	Erreur ! Signet non défini.

Liste des figures

Figure 1 : Principales causes de sursaturation urinaire (Daudon <i>et al.</i> , 2012)	12
Figure 2 : Mode général de la formation des calculs urinaires (Cotard, 1993)	14
Figure 3 : Anatomie d'un calcul urinaire mixte (Lulich <i>et al.</i> , 2011).....	15
Figure 4 : Solubilité et pH urinaire (Stevenson et Rutgers, 2008).....	19
Figure 5 : Facteurs de risque urinaire entraînant la formation de calculs (Hydratation for health, 2018).	20
Figure 6 : Aspect macroscopique en rose des sables d'un calcul d'oxalate de calcium (Cotard, 1993).	23
Figure 7 : Aspect microscopique d'un cristal d'oxalate de calcium dihydraté (Stevenson et Rutgers, 2008)	23
Figure 8 : Mécanisme physiopathologique de l'HyperCalciurie Idiopathique (Daudon et al., 2012)	25
Figure 9 : Aspect macroscopique en forme pyramidale d'un calcul de struvite (Seaman et Bartges, 2001)	26
Figure 10 : Aspect microscopique en couvercles de cercueil des struvites (Stevenson et Rutgers, 2008)	26
Figure 11 : Schéma de la lithogénèse infectieuse (Daudon et al., 2008).....	28
Figure 12 : Aspect macroscopique des calculs d'urates (McCue <i>et al.</i> , 2009).	29
Figure 13 : Aspect microscopique d'un cristal d'urate d'ammonium (Daudon et al., 2012).	30
Figure 14 : Illustration schématique du métabolisme des purines (Maurey, 2019 ; Villaverde, 2014).	30
Figure 15 : Aspect macroscopique de calculs de cystine (Stevenson et Rutgers, 2008).	31
Figure 16 : Aspect microscopique d'un cristal de cystine (Stevenson et Rutgers, 2008).	32
Figure 17 : Calcul de silice (VET'ANALYS Marseille)	33
Figure 18 : Diagramme de flux de l'étude	48
Figure 19 : Les formes des calculs : à facette (a), arrondie (b), bosselée (c), irrégulière (d), ovoïde (e), pyramidale (f), spiculée (g) et tubulaire (h). Les photographies proviennent des radiographies de nos cas.....	51
Figure 20 : Exemple de courbe de ROC pour le critère "taille" du groupe PAM.	53
Figure 21 : Interprétation des valeurs du coefficient Kappa (Landis et Koch, 1977).....	55

Figure 22 : Répartition des natures minérales des calculs urinaires dans notre échantillon	56
Figure 23 : Répartition des âges des chiens au sein de notre échantillon	57
Figure 24 : Exemple de schéma de prédiction de la composition minérale d'un calcul.	79

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification simplifiée morpho-constitutionnelle des calculs purs urinaires (selon Daudon et al., 2012).....	16
Tableau 2 : Promoteurs, substances cristallisables et espèces cristallines (Daudon et al., 2008) .	17
Tableau 3 : Inhibiteurs de la cristallisation (Daudon <i>et al.</i> , 2008).	18
Tableau 4 : Pourcentage des différentes natures minérales.....	22
Tableau 5 : Classification de la cystinurie canine (Brons et al., 2013).....	32
Tableau 6 : Prédilection de genre à présenter une lithiase urinaire selon diverses études.	34
Tableau 7 : Prévalence des natures minérales en fonction de l'âge moyen.....	35
Tableau 8 : Prévalence des races pures selon la nature des calculs urinaires.	36
Tableau 9 : Démarche étiologique face à l'urolithiase chez le chien (Hébert et Bulliot, 2018 ; Maurey, 2019).	37
Tableau 10 : Médicaments et toxiques pouvant contribuer à la lithiase urinaire (Daudon, 1999 ; Daudon et al., 2012 ; Faucher, 2016 ; Fontaine, 2022 ; Lulich et al., 1999 ; Osborne et al., 2009).....	39
Tableau 11 : Comparaison de la radiographie et de l'échographie dans l'évaluation d'un urolithe (Lulich et al., 2011).....	41
Tableau 12 : Aspects radiographiques des calculs chez le chien (Rault, 2016).....	42
Tableau 13 : Approche thérapeutique simplifiée selon la nature minérale du calcul (Faucher, 2016 ; Lulich et al., 2016 ; Palma et al., 2013 ; Quéau, 2016 ; Villaverde, 2014).	46
Tableau 14 : Apport d'information de la part d'un test diagnostique lorsque son résultat est positif selon la valeur du rapport de vraisemblance positif (RV+) (Desquilbet, 2023c).	54
Tableau 15 : Évaluation de la concordance entre l'opacité subjective et l'opacité calculée.	54
Tableau 16 : Age médian dans les différents groupes de l'étude	57
Tableau 17 : Répartition des sexes et des statuts reproducteurs des chiens dans notre étude.....	58
Tableau 18 : Répartition des sexes et des statuts reproducteurs des chiens dans les différents groupes de l'étude.....	58
Tableau 19 : Races de chien apparaissant deux fois ou plus dans l'étude.....	59
Tableau 20 : Répartition des races de chien au sein du groupe CaOx.....	60
Tableau 21 : Répartition des races de chien au sein du groupe PAM.	61
Tableau 22 : Répartition des races de chien au sein du groupe Cystine.....	62

Tableau 23 : Bactéries les plus fréquentes dans notre population.	63
Tableau 24 : Nombre d'ECBU positif dans les différents groupes.	63
Tableau 25 : Bactéries identifiées dans le groupe PAM.	64
Tableau 26 : Caractéristiques radiographiques du groupe CaOx dans notre échantillon.....	65
Tableau 27 : Caractéristiques radiographiques du groupe PAM dans notre échantillon	66
Tableau 28 : Caractéristiques radiographiques du groupe Cystine dans notre échantillon	67
Tableau 29 : Valeur seuil de la taille des calculs de struvite selon plusieurs scénari en fonction de la probabilité pré-test et du rapport du coût d'un individu faux négatif par rapport à celui d'un faux positif.	68
Tableau 30 : Exemple de tableau à double entrée montrant comment calculer la précision diagnostique d'un test avec un résultat binaire.	69
Tableau 31 : Synthèse des résultats pour les différents critères en fonction des groupes.	70
Tableau 32 : Résultats des tests du Chi2 et de Fisher pour les différentes formes.	71
Tableau 33 : Opacité subjective maximale des urolithes de notre étude.	74
Tableau 34 : comparatifs des caractéristiques morphologiques de nos calculs selon le type minéral.	75
Tableau 35 : Récapitulatifs des différents facteurs prédictifs de la composition minérale d'un urolithe.	78

Liste des abréviations

CaOx : Oxalate de Calcium

CFN : Coût d'un faux négatif

CFP : Coût d'un faux positif

ChuvA : Centre hospitalier universitaire vétérinaire d'Alfort

CKC : Cavalier King Charles

EnvA : École nationale vétérinaire d'Alfort

HAU : Haut appareil urinaire

HCI : HyperCalciurie Idiopathique

IC : Intervalle de Confiance

L5 : 5^{ème} vertèbre lombaire

n : nombre

PAM : Phosphate-Ammonium-Magnésium ou struvite

Se : Sensibilité

Sp : Spécificité

Vs : Versus

Introduction

Le terme d'urolithiase désigne la maladie résultant de la formation de calculs dans les reins ou les voies urinaires. Le mot lithiase vient du grec *lithos* (pierre) et celui de calcul du latin *calculus*, nom de petits cailloux utilisés par les comptables romains (Daudon *et al.*, 2012).

La lithiase urinaire est un problème courant chez les chiens, responsable d'environ 20 % des motifs de consultations vétérinaires chez le chien présentant des affections du bas appareil urinaire (Mendoza-López *et al.*, 2017). C'est une maladie chronique multifactorielle. Les calculs peuvent se former n'importe où dans les voies urinaires, bien que chez le chien, la grande majorité se produit dans la vessie. Le calcul est une agglomération de cristaux liée par une matrice organique. Les calculs d'oxalate de calcium (CaOx) et de struvites (PAM) sont les plus courants chez le chien (Cotard, 1999).

Dans certains cas, leur extraction chirurgicale peut être évitée au profit de traitement calculolytique. Ainsi, la prédiction de la nature minérale de ces calculs est importante dans la démarche diagnostique. Les données épidémiologiques, la connaissance des facteurs prédisposants, l'analyse d'urine sont des éléments qui peuvent guider le clinicien. Nous nous sommes demandés dans quelle mesure la radiographie standard était une aide complémentaire à cette démarche.

Ainsi, nous proposons dans ce travail de confronter les résultats épidémiologique et radiologiques de notre étude rétrospective aux données bibliographiques actuelles dans l'objectif d'identifier des facteurs radiologiques prédictifs de la nature minérale d'un calcul.

Première partie : Étude bibliographique

1. Généralités sur les urolithes

A. La lithogenèse

Les sédiments microscopiques sont appelés cristaux et les sédiments macroscopiques plus volumineux sont appelés urolithes ou calculs pouvant être responsables de lithiase (Stevenson et Rutgers, 2008). Le terme de lithogenèse regroupe l'ensemble des processus qui conduisent au développement d'un calcul dans les voies urinaires. Le processus de la lithogenèse peut être décomposé en sept étapes qui se succèdent ou s'entremêlent au cours de la formation d'un calcul (Daudon *et al.*, 2008).

a. La cristallogenèse

Certaines étapes, qui concernent les premières étapes de la lithogenèse et que l'on peut désigner sous le terme de cristallogenèse, correspondent à la formation de cristaux à partir de substances initialement dissoutes dans les urines et ne constituent pas en soi un processus pathologique (Daudon *et al.*, 2008). La cristallogenèse comprend les deux premières étapes de la lithogenèse à savoir :

- la sursaturation des urines : elle traduit un excès de concentration d'une substance dissoute dans l'urine par rapport aux capacités solvantes de celle-ci (Daudon *et al.*, 2012).
- la germination cristalline ou nucléation correspond à la formation d'un germe cristallin (nucléus) à partir des ions de la substance en solution dans les urines.

Le point commun à tous les mécanismes de formation de calculs est la sursaturation des urines en cristaux. Elle résulte de nombreuses causes (*Figure 1*). La sursaturation des urines est l'élément fondamental qui conditionne le risque de formations des cristaux (Daudon *et al.*, 2012). Néanmoins, toute solution sursaturée ne donne pas lieu à la formation spontanée de précipités. Il existe deux types de sursaturation :

- La sursaturation métastable : les solutés ne précipitent pas spontanément
- La sursaturation labile : l'urine contient une concentration de solutés au-dessus de sa capacité de les maintenir en solution. La concentration urinaire à laquelle cela se produit est le point de formation. Au-dessus de ce point de formation, les solutés dissous précipitent spontanément (Bartges, 2011)

Il faut aussi savoir que, dans les urines, le risque de faire des cristaux ne devient réel que pour des niveaux de sursaturation élevés compris entre 2 et 20 selon la substance et son environnement (Daudon *et al.*, 2008).

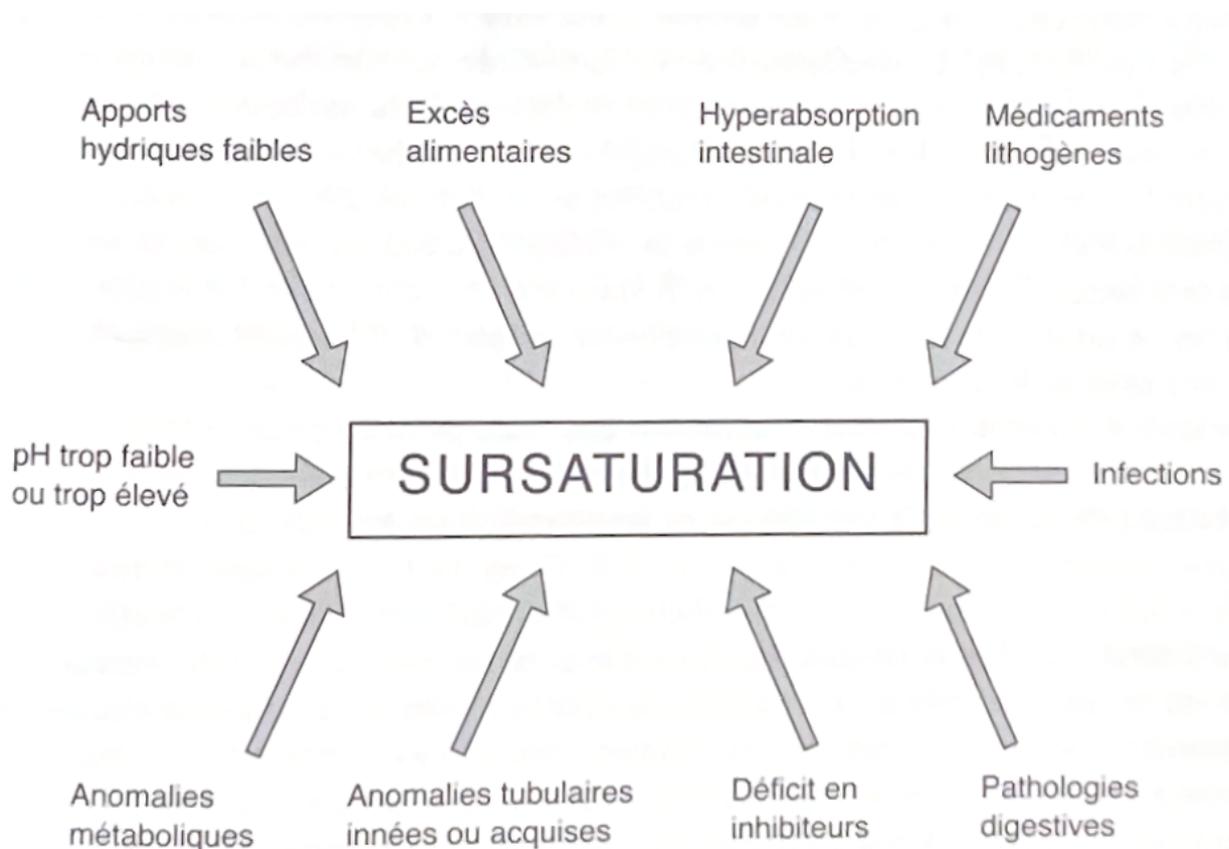
Ainsi dans certains cas, des germes cristallins peuvent se former à partir des ions de la substance en sursaturation dans les urines : c'est la germination ou nucléation.

On distingue la nucléation homogène, quand le nucléus n'est composé que d'un seul cristallin, de la nucléation hétérogène, quand sont présentes plusieurs espèces (Daudon *et al.*, 2008).

Ainsi ces deux premières étapes ne sont possibles que si certaines conditions sont réunies (Daudon *et al.*, 2012, 2008 ; Deschamps, 2010) telles que :

- un excès d'apport de certains minéraux (alimentation, médicaments),
- des anomalies métaboliques : excès de production par le métabolisme endogène (hyperoxalurie primaire) ou encore d'un excès d'excrétion urinaire (cystinurie),
- une perte de solubilité du cristal en raison d'un pH favorable,
- et toutes causes permettant des conditions propices au maintien des cristaux dans les voies urinaires (défaut de diurèse par une hydratation insuffisante, rétention vésicale, inflammation vésicale, présence de fils de suture...).

Figure 1 : Principales causes de sursaturation urinaire (Daudon *et al.*, 2012)



Néanmoins, les nucléus engendrés par une sursaturation élevée des urines sont initialement très petits (< 100 nm) et ne constituent donc pas une menace de lithiase (Daudon *et al.*, 2008).

C'est en soi leur croissance dans un milieu propice, qui constitue le risque d'urolithiase.

b. La croissance du cristallin

Les 5 autres étapes de la lithogénèse sont (Daudon *et al.*, 2012, 2008) :

- la croissance des cristaux : les cristaux grossissent plus ou moins rapidement par captation de nouvelles molécules pour former des particules plus volumineuses.
- l'agrégation des cristaux : étape importante de la lithogénèse, c'est l'assemblage des cristaux par un phénomène d'attraction électrostatique en fonction de leur charge superficielle.
- l'agglomération cristalline : elle implique des macromolécules urinaires 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.
- la rétention des particules cristallisées : première étape du processus lithogène proprement dit, à partir de laquelle des particules cristallines formées au cours des différentes phases de la cristallogénèse vont être retenues dans le rein ou les voies urinaires et vont croître pour former un calcul (Daudon *et al.*, 2008). Sans cette étape, les cristaux peuvent être évacués des voies urinaires avant d'atteindre une taille plus importante.

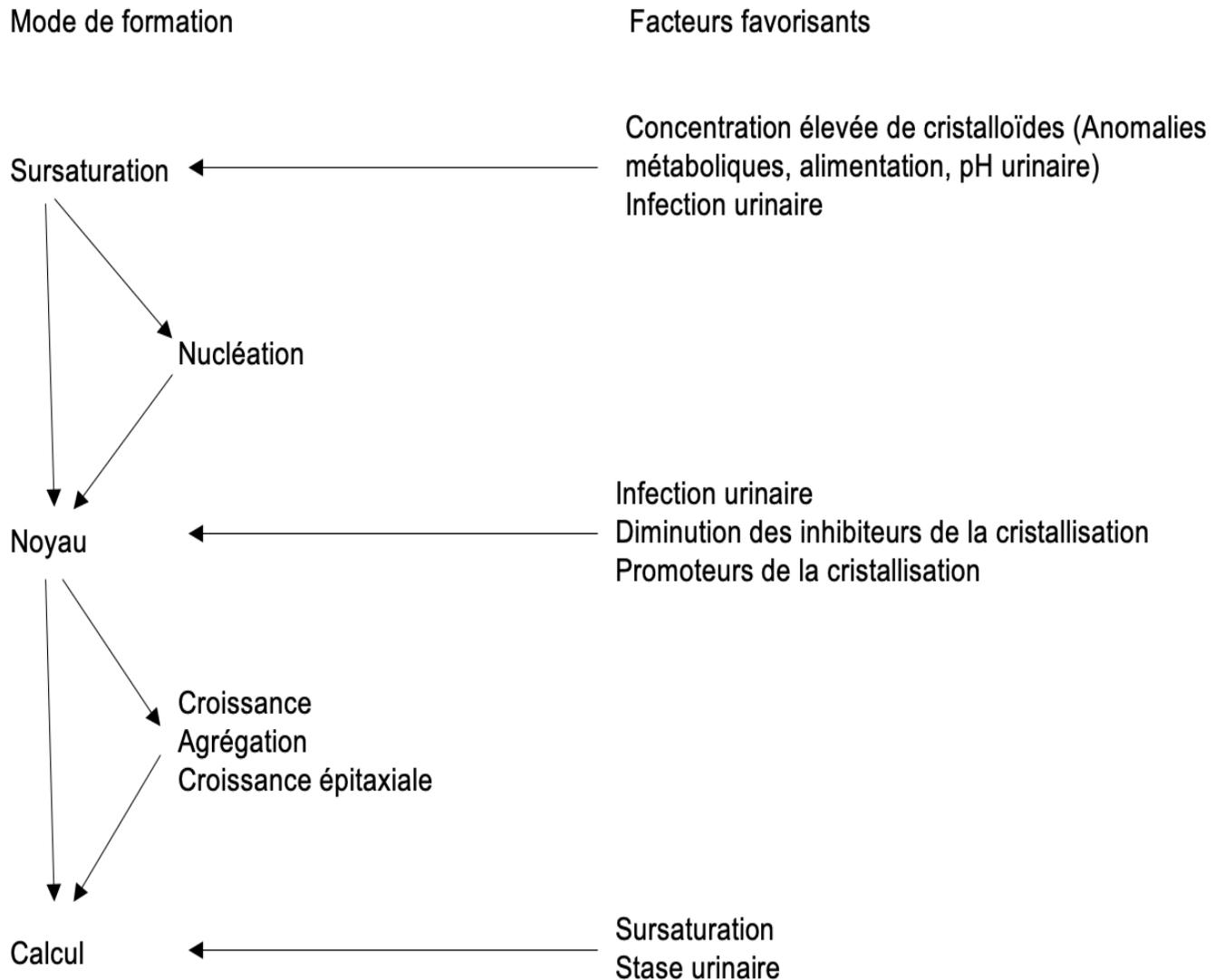
Chez le chien, il existe une cristallurie physiologique et la formation des calculs est en partie inhibée par le drainage naturel des cristaux par les urines.

Ainsi, une rétention des particules cristallisées dans l'appareil urinaire et plus spécifiquement dans la vessie, peut être due à un ralentissement du transit urinaire ou à la baisse de la diurèse. L'augmentation de la concentration urinaire des cristaux et leur rétention peuvent provoquer la formation de calcul. La stase urinaire d'origine pathologique ou liée à l'impossibilité pour l'animal d'uriner fréquemment constitue un facteur tout aussi important de la lithogénèse (Cotard, 1993 ; Lulich *et al.*, 2011).

- la croissance du calcul : la vitesse de croissance du calcul est variable, selon l'importance des anomalies physicochimiques de l'urine.

Toutes ces étapes définissent la formation d'un calcul (*Figure 2*).

Figure 2 : Mode général de la formation des calculs urinaires (d'après Cotard, 1993)



La croissance du cristallin est toujours favorisée par la sursaturation des urines mais pour que se forme un calcul, des facteurs supplémentaires sont nécessaires.

Ces facteurs sans être exhaustifs sont :

- Un déséquilibre entre les promoteurs et les inhibiteurs de la cristallisation,
- Les variations du pH urinaire,
- Les infections urinaires.

Ces trois facteurs seront développés dans les parties suivantes.

La lithogénèse aboutit alors à différents types de calculs (purs ou mixtes) et de composition variable.

c. Composition et classification des calculs

Les urolithes sont de compositions très diverses avec souvent un élément prédominant (généralement minéral, parfois organique) associé à des éléments secondaires dont les protéines et/ou des pigments. Leur aspect macroscopique est donc très variable (Fontaine, 2022).

Les urolithes peuvent être purs ou mixtes. Quand l'urolithe est au moins composé à 70% du même minéral, il prend le nom de ce minéral (Lulich *et al.*, 2011). Dans le cas contraire, il s'agit d'un calcul mixte. Un élément présent entre 5 et 15 % sera qualifié de trace (Blavier *et al.*, 2012).

Un exemple de composition de calcul mixte (*Figure 3*) peut être un noyau constitué d'oxalate de calcium (CaOx) avec des couches périphériques constituées de PAM (Cotard, 1993 ; Deschamps, 2010).

Figure 3 : Anatomie d'un calcul urinaire mixte (Lulich *et al.*, 2011).



Selon leur composition, Daudon et al. ont présenté une classification morpho-constitutionnelle des calculs purs (*Tableau 1*). Elle compte sept types (whewellite, weddellite, acide urique ou urate, phosphates calciques magnésiens, calcul de cystine, calculs riches en protéines et calculs autres) subdivisés en vingt-deux sous types. Deux types ont été attribués aux CaOx, le type I à la whewellite (CaOx monohydraté) et le type II à la weddellite (CaOx dihydraté). Une telle classification n'a pas été proposée, à ce jour, pour le chien.

Tableau 1 : Classification simplifiée morpho-constitutionnelle des calculs purs urinaires (selon Daudon et al., 2012)

I	Whewellite / CaOx monohydraté
II	Weddellite / CaOx dihydraté
III	Calculs de purines / calculs d'acide urique et d'urates
IV	Calculs de phosphates calciques et magnésiens
V	Calculs de cystine
VI	Calculs riches en protéines
VII	Calculs à composants inhabituels

Nous avons vu que la sursaturation des urines était le point de départ de la cristallurie, non pathologique en soi. La sursaturation urinaire est nécessaire à la formation d'urolithes mais d'autres facteurs sont importants (Bartges, 2011). La pathologie lithiasique proprement dite se définit généralement par la rétention et la croissance des cristaux et agrégats cristallins (Daudon *et al.*, 2008). La formation de ces urolithes est favorisée entre autres par un déséquilibre entre promoteurs/inhibiteurs de la cristallisation et la variation du pH urinaire.

d. La balance entre promoteurs et inhibiteurs de la cristallisation

Les promoteurs de la cristallisation sont des ions qui favorisent la formation des calculs. On en compte une dizaine : calcium, oxalate, phosphate, magnésium, ammonium, urate, sodium, potassium, dihydroxy-2,8-adénine, cystine et xanthine. Ils peuvent s'associer par deux ou par trois pour former une substance cristallisable qui, elle-même peut se présenter sous plusieurs espèces cristallines (Daudon *et al.*, 2008).

Rappelons que l'urine est composée à 95% d'eau et à 5% de solutés. Les solutés normalement présents dans l'urine sont, par ordre décroissant de concentration (Crépeaux, 2023) :

- L'urée : produit de dégradation des acides aminés.
- Les ions sodium Na⁺.
- Les ions potassium K⁺.
- Les ions dihydrogénophosphate H₂PO⁴⁻.

- Les ions sulfate SO_4^{2-} .
- La créatinine : produit de dégradation de la créatine musculaire.
- L'acide urique : produit de dégradation des purines.

On trouve aussi dans l'urine des quantités très faibles mais fortement variables d'ions calcium Ca^{2+} , bicarbonate HCO_3^- et magnésium Mg^{2+} .

La concentration des différents constituants de l'urine n'est pas réglée à des valeurs fixes, mais peut varier en fonction des conditions de l'environnement, notamment en fonction des apports alimentaires. Elle est également au service de l'homéostasie sanguine, qui est régulée par de nombreux facteurs (volémie, ...) (Crépeaux, 2023).

Ainsi, certains promoteurs de la cristallisation (*Tableau 2*) sont des composants classiques des urines du chien et d'autres possibles en cas d'anomalies métaboliques par exemple (cystine, xanthine...).

Tableau 2 : Promoteurs, substances cristallisables et espèces cristallines (Daudon et al., 2008)

	Promoteurs	Substances cristallisables	Espèces cristallines	
Oxalates	Oxalate	Oxalates de calcium	Whewellite, weddellite, caoxite	
	Calcium	Phosphates de calcium	Carbapatites, brushite, phosphate octocalcique pentahydraté, PACC	
	Phosphate	Phosphate de calcium et magnésium	Whitlockite	
	Magnésium	Phosphates ammoniacomagnésiens	Struvite, dittmarite	
Phosphates	Ammonium	Urate d'ammonium	Urate acide d'ammonium anhydre	
	Urate	Acide urique	Uricite, acide urique monohydraté, acide urique dihydraté	
	Sodium	Urate de sodium	Urate acide de sodium monohydraté	
		Urate de sodium et potassium	Urate de sodium et potassium	
		Urate de potassium	Urate acide de potassium anhydre	
	Purines	Dihydroxy-2,8-adénine	Dihydroxy-2,8-adénine	Dihydroxy-2,8-adénine
		Xanthine + H^+	Xanthine	Xanthine
Cystine + H^+		Cystine	Cystine	

A l'opposé, l'urine contient des ions, substances ionisées, qui vont inhiber la formation des calculs. On distingue :

- les inhibiteurs de faible poids moléculaire capables de former des espèces chimiques solubles qui vont réduire le risque de cristallisation (Daudon *et al.*, 2008). Le citrate en est le plus important. Il inhibe la sursaturation et la cristallisation de l'oxalate et du phosphate de calcium.

- les inhibiteurs macromoléculaires de nature protéique ou polysaccharidique. Ces substances (glycosaminoglycanes, glycoprotéines...) vont se fixer sur la surface des germes cristallins pour les empêcher de grossir ou s'agréger (Daudon *et al.*, 2008).

Les principaux inhibiteurs urinaires connus à ce jour sont indiqués dans le *Tableau 3* suivant :

Tableau 3 : Inhibiteurs de la cristallisation (Daudon *et al.*, 2008).

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

OxCa : oxalate de calcium ; PCa : phosphate de calcium ; CaCO₃ : carbonate de calcium.

