

**CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON**

Année 2023 - Thèse n° 116

**GESTION DE L'EAU D'ABREUVEMENT EN ÉLEVAGES  
DES RUMINANTS**

**THESE**

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1  
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 24 novembre 2023  
Pour obtenir le titre de Docteur Vétérinaire

Par

BELAY Morgan



**CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON**

Année 2023 - Thèse n° 116

**GESTION DE L'EAU D'ABREUVEMENT EN ÉLEVAGES  
DES RUMINANTS**

**THESE**

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1  
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 24 novembre 2023  
Pour obtenir le titre de Docteur Vétérinaire

Par

BELAY Morgan



## Liste des enseignants du Campus Vétérinaire de Lyon (20-03-2023)

Pr	ABITBOL	Marie	Professeur
Dr	ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	Maître de conférences
Pr	ARCANGIOLI	Marie-Anne	Professeur
Dr	AYRAL	Florence	Maître de conférences
Pr	BECKER	Claire	Professeur
Dr	BELLUCO	Sara	Maître de conférences
Dr	BENAMOU-SMITH	Agnès	Maître de conférences
Pr	BENOIT	Etienne	Professeur
Pr	BERNY	Philippe	Professeur
Pr	BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	Professeur
Dr	BOURGOIN	Gilles	Maître de conférences
Dr	BRUTO	Maxime	Maître de conférences
Dr	BRUYERE	Pierre	Maître de conférences
Pr	BUFF	Samuel	Professeur
Pr	BURONFOSSE	Thierry	Professeur
Dr	CACHON	Thibaut	Maître de conférences
Pr	CADORÉ	Jean-Luc	Professeur
Pr	CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	Professeur
Pr	CHABANNE	Luc	Professeur
Pr	CHALVET-MONFRAY	Karine	Professeur
Dr	CHANOIT	Gillaume	Professeur
Dr	CHETOT	Thomas	Maître de conférences
Pr	DE BOYER DES ROCHES	Alice	Professeur
Pr	DELIENNETTE-MULLER	Marie-Laure	Professeur
Pr	DJELOUADJI	Zorée	Professeur
Dr	ESCRIOU	Catherine	Maître de conférences
Dr	FRIKHA	Mohamed-Ridha	Maître de conférences
Dr	GALIA	Wessam	Maître de conférences
Pr	GILOT-FROMONT	Emmanuelle	Professeur
Dr	GONTHIER	Alain	Maître de conférences
Dr	GREZEL	Delphine	Maître de conférences
Dr	HUGONNARD	Marine	Maître de conférences
Dr	JOSSON-SCHRAMME	Anne	Chargé d'enseignement contractuel
Pr	JUNOT	Stéphane	Professeur
Pr	KODJO	Angeli	Professeur
Dr	KRAFFT	Emilie	Maître de conférences
Dr	LAABERKI	Maria-Halima	Maître de conférences
Dr	LAMBERT	Véronique	Maître de conférences
Pr	LE GRAND	Dominique	Professeur
Pr	LEBLOND	Agnès	Professeur
Dr	LEDOUX	Dorothee	Maître de conférences
Dr	LEFEBVRE	Sébastien	Maître de conférences
Dr	LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	Maître de conférences
Dr	LEGROS	Vincent	Maître de conférences
Pr	LEPAGE	Olivier	Professeur
Pr	LOUZIER	Vanessa	Professeur
Dr	LURIER	Thibaut	Maître de conférences
Dr	MAGNIN	Mathieu	Maître de conférences
Pr	MARCHAL	Thierry	Professeur
Dr	MOSCA	Marion	Maître de conférences
Pr	MOUNIER	Luc	Professeur
Dr	PEROZ	Carole	Maître de conférences
Pr	PIN	Didier	Professeur
Pr	PONCE	Frédérique	Professeur
Pr	PORTIER	Karine	Professeur
Pr	POUZOT-NEVORET	Céline	Professeur
Pr	PROUILLAC	Caroline	Professeur
Pr	REMY	Denise	Professeur
Dr	RENE MARTELLET	Magalie	Maître de conférences
Pr	ROGER	Thierry	Professeur
Dr	SAWAYA	Serge	Maître de conférences
Pr	SCHRAMME	Michael	Professeur
Pr	SERGENTET	Delphine	Professeur
Dr	TORTEREAU	Antonin	Maître de conférences
Dr	VICTONI	Tatiana	Maître de conférences
Dr	VIRIEUX-WATRELOT	Dorothee	Chargé d'enseignement contractuel
Pr	ZENNER	Lionel	Professeur



# Remerciements au jury

Je remercie sincèrement l'ensemble des membres de mon jury de thèse :

**Merci à Monsieur le Professeur Jean-Baptiste PIALAT,**

De l'Université de Claude Bernard Lyon 1, Faculté de médecine de Lyon,

Pour m'avoir fait l'honneur d'être le président de mon jury de thèse.

Merci pour le temps consacré à la lecture de mon manuscrit.

Hommages respectueux.

**Merci à Monsieur le Professeur Luc MOUNIER,**

De VetAgroSup, Campus vétérinaire de Lyon,

Pour avoir accepté d'encadrer ma thèse.

Merci pour tous vos retours, votre disponibilité, votre bienveillance et votre professionnalisme.

Sincères remerciements et toute ma reconnaissance.

**Merci à Madame la Professeur Claire BECKER,**

De VetAgroSup, Campus vétérinaire de Lyon,

Pour avoir accepté d'être mon second assesseur de thèse.

Sincères remerciements.







# Table des matières

Liste des annexes.....	13
Liste des figures.....	15
Liste des tableaux.....	17
Liste des abréviations.....	19
Introduction.....	21
Partie 1 : La physiologie de l'eau chez les ruminants et leurs besoins .....	23
I.    La physiologie hydrique des bovins.....	23
1.    Bilan hydrique de la vache .....	23
2.    La régulation du compartiment hydrique .....	24
a.    Les principales forces de régulation des flux hydriques.....	24
b.    Régulation de l'excrétion urinaire .....	24
c.    Le mécanisme de régulation de la soif.....	25
II.    Les besoins en eau des bovins.....	26
1.    Les besoins généraux des bovins.....	26
2.    Restriction hydrique .....	27
3.    Comportement de buvée .....	27
4.    Particularités des bovins laitiers.....	28
5.    Particularités des bovins allaitants.....	29
6.    Particularités des veaux.....	29
III.   Les facteurs influençant les besoins en eau .....	30
1.    Equations prédictives .....	30
2.    La composition de la ration .....	31
a.    La matière sèche .....	31
b.    Les teneurs en sodium (Na+), potassium (K+) et azote (N).....	32
3.    La température environnementale .....	33
4.    Le stade physiologique de l'animal .....	34
IV.   Les petits ruminants .....	35
1.    Les besoins en eau des ovins.....	35
2.    Les besoins en eau des caprins.....	36
Partie 2 : Origines et modalités de distribution de l'eau en élevage .....	37
V.    Rappel du cycle de l'eau .....	37
1.    Cycle de l'eau.....	37
2.    Les classifications de l'eau en milieu agricole .....	38
3.    Le comportement de l'eau dans les sols .....	38
VI.   Origines de l'eau d'abreuvement en élevage.....	41
1.    Les eaux de surface .....	41

a.	Cours d'eau.....	41
b.	Etangs / mares.....	41
c.	La réglementation des eaux de surfaces.....	42
2.	Les captages des eaux souterraines.....	42
a.	Le captage des nappes libres (superficielles).....	43
i.	Le captage d'une source naturelle.....	43
ii.	Les puits.....	43
b.	Le captage des nappes captives (profondes).....	44
i.	Les forages.....	44
c.	Réglementation.....	46
3.	L'eau de pluie.....	47
a.	L'eau de toiture.....	47
b.	Les impluviums.....	48
c.	Réglementation.....	49
4.	L'eau du réseau.....	50
VII.	Les modalités de distribution de l'eau d'abreuvement.....	51
1.	Les abreuvoirs.....	51
a.	Types d'abreuvoirs.....	51
b.	Emplacements.....	53
c.	Hauteur.....	54
d.	Débit.....	54
e.	Taille.....	54
f.	Matériaux.....	55
g.	Couleur.....	55
h.	Pour les veaux.....	55
2.	Les abreuvoirs dans les bergeries et chèvreries.....	55
3.	Circuit de distribution de l'eau en bâtiment.....	56
a.	La conception du circuit.....	56
b.	La protection contre le gel.....	57
4.	Les infrastructures / Conduites de l'eau au pâturage.....	58
a.	L'emplacement.....	58
b.	Le dimensionnement de l'abreuvement au pâturage.....	59
c.	La température de l'eau au pâturage.....	59
d.	Solutions pour l'abreuvement.....	60
i.	Descente aménagée au cours d'eau.....	60
ii.	Bélier hydraulique.....	60
iii.	Pompes de prairie.....	61

iv.	Système éolien .....	62
v.	Abreuvoirs solaires .....	62
vi.	Pompages solaires .....	63
vii.	Bacs de pâtures .....	63
viii.	Abreuvoirs isothermes .....	64
e.	Aménagement aux abords .....	65
f.	Réglementation .....	66
5.	L'entretien du réseau d'eau dans une exploitation .....	66
a.	L'entretien du circuit de distribution .....	66
b.	L'entretien des abreuvoirs .....	67
Partie 3 : L'aspect qualitatif de l'eau d'abreuvement .....		69
VIII.	Qualité Physico-chimique de l'eau d'abreuvement .....	69
1.	Le pH.....	69
2.	Dureté.....	69
3.	Température.....	70
4.	Nitrates / Nitrites.....	71
5.	Sulfates .....	72
6.	Carbone Organique Total (COT) .....	73
7.	Salinité / Matières Dissoutes Totales (MDT) / Sels dissous totaux (SST) / Conductivité .....	74
IX.	Les risques et contaminations physico-chimiques .....	75
1.	Le Fer .....	76
2.	Le Cuivre .....	76
3.	Le Manganèse.....	77
4.	Le Molybdène.....	78
5.	Le Chlore.....	78
6.	Le Sodium .....	78
7.	Le Calcium .....	79
8.	Le Fluor .....	79
9.	Le Magnésium .....	80
10.	Le Sélénium .....	80
11.	Le Mercure .....	81
12.	L'Arsenic .....	81
13.	Le Plomb .....	82
14.	Les « Polluants anthropiques » .....	83
X.	Les courants électriques parasites .....	83
1.	Les différents types de courants parasites.....	83
2.	Les moyens de lutte à mettre en place .....	85

3.	Impact(s) sur les performances des animaux.....	85
XI.	Les risques et contaminations microbiologiques .....	86
1.	Généralités des contaminations microbiologiques.....	86
2.	Les bactéries .....	87
3.	Les parasites .....	88
4.	Les virus .....	88
5.	Les cyanobactéries .....	88
XII.	Le cadre réglementaire .....	91
1.	La réglementation française.....	91
2.	La réglementation européenne.....	91
3.	Codex Alimentarius .....	92
4.	Recommandations.....	93
a.	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) .....	93
b.	Organisation Mondiale de la Santé (OMS).....	93
c.	En France .....	93
d.	La Charte de bonnes pratiques .....	93
Partie 4 :	Etude à destination des vétérinaires praticiens .....	96
XIII.	Matériels et méthodes .....	96
1.	Objectifs.....	96
2.	Élaboration du questionnaire .....	96
3.	Diffusion du questionnaire .....	96
XIV.	Résultats .....	97
1.	Question 1 : Le(s) type(s) d'élevage(s) au sein de votre clientèle ? .....	97
2.	Question 2 : Votre département d'exercice ? .....	98
3.	Question 3 : Quel est pour vous l'impact de la qualité et/ou de la quantité d'eau d'abreuvement sur le fonctionnement et la santé globale d'un élevage (bovins/ovins) ?.....	98
4.	Question 4 : Accordez-vous de l'importance à la gestion de l'eau d'abreuvement dans les élevages de votre clientèle ? .....	99
5.	Question 5 : Pensez-vous que l'eau distribuée aux veaux doit être spécifique ?.....	99
6.	Question 6 : Quelle(s) mesure(s) de gestion de l'eau utilisez-vous ?.....	100
7.	Question 7 : Pratiquez-vous des analyses de l'eau d'abreuvement dans les élevages de votre clientèle ?.....	101
8.	Question 8 : Vous pratiquez des analyses d'eau : .....	101
9.	Question 9 : Lors d'emploi d'eau privée (source, puit, forage...), réglementairement une analyse annuelle est obligatoire, selon vous cela est-il réalisé sur le terrain ? .....	102
10.	Question 10 : Pensez-vous savoir interpréter correctement une analyse d'eau ? .....	102
XV.	Discussion .....	102
Partie 5 :	Leviers d'action du vétérinaire rural sur le conseil vis-à-vis de l'eau d'abreuvement en élevage .....	105

XVI.	Les analyses d'eau .....	105
1.	Lieux d'analyses .....	105
2.	Méthode de prélèvement .....	105
a.	Kit de prélèvement et méthode d'échantillonnage .....	105
b.	Envoi des échantillons .....	106
3.	Fréquence.....	107
4.	Choix des paramètres analysés et leur interprétation .....	107
a.	Paramètres microbiologiques .....	107
b.	Paramètres physico-chimiques .....	108
XVII.	Traitements disponibles de l'eau d'abreuvement .....	110
1.	Les traitements physico-chimiques.....	110
a.	La filtration .....	110
b.	Neutraliser.....	111
c.	Déferriser et démanganiser.....	111
d.	Adoucisseur .....	112
e.	Dénitrater .....	112
2.	Les traitements microbiologiques.....	112
a.	La chloration.....	112
i.	Chlore .....	112
ii.	Dioxyde de Chlore .....	113
b.	Les Ultraviolets (UV).....	113
c.	Peroxyde d'Hydrogène .....	113
d.	Electrolyse au sel .....	114
e.	L'Ozone .....	114
3.	Les mesures de contrôle de l'activité désinfectante.....	114
	Conclusion .....	117
	Bibliographie .....	119
	Annexes .....	133



## Liste des annexes

Annexe 1: Typologies des aquifères .....	133
Annexe 2 : Tableau présentant les débits d'eau dans une canalisation en fonction de son diamètre, de sa longueur et du matériaux.....	133
Annexe 3 : Limites et références de qualité, valeurs indicatives et valeurs de vigilance des eaux destinées à la consommation humaine : Paramètres chimiques et organoleptiques.....	134
Annexe 4 : Limites et références de qualité, valeurs indicatives et valeurs de vigilance des eaux destinées à la consommation humaine : Paramètres microbiologiques.....	143
Annexe 5 : Tableau récapitulatifs répertoriant les principaux micro-organismes pathogènes (bactériens, viraux et parasitaires) des ruminants dont l'origine peut être l'eau d'abreuvement.....	144
Annexe 6 : Tableau de l'altération de l'usage de l'eau d'abreuvement, paramètres pris en compte et seuils de classement pour les altérations.....	145
Annexe 7 : Exemple de fiche de renseignements accompagnant une analyse d'eau (LDA 23) .....	146





## Liste des figures

Figure 1 : Flux hydrique d'une vache laitière en conditions de thermoneutralité et avec une ration à base d'ensilage de maïs .....	24
Figure 2 : Schéma de la fonction tubulaire rénale.....	25
Figure 3 : Budget temps moyen d'une vache laitière.....	27
Figure 4 : Distribution quotidienne de la consommation en eau d'une vache laitière.....	28
Figure 5 : Influence de la teneur en matière sèche de la ration sur l'ingestion de MS et d'eau chez la vache laitière .....	32
Figure 6 : Courbes de l'effet de la température sur les quantités d'eau évaporée d'après Maia et al. (2005 a et b), et du surplus d'eau nécessaire à contrer ces pertes d'après Boudon et al. (2012).....	33
Figure 7 : Le cycle de l'eau terrestre .....	37
Figure 8 : Principaux types d'aquifères en France.....	38
Figure 9 : Vitesse d'écoulement en fonction de la porosité des sols .....	39
Figure 10 : Carte hydrogéologique de France.....	40
Figure 11 : Zones créés par un captage.....	42
Figure 12 : Captage enterré d'une source / Captage avec un massif filtrant d'une source.....	43
Figure 13 : Schéma de captage par un puit.....	44
Figure 14: Schéma d'un captage par forage.....	45
Figure 15: Forme du périmètre de sécurité en cas de pente.....	46
Figure 16 : Système de récupération de l'eau de toiture.....	48
Figure 17: Abreuvoirs individuels : Abreuvoirs à palette, à tube, à niveau constant, isotherme à boule, à coupelle avec réserve. ....	52
Figure 18: Abreuvoirs collectifs pour des bovins et des petits ruminants.....	52
Figure 19 : Départ centralisé et individualisé d'un circuit d'eau .....	56
Figure 20 : Descente aménagée .....	60
Figure 21 : Fonctionnement bélier hydraulique.....	61
Figure 22 : Pompe de prairie .....	61
Figure 23 : Système éolien .....	62
Figure 24 : Abreuvoir solaire .....	63
Figure 25 : Bac de pâture.....	64
Figure 26 : Dalles de stabilisation.....	65
Figure 27 : Illustration de la tension de contact avec un abreuvoir.....	84
Figure 28 : Histogramme des catégories de ruminants dans les clientèles des sondés. ....	97
Figure 29 : Carte française des départements représentés (excepté la Suisse et de la Belgique).....	98
Figure 30 : Graphique circulaire de l'impact de l'eau d'abreuvement sur la santé d'un troupeau.....	98
Figure 31 : Graphique circulaire des réponses concernant l'importance dédiée à l'eau pour les vétérinaires sondés. ....	99
Figure 32 : Graphique circulaire relatant la pensée des vétérinaires sondés quant au besoin d'avoir une eau spécifique aux veaux. ....	99
Figure 33 : Graphique en barres des différentes mesures de gestion de l'eau choisies parmi un panel de propositions.....	100
Figure 34 : Graphique circulaire de la fréquence des analyses d'eau réalisées .....	101
Figure 35 : Graphique circulaire de l'origine des eaux analysées. ....	101
Figure 36 : Graphique circulaire de la réalisation sur le terrain d'une analyse d'eau annuelle. ....	102
Figure 37 : Graphique circulaire de la capacité des vétérinaires à interpréter une analyse d'eau.....	102