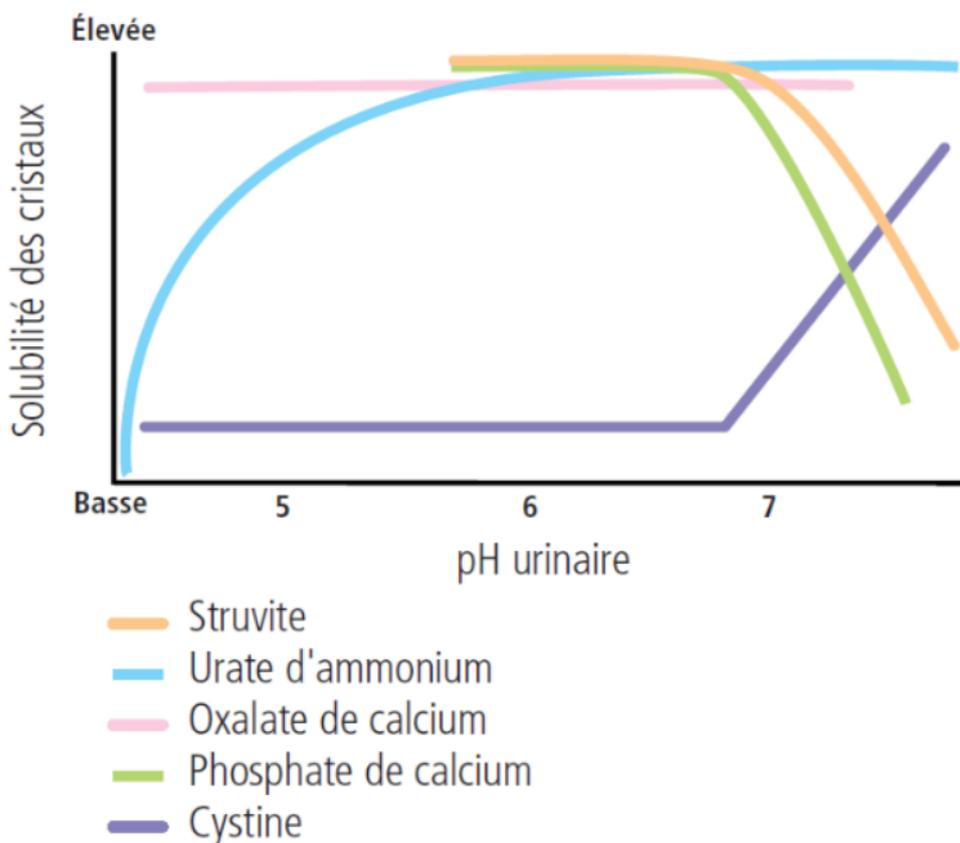
Ainsi, selon la concentration de l'un ou de l'autre, la lithogénèse de certains calculs est favorisée ou inhibée. On remarque que dans le tableau ci-joint, la variation du pH est un cofacteur d'inhibition. En effet, le pH urinaire impacte l'équilibre ionique de nombreux promoteurs et inhibiteurs de la cristallisation (Daudon *et al.*, 2008).

e. Le pH urinaire

Le pH urinaire des carnivores domestiques est plutôt acide (environ 6), il peut varier entre 4,5 et 8 selon le métabolisme et le régime alimentaire (Crépeaux, 2023). Il va alors modifier la concentration de certains composants des urines. Dans les urines où pression et température peuvent être considérées comme constantes, le pH est alors le principal modificateur de la solubilité des substances qui y sont sensibles (Daudon *et al.*, 2008).

Un pH acide diminue la solubilité de l'acide urique, la cystine et la xanthine. Un pH alcalin diminue la solubilité des phosphates magnésiens et calciques. La *Figure 4* suivante le résume (Stevenson et Rutgers, 2008) :

Figure 4 : Solubilité et pH urinaire (Stevenson et Rutgers, 2008).



Ainsi même si on peut constater que le pH ne modifie pas la solubilité du CaOx. La création d'urine acide ($\text{pH} < 7,0$) peut prédisposer les animaux à la lithiase urinaire à CaOx en induisant une excrétion accrue de calcium dans l'urine ; cependant, la solubilité du CaOx n'est pas influencée par le pH urinaire (Gisselman *et al.*, 2009).

En revanche, un pH alcalin diminue la solubilité des PAM et phosphate de calcium augmentant ainsi leur concentration dans les urines et le risque de cristallisation.

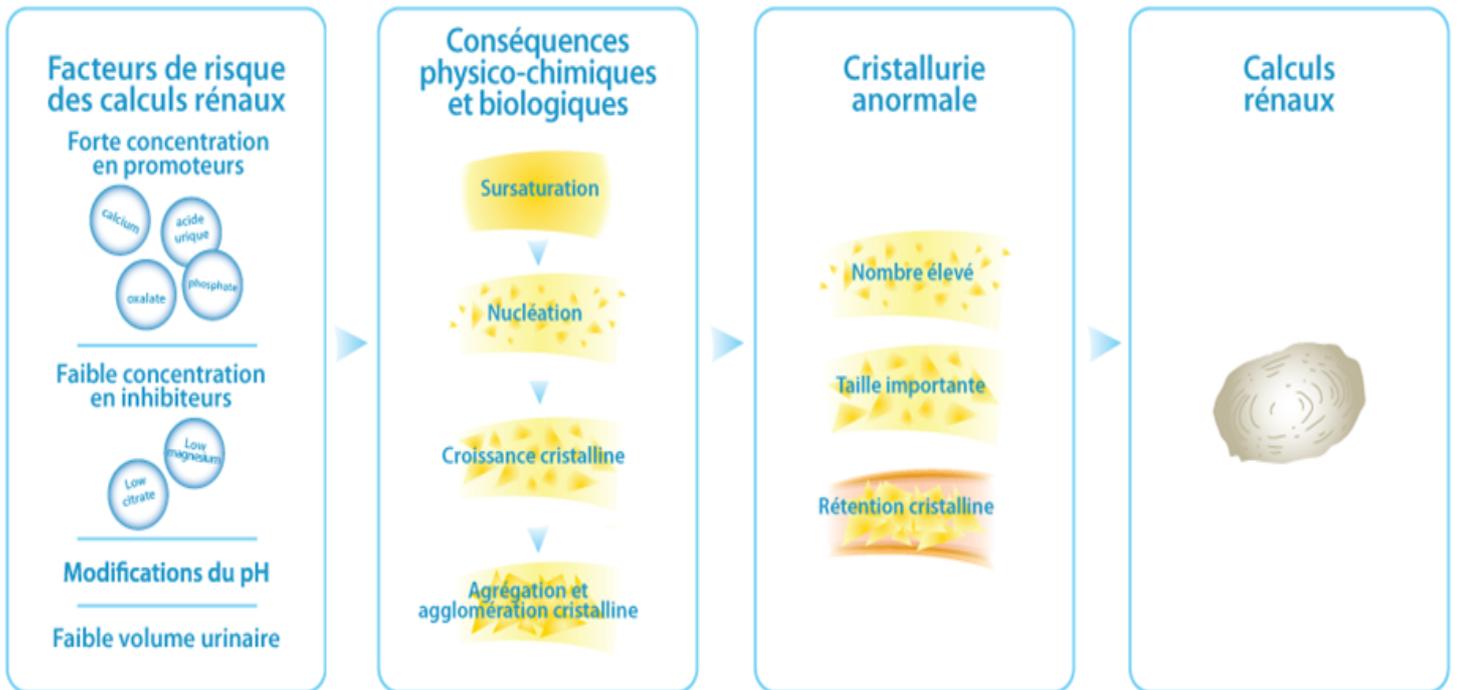
Plusieurs espèces cristallines sont faiblement solubles en urine acide. C'est le cas de l'acide urique, de la cystine et de la xanthine (Daudon *et al.*, 2012).

Ainsi, le pH urinaire peut modifier la solubilité des cristaux de PAM, l'urine acide ($\text{pH} < 6,3$) entraînant la dissolution des cristaux de PAM, tandis que l'urine neutre et alcaline ($\text{pH} > 7,0$) favorise la formation de cristaux de PAM (Palma *et al.*, 2013).

Le pH urinaire est donc un facteur impactant la lithogénèse.

Nous avons donc détaillé dans ce chapitre les étapes générales de la lithogénèse et les facteurs l'impactant, ce qui est résumé dans la *Figure 5* ci-dessous (Hydratation for health, 2017) :

Figure 5 : Facteurs de risque urinaire entrainant la formation de calculs (Hydration for health, 2018).



La lithogénèse selon les conditions environnantes aboutit à des calculs de composition différente. Nous allons dans la partie suivante présenter plus précisément les mécanismes de lithogénèse spécifique de la nature cristalline.

B. Les urolithes les plus fréquents chez le chien

a. Épidémiologie des calculs chez le chien

L'étude française sur 6700 calculs récoltés entre 2016 et 2020 a montré une prédominance des calculs de PAM suivi de ceux de CaOx (Nélaton, 2021). Une autre étude française sur 1131 urolithes de 2007 à 2010 a montré la prédominance des calculs CaOx sur ceux de PAM (Blavier *et al.*, 2012).

En ce qui concerne les calculs de CaOx, la forme monohydratée (whewellite) est plus souvent rencontrée (56,3 % des CaOx) que la forme dihydratée (43,7 %) (Blavier *et al.*, 2012) ce qui a été retrouvée dans l'étude en France entre 2016 et 2020 : 80,2 % de whewellite versus 19,8 % de weddellite (Nélaton, 2021).

Dans tous les cas, de nombreuses études (Blavier *et al.*, 2012 ; Cotard, 1999 ; Houston *et al.*, 2004 ; Kopečný *et al.*, 2021 ; Nélaton, 2021) mettent en évidence principalement 4 types d'urolithes canins (*Tableau 4*) :

1. Les phosphates ammoniaco-magnésiens (PAM), également appelés struvites.
2. Les calculs à base de calcium, oxalates et phosphate.
3. Les calculs d'urates.
4. Les calculs à base de cystine.

Les calculs de silice sont très rares.

Tableau 4 : Pourcentage des différentes natures minérales.

	CaOx	PAM	Urates	Cystine	Silice
Étude canadienne 16647 urolithes de 1998-2003 (Houston <i>et al.</i> , 2004)	41.5 %	43.8 %	4.8 %	0.4 %	0.9 %
Étude Française 1131 urolithes 2007-2010 (Blavier <i>et al.</i> , 2012)	44.3 %	42.6 %	5.3 %	3.7 %	0.5 %
Étude mexicaine 195 chiens 2006-2016 (Mendoza-López <i>et al.</i> , 2019)	44.1 %	29.74 %	7.17 %	NR	9.23 %
Étude californienne 10 444 urolithes 2006-2018 (Kopecny <i>et al.</i> , 2021)	47 %	43.6 %	14.9 %	2.7 %	3.9 %
Étude française 6700 urolithes 2016-2020 (Nélaton, 2021)	36.4 %	48.2 %	5.3 %	8.4 %	0.3 %

Même s'il est difficile à la lecture des différentes études de définir qui remporte la première place, les calculs de CaOx et les PAM restent toujours les plus fréquemment retrouvés chez le chien.

b. Les oxalates de calcium

Les urolithes de CaOx sont l'un des types d'urolithes les plus courants chez les chiens.

Macroscopiquement, les caractéristiques de la surface peuvent varier, elles peuvent être lisses mais présentent souvent des bords tranchants et irréguliers (Daudon *et al.*, 2012). La forme la plus caractéristique des calculs de weddellite est la rose des sables, les spicules pouvant être plus ou moins émoussés (Gisselman *et al.*, 2009).

Quatre-vingt-quinze pour cent des calculs en forme de roses des sables (*Figure 6*) sont des CaOx (Deschamps, 2010 ; Rault, 2016).

Figure 6 : Aspect macroscopique en rose des sables d'un calcul d'oxalate de calcium (Cotard, 1993).



Les calculs de CaOx sont plus fréquents dans le bas appareil urinaire mais peuvent aussi être localisés dans les reins ou les uretères. Chez le chien, ils représentent 31 à 39 % des calculs du haut appareil urinaire (Gisselman *et al.*, 2009).

Ils sont constitués de cristaux de CaOx monohydraté (whewellite) et/ou de CaOx dihydraté (weddellite). Ces cristaux peuvent s'associer à des cristaux de phosphates de calcium, des quantités variables de PAM et d'urates d'ammonium (Cotard, 1993). Microscopiquement, les cristaux de CaOx dihydratés ont l'aspect de carrés entrecoupés de diagonales (Deschamps, 2010). Les cristaux de CaOx monohydratés ont la forme d'anneaux ou d'haltères (Cotard, 1993). Un aspect de deux pyramides aplaties et accolées par leur base (*Figure 7*) est très caractéristique de calcul de CaOx et plus particulièrement la weddellite (Daudon *et al.*, 2012).

Figure 7 : Aspect microscopique d'un cristal d'oxalate de calcium dihydraté (Stevenson et Rutgers, 2008)



Il a été montré le rôle déterminant de l'oxalurie dans la formation de la whewellite et celui de la calciurie dans la formation de la weddellite. Chez l'homme, deux facteurs exercent une influence prépondérante sur la formation des calculs oxalocalciques : le volume de la diurèse quotidienne et la calciurie (Daudon *et al.*, 2012).

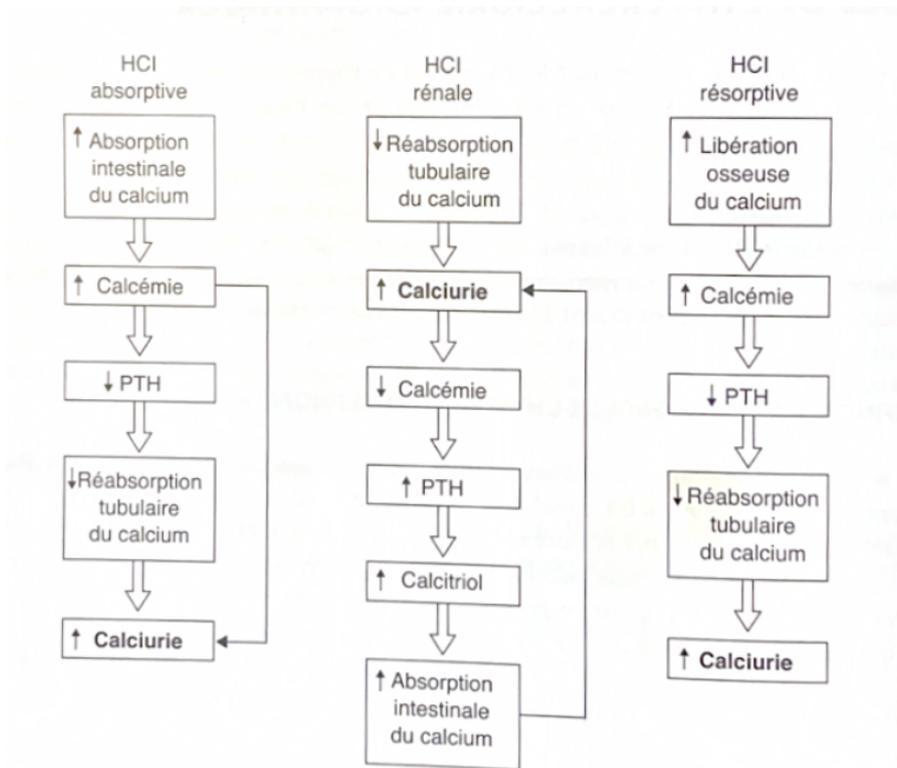
Le calcium est un des minéraux le plus important de l'organisme du chien. L'homéostasie calcique permet de maintenir la concentration sérique en calcium dans un intervalle étroit qui permet de fournir la quantité nécessaire de calcium intracellulaire. Les principales hormones régulatrices sont la parathormone (PTH), le calcitriol (la forme active de la vitamine D), hormones hypercalcémiantes, et la calcitonine, hormone hypocalcémiante.

L'hypercalciurie sans hypercalcémie est le mécanisme le plus fréquent. Bien que les hypercalciuries puissent parfois révéler une maladie systémique ou résulter d'une acidose métabolique, les hypercalciuries sans hypercalcémie sont souvent idiopathiques (Gisselman *et al.*, 2009).

Ainsi, l'hypercalciurie idiopathique (HCI) qui prédispose à la lithiase urinaire à CaOx, peut être classée comme (Daudon *et al.*, 2012 ; Gisselman *et al.*, 2009) :

- HCI absorptive par augmentation de l'absorption intestinale du calcium,
- HCI rénale c'est-à-dire par fuite rénale par diminution de la réabsorption rénale du calcium,
- HCI résorptive par diminution de la résorption osseuse (*Figure 8*).

Figure 8 : Mécanisme physiopathologique de l'HyperCalciurie Idiopathique (Daudon et al., 2012)



L'homéostasie du calcium devant impérativement être préservée, chaque anomalie primitive déclenche des mécanismes compensateurs de la part des autres organes impliqués dans la régulation du métabolisme calcique (Daudon *et al.*, 2012).

Un autre facteur lithogène est l'hyperoxalurie. L'oxalate est un déchet métabolique. La plupart des oxalates urinaires proviennent d'une production endogène par dégradation de l'acide ascorbique et catabolisme de la serine et la glycine via le glyoxylate (Cotard, 1993). L'oxalate éliminé dans les urines a une double origine, exogène (d'origine alimentaire) et endogène. L'ion oxalate n'est absorbé par l'intestin que s'il est présent sous forme libre, tandis que sous forme de CaOx, très peu soluble, il est éliminé dans les fèces (Daudon *et al.*, 2012).

A été évoqué le rôle des bactéries anaérobies commensales du côlon dans l'absorption intestinale de l'oxalate. Par exemple, la seule source d'énergie pour la bactérie *Oxalobacter formigenes* dépend exclusivement du métabolisme de l'oxalate (Lulich *et al.*, 2011). Ainsi, l'excrétion urinaire d'oxalate diminue proportionnellement à l'augmentation de la quantité d'*O. formigenes* détectée dans le tube digestif (Wigner *et al.*, 2022). L'absence de certaines souches serait donc un facteur de risque de formation de calculs.

Comme autre facteurs de la lithogénèse, a été montré le déséquilibre entre promoteurs et inhibiteurs de la cristallisation. Le citrate, anion inhibiteur urinaire le plus abondant a un fort pouvoir complexant du calcium. Ainsi, l'hypocitraturie joue un rôle lithogène lorsque la concentration des urines en citrate, même normale ou subnormale, est insuffisante au regard d'une concentration élevée en calcium pour réduire efficacement la sursaturation des sels calciques (Daudon *et al.*, 2012).

Toutefois, malgré des facteurs lithogènes favorisants (hypercalciurie, hyperoxalurie, hypocitraturie), la pathogenèse de l'urolithiase à CaOx est mal élucidée. La formation des CaOx ne dépend pas non plus de la variation du pH urinaire contrairement à celle des PAM.

c. Les struvites

Les calculs de struvites, composés de phosphate d'ammonium et de magnésium (PAM) ($Mg^{2+} + NH_4 + PO_4^{3-} + 6H_2O$) sont l'une des principales causes de calculs chez le chien.

Macroscopiquement, les calculs sont lisses, à coins arrondis, souvent nombreux ou de gros volume (*Figure 9*). Cent pour cent des calculs pyramidaux sont des PAM (Deschamps, 2010 ; Rault, 2016).

Figure 9 : Aspect macroscopique en forme pyramidale d'un calcul de struvite (Seaman et Bartges, 2001)



Microscopiquement, les cristaux ressemblent à des couvercles de cercueil (Deschamps, 2010) (*Figure 10*).

Figure 10 : Aspect microscopique en couvercles de cercueil des struvites (Stevenson et Rutgers, 2008)



Une des caractéristiques des calculs de PAM est leur taille. Ils sont parfois volumineux et occupent parfois tous l'espace disponible, vessie ou bassinot. Une étude montre qu'un seuil diagnostique de 30 mm de diamètre peut être considéré comme assez spécifique d'une urolithiase de struvite avec une valeur prédictive positive de 96 % (Blavier *et al.*, 2012).

Pour former des calculs de PAM dits struvites, il faut du magnésium, des phosphates et de l'ammoniac. L'urine des chiens en contient naturellement mais pas suffisamment pour former des calculs. La sécrétion d'une uréase constitue le mécanisme principal de sa lithogénèse dans cette espèce (Cotard, 1993).

Les calculs de PAM se forment à la suite de l'hydrolyse de l'urée, qui libère du gaz carbonique (CO_2) et de l'ammoniac (NH_3).

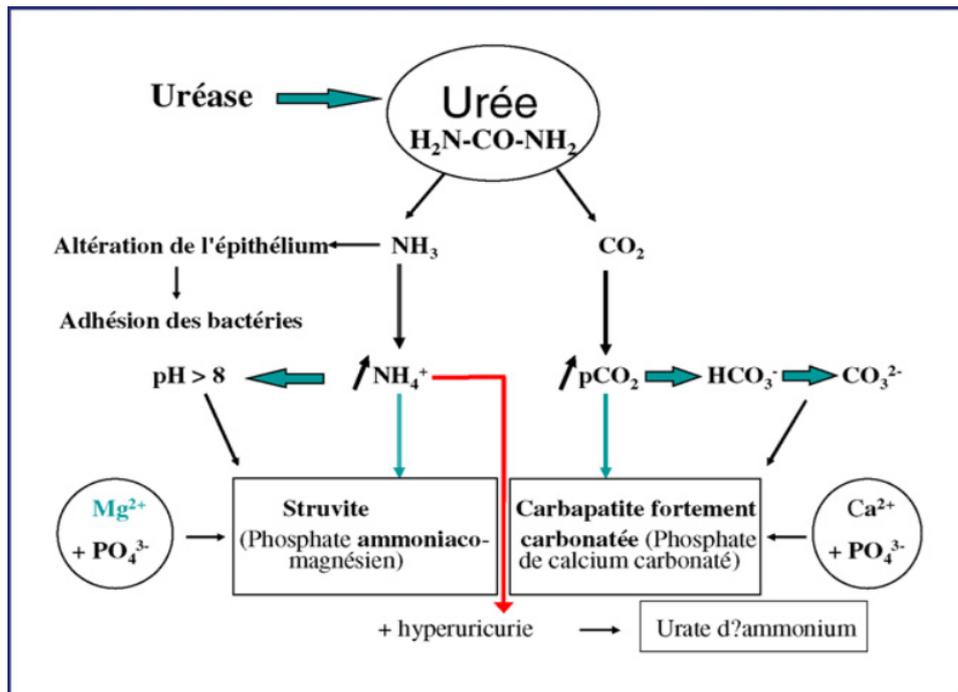
- L'ammoniac réagit avec l'eau, ce qui aboutit à une augmentation de la concentration d'ammonium (NH_4^+) et à une alcalinisation de l'urine. Cette élévation du pH urinaire favorise la perte de protons à partir de H_2PO_4^- et la sursaturation en phosphate (PO_4^{3-}) mais également en magnésium (Mg^{2+}) et leur précipitation.

L'ammoniac produit dans le milieu urinaire est également à l'origine de lésions inflammatoires du tractus urinaire. Les débris cellulaires qui en résultent peuvent également servir de matrice pour la formation de calculs (Cotard, 1993).

Parallèlement, la libération de gaz carbonique (CO_2) augmente la pCO_2 urinaire. Le dioxyde de carbone se combine avec l'eau pour former de l'acide carbonique, qui se dissocie alors en produisant du bicarbonate (HCO_3^-). Dans un environnement propice (nettement alcalin), cela produit une source de carbonates (CO_3^{2-}) (Figure 11).

Chez le chien, l'hydrolyse initiale de l'urée se fait en milieu infecté (très rares exceptions), catalysée par l'uréase active, enzyme libérée par des micro-organismes (Palma *et al.*, 2013 ; Seaman et Bartges, 2001). Les bactéries productrices d'uréase les plus fréquemment associées à la lithiase urinaire à PAM chez le chien sont *Staphylococcus pseudintermedius* et *Proteus mirabilis* (Palma *et al.*, 2013). D'autres bactéries retrouvées sont : les *Corynebacterium urealyticum*, *Klebsiella pneumoniae* et *Ureaplasma spp* (Maurey, 2019).

Figure 11 : Schéma de la lithogénèse infectieuse (Daudon et al., 2008)



D'autre part, en plus de la formation de PAM, la sursaturation de plusieurs espèces cristallines dans un milieu alcalin favorise également la formation de différents types de calculs dont les cristaux d'hydroxyapatite et carbonates apatite (hydroxyphosphates de calcium carbonatés ou carbapatite) et en cas d'uricémie élevée, l'urate d'ammonium (Cotard, 1993).

Les carbapatites font partie des phosphates de calcium comme la brushite (phosphate acide de calcium dihydraté : $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). La carbapatite peut être présente dans des calculs dont le processus de cristallisation originel est infectieux (calculs de PAM notamment) mais aussi secondairement à une oxalurie et une calciurie (Blavier *et al.*, 2012).

Il est toutefois utile de rappeler que lorsqu'un élément représente moins de 15 % de la constitution du calcul, on le qualifie de « trace ». Les traces que l'on retrouve de manière très fréquente sont la carbapatite (55,6 % des cas) et les protéines (17,3 % des cas) (Blavier *et al.*, 2012).

Les phosphates de calcium ne sont qu'exceptionnellement responsables de calculs purs et sont de ce fait avec par exemple, les calculs d'urates de sodium ou de potassium, d'acide urique qualifiés souvent dans les études sous le terme « autres » (Blavier *et al.*, 2012). Ils ne seront donc pas décrits spécifiquement.

Néanmoins, l'urate d'ammonium comme les PAM pouvant résulter de cette lithogénèse particulière. Il est le troisième composant le plus rencontré dans les calculs du chien.

C. Natures minérales plus rares chez le chien

a. Les calculs d'urates d'ammonium

Les purines libres (adénine, guanine, xanthine et hypoxanthine) proviennent de deux sources : exogène, correspondant au catabolisme des acides nucléiques apportées par l'alimentation ; endogène, par le catabolisme des nucléotides endogènes (Daudon *et al.*, 2012 ; Villaverde, 2014).

Les calculs d'urate sont des calculs d'origine métabolique composés de sels d'acide urique, produit du métabolisme des purines. Les calculs de purines regroupent également les calculs d'urate de sodium ($\text{NaC}_5\text{H}_3\text{O}_3\text{N}_4$), d'urate de calcium ($\text{CaC}_5\text{H}_3\text{O}_3\text{N}_4$), d'acide urique ($\text{C}_5\text{H}_3\text{O}_3\text{N}_4$) ainsi que les calculs de xanthine ($\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2\text{N}_4$) (Deschamps, 2010). Le type de calcul d'urate le plus fréquemment rencontré chez le chien est l'urate d'ammonium ($\text{NH}_4\text{C}_5\text{H}_3\text{O}_3\text{N}_4$) (McCue *et al.*, 2009 ; Villaverde, 2014).

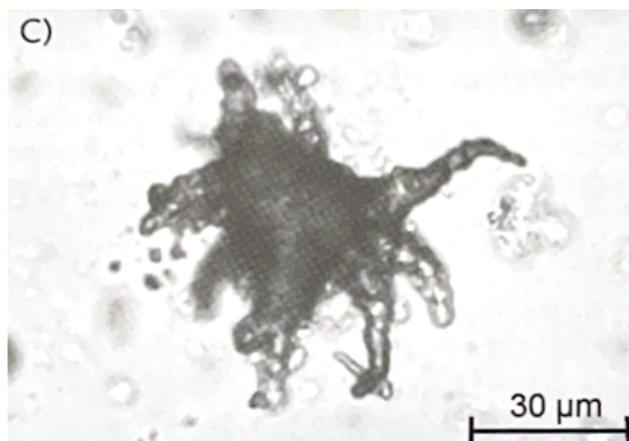
Macroscopiquement, les calculs d'urates d'ammonium ont une surface hétérogène, bosselée, rugueuse et poreuse. Ils ont une couleur grisâtre à brune (Figure 12). Le calcul d'acide urique a une surface homogène lisse (Daudon *et al.*, 2012).

Figure 12 : Aspect macroscopique des calculs d'urates (McCue *et al.*, 2009).



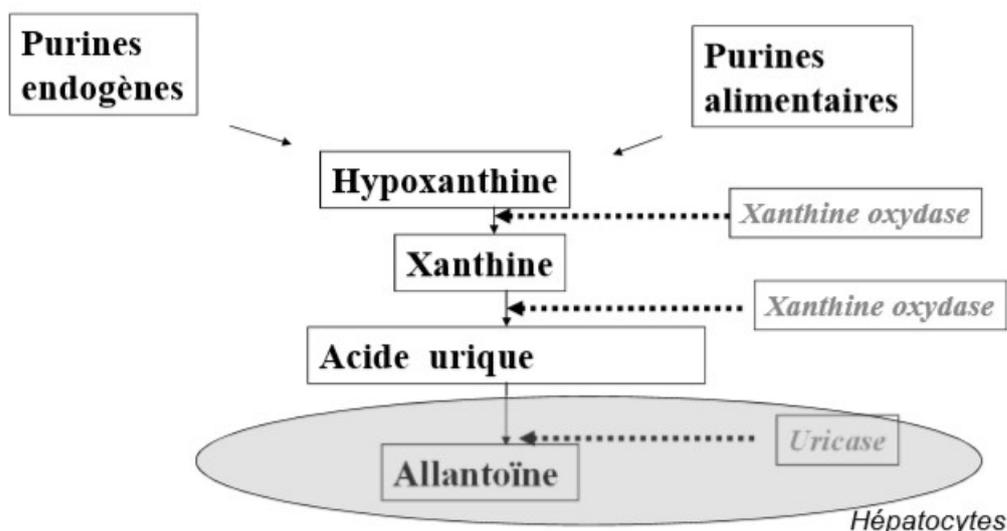
Microscopiquement, les cristaux d'urates d'ammonium sont caractérisés par des contours irréguliers comportant des excroissances de forme et de longueur variables (Daudon *et al.*, 2012) (Figure 13).

Figure 13 : Aspect microscopique d'un cristal d'urate d'ammonium (Daudon et al., 2012).



Le produit final du catabolisme des purines chez l'Homme et les primates est l'acide urique, résultat de l'action de l'enzyme xanthine oxydase sur l'hypoxanthine et la xanthine (Figure 14). Chez la plupart des mammifères cependant, l'acide urique est ensuite métabolisé par l'uricase hépatique en allantoine, qui est ensuite excrétée dans l'urine. L'allantoïne étant plus soluble que l'acide urique dans l'urine du chien ou du chat, plus la proportion d'acide urique excrétée dans l'urine sera importante, plus le risque de formation d'urolithiase à urate augmentera (Daudon *et al.*, 2012 ; Villaverde, 2014).

Figure 14 : Illustration schématique du métabolisme des purines (Maurey, 2019 ; Villaverde, 2014).



Chez le chien, une anomalie génétique raciale liée à un défaut de transport de l'acide urique dans l'hépatocyte et les maladies hépatiques sont les principaux facteurs de risque de cette maladie. Les mâles sont plus touchés quand les calculs d'urate ne sont pas associés à un shunt porto-systémique.

Ainsi, certaines races canines, plus particulièrement le Dalmatien, sont atteintes d'une mutation du gène SLC2A9, à transmission autosomique récessif, conduisant à un défaut de transport de l'acide urique dans l'hépatocyte (McCue *et al.*, 2009 ; Villaverde, 2014). L'acide urique provenant du métabolisme des purines ne peut alors pas être transformé en allantoiné provoquant une hyperuricosurie, facteur lithogène. Chez le bouledogue anglais (et le terrier noir russe), on retrouve la même mutation de gène SLC2A9 qui conduit à une hyperuricosurie et prédispose aux calculs d'urate (Blavier *et al.*, 2012). Un test génétique est disponible, qui peut être utilisé à des fins de sélection dans les races à forte prévalence (Faucher, 2016).

b. Les calculs de cystine

La cystine est un diacide aminé soufré résultant du métabolisme de la méthionine (Faucher, 2016). Sa formule chimique est $C_6H_{12}O_4N_2S_2$. Il est composé de deux molécules de cystéine.

Normalement la majeure partie de la cystine comme les acides aminés dibasiques (Ornithine, Lysine, Arginine) filtrés est réabsorbée. Elle n'est donc pas un constituant habituel des urines.

Le mécanisme de la formation des calculs de cystine est monofactoriel. Il tient exclusivement en la concentration élevée des urines en cystine, qui dépasse les possibilités de solubilisation au pH urinaire habituel (Daudon *et al.*, 2012). La solubilité de la cystine augmente avec l'alcalinisation des urines.

Macroscopiquement, les calculs ont une surface rugueuse ou lisses et jaunâtres (Daudon *et al.*, 2012). Ils sont petits, ovoïdes, multiples, lisses, jaunes et brillants (Deschamps, 2010) (*Figure 15*).

Figure 15 : Aspect macroscopique de calculs de cystine (Stevenson et Rutgers, 2008).



Microscopiquement, les cristaux de cystine sont très caractéristiques, en forme d'hexagone plus ou moins irréguliers (Daudon *et al.*, 2012) (*Figure 16*).

Figure 16 : Aspect microscopique d'un cristal de cystine (Stevenson et Rutgers, 2008).



La cystinurie est d'origine génétique chez le chien. Elle est due à un défaut héréditaire de la réabsorption par le tubule proximal de la cystéine et des autres acides aminés dibasiques : lysine, ornithine et arginine. Ces acides aminés se retrouvent donc en quantité augmentée dans l'urine chez les chiens affectés mais seule la concentration plus importante de cystine est pathologique. En effet, la faible solubilité de cet acide aminé dans l'urine acide ou neutre est un risque pour la formation de calculs chez le chien. Ils sont majoritairement situés dans le bas appareil urinaire (Brons *et al.*, 2013).

La réabsorption de la cystéine dans le tube contourné proximal se fait grâce à un transporteur hétérodimérique qui se compose d'une sous unité lourde codée par le gène SLC3A1 et une sous-unité légère codée par le gène SLC7A9 (Daudon *et al.*, 2012).

Les mutations peuvent toucher les deux gènes sur des modes de transmission autosomale récessive ou dominante classifiant les différents types de cystinurie (*Tableau 5*) et leurs particularités.

Tableau 5 : Classification de la cystinurie canine (Brons *et al.*, 2013).

PHENOTYPE	Type I	Type II-A	Type II-B	Type III
HEREDITE	Autosomal récessif	Autosomal dominant	Autosomal dominant	Liée au sexe
GENE	SLC3A1	SLC3A1	SLC7A9	Indéterminé
SEXE	Mâles et femelles	Mâles et femelles	Mâles et femelles	Mâles adultes entiers
DEPENDANCE AUX ANDROGENES	Non	Non	Non	Oui
RACES	Terre Neuve Landseer Labrador	Bouvier australien	Pinscher nain	Mastiff et races apparentés Lévrier écossais Terrier irlandais

Certaines études montrent la prédisposition d'autres races telles que le bouledogue anglais à la cystinurie, sous entendant que la génétique de cette pathologie n'est pas encore totalement élucidée (Blavier *et al.*, 2012 ; Houston *et al.*, 2004).

c. Les calculs de silice et opale

La silice est la forme naturelle du dioxyde de silicium SiO₂. Elle existe sous deux formes, la forme amorphe et la forme cristalline (quartz, la cristobalite et la tridymite). L'opale en est un dérivé.

La principale variété de silice cristalline est le quartz : c'est l'un des minéraux les plus abondants de l'écorce terrestre (12 % du poids de celle-ci). C'est un composant majeur de très nombreuses roches. La tridymite et la cristobalite sont rares à l'état naturel. On les trouve dans certaines roches volcaniques (INRS, 2022).

La silice cristalline est insoluble dans l'eau et dans les solvants organiques.

Les particules inhalées de silice cristalline se déposent dans les voies respiratoires et y persistent. Une faible part est solubilisée dans les liquides biologiques et excrétée dans les urines. Par voie orale, l'absorption est faible et les particules sont excrétées sous forme inchangée (INRS, 2022).

Chez le chien, ce type d'urolithe peut avoir la forme d'un jackstone (*Figure 17*), avec des projections radiales variant en nombre et en taille (certaines sont longues et fines tandis que d'autres sont émoussées et légèrement apparentes) ou des formes rondes et lisses. Leur taille varie et peut mesurer de quelques millimètres à quelques centimètres dans la plupart des cas, ils sont multiples (Mendoza-López *et al.*, 2019).

Figure 17 : Calcul de silice (VET'ANALYS Marseille)



Le taux de silice est influencé par l'alimentation et l'élimination rénale dépend de la quantité consommée. La pathogenèse peut impliquer la consommation d'une forme absorbable de silice dans divers aliments et l'eau, entraînant la formation de silice urinaire (Stevenson et Rutgers, 2008).

2. Les facteurs prédisposants à la lithiase urinaire

Les facteurs prédisposants qu'ils soient liés à l'animal ou environnementaux doivent être pris en compte face à une urolithiase pour en suspecter la nature minérale.

A. Les facteurs liés à l'animal

a. Le statut sexuel

De nombreuses études concordent sur le lien entre le sexe de l'animal et la prévalence des calculs (Cotard, 1999). Ces études démontrent que la répartition entre mâles et femelles est en faveur des mâles (Tableau 6).

Tableau 6 : Prédiposition de genre à présenter une lithiase urinaire selon diverses études.

	(Cotard, 1999)	(Blavier <i>et al.</i> , 2012)	(Mendoza-López <i>et al.</i> , 2019)	(Nélaton, 2021)
M : mâle	M : 55 %	M : 64.6 %	M : 58,46 %	M : 59,8 %
F : femelle	F : 45 %	F : 35.3 %	F : 41.54 %	F : 40,2 %

Cette répartition doit cependant tenir compte de la nature des calculs.

Le sexe mâle est retrouvé majoritaire pour l'urolithiase de CaOx, d'urates et de cystine tandis que le sexe femelle prédomine pour celles à struvite (Blavier *et al.*, 2012 ; Cotard, 1993 ; Houston *et al.*, 2004 ; Houston et Moore, 2009 ; Kopecny *et al.*, 2021 ; Mendoza-López *et al.*, 2019).

Une étude montre que le chien aurait 3 fois plus de risque de développer un urolithe de CaOx que la chienne (Lekcharoensuk *et al.*, 2000).

Néanmoins, des exceptions sont à noter comme la prédisposition des femelles schnauzer nain à développer plus fréquemment des urolithes de CaOx que des urolithes de PAM (1 509/3 157 ; 48 % d'oxalate et 1 228/3 157 ; 39 % de PAM) (Houston et Moore, 2009) et la terre neuve femelle à former des calculs de cystine (Houston *et al.*, 2004 ; Kopecny *et al.*, 2021) ainsi que le pitbull terrier femelle (Kopecny *et al.*, 2021).

b. Le statut castré ou intact

Peu d'études rendent compte du statut castré ou non des chiens.

Concernant les calculs de CaOx, les études sont contradictoires. Pour certaines les chiens castrés seraient prédisposés (Kopecny *et al.*, 2021) avec un risque quasi 14 fois plus élevé comparativement aux chiennes (Lekcharoensuk *et al.*, 2000). Pour d'autres, ce sont surtout les chiens intacts (72%) (Nélaton 2021).

Les chiens et les chiennes, intacts, développeraient majoritairement des calculs de PAM (Nélaton 2021).

Les chiens castrés et les femelles intactes seraient plus disposés aux calculs de silice (Kopecny *et al.*, 2021).

Ces deux dernières études ont en commun de retrouver des calculs de purines et de cystine majoritairement chez les mâles et surtout les mâles intacts. Pour les calculs de cystine, ce sont même majoritairement des mâles intacts (91.6 %) (Nélaton, 2021).

c. L'âge

L'urolithiase semble plus fréquemment observée chez les animaux adultes, dans la tranche de 5 à 10 ans (Cotard, 1999), voir entre 5 à 8 ans (Mendoza-López *et al.*, 2019).

Mais elle peut se rencontrer à tout âge avec des fourchettes très variables selon les études avec un minimum de trois mois et un maximum de 19 ans par exemple (Blavier *et al.*, 2012).

Elle peut apparaître avant un an chez les chiens qui ont un shunt porto-systémique (calculs d'urates) ce qui est également le cas pour les calculs d'origine génétique (calculs de cystine par exemple (Deschamps, 2010).

L'analyse de ces différentes études montrent que les calculs de CaOx et silice sont essentiellement retrouvés chez le chien d'âge mature de plus de 7 ans contrairement aux calculs de cystine et urate retrouvés plutôt chez le chien jeune. Quant aux struvites, ils peuvent être retrouvés à tout âge (*Tableau 7*).

Tableau 7 : Prévalence des natures minérales en fonction de l'âge moyen.

	Étude canadienne 16647 urolithes 1998 - 2003 (Houston <i>et al.</i> , 2004)	Étude française 1131 urolithes 2007 – 2010 (Blavier <i>et al.</i> , 2012)	Étude française 6700 urolithes 2016- 2020 (Nélaton, 2021)
CaOx	8.1 ans	9.5 ans	8.6 ans
PAM	6.0 ans	7.2 ans	7.0 ans
Urates	5.5 ans	5.6 ans	4.7 ans
Cystine	4.3 ans	5.3 ans	6 ans
Silice	8.5 ans	/	/

d. La race

Tous les chiens, de race pure comme croisée, sont sujets aux calculs urinaires. Cependant, certaines races sont prédisposées à un type de calcul.

Un recueil de données de plusieurs études (*Annexe 1*) est résumé dans le *Tableau 8* suivant :

Tableau 8 : Prévalence des races pures selon la nature des calculs urinaires.

Nature du calcul	Prédisposition de races
Calculs de CaOx	Caniches, Shih Tsu, Bichons frisés, Schnauzers nains, Yorkshire terrier, Lhasa Apso.
Calculs de PAM	
Calculs d'urates	Dalmatien, Bouledogue anglais.
Calculs de cystine	Type I : Terre Neuve, Labrador, Landseer Type II : Bouvier australien, Pinscher nain Type III : Mastiff et races apparentés, Lévrier Ecossais, Terrier Irlandais Bouledogue anglais, Bouledogue français, Staffordshire Bull Terrier, Teckel, Rottweiler, Chihuahua, Jack Russell terrier...

B. Les facteurs prédisposants environnementaux

Ils sont de plus en plus suspectés et notamment chez l'homme. L'augmentation marquée de la fréquence de la lithiase au cours du demi-siècle écoulé ne peut s'expliquer que par une modification des facteurs environnementaux, les facteurs génétiques ne pouvant s'être modifiés en un laps de temps aussi court (Daudon *et al.*, 2012).

a. Le cadre de vie

Une étude menée entre 1990-1992 sur les facteurs environnementaux de développer une lithiase canine à CaOx a montré que les chiens qui vivent en ville ont 3 fois plus de risque de développer des calculs urinaires que ceux qui vivent à la campagne. Elle a montré aussi que les chiens qui sont classés comme animaux de compagnie ont 7 fois plus de risque par rapport aux chiens d'utilité et les chiens en surpoids un risque multiplié par 2 (Lekcharoensuk *et al.*, 2000).

On peut supposer que les chiens d'utilité ont davantage d'activité physique que les chiens dits de compagnie. Les premiers ont probablement aussi une vie facilitant des mictions plus fréquentes.

Une étude mexicaine sur 195 chiens atteints de lithiase urinaire a montré une fréquence beaucoup plus élevée d'urolithes contenant des silicates (16,92 %). Une relation entre les animaux affectés et leur situation géographique a été suggérée car il est très probable que dans la ville de Guadalajara,

les eaux souterraines contiennent de grandes quantités de silice, semblables à celles trouvées à Mexico, où la plus grande quantité de silice est présente (Mendoza-López *et al.*, 2019).

Le volume des diurèses a été évoqué comme facteur lithogène (Daudon *et al.*, 2012). Il paraît alors évident que tout facteur prédisposant à la déshydratation (climat chaud, abreuvement insuffisant) et conduisant à diminuer la dilution urinaire ou bien à la stase prolongée des urines dans la vessie (mode de vie à l'intérieur) peut être considéré comme un facteur favorisant l'apparition de calculs (Nélaton, 2021). Chez l'homme, la modification des habitudes alimentaires, dans le sens d'apports nutritionnels excessifs au regard d'une activité physique insuffisante, apparaît comme la principale cause d'augmentation de la lithiase oxalocalcique, et plus récemment, urique dans les sociétés au mode de vie industrialisé (Daudon *et al.*, 2012).

b. Les maladies systémiques

Des lithiases peuvent être révélatrices d'une maladie sous-jacente (*Tableau 9*) et elle doit donc être recherchée.

Tableau 9 : Démarche étiologique face à l'urolithiase chez le chien (Hébert et Bulliot, 2018 ; Maurey, 2019).

Nature du calcul		Maladies systémiques à rechercher
CaOx	Avec hypercalcémie	Hyperparathyroïdie Primaire
	Sans hypercalcémie	Hyperadrénocorticisme Acidose tubulaire
Lithiase à calculs d'urate		Affections hépatiques (surtout les shunts porto systémiques)

Devant une hypercalciurie, facteur lithogène de la lithiase à CaOx, il faut rechercher une cause sous-jacente : une recherche d'hypercorticisme doit être envisagée si les critères cliniques sont présents et une évaluation du métabolisme phospho-calciques doit être entreprise (Gisselman *et al.*, 2009).

Devant un calcul de CaOx sans hypercalcémie associée, il faut rechercher un syndrome de Cushing. Il se définit comme un ensemble de symptômes liés à une hypercortisolémie chronique due à une hypersécrétion de cortisol par le cortex surrénalien. Dans 80 à 90% des cas, l'origine est hypophysaire due à une tumeur sécrétant de l'ACTH en grande quantité et donc stimulant le cortex surrénalien qui se met à surproduire du cortisol (Hébert et Bulliot, 2018). Le syndrome de Cushing est la plus fréquente des dysendocrinies du chien âgé. Il existe une nette prédisposition des Caniches, en tout premier lieu, de différentes races de terriers, des Teckels et de Bichons frisés (Benckroun et Canonne, 2022). Il est également décrit chez le Yorkshire et le Boxer (Hébert et Bulliot, 2018).

Une autre cause à rechercher sans hypercalcémie est une acidose tubulaire rénale. L'acidose métabolique inhibe la réabsorption tubulaire rénale du calcium et inhibe l'excrétion urinaire du citrate. (Lulich *et al.*, 1999a).

Face à une hypercalcémie, une hyperparathyroïdie primaire peut être évoquée. Cette affection endocrinienne se caractérise par un excès de sécrétion en parathormone (PTH) par les glandes parathyroïdes. Cet excès de PTH est à l'origine d'une hypercalcémie. Quatre-vingt-seize pourcents des animaux atteints ont plus de 7ans (Hébert et Bulliot, 2018).

Concernant les lithiase à calcul d'urates, La présence d'urolithes d'urate ou de cristallurie chez une race non prédisposée doit inciter à rechercher un shunt porto systémique ou une maladie hépatique primaire (Deschamps, 2010 ; Lulich *et al.*, 2011 ; Maurey, 2019 ; McCue *et al.*, 2009).

c. Les infections

La lithogénèse infectieuse a été décrite précédemment montrant que chez le chien, l'association d'une infection à germes uréase positif, alcalinisation des urines et sursaturation du phosphate et magnésium, promoteurs de lithogénèse, aboutit à la formation des calculs de PAM.

Inversement, la présence d'autres types d'urolithes est un facteur de risque d'infection urinaire. Les facteurs contribuant à un risque accru d'infection urinaire comprennent (Lulich *et al.*, 2011) :

- L'irritation traumatique de la muqueuse de la vessie,
- Une évacuation incomplète de l'urine,
- Une séquestration de microorganisme dans les calculs.

d. Médicaments et toxiques

On distingue deux grandes catégories de lithiases médicamenteuses (*Tableau 10*) : les lithiases où le médicament est physiquement présent dans le calcul sous forme native ou/et de métabolite(s); les lithiases induites par des médicaments qui modifient le métabolisme ou entrent dans un cycle métabolique qu'ils accélèrent. Quelques produits relèvent simultanément de ces deux catégories (Daudon, 1999).

Tableau 10 : Médicaments et toxiques pouvant contribuer à la lithiase urinaire (Daudon, 1999 ; Daudon et al., 2012 ; Faucher, 2016 ; Fontaine, 2022 ; Lulich et al., 1999 ; Osborne et al., 2009).

PRINCIPAUX MEDICAMENTS INDUCTEURS DE LITHIASES	
MEDICAMENTS	MECANISME
Excès vitamine D, suppléments calciques Corticoïdes Furosémide Chlorure de sodium Acidifiant urinaire	Hypercalciurie
Diurétiques de la famille des Inhibiteurs de l'anhydrase carbonique (acétazolamide)	Hypercalciurie, hypocitraturie, élévation du pH urinaire
Acide ascorbique à forte dose	Hyperoxalurie
Allopurinol	Hyperxanthinurie
Uricosuriques	Hyperuricurie
PRINCIPAUX MEDICAMENTS PRESENTS DANS LES CALCULS	
Certains agents antibactériens : Sulfamides et leurs métabolites, Quinolones, Tétracyclines, Phénazopyridine Primidone Pansements digestifs : dérivés du silicium (tricilate de magnésium...) Agent de contraste urographique	

On observe également de nombreux petits cristaux d'oxalate lors d'intoxication orale par l'éthylène glycol (substance active de nombreux antigels). Les accidents surviennent principalement chez le chien ayant accès à des garages automobile où de l'antigel est stocké (Daudon, 1999). Après absorption digestive, l'éthylène glycol est métabolisé en acide oxalique, qui précipite dans les tubes rénaux sous forme de cristaux d'oxalates biréfringents en lumière polarisée et facilement identifiables. Ces cristaux déterminent à leur tour une obstruction des tubes urinaires et des nécroses tubulaires, avec une insuffisance rénale brutale et sévère (Fontaine, 2022).

e. Alimentation

Le profil nutritionnel impacte directement la composition de l'urine et sa propension à former des cristaux à partir des composés précurseurs (Quéau, 2016). Les facteurs alimentaires jouent donc un rôle important dans l'augmentation du risque de lithiase urinaire, bien que celui-ci puisse différer pour certains types de minéraux (Stevenson et Rutgers, 2008).

Une alimentation riche en phosphore et magnésium peut être un facteur supplémentaire à un milieu urinaire propice à la formation de PAM. Il en est de même pour une alimentation riche en calcium pour les calculs de CaOx (Stevenson et Rutgers, 2008).

L'hypercalciurie peut aussi accompagner des erreurs alimentaires telles qu'une restriction en calcium sans restriction d'acide oxalique, favorisant une absorption intestinale accrue d'acide oxalique (Lulich *et al.*, 1999).

L'hyperoxalurie peut également survenir lors d'une consommation accrue d'hydroxyproline, précurseurs alimentaires d'oxalate, contenu par exemple dans les fruits à coque (noix, amandes...) (Gisselman *et al.*, 2009 ; Maurey, 2019).

Les calculs d'urates et de cystine peuvent être favorisés par un régime riche en purines (Stevenson et Rutgers, 2008).

Dans tous les cas, le facteur alimentaire le plus propice est la réduction de l'apport hydrique (Fontaine, 2022), favorisant la diminution du volume urinaire et la sursaturation en précurseurs.

3. Démarche diagnostique et thérapeutique pour la prise en charge des urolithes

A. Démarche diagnostique

a. Présentation clinique

La présence de calculs dans l'appareil urinaire, quelle que soit leur nature, est susceptible d'entraîner une inflammation, une infection et une obstruction du tractus urinaire. Des complications locales et générales peuvent en résulter (Cotard, 1993). Le tableau clinique peut varier selon la localisation et la taille des urolithes.

Les urolithes peuvent se former n'importe où dans les voies urinaires, bien que chez le chien, la grande majorité se produit dans la vessie (Stevenson et Rutgers, 2008).

Les signes cliniques associés aux urolithes des voies supérieures sont souvent silencieux (Lulich *et al.*, 2011 ; Stevenson et Rutgers, 2008) et leur découverte est fortuite.

Toutefois certains calculs rénaux peuvent provoquer des signes infectieux lors d'une pyélonéphrite, des signes d'insuffisance rénale, des douleurs abdominales, une hématurie, une obstruction de l'écoulement, une réduction de masse rénale (Hébert et Bulliot, 2018 ; Stevenson et Rutgers, 2008).

Les symptômes de la lithiase urinaire sont principalement dus à une irritation de la muqueuse des voies urinaires inférieures, entraînant des signes de cystite et/ou d'urétrite. Les signes les plus courants sont l'hématurie, la dysurie et pollakiurie (Stevenson et Rutgers, 2008).

Les calculs de petites tailles peuvent parfois être évacués lors des mictions et rester asymptomatiques (Lulich *et al.*, 2011).

Dans les cas les plus graves, ils peuvent provoquer un syndrome obstructif, notamment lors d'une obstruction urétrale, ce qui constitue un problème médical et chirurgical (Stevenson et Rutgers, 2008).

L'animal peut alors présenter un état général dégradé voir de choc avec déshydratation, hypothermie et bradycardie (Hébert et Bulliot, 2018).

b. Confirmation de la présence des calculs

L'imagerie médicale permet la détection des urolithes et aide à la démarche diagnostique.

L'objectif principal de l'évaluation est de confirmer la présence, l'emplacement, le nombre, la taille, la densité et la forme des urolithes (Lulich *et al.*, 2011).

Elle peut permettre d'évaluer si le calcul est présent et non obstructif ou potentiellement obstructif ou manifestement obstructif (Feeny et Anderson, 2011).

La radiographie fournit les informations les plus utiles pour les calculs radio-opaques et une cystographie à double contraste pour les calculs radio transparents.

Les urolithes d'urate sont les plus radio transparents et nécessitent généralement une cystographie à double contraste pour leur visualisation (Villaverde, 2014).

L'échographie est une méthode de détection très sensible mais ne fournit pas d'informations suffisantes sur les caractéristiques des urolithes (*Tableau 11*) (Lulich *et al.*, 2011).

Tableau 11 : Comparaison de la radiographie et de l'échographie dans l'évaluation d'un urolithe (Lulich *et al.*, 2011).

Caractéristique de l'urolithe	Radiographie d'enquête	Echographie
Radio-opacité	++++	-
Variation de radio-opacité	+++	-
Forme	+++	+
Contour	+++	-
Diamètre	+++	+++
Nombre	+ à +++	+ à ++
Rein	+++	+++
Uretère	+++	+
Vessie	+++	++++
Urètre	+++	+

c. Prédiction de la nature minérale

La prédiction de la nature minérale est importante pour la prise en charge thérapeutique. Par exemple, elle permet de prescrire une dissolution pour des calculs de PAM et éviter ainsi un acte chirurgical ou envisager une castration devant des calculs de cystine. Elle est moins pertinente dans les situations à risque d'obstruction ou face à un syndrome obstructif, où l'extraction chirurgicale du calcul est obligatoire.

Le contexte épidémiologique (sexe, âge, race...) et la clinique, couplés à des analyses sanguines (calcémie ...) et urinaires (pH urinaire, culture d'urine avec antibiogramme...) peuvent nous orienter sur la nature minérale du calcul.

Les radiographies offrent également de nombreuses informations pour prédire leur composition minérale (*Tableau 12*). Elles peuvent identifier la nature du calcul en dissociant dans un premier temps les calculs radio- opaques (PAM, CaOx, silices) de ceux qui le sont peu ou pas du tout (urate, xanthine, cystine) (Rault, 2016).

En dehors de leur radio-opacité, elles permettent de caractériser l'urolithe en renseignant sur l'uniformité de leur radio-opacité, leur forme et le contour de leur surface (Lulich *et al.*, 2011).

Tableau 12 : Aspects radiographiques des calculs chez le chien (Rault, 2016).

TYPE	OPACITE	SURFACE	FORME	NOMBRE	TAILLE
CaOx monohydraté	+++ à ++++	Lisse	Ronde	>5	1 à 5 mm
CaOx dihydraté	+++ à ++++	Irrégulière	Rosette	>3	1 à 7 mm
PAM stérile	++ à +++	Irrégulière	Ronde à ovale	Souvent 1 à 3	3 à 10mm
PAM infecté	+ à +++	Lisse à discrètement irrégulière	Ronde avec ou sans facettes	Peu à beaucoup	2>7mm
Urate	- à ++	Lisse	Ronde à ovale	Peu ou beaucoup	À 15mm
Cystine	- à +++	Lisse à bosselée	Ronde	Quelques- uns	2 à 10mm
Silice	++ à ++++	Lisse	Spiculée	Un ou plusieurs	À 10mm
Xanthine	- à +	Lisse	Ronde à ovale	Peu à beaucoup	1 à 4mm

B. Démarche thérapeutique

Le choix du traitement dépendra de la nature et taille des calculs, de leur localisation (rein, uretère, vessie, urètre) et de leur expression clinique (asymptomatique au syndrome obstructif).

a. Traitement médical

Avant d'instaurer un traitement médical adapté à chaque type de calcul, il convient d'en suspecter la nature afin de savoir si une dissolution médicale est possible et de mettre en place un traitement spécifique visant à limiter les récurrences (Lulich *et al.*, 2016).