## Liste des tableaux

Tableau I : Variations des consommations d'eau de bovins laitiers en fonction de quatre paramètres majeurs.....	26
Tableau II : Quantités approximatives d'eau consommées par les ovins suivant leur stade physiologique, en litre par kg de matière sèche ingérée.....	35
Tableau III : Quantités approximatives d'eau consommées par les caprins suivant leur stade physiologique, en litre par kg de matière sèche ingérée.....	36
Tableau IV : Recommandations concernant la salinité de l'eau d'abreuvement chez les bovins.....	75
Tableau V : Paramètres chimiques d'alerte dans l'eau d'abreuvement.....	95
Tableau VI : Tableau du type de flacon recommandé en fonction de l'analyse envisagée .....	106
Tableau VII : Critères acceptables pour les principaux paramètres microbiologiques analysés de l'eau d'abreuvement.....	108
Tableau VIII : Critères acceptables pour les principaux paramètres chimiques analysés de l'eau d'abreuvement .....	109



## Liste des abréviations

°F : Degré Français  
**ADH** : Hormone anti-diurétique  
**Anses** : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail  
**ASAT** : Aspartate aminotransférase  
**ASR** : Anaérobies sulfito-réductrices  
**BIRM** : Produit filtrant servant à éliminer le fer et le manganèse de l'eau  
**BRC** : Bactéries résistantes aux céphalosporines  
**CCME** : Conseil des ministres de l'environnement canadien  
**CERFA** : Centre d'enregistrement et de révision des formulaires administratifs  
**CERPAM** : Centre d'études et de réalisations pastorales Alpes-Méditerranée  
**Cl<sup>-</sup>** : Chlore  
**CNRC** : Conseil national de recherche du Canada  
**COT** : Carbone organique total  
**DDT** : Dichlorodiphényltrichloroéthanes  
**DJA** : Dose journalière admissible  
**DREAL** : Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement  
***E.coli*** : *Escherichia coli*  
**EDCH** : Eaux destinées à la consommation humaine  
**ESO** : Eau souterraine  
**ESU** : Eau de surface  
**ETEC** : *Escherichia coli* entérotoxigènes  
**FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture  
**Fe** : Fer  
**Fe<sup>2+</sup>** : Ion ferreux  
**Fe<sup>3+</sup>** : Ion ferrique  
**GBPH** : Guide des bonnes pratiques d'hygiène  
**GDS** : Groupe de défense sanitaire  
**GGT** : Gamma glutamyl-transférase  
**GMQ** : Gain moyen quotidien  
**H** : Hauteur  
**HAP** : Hydrocarbures aromatiques polycycliques  
**INRAE** : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement  
**K<sup>+</sup>** : Potassium  
**K<sub>f</sub>** : Coefficient de rendement hydraulique  
**KMnO<sub>4</sub>** : Permanganate de Potassium  
**K<sub>t</sub>** : Coefficient de toiture  
**LDA** : Laboratoire départemental d'analyse  
**LDH** : Lactases déshydrogénases  
**LMR** : Limite maximale de résidus  
**M.O** : Matière organique  
**MAT** : Matière azotée totale  
**MDT** : Matières dissoutes totales  
**MFT** : Marteau fond de trou  
**Mg** : Magnésium  
**MS %** : Pourcentage de matière sèche  
**MS** : Matière sèche  
**MSI** : Matière sèche ingérée  
**MTN** : Méthode reposant sur un Produit oxydant servant à éliminer le fer et le manganèse de l'eau  
**N** : Azote  
**Na<sup>+</sup>** : Sodium  
**NaCl** : Chlorure de sodium

**NO3** : Ion nitrate  
**O.R.P** : Oxydo-réduction potentielle  
**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé  
**P** : Pluviométrie  
**PAL** : Phosphatases alcalines  
**PBDE** : Polybromodiphényléthers  
**PCB** : Polychlorobiphényles  
**PE** : Polyéthylène simple  
**pEB** : Quantité d'eau bue prédite  
**pEBTN** : Eau bue estimée à la thermoneutralité  
**pEE** : Quantité d'eau évaporée  
**pEET** : Quantité d'eau évaporée prédite  
**PEHD** : Polyéthylène haute densité  
**PEM** : Polioencéphalomalacie  
**PER** : Polyéthylène réticulé  
**pH** : Potentiel hydrogène  
**PL** : Production laitière  
**POP** : Polluants organiques persistants  
**PV** : Poids vif  
**PVC** : Polychlorure de vinyle  
**qtMATc** : Teneurs de la ration en matière azotée totale provenant du concentré  
**qtMATf** : Teneurs de la ration en matière azotée totale provenant du fourrage  
**S** : Surface  
**SARA** : Acidose ruminale subaiguë  
**SARM** : *Staphylococcus aureus* résistant à la pénicilline  
**SEQ-EAU** : Système d'évaluation de la qualité de l'eau  
**SST** : Sels dissous totaux  
**STEC** : *Escherichia coli* shigatoxinogènes  
**T** : Température  
**Ta** : Température ambiante moyenne journalière  
**TB** : Taux butyreux  
**TH** : Titre hydrométrique  
**UFC** : Unités formant colonie  
**UGB** : Unité Gros Bétail  
**UV** : Ultraviolets  
**V** : Volume

# INTRODUCTION

L'eau est un élément d'importance primordiale pour le développement de tous les organismes vivants sur Terre. Elle intervient dans le métabolisme de nombreuses fonctions vitales telles que la digestion, l'excrétion urinaire et fécale, la thermorégulation et bien d'autres. Les organismes ne survivent que quelques jours sans un apport hydrique correct.

Les ruminants d'élevages ne se soustraient pas à cette loi, ils doivent donc avoir accès continuellement à une eau de qualité et en quantité adéquate avec leur stade physiologique (âge, production...). De plus, le bien-être animal est au cœur de toutes les préoccupations, on notera la présence du critère d'absence de soif dans les critères de Welfare Quality (2009).

Du fait des évolutions climatiques actuelles, l'eau, son utilisation et sa gestion, prennent une part importante dans les débats animant le monde de l'Agriculture. On estime qu'il faut entre cinq et 10 litres d'eau pour produire un litre de lait et entre 50 et 75 litres d'eau pour produire un kilogramme de viande vive. En France, 16 % de l'eau prélevée l'est par le secteur agricole et 6 % d'entre elle est destinée à l'abreuvement du bétail (Gac, Bechut 2014).

La qualité de l'eau se dégrade de plus en plus, en grande partie consécutivement aux pollutions rejetées par les activités humaines. Les besoins hydriques étant incompressibles, il convient de trouver des solutions durables pour que le monde agricole continue d'abreuver correctement son bétail en termes quantitatif et qualitatif et les vétérinaires ruraux ont leur rôle à jouer dans ce défi.

Cette thèse s'intéresse à l'abreuvement des ruminants avec une première partie reprenant la physiologie et les besoins hydriques de ces espèces. La deuxième partie, concerne les origines et modalités de distribution de l'eau en élevage, la troisième partie, s'intéresse à l'aspect qualitatif de l'eau au niveau physico-chimique et microbiologique. Puis, la quatrième partie relate les résultats d'une étude menée auprès des vétérinaires ruraux praticiens. Enfin, la dernière partie énonce les leviers d'action et les mesures de gestion et/ou de correction que le vétérinaire peut conseiller au sujet de l'eau d'abreuvement en élevage.

L'objectif de cette étude est le recueil et l'actualisation de l'ensemble des données relatives à l'eau d'abreuvement dans les élevages de ruminants.





# ***PARTIE 1 : LA PHYSIOLOGIE DE L'EAU CHEZ LES RUMINANTS ET LEURS BESOINS***

## ***I. La physiologie hydrique des bovins***

L'eau est un élément essentiel pour le fonctionnement des êtres vivants et donc naturellement pour les bovins, comme nous allons le voir à travers la présentation de leur bilan hydrique et de la régulation de leur compartiment hydrique.

### ***1. Bilan hydrique de la vache***

L'eau représente entre 56 et 81 % de la composition totale d'un bovin. Cette valeur varie suivant le stade physiologique et l'environnement dans lequel se trouve l'animal est très variable suivant les sources mais se situe toujours dans cet intervalle (Andrew, Erdman, et Waldo 1995 ; Murphy 1992).

Par exemple, une vache tarie aura une moins grande quantité d'eau corporelle par rapport à une vache en lactation. Au contraire, un animal jeune aura une plus grande proportion d'eau au sein de son organisme qu'un animal plus âgé (Murphy 1992).

L'eau corporelle est divisée en un compartiment intracellulaire et un compartiment extracellulaire. Ces derniers sont séparés par la membrane plasmique au sein de l'organisme (Boudon et al. 2013).

L'eau intracellulaire est présente à l'intérieur des cellules des organismes, elle permet le transport de molécules dans les cellules. Contrairement à l'humain où l'eau intracellulaire représente deux tiers de l'eau corporelle totale, chez les ruminants, de part un volume de contenus digestifs important proportionnellement à l'eau corporelle totale, seulement la moitié de l'eau corporelle est détenue dans le secteur intracellulaire. L'eau des contenus digestifs (compartiment gastro-intestinal) fait partie de l'eau extracellulaire (Boudon et al. 2013 ; Woodford, Murphy, et Davis 1984).

L'eau extracellulaire est présente dans les liquides interstitiels, le plasma et le compartiment gastro-intestinal aussi nommé compartiment transcellulaire (Murphy 1992). L'eau du plasma et des liquides interstitiels représente à part égale environ 20 % de l'eau corporelle totale des bovins (Woodford, Murphy, Davis 1984). L'eau du compartiment gastro-intestinal varie en fonction de l'environnement, de la composition de la ration et représente environ 30 % de l'eau corporelle. Sa proportion est importante du fait d'un volume ruminal moyen de 150 litres, dont 90 litres de digesta (Andrew, Erdman, Waldo 1995).

Une perte de 20 % de l'eau corporelle serait fatale à l'animal (National Research Council 2001). Une fluctuation en eau est néanmoins essentielle pour assurer l'équilibre des flux hydriques et participer à de multiples fonctions vitales à l'organisme. On peut citer les métabolismes digestif et urinaire où l'eau intervient en rôle de diluant, la thermorégulation via l'évaporation cutanée et respiratoire ainsi que la production lactée qui prend une part importante notamment chez les vaches laitières (Boudon et al. 2013).

Les pertes en eau doivent être compensées par des entrées d'eau qui vont se faire en majorité par l'abreuvement et l'eau contenue dans la ration et de manière plus marginale par l'eau métabolique issue de réactions d'oxydo-réduction principalement (Boudon et al. 2013). Cet équilibre entre les différents flux hydriques est illustré dans le schéma qui ci-après (Figure 1).

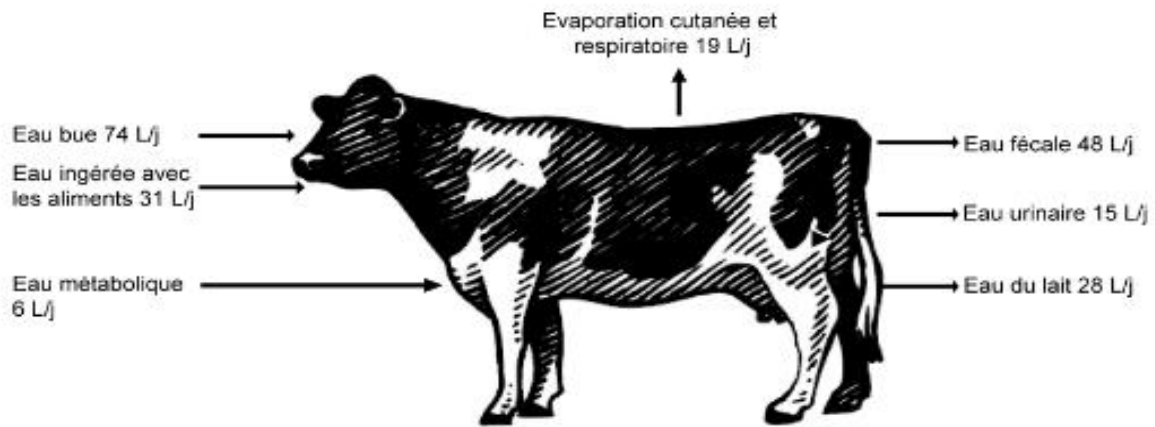


Figure 1 : Flux hydrique d'une vache laitière en conditions de thermoneutralité et avec une ration à base d'ensilage de maïs.  
Source : Khelil-Arfa 2012

## 2. La régulation du compartiment hydrique

### a. Les principales forces de régulation des flux hydriques

La membrane plasmique régule les mouvements ioniques, moléculaires et des fluides, dont l'eau, entre les compartiments intra et extracellulaire. Cette membrane est perméable à l'eau de manière plus importante par rapport aux molécules dissoutes. Le volume des cellules est dépendant des mouvements d'eau, eux-mêmes dépendant de la concentration des différents compartiments. Le rôle majeur de l'eau corporelle est d'assurer la solubilisation des molécules pour qu'elles assurent leurs réactions métaboliques. C'est l'adaptation de la concentration en eau et en molécules dissoutes des compartiments qui permet le maintien du volume cellulaire à l'échelle de l'organisme (Boudon et al. 2013).

Le volume sanguin et la pression osmotique de l'organisme sont régulés en majorité par l'eau bue et l'urine excrétée. Les autres flux du bilan hydrique, notamment l'excrétion fécale et l'évaporation cutanée et respiratoire, sont quant à eux peu impliqués dans la régulation de ces paramètres (Maia, daSilva, C. M. Battiston Loureiro 2005).

### b. Régulation de l'excrétion urinaire

L'urine permet d'éliminer les déchets du métabolisme, notamment l'urée, grâce à l'activité du rein. Ce drainage permet un maintien de l'équilibre électrolytique et hydrique. Le sang passe au niveau des néphrons qui sont les unités fonctionnelles du rein. Ils se situent dans la capsule de Bowman et jouent le rôle de filtres entre les composants de faible poids moléculaire (eau, électrolytes) et ceux de haut poids moléculaire (protéines et composants cellulaires) (Boudon et al. 2013 ; Klein 2019). Ce passage permet la formation de l'urine primitive qui est un ultrafiltrat du plasma glomérulaire sans les protéines. Le volume filtré au niveau des reins chez une vache laitière peut aller jusqu'à 2000 litres par jour selon Khelil-Arfa (2012).

Cette urine primitive va subir une alternance de concentrations et de dilutions tout au long des néphrons afin de concentrer l'urée (Figure 2).

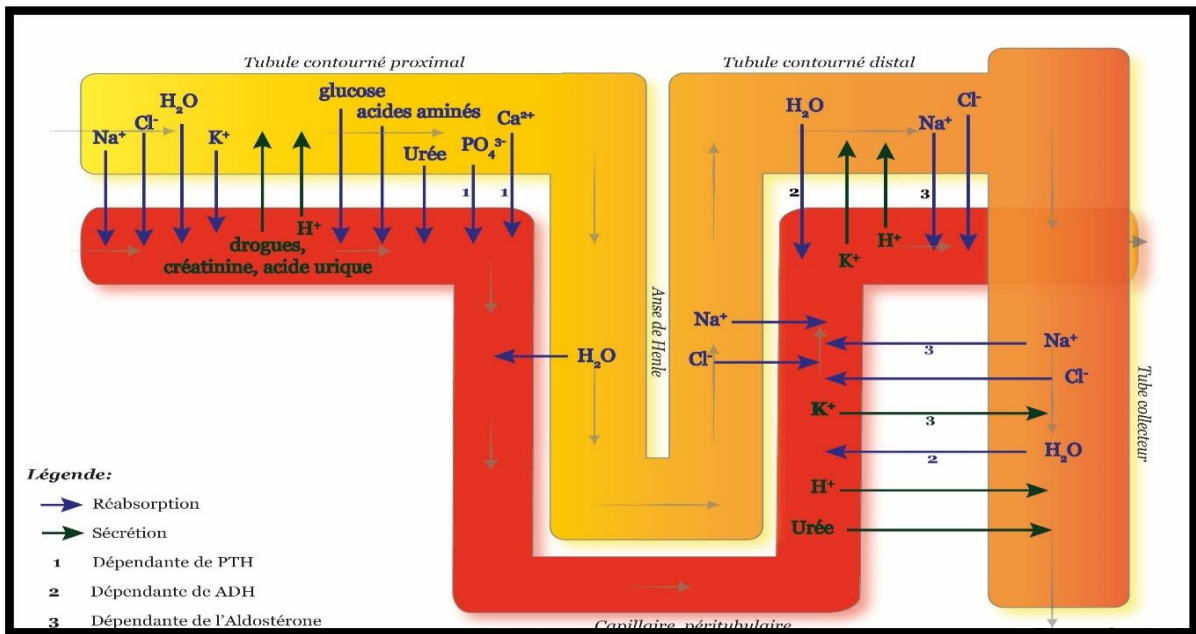


Figure 2 : Schéma de la fonction tubulaire rénale.

Source : Fernandes 2016

Dans la première partie du néphron (le tube contourné proximal), le glucose, les acides aminés, le chlore (Cl<sup>-</sup>), 80 % du potassium (K<sup>+</sup>) et 70 % du sodium (Na<sup>+</sup>) sont réabsorbés. L'eau est réabsorbée en partie par osmose en suivant ces électrolytes (Figure 2).

L'anse de Henlé permet une concentration de l'urine par une réabsorption d'eau grâce à la formation d'un gradient osmotique et une circulation à contre-courant. Le tube contourné distal est le lieu de réabsorption du chlorure de sodium (NaCl) donc également de l'eau et est sous dépendance du système rénine-angiotensine-aldostérone. Enfin, le tube collecteur est le lieu de réabsorption de l'eau sous contrôle de l'hormone anti-diurétique (ADH) synthétisée par l'hypothalamus. Son action provoque une vasoconstriction au niveau circulatoire et une réabsorption d'eau au niveau du tube collecteur, ainsi l'osmolarité de l'urine augmente et le volume excrété est réduit (Figure 2) (Boudon et al. 2013 ; Klein 2019).

Le mécanisme de réabsorption de l'eau au niveau du rein est donc modelé via le système rénine-angiotensine-aldostérone. Au niveau du glomérule rénal, une baisse de la concentration en Na<sup>+</sup>, de la volémie donc de la pression artérielle stimule la synthèse de rénine. Elle favorise la conversion d'angiotensine I en angiotensine II. Cette dernière exerce un rétrocontrôle négatif sur la synthèse de rénine. Elle provoque également la synthèse d'aldostérone au niveau de la zone glomérulée des glandes corticosurrénales. L'aldostérone permet la réabsorption de Na<sup>+</sup>, donc d'eau par osmose et l'élimination de K<sup>+</sup> au niveau du tube contourné distal (Figure 2) (Boudon et al. 2013 ; Klein 2019).

### c. Le mécanisme de régulation de la soif

Le centre de la soif est une zone cérébrale du néocortex jouant un rôle sur la régulation hydrique corporelle et est contrôlé en partie par le système rénine-angiotensine-aldostérone (Fitzsimons 1998). En cas de déficit hydrique intra et/ou extracellulaire, le mécanisme de réduction de l'excrétion urinaire vu précédemment n'est pas suffisant pour rétablir la volémie hydrique. Les stimuli permettant le déclenchement du mécanisme de la soif sont les mêmes que ceux de la réabsorption au niveau du rein (Boudon et al. 2013).

Le centre de la soif est déclenché si une baisse de volume plasmatique de 8 à 10 % au niveau cardiaque est décelée ou s'il y a un déficit de pression osmotique de 1 à 2 %.

Il joue également un rôle sur l'appétit en sodium et les régulations cardiovasculaires car il est stimulé par l'angiotensine II. Des afférences oropharyngées inhibitrices permettent l'arrêt de l'abreuvement lorsqu'elles sont stimulées (Fitzsimons 1998).

Comme pour tous les êtres vivants, l'eau est un élément essentiel pour le bon fonctionnement du métabolisme des ruminants.

Un équilibre entre les pertes (urine, fèces, thermorégulation, production lactée...) et les entrées d'eau (l'abreuvement et la ration principalement) doit être maintenu continuellement.

Les mécanismes de régulation tels que les mouvements ioniques via les gradients de pression et la membrane plasmique, l'excrétion urinaire et le mécanisme de régulation de la soif permettent de maintenir cet équilibre.

## II. Les besoins en eau des bovins

L'eau est un élément nutritif essentiel, les besoins en eau des bovins sont conséquents et une restriction hydrique a de forts effets négatifs sur leur santé. Il est important de comprendre comment un bovin s'abreuve et quelles sont les particularités de chaque « classe » de bovin afin de survenir à leurs besoins en eau de manière adéquate.

### 1. Les besoins généraux des bovins

La quantité d'eau ingérée par les bovins varie de 40 à 170 litres par jour. Cette quantité fluctue en fonction des conditions environnementales, notamment la température ambiante, la composition de la ration, le stade physiologique principalement. La production laitière, en particulier pour les vaches hautes productrices, a également un impact. Le tableau I donne un ordre de grandeur de la quantité d'eau d'abreuvement nécessaire à des bovins en fonction de la variation de ces différents paramètres.

Tableau I : Variations des consommations d'eau de bovins laitiers en fonction de quatre paramètres majeurs.

Source : D'après INRAE 1988

Type de fourrage	Température ambiante	Vaches en lactation (30 kg)	Vaches tarées
Herbe jeune (15 % de MS)	15 °C	15 Litres	5 Litres
	20 °C	50 Litres	10 Litres
	30 °C	125 Litres	45 Litres
Ensilage de maïs (30 % de MS)	15 °C	70 Litres	25 Litres
	20 °C	100 Litres	40 Litres
	30 °C	170 Litres	75 Litres

De façon moindre, la production de l'animal ainsi que l'origine de l'eau d'abreuvement peuvent impacter la prise de boisson et les performances des bovins (Khelil-Arfa 2012 ; Massabie et al. 2013 ; Ménard et al. 2012) (Partie 1.III.4). Une différence de gain moyen quotidien (GMQ) notable est observée entre des animaux avec un accès à une eau par pompage ou une consommation d'eau directement dans un étang.

Les veaux dont les mères boivent l'eau de pompage ont un GMQ supérieur de 9 %, les génisses de 23 % (Willms et al. 2002). Chez les bœufs, cette augmentation est de 3 % (Lardner et al. 2005). Le GMQ des bovins buvant de l'eau pompée dans des abreuvoirs précédés d'un système d'aération ou de coagulation est supérieur de 10 % par rapport à ceux s'abreuvant directement dans l'étang (Lardner et al. 2005).

Les bovins ont besoin d'avoir un temps alloué à chacune de leurs activités journalières qui diffère suivant la nature de celles-ci. Le budget temps représente la durée des activités rythmant le cours d'une journée d'un bovin (Figure 3). Ces activités (alimentation, abreuvement, rumination, repos, traite, interactions sociales...) sont régulières si l'animal n'est pas soumis à des perturbations. L'abreuvement qui a une durée moyenne de 30 minutes représente une faible proportion du budget temps des bovins mais n'en est pas moins essentiel, il n'est donc pas à négliger (Mounier et al. 2021).

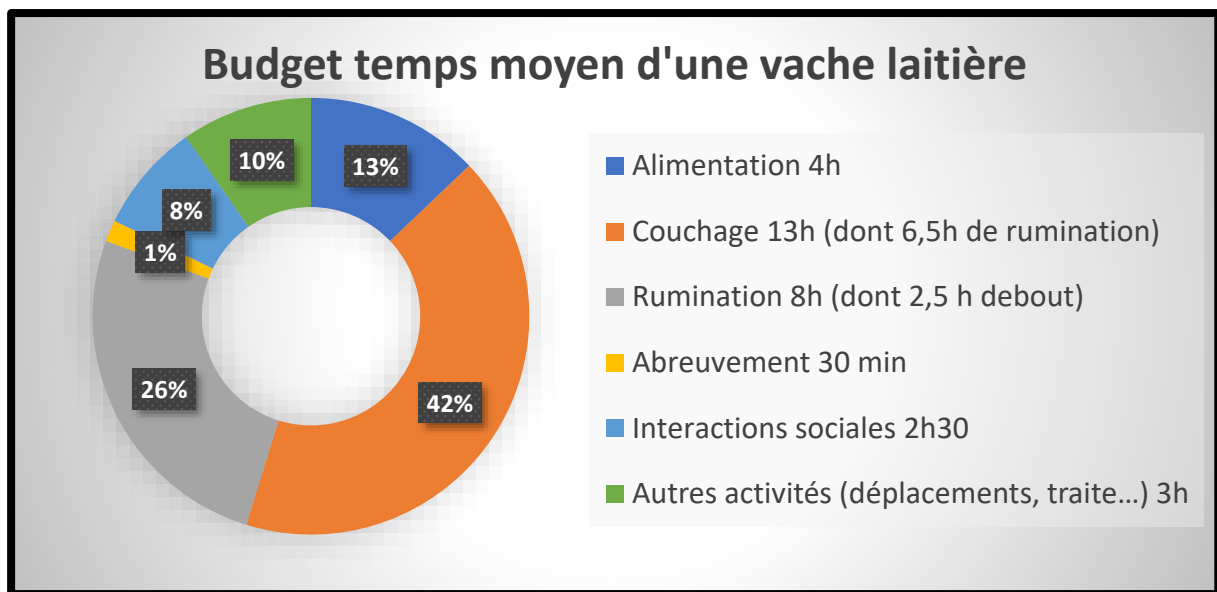


Figure 3 : Budget temps moyen d'une vache laitière

Source : D'après Mounier et al 2021

## 2. Restriction hydrique

Les bovins sont rapidement impactés par une restriction hydrique. En effet, une baisse de 25 % de l'abreuvement entraîne une baisse immédiate de l'ingestion et de la production laitière. Si une restriction hydrique de 50 % se produit, leur ingestion diminuera de 30% et leur production laitière de 20 %. Ces observations démontrent une capacité des bovins à s'adapter dans une situation de pénurie hydrique. Une grande partie de cette capacité est imputable à la fonction importante de réservoir que constitue le rumen. La baisse d'ingestion via des tailles de repas amoindries lors de restriction hydrique permet aux bovins de maintenir un équilibre osmotique correct en limitant l'impact négatif d'une charge osmotique déséquilibrée (Burgos et al. 2001).

Des veaux privés d'eau par rapport à des veaux non privés ont un GMQ réduit de 38 % et une ingestion au démarrage réduite de 31 % (Kertz, Reutzel, Mahoney 1984).

## 3. Comportement de buvée

Dans des conditions naturelles, pour boire dans une rivière par exemple, un bovin rentre ses membres antérieurs dans l'eau jusqu'au niveau des radius. Le bovin boit par succion par conséquent, les narines doivent rester en dehors de l'eau afin de ne pas en aspirer. Une lame d'eau de 80 mm de hauteur minimum est conseillée (Boubet 2020).



En position physiologique, il plonge son mufler de 30 à 40 mm dans l'eau et incline la tête avec un angle variant de 55 à 75° (Flaba et al. 2014).

Chaque abreuvement dure en moyenne deux minutes et permet l'ingestion en moyenne de 10 à 15 litres d'eau. La capacité de buvée d'une vache est en moyenne de 15 litres d'eau par minute sans pause. Ainsi, pour satisfaire ses besoins hydriques journaliers, une vache se rend entre sept et 15 fois par jour à l'abreuvoir et cela représente entre 15 et 30 minutes de son budget temps quotidien (Figure 3) (Gervais et al. 2017 ; La Buvette 2013).

Environ 70 % de la buvée s'effectue entre six et dix-neuf heures, l'activité d'abreuvement est donc majoritairement diurne (Figure 4). Un pic d'abreuvement est notable après l'alimentation pour tous les bovins (Gervais et al. 2017 ; Cardot, Le Roux, et Jurjanz 2007 ; La Buvette 2013).

#### 4. Particularités des bovins laitiers

Il est démontré que la traite fait partie des deux événements majeurs, avec la distribution de la ration, qui sont suivis par une forte quantité d'eau bue (Figure 4). Le volume quotidien d'eau ingérée dans les deux heures après la traite et la distribution de l'alimentation représente 42 % de la buvée journalière d'une vache laitière. Les volumes d'eau ingérés après l'affouragement et la traite sont également plus conséquents que lors d'abreuvements à d'autres moments de la journée (Cardot, Le Roux, Jurjanz 2007).

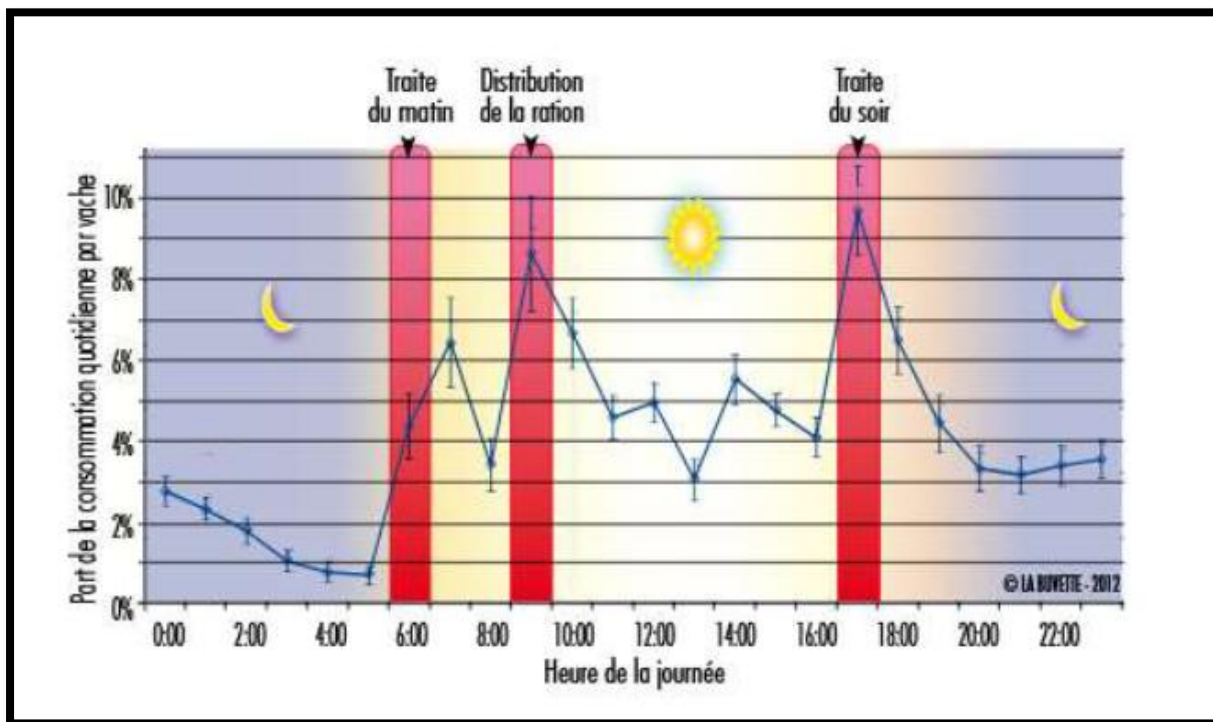


Figure 4 : Distribution quotidienne de la consommation en eau d'une vache laitière  
Source : Cardot, Le Roux, et Jurjanz 2007

L'impact de la production laitière sur l'abreuvement des vaches laitières a été mis en évidence mais est plus faible que l'impact de la température ambiante par exemple, que nous détaillerons par la suite. Il est de plus largement lié à la ration distribuée. Ainsi, avec une ration de type pâturage intégral, l'effet du niveau de production des vaches ne modifie pas la quantité d'eau ingérée (Ménard et al. 2012 ; Massabie et al. 2013). Lainez et Hsia (2004) ont montré à travers l'abreuvement une interaction entre le statut des animaux et la saison. Les vaches laitières hautes productrices ont bu davantage durant l'été ce qui n'était pas le cas pour les autres classes. La production laitière, notamment quand elle est importante, influe donc sur le comportement d'abreuvement des vaches.

Des vaches avec un abreuvement ad libitum, boivent 18.1 litres en moyenne et produisent 1.7 litre de lait par vache et par jour de plus que des vaches avec un abreuvement restreint qui ne consomment que 16.4 litres en moyenne. Ici, avec les performances laitières des vaches étudiées, cela correspond à une différence de 10 % de production laitière entre les deux groupes (Daros et al. 2019).