Le consensus de l'American Collège of Veterinary Internal Médecine (ACVIM) (*Annexe 2*) préconisent avant tout le traitement médical quand il est possible.

Chez les chiens asymptomatiques et dont la taille du calcul ne permet pas une obstruction urétrale, un suivi régulier et la sensibilisation du propriétaire à repérer des signes cliniques sont préconisées (Lulich *et al.*, 2016).

En cas de signes cliniques sans risque d'obstruction, la nature du calcul et la connaissance de sa lithogénèse vont permettre de rechercher un pH urinaire favorable à sa dissolution et surtout prévenir leur précipitation (Crépeaux, 2023).

Un protocole de dissolution existe pour les PAM avec parallèlement une antibiothérapie pour éradiquer l'infection en cause chez le chien (Faucher, 2016 ; Lulich *et al.*, 2016 ; Palma *et al.*, 2013).

Avant toute extraction, un protocole de dissolution est recommandé pour les calculs de cystine et d'urate (Lulich *et al.*, 2016).

En revanche, Il n'existe pas à ce jour de traitement médical curatif pour les calculs de CaOx qui doivent être extraits chirurgicalement si nécessaire.

b. Traitement chirurgical

Les nouvelles recommandations de l'ACVIM priorisent le traitement chirurgical :

- pour des calculs dont la dissolution n'est pas possible ou inefficace avec un risque d'obstruction,
- en cas de syndrome obstructif avec un risque vital pour l'animal.

Toute chirurgie urétrale est fortement déconseillée du fait d'un risque de lésions anatomiques et fonctionnelles (Lulich *et al.*, 2016).

Ces changements de pratiques s'expliquent également par le fait que la chirurgie n'est pas sans risque.

En effet, le risque anesthésique notamment pour l'animal d'un certain âge et avec d'éventuelles pathologies sous-jacentes est majoré. D'autant plus que l'urolithiase est une pathologie récidivante nécessitant alors des chirurgies multiples.

Notons que parfois des débris cellulaires, des bactéries et des corps étrangers (fils de suture) peuvent également jouer le rôle initiateur de la nucléation (Cotard, 1993 ; Lulich *et al.*, 2011). Ainsi, le traitement chirurgical peut augmenter le risque lithiasique face aux fils de suture.

Ces risques expliquent la préconisation des méthodes peu invasives autant que possible en alternative à la chirurgie traditionnelle (cystostomie par exemple) (Langston *et al.*, 2010) comme par exemple :

- L'urohydropropulsion ou au moyen de paniers extracteurs de calculs guidés par cystoscopie pour des calculs de petites tailles
- La lithotripsie : elle a pour objectif de fragmenter les urolithes en morceaux suffisamment petits pour être éliminés spontanément lors d'une miction ou être retirés par des méthodes non invasives. Les thérapies intracorporelles au laser impliquent un contact direct du lithotriteur avec l'urolithe. La lithotritie extracorporelle par ondes de choc est plus efficace sur des urolithes immobiles.

Néanmoins, ces méthodes ne sont pas toujours accessibles. Le diamètre du cystoscope par exemple est parfois trop important pour passer dans des urètres de chiens de petite taille et chez le chien dont l'urètre est plus long. Une ligne directrice est que cette technique peut être utilisée pour retirer les urolithes < 5 mm de diamètre chez les chiens mâles et femelles pesant plus de 8 kg.

La composition minérale du calcul joue sur l'efficacité de la lithotripsie par ondes de choc. Par ordre de résistance croissante, elle agit sur les PAM, les CaOx, urates et cystine. Des complications peuvent parfois apparaître comme une tuméfaction et une inflammation de la muqueuse urétrale provoquant une obstruction urétrale complète ou partielle (Langston *et al.*, 2010).

Compte tenu du coût du matériel de lithotripsie, de l'accessibilité limitée et de la durée de l'intervention, de nombreux cliniciens préfèrent les techniques de cystotomie ou de récupération assistée par endoscope (Palma *et al.*, 2013).

c. Traitement préventif

Le traitement préventif est d'une grande importance afin de diminuer le risque de récurrence, qui est élevé la plupart du temps. Le suivi doit être régulier afin de détecter précocement toute rechute (Faucher, 2016).

Dans tous les cas de lithiase, un traitement des causes sous-jacentes doit être entrepris (infections, cushing...) et une dilution des urines préconisée (Faucher, 2016 ; Lulich *et al.*, 2016).

L'hydratation est en effet un point essentiel. Étant donné que la concentration excessive de minéraux dans les urines est une condition préalable à la formation d'urolithes, il s'ensuit qu'une consommation accrue d'eau entraîne logiquement une réduction de la concentration urinaire de tous les minéraux lithogènes. L'augmentation du volume urinaire diminue aussi le risque de lithiase urinaire en augmentant la fréquence des mictions et donc les éventuels petits cristaux (Lulich *et al.*, 2011 ; Quéau, 2016). Une consommation accrue d'eau est la meilleure stratégie pour maintenir une bonne santé des voies urinaires en cas de lithiase de CaOx (Gisselman *et al.*, 2009).

Le consensus ACVIM recommande dans la prévention des lithiases (Annexe 3) :

- En cas de struvite stérile, rare chez le chien, une alimentation acidifiante (pauvre en magnésium et phosphore) alors que les mesures diététiques sont d'importance secondaire face au traitement des infections urinaires, en cas de struvite en milieu infecté. Voir aucun traitement médical ou diététique n'est indiqué à titre préventif pour le PAM infecté si ce n'est la prévention des infections urinaires (Faucher, 2016).

- Pour les calculs de CaOx, alcaliniser les urines en évitant une alimentation riche en protéines et privilégier un aliment à taux d'humidité élevé voire en cas de récurrence, la prescription d'un diurétique thiazidique ou de citrate de potassium.

- En cas de calculs d'urate, une alimentation alcalinisante (pauvre en protéines en général riches en purines), et chez le chien présentant une hyperuricosurie génétique réfractaire au traitement diététique, l'administration d'un traitement médical (inhibiteur de la xanthine oxydase : allopurinol, Zyloric®)

- En cas de calculs de cystine, une alimentation alcalinisante (pauvre en protéine et en sodium), stériliser l'animal et en cas de récurrence accrue, associés à un ajout de D-Pénicillamine peut être ajouté.

Ainsi, l'approche thérapeutique est à discuter en fonction de la nature minérale du calcul (*Tableau 13*) et une prévention des récurrences est primordiale.

Tableau 13 : Approche thérapeutique simplifiée selon la nature minérale du calcul (Faucher, 2016 ; Lulich et al., 2016 ; Palma et al., 2013 ; Quéau, 2016 ; Villaverde, 2014).

	CaOx	PAM	Urates	Cystine
Traitement médical A privilégier si possible	Inexistant.	Protocole de dissolution + Antibiothérapie.	Protocole de dissolution.	Protocole de dissolution.
Traitement chirurgical	Extraction chirurgicale si calculs à risque d'obstruction ou devant une urgence clinique obstructive. Les méthodes non invasives sont à privilégier autant que possible. La stérilisation est recommandée face à des calculs de cystine.			
Traitement préventif A toujours évaluer cas par cas et lors des suivis pour éviter les récurrences	Mesures générales dans tous les cas			
	S'attaquer aux causes sous-jacentes (les infections, hypercalcémie, maladies systémiques, chirurgie d'un shunt porto systémique...).			
	Favoriser la diurèse pour diluer les urines (diminution de la sursaturation en précurseurs, augmentation du volume urinaire et des fréquences des mictions).			
	Mesures diététiques			
	Alimentation alcalinisante. A taux d'humidité élevé.	PAM stérile : alimentation acidifiante.	Alimentation alcalinisante.	Alimentation alcalinisante.
Traitement médical préventif pour limiter les récurrences				
Citrate de potassium. Diurétiques thiazidiques (hydrochlorothiazide).	PAM infectée : prévenir et traiter les infections urinaires.	Allopurinol, Zyloric®,	Citrate de Potassium D-pénicillamine.	

Deuxième partie : Étude de la prédictibilité des données radiographiques des cas d'urolithiase canine présentés à l'EnvA entre octobre 2009 et août 2023

1. Introduction

Dans la première partie, l'importance de prédire la nature minérale d'un calcul urinaire chez le chien afin de mettre en place un traitement adéquat et éviter autant que possible une chirurgie a été soulignée.

L'étude de prédictibilité suivante vise à établir des critères radiographiques permettant à tout vétérinaire d'identifier la nature d'un calcul urinaire et ainsi d'en choisir la prise en charge la plus appropriée. Les données épidémiologiques et radiographiques seront utilisées dans une étude ultérieure afin de créer une intelligence artificielle permettant à tout vétérinaire généraliste d'être aiguiller sur la nature minérale d'un calcul.

2. Matériels et méthodes

A. Définition de la population cible et recrutement

a. Critères d'inclusion et recensement des cas

La population cible de notre étude était l'ensemble des chiens présentés dans une clinique vétérinaire et présentant des signes cliniques d'une maladie lithiasique.

La population d'étude était constituée de l'ensemble des chiens présentés au Centre hospitalier universitaire vétérinaire d'Alfort (ChuvA) avec lithiase vésicale et dont les urolithes ont été analysés par spectrophotométrie infra-rouge. De plus, pour répondre à l'objectif de notre étude, les patients devaient préalablement à la chirurgie avoir subi une radiographie abdominale et celle-ci devait pouvoir être lue à partir du PACS, logiciel de stockage des examens d'imagerie du ChuvA.

La constitution de notre échantillon a été réalisée à l'aide de deux logiciels : Clovis® et Sirius®. Il s'agit de deux logiciels informatiques vétérinaires utilisés à l'École nationale vétérinaire d'Alfort, le deuxième remplaçant le premier depuis septembre 2023. Ces deux outils ont permis de recenser la totalité des cas vus au ChuvA au cours des dernières années.

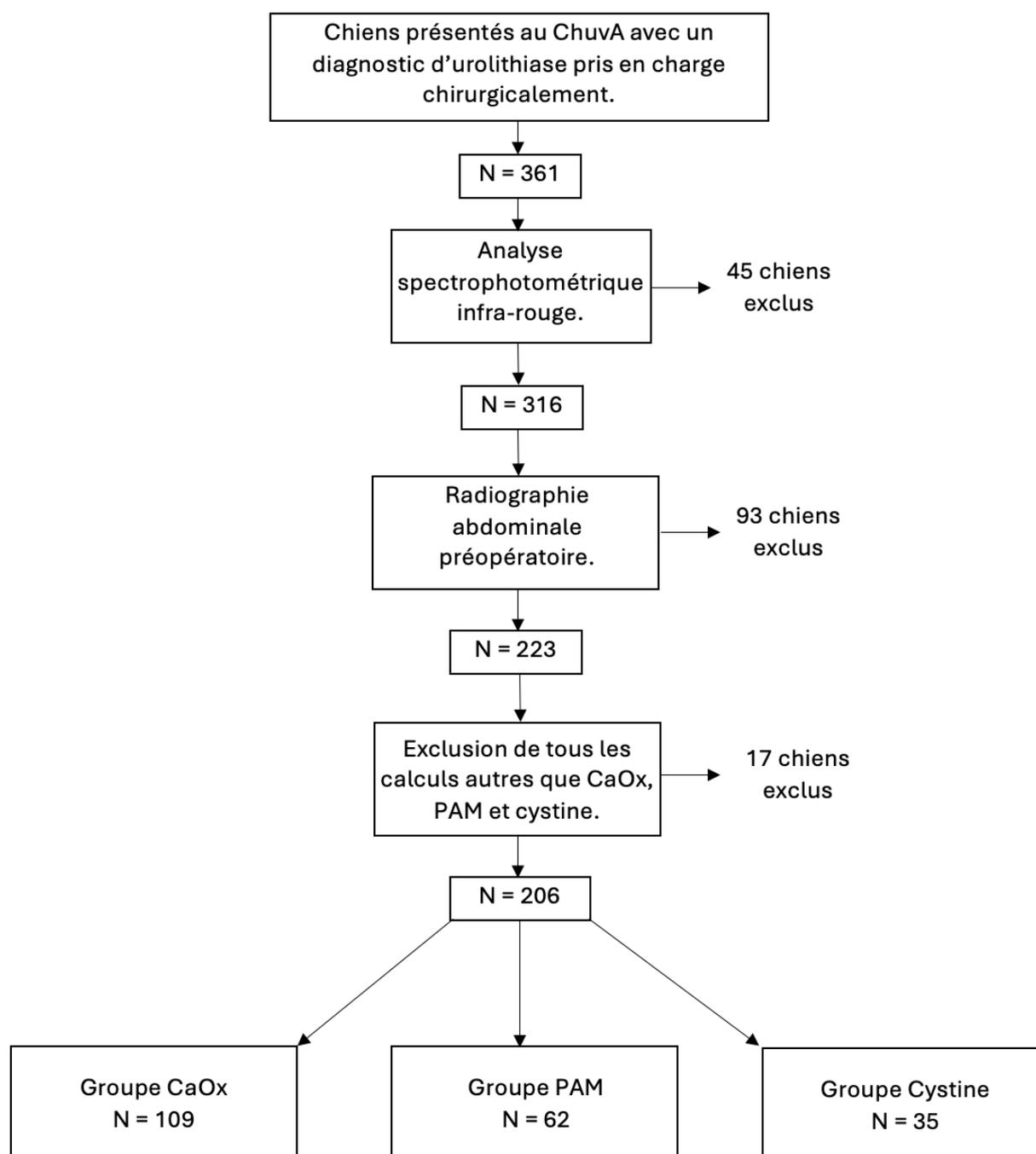
Les données que nous avons utilisées dans notre étude proviennent en partie des comptes rendus rédigés par les étudiants et validés par les cliniciens, et en partie des résultats des analyses

spectrophotométriques infra-rouge des calculs effectuées par des laboratoires externes à l'EnvA tels que VET France, Idexx ou encore VET'ANALYS.

Nous avons utilisé la fonctionnalité « recherche » des logiciels pour filtrer les résultats avec les mots clés suivants : « chien », « cystotomie », « lithiase », « calcul », « urolithe ». Chacun de ces mots ayant été mis par la suite au pluriel pour une nouvelle recherche. Au total, 361 chiens répondaient à ces critères (Figure 18).

b. Critères d'exclusion

Figure 18 : Diagramme de flux de l'étude



Un calcul était qualifié de calcul pur lorsqu'il était constitué de plus de 70% de son composant primaire. Autrement, les calculs sont considérés comme mixtes. Aucune distinction n'a été faite entre les calculs mixtes et les calculs structurés en couches, car les couches n'étaient pas différenciées lors de l'analyse spectrophotométrique. Parmi eux, on distingue les calculs mixtes PAM et phosphate de calcium (7 chiens) et les calculs mixtes autres (5 chiens) que nous avons exclus également.

De plus, nous avons exclu les calculs d'urate (2 chiens), les calculs de phosphate de calcium (7 chiens) ainsi que les calculs de silice (1 chien) et de protéines (1 chien) car il n'aurait pas été pertinent de faire des classes avec aussi peu d'individus.

Ainsi, un total de 206 chiens répondait aux critères de notre population d'étude. Les natures minérales des calculs inclus étaient les CaOx, les PAM et les cystines. Pour les calculs de CaOx, aucune distinction n'est réalisée entre les CaOx monohydratés (whewellite) et les dihydratés (weddellite). Ils représentaient 109 chiens de notre étude. Les PAM concernaient 62 chiens et les cystines, 35 chiens.

B. Méthodologie

Les données collectées ont été organisées dans un tableur Excel comprenant deux feuilles de calcul distinctes. Chaque feuille de calcul présente une ligne dédiée à un animal. Les tableurs sont illustrés en Annexe 3.

a. Collecte des données épidémiologiques

Pour chacun des 206 chiens inclus dans l'étude, la première feuille de calcul présente les données épidémiologiques et les résultats des analyses spectrophotométriques des calculs de la façon suivante :

- Nom de l'animal.
- Nom du propriétaire.
- Numéro de dossier Sirius.
- Sexe.
- Age au diagnostic.
- Race.
- Poids.
- Statut reproducteur.
- Résultats de l'examen cyto bactériologique des urines (ECBU) lorsqu'il était réalisé et le(s) germe(s) associé(s) en cas de positivité.
- Date de la cystotomie.
- Nombre de calculs.
- Composant primaire et proportion associée, de même pour les composants secondaires, tertiaires et quaternaires lorsqu'ils étaient présents.
- La taille des calculs.
- La couleur.

- La surface.
- La consistance.

b. Collecte des données radiographiques

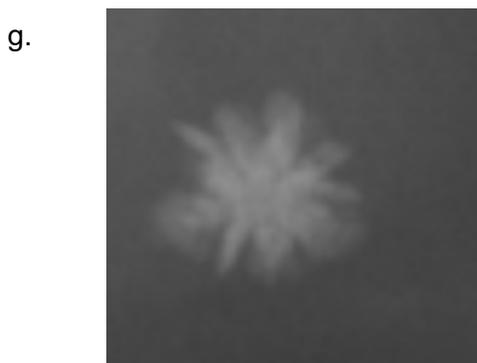
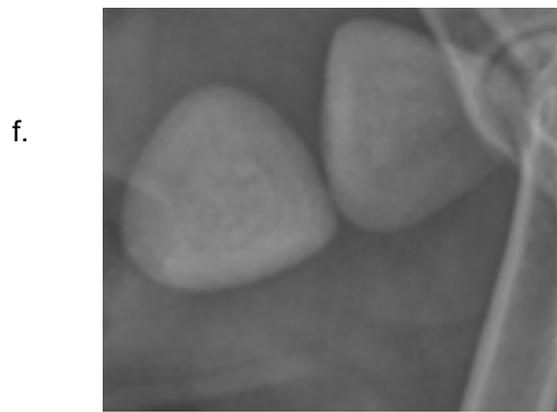
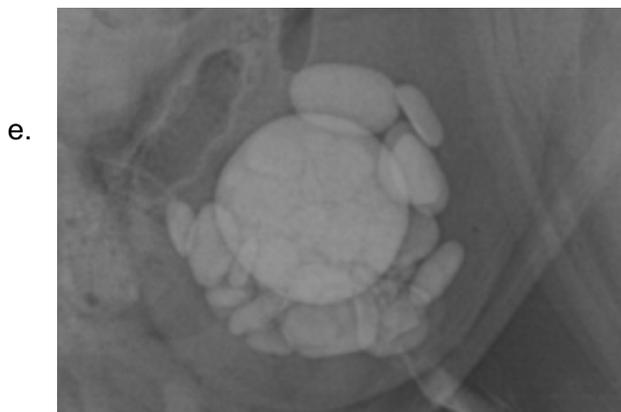
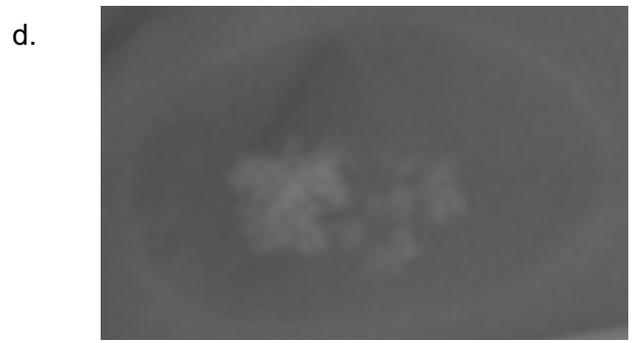
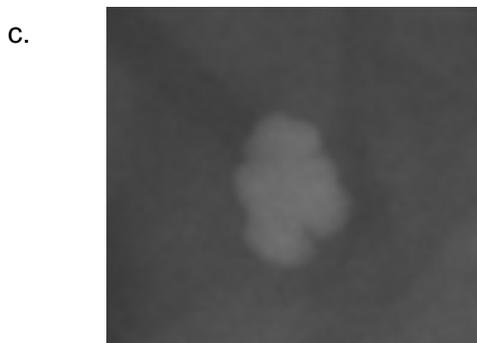
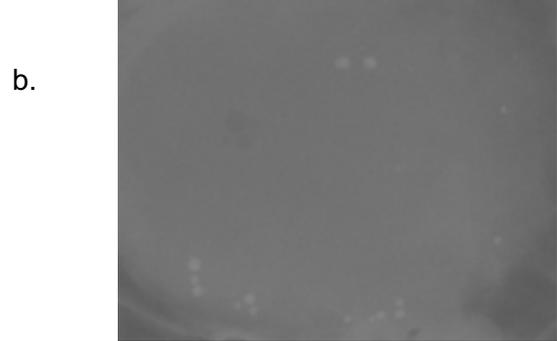
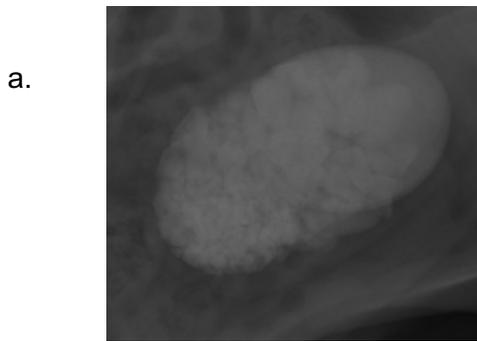
Chaque chien inclus dans l'étude a eu au moins une radiographie abdominale de profil. Pour 52 chiens, seules des vues de profil étaient disponibles, tandis que pour les 154 autres, des vues de face et de profil étaient disponibles. Ces clichés radiographiques réalisés en amont de la chirurgie ont été analysés à l'aide du logiciel Horos® entre novembre 2023 et février 2024. Ces analyses radiographiques ont été réalisées par le docteur PULIDO VEGA Diégo, résident en imagerie médicale. Chaque radiographie a été relue deux fois. Ces lectures des images radiographiques ont été réalisées, en aveugle, sans connaissance des résultats de l'analyse spectrophotométrique.

Les caractéristiques radiographiques des calculs ont été répertoriées dans la deuxième feuille de calcul du tableur Excel®. Pour chaque caractéristique, une valeur unique a été attribuée. Le tableur Excel® était organisé de la manière suivante :

- Numéro de dossier Sirius.
- Nom du propriétaire.
- Date de réalisation des radiographies précédant l'intervention chirurgicale.
- Les incidences disponibles (face et profil ou profil uniquement).
- Le nombre de calculs observés et leur localisation (rein, uretère, rein, urètre pelvien, urètre pénien).
- La taille maximale de calcul observée.
- La forme des calculs : les formes sont illustrées par la *Figure 19*. Elles sont : à facette (a), arrondie (b), bosselée (c), irrégulière (d), ovoïde (e), pyramidale (f), spiculée (g) ou tubulaire (h).
- L'homogénéité des calculs : homogène (*Figure 19.b*) ou hétérogène (*Figure 19.g*).
- Le contour : lisse (*Figure 19.b*) ou irrégulier (*Figure 19.g*).
- Le bord : arrondi (*Figure 19.b*) ou tranchant (*Figure 19.g*).
- Le rapport d'opacité entre l'opacité du calcul le plus volumineux en son centre et l'opacité de la partie caudale du corps vertébral de la 5^{ème} vertèbre lombaire (L5).
- L'opacité subjective quantifiée par une croix, deux croix ou trois croix en fonction de l'opacité. Un signe moins était attribué aux calculs non visibles.

Le rapport d'opacité calculée par rapport à L5 est un rapport inexistant en médecine vétérinaire. En effet, seule l'opacité subjective, dépendante de chaque vétérinaire, est utilisée. L'objectif était alors de créer un ratio assurant une mesure relativement répétable tout en permettant de limiter les variations liées à la technique. Le docteur JérémY MORTIER, spécialiste en imagerie médicale, a proposé d'utiliser la vertèbre L5. En effet, celle-ci est radio-opaque, toujours présente sur les radiographies urogénitales et permet de s'affranchir des superpositions abdominales. Ainsi un rapport supérieur à 1 signifie que l'opacité du calcul est supérieure à l'opacité de la partie caudale du corps vertébral de L5.

Figure 19 : Les formes des calculs : à facette (a), arrondie (b), bosselée (c), irrégulière (d), ovoïde (e), pyramidale (f), spiculée (g) et tubulaire (h). Les photographies proviennent des radiographies de nos cas.



c. Méthodes d'analyse statistique des résultats

Dans un premier temps, pour chaque critère épidémiologique et radiographique de l'étude, des intervalles de confiance (IC) à 95 % ont été calculés à l'aide du site internet Epitools®. Les médianes et les quartiles ont quant à eux été obtenus grâce aux fonctions du logiciel Excel®. Enfin, l'IC des médianes a été obtenu à l'aide des explications données dans le polycopié de biostatistiques de Loïc DESQUILBET. Ainsi, pour chaque critère étudié, nous pouvons affirmer que « si l'estimation n'est pas biaisée, il y a 95 % de chances pour que dans la population des chiens présentant un diagnostic d'urolithiase du BAU, la valeur réelle du critère étudié soit comprise entre IC_{Inf} et IC_{max} » (Desquilbet, 2023a).

Dans un second temps, nous nous sommes concentrés sur les données radiographiques afin d'établir des critères radiographiques permettant à tout vétérinaire de trancher entre un calcul de CaOx, de PAM ou de cystine. Pour chaque analyse statistique, les trois groupes ont été isolés un à un et le test réalisé trois fois, sauf lorsqu'une hypothèse basée sur la bibliographie permettait d'isoler un groupe par rapport aux autres. Différents outils statistiques ont été utilisés.

- *Les courbes de ROC*

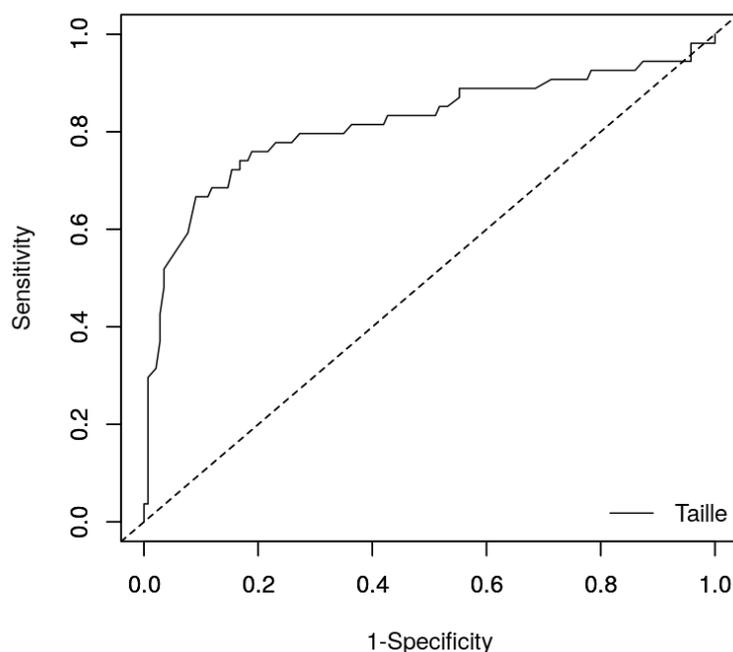
Pour les deux critères quantitatifs des données radiographiques, à savoir la taille des calculs et l'opacité calculée, la réalisation de courbes de ROC est la méthode de référence pour discriminer deux populations d'individus.

Une courbe de ROC est une représentation graphique pour chaque valeur possible de la donnée choisie avec un compromis entre sa sensibilité et sa spécificité. L'axe verticale correspond à la sensibilité, soit le taux de vrais positifs. L'axe horizontale correspond à 1-spécificité soit le taux de faux positifs. Une courbe de ROC permet de montrer que la valeur d'un paramètre quantitatif est capable de discriminer les individus malades des individus sains. La capacité discriminante est définie en fonction de la valeur de l'aire sous la courbe. Plus la courbe de ROC s'éloigne de 45° tout en restant au-dessus, plus le test diagnostique est capable de bien les discriminer. De plus, si un test diagnostique possède une bonne capacité à discriminer les individus, une valeur seuil doit être déterminée (Desquilbet, 2023b). Dans notre étude, l'aire sous la courbe devait être égale ou supérieure à 0,8 pour dire que notre critère permettait de bien discriminer nos individus.