### *5. Particularités des bovins allaitants*

Les besoins en eau d'une vache allaitante sont moindres en quantité du fait que la production lactée est beaucoup plus modeste et que la part de matière sèche de la ration n'est pas la même que pour les bovins laitiers. Les vaches allaitantes consomment entre 30 et 65 litres d'eau par jour. Ces besoins varient suivant la saison et des facteurs environnementaux. Ainsi, au printemps, le couple mère-veau boit une quarantaine de litres d'eau par jour et aux alentours de 75 litres en été (Murgue et al. 2022 ; Delisle et Bourgeois 2020 ; La Buvette 2013).

### *6. Particularités des veaux*

Les veaux dès la naissance doivent avoir un accès en permanence à de l'eau de bonne qualité car l'alimentation lactée n'est pas suffisante (Capdeville et al. 2014). Cela permet notamment d'augmenter plus rapidement leur ingestion de fibres et d'avoir un meilleur développement du rumen (Lowe et al. 2022 ; Wickramasinghe, Kramer, et Appuhamy 2019).

Une étude comparant deux groupes de veaux, l'un recevant de l'eau dès la naissance en plus du lait, l'autre seulement à partir du 17<sup>ème</sup> jour, montre que le premier groupe consommait davantage de lait. Différents paramètres de croissance, de digestibilité et de développement ont été analysés. Durant la période de présevrage, le premier groupe avait un gain de poids, une hauteur de hanche, une digestibilité apparente des fibres et une circonférence cardiaque supérieurs. Ces observations notamment sur le gain de poids corporel, étaient vérifiées en post-sevrage à l'âge de cinq mois (Wickramasinghe, Kramer, Appuhamy 2019).

Les veaux en post-sevrage consomment entre 10.4 et 21.2 litres d'eau par jour. Les génisses de six mois à un an boivent entre 19 et 32 litres d'eau par jour. Les génisses d'un à deux ans quant à elles ont besoin de 14.8 à 47.6 litres d'eau par jour. Ces écarts importants s'expliquent par des facteurs influençant la prise de boisson que nous détaillerons par la suite (Massabie et al. 2013 ; Ménard et al. 2012).

Dans ces travaux, les vaches tarées et les génisses de plus de deux ans n'étaient pas distinguées car dans la plupart des élevages de l'étude elles vivaient ensemble. La consommation d'eau de ce groupe a été évaluée entre 21.7 et 62.5 litres par jour. Cela est valable pour les bovins laitiers et allaitants d'après Ménard et al. (2012).

Pour ce qui concerne les élevages de « veaux de boucherie », l'abreuvement est le poste majoritaire et représente 73 % de l'eau totale utilisée (abreuvement, pipettes et nettoyage). L'apport hydrique via des pipettes en plus de la buvée pour l'allaitement représente environ 11 % de l'eau servant à l'abreuvement dans ce mode d'élevage avec de fortes variations en fonction de la durée d'engraissement et de la ration distribuée (Lepesme et al. 2011).

La quantité d'eau d'abreuvement nécessaire aux bovins est modulée par trois paramètres majeurs que sont : la température ambiante, le stade physiologique et la composition de la ration.

Avec un impact légèrement moindre, on peut ajouter la production laitière et l'origine de l'eau.

Le budget temps alloué à l'abreuvement est court (30 minutes) mais essentiel à respecter de même que leur comportement de buvée.

Un grand volume de l'abreuvement s'effectue après l'ingestion de la ration et après la traite pour les vaches laitières.

Les bovins allaitants boivent des quantités d'eau bien moindres en comparaison des bovins laitiers.

Il est primordial de donner accès aux veaux à une eau de qualité en plus de leur alimentation lactée dès leur naissance.

### **III. Les facteurs influençant les besoins en eau**

Des équations prédictives ont été mises en place pour quantifier les besoins en eau des bovins dans diverses situations. Des facteurs influençant de manière considérable la prise de boisson des bovins ont été ajoutés de manière à affiner les prédictions.

#### **1. Equations prédictives**

De nombreux travaux ont cherché à établir des équations de prédiction pour les quantités d'eau bue et d'eau totale ingérée par les bovins, nous n'allons pas toutes les décrire ici. Ces travaux ont été réalisés quasiment exclusivement chez les vaches laitières. Elles ont été établies par des méthodes de régressions simple ou multiple dans des contextes divers et variés concernant les conditions environnementales, la ration et la production laitière, afin de refléter un maximum de situations envisageables dans la réalité (Boudon et al. 2013).

L'une des premières équation établie est celle de (Castle, Thomas 1975) :

$$\text{Eau bue (kg/j)} : 2.53 \times PL + 0.45 \text{ MS \%} - 15.3$$

Elle est relativement simple et prend en compte la production laitière (PL), le pourcentage de matière sèche de la ration (MS %) et une moyenne de la quantité de matière sèche ingérée par une vache en kilogramme par jour (15.3).

L'une des dernières à avoir été établie et que l'on peut prendre en tant que référence est celle de (Khelil-Arfa et al. 2012) :

$$\text{Eau totale ingérée (kg/j)} = 3,89 \times \text{MSI (kg/j)} + 9,40 \cdot 10^{-4} \times \text{qtMATf2 (g/kg MSI)} + 0,81 \times \text{PL (kg/j)} - 0,08 \times \text{qtMATc (g/kg MSI)} - 0,94$$

Ici, MSI est la matière sèche ingérée, qtMATc et qtMATf sont les teneurs de la ration en matière azotée totale (MAT) provenant du concentré ou du fourrage (par exemple qtMATc = % de concentré multiplié par la teneur en MAT du concentré divisé par 100).

Elle est plus complexe et intègre plus de facteurs mais elle se base en situation de thermoneutralité, les équations de (a) Maia, daSilva, et Battiston Loureiro (2005) et (b) Maia, daSilva, et Battiston Loureiro (2005) ont été ajoutées afin d'inclure les besoins en eau nécessaires à compenser l'évaporation respiratoire et cutanée au-delà de 15°C.



Ces dernières ont été obtenues via la mesure des échanges gazeux au niveau de la peau de bovins à température ambiante, ce qui donne une mesure directe des flux d'évaporation. Les prédictions de chaleur latente ainsi obtenues sont converties en quantité d'eau évaporée.

$$\text{Ainsi : } pEE(Ta) \text{ (kg/j)} = [85,18 \times \exp((Ta-24,92)/7,96) + 2,253 \times \exp((Ta-12,022)/6,794) \times 0.14 \times PV^{0.57} \times 86.4]/2500$$

« Ici  $pEE(Ta)$  donne la quantité d'eau évaporée prédite (kg/j),  $Ta$  est la température ambiante moyenne journalière ( $^{\circ}C$ ) et  $PV$  le poids vif (kg). ».

On obtient ainsi les prédictions suivantes :

$$\text{Si } ta < 15^{\circ}C \text{ alors } pEB(Ta) = pEBTN$$

$$\text{Si } ta > 15^{\circ}C, pEB(Ta) = pEBTN(Ta) + pEE(Ta) - pEE(15)$$

«  $pEB(Ta)$  est la quantité d'eau bue prédite à la température  $Ta$ ,  $pEBTN(Ta)$  est l'eau bue estimée à la thermoneutralité avec une MSI observée ou cohérente en situation de forte température et  $pEE$  la prédiction d'eau évaporée » ((a) Maia, daSilva, et Battiston Loureiro 2005 ; (b) Maia, daSilva, et Battiston Loureiro 2005 ; Boudon et al. 2013).

Dans les parties suivantes, nous allons souligner l'importance de certains facteurs tels que la composition de la ration, la température ambiante et le stade physiologique sur l'eau ingérée par une vache (Tableau I).

## 2. La composition de la ration

### a. La matière sèche

Dans la plupart des équations de prédiction de l'eau ingérée et bue par les vaches décrites dans la littérature, la teneur en matière sèche (MS) de la ration est la première variable prédictive pour quantifier l'eau bue (Boudon et al. 2013). En revanche, l'impact de cette dernière sur la quantité d'eau totale ingérée est moindre (Khelil-Arfa et al. 2012).

La quantité d'eau bue par une vache laitière va diminuer de manière linéaire si le taux de matière sèche de la ration diminue également alors que proportionnellement, la quantité d'eau totale ingérée ne changera pas (Figure 5) (Cabrerá-Estrada 2003).

La quantité de matière sèche ingérée (MSI) est quant à elle la variable de choix pour prédire l'eau totale ingérée et est largement corrélée avec la production laitière (Boudon et al. 2013 ; Khelil-Arfa et al. 2012 ; Khelil-Arfa et al. 2011).

L'impact de la composition de la ration et son pourcentage en matière sèche est plus variable selon les catégories d'animaux y compris les veaux et les génisses mais reste applicable d'après Ménard et al. (2012).

En reprenant l'exemple des « veaux de boucherie » de Lepasme et al. (2011), la consommation en eau des veaux triple lorsque l'apport en aliments secs passe de 30 à 160 kg par veau sur une période d'engraissement donnée.

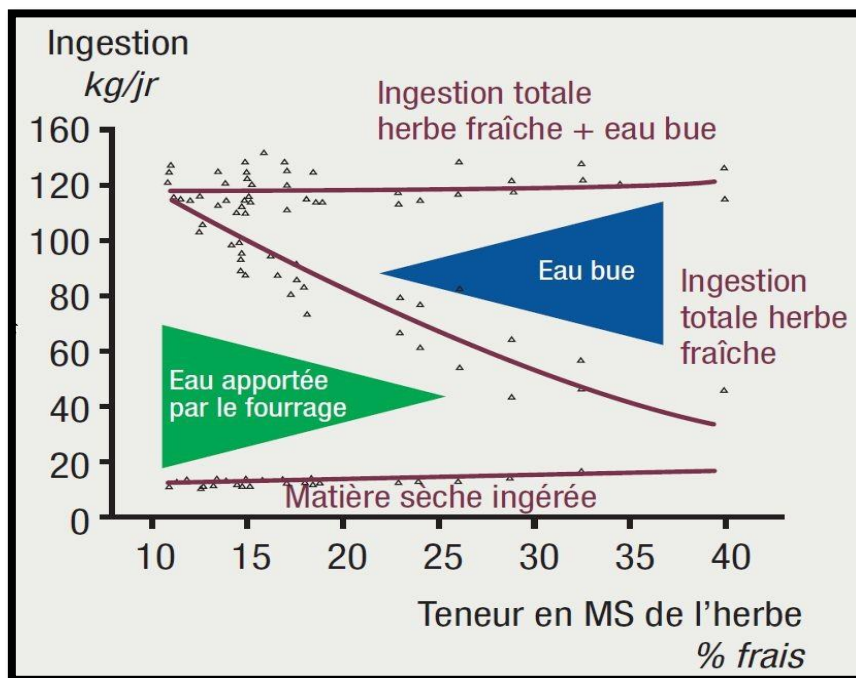


Figure 5 : Influence de la teneur en matière sèche de la ration sur l'ingestion de MS et d'eau chez la vache laitière  
Source : Cabrera-Estrada 2003

#### b. Les teneurs en sodium (Na<sup>+</sup>), potassium (K<sup>+</sup>) et azote (N)

Les teneurs en électrolytes (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, N) sont le premier facteur influençant les pertes d'eau urinaire. La régulation du sodium a lieu en grande partie dans le rein via le système rénine-angiotensine-aldostérone et la hausse d'osmolarité plasmatique qu'il entraîne (Partie 1.1.2.b).

Ces paramètres sont très peu pris en compte en tant que variables dans les équations prédictives d'abreuvement car il est très compliqué d'estimer la teneur ingérée de ces électrolytes via l'alimentation et surtout via la complémentation de type pierre à sel. Murphy, Davis, et McCoy (1983) ont intégré la teneur en sodium dans une équation et ont montré une relation positive entre la quantité d'eau ingérée et la teneur en sodium de la ration.

Kume et al. (2010) sont les seuls à avoir pris en compte dans les équations prédictives l'effet du potassium ingéré sur la quantité d'eau bue. De plus, un apport de carbonate de potassium augmente la quantité d'eau ingérée de manière linéaire par rapport à la supplémentation (Fraleay, Hall, Nennich 2015). Contrairement au sodium, le potassium est souvent excédentaire dans les rations à base d'herbe (ensilage et pâturage) (Meschy 2010). La régulation du potassium urinaire est également dépendant du système rénine-angiotensine-aldostérone (Partie 1.1.2.b).

La matière azotée totale (MAT) est plus souvent présente dans les équations prédictives de l'eau totale ingérée (Khelil-Arfa et al. 2012 ; Kume et al. 2010). La teneur en MS de la ration est corrélée avec la teneur en potassium et en MAT de celle-ci. Elle est donc intéressante en tant qu'indicateur indirect de la charge osmotique d'une ration, donc de la quantité d'eau nécessaire à l'animal en fonction de son alimentation (Khelil-Arfa et al. 2012). Le rôle majeur du rein est d'éliminer l'urée. Ainsi, l'ingestion de beaucoup d'azote dans la ration augmente la teneur en urée plasmatique et donc l'excrétion urinaire d'urée (Burgos, Fadel, et DePeters 2007).

### 3. La température environnementale

Les pertes en eau par évaporation cutanée et respiratoire des bovins croissent de manière exponentielle avec la température ambiante et sont significatives au-delà de 15°C, c'est la température où l'évaporation devient nécessaire pour maintenir la thermoneutralité des vaches (Figure 6) ((b) Maia, daSilva, et Battiston Loureiro 2005 ; (a) Maia, daSilva, et Battiston Loureiro 2005 ; Ménard et al. 2012).

La comparaison de deux groupes de vaches, l'un à 15°C et l'autre à 28°C, montre qu'une augmentation de la température ambiante augmente la quantité d'eau évaporée et par conséquent la quantité d'eau bue indépendamment du stade physiologique. L'eau bue a donc augmentée mais dans des proportions plus faibles que l'eau évaporée, il en a été déduit que d'autres mécanismes régulateurs interviennent (Boudon et al. 2012 ; Khelil-Arfa, Faverdin, et Boudon 2020).

D'après le travail de Ménard et al. (2012), la température extérieure est la variable la plus fortement liée à l'eau bue. Pourtant, elle est rarement intégrée aux équations prédictives de base. Un correctif prenant en compte l'effet de la température sur la consommation des bovins a été ajouté à certaines prédictions notamment celles de Khelil-Arfa et al. (2012) lorsque cette dernière dépasse 15°C comme nous l'avons précisé précédemment.

La température ambiante est également prise en compte et a un impact sur la prise de boisson des autres classes d'animaux comme les veaux, les génisses et les vaches en tarissement (Ménard et al. 2012).

D'après Boudon et al. (2013), l'Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement (INRAE) en 1988 proposait d'augmenter les besoins de 30, 50 ou 100 % si la température extérieure quotidienne des bovins dépassait 20, 25 ou 30°C (Tableau I) (Figure 6). La température extérieure est étroitement liée à la saisonnalité, ainsi les animaux boivent plus durant l'été par rapport à l'hiver. Les quantités ingérées sont doublées entre les deux saisons selon Lainez et Hsia (2004).

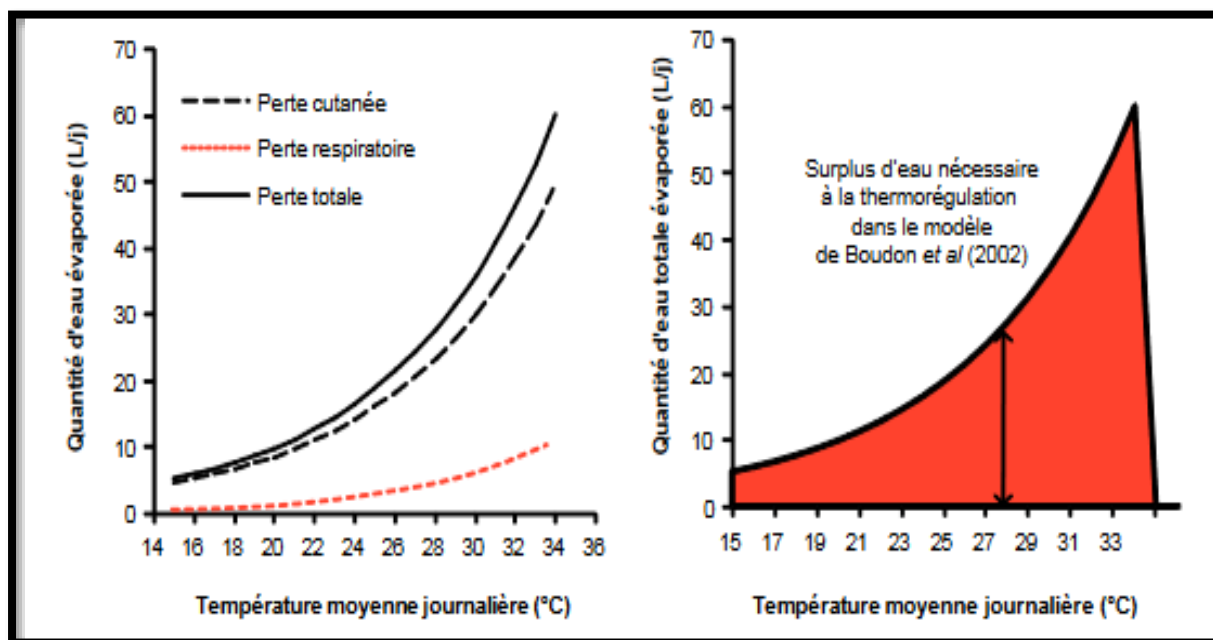


Figure 6 : Courbes de l'effet de la température sur les quantités d'eau évaporée d'après Maia et al. (2005 a et b), et du surplus d'eau nécessaire à contrer ces pertes d'après Boudon et al. (2012) Source : Boudon et al. 2013

Dans des proportions inférieures, la pluviométrie peut avoir un impact sur la quantité d'eau bue par les vaches (Cardot, Le Roux, et Jurjanz 2008 ; Boudon et al. 2013).