Pour chaque critère, trois courbes de ROC ont été réalisées de la façon suivante :

- Le Groupe CaOx a été considéré comme les individus malades et les groupes PAM et Cystine comme les individus sains.
- Le Groupe PAM a été considéré comme les individus malades et les groupes CaOx et Cystine comme les individus sains (*Figure 20*).
- Le Groupe Cystine a été considéré comme les individus malades et les groupes CaOx et PAM comme les individus sains.

Figure 20 : Exemple de courbe de ROC pour le critère "taille" du groupe PAM.



Les valeurs seuils, lorsqu'elle pouvait être déterminée, ont été obtenues à l'aide de l'indice de Youden généralisé. L'indice de Youden généralisé minimise la somme des nombres d'individus faux négatifs et d'individus faux positifs, en prenant compte le pourcentage de prévalence de la maladie dans la population (estimé par le clinicien par les données épidémiologiques) et le rapport du coût d'un individu faux négatif (CFN) par celui d'un individu faux positif (CFP) (Desquilbet, 2023b).

- *Détermination de la sensibilité, spécificité et des rapports de vraisemblance*

Pour la présence de calculs dans le haut appareil urinaire (HAU), le nombre de calculs, l'organisation interne, les contours et les bords, nous avons déterminé la sensibilité et la spécificité de ces critères dans notre étude.

A ces deux valeurs, nous pouvions calculer les deux rapports de vraisemblance (RV) : le RV positif (RV^+) et le RV négatif (RV^-). Ces deux valeurs ont de nombreux avantages par rapport aux valeurs prédictives positives et négatives. En effet, les rapports de vraisemblance sont basés sur un rapport de sensibilité et de spécificité. Ils sont donc indépendants de la prévalence et facilement transférables d'un patient à un autre contrairement aux valeurs prédictives positive et négative. Ces deux rapports quantifient la différence entre la probabilité que l'individu soit malade avant la réalisation du test diagnostique et la probabilité que l'individu soit malade une fois le test réalisé. Ils permettent une évaluation plus claire et plus précise de l'impact approprié des résultats des tests diagnostiques sur la prise de décision clinique (Hayden et Brown, 1999 ; Timsit *et al.*, 2018).

Lorsque la valeur de RV+ est élevée, cela conduit donc au fait que le test diagnostique est utile quand son résultat est positif (*Tableau 14*). Lorsque la valeur de 1/RV- est élevée, cela conduit au fait que le test diagnostique est utile quand son résultat est négatif. Des valeurs seuils de RV+ et 1/RV- et sont représentés dans le tableau ci-dessous (Jaeschke *et al.*, 1994)

Tableau 14 : Apport d'information de la part d'un test diagnostique lorsque son résultat est positif selon la valeur du rapport de vraisemblance positif (RV+) (Desquilbet, 2023c).

Valeur de RV+	Apport d'information suite au résultat positif du test	Utilité du test diagnostique lorsque le résultat est positif
> 10	Important	Très utile
5-10	Modéré	Modérément utile
2-5	Faible	Faiblement utile
1-2	Quasi nul	Quasiment inutile
≤ 1	Nul	Inutile

- Détermination du coefficient de concordance Kappa (Desquilbet, 2023c)

Afin de déterminer la concordance de l'opacité subjective évaluée par le clinicien avec l'opacité calculée avec le rapport de l'opacité du calcul par rapport à l'opacité de L5, le coefficient de concordance Kappa (noté CCK) a été utilisé. Les valeurs de l'opacité calculée sont séparées en 3 classes grâce aux terciles. Le *Tableau 15* suivant est obtenu :

Tableau 15 : Évaluation de la concordance entre l'opacité subjective et l'opacité calculée.

		Opacité calculée		
]0 ; 0,79]]0,79 ; 0,96]	>0,96
Estimation de l'opacité par le clinicien	Léger (+)	28	0	0
	Modérée (++)	36	50	3
	Marquée (+++)	0	12	59

Le CCK tente d'enlever la portion de hasard dans l'accord observé entre les deux méthodes. Ainsi, il quantifie l'intensité de l'accord « véritable ».

Le CCK se calcule à l'aide la formule suivante : $K = \frac{C_{obs} - C_{al}}{1 - C_{al}}$ avec C_{obs} la concordance observée et C_{al} la concordance aléatoire.

La concordance observée C_{obs} vaut la somme des effectifs concordants divisée par la taille de l'échantillon total tandis que la concordance aléatoire C_{al} vaut la somme des effectifs concordants théoriques divisée par la taille de l'échantillon.

Ce CCK s'interprète selon la classification de Landis et Koch présentée par la *Figure 21* ci-dessous (Landis et Koch, 1977) :

Figure 21 : Interprétation des valeurs du coefficient Kappa (Landis et Koch, 1977).

< 0	Très mauvais (Poor)
0-0,20	Mauvais (Slight)
0,21-0,40	Passable (Fair)
0,41-0,60	Moyenne (Moderate)
0,61-0,80	Bonne (Substantial)
0,81-1,00	Très bonne (Almost perfect)

- *Test du Chi2 et de Fisher*

Pour la forme des calculs, le test statistique du Chi2 a été réalisé pour les 8 formes différentes en comparant avec les 3 groupes CaOx, PAM et Cystine. Lorsque les conditions de réalisation du test du Chi2 n'étaient pas respectées, le test de Fisher a été réalisé à la place

A chaque fois l'hypothèse nulle H_0 était : « Dans la population des chiens présentés dans une clinique vétérinaire et présentant des signes cliniques d'une maladie lithiasique, il n'existe pas d'association réelle entre la forme du calcul et la nature minérale ».

Le degré de signification a été corrigé par la correction de Holm du fait de l'utilisation de tests statistiques multiples.

Puis, pour les formes où les différences étaient significatives, les Se, Sp et RV ont été déterminés.

3. Résultats

A. Étude des données épidémiologiques

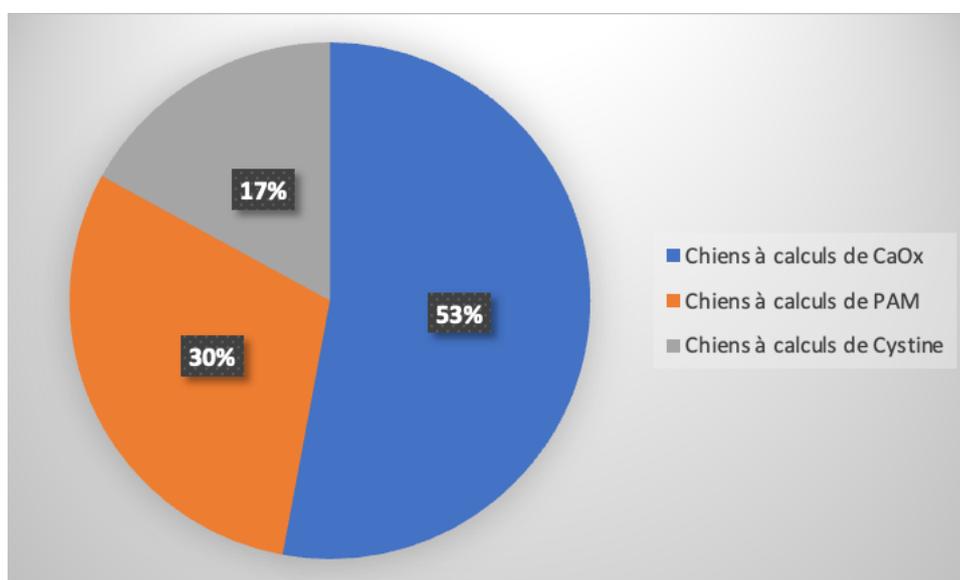
Les 206 chiens de notre échantillon peuvent être répartis en 3 groupes (*Figure 22*) en fonction de la nature minérale des calculs urinaires :

Groupe CaOx : chiens atteints de maladie lithiasique oxalocalcique (N= 109)

Groupe PAM : chiens atteints de maladie lithiasique à PAM (N= 62)

Groupe Cystine : chiens atteints de maladie lithiasique cystinique (N= 35)

Figure 22 : Répartition des natures minérales des calculs urinaires dans notre échantillon

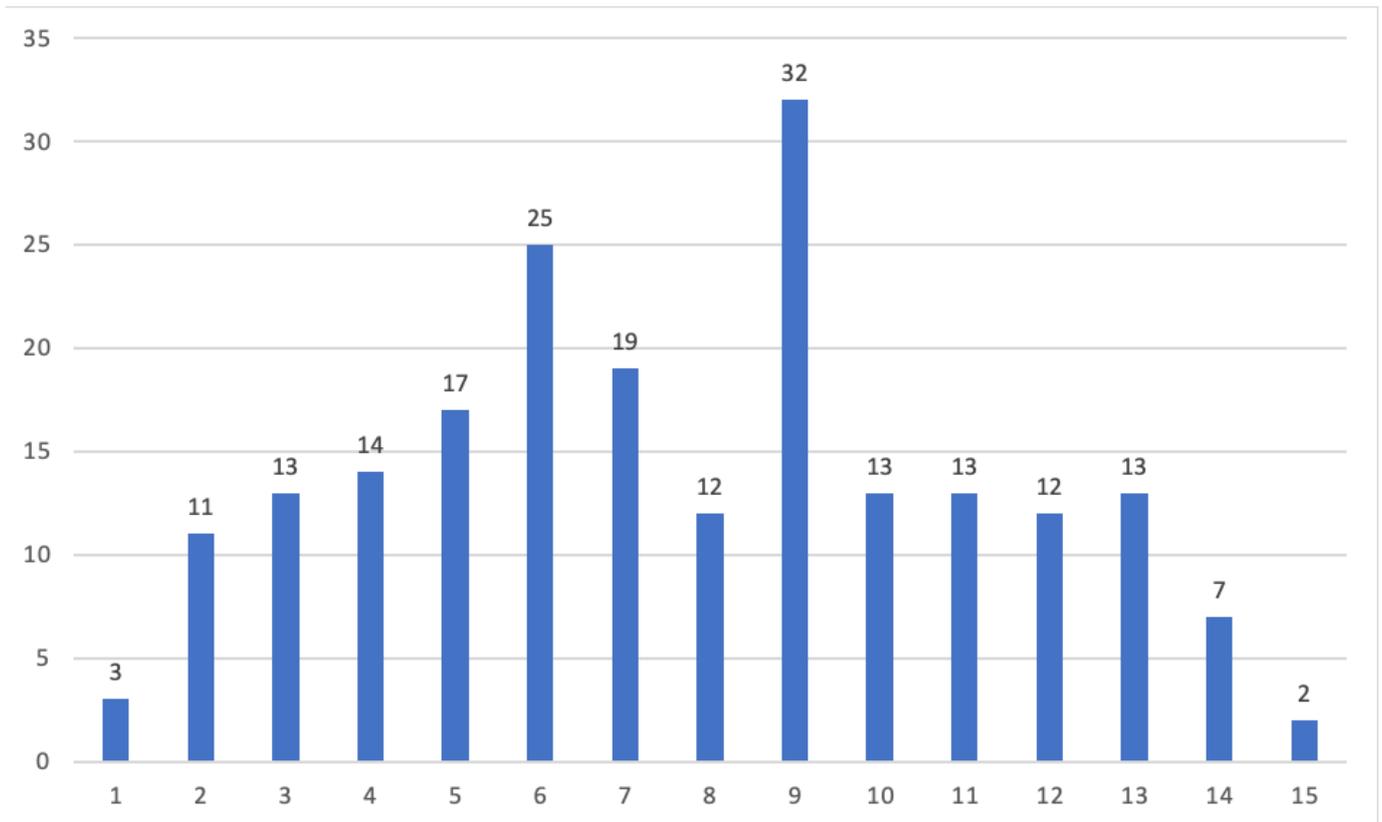


a. Age

- *Dans la population d'étude*

Les tranches d'âge des chiens de notre étude sont présentées dans la *Figure 23* ci-dessous. L'âge médian de notre échantillon est de 7,8 ans [7,0 ; 8,5]_{IC95%}.

Figure 23 : Répartition des âges des chiens au sein de notre échantillon



- Dans les différents groupes (Tableau 16)

Tableau 16 : Age médian dans les différents groupes de l'étude

Exposition	Groupe CaOx (N=109)	Groupe PAM (N=62)	Groupe Cystine (N=35)
Age médian (en années) *	9,0 [7,0 ; 11,5]	6,0 [5,0 ; 9,0]	4,0 [2,0 ; 5,5]
IC min	9,0	6,0	2,5
IC max	10,0	8,0	5,0

* Médiane [1^{er} quartile ; 3^{ème} quartile]

Nous remarquons que le groupe CaOx a l'âge médian le plus âgé tandis que le plus jeune est dans le groupe cystine.

b. Sexe et statut reproducteur

- *Dans la population d'étude*

Les mâles, notamment entiers, sont prépondérants dans notre étude. Parmi les femelles, ce sont les femelles stérilisées qui sont les plus représentées (*Tableau 17*).

Tableau 17 : Répartition des sexes et des statuts reproducteurs des chiens dans notre étude

Expositions	Échantillon total (N=206)	IC min	IC max
Mâle (versus Femelle)	80,6 %	80,1 %	74,5 %
Mâle entier (versus Mâle castré), n (%)	81,3 %	74,6 %	86,9 %
Femelle entière (versus Femelle stérilisée), n (%)	45,0 %	29,3 %	61,5 %

- *Dans les différents groupes*

Les mâles sont prépondérants dans le groupe CaOx et exclusifs dans le groupe Cystine. Ils représentent la moitié des cas dans le groupe struvite. Parmi ces mâles, les animaux entiers sont les plus fréquents (*Tableau 18*).

Tableau 18 : Répartition des sexes et des statuts reproducteurs des chiens dans les différents groupes de l'étude

Expositions	Groupe CaOx (N=109)	Groupe PAM (N=62)	Groupe Cystine (N=35)
Mâle (versus Femelle), n (%)	100 (91,7 %)	31 (50,0 %)	35 (100,0 %)
IC min	84,9 %	37,0 %	90,0 %
IC max	96,2 %	63,0 %	100,0 %
Mâle entier (versus Mâle castré), n (%)	77 (77,0 %)	24 (77,4 %)	35 (100,0 %)
IC min	67,5 %	58,9 %	90,0 %
IC max	84,8 %	90,4 %	100,0 %
Femelle entière (versus Femelle stérilisée), n (%)	5 (55,6 %)	13 (41,9 %)	0 (0,0 %)
IC min	21,2 %	24,6 %	0,0 %
IC max	86,3 %	60,9 %	10,0 %

c. Race

- Dans la population d'étude

Vingt-huit races apparaissent deux fois ou plus dans notre étude (Tableau 19).

Tableau 19 : Races de chien apparaissant deux fois ou plus dans l'étude

Exposition	Échantillon total (N=109)	IC min	IC max
Races, n (%)			
Yorkshire terrier	36 (17,5 %)	12,6 %	23,4 %
Jack Russel Terrier	14 (6,8 %)	3,8 %	11,1 %
Bouledogue français	13 (6,3 %)	3,4 %	10,6 %
Croisé	12 (5,8 %)	3,1 %	10,0 %
Shi Tzu	12 (5,8 %)	3,1 %	10,0 %
Staffordshire bullterrier	10 (4,9 %)	2,4 %	8,8 %
Bichon frisé	9 (4,4 %)	2,0 %	8,1 %
Chihuahua	8 (3,9 %)	1,7 %	7,5 %
Bouledogue anglais	7 (3,4 %)	1,4 %	6,9 %
Carlin	7 (3,4 %)	1,4 %	6,9 %
CKC	6 (2,9 %)	1,1 %	6,2 %
American Staffordshire terrier	5 (2,4 %)	0,8 %	5,6 %
Caniche	5 (2,4 %)	0,8 %	5,6 %
Cocker Américain	4 (1,8 %)	0,5 %	4,9 %
Fox terrier	4 (1,8 %)	0,5 %	4,9 %
Lhassa Apso	4 (1,8 %)	0,5 %	4,9 %
Bichon maltais	3 (1,4 %)	0,3 %	4,2 %
Labrador retriever	3 (1,4 %)	0,3 %	4,2 %
Pinscher nain	3 (1,4 %)	0,3 %	4,2 %
Basset fauve de Bretagne	2 (1,0%)	0,1 %	3,5 %
Beagle	2 (1,0%)	0,1 %	3,5 %
Dalmatien	2 (1,0%)	0,1 %	3,5 %
Épagneul Breton	2 (1,0%)	0,1 %	3,5 %
Golden retriever	2 (1,0%)	0,1 %	3,5 %
Malinois	2 (1,0%)	0,1 %	3,5 %
Rottweiler	2 (1,0%)	0,1 %	3,5 %
Schnauzer nain	2 (1,0%)	0,1 %	3,5 %
Scottish terrier	2 (1,0%)	0,1 %	3,5 %

- *Dans les différents groupes*
CaOx

Les petites races sont prépondérantes dans le groupe CaOx et dans plus d'un quart des cas, nous retrouvons le Yorkshire Terrier (Tableau 20).

Tableau 20 : Répartition des races de chien au sein du groupe CaOx.

Exposition	Échantillon total (N=109)	IC min	IC max
Races, n (%)			
Yorkshire terrier	28 (25,8 %)	17,8 %	34,9 %
Jack Russel Terrier	9 (8,3 %)	3,9 %	15,1 %
Croisé	8 (7,3 %)	3,2 %	14,0 %
Bichon frisé	6 (5,5 %)	2,1 %	11,6 %
Chihuahua	6 (5,5 %)	2,1 %	11,6 %
Bouledogue français	5 (4,6 %)	1,5 %	10,4 %
CKC	5 (4,6 %)	1,5 %	10,4 %
Shi Tzu	5 (4,6 %)	1,5 %	10,4 %
Caniche	4 (3,7 %)	1,0 %	9,1 %
Bichon maltais	3 (2,8 %)	0,6 %	7,8 %
Fox Terrier	3 (2,8 %)	0,6 %	7,8 %
Lhasa Apso	3 (2,8 %)	0,6 %	7,8 %
Pinscher nain	3 (2,8 %)	0,6 %	7,8 %
Basset Fauve de Bretagne	2 (1,8 %)	0,2 %	6,5 %
Bouledogue anglais	2 (1,8 %)	0,2 %	6,5 %
Carlin	2 (1,8 %)	0,2 %	6,5 %
Schnauzer nain	2 (1,8 %)	0,2 %	6,5 %
Beagle	1 (0,9 %)	0,0 %	5,0 %
Cairn Terrier	1 (0,9 %)	0,0 %	5,0 %
Cocker Américain	1 (0,9 %)	0,0 %	5,0 %
Griffon	1 (0,9 %)	0,0 %	5,0 %
Lévrier Portugais	1 (0,9 %)	0,0 %	5,0 %
Malinois	1 (0,9 %)	0,0 %	5,0 %
Petit brabançon	1 (0,9 %)	0,0 %	5,0 %
Rottweiler	1 (0,9 %)	0,0 %	5,0 %
Schipperke	1 (0,9 %)	0,0 %	5,0 %
Shiba Inu	1 (0,9 %)	0,0 %	5,0 %
Spitz Toy	1 (0,9 %)	0,0 %	5,0 %
Toy Terrier	1 (0,9 %)	0,0 %	5,0 %
Welsh Terrier	1 (0,9 %)	0,0 %	5,0 %

PAM

Les petites races sont également majoritaires même si nous retrouvons également des races de taille moyenne telles que l'Épagneul breton, le Golden retriever et le Labrador Retriever (*Tableau 21*).

Tableau 21 : Répartition des races de chien au sein du groupe PAM.

Exposition	Échantillon total (N=62)	IC min	IC max
<hr/>			
Races, n (%)			
Shih Tzu	7 (11,4 %)	4,7 %	21,9 %
Yorkshire terrier	7 (11,4 %)	4,7 %	21,9 %
Carlin	5 (8,2 %)	2,7 %	17,8 %
Croisé	4 (6,5 %)	1,8 %	15,7 %
Jack Russel Terrier	4 (6,5 %)	1,8 %	15,7 %
Bichon frisé	3 (4,8 %)	1,0 %	13,5 %
Cocker Américain	3 (4,8 %)	1,0 %	13,5 %
Bouledogue français	2 (3,2 %)	0,4 %	11,2 %
Dalmatien	2 (3,2 %)	0,4 %	11,2 %
Épagneul Breton	2 (3,2 %)	0,4 %	11,2 %
Golden Retriever	2 (3,2 %)	0,4 %	11,2 %
Labrador Retriever	2 (3,2 %)	0,4 %	11,2 %
Scottish Terrier	2 (3,2 %)	0,4 %	11,2 %
Staffordshire bullterrier	2 (3,2 %)	0,4 %	11,2 %
Basset Artésien	1 (1,6 %)	0,0 %	8,7 %
Beagle	1 (1,6 %)	0,0 %	8,7 %
Berger Allemand	1 (1,6 %)	0,0 %	8,7 %
Berger Australien	1 (1,6 %)	0,0 %	8,7 %
Bouledogue anglais	1 (1,6 %)	0,0 %	8,7 %
Bouvier bernois	1 (1,6 %)	0,0 %	8,7 %
Caniche	1 (1,6 %)	0,0 %	8,7 %
Chihuahua	1 (1,6 %)	0,0 %	8,7 %
Chow Chow	1 (1,6 %)	0,0 %	8,7 %
CKC	1 (1,6 %)	0,0 %	8,7 %
Dobermann	1 (1,6 %)	0,0 %	8,7 %
Dogue Allemand	1 (1,6 %)	0,0 %	8,7 %
Lhassa Apso	1 (1,6 %)	0,0 %	8,7 %
Terrier du Tibet	1 (1,6 %)	0,0 %	8,7 %
Welsh Corgi	1 (1,6 %)	0,0 %	8,7 %

Cystine

Les quatre races les plus retrouvées sont le Staffordshire bullterrier, Bouledogue français, American Staffordshire terrier et le Bouledogue anglais. Des petites races sont également répertoriées (*Tableau 22*).

Tableau 22 : Répartition des races de chien au sein du groupe Cystine.

Exposition	Échantillon total (N=35)	IC min	IC max
<hr/>			
Races, n (%)			
Staffordshire bullterrier	8 (23,2 %)	10,4 %	40,1 %
Bouledogue français	6 (17,3 %)	6,6 %	33,7 %
American Staffordshire terrier	5 (14,4 %)	4,8 %	30,1 %
Bouledogue anglais	4 (11,5 %)	3,2 %	26,7 %
Chihuahua	1 (2,8 %)	0,1 %	14,9 %
Dogue Argentin	1 (2,8 %)	0,1 %	14,9 %
Fox Terrier	1 (2,8 %)	0,1 %	14,9 %
Jack Russel Terrier	1 (2,8 %)	0,1 %	14,9 %
Labrador Retriever	1 (2,8 %)	0,1 %	14,9 %
Lévrier Italien	1 (2,8 %)	0,1 %	14,9 %
Malinois	1 (2,8 %)	0,1 %	14,9 %
Parson Russel terrier	1 (2,8 %)	0,1 %	14,9 %
Rottweiler	1 (2,8 %)	0,1 %	14,9 %
Terrier Islandais	1 (2,8 %)	0,1 %	14,9 %
Whippet	1 (2,8 %)	0,1 %	14,9 %
Yorkshire terrier	1 (2,8 %)	0,1 %	14,9 %
<hr/>			

d. Infections urinaires

- *Dans la population d'étude*

Dans notre échantillon, 167 chiens ont eu un examen bactériologique, soit 81,1 % [75,0 ; 86,2]_{IC95%}. Pour 55 chiens, soit 32,9 % [25,9 ; 40,6]_{IC95%}, cette analyse est revenue positive.

Les *Staphylococcus pseudintermedius*, *Staphylococcus intermedius*, *Escherichia coli* et *Proteus mirabilis* étaient les quatre bactéries les plus fréquentes (*Tableau 23*). Une vingtaine d'autres germes sont apparus une à deux fois dans notre étude, parfois associés.

Tableau 23 : Bactéries les plus fréquentes dans notre population.

Exposition	Échantillon total (N=55)	IC min	IC max
Germes, n (%)			
Staphylococcus pseudintermedius	18 (32,7 %)	20,7 %	46,7 %
E. coli	12 (21,8 %)	11,8 %	35,0 %
Staphylococcus intermedius	12 (21,8 %)	11,8 %	35,0 %
Proteus mirabilis	5 (9,1 %)	3,0 %	20,0 %

- *Dans les différents groupes*

Parmi les 109 chiens du groupe CaOx, 29 chiens n'avaient pas eu d'uroculture. Parmi les 62 chiens du groupe PAM et les 35 du groupe Cystine, 5 chiens respectivement dans chaque groupe n'avaient pas eu d'uroculture. Au total, 167 chiens ont eu une uroculture (*Tableau 24*).

Tableau 24 : Nombre d'ECBU positif dans les différents groupes.

Exposition	Groupe CaOx (N=80)	Groupe PAM (N=57)	Groupe Cystine (N=30)
ECBU positif (versus ECBU négatif), n (%)	14 (17,5 %)	38 (66,7 %)	3 (10,0 %)
IC min	9,9 %	52,9 %	2,1 %
IC max	27,6 %	78,6 %	26,5 %

Escherichia coli est majoritairement retrouvé dans 50,0 % [23,0 ; 77,0]_{IC95%} des cas dans le groupe CaOx.

Staphylococcus pseudintermedius est retrouvé 18 fois soit 47,4% [31,0 ; 64,2]_{IC95%} et Staphylococcus intermedius 11 fois soit 29,0 % [15,4 ; 45,9]_{IC95%}. Ce sont les germes uréases positifs, les plus fréquents dans le groupe PAM.

Aucune bactérie prépondérante n'a été retrouvée dans le groupe Cystine.

□ CaOx

Parmi les 14 chiens présentant une infection urinaire, on retrouvait 7 chiens avec une infection à *Escherichia coli* seul soit 50,0 % [23,0 ; 77,0]_{IC95%}. Un chien présentait une infection à *Proteus mirabilis* et un autre à *Staphylococcus intermedius*, ce qui représentait 7,1 % [7,1 ; 33,9]_{IC95%}.

Enfin, les autres infections étaient dues à *Serratia sp*, *Acinobacter baumannii*, *Staphylococcus epidermidis*, *Streptococcus bovis* et *Streptococcus canis*.

□ PAM

Les germes les plus fréquemment rencontrés sont des germes uréases positifs : le staphylococcus pseudintermedius et staphylococcus intermedius (*Tableau 25*)

Tableau 25 : Bactéries identifiées dans le groupe PAM.

Exposition	Échantillon total (N=38)	IC min	IC max
<hr/>			
Germes, n (%)			
Staphylococcus pseudintermedius	18 (47,4%)	31,0 %	64,2 %
Staphylococcus intermedius	11 (29,0%)	15,4 %	45,9 %
E. Coli	5 (13,2%)	4,4 %	28,1 %
Proteus Mirabilis	4 (10,5%)	2,9 %	24,8 %

Les autres germes urinaires apparaissaient une à deux, soit seul soit en association. On retrouvait *Citrobacter freundii*, *Clostridium perfringens*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium*, *Lactococcus lactis lactis*, *Pasteurella multocida*, *Pasteurella pneumotropica*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus sp* et *Streptococcus sp*.

□ Cystine

Peu d'infection urinaire ont été retrouvée en présence de calculs de cystine dans notre étude. Les germes retrouvés étaient *Staphylococcus epidermidis*, *Enterococcus hirae* et *Enterococcus faecalis* en association et *Serratia marcescens*.

B. Étude globale des données radiographiques dans les différents groupes

a. Étude des calculs d'oxalate de calcium

Parmi les chiens présentant des calculs de CaOx, la radiographie d'un chien n'était pas évaluable au niveau de ses reins et pour 9 autres chiens au niveau de l'urètre pénien. Ainsi, ils ont été exclus uniquement pour ces localisations. Enfin, le rapport d'opacité n'était pas possible pour 7 chiens. Les données radiographiques sont présentées dans le *Tableau 26* ci-dessous :

Tableau 26 : Caractéristiques radiographiques du groupe CaOx dans notre échantillon.

Exposition	Échantillon total (N=109)	IC min	IC max
Taille maximale médiane (mm) *	4,9 [3,5 ; 7,0]	4,2	5,6
Nombre < 10 calculs (vs > 10 calculs), n (%)	42 (38,5 %)	29,4 %	48,3 %
Localisation			
Rein (N=108)	56 (51,4 %)	41,6 %	61,1 %
Uretère	4 (3,7 %)	1,0 %	9,1 %
Vessie	106 (97,3 %)	92,2 %	99,4 %
Urètre pelvien	9 (8,3 %)	3,9 %	15,1 %
Urètre pénien (N=100)	40 (40,0 %)	30,3 %	50,3 %
Forme			
A facette	37 (33,9 %)	25,2 %	43,6 %
Bosselé	21 (19,3 %)	12,3 %	27,9 %
Irrégulier	17 (15,6 %)	9,4 %	23,8 %
Arrondie	13 (11,9 %)	6,5 %	19,5 %
Spiculé	12 (11,0 %)	5,8 %	18,4 %
Ovoïde	5 (4,6 %)	1,5 %	10,4 %
Tubulaire	4 (3,7 %)	1,0 %	9,1 %
Organisation interne homogène (vs hétérogène), n (%)	89 (81,7 %)	73,1 %	88,4 %
Contour lisse (vs irrégulier), n (%)	76 (69,7%)	60,2 %	78,2 %
Bords arrondis (vs tranchant), n (%)	71 (65,1%)	55,4 %	74,0 %
Opacité < 1 (vs > 1), (N=102), n (%)	62 (60,8%)	50,6 %	70,3 %
Opacité subjective			
+	5 (4,6 %)	1,5 %	10,4 %
++	47 (43,1 %)	33,7 %	53,0 %
+++	57 (52,3 %)	42,5 %	62,0 %

*Médiane [1^{er} quartile ; 3^{ème} quartile]

b. Étude des calculs de struvite

Parmi les calculs de PAM, 8 calculs n'avaient pas pu être visualisés sur les radiographies. De plus, un chien n'était pas évaluable au niveau de son urètre pelvien et 30 autres au niveau de l'urètre pénien. Les données radiographiques sont présentées dans le *Tableau 27* ci-dessous :

Tableau 27 : Caractéristiques radiographiques du groupe PAM dans notre échantillon

Exposition	Échantillon total (N=54)	IC min	IC max
Taille maximale (mm) *	15,0 [8,1 ; 25,8]	11,0	21,0
Nombre < 10 calculs (versus > 10 calculs), n (%)	33 (61,1 %)	46,9 %	74,1 %
Localisation			
Rein	5 (9,3 %)	3,1 %	20,3 %
Uretère	0 (0,0 %)	0,0 %	6,6 %
Vessie	54 (100,0 %)	93,4 %	100,0 %
Urètre pelvien (N=53)	1 (1,9 %)	0,1 %	10,1 %
Urètre pénien (N=24)	9 (37,5 %)	18,8 %	59,4 %
Forme			
A facette	26 (48,1 %)	34,3 %	62,2 %
Ovoïde	12 (22,2 %)	12,0 %	35,6 %
Arrondie	7 (13,0 %)	5,4 %	24,9 %
Pyramidal	5 (9,3 %)	3,1 %	20,3 %
Irrégulier	4 (7,4 %)	2,1 %	17,9 %
Organisation interne homogène (versus hétérogène), n (%)	40 (74,1 %)	60,1 %	85,0 %
Contour lisse (versus irrégulier), n (%)	46 (85,2 %)	72,9 %	93,4 %
Bords arrondis (versus tranchant), n (%)	48 (88,9 %)	77,4 %	95,8 %
Opacité < 1 (versus > 1), n (%)	44 (81,5 %)	68,6 %	90,8 %
Opacité subjective			
+	9 (16,7 %)	7,9 %	29,3 %
++	28 (51,9 %)	37,8 %	65,7 %
+++	17 (31,5 %)	19,5 %	45,6 %

*Médiane [1^{er} quartile ; 3^{ème} quartile]

c. Étude des calculs de cystine

Pour les caractéristiques radiographiques, un calcul n'avait pas pu être visualisé sur les radiographies. De plus, un chien n'était pas évaluable au niveau de l'urètre pénien et 2 autres présentaient un rapport d'opacité non interprétable. Les données radiographiques sont présentées dans le *Tableau 28* ci-dessous :

Tableau 28 : Caractéristiques radiographiques du groupe Cystine dans notre échantillon

Expositions		Échantillon total (N=34)	IC min	IC max
Taille maximale (mm) *		4,5 [3,6 ; 6,2]	3,7	5,2
Nombre < 10 calculs (versus > 10 calculs), n (%)		13 (38,2 %)	22,2 %	56,4 %
Localisation				
	Rein	0 (0,0 %)	0,0 %	10,3 %
	Urètre	0 (0,0 %)	0,0 %	10,3 %
	Vessie	32 (94,1 %)	80,3 %	99,3 %
	Urètre pelvien	0 (0,0 %)	0,0 %	10,3 %
	Urètre pénien (N=33)	9 (27,3 %)	12,9 %	44,4 %
Forme				
	A facette	14 (41,2 %)	24,7 %	59,3 %
	Arrondie	14 (41,2 %)	24,7 %	59,3 %
	Irrégulier	2 (5,9 %)	0,7 %	19,7 %
	Ovoïde	2 (5,9 %)	0,7 %	19,7 %
	Spiculé	1 (2,9 %)	0,1 %	15,3 %
	Pyramidal	1 (2,9 %)	0,1 %	15,3 %
Organisation interne homogène (versus hétérogène), n (%)		30 (88,2 %)	72,6 %	96,7 %
Contour lisse (versus irrégulier), n (%)		28 (82,4 %)	65,5 %	93,2 %
Bords arrondis (versus tranchant), n (%)		26 (76,5 %)	58,8 %	89,3 %
Opacité < 1 (versus > 1), (N=32), n (%)		31 (96,9 %)	76,3 %	98,1 %
Opacité subjective				
	+	15 (44,1 %)	27,2 %	62,1 %
	++	18 (52,9 %)	35,1 %	70,2 %
	+++	1 (2,9 %)	0,1 %	15,3 %

* Médiane [1^{er} quartile ; 3^{ème} quartile]

C. Études statistiques des données radiographiques

a. Taille des calculs

Pour le groupe CaOx, l'aire sous la courbe était de 0,68 [0,60 ; 0,75]. Pour le groupe PAM, l'aire était de 0,81 [0,74 ; 0,90] et pour le groupe Cystine de 0,64 [0,54 ; 0,73].

Seul le groupe PAM possédait une valeur d'aire sous la courbe supérieure à 0,8, ainsi une valeur seuil pouvait être donnée pour ce groupe à l'aide de l'indice de Youden généralisé.

Ainsi, le *Tableau 27* suivant présente les valeurs seuils pour différentes probabilités pré-test : 5 %, 15 %, 30 % et 50 % et pour des rapports CFN/CFP = 1 ou 3.

Tableau 29 : Valeur seuil de la taille des calculs de struvite selon plusieurs scénari en fonction de la probabilité pré-test et du rapport du coût d'un individu faux négatif par rapport à celui d'un faux positif.

	Probabilité pré-test	Taille seuil (en mm)	Se	Sp	Indice de Youden généralise
CFN/CFP = 1	5 %	24	0,30	0,99	18.163
	15 %	15	0,52	0,97	4,987
	30 %	11	0,67	0,91	1,788
	50 %	11	0,67	0,91	0,576
CFN/CFP = 3	5 %	15	0,52	0,97	5,630
	15 %	11	0,67	0,91	1,384
	30 %	8	0,76	0,81	0,390
	50 %	6,7	0,80	0,73	0,039

Ainsi, en fonction de la suspicion du clinicien, des tailles seuils ont été déterminées pour les PAM.

Par exemple, si un faux négatif est considéré avec le même cout qu'un faux positif, et que le clinicien suspecte à 30% des calculs de struvite sur les données épidémiologiques, une taille de 11 mm ou plus renforcera son hypothèse.

b. Opacité

Des courbes de ROC ont également été réalisées pour l'opacité calculée. De la même façon que pour la taille, trois courbes de ROC ont été tracées.

L'aire sous la courbe pour le groupe CaOx était de 0,76 [0,69 ; 0,83], pour le groupe PAM de 0,62 [0,54 ; 0,71] et pour le groupe Cystine de 0,78 [0,70 ; 0,85].

Au vu de ces résultats, aucune valeur seuil n'a été déterminée et l'opacité calculée n'était pas un facteur déterminant de la nature minérale d'un calcul dans notre étude.

De plus, nous avons regardé la concordance à l'aide du coefficient de Kappa entre l'opacité calculée et l'opacité subjective. Nous obtenons un coefficient de Kappa de 0,59 [0,5 ; 0,69]_{95%} ce qui correspond à une concordance moyenne. Ainsi, l'opacité subjective donnée par le clinicien peut être exprimé avec le rapport de l'opacité du calcul par rapport à l'opacité de L5 mais avec une concordance moyenne.

c. Présence de calculs dans le HAU

Pour la localisation, nous avons considéré le groupe CaOx comme les individus malades et les groupes PAM et Cystine comme les individus sains. En effet, dans cette situation, les données scientifiques concernant la lithogénèse des différents calculs nous permettent d'isoler le groupe CaOx (Daudon *et al.*, 2012).

Ainsi, nous obtenons le *Tableau 30* à double entrée suivant :

Tableau 30 : Exemple de tableau à double entrée montrant comment calculer la précision diagnostique d'un test avec un résultat binaire.

	CaOx (N=109)	PAM + Cyst (N=88)	Total
Présence de calculs dans le HAU	56	5	61
Absence de calculs dans le HAU	53	83	136
Total	109	88	197

A partir de ce tableau, nous pouvons calculer la sensibilité Se et la spécificité Sp du test diagnostique (ici la présence de calculs dans le HAU). Ainsi, nous avons obtenus une sensibilité Se de 0,51 et une spécificité Sp de 0,94. Associés à ces valeurs, le rapport de vraisemblance positif RV^+ était de 8,5 [3,6 ; 20,6]_{95%} et le rapport de vraisemblance négatif $1/RV^-$ était de 1,9 [1,6 ; 2,3]_{95%}. Les intervalles de confiance de rapport de vraisemblance ont été obtenus grâce aux formules suivantes (Simel *et al.*, 1991) :

$$RV^+ = \exp \left(\ln \left(\frac{Se}{1-Sp} \right) \right) \pm 1.96 \times \sqrt{\frac{1-Se}{A} + \frac{Sp}{B}}$$

$$RV^- = \exp \left(\ln \left(\frac{1-Se}{Sp} \right) \right) \pm 1.96 \times \sqrt{\frac{Se}{C} + \frac{1-Sp}{D}}$$

Où A = 56, B = 5, C = 53 et D = 83 d'après le *Tableau 29*.

Ainsi, dans notre échantillon, la valeur de $1/RV^-$ étant peu éloignée de 1, on peut dire que l'absence de visualisation de calculs dans le HAU n'apportait quasiment aucune information au clinicien. En revanche, la valeur de RV^+ étant comprise entre 5 et 10, la présence de calcul dans le HAU apportait modérément de l'information au clinicien.

En effet, par exemple, si avant la radiographie, le chien avait selon le clinicien 20 % de chances de présenter une urolithiase à CaOx alors si la radiographie montre des calculs dans le HAU, ce pourcentage de chance passerait à 68 %.

d. Nombre de calculs, organisation interne, contours et bords

N'ayant pas de données scientifiques nous permettant d'isoler un groupe par rapport aux autres, tous les groupes ont été isolés une fois des deux autres pour l'ensemble des critères. Par exemple, nous avons étudié le bord lisse et le bord irrégulier pour les 3 groupes afin de définir si l'une des caractéristiques était plus en faveur d'une nature minérale donnée. L'ensemble des résultats est présenté dans le *Tableau 31* ci-dessous :

Tableau 31 : Synthèse des résultats pour les différents critères en fonction des groupes.

Critères	Se	Sp	RV ⁺	1/RV ⁻
Nombre de calculs				
Groupe CaOx	0,39	0,48	≤ 1	≤ 1
Groupe PAM	0,61	0,62	1,6	1,6
Groupe Cystine	0,38	0,54	≤ 1	≤ 1
Organisation interne				
Groupe CaOx	0,82	0,20	≤ 1	1,1
Groupe PAM	0,74	0,17	≤ 1	≤ 1
Groupe Cystine	0,88	0,21	1,1	1,8
Contour				
Groupe CaOx	0,70	0,16	≤ 1	≤ 1
Groupe PAM	0,85	0,27	1,2	1,8
Groupe Cystine	0,82	0,25	1,1	1,4
Bords				
Groupe CaOx	0,65	0,16	≤ 1	≤ 1
Groupe PAM	0,89	0,32	1,1	1,5
Groupe Cystine	0,76	0,27	≤ 1	1,1

L'ensemble de ces critères n'étaient pas des facteurs déterminants de la nature minérale d'un calcul dans notre étude.

e. Analyse des différentes formes

Dans notre échantillon, et après correction du degré de signification en raison de la situation de tests statistiques multiples, les formes bosselées, arrondies, spiculées, ovoïdes et pyramidales pourraient avoir une corrélation avec la nature minérale d'un calcul parmi les CaOx, les PAM et les calculs de cystine (*Tableau 32*).

Tableau 32 : Résultats des tests du Chi2 et de Fisher pour les différentes formes.

Forme	A facette	Bosselé	Irrégulier	Arrondie	Spiculée	Ovoïde	Tubulaire	Pyramidal
p-value	0,6	$1,5 \cdot 10^{-5}$	0,6	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	0,6	$1,7 \cdot 10^{-2}$

Nous nous sommes alors appuyés sur les données de la bibliographie pour déterminer les Se, Sp et RV pour les formes où les différences étaient significatives.

Nous avons isolé le groupe PAM pour les formes pyramidale et arrondie, le groupe CaOx pour la forme spiculée et le groupe Cystine pour la forme ovoïde. Pour la forme bosselée, les 3 groupes ont été isolés car aucune hypothèse liée à la littérature n'a pu être formulée (Tableau 33).

Tableau 33 : Synthèse des résultats pour les différentes formes.

Formes	Se	Sp	RV ⁺	1/RV ⁻
Bosselée				
Groupe CaOx	0,19	1,00	190	1,2
Groupe PAM	0,00	0,85	≤ 1	≤ 1
Groupe Cystine	0,00	0,87	≤ 1	≤ 1
Arrondie				
Groupe PAM	0,13	0,81	≤ 1	≤ 1
Pyramidale				
Groupe PAM	0,09	0,99	9	1,1
Spiculée				
Groupe CaOx	0,11	0,99	11	1,1
Ovoïde				
Groupe Cystine	0,06	0,90	≤ 1	≤ 1

Dans notre échantillon, RV⁺ étant supérieur à 10 pour la forme bosselée, on peut dire que la visualisation d'un calcul de forme bosselée à la radiographie apportait une information importante au clinicien quant à sa corrélation avec la nature minérale du calcul, ici CaOx. De la même façon, une forme spiculée, apportait de façon importante de l'information au clinicien sur sa corrélation avec un CaOx.

Enfin, RV⁺ étant supérieur à 5 mais inférieure à 10 pour la forme pyramidale, la visualisation d'une forme pyramidale à la radiographie apportait modérément de l'information au clinicien sur sa corrélation avec un PAM.

4. Discussion

A. Analyse des résultats épidémiologiques

Dans notre population d'étude, les calculs les plus fréquents sont les CaOx, PAM et Cystine. Les mâles entiers et les femelles stérilisées sont les plus représentés. Les mâles de petite race sont les plus importants dans le groupe CaOx. Les mâles entiers sont exclusivement retrouvés dans le groupe Cystine ainsi que les chiens les plus jeunes. Les infections urinaires sont prépondérantes dans le groupe PAM.

Une surreprésentation des mâles (80,6 %) est constatée dans notre étude comparativement à d'autres études françaises : 64,6 % (A. Blavier) et 59,8 % (C. Nélaton). Elle peut s'expliquer par la présence importante de calculs de cystine dans notre échantillon, exclusivement retrouvés chez le chien mais également par nos critères de sélection. En effet, les chiens de l'étude ont tous subi une extraction chirurgicale. L'anatomie de l'urètre pénien de diamètre plus petit du fait de la présence de l'os du pénis entraîne un risque obstructif plus important (Hoelmer *et al.*, 2022). Cette particularité anatomique amenant à davantage de traitement chirurgical peut donc expliquer la surreprésentation des mâles dans notre étude.

Le fait que plus de la moitié des calculs (53 %) de notre étude soit des CaOx peut aussi s'expliquer par la sélection de chiens ayant subi une extraction chirurgicale de leur calcul. Le traitement chirurgical est le seul traitement possible à ce jour pour les calculs de CaOx, un traitement calculolytique étant préconisé en première intention pour les calculs de PAM, urates et cystine (Lulich *et al.*, 2016). La troisième position des calculs de cystine peut aussi s'expliquer par une prévalence importante constatée de ce type de calcul notamment en France (Méric *et al.*, 2020 ; Méric et Maurey, 2021).

L'âge médian de notre échantillon est de 7,4 ans ce qui correspond à celui retrouvé dans les deux études françaises, 8 ans dans l'étude de A. Blavier et 7 ans dans l'étude de C. Nélaton. L'âge médian est plus faible pour le groupe cystine, la nature génétique de cette urolithiase peut en grande partie expliquer sa présentation chez des animaux jeunes.

Les 50% de mâles avec des calculs de PAM de notre étude se démarquent de la majorité des études qui mettent en avant la prédisposition des femelles pour ce type de calcul. Ce résultat peut s'expliquer par la surreprésentation des mâles dans notre étude. Il est à noter toutefois qu'au sein des femelles (40 cas), la majorité (31 cas) a un calcul de PAM contre 9 cas seulement pour un calcul de CaOx. En accord avec les données publiées, la présence d'une infection urinaire (66,7 %) par un germe uréase positif, en particulier *Staphylococcus*, est courante.

Les infections du tractus urinaire, essentiellement à *E. Coli* (50 %) sont moins fréquentes (17,7 %) chez les chiens avec des calculs de CaOx.

En revanche, aucun germe n'est retrouvé dans le groupe cystine constitué exclusivement de chiens mâles. Ont déjà été décrits une exclusivité des mâles pour les calculs de cystine (Cotard, 1999) et une nette prédominance chez les mâles (Blavier *et al.*, 2012) voir chez les mâles intacts (Nélaton, 2021). Ces résultats sont en faveur d'une cystinurie de type III définie par une dépendance aux androgènes (Brons *et al.*, 2013).

Concernant les races, nos résultats seront plus spécifiquement comparés avec ceux de deux études françaises, celle de A. Blavier réalisée entre 2007 à 2010 et celle de C. Nélaton réalisée entre 2016

à 2020 (*Annexe 6*). Les races de petite taille sont largement majoritaires, races que nous avons vues comme prédisposées aux urolithiases (Houston et Moore, 2009 ; Kopečný *et al.*, 2021). Le Yorkshire est le plus représenté dans les trois études. Une étude comparant le Labrador Retriever et le Schnauzer nain a analysé chez le chien de petite race, des facteurs prédisposants aux urolithiases : stase vésicale par une diminution de la fréquence des mictions, un pH urinaire significativement plus élevé, une sursaturation urinaire notamment en calcium et brushite et un apport significativement plus élevé de minéraux alimentaires (Stevenson et Markwell, 2001).

Sur la totalité des Yorkshires présentant dans notre étude un urolithe de CaOx, 93 % sont des mâles (26/28 cas) et 73 % sont entiers avec un âge médian de 8 ans. Ces résultats correspondent à ceux d'une étude française faite sur les urolithiases à CaOx des Yorkshires entre 2003 et 2021 montrant une surreprésentation des chiens mâles entiers, d'âge médian de 9 ans (De Charrin, 2023).

Les races communes les plus représentées pour les PAM dans les trois études sont le Shih Tzu, le Yorkshire, le Bichon frisé et le Carlin (*Annexe 6*). Même si les petites races restent privilégiées, des chiens de race moyenne (Épagneul breton, Labrador Retriever) sont aussi présentes dans notre échantillon, ce qui a déjà été décrit (Houston *et al.*, 2017).

Concernant les calculs de cystine, les 4 races les plus fréquentes dans notre étude sont : le Staffordshire bullterrier, le Bouledogue Français, l'American Staffordshire, le Bouledogue Anglais ainsi que d'autres comme le Chihuahua, le Jack Russel, le Yorkshire, le Labrador Retriever, le Rottweiler, le Fox Terrier et le Whippet connues comme des races prédisposées (Blavier *et al.*, 2012 ; Cotard, 1999 ; Houston *et al.*, 2017 ; Kopečný *et al.*, 2021 ; Kovaříková *et al.*, 2021 ; Nélaton, 2021 ; Roe *et al.*, 2012). Le Staffordshire Bullterrier, race de notre échantillon présentant le plus de calcul de cystine (23,2 %), avait été également identifiée comme prédisposée dans une étude faite au Royaume Uni de 1997 à 2006 (Roe *et al.*, 2012). Ces résultats questionnent sur une anomalie génétique causale d'autant plus que leur âge médian dans notre étude est relativement jeune : 3,5 ans. On remarque que ce sont vraiment des races de tailles variées qui sont prédisposées aux calculs de cystine (Brons *et al.*, 2013).

Nos résultats épidémiologiques correspondent dans la majorité des cas à ceux de la bibliographie.

B. Analyse des résultats radiologiques

Nous avons pu souligner dans notre étude, qu'une localisation dans le haut appareil urinaire ainsi qu'une forme spiculée ou bosselée étaient en faveur d'un calcul de CaOx. Par ailleurs, une taille importante et une forme pyramidale étaient plutôt en faveur d'un calcul de PAM.

Il est important également de rappeler que les avantages de la radiographie sont de pouvoir non seulement confirmer la présence d'un urolithe mais aussi de le localiser.

Comparativement aux données de la littérature, la radiographie permet de confirmer la présence d'urolithes et notamment ceux radios opaques. Le CaOx est la substance minérale la plus radio opaque (Gisselman *et al.*, 2009) suivi des PAM et des calculs de cystine (Gisselman *et al.*, 2009 ; Méric et Maurey, 2021) ce que nous retrouvons dans notre étude (*Tableau 33*).

Tableau 33 : Opacité subjective maximale des urolithes de notre étude.

	+	++	+++	Résultats
Opacité subjective des CaOx	4.6 %	43.1 %	52.3 %	++ à +++
Opacité subjective des PAM	16.7 %	51.9 %	31.5 %	++ à+++
Opacité subjective des cystines	44.1 %	52.9 %	2.9 %	+ à ++

D'autre part, si nous comparons les résultats de l'opacité calculée de notre étude, nous nous apercevons que 39,2% des calculs de CaOx ont une opacité supérieure à celle de L5 pour seulement 3,1% pour la cystine et 18,5% pour les PAM. Ces résultats sont en faveur d'une forte radio-opacité des calculs de CaOx et faible pour les calculs de cystine. La radio opacité pourrait ainsi apparaître comme une donnée intéressante bien que les aires sous la courbe de ROC respective de 0.76 pour le CaOx et 0.78 pour les calculs de cystine soient en dessous bien que proches de la valeur seuil de 0.8 que nous nous étions fixés.

La radiographie permet également de localiser les calculs. Les calculs de CaOx (51,4 %) et à moindre fréquence ceux de PAM (9 %) sont retrouvés dans des proportions importantes dans les reins dans notre étude. Concernant la localisation rénale élevée des calculs de CaOx, dans l'étude française de X. DE CHARRIN, près d'un quart des calculs de CaOx du Yorkshire sont situés dans le HAU. Il a été également été montré que 41 % des chiens avec une urolithiase à CaOx du bas appareil urinaire voir pour 81 % des chiens de petites races à risque, en avaient également dans le HAU (Hoelmer *et al.*, 2022). Il est d'ailleurs décrit que la localisation rénale reste très rare pour les calculs de cystine. Ils sont essentiellement dans la vessie et l'urètre, une de leur particularité étant de s'associer à une (sub)-obstruction urétrale. Ils sont généralement nombreux avec un nombre médian de calculs vus en imagerie de 7 (Kováříková *et al.*, 2021 ; Méric *et al.*, 2020 ; Méric et Maurey, 2021).

Notre étude a permis de montrer qu'il y a 95 % de chance, en supposant l'absence de biais, que parmi l'ensemble des chiens présentés dans une clinique vétérinaire et présentant des signes cliniques d'une maladie lithiasique, la visualisation d'un calcul dans le haut appareil urinaire était en faveur d'un calcul de CaOx.

Ainsi, nos résultats couplés à la bibliographie nous amènent à penser que la visualisation à la radiographie d'un calcul dans le haut appareil urinaire peut être un argument prédictif d'un calcul de CaOx.

Un autre critère radiologique est la taille de l'urolithe. La taille est décrite comme prédictive d'un calcul de PAM notamment par A. Blavier qui associe un calcul de 30 mm de diamètre à du struvite avec une valeur prédictive positive de 96 %. Une autre étude avait aussi montré qu'à partir de radiographies, l'association d'une taille supérieure à 10 mm au calcul de PAM avait une valeur prédictive de 90 % (Weichselbaum *et al.*, 1998).

A l'opposé des calculs de cystine et CaOx, petits et nombreux, les calculs de PAM sont retrouvés en nombre inférieur à 10 (61,1%) avec une taille maximale médiane de 15 mm.

La taille est donc un des critères prédictifs de la composition minérale d'un calcul.

Concernant la forme, notre étude a mis un lien la forme bosselée et spiculée avec le CaOx et à moindre fréquence la forme pyramidale avec le struvite sans pour autant pouvoir le généraliser statistiquement.

En revanche, notre étude n'a prouvé aucune corrélation entre l'organisation interne, les bords et les contours avec la composition minérale d'un calcul.

Bien que nous n'ayons pas pu définir précisément des critères morphologiques discriminants pour prédire la composition minérale d'un urolithe, la radiographie reste un outil pertinent pour le faire. En synthèse, une lecture comparative des caractéristiques morphologiques des calculs de notre étude (*Tableau 34*) met en évidence les probables apports de la radiographie.

Tableau 34 : comparatifs des caractéristiques morphologiques de nos calculs selon le type minéral.

	CaOx	PAM	Cystine
Facettes	33.9 %	<u>48.1 %</u>	41.2 %
Arrondie	11.9 %	13 %	<u>41.2 %</u>
Irrégulier	<u>15.6 %</u>	7.4 %	5.9 %
Ovoïde	4.6 %	<u>22.2 %</u>	5.9 %
Spiculé	<u>11 %</u>	0	2.9 %
Pyramidal	0	<u>9.3 %</u>	2.9 %
Bosselé	<u>19.3 %</u>	0	0
Tubulaire	<u>3.7 %</u>	0	0
Homogène	81.7 %	74.1 %	<u>88.2 %</u>
Contour lisse	69.7 %	<u>85.2 %</u>	82.4 %
Bords arrondis	65.1 %	<u>88.9 %</u>	76.5 %
Critères les plus retrouvés par type de minéral	Facettes Irrégulier Spiculé Bosselé Tubulaire	Facettes Ovoïde Pyramidal Contour lisse Bords arrondis	Facettes Arrondi Homogène

Dans le tableau, nous avons souligné le caractère prédominant par type de minéral. Par exemple, le caractère « irrégulier » (15,6 %) est plus important pour les CaOx comparativement au PAM (7,4 %) et cystine (5,9 %).

Nous avons mis en gras la forme la plus importante pour un type de minéral donné. Nous avons par exemple plus de formes à facette et arrondies (41.2 %) pour les cystines que de forme ovoïde (5.9 %).

En analysant les résultats, nous remarquons que nous n'avons pas 100 % de forme pyramidale en lien avec les PAM car un seul et unique calcul de cystine a été décrit pyramidal. Il en est de même pour la forme spiculée qui n'aurait peut-être alors été identifiée que pour les CaOx.

Toutefois la forme spiculée et irrégulière se retrouvent majoritairement pour les CaOx de notre étude et la forme pyramidale pour les PAM. Même si statistiquement nous n'avons pas pu confirmer la corrélation, nos données recourent celles de la littérature.

Concernant les calculs de PAM, nous pouvons lire que 100 % de calculs en forme pyramidale, 80 % des calculs ovoïdes et 75 % des calculs lisses, aux bords arrondis ou à facettes sont des PAM (Weichselbaum *et al.*, 1998). Nous retrouvons dans le *Tableau 33* tous ces critères dans les majoritaires pour les PAM.