L'effet est indirect car l'humidité relative a un rôle majeur dans l'adaptation à la chaleur en abaissant les capacités des bovins à évacuer la chaleur corporelle et en réduisant les capacités d'ingestion de matière sèche (Silanikove 2000). Une augmentation de pluviométrie, donc d'humidité relative, se reflète dans la teneur en matière sèche de l'herbe au pâturage et donc diminue la quantité d'eau bue étant donné que la quantité d'eau présente dans l'alimentation est supérieure (Figure 5) (Cabrera-Estrada 2003).

Tsai et al. (2020) ont montré grâce à des capteurs d'imagerie embarqués que la durée et la fréquence d'abreuvement des vaches laitières étaient liées aux indices de température et d'humidité environnementales.

#### *4. Le stade physiologique de l'animal*

Le stade physiologique peut également avoir un impact sur les besoins en eau des animaux mais dans une moindre proportion. Cette variable n'est pas directement incluse dans les équations de prédiction. En revanche, des équations ont été établies pour certaines catégories d'animaux notamment les vaches taries (Kume et al. 2010). Ce sont les équations de prédiction des besoins des vaches taries qu'il est conseillé d'utiliser pour les vaches allaitantes car c'est cette catégorie qui s'en rapproche le plus en termes de besoins hydriques journaliers (MSD Animal Health 2016).

D'après l'étude de Boudon et al. (2012), les vaches taries compensent l'intégralité de l'eau évaporée par la quantité d'eau bue. Les vaches laitières utilisent elles d'autres moyens comme la baisse des pertes en eaux fécales due à une baisse d'ingestion de matière sèche pour compléter les pertes en eau non comblées par l'abreuvement.

Le niveau de production laitière a aussi un moindre impact par rapport à la température extérieure et le type de ration (Ménard et al. 2012).

Pour les veaux et les génisses, il est important d'avoir accès à de l'eau à volonté dès la naissance car l'alimentation lactée n'est pas suffisante (Capdeville et al. 2014). La quantité bue sera également fonction de la classe d'âge de l'animal car ses besoins ne seront pas identiques en termes de quantité suivant son âge, son poids et sa croissance (Partie 1.II.6) (Lepesme et al. 2011 ; Ménard et al. 2012).

Des équations prédictives des besoins en eau des bovins, avec des variables plus ou moins nombreuses ont été établies à de multiples reprises.

Les plus pointues d'entre elles intègrent les variables impactant majoritairement les besoins hydriques des bovins c'est-à-dire :

- La composition de la ration : le pourcentage de matière sèche, les électrolytes (Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup>) et la matière azotée totale de celle-ci.
- La température environnementale qui est la variable qui impacte le plus l'équilibre hydrique des bovins.
- Le stade physiologique des individus.

## IV. Les petits ruminants

L'eau est également un élément nutritif majeur pour les petits ruminants. Beaucoup moins de travaux ont étudié leurs besoins en eau mais des différences entre les ovins et les caprins ont été mises en évidence.

### 1. Les besoins en eau des ovins

Les brebis boivent entre quatre et douze litres d'eau par jour (La Buvette 2013 ; Fagoo et Morel 2022 ; Murgue et al. 2022 ; Olkowski 2009 ; Schmidely et al. 2010). Dans les élevages de brebis laitières, l'eau dédiée à l'abreuvement des brebis représente environ 65% de l'eau totale utilisée (traite, nettoyage, abreuvement du pré-troupeau...) dans ce type d'élevage (Roussel et al. 2012).

De même que pour les bovins, la consommation varie suivant la température, le stade physiologique et la composition de la ration. Les élevages présentant le plus fort taux de production en hiver sont ceux avec les besoins en eau les plus conséquents. Une alimentation plus humide entraîne une baisse de l'abreuvement de 0.5 à 2.9 litres par brebis et par jour, la composition de la ration influe donc aussi sur la prise de boisson. Enfin, pour une production laitière journalière donnée, l'abreuvement augmente de 1.3 litre par jour et par brebis lorsque que l'on passe de températures inférieures à 20°C à des températures supérieures à 30°C (Tableau II) (Roussel et al. 2012).

Tableau II : Quantités approximatives d'eau consommées par les ovins suivant leur stade physiologique, en litre par kg de matière sèche ingérée  
Source : D'après Murgue et al. 2022

Température extérieure (T)	T<15°C	T=25°C	T=30°C
Brebis à l'entretien	2 à 2.5 L/kg de MSI	3 à 3.5 L/kg de MSI	4 à 5 L/kg de MSI
Brebis en lactation (1 <sup>er</sup> mois)	4 à 4.5 L/kg de MSI	6 à 6.5 L/kg de MSI	8 à 9 L/kg de MSI
Brebis en lactation (>1 <sup>er</sup> mois)	3 à 4 L/kg de MSI	4.5 à 6 L/kg de MSI	6 à 8 L/kg de MSI
Agneaux en finition	2 L/kg de MSI	3 L/kg de MSI	4 L/kg de MSI

Les agneaux boivent entre deux et quatre litres par jour en plus de l'alimentation lactée (Murgue et al. 2022 ; Olkowski 2009). Pour les agnelles de renouvellement, les données sont de 1.5 litre par jour au démarrage pour arriver à 2.5 litres par jour au moment de leur première mise bas d'après Roussel et al. (2012) ce qui est inférieur aux données relevées concernant les agneaux.

D'après certains travaux, les ovins présentent une plus mauvaise réponse à la restriction hydrique que les caprins. Ils présentent une température plus élevée, un halètement plus marqué ainsi qu'un rapport eau bue sur MSI plus élevé et une masse d'eau corporelle totale plus faible par rapport aux chèvres (Al-Ramamneh, Riek, Gerken 2012).

Ceci est à moduler en fonction des températures environnementales dans lesquelles les expériences ont été réalisées, certaines races de moutons ont des mécanismes de régulation (baisse du rythme respiratoire, baisse du taux de sudation, et augmentation de la température rectale) afin de conserver l'eau au maximum en période de privation hydrique (Alamer, Al-hozab 2004).

Les moutons présentent une fréquence d'abreuvement plus élevée que les chèvres. Leurs besoins pourraient être supérieurs afin d'entretenir leurs mécanismes de refroidissement via l'évaporation cutanée et respiratoire, ainsi que ceux de régulation de leur température corporelle nécessitant d'avantage d'énergie en raison de leur toison en laine (Al-Ramamneh, Riek, Gerken 2012).

## 2. Les besoins en eau des caprins

Les caprins boivent entre trois et quinze litres d'eau par jour. Comme pour les autres espèces de ruminants, la consommation varie suivant la température ambiante, le stade physiologique et le pourcentage de matière sèche de la ration (Tableau III).

Tableau III : Quantités approximatives d'eau consommées par les caprins suivant leur stade physiologique, en litre par kg de matière sèche ingérée Source : D'après Murgue et al. 2022

Statut physiologique des chèvres	Litres d'eau/kg de MSI
Chèvres en début de gestation	2 à 3
Chèvres en début de lactation	3.5 à 4
Chèvres en lactation	3 à 4

Les chèvres se rendent à l'abreuvement entre cinq et 20 fois en 24 heures. La fréquence d'abreuvement des moutons est cinq fois plus élevée par rapport à l'espèce caprine d'après l'étude de Al-Ramamneh, Riek, et Gerken (2010). Leur vitesse de buvée est de 1.5 à 3.5 litres par minute mais cela ne représente qu'une à deux minutes par jour d'abreuvement (La Buvette 2013 ; Murgue et al. 2022 ; Schmidely et al. 2010 ; Olkowski 2009 ; Fagoo et Morel 2022).

Une étude comparant les ovins et les caprins concernant leur consommation d'eau, le comportement d'abreuvement des chèvres montre qu'elles passent moins de temps que les moutons à boire. Seulement 0.1 % de leur temps par jour est dédié à l'abreuvement contre 0.3 % pour les moutons (Al-Ramamneh, Riek, Gerken 2010).

Des expériences de restriction hydrique ont été menées chez l'espèce caprine : une baisse de la MSI, une perte significative de poids corporel ainsi qu'une baisse de production laitière sont rapportées (Alamer 2009). Les chèvres ont une capacité supérieure concernant la gestion de l'eau au sein de leur organisme car elles consomment des quantités d'eau lors de l'abreuvement moindres en comparaison aux moutons. Pourtant, la fraction hydrique corporelle chez les deux espèces est semblable (Al-Ramamneh, Riek, Gerken 2010). Les moutons et les chèvres ne présentent pas la même réponse au stress hydrique. L'espèce caprine reste en général moins sensible à la restriction hydrique et plus adaptée à des conditions arides ou semi-arides (Al-Ramamneh, Riek, et Gerken 2012 ; Alamer 2005).

L'eau est un élément nutritif essentiel également pour les petits ruminants.

De la même manière que pour les bovins, leur consommation d'eau est essentiellement régulée par la température ambiante, la composition de la ration et le stade physiologique.

Une différence importante entre les ovins et les caprins est à retenir : les caprins semblent mieux tolérer le stress hydrique que les ovins.

Les mécanismes de gestion de ce stress hydrique diffèrent entre les deux espèces, parfois mêmes entre les races d'une même espèce que ce soit ovins ou caprins.



## **PARTIE 2 : ORIGINES ET MODALITES DE DISTRIBUTION DE L'EAU EN ELEVAGE**

### **V. Rappel du cycle de l'eau**

Pour distribuer l'eau servant à l'abreuvement des animaux en élevage il est primordial de connaître sa provenance, comment elle se régénère, quelles sont les différentes sortes d'eau et leur disponibilité ainsi que la façon de la capter. Il est donc essentiel de développer quelques concepts d'hydrogéologie.

#### **1. Cycle de l'eau**

L'eau recouvre 72 % de la surface du globe terrestre. L'eau douce représente seulement 3 % de l'eau totale dont 76 % se trouve dans les glaciers, 22,5 % est souterraine et 1.5 % est en surface.

L'eau est en mouvement perpétuel, celle de surface (océans, mers, rivières...) s'évapore via la chaleur. L'ensemble de cette eau se condense via le refroidissement sous forme de nuages dans l'atmosphère. Sa rencontre avec des masses d'air froid provoque son retour au sol via les précipitations sous différentes formes (pluie, neige...). Une partie de l'eau ruisselle alors pour se retrouver dans les rivières et le reste s'infiltré dans les nappes phréatiques (Figure 7).

Ce cycle est en péril à cause de l'augmentation du phénomène de ruissellement, de la baisse de l'évapotranspiration et de l'épuisement des nappes phréatiques (Ministère de la transition écologique 2022).

Il est important de définir deux termes qui s'entremêlent et peuvent être considérés comme synonymes : Un aquifère et une nappe phréatique.

L'aquifère est le contenant, c'est-à-dire les sols (roches, graviers, argiles...) où les eaux s'écoulent, sont stockées et peuvent être captées une fois la surface franchie.

Les nappes phréatiques sont les poches d'eau souterraines contenues dans ces contenants que l'on nomme les aquifères.

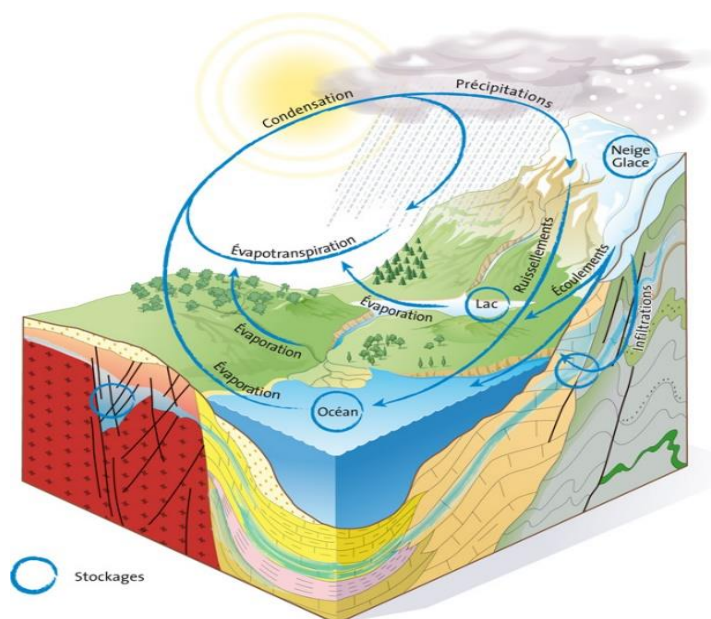


Figure 7 : Le cycle de l'eau terrestre Source : D'après BRGM-Michel Villey

## 2. Les classifications de l'eau en milieu agricole

Dans le monde agricole, on qualifie l'eau de verte, bleue ou grise suivant son origine et sa disponibilité.

L'eau verte est l'eau des précipitations contenue dans le sol sous forme d'humidité pour alimenter les plantes et permettre l'évapotranspiration des écosystèmes terrestres. Sa quantité est très variable suivant les capacités de stockage des sols et les conditions météorologiques pour un lieu donné.

L'eau bleue est l'eau captée pour les usages agricole et domestique. C'est l'eau douce de surface ainsi que celle contenue dans les aquifères.

L'eau grise est le volume d'eau pollué par les processus de productions anthropiques. C'est-à-dire c'est le volume d'eau bleue requis pour diluer les polluants de manière à obtenir des concentrations acceptables définies d'après les normes nationales (Thouvenot 2010).

## 3. Le comportement de l'eau dans les sols

L'écoulement transverse et vertical ainsi que l'emmagasinement de l'eau d'infiltration est dépendante de la formation géologique et de la composition sédimentaire des sols. Deux caractéristiques sont majeures dans la qualification des aquifères : la porosité représente le pourcentage de vide dans la roche et la perméabilité sa capacité à permettre la circulation de l'eau (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie 2012 ; Collin 2004).

Deux grandes catégories d'aquifères sont à connaître, parfois un mélange de ces deux types existe, car ils peuvent être indépendants ou reliés entre eux :

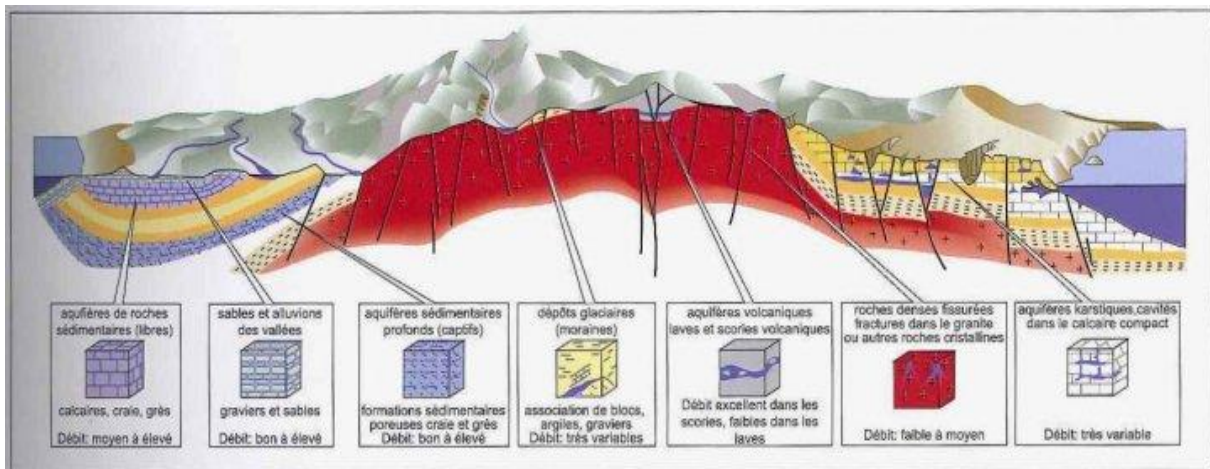


Figure 8 : Principaux types d'aquifères en France

Source : Collin 2004

- Les aquifères homogènes (continus) ont une perméabilité d'interstices, ils sont constitués de sables, graviers, grès, craies... On les retrouve dans les nappes de fond de vallée ou certaines nappes des bassins sédimentaires (Figure 8). La vitesse d'écoulement de l'eau y est lente et régulière (Figure 9).
- Les aquifères hétérogènes (discontinus) ont une perméabilité de fissures, ils sont constitués de calcaires, granites, grès volcaniques. Dans le calcaire, les fissures sont ouvertes pour la majorité et peuvent atteindre la taille de failles ou de gouffres (type karstique) (Figure 8). La vitesse d'écoulement y est rapide et irrégulière (Figure 9) (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie 2012 ; Collin 2004) (Annexe 1).



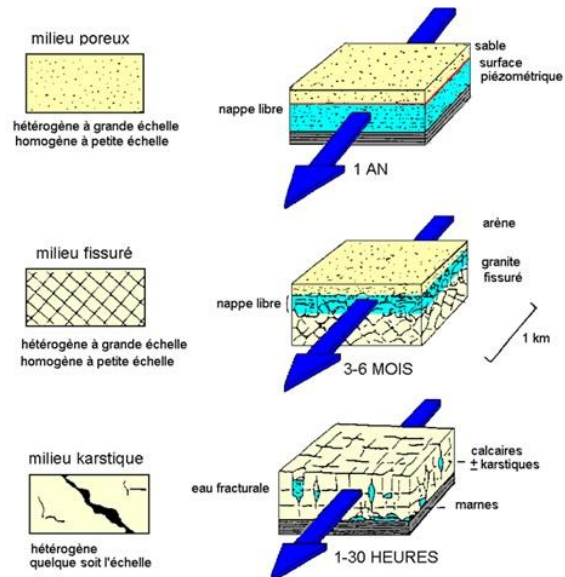


Figure 9 : Vitesse d'écoulement en fonction de la porosité des sols Source : D'après Drogué 1971

Il existe également deux grands types de nappes.

- Les nappes libres contiennent les nappes phréatiques, elles sont peu profondes, principalement alimentées via l'infiltration des précipitations. Elles sont en relation avec les cours d'eau les alimentant et/ou les drainant. La vitesse d'infiltration de l'eau peut aller du mètre par an (Craie de Champagne) à plusieurs dizaines de mètres par heure dans les terrains karstiques (Causses, Jura) (Figure 9). Le renouvellement y est rapide. Elles ne sont pas délimitées par une couche supérieure imperméable, elles sont donc d'autant plus vulnérables aux pollutions de surfaces.
- Les nappes captives souvent profondes sont piégées entre deux couches géologiques imperméables. Elles sont alimentées via les eaux d'infiltration uniquement sur les zones d'affleurement à nappe libre de leur aquifère ou alors via le drainage des aquifères supérieurs. La vitesse de l'eau est de quelques mètres par an donc plusieurs millénaires sont parfois nécessaires entre la période d'alimentation et celle d'utilisation de la nappe (Figure 9). Leur renouvellement est lent (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie 2012). Elles sont moins sensibles à la pollution provenant de la surface. Dans ces nappes les conditions réductrices qui y règnent sont favorables pour solubiliser des métaux tels que le fer, le manganèse ou l'arsenic. Les teneurs en métaux de ces sources seront donc dépendantes de la composition géochimique de l'aquifère adjacent (Schmidely et al. 2010).

Le niveau piézométrique de la nappe correspond à sa surface, sa profondeur dépend du terrain dans lequel elle se situe. Elle varie pour une nappe donnée entre les saisons suivant la pluviométrie et les sorties d'eau (sources, forages...). Entre ce niveau et celui topographique du sol se situe une zone qui est non saturée en eau.

Des cartographies hydrogéologiques du territoire français ont été établies suivant les différents types d'aquifères qui composent le territoire et qui concernent deux tiers de ce dernier (Figure 10). Pour définir cette typologie des aquifères, les hydrogéologues se sont basés sur des critères lithologiques de perméabilité, de porosité et de structure des roches réservoirs, ainsi que sur leur relation avec les eaux de surfaces (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie 2012).

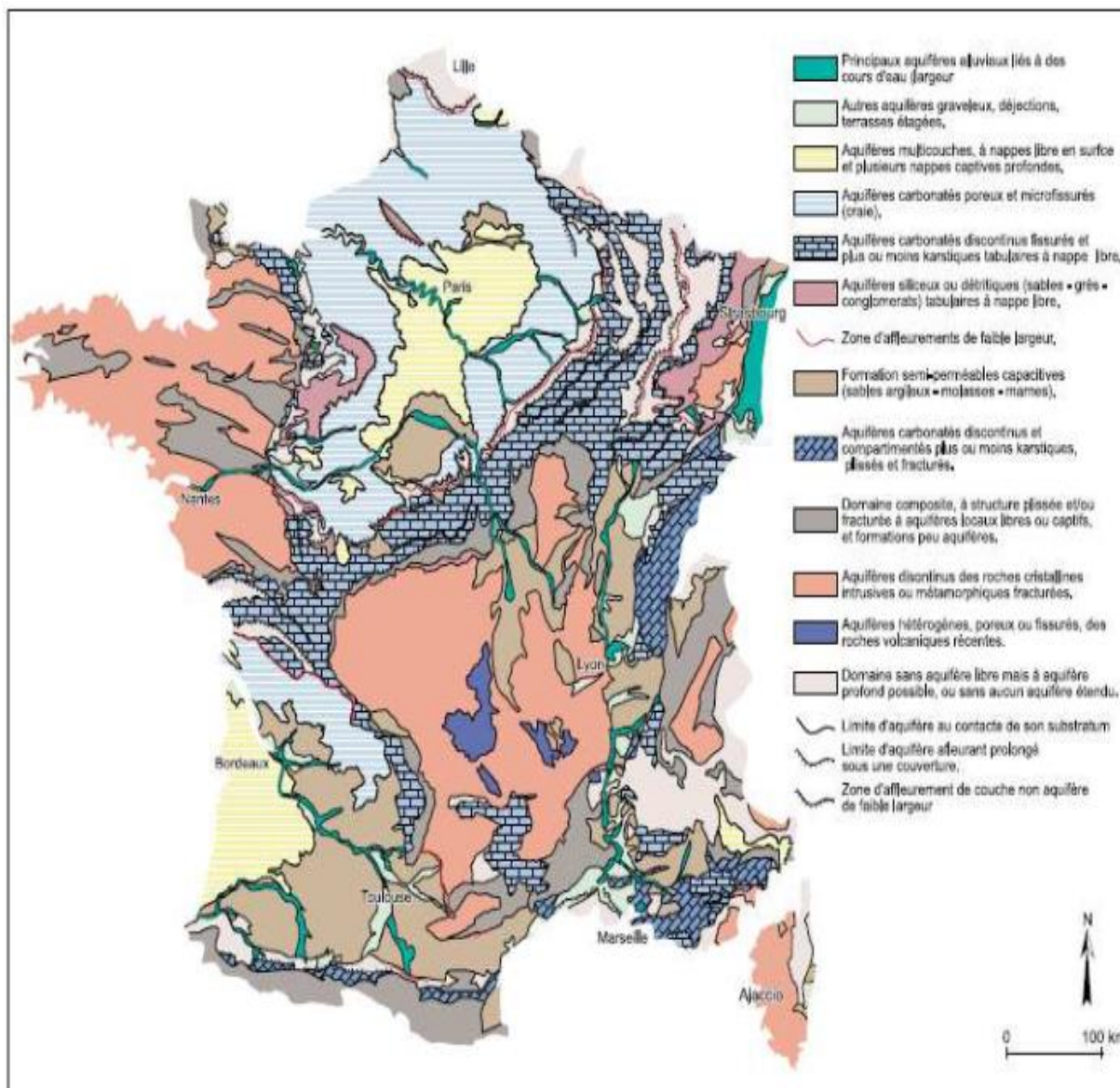


Figure 10 : Carte hydrogéologique de France.

Source : D'après Margat 1986

Il faut garder en tête que l'eau disponible représente une infime partie de la totalité de l'eau présente sur Terre et que c'est une ressource en péril.

Le monde agricole classe l'eau de bleue, verte ou grise en fonction de son origine et sa disponibilité.

L'eau est en mouvement dans les sols avant d'être stockée dans des aquifères. La composition et la typologie géologique des sols définissent la vitesse de circulation de l'eau dans les sols, le lieu où elle sera stockée et en partie sa composition.

Ceci varie d'une région à l'autre, ces notions sont essentielles à connaître ou à savoir retrouver notamment lorsque qu'on veut utiliser les eaux souterraines via un forage ou un puit par exemple.

## **VI. Origines de l'eau d'abreuvement en élevage**

Les origines de l'eau d'abreuvement pour un élevage peuvent être multiples. Elles seront en général un compromis en fonction du type de sol sur laquelle l'exploitation se trouve, du lieu où les animaux pâturent, du prix de l'eau, du coût et des infrastructures qu'il est possible de mettre en place, de la possibilité de se raccorder ou non au réseau. Chaque origine aura ses avantages et ses inconvénients en termes de coûts et de qualité de l'eau. Les eaux « privées » ou plutôt dont la gestion est privée, concernent 65 % des exploitations agricoles. La gestion privée d'une eau peut être complétée par l'eau du réseau (manque de débit, différents sites, qualité insuffisante, usage ciblé : laiterie, transformation sur la ferme...) (Fulbert 2017).

### **1. Les eaux de surface**

Elles sont relativement simples d'utilisation, nécessitent peu de frais en comparaison à un captage mais elles sont forcément contaminées d'un point de vue bactériologique et compliquées à traiter. Elles sont également plus sujettes aux pollutions chimiques via le ruissellement et les activités anthropiques aux alentours. Elles doivent être proscrites ou utilisées en dernier recours, par exemple au pâturage si c'est la seule possibilité.

#### **a. Cours d'eau**

Les cours d'eau sont plutôt utilisés pour l'abreuvement l'été lorsque les animaux pâturent. La qualité bactériologique de ces eaux est dépendante des animaux sauvages et domestiques se trouvant en amont car ils les souillent via leurs déjections. Ces eaux sont généralement riches en coliformes totaux surtout en période estivale. La qualité est très variable selon la localisation, les précipitations, le débit et les activités agricoles en amont. Les polluants chimiques les plus présents dans ces eaux proviennent du ruissellement des rejets agricoles (pesticides, engrais ...). Plus les volumes des cours d'eau sont faibles et plus les risques et l'effet d'une contamination sont importants. Il est donc déconseillé d'utiliser cette eau sans traitement préalable (Chayer 2021 ; Fulbert 2017).

Il faut capter l'eau de son cours naturel pour l'acheminer vers des abreuvoirs ou des bassins d'abreuvement, différents systèmes de pompage existent (Partie 2.VII.4.d).

#### **b. Etangs / mares**

Ils peuvent être déconnectés des fossés ou des cours d'eau (mares, carrières), situés sur une source ou un drainage qui les alimente ou encore alimentés via un cours d'eau (en barrage ou en dérivation).

Hormis pour les étangs déconnectés, il faut respecter la notion de débit réservé. En période sèche, le débit d'eau sortant ne doit pas dépasser le débit entrant. Ceci est complexe à établir pour les étangs situés sur une source car le débit de la source est rarement évaluable. Pour cela on peut évaluer le volume de son étang par la formule suivante :

$$V = H \times S \times 0.4/100$$

V est le volume du plan d'eau en millions de mètres cubes. H la hauteur maximale d'eau à la cote de retenue normale en mètres. S la surface (en hectare) du plan d'eau à la côte de retenue normale. Le coefficient 0.4/100 permet de niveler les variations de profondeur sur la surface totale. Il faut également tenir compte des pertes par évaporation dont les deux tiers se produisent durant l'été ainsi que les pertes par les fuites et les infiltrations éventuelles (Jamot 2019).

Ces étendues d'eau doivent être clôturées sinon les animaux sauvages et/ou domestiques pataugent et souillent l'eau (brassage des sédiments, défécations).

Un étang non contaminé contient des quantités d'*Escherichia coli* entre 20 et 100 unités formant des colonies (UFC) pour 100 ml d'eau. Si les animaux s'abreuvent directement en rentrant dans l'étang, ces quantités peuvent atteindre 10 000 UFC pour 100 ml d'eau (Olkowski 2009).

Il faut éviter l'accès direct et prévoir un aménagement de type gravitaire, abreuvoirs alimentés par une pompe solaire ou éolienne, des tonnes à eau... (Partie 2.VII.4.d). Une vidange annuelle est conseillée pour limiter les dépôts de vase au fond (Jamot 2019).

Un étang plus profond sera plus long à se réchauffer et sera donc à privilégier par rapport à un étang peu profond. Il faut pomper dans la partie profonde entre 50 cm et un mètre de profondeur, éviter le pompage trop près des bordures, des queues d'étang où l'eau est stagnante. Ces endroits sont les plus propices au phénomène d'eutrophisation (accumulation d'azote, de phosphore, de matières organiques (M.O)) et donc au développement de pathogènes comme les cyanobactéries toxigènes par exemple (Schmidely et al. 2010 ; Jamot 2019 ; Fulbert 2017).

### c. La réglementation des eaux de surfaces

Contrairement au Canada ou à la Belgique, aucune réglementation en France n'interdit l'accès du bétail aux cours d'eau (Olkowski 2009) et cela est toujours d'actualité en 2023. Si aucun aménagement des berges n'est réalisé pour que les animaux accèdent à un cours d'eau ou à un étang, aucune déclaration n'est nécessaire (Aujay et al. 2009).

## 2. Les captages des eaux souterraines

Capter une eau souterraine revient à la détourner de son cours naturel. C'est l'objectif des puits et des forages qu'une grande partie des exploitations agricoles en France font le choix de faire pour l'utilisation de l'eau d'abreuvement. Le pompage au sein d'un puit ou d'un forage modifie les directions d'écoulement et provoque un cône de rabattement de la nappe en forme d'entonnoir dissymétrique. Lors d'un captage, deux zones se créent :

- La zone d'appel comprise dans l'aire d'alimentation du captage est celle où le sens des lignes de courant converge vers l'ouvrage. Elle est primordiale car si des polluants se trouvent dedans ils peuvent être entraînés vers le pompage.
- La zone d'influence s'étend dans la zone d'appel mais aussi en dehors de celle-ci. C'est la zone de rabattement des niveaux dû au pompage.

Les dimensions de ces zones et celles du cône de rabattement sont dépendantes des paramètres hydrodynamiques du captage (débit et temps de pompage) (Figure 11).

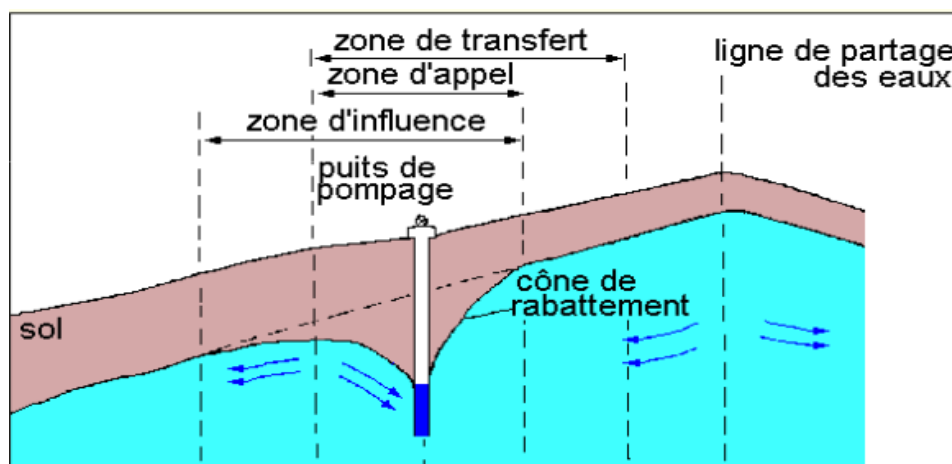


Figure 11 : Zones créées par un captage

Source : Fulbert 2017

Dans certaines nappes, la réalimentation consécutive au pompage se fait quasiment exclusivement par un cours d'eau. Des prélèvements excessifs entraînent alors une détérioration de la qualité de la nappe et peuvent tarir un cours d'eau, il est donc important de connaître les capacités de pompage et l'eau disponible (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie 2012).

#### a. Le captage des nappes libres (superficielles)

##### i. Le captage d'une source naturelle

Il est possible de capter la source d'une nappe souterraine émergeant à la surface. La température de cette eau est assez stable sur l'année, elle est en général à faible débit mais il est possible de la stocker (Higgins, Moser, Laurent 2016). Cette émergence est souvent située en flanc de coteau, en bas de pente ou en bordure de dépression principalement (Fulbert 2017). Le captage d'une source ne doit pas modifier ses conditions d'écoulement au sein de l'aquifère, en revanche, elle tarit ou amoindrit le débit du ruisseau en décollant (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie 2012). Il faut capter seulement « l'émergence vraie » de la source via une construction captante (pierres) non étanche. Ces aménagements se font en période de nappe rabattue (niveau bas) et le captage d'émergences diffuses est réalisable avec des drains protégés. Ils doivent être enterrés à plus d'un mètre de profond pour être efficaces.

Il existe des sources à captage enterré ou avec un massif filtrant (Figures 12).

Les risques de pollutions ponctuelles existent notamment en cas de ruissellements en surface, des analyses d'eau régulières sont donc souhaitables (Fulbert 2017).