La rose des sables, avec spicules pouvant être plus ou moins émoussés est décrite comme caractéristique des calculs de CaOx dihydraté, les weddellites (Gisselman *et al.*, 2009). Nous avons les critères « spiculé », « irrégulier » dans les plus fréquents pour les CaOx. D'autre part d'après l'étude française de C. Nélaton, les weddellites sont retrouvés majoritairement chez les Shih Tzu, les Yorkshires et les Jack Russel ; davantage chez les mâles par rapport aux autres calculs d'oxalate de calcium monohydraté, et surtout chez les chiens entiers. Ces données épidémiologiques correspondent en partie aux nôtres. Il est fort probable que nous comptons des weddellites parmi nos calculs de CaOx.

Cette analyse des résultats de la morphologie des calculs (*Tableau 33*) nous incite à penser les caractéristiques des surfaces des urolithes et leurs formes comme des arguments prédictifs de leur composition minérale.

C. Limites de notre étude et ses perspectives

Un des biais de notre étude est la lecture opérateur dépendant des clichés radiologiques et plus spécifiquement l'absence de définition précise des formes et des bords pour pouvoir correctement les classer. Une forme dite pyramidale peut être aussi considérée comme une forme à facettes, une forme spiculée comme une forme irrégulière.

Une des limites de notre étude peut être de ne pas avoir pu distinguer les weddellites des whewellites, calcul de CaOx monohydraté ce qui aurait peut-être apporté plus de spécificité.

Cependant, Daudon décrit macroscopiquement les calculs de CaOx avec des caractéristiques de surface variables, pouvant être lisses mais souvent avec des bords tranchants et irréguliers. Nous avons dans notre étude une prédominance de bords arrondis. Il décrit aussi deux sous type de calcul de cystine, l'un avec une surface lisse et l'autre avec une surface rugueuse.

Ainsi, lorsque nous étudions la classification morpho constitutionnelle des calculs chez l'homme (Daudon *et al.*, 2012), il est facile de voir la complexité de définir précisément tous les différents sous types des différents calculs. Il serait toutefois probablement intéressant de proposer une telle classification pour le chien pour définir des critères morpho-constitutionnels plus précis et repérables sur des clichés radiologiques pour prédire la composition minérale de l'urolithe détecté.

En effet, une des limites de la radiographie est que l'évaluation radiographique des formes et des surfaces des urolithes ne sont généralement pas aussi bien définies que leur évaluation *in vitro*. Il serait intéressant de pouvoir les définir spécifiquement ce qui serait une valeur considérable pour aider à prédire leur composition minérale (Feeney *et al.*, 1999 ; Weichselbaum *et al.*, 1998).

Ainsi en s'appuyant sur un consensus définissant précisément l'aspect morphologique d'un calcul et/ou une classification morpho-constitutionnelle facilitante, la confirmation de la valeur prédictive d'un critère radiologique serait plus aisée.

Une autre limite de notre étude a été de ne pas pouvoir définir l'opacité comme un facteur prédictif de la composition minérale. Cependant, on peut supposer, au regard de nos résultats, qu'un nombre plus important de cas étudiés aurait peut-être permis d'atteindre la valeur seuil fixée à 0.8. Il est vrai que pour certaines localisations (notamment l'urètre pénien), la radiographie de certains chiens de l'étude n'a pas pu être évaluée.

Cependant, la radiographie abdominale standard reste un bon moyen diagnostique pour les calculs de CaOx et de PAM. La capacité de détecter les urolithes chez les patients par radiographie est en fonction de leur taille et de leur emplacement ainsi que de leur composition minérale. Ainsi dans un contexte de suspicion d'urolithiase, l'imagerie diagnostique peut être complémentaire pour confirmer la présence de calculs et donner des arguments pour prédire leur composition (Feeney *et al.*, 1999). Tandis que la prévision de la composition minérale à partir de radiographies offre de nombreux avantages car de multiples éléments d'information (par exemple, la radio opacité, sont apportés par les clichés) (Lulich *et al.*, 2011). La radiographie confirmera la présence de calculs en les visualisant et communiquera des informations sur la localisation, le nombre d'urolithes et la taille qui seront des critères objectifs sur lesquels on pourra s'appuyer pour prédire la composition de l'urolithe.

Finalement, dans un contexte de suspicion d'urolithiase, c'est plus l'analyse d'un faisceau d'arguments qui pourra orienter le clinicien vers un type minéral plus qu'un autre.

Le vétérinaire clinicien pourra s'appuyer sur ses connaissances sur la fréquence d'apparition d'un type minéral selon le sexe, la race et l'âge du chien en question (Feeney *et al.*, 1999) et, après un recueil d'informations épidémiocliniques, utiliser la radiographie pour confirmer et prédire la composition minérale des calculs.

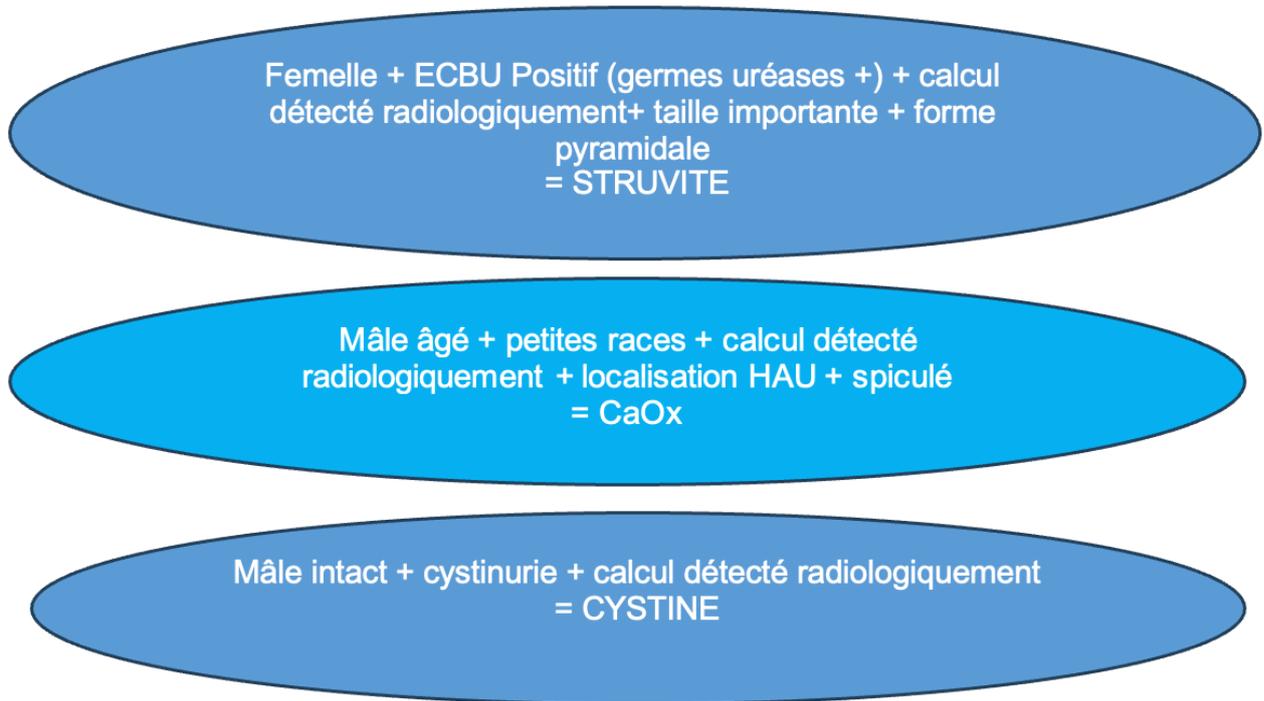
Sur le site internet du Minnesota Urolith Center, nous pouvons voir à ce jour deux calculateurs qui donnent une évaluation préliminaire du type de calculs le plus probable. L'un à partir de données épidémiologie (espèce, sexe, race, âge). L'autre à partir d'un cliché radiologique nette et claire, sans reflet, de profil et uniquement canine.

Nous remarquons que la majorité de ces informations, retrouvées dans notre étude, peuvent être individuellement un facteur prédictif de la composition minérale d'un calcul responsable d'urolithiase (Tableau 35). Et que si nous regroupons certaines de ces informations, nous pouvons définir des schémas de prédiction (Figure 24).

Tableau 35 : Récapitulatifs des différents facteurs prédictifs de la composition minérale d'un urolithe.

		CaOx	PAM	Cystine
Les prédicteurs épidémiologiques et clinique de notre étude		Petites races Yorkshire Jack Russel Terrier Bichon frisé Age médian 7ans Mâles quel que soit le statut sexuel	Petites races mais aussi races moyennes Shih Tzu Yorkshire Carlin Jack Russel Bichon frisé Bouledogue français Epagneul Breton Labrador Retriever ITU à germes uréases +	Races diverses dont certaines identifiées (Brons) Staffordshire bullterrier Bouledogue Français American Staffordshire terrier Bouledogue anglais Mâles intacts Jeunes chiens
Les prédicteurs radiologiques de notre étude		Radio opaque Localisations haut appareil urinaire Forme spiculée Forme bosselée	Taille Forme pyramidale	
Les facteurs prédictifs complémentaires de la bibliographie	Épidémiologiques	Mâle Âgé	Femelle	Races prédisposées avec classification (Brons) Jeune âge
	Analyses urinaires	pH alcalin Cristaux sous forme de deux pyramides aplaties et accolées par leur base	pH acide Cristaux sous forme de couvercle de cercueil. ITU à germes uréases +	pH alcalin Cystinurie Les cristaux de cystine sont très caractéristiques, en forme d'hexagone plus ou moins irréguliers
	Radiographie d'enquête	Rose des sables en faveur des Weddellites	Forme pyramidale (100%) Forme ovoïde (80%) Taille (96% si >30mm de diamètre)	
	Orientations étiologiques	Hypercalcémie	ITU	Génétique

Figure 24 : Exemple de schéma de prédiction de la composition minérale d'un calcul.



Plus le nombre de facteurs prédictifs est élevé, plus la prédictibilité de la composition minérale de l'urolithe est forte. Il est raisonnable d'envisager que les données radiographiques couplée à des données épidémiologiques permettront dans un modèle futur de mieux prédire la nature minérale pour un vétérinaire généraliste. Un facteur temps en a été la principale contrainte pour ne pas aboutir à la création de ce modèle dans ce travail de thèse.

Conclusion

Après avoir fait un bref rappel bibliographique sur l'urolithiase canine, l'objectif de notre étude était de rechercher la prédictibilité de la radiographie pour la composition minérale d'un calcul.

Sur nos 206 calculs, 53 % de CaOx, 20 % PAM et 17 % de cystine ont été analysés.

Nos résultats épidémiologiques sont très similaires aux données de la littérature à l'exception d'une présence de cystine proche de 10% sur le territoire français.

A propos de nos résultats radiologiques, nous avons pu mettre en évidence qu'une localisation dans le HAU apporte une information en faveur d'un calcul de CaOx ainsi qu'une forme bosselée et spiculée alors qu'une certaine taille et une forme pyramidale étaient plutôt en faveur de PAM.

Comparativement aux données de la littérature, nous pouvons évoquer que la radiographie non seulement confirme la présence de calculs en lien avec son opacité, sa localisation et sa taille mais peut fournir des informations morphologiques prédictives de sa composition minérale. Toutefois dans cette perspective, il serait opportun de davantage affiner une classification morpho-constitutionnelle des calculs notamment dans un premier temps pour les calculs de CaOx et de PAM.

Ainsi cette étude pourrait-elle être considérée comme préliminaire à la création d'une intelligence artificielle, reprenant les critères épidémiologiques et radiologiques permettant la prédiction de la nature minérale d'un calcul. Ce sera alors un véritable outil d'aide diagnostique et à la décision thérapeutique pour tout vétérinaire généraliste face à une suspicion d'urolithiase du chien en prenant en compte les caractéristiques des données françaises.

Liste des références bibliographiques

- BARTGES, J. (2011) Chapter 12 : Urinary saturation testing. In Polzin D.J., Bartges J., *Nephrology and Urology of Small Animals*. Chichester, Wiley-Blackwell, p. 75-85.
- BENCHEKROUN, G., CANONNE, M. (2022) Présentation des principales affections endocriniennes du chien et du chat. Polycopié. Maisons-Alfort, École nationale vétérinaire d'Alfort, Unité Pathologie médicale et thérapeutique (gastro, uro, endocrino, NAC).
- 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>]
- BRONS, A.-K., HENTHORN, P.S., RAJ, K., *et al.* (2013) SLC3A1 and SLC7A9 mutations in autosomal recessive or dominant canine cystinuria: a new classification system. *Journal of Veterinary Internal Medicine* vol. 27, n° 6, p. 1400-1408. [<https://doi.org/10.1111/jvim.12176>]
- COTARD, J.-P. (1999) Étiologie et épidémiologie des calculs urinaires du chien en France. *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France* vol. 152, n° 2, p. 199-206. [<https://doi.org/10.4267/2042/62826>]
- COTARD, J.-P. (1993) Néphrologie et Urologie du chien et du chat. Paris, CNVSPA-AFVAC.
- CRÉPEAUX, G. (2023) Physiologie de l'appareil urinaire. Polycopié. Maisons-Alfort, École nationale vétérinaire d'Alfort, Unité Histologie et Physiologie des appareils circulatoire, respiratoire et urinaire.
- DAUDON, M. (1999) Les lithiases urinaires médicamenteuses en 1999. *Progrès en Urologie* p. 1023-1033.
- DAUDON, M., TRAXER, O., JUNGERS, P. (2012) Lithiase Urinaire, 2ème édition. Paris, Lavoisier.
- DAUDON, M., TRAXER, O., LECHEVALLIER, E., *et al.* (2008) La lithogénèse. *Progrès en Urologie* vol. 18, n° 12, p. 815-827. [<https://doi.org/10.1016/j.purol.2008.09.032>]
- DE CHARRIN, X. (2023) Caractérisation épidémiologique et clinique de l'urolithiase oxalo-calcique chez le yorkshire terrier : étude rétrospective sur 100 cas présentés au ChuvA entre 2003 et 2021. Thèse de médecine vétérinaire. École nationale vétérinaire d'Alfort.
- DESCHAMPS, J.-Y. (2010) Urolithiase du chien. Polycopié. Nantes, École nationale vétérinaire de Nantes. Unité pathologie des Carnivores.
- DESQUILBET, L. (2023a) Communication et réglementation dans la profession vétérinaire (CoRVet). Polycopié. Maisons-Alfort, École nationale vétérinaire d'Alfort, Unité Biostatistiques en Médecine Vétérinaire.
- DESQUILBET, L. (2023b) Tutoriel sur les courbes ROC et leur création grâce au site Internet easyROC. Polycopié. Maisons-Alfort, École nationale vétérinaire d'Alfort, Unité Biostatistiques et Épidémiologie clinique.
- DESQUILBET, L. (2023c) Guide pratique de validation statistique de méthodes de mesure : répétabilité, reproductibilité et concordance. Polycopié. Maisons-Alfort, École nationale vétérinaire d'Alfort, Unité Biostatistiques et Épidémiologie clinique.
- FAUCHER, M. (2016) Traitement médical de l'urolithiase. *Le Point Vétérinaire : Urologie et néphrologie en pratique chez le chien et le chat* vol. 47, n° Spécial, p. 134-139.
- FEENEY, D.A., ANDERSON, K.L. (2011) Chapter 15 : Radiographic imaging in urinary tract disease. In Bartges J., Polzin D.J., *Nephrology and urology of Small Animals*. Chichester, Wiley-Blackwell, p. 97-127.
- FEENEY, D.A., WEICHSELBAUM, R.C., JESSEN, C.R., *et al.* (1999) Imaging canine urocystoliths. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice* vol. 29, n° 1, p. 59-72. [[https://doi.org/10.1016/S0195-5616\(99\)50005-3](https://doi.org/10.1016/S0195-5616(99)50005-3)]
- FONTAINE, J.J. (2022) Anatomie pathologie spéciale, lésions de l'appareil urinaire. Polycopié. Maisons-Alfort, École nationale vétérinaire d'Alfort, Unité d'histologie et anatomie pathologique. EnvA.
- GISSELMAN, K., LANGSTON, C., DOUGLAS, P., *et al.* (2009) Calcium oxalate urolithiasis. *Compendium : continuing education for veterinarians*. vol. 31, n° 11, p. 496-502.
- HAYDEN, S.R., BROWN, M.D. (1999) Likelihood ratio: A powerful tool for incorporating the results of a diagnostic test into clinical decisionmaking. *Annals of Emergency Medicine* vol. 33, n° 5, p. 575-580. [[https://doi.org/10.1016/s0196-0644\(99\)70346-x](https://doi.org/10.1016/s0196-0644(99)70346-x)]
- HÉBERT, F., BULLIOT, C. (2018) Guide de Pratique de Médecine interne Chien, Chat et NAC., 5ème édition. Paris, MED'COM.

- HOELMER, A.M., LULICH, J.P., RENDAHL, A.K., *et al.* (2022) Prevalence and Predictors of Radiographically Apparent Upper Urinary Tract Urolithiasis in Eight Dog Breeds Predisposed to Calcium Oxalate Urolithiasis and Mixed Breed Dogs. *Veterinary Sciences* vol. 9, n° 6, p. 283. [<https://doi.org/10.3390/vetsci9060283>]
- 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 = La Revue Veterinaire Canadienne* vol. 50, n° 12, p. 1263-1268.
- HOUSTON, D.M., MOORE, A.E.P., FAVRIN, M.G., *et al.* (2004) Canine urolithiasis: a look at over 16 000 urolith submissions to the Canadian veterinary urolith centre from February 1998 to April 2003. *The Canadian Veterinary Journal = La Revue Veterinaire Canadienne* vol. 45, n° 3, p. 225-230.
- HOUSTON, D.M., WEESE, H.E., VANSTONE, N.P., *et al.* (2017) Analysis of canine urolith submissions to the Canadian veterinary urolith centre, 1998-2014. *The Canadian Veterinary Journal = La Revue Veterinaire Canadienne* vol. 58, n° 1, p. 45-50.
- HYDRATATION FOR HEALTH (2017) Hydratation et lithiase. Épidémiologie, physiopathologie des calculs rénaux, et apports hydriques pour la prévention et la réduction des frais de santé liés aux calculs rénaux. [<https://www.hydratationforhealth.com/fr/sciences-de-lhydratation/laboratoire-dhydratation/hydratation-et-lithiase/>] (consulté le 19/04/2024).
- INRS (2022) Silice cristalline. Fiche Toxicologique n°232.
- JAESCHKE, R., GUYATT, G.H., SACKETT, D.L. (1994) Users' guides to the medical literature. III. How to use an article about a diagnostic test. B. What are the results and will they help me in caring for my patients? The Evidence-Based Medicine Working Group. *JAMA* vol. 271, n° 9, p. 703-707. [<https://doi.org/10.1001/jama.271.9.703>]
- KOPECNY, L., PALM, C.A., SEGEV, G., *et al.* (2021) Urolithiasis in dogs: Evaluation of trends in urolith composition and risk factors (2006-2018). *Journal of Veterinary Internal Medicine* vol. 35, n° 3, p. 1406-1415. [<https://doi.org/10.1111/jvim.16114>]
- KOVAŘÍKOVÁ, S., MARŠÁLEK, P., VRBOVÁ, K. (2021) Cystinuria in dogs and cats: What do we know after almost 200 years? *Animals: an open access journal from MDPI* vol. 11, n° 8, p. 2437. [<https://doi.org/10.3390/ani11082437>]
- LANDIS, J.R., KOCH, G.G. (1977) The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics* vol. 33, n° 1, p. 159. [<https://doi.org/10.2307/2529310>]
- LANGSTON, C., GISSELMAN, K., PALMA, D., *et al.* (2010) Methods of urolith removal. *Compendium : Continuing Education for Veterinarians* vol. 32, n° 6, p. E1-7.
- LEKCHAROENSUK, C., LULICH, J.P., OSBORNE, C.A., *et al.* (2000) Patient and environmental factors associated with calcium oxalate urolithiasis in dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 217, n° 4, p. 515-519. [<https://doi.org/10.2460/javma.2000.217.515>]
- 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., ALBASAN, H. (2011) Chapter 69 : Canine and feline urolithiasis: diagnosis, treatment, and prevention. In Bartges J., Polzin D.J., *Nephrology and Urology of Small Animals*. Chichester, Wiley-Blackwell, p. 687-706.
- LULICH, J.P., OSBORNE, C.A., LEKCHAROENSUK, C., *et al.* (1999) Canine Calcium Oxalate Urolithiasis. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice* vol. 29, n° 1, p. 123-139. [[https://doi.org/10.1016/S0195-5616\(99\)50008-9](https://doi.org/10.1016/S0195-5616(99)50008-9)]
- MAUREY, C. (2019) Urolithiase. Polycopié. Maisons-Alfort, École nationale vétérinaire d'Alfort, Unité Pathologie médicale et thérapeutique (gastro, uro, endocrino, NAC).
- MCCUE, J., LANGSTON, C., PALMA, D., *et al.* (2009) Urate Urolithiasis. *Compendium : Continuing Education for Veterinarians* p. 468-475.
- MENDOZA-LÓPEZ, C.I., DEL-ANGEL-CARAZA, J., AKÉ-CHIÑAS, M.A., *et al.* (2019) Epidemiology of urolithiasis in dogs from Guadalajara City, Mexico. *Veterinaria México OA* vol. 6, n° 1. [<https://doi.org/10.22201/fmvz.24486760e.2019.1.585>]
- MENDÓZA-LÓPEZ, C.I., DEL-ANGEL-CARAZA, J., QUIJANO-HERNÁNDEZ, I.A., *et al.* (2017) Analysis of lower urinary tract disease of dogs. *Pesquisa Veterinária Brasileira* vol. 37, n° 11, p. 1275-1280. [<https://doi.org/10.1590/s0100-736x2017001100013>]
- MÉRIC, T., MAUREY, C. (2021) Les calculs de cystine chez le chien. *Le Point Vétérinaire* vol. 52, n° 424,

p. 46-51.

- MÉRIC, T., SULTER, A., BOGEY-LAMBERT, A., *et al.* (2020) Retrospective Study of Cystinic Lithiasis in Dogs in France. *ECVIM-CA Online Congress. 2-5 septembre J Vet Intern Med* vol. 34, n° 5, p. 3151.
- NÉLATON, C. (2021) Urolithiases chez le chien : Etude rétrospective sur 6700 calculs urinaires prélevés de 2016 à 2020 en France et analysés par spectrométrie infrarouge. Thèse de médecine vétérinaire. École nationale vétérinaire d'Alfort.
- PALMA, D., LANGSTON, C., GISSELMAN, K., *et al.* (2013) Canine struvite urolithiasis. *Compendium : Continuing Education for Veterinarians* vol. 35, n° 8, p. E1-8.
- QUÉAU, Y. (2016) Conduite à tenir lors d'urolithiase chez le chien et le chat : approche nutritionnelle. *Le Point Vétérinaire : Urologie et néphrologie en pratique chez le chien et le chat* vol. 47, n° Spécial, p. 140-145.
- RAULT, D. (2016) Imagerie en uro-néphrologie : la radiographie a-t-elle encore sa place en 2016 ? *Le Point Vétérinaire : Urologie et néphrologie en pratique chez le chien et le chat* vol. 47, n° Spécial, p. 122-127.
- ROE, K., PRATT, A., LULICH, J., *et al.* (2012) Analysis of 14,008 uroliths from dogs in the UK over a 10-year period. *The Journal of Small Animal Practice* vol. 53, n° 11, p. 634-640. [<https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2012.01275.x>]
- SEAMAN, R., BARTGES, J.W. (2001) Canine struvite urolithiasis. *Compendium : Continuing Education for Veterinarians* vol. 23, n° 5, p. 407-420.
- SIMEL, D.L., SAMSA, G.P., MATCHAR, D.B. (1991) Likelihood ratios with confidence: sample size estimation for diagnostic test studies. *Journal of Clinical Epidemiology* vol. 44, n° 8, p. 763-770. [[https://doi.org/10.1016/0895-4356\(91\)90128-v](https://doi.org/10.1016/0895-4356(91)90128-v)]
- STEVENSON, A.E., MARKWELL, P.J. (2001) Comparison of urine composition of healthy Labrador retrievers and miniature schnauzers. *American Journal of Veterinary Research* vol. 62, n° 11, p. 1782-1786. [<https://doi.org/10.2460/ajvr.2001.62.1782>]
- STEVENSON, A.E., RUTGERS, C. (2008) Chapter 9 : Nutritional Management of Canine Urolithiasis. *In Encyclopedia of Canine Clinical Nutrition*. Aimargues, Royal Canin, p. 301-334.
- TIMSIT, E., LÉGUILLETTE, R., WHITE, B.J., *et al.* (2018) Likelihood ratios: an intuitive tool for incorporating diagnostic test results into decision-making. *Journal of the American Veterinary Medical Association* vol. 252, n° 11, p. 1362-1366. [<https://doi.org/10.2460/javma.252.11.1362>]
- VILLAVERDE, C. (2014) Urates et Affections vésicales. *Veterinary focus : Affections du bas appareil urinaire* vol. 24, n° 1, p. 10-14.
- WEICHSELBAUM, R.C., FEENEY, D.A., JESSEN, C.R., *et al.* (1998) Evaluation of the morphologic characteristics and prevalence of canine urocystoliths from a regional urolith center. *American Journal of Veterinary Research* vol. 59, n° 4, p. 379-387.
- WIGNER, P., BIJAK, M., SALUK-BIJAK, J. (2022) Probiotics in the Prevention of the Calcium Oxalate Urolithiasis. *Cells* vol. 11, n° 2, p. 284. [<https://doi.org/10.3390/cells11020284>]

Annexe 1 : Recueil de données sur les races pures les plus prédisposées à un type de calcul urinaire selon diverses études.