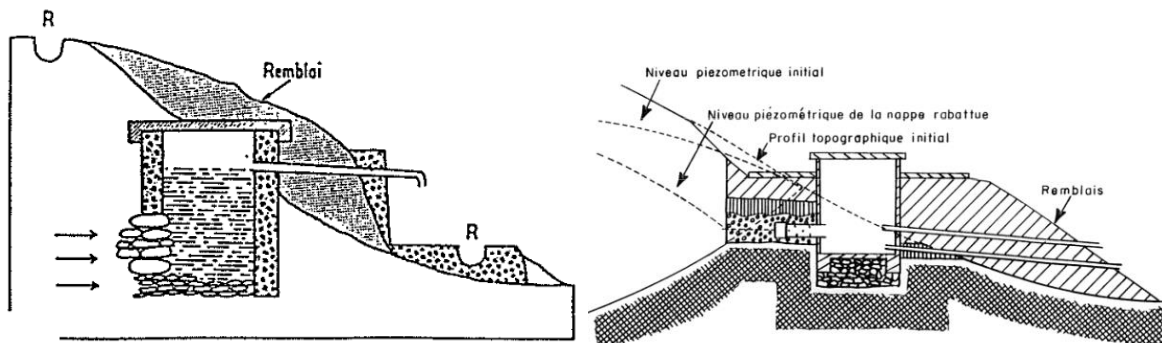


Figure 12 : Captage enterré d'une source / Captage avec un massif filtrant d'une source

Source : Fulbert 2017

##### ii. Les puits

Ils sont réalisés plutôt sur des terrains plats. Ils sont qualifiés de surface lorsqu'ils sont sur des dépôts de sables ou de graviers épais, si les nappes phréatiques sont peu profondes (de quelques mètres à 40 mètres). Leur diamètre varie entre 80 à 200 cm suivant la nappe et la région où il est réalisé. Ils sont plus à risque d'assèchement et de contamination que les forages car moins profonds (Chayer 2021 ; Fulbert 2017).

Les eaux captées sont peu profondes, récentes et proviennent de l'infiltration, du réapprovisionnement des nappes, d'une résurgence de nappe captive ou d'une nappe alluvionnaire. Ces eaux brutes, sont rarement de bonne qualité, 85 % des bactériologies de ce type d'eau ressortent non potables.

Ils sont creusés afin d'atteindre le niveau bas de la nappe. Cela peut être réalisé manuellement, de manière mécanisée ou avec une tarière de gros diamètre. Ils sont quasiment toujours positionnés près de l'exploitation et la nappe est détectée via une sourcière.



La conception d'un puit se fait avec des pierres sèches ou des pierres de carrière concassées dans la partie capillaire, avec des buses de ciments empilées et jointées dans la partie étanche. Un trop plein avec un tuyau en polychlorure de vinyle (PVC) est placé au niveau des buses de la zone étanche si cela est nécessaire (Figure 13) (Fulbert 2017).

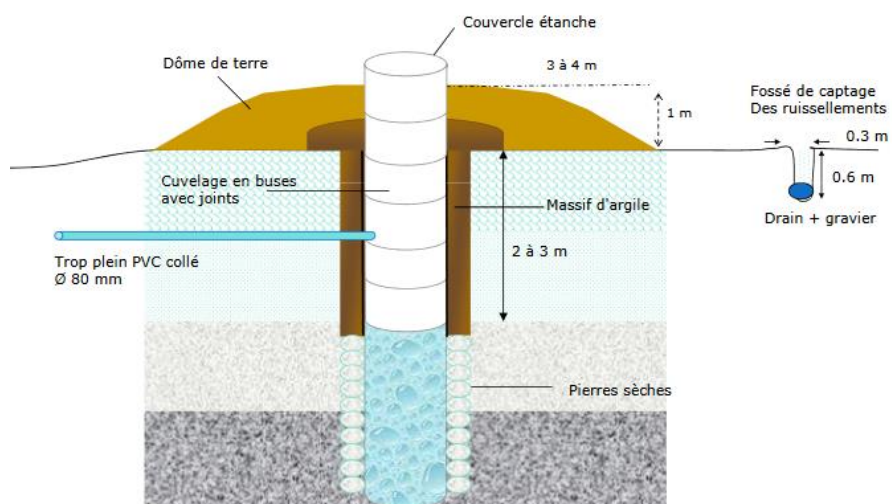


Figure 13 : Schéma de captage par un puit Source : Fulbert 2017

Il faut rehausser la tête de 50 cm minimum, que le pourtour soit dégagé sur quelques mètres de profond et combler avec de l'argile damée pour arriver à la zone naturellement étanche. La déclivité doit être suffisante aux abords du puit avec un massif de terre argileuse, une dalle de fermeture étanche au-dessus et un drainage correct autour doit être mis en place (Figure 13). Le ruissellement d'eaux riches en nitrates et autres polluants est difficile à maîtriser notamment en zone d'élevage intensif et se retrouve facilement dans l'eau captée par les puits. Ils se salissent par accumulation de particules plus ou moins grossières (boues, limon...). Cela favorise le développement de bactéries anaérobies sulfito-réductrices (ASR). Un curage tous les cinq à dix ans doit être réalisé suivant le risque de salissement (Fulbert 2017).

Des analyses deux fois par an et à chaque changement de goût, d'odeur, d'apparence, ou de modification du sol environnant sont préconisées (Chayer 2021).

Pour le coût, il est variable en fonction du lieu et du prix nécessaire au terrassement. A cela s'ajoute les buses à environ 150 euros du mètre et l'installation du système de pompage (environ 2000 euros). Pour un captage de nappe superficielle le coût varie entre 800 et 3000 euros en fonction du type de captage et de la profondeur (Aujay 2009 ; Boubet 2020).

## b. Le captage des nappes captives (profondes)

### i. Les forages

Ils sont aussi appelés puits artésiens. Ils sont creusés lorsque la roche est proche de la surface où que ce sont des dépôts meubles non intéressants pour un puit de surface. Leur diamètre est petit (entre 150 et 250 mm), ils sont plus profonds, entre 30 et 250 mètres. Ils sont plus sécuritaires en termes de qualité et d'approvisionnement (Chayer 2021 ; Fulbert 2017).

C'est un mode de captage récent (environ 50 ans) et qui se développe de plus en plus depuis 20 ans avec des entreprises spécialisées dans le forage.

En 1995, en Mayenne, 75 % des captages étaient des puits ou des sources et 25 % des forages. En 2005, 55 % des captages étaient des forages et 45 % des puits ou des sources (Fulbert 2017).

Les eaux captées sont profondes et anciennes et en général de bonne qualité bactériologique. Leurs paramètres physico-chimiques dépendent de la géochimie de l'aquifère exploité (Fulbert 2017).

Différentes méthodes de forages existent :

- Par tarière : différents diamètres (jusqu'à 800 mm) de forage sont envisageables, en revanche la profondeur dépasse rarement 20 mètres. Cela concerne donc plutôt les puits de surface.
- Par battage : se réalise avec un outil lourd (un trépan), cela permet de faire des forages peu profonds.
- Par rotary : c'est un trépan rotatif avec injection de fluides (boue d'argile liquide) lors du fonctionnement, il s'utilise sur des terrains instables.
- Par Marteau Fond de Trou (MFT) : méthode la plus utilisée dans des terrains stables, via la percussion à l'air comprimé, la rotation à l'air et la poussée mécanique. De grandes profondeurs sont envisageables, le diamètre se situe entre 150 et 250 mm.

Tout au long du forage, des échantillons de terrain sont récupérés pour cibler la progression. Au fond du forage un tube plein se situe à la base de la crépine. La maille du tube crépiné doit être adaptée à la formation de l'aquifère et doit s'arrêter en dessous du niveau de l'eau de pompage. Le massif filtrant dans la crépine est constitué de graviers calibrés, un joint d'étanchéité en argile le sépare du laitier ciment injecté autour du tubage en PVC ou en métal. Entre les deux, un joint d'étanchéité sert à protéger des infiltrations provenant des zones altérées (Figure 14) (Fulbert 2017).

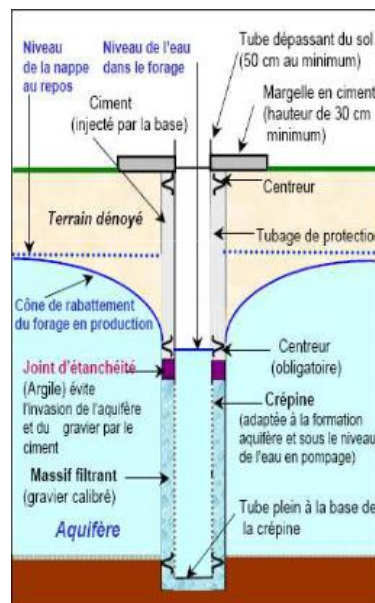


Figure 14: Schéma d'un captage par forage Source : Fulbert 2017

Il doit être implanté à 50 mètres de tout bâtiments et toujours en amont des sites à risque. C'est dans ce périmètre que les contaminations majeures se produisent. Le périmètre de protection est le même que pour un puit. Un couvert végétal (prairie naturelle) limite le ruissellement et l'entraînement de polluants (engrais, pesticides...). Une zone de 10 à 20 mètres autour doit être clôturée pour éviter la présence d'animaux. En cas de pente la forme du périmètre s'adapte (Figure 15). La tête de forage doit être réhaussée de 30 cm du sol, une obturation du tubage doit être réalisée pour protéger d'éventuelles pollutions.

Une dalle étanche doit recouvrir la tête de forage et il faut raisonner les fertilisations et les épandages en amont et autour du captage (Fulbert 2017).

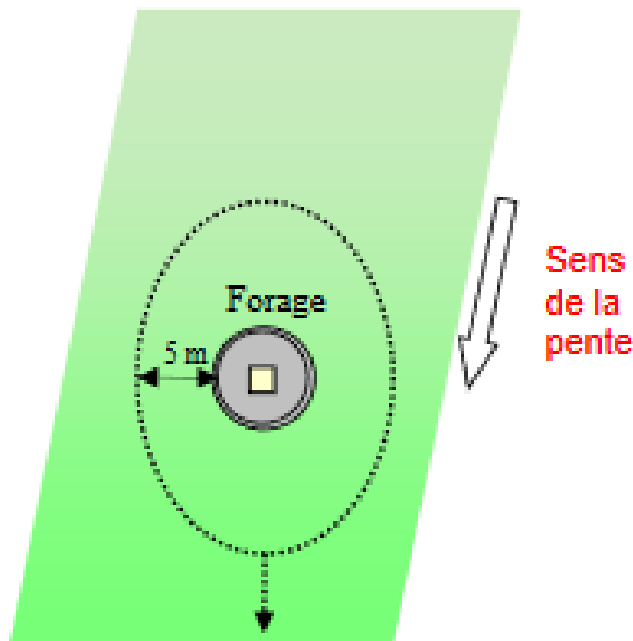


Figure 15: Forme du périmètre de sécurité en cas de pente Source : Fulbert 2017

Pour le coût de réalisation d'un forage, il faut compter de 70 à 100 euros du mètre entre les matériaux, la pompe et le perçage. La réalisation d'un forage varie environ entre 6000 et 8000 euros.

### c. Réglementation

Quasiment l'ensemble des travaux et des aménagements concernant la ressource hydrique superficielle ou profonde est soumis soit à Déclaration soit à Autorisation au titre du code de la Loi sur l'Eau découlant des Décrets 93-742 et 2006-880 codifiés (Légifrance 2006).

Pour les nappes superficielles, il faut savoir si le captage concerne ou non un cours d'eau ou une zone humide. Si c'est le cas, trois possibilités se présentent :

- La zone humide asséchée fait moins de 1000 m<sup>2</sup>, dans ce cas une déclaration avec une procédure simplifiée s'applique.
- La zone humide à une superficie située entre 1000 m<sup>2</sup> et un hectare, cela nécessitera alors une déclaration.
- Si la zone humide dépasse un hectare une autorisation sera alors requise.
- Une canalisation d'un cours d'eau pour en capter l'eau est également soumise à autorisation.

Pour connaître l'évolution des classifications et de la législation concernant les zones humides, il faut se renseigner auprès de la Chambre d'agriculture ou de la police de l'eau. Cela permet également de connaître la présence de zones humides ou pas et d'être au courant des spécificités éventuelles des politiques locales.

Pour les nappes profondes, si un captage (puit ou forage) dépasse 10 mètres de profondeur, une déclaration au titre du code minier VIII (Article 131) est à faire auprès de la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) (Légifrance 2023a).



Pour le prélèvement, la réglementation diffère selon le cubage annuel du captage :

- Moins de 1000 m<sup>3</sup> : Il faut le déclarer en mairie avec le document numéro 13837\*01 du Centre d'enregistrement et de révision des formulaires administratifs (CERFA), il est considéré comme un usage domestique.
- Plus de 1000 m<sup>3</sup> : Le forage est soumis à déclaration au titre du code de l'environnement (Article R 214-1, rubrique 1.1.1.0).
- Entre 10 000 et 200 000 m<sup>3</sup> : Le prélèvement est soumis à déclaration au titre du code de l'environnement (Article R 214-1, rubrique 1.1.1.0).
- Plus de 200 000 m<sup>3</sup> : Le prélèvement est soumis à autorisation au titre du code de l'environnement (Article R 214-1, rubrique 1.1.1.0).

Pour un prélèvement d'eau par captage, il faut obligatoirement la pose d'un compteur, cela est indiqué dans la loi sur l'eau du code l'environnement (Article L 214-8) (Aujay 2009 ; Fulbert 2017 ; Légifrance 2023).

### 3. L'eau de pluie

#### a. L'eau de toiture

L'eau de pluie récupérée sur les toits des bâtiments d'une exploitation et stockée dans des réserves peut servir comme eau d'abreuvement. Ce système est dépendant du climat et des précipitations, ces eaux sont en général riches en particules des véhicules et en métaux (Schmidely et al. 2010).

Ces projets sont à réfléchir notamment lors de construction de bâtiment avec des surfaces de toitures importantes (fumière couverte, stockage...). Le volume d'eau maximal de pluie récupérable est donné par la formule suivante :

$$V_{\max}(l) = P \times S \times K_t \times K_f$$

P correspond à la pluviométrie annuelle en millimètres par an. S s'exprime en m<sup>2</sup> et correspond à la surface de la toiture servant au captage des eaux pluviales. K<sub>t</sub> est un coefficient appliqué en fonction du type de toiture qui diminue à mesure que les aspérités augmentent. Il varie de 0.8 pour des toits en fibrociment ondulé à 0.9 pour des toitures plus lisses comme des bacs aciers ou des panneaux photovoltaïques. K<sub>f</sub> est le coefficient de rendement hydraulique et dépend du système de préfiltration, il est normalement de 0.9 (Duteilh, Jamot 2021).

Un système de préfiltres en sortie de collecteur est obligatoire afin d'éliminer les particules les plus grossières. Un préfiltre peut avoir une capacité de 2000 m<sup>2</sup> cela permet un rendement de filtration élevé. Différents filtres existent :

- Des paniers filtrants ayant une bonne efficacité mais devant être entretenus régulièrement.
- Des filtres à rejets alternatifs avec une bonne efficacité, un entretien limité mais un coût plus élevé.

Ils peuvent être autonettoyants avec des buses de pulvérisation. Cela entraîne une perte d'une partie de l'eau collectée pour le nettoyage. Ils doivent être facile d'accès pour un nettoyage hebdomadaire voire journalier en automne (Duteilh, Jamot 2021).

L'eau du toit peut passer par une citerne tampon enterrée en générale avant les filtres. Elle doit être à un niveau inférieur aux préfiltres (enfouie) pour récupérer l'eau par gravité.

Des pompes immergées régulées via des capteurs de niveaux renvoient ensuite l'eau dans des citernes de stockage si elles sont enterrées (rigides ou maçonnées). Ce seront des pompes de surfaces si les citernes sont souples et aériennes. Leur trop plein peut s'évacuer dans une mare adjacente pour servir de réserve incendie de l'exploitation par exemple. Les pompes doivent avoir des capacités suffisantes (30 m<sup>3</sup> par heure) pour absorber de grosses quantités notamment en cas d'orages (Delisle et Bourgeois 2020 ; Duteilh et Jamot 2021).

Les dispositifs de stockage doivent être munis d'une trappe de visite pour l'entretien (si c'est un regard il doit être surélevé pour limiter les contaminations) et d'un système d'aération avec des mailles d'un mm maximum. Elles doivent être nettoyées annuellement. Un bulleur est conseillé à l'intérieur pour limiter la prolifération de bactéries anaérobies (Duteilh, Jamot 2021).

L'eau d'abreuvement est repompée, un traitement en sortie de stockage est recommandé notamment pour les citernes souples soumises aux variations de températures. Des filtres à sable et à tamis peuvent être placés en amont de traitement type peroxyde d'hydrogène ou ultraviolets (UV) par exemple (Partie 5.XVII). L'eau peut ensuite être distribuée aux animaux (Figure 16) (Delisle et Bourgeois 2020 ; Duteilh et Jamot 2021).