	CaOx	PAM	Urates	Cystine	Silice
Étude française 40 urolithes 1990-1994 (Cotard, 1999, 1993)	Schnauzers nains Lhasa Apso Caniche Shih Tzu Yorkshire terrier	Schnauzers nains Caniche	Dalmatiens Colley Schnauzer Yorkshire Bouledogue	Teckels Bassets Hounds Yorkshires Chihuahuas Bouledogue	NR
Étude canadienne 16647 urolithes de 1998-2003 (Houston <i>et al.</i> , 2004) Étude canadienne 40 637 urolithes 1998-2008 (Houston et Moore, 2009)	Schnauzer nain Bichon frisé Lhasa Apso Yorkshire terrier Shih Tzu	Shih Tzu Bichon frisé Lhasa Apso Schnauzer nain Yorkshire terrier	Dalmatiens mâles Shih Tzu Schnauzer nain Bouledogue anglais	Bouledogue anglais Terre-Neuve Chihuahua Rottweiler Lévrier écossais	Shih Tzu schnauzer nain Bichon frisé Lhasa Apso
Étude française 1131 urolithes 2007-2010 (Blavier <i>et al.</i> , 2012)	Yorkshire terrier Bichon Shih Tzu Caniche	Shih Tzu, Caniche Yorkshire terrier	Dalmatiens mâles	American Staffordshire terrier, Bouledogue anglais	NR
Étude mexicaine 195 chiens 2006-2016 (Mendoza-López <i>et al.</i> , 2019)	Schnauzer	Schnauzer Caniche Cocker	Dalmatiens Schnauzer	NR	Labrador retriever

<p>Étude californienne 10 444 urolithes 2006-2018 (Kopecny <i>et al.</i>, 2021)</p>	<p>Caniche Pomeranie Griffon de Bruxelles Pinscher nain Lhasa Apso Terrier maltais Schnauzer nain Bichon Frise</p>	<p>Aucune</p>	<p>Dalmatien Bouledogue Bouledogue anglais Pitbull Terrier</p>	<p>Pitbull Terrier Terre neuve Mastiff Bouvier australien Rottweiler Bouledogue anglais</p>	<p>Berger Allemand Border Collie Carlin Berger Australien Golden Retriever Samoyède</p>
<p>Étude française 6700 urolithes 2016-2020 (Nélaton, 2021)</p>	<p>Yorkshire terrier Chihuahua Jack Russel Lhasa Apso Shih Tzu Bichon Frisé</p>	<p>Shih Tzu Cocker Anglais Teckel Carlin Yorkshire Terrier Bichon Frisé Jack Russel</p>	<p>Dalmatiens mâles Bouledogue</p>	<p>Teckel Chihuahua Bouledogue Français et anglais American Staffordshire Terrier Staffordshire Bull Terrier Pinscher Allemand Labrador</p>	<p>NR</p>

Annexe 2 : Résumé des recommandations du consensus ACVIM sur le traitement des urolithiases du chien et du chat (Lulich et al., 2016)

Résumé des recommandations du consensus ACVIM sur le traitement des urolithiases du chien et du chat

Section et n°	Recommandation	Commentaires	
1. Traitement des urolithiases de la vessie ou l'urètre	1.1	Les cristaux de struvite devraient être dissous par traitement médical.	La suture de cystostomie est responsable de 9 % des cas de récidives.
	1.2	En cas de signes cliniques associés, les urocystolithes devraient être éliminés suivant des techniques peu invasives.	La technique varie selon la taille des lithiases. La cystostomie est à éviter.
	1.2a	Envisager la dissolution des cristaux d'urate avant leur extraction.	En l'absence de maladie hépatique associée. Une étude a montré une dissolution totale chez 40 % des chiens traités et partielle chez 30 %. Pas de données chez le chat.
	1.2b	Envisager la dissolution des cristaux de cystine avant leur extraction.	Alcaliniser les urines (jusqu'à atteindre un pH de 7,5).
	1.3	En l'absence de signe clinique et de risque d'obstruction urinaire, l'élimination des urocystolithes n'est pas nécessaire.	Si leur dissolution n'est pas envisageable et la récurrence probable. Un suivi régulier est conseillé.
	1.4	En l'absence de signe clinique mais en cas de risque d'obstruction urinaire, les urocystolithes devraient être éliminés suivant des techniques peu invasives.	Plusieurs techniques possibles : dissolution, lithotritie extracorporelle (fragmentation par ondes de choc), cystolithotomie percutanée, etc.
2. Traitement des urolithiases des reins ou des urètres	1.5	Les uréthrolithes sont fragmentés par lithotritie intracorporelle et retirés.	Indépendamment de l'éventuelle obstruction urinaire provoquée.
	1.6	Toute chirurgie urétrale est déconseillée.	Risque de lésions anatomiques et fonctionnelles.
	2.1	Seules les néphrolithes problématiques requièrent un traitement.	Traiter lors d'obstruction, de douleur, d'infection récurrente, de compression du parenchyme rénal.
	2.2	Les cristaux de struvite devraient être dissous par traitement médical.	Efficace dans 20 à 30 % des cas d'urolithiases du haut appareil chez le chien.
	2.3	En cas d'urolithiases obstructives chez le chat, la dissolution ne doit pas être tentée.	Cristaux d'oxalate de calcium dans 90 % des cas, non dissous médicalement.
	2.4	Les néphrolithes problématiques devraient être éliminés suivant des techniques peu invasives.	Préférer leur retrait par dissolution, néphrolithotomie endoscopique, lithotritie extracorporelle (chien seulement).
	2.5	Une hydronéphrose et un hydro-urètre proche d'une lithiase obstructive suffisent à établir le diagnostic d'obstruction urétérale.	Observations à l'échographie.
	2.6	Une obstruction urétérale nécessite une prise en charge immédiate.	C'est une urgence, que l'obstruction soit partielle ou totale.
	2.7	Le traitement médical des lithiases urétérales obstructives est rarement efficace. Envisager leur retrait par une technique peu invasive.	L'efficacité est de 8 à 13 % chez le chat. Chez le chien, une infection est associée dans 59 % des cas, justifiant une antibiothérapie.
	2.8	Chez le chat, les lithiases urétérales obstructives sont traitées par la pose d'un système de dérivation (subcutaneous ureteral bypass) ou d'un stent urétéral.	Idéalement sous fluoroscopie.
	2.9	Chez le chien, les lithiases urétérales obstructives sont traitées par la pose d'un stent urétéral.	Éventuellement combiné à une lithotritie extracorporelle (fragmentation par ondes de choc).
2.10	La décision thérapeutique dépend de la composition de la lithiase urétérale.	Dissolution possible pour les cristaux de struvite. Stent éventuellement associé à une lithotritie pour les oxalates, à des mesures médicales et diététiques pour les cristaux d'urate ou de cystine.	
2.11	Chez le chien en cas d'obstruction urétérale, une mise en culture des urines est systématique pour envisager une antibiothérapie.	Le risque d'infection et de pyélonéphrite est élevé dans cette espèce.	

Source : Lulich et al. JVIM 2016.

Annexe 3 : Résumé des recommandations du consensus ACVIM sur la prévention des urolithiases du chien et du chat (Lulich et al., 2016)

Résumé des recommandations du consensus ACVIM sur la prévention des urolithiases du chien et du chat

	Recommandation	Commentaires
1	La prévention des cristaux de struvite d'origine non infectieuse repose sur la distribution d'un aliment à faible teneur en magnésium et en phosphore qui acidifie les urines.	Ces cristaux "stériles" sont plus fréquents chez le chat.
2	La première prévention des cristaux de struvite d'origine infectieuse est le traitement des infections urinaires.	Ces cristaux d'origine infectieuse sont plus fréquents chez le chien. Les mesures diététiques sont d'importance secondaire.
3	Pour limiter les récurrences de cristaux d'oxalate de calcium : réduire la concentration des urines, prévenir leur acidification et éviter une alimentation à trop haute teneur en protéines.	Les données scientifiques sur la pathogénie, l'épidémiologie, le traitement et la prévention de ces lithiases sont parcellaires.
3a	Ne pas recommander de remplacer l'aliment à taux d'humidité élevé par un aliment sec à haute teneur en sodium.	L'effet positif des apports en sodium sur l'excrétion d'eau dans les urines ne dure que 3 à 6 mois. Cette alternative s'envisage toutefois si le propriétaire refuse l'aliment humide.
3b	En cas d'acidité urinaire persistante chez le chien ou le chat, envisager l'administration de citrate de potassium ou autre sel alcalinisant.	Supplémentation orale. La dose optimale reste à déterminer.
3c	En cas de récurrence fréquente de cristaux d'oxalate de calcium, envisager l'administration de diurétiques thiazidiques.	Mesurer le pH des urines pour évaluer la nécessité d'une éventuelle administration concomitante de citrate de potassium.
4	Pour limiter les récurrences de cristaux d'urate : réduire la concentration des urines, les alcaliniser et limiter les apports en purine.	Les aliments riches en protéines sont souvent riches en purine.
4A	Chez les chiens présentant une hyperuricosurie génétique réfractaire au traitement diététique, envisager l'administration d'inhibiteurs de la xanthine oxydase [allopurinol].	Concerne les chiens homozygotes mutés. Dosage recommandé : 5-7 mg/kg q12-24h.
5	Pour limiter les récurrences de cristaux de cystine : réduire la concentration des urines, les alcaliniser, limiter les apports protéinés, les apports en sodium et stériliser l'animal.	La cystinurie est une maladie génétique rare. Limiter les apports en méthionine en respectant les besoins en carnitine.
5A	En cas de récurrences de cristaux de cystine, compléter ces recommandations (n°5) par l'administration de 2-mercaptopropionylglycine (tiopronine [Acadione [®]]) pour diminuer davantage la concentration de cystine dans les urines et augmenter sa solubilité.	Le traitement est réservé aux cas plus graves (lithiases rénales) ou multi-récidivants à cause de ses effets indésirables. Dose proposée : 15 mg/kg PO q12h.

Source : Lulich et al. JVVIM 2016.

Annexe 4 : Feuille de calcul Excel recueillant les données épidémiologiques de l'échantillon.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Nom animal	Nom propriétaire	N° Dossier	Sexe	Age	Race	Poids	Status Reproducteur (0 : entier / 1 : stérilisé)	ECBU (1 : positif ; 0 : négatif)	Germes	Date de la cytologie / endoscopie	Nombre de calculs
OSLO	ANDRE	A02-10298	M	9A	Croisé	6,2	0	0	0	17/12/2007	1
MELKRIN	DUMORTIER	A03-9754	M	12A	CKC	7,4	0	1	0	14/01/2008	1
SARRAUD	CHAVEGRAND	A07-11827	M	7A	Braque Français	27	0	0	0	15/01/2008	1
SVITOK	ALLERIE	A05-14502	M	7A	Dobermann	45	0	0	1	09/03/2008	plusieurs
SAMMY	TRELLOYER	A07-3210	M	7A	CKC	10,15	0	0	0	14/03/2008	plusieurs
ROCKY	CHIEP	A08-3612	M	10A	Berger Allemand	50	0	0	1	02/04/2008	2
CALIN	VERNE	A08-3404	M	7A	Yorkshire	5,3	0	0	0	03/04/2008	3
TILK	RATAJCZAK	A08-3574	M	6A	Bouledogue anglais	26	0	0	0	03/04/2008	4
PEPITO	SALGADO Y FERRERO	A08-3712	M	5,5A	Yorkshire terrier	5,8	0	0	0	04/04/2008	plusieurs
BINGO	DA SILVA	A08-4133	M	8A	Yorkshire terrier	5,8	0	0	1	12/04/2008	plusieurs
HINDY	JOACHIM	A08-5127	M	8A	American staff	9	1	0	0	08/05/2008	plusieurs
MIKI	BELAVEL	A08-6300	M	11,5A	Bichon	2,3	0	0	0	31/05/2008	2
UBALD	MOUROT	A08-5844	M	5A	Yorkshire terrier	7	0	0	0	03/06/2008	1
TAZ	MICHEL	A08-6545	M	14A	Croisé	30	0	0	0	01/07/2008	1
MOZART	DELHAYE	A08-7119	M	6A	Bouledogue anglais	7	0	0	0	03/07/2008	3
BOSTON	AZZARGO	A08-8184	M	2A	Dobermann	34,5	0	0	0	26/09/2008	plusieurs
TITOU	ARM	A08-9443	M	6A	Jack russel terrier	10	0	0	0	06/10/2008	plusieurs
PAIDOU	TBALDI	A08-11993	M	16A	Terrier query dilue	10	1	0	0	18/11/2008	plusieurs
ROXY	TARTOUR	A08-11990	M	4A	Croisé terrier	11,5	0	0	0	19/11/2008	3
OSCAR	DREZE	A02-0235	M	10A	Yorkshire terrier	3,8	0	0	0	24/11/2008	1
PIRATE	DELY	A99-7083	M	8A	Yorkshire terrier	6,1	1	0	0	10/05/2007	1
USAP	CASEJUANE	A08-12074	M	5A	Jack russel terrier	8,5	0	0	0	26/11/2008	plusieurs
NOUKY	SOARES	A06-7983	M	11A	caniche	0	0	0	1	09/12/2008	plusieurs (5)
ROCKY	QUEVIN	A08-12864	M	8A	Shih tsu	7,2	0	0	0	10/12/2008	1
SIMBA	ESPUICHE	A08-3145	M	8A	Cocker américain	14,8	0	0	0	19/01/2009	3
TOBY	TOUZAIN	A09-896	M	6A	Calm terrier	11	0	0	0	25/01/2009	1
KIKI	NGUYEN	A07-9217	M	9A	Yorkshire terrier	4	0	0	0	03/03/2009	plusieurs

N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
Composant primaire	Proportion primaire	Composant secondaire	Proportion secondaire	Composant tertiaire	Proportion tertiaire	Composant quaternaire	Proportion quaternaire	Taille	Couleur	Surface	Consistance
Oxalate de calcium dihydraté	90 CAI		10 /		/		/	/	/	/	/
Oxalate de calcium dihydraté	90 apatite de carbonate		10 /		/		/	/	/	/	/
Oxalate de calcium dihydraté	90 apatite de carbonate		10 /		/		/	/	/	/	/
Ammonio-phosphate de magnésium hexahydraté	100 /		/		/		/	/	/	/	/
Oxalate de calcium dihydraté	100 /		/		/		/	/	/	/	/
Biurate d'ammonium	100 /		/		/		/	/	/	/	/
Oxalate de calcium monohydraté	90 /		/		/		/	/	/	/	/
Oxalate de calcium monohydraté	100 /		/		/		/	/	/	/	/
Cystine	100 /		/		/		/	/	/	/	/
Oxalate de calcium monohydraté	> 90	apatite de carbonate	<10		/		/	/	/	/	/
Oxalate de calcium monohydraté	80 apatite de carbonate		20 /		/		/	/	/	/	/
Ammonio-phosphate de magnésium hexahydraté	100 /		/		/		/	/	/	/	/
Oxalate de calcium monohydraté	90	Oxalate de calcium monohydraté	10 /		/		/	/	/	/	/
Oxalate de calcium dihydraté	90	Oxalate de calcium monohydraté	10 /		/		/	/	/	/	/
Oxalate de calcium dihydraté	100 /		/		/		/	/	/	/	/
Ammonio-phosphate de magnésium hexahydraté	100 /		/		/		/	/	/	/	/
cystine	100 /		/		/		/	/	/	/	/
Oxalate de calcium dihydraté	100 /		/		/		/	/	/	/	/
cystine	100 /		/		/		/	/	/	/	/
Oxalate de calcium monohydraté	60	Oxalate de calcium dihydraté	40 /		/		/	/	/	/	/
Oxalate de calcium monohydraté	70	Oxalate de calcium dihydraté	30 /		/		/	/	/	/	/
Oxalate de calcium monohydraté	60	Oxalate de calcium dihydraté	40 /		/		/	/	/	/	/
Ammonio-phosphate de magnésium hexahydraté	80 apatite de carbonate		20 /		/		/	/	/	/	/
hexahydraté	60	Oxalate de calcium dihydraté	40 /		/		/	/	/	/	/
struvite	100 /		/		/		/	/	/	/	/
Ammonio-phosphate de magnésium hexahydraté	100 /		/		/		/	/	/	/	/
Oxalate de calcium dihydraté	100 /		/		/		/	/	/	/	/
Oxalate de calcium dihydraté	100 /		/		/		/	/	/	/	/
Oxalate de calcium dihydraté	100 /		/		/		/	/	/	/	/
Oxalate de calcium monohydraté	65	Oxalate de calcium dihydraté	10 /		/		/	/	/	/	/
biurate d'ammonium	100 /		/		/		/	/	/	/	/
Ammonio-phosphate de magnésium hexahydraté	100 /		/		/		/	/	/	/	/
Oxalate de calcium monohydraté	100 /		/		/		/	12x15	beige	rugueuse	dure
Oxalate de calcium monohydraté	100 /		/		/		/	6x8	brun	rugueuse	dure
Oxalate de calcium monohydraté	70	Oxalate de calcium dihydraté	20 /		/		/	15x15	brun	anguleux	dure
Oxalate de calcium dihydraté	75	Oxalate de calcium monohydraté	25 /		/		/	5x3	beige	très anguleux	dure

Annexe 5 : Feuille de calcul Excel recueillant les données radiographiques de l'échantillon.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
N° Dossier	Nom propriétaire	Date de la RX	Incidence (P ou FP)	Nombre total de calcul	Rein (nombre)	Uretère (nombre)	Vessie (nombre)	Urètre pelvien (nombre)	Urètre pénien (nombre)	Taille max (mm)	Shape	Internal pattern	Outline	Borders	Opacité le plus volumineux	Opacité L5	Ratio	grade	
A01-1177	JAILLIN	29/10/2009	FP	>10	>10	0	9	0	0	0	10 bump-shape	heterogeneous	smooth	rounded	-2195	-1750		+++	
A05-2589	FERRERA	12/01/2011	P	>10	>10	0	6	0	0	0	3,8 rounded	homogeneous	smooth	rounded	-1925	-2025		++	
A08-3145	ESPUCHE	29/11/2013	P	>10	>10	1	>5	0	0	0	6 faceted	Homogeneous	smooth	sharp	1400	1840	0,76087	++	
A10-13860	PREBOST	09/11/2010	P	>10	>10	0	9	0	4	4	2,3 rounded	homogeneous	smooth	rounded	2340	2520	0,928571	+++	
A10-14901	BERTAUD	08/12/2010	P	>10	>10	0	2	0	0	0	5,6 spiculated	heterogeneous	irregular	sharp	1900	1830	1,038251	++	
A10-8921	CORN	25/06/2010	P	>10	>10	0	8	0	1	1	5,8 faceted	homogeneous	smooth	rounded	2110	2040	1,034314	+++	
A10-9450	DOBRUEVIC	12/07/2010	FP	>10	NON visibles	0	0	0	0	0	NE								
A11-13076	GUILLOTET	17/10/2011	FP	>10	>10	0	>10	0	0	0	7,8 faceted	homogeneous	smooth	sharp	-2410	-2470		+++	
A11-14279	ECHIVARD	24/10/2011	FP	>10	>10	0	0	0	0	1	3 bump-shape	homogeneous	smooth	rounded	2440	2320		+++	
A11-14698	CALMET	28/10/2011	FP	>10	>10	0	3	0	0	0	6,7 tubular	homogeneous	smooth	rounded	2120	2075	1,021687	+++	
A11-33	URSN	02/01/2011	FP	>10	>10	0	0	0	0	0	10 bump-shape	heterogeneous	smooth	rounded	2070	1975	1,048101	+++	
A11-8261	MORICE	06/06/2018	FP	>10	>10	0	0	0	0	0	7,7 faceted	homogeneous	smooth	sharp	2155	1745	1,234957	+++	
A12-10410	DECAMBON/JEAN	16/07/2012	P	>10	>10	0	3	0	0	0	4,2 irregular	homogeneous	irregular	rounded	2050	1830	1,120219	+++	
A12-4148	CROFILS	09/03/2012	FP	>10	>10	0	1	1	>10	0	5,5 bump-shape	homogeneous	smooth	rounded	1985	1990	0,997487	+++	
A12-6203	GODIN	13/04/2012	P	>10	>10	0	3	0	0	1	6,7 ovoid	homogeneous	smooth	rounded	1910	1960	0,97449	+++	
A12-6719	COUDEVILLE	23/04/2012	P	>10	>10	0	>10	0	0	0	3,7 ovoid	homogeneous	smooth	rounded	1300	1510	0,860927	++	
A13-1042	ENOUF	25/01/2013	P	>10	>10	0	>10	>10	0	0	3,8 faceted	homogeneous	smooth	sharp	1645	1660	0,990964	+++	
A13-11326	RAT	30/10/2013	P	>10	>10	0	7	0	0	0	5 faceted	homogeneous	smooth	sharp	1850	1840	1,005435	+++	
A13-3553	LACOUR	21/04/2013	FP	>10	>10	0	1	0	0	0	8,4 ovoid	homogeneous	smooth	rounded	-2180	-2005		+++	
A14-11920	REQUEDA	16/10/2014	FP	>10	>10	0	>10	5	0	0	1,2 rounded	homogeneous	irregular	rounded	1975	1940	1,018041	+++	
A14-1762	SOUSSAN	20/12/2022	FP	>10	>10	0	>10	0	0	0	5,7 spiculated	homogeneous	irregular	sharp	7930	9935	0,798188	+++	
A14-2405	GALLIEN	02/05/2023	FP	>10	>10	0	3	0	0	0	4 spiculated	heterogeneous	irregular	sharp	1640	1850	0,886486	++	
A15-5335	DUCHET	23/04/2015	FP	>10	>10	0	>10	>10	6	0	11 faceted	homogeneous	smooth	rounded	1640	1995	0,822055	++	
A15-5512	DOS SANTOS	29/04/2015	FP	>10	>10	0	>10	>10	0	0	5,6 faceted	homogeneous	smooth	rounded	1900	1980	0,959596	+++	
A15-5983	BONNIN	13/05/2015	FP	>10	>10	1	>10	0	0	0	8,9 faceted	homogeneous	smooth	sharp	1925	1920	1,002604	+++	
A16-7959	PARKIET	15/06/2016	FP	>10	>10	0	>10	0	0	0	5 faceted	homogeneous	smooth	rounded	2041	1850	1,103243	+++	
A17-14554	AUDIBERT	13/01/2020	FP	>10	>10	0	1	0	0	0	4,9 faceted	homogeneous	smooth	rounded	1670	1665	1,003003	+++	
A17-3995	CHOI	04/04/2017	FP	>10	>10	0	>10	0	0	0	7,2 faceted	heterogeneous	smooth	rounded	2000	1940	1,030928	+++	
A18-11896	PARANTA FERNAND	19/03/2020	FP	>10	>10	0	7	0	0	0	4,1 faceted	homogeneous	smooth	rounded	1730	1700	1,017647	+++	
A18-2281	FOURNIER	16/03/2018	FP	>10	>10	0	1	0	0	0	14 bump-shape	heterogeneous	smooth	rounded	2065	2065	1,010654	+++	
A19-5235	LEVASSEUR	25/04/2019	FP	>10	>10	0	>10	0	4	0	6,2 tubular	homogeneous	smooth	rounded	1917	1916	2,230	0,859193	+++
A19-7265	BARDOUX	07/06/2019	FP	>10	>10	0	>10	0	>10	0	8,4 faceted	homogeneous	smooth	rounded	1270	1930	0,658031	+	
A20-3895	RIEU	26/03/2020	FP	>10	>10	0	>10	0	0	0	19 faceted	homogeneous	smooth	rounded	2005	1915	1,046997	+++	

Annexe 6 : Races de notre étude par groupe de calculs comparativement à deux études françaises (Nelaton2021, Blavier2012)

Races pures les plus représentées comparativement aux deux autres études françaises

	Notre étude 2024	Blavier 2012	Nélaton 2021
Races pures	94.2 %	96,9 %	82.2 %
Yorkshire	17.5 %	25,7 %	17.8 %
Jack Russel	6.8 %	2.2 %	5.2 %
Bouledogue français	6.3 %	1.3 %	3.2 %
Shih Tzu	5.8 %	14.2 %	9.6 %
Staffordshire bullterrier	4.9 %		NR
Bichon	4.4 %	6,0 %	4.1 %
Chihuahua	3.9 %	1.2 %	3.2 %
Bouledogue anglais	3.4 %	0.6 %	NR
Carlin	3.4 %	1.1 %	2.1 %
CKC	2.9 %	1.5 %	2.1 %
American Staffordshire terrier	2.4 %		NR
Caniche	2.4 %	4.8 %	<1.5 %
Lhasa Apso	1.8 %		2.5 %
Labrador Retriever	1.4 %	2.8 %	NR
Dalmatien	1 %	2.6 %	2.6 %

Races pures les plus prédisposées aux calculs de CaOx comparativement aux deux autres études françaises.

	2024	A. Blavier (2012)	C. Nélaton (2021)
Yorkshire	25.8%	40.9%	29.3%
Jack Russel Terrier	8.3%	Oui mais non chiffré	8%
Bichon frisé	5.5%	6.4%	5%
Chihuahua	5.5%	NR	5.1%
Bouledogue français	4.6%	NR	3%
CKC	4.6%	NR	2.3%
Shih Tzu	4.6%	12.2%	7.5%
Caniche	3.7%	4%	1.7%

Races pures les plus prédisposées aux calculs de PAM comparativement aux deux autres études françaises.

	2024	A. Blavier (2012)	C. Nélaton (2021)
Shih Tzu	11.4 %	17.6 %	14 %
Yorkshire	11.4 %	13.9 %	10.7 %
Carlin	8.2 %	Oui mais non chiffré	4,0 %
Jack Russel	6.5 %	NR	3.3 %
Bichon frisé	4.8 %	5.4 %	4.3 %
Bouledogue français	3.2 %	NR	2.7 %
Epagneul Breton	3.2 %	4.4 %	0.9 %
Labrador Retriever	3.2 %	5.6 %	1.8 %
Caniche	1.6 %	6.4 %	1.2 %

Races pures les plus prédisposées aux calculs de PAM comparativement aux deux autres études françaises.

	2024	A. Blavier (2012)	C. Nélaton (2021)
Shih Tzu	11.4 %	17.6 %	14 %
Yorkshire	11.4 %	13.9 %	10.7 %
Carlin	8.2 %	Oui mais non chiffré	4,0 %
Jack Russel	6.5 %	NR	3.3 %
Bichon frisé	4.8 %	5.4 %	4.3 %
Bouledogue français	3.2 %	NR	2.7 %
Epagneul Breton	3.2 %	4.4 %	0.9 %
Labrador Retriever	3.2 %	5.6 %	1.8 %
Caniche	1.6 %	6.4 %	1.2 %

Races pures les plus prédisposées aux calculs de cystine comparativement à l'étude française de C. Nélaton.

	2024	C. Nélaton (2021)
Staffordshire bullterrier	23.2 %	5.4 %
Bouledogue Français	17.3 %	11.1 %
American Staffordshire terrier	14.4 %	5.6 %
Bouledogue anglais	11.5 %	9.9 %
Chihuahua	2.8 %	7.3 %
Jack Russel	2.8 %	5.2 %
Yorkshire	2.8 %	4,0 %
Labrador Retriever	2.8 %	2.2 %

ÉTUDE DE LA PRÉDICTIBILITÉ DES DONNÉES ÉPIDEMIOLOGIQUES ET RADIOGRAPHIQUES POUR DÉTERMINER LA NATURE MINÉRALE D'UN CALCUL URINAIRE CHEZ LE CHIEN

AUTEUR : Mathieu MOTTEAU-LEVEQUE

RÉSUMÉ :

La prédiction de la composition minérale d'un calcul permet au vétérinaire clinicien d'opter pour un traitement calculolytique adapté quand il est possible et d'éviter autant que possible un traitement chirurgical plus invasif.

Après avoir fait une brève revue des données bibliographiques sur l'urolithiase canine, une étude rétrospective sur 206 calculs urinaires prélevés chez le chien entre août 2009 et septembre 2023 en France a été réalisée afin de préciser la prédictibilité des données radiographiques. Les calculs ont été extraits chirurgicalement et analysés par spectrophotométrie infra-rouge.

L'objectif de cette étude était d'analyser les données radiographiques pour définir leurs prédictibilités à déterminer la nature minérale d'un calcul urinaire chez le chien.

La localisation dans le HAU, la forme bosselée et spiculée est évocatrice d'une nature oxalocalciques, une taille importante et une forme pyramidale sont en faveur d'un calcul de struvite.

Ainsi, la radiographie abdominale peut apporter des informations (opacité, localisation, taille et forme des calculs) orientant sur sa composition minérale. Couplés avec les facteurs épidémiocliniques, ils pourront constituer la base d'une intelligence artificielle prédictives d'un type de calcul.

MOTS CLÉS : UROLITHIASE / CHIEN / PRÉDICTION / RADIOGRAPHIE / ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE D'ALFORT

JURY :

Président : Pr DESQUILBET Loïc

Directrice de thèse : Pr MAUREY-GUÉNEC Christelle

Examineur : Pr MANASSERO Mathieu

STUDY OF THE PREDICTABILITY OF EPIDEMIOLOGICAL AND RADIOGRAPHIC DATA TO DETERMINATE THE MINERAL NATURE OF AN UROLITH IN DOGS

AUTHOR : Mathieu MOTTEAU-LEVEQUE

SUMMARY :

The prediction of the mineral composition of an urolith enables the veterinary clinician to opt for an appropriate calculolytic treatment whenever possible, and to avoid more invasive surgical treatment wherever possible.

After a brief review of the literature on canine urolithiasis, a retrospective study of 206 urinary calculi collected from dogs between August 2009 and September 2023 in France was carried out to clarify the predictability of radiographic data. The uroliths were surgically extracted and analyzed by infrared spectrophotometry.

The aim of this study was to analyze radiographic data to define their predictability in determining the mineral nature of an urolith in dogs.

The location in the upper urinary tract and the bumpy, spiculated shape are suggestive of an oxalocalcic nature. Large size and pyramidal shape are indicative of struvite calculi.

Abdominal X-rays can provide information (opacity, location, size and shape of calculi) that may help to determine their mineral composition. Coupled with epidemio-clinical factors, this could form the basis of a predictive artificial intelligence system for a given type of urolith.

KEYWORDS: UROLITHIASIS / DOG / PREDICTION / RADIOGRAPHY / NATIONALE VETERINARY SCHOOL ALFORT

JURY:

Chairperson: Pr DESQUILBET Loïc

Thesis Director: Pr MAUREY-GUÉNEC Christelle

Reviewer: Pr MANASSERO Mathieu