Une étanchéité parfaite du système est essentielle pour le bon fonctionnement. Il faut proscrire les cuves de récupération à ciel ouvert ainsi que ce système de collecte sur des toits amiantés. Le système de distribution de ces eaux doit être séparé du système du réseau par un clapet anti-retour, c'est une obligation légale. Des analyses régulières sont tout de même préconisées (Duteilh, Jamot 2021).

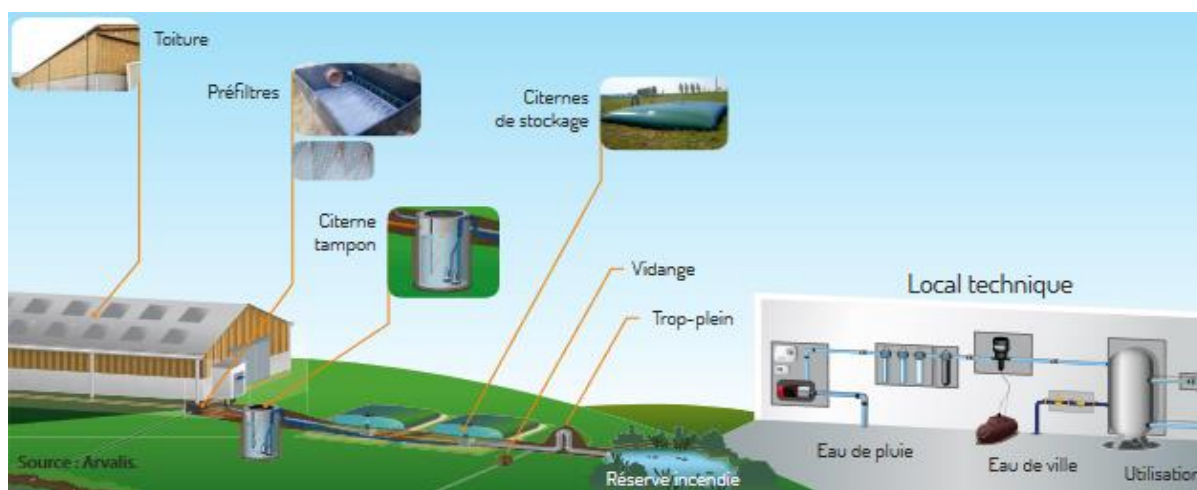


Figure 16 : Système de récupération de l'eau de toiture Source : Arvalis

Le coût est estimé entre 2000 et 4000 euros d'investissement pour ce type de récupération d'eau. Il comprend certains filtres, les regards, les cuves de stockage et la pompe. Cela est très variable en fonction de l'installation notamment de l'équipement pour le stockage qui peut être aérien, fermé, en béton, en géomembrane, en polyéthylène haute densité (PEHD), nécessitant une clôture de protection ou non...

A cela, il faudra ajouter le coût du terrassement, du stockage, de la filtration et du traitement de l'eau lors de son utilisation (Fulbert 2017).

## b. Les impluviums

L'impluvium est une surface de perméabilité variable ayant pour but de collecter l'eau de pluie afin de la stocker. La forme de la surface de collecte peut varier et être périphérique de type lavogne (mare collectant de pluie formée dans une dépression naturelle, souvent sur les plateaux calcaires), latéral ou sur piste.

Les animaux ne s'abreuvent pas directement à cet endroit mais une aire spécifique est ensuite aménagée.

Une doline naturelle ou un versant de sol argileux après retrait de la couche d'arable (10 à 20 cm) peuvent servir d'impluviums. Il faudra un bassin de décantation curé régulièrement pour limiter les grosses particules (feuilles, graviers ...). En général, un aménagement spécifique et étanche est conçu pour acheminer l'eau au lieu de stockage : il peut être en béton avec des joints d'étanchéité, en enrobé, en membrane plastique (PVC 10/10) ou caoutchouc (géomembrane élastomère), ou encore avec une bande de bentonite entre un géotextile non tissé et un géotextile de polypropylène tissé.

L'eau collectée est acheminée vers des aménagements de stockages à ciel ouvert comme les bassins ou les retenues collinaires alimentées en hiver via drainage naturel ou tranchée drainante. L'eau est ensuite utilisée pour l'irrigation, les canons à neige l'abreuvement... L'étanchéité d'un sol peut être améliorée via l'argile ou la bentonite.

Ce sont des réserves de stockage d'eau qui sont extérieures au réseau hydrographique naturel (rivières, lacs...). Le stockage étant aérien, comme pour les eaux de surface stagnantes, la dégradation de la qualité de l'eau par la température, le ruissellement de polluants présents en amont et la hausse du pH est non négligeable (Fulbert 2017).

Des stockages fermés enfouis ou non sont également possibles via des citernes en béton, métalliques ou souples qui permettent notamment de limiter l'évaporation et les souillures. La qualité est mieux conservée dans les citernes enfouies car elles sont moins exposées aux variations de températures.

L'eau est ensuite distribuée aux points d'abreuvement dans des conduites par gravité ou à l'aide d'une pompe pour la remettre sous pression.

Des études en alpages sur ces types d'aménagements sont en cours et devraient être disponibles en 2024 via le Centre d'études et de réalisations pastorales Alpes-Méditerranée (CERPAM) des Hautes-Alpes concernant la qualité de l'eau au niveau des impluviums comparée à celle au niveau des abreuvoirs.

Ces systèmes ne sont pas idéals pour l'abreuvement des animaux. En revanche, en montagne, cela peut-être le seul moyen de stocker de l'eau en été pour les animaux en alpage (CERPAM, ARDEPI 2003).

Le coût de ce type d'infrastructure est très variable selon la localisation, les matériaux utilisés, la surface et beaucoup d'autres paramètres. On estime le coût entre 12 000 et 15 000 euros pour une réserve d'environ 3000 m<sup>3</sup> (Aujay et al. 2009).

### c. Réglementation

Concernant l'utilisation des eaux pluviales, deux textes traitent ce sujet :

- L'article 641 du Code Civil énonce que « Tout propriétaire a le droit d'user et de disposer des eaux pluviales qui tombent sur son fonds » mais que « Si l'usage de ces eaux ou la direction qui leur est donnée aggrave la servitude naturelle d'écoulement établie par l'article 640, une indemnité est due au propriétaire du fonds inférieur ».
- L'arrêté du 21 août 2008 relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments. Il concerne les conditions de stockage, d'utilisation, d'entretien et de distribution des eaux de pluie. Il précise aussi la déconnection obligatoire entre les eaux pluviales et l'eau du réseau.

Concernant la création d'une réserve alimentée par drainage, les eaux pluviales ou une source, la réglementation diffère selon le cubage.

- Moins de 1000 m<sup>2</sup> avec un prélèvement inférieur 10 000 m<sup>3</sup>, le dossier est simplifié avec un avis réglementaire et celui du maire au titre des documents d'urbanismes.
- Entre 1000 m<sup>2</sup> et trois hectares, elle est soumise à déclaration.
- Au-dessus de trois hectares elle est soumise à autorisation.

Si la construction de l'ouvrage est alimentée via un cours d'eau et que la superficie dépasse trois hectares elle est soumise à autorisation.

Pour une superficie comprise entre 1000 m<sup>2</sup> et trois hectares, soit :

- La prise d'eau est détournée vers la construction, une déclaration est nécessaire si le débit à l'étiage est de 2 à 5 %. Une autorisation est demandée si ce débit va au-delà de 5 %.
- C'est un détournement du cours d'eau, s'il est inférieur à 100 mètres une déclaration suffit mais au-delà il faut une autorisation.

(Aujay 2009 ; Duteilh et Jamot 2021 ; Légifrance 2023 ; 2008).

#### *4. L'eau du réseau*

L'eau du réseau est publique et est utilisée pour l'abreuvement des animaux dans environ 35 % des élevages. Elle est sûre bactériologiquement parlant (plus de 99 % des analyses de cette eau donnent des bons résultats de potabilité), sa pression est constante jusqu'au compteur de l'exploitation. Elle est plus chère, en France, il faut compter 3.70 euros du mètre cube en moyenne (Fulbert 2017 ; Schmidely et al. 2010).

Le pH entre 7.5 et 8.5 est généralement convenable pour l'abreuvement. La dureté n'est pas corrigée sur le réseau (des valeurs supérieures 30°F sont possibles) et est dépendante des régions. Cela peut avoir des répercussions sur la santé des ruminants (Partie 3.VIII.2) (Fulbert 2017).

Les limites de référence des eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) conviennent pour l'abreuvement des animaux, à l'exception du cuivre dont les normes semblent trop élevées pour les ovins (Dubreuil, Sauvageau 1993).

Elles sont mêmes trop strictes pour la plupart d'entre elles car l'espérance de vie des animaux d'élevage étant réduite, leur exposition à long terme l'est aussi. Ils peuvent malgré cela accumuler certains composants liposolubles ce qui accroît l'exposition de l'humain à travers les denrées alimentaires d'origine animales (Schmidely et al. 2010). La qualité de l'eau du réseau arrivant à l'exploitation est potable mais ne le reste pas forcément jusqu'aux abreuvoirs si l'entretien de ces derniers ou du réseau de l'exploitation n'est pas correct.

L'origine de l'eau utilisée pour l'abreuvement est importante à considérer, les aménagements pour la capter, son traitement et sa réglementation en découle.

Les eaux dont la gestion est privée sont :

Les eaux de surface, qui nécessitent peu d'investissement pour leur utilisation mais sont toujours contaminées d'un point bactériologique et peuvent l'être aisément d'un point de vue chimique. Elles ne sont pas encadrées réglementairement et leur utilisation est déconseillée.

Les eaux souterraines, qui peuvent être captées via leur source, un puit ou un forage. Ce dernier est le plus sûr d'un point de vue qualité de l'eau et risques de contaminations. Les investissements sont très conséquents. Le captage de ces eaux est encadré par différents textes de lois.

L'eau de pluie, qui peut être récupérée via les toitures ou de manière naturelle dans les impluviums notamment en alpage. Ces eaux devront être stockées avant d'être distribuées et nécessitent un traitement pour obtenir une qualité correcte. Les investissements peuvent également être importants. Des textes de lois encadrent aussi cette récupération de l'eau.

L'eau du réseau (publique) est plus coûteuse au mètre cube mais est sûre au niveau qualitatif jusqu'à son entrée dans le circuit propre à l'élevage. Sa qualité est basée sur les normes de l'EDCH. Elle n'est pas soumise aux conditions géologiques, environnementales contrairement aux eaux avec une gestion privée.

## ***VII. Les modalités de distribution de l'eau d'abreuvement***

Les modalités de distribution de l'eau d'abreuvement en élevage sont multiples. Elles vont être un compromis selon les choix de l'éleveur, le coût, les possibilités d'aménagement des bâtiments, la charge de travail...

Les équipements diffèrent, entre ceux pouvant être mis en place en bâtiment et ceux destinés au pâturage (Partie 2.VII.4.d). Chacun d'entre eux présentent des avantages et des inconvénients qu'il faudra considérer pour choisir ceux les plus adaptés pour une exploitation donnée.

### ***1. Les abreuvoirs***

Les abreuvoirs sont une partie primordiale concernant l'abreuvement car c'est la fin du réseau et ceux que l'on voit directement en entrant dans un élevage. Différents modèles existent et leur mise en place est soumise à des recommandations pour répondre au mieux aux besoins des animaux.

#### ***a. Types d'abreuvoirs***

Les abreuvoirs se répartissent en deux grandes catégories : les abreuvoirs individuels et les abreuvoirs collectifs.

Les abreuvoirs individuels se répartissent en deux genres : les abreuvoirs type bol et les abreuvoirs isothermes. Ils sont à privilégier pour des petits groupes d'animaux et dans les box d'isolement (Figure 17).

Les premiers comprennent les abreuvoirs à palette, à tube ou à niveau constant. Ils sont fixables directement sur un mur ou sur un tube galvanisé, il est possible de les poser sur une buse. Ils sont peu encombrants, faciles d'installation et bon marché.



En revanche, ils peuvent geler, être cassés s'ils sont mal protégés et ne permettent qu'à un animal de boire à la fois (Figure 17).

Les abreuvoirs isothermes, à boule ou à coupelle avec une réserve, s'installent au sol sur un socle bétonné. Ils ne gèlent pas et ne nécessitent pas d'électricité, un système de vidange sur béton ou canalaire doit être prévu. Ils ne sont pas les mieux adaptés à l'aire paillée en ce qui concerne la vidange. Leur encombrement est supérieur aux abreuvoirs bol (Figure 17). Les abreuvoirs à boule sont protégés des projections de fèces et de paille. Leur nettoyage est plus complexe, ils nécessitent un apprentissage des animaux et le flotteur s'il est mal réglé rend l'accès aux veaux difficile (Figure 17).

L'abreuvoir à coupelle est moins résistant au gel mais plus facile à nettoyer et ne nécessite pas d'apprentissage. Selon les modèles, il est possible d'ajouter une trappe pour les protéger lors du paillage notamment (Figure 17).



Figure 17 : Abreuvoirs individuels : Abreuvoirs à palette, à tube, à niveau constant, isotherme à boule, à coupelle avec réserve. Source : La Buvette

Les abreuvoirs collectifs permettent l'abreuvement de plusieurs bovins sur une courte période. Ils sont fixables directement à un mur, sur les tubulaires ou posés au sol. Un système de vidange (par basculement ou bouchon) est obligatoire. Ces derniers sont recommandés dans les élevages laitiers ou lorsque qu'il y a une grosse densité d'animaux. Ils sont également conseillés dans les élevages où les animaux restent bloqués longtemps aux cornadis, lorsqu'ils sont relâchés ils vont tous boire en même temps donc de la compétition peut se créer (Figure 18) (Flaba et al. 2014 ; Institut de l'élevage 2009). Selon Artaux et al. (2011), les phénomènes de lapements sont plus importants dans les abreuvoirs collectifs à niveau constant.

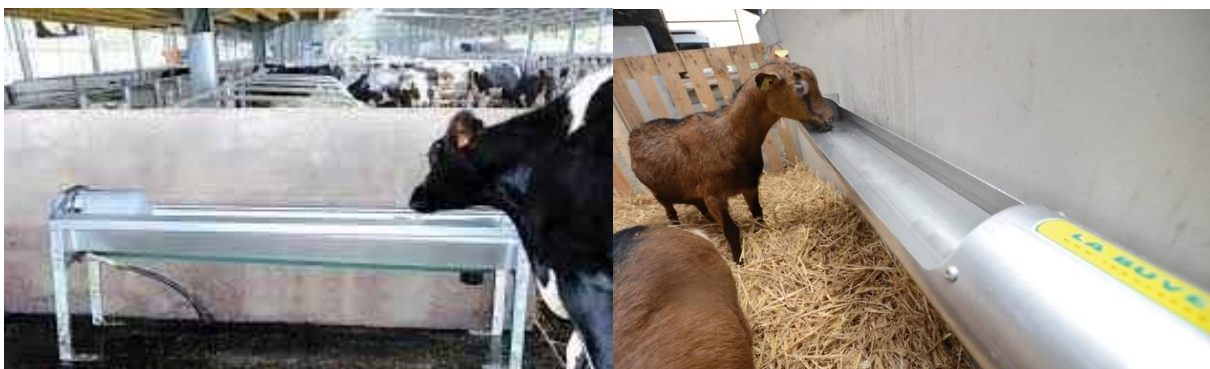


Figure 18: Abreuvoirs collectifs pour des bovins et des petits ruminants.

Source : La Buvette

Les bovins boivent davantage dans les abreuvoirs à niveau constant que dans les abreuvoirs à valves. Ils passent plus de temps dans ces derniers, des pauses plus fréquentes dans la prise de boisson dont le temps augmente au fur et à mesure sont constatées et plus de difficultés à déglutir sont relevées (Burkhardt et al. 2022 ; Artaux et al. 2011).

## b. Emplacements

L'emplacement d'un abreuvoir dans un bâtiment est primordial car un manque d'accessibilité de l'abreuvoir est synonyme de modification du budget temps global, notamment une diminution du temps de couchage et de la rumination. Un mauvais positionnement entraîne de la compétition pour la ressource en eau, des risques de chutes ou de traumatismes (Gervais et al. 2017).

Le bon emplacement varie en fonction de la conception du bâtiment. Plusieurs abreuvoirs sont nécessaires pour satisfaire les besoins hydriques d'un troupeau. Il est donc important de les répartir judicieusement dans le bâtiment pour que l'ensemble des animaux puissent avoir accès de manière correcte à l'eau et limiter les impacts des comportements de dominance. Indépendamment de l'endroit où se trouve l'animal dans le bâtiment, il ne devrait pas avoir à parcourir un rayon de plus de 20 mètres pour trouver un abreuvoir (idéalement 12 à 15 mètres).

Ils doivent se situer à distance de la table d'alimentation et des distributeurs de concentrés et ne doivent jamais être dans un cul-de-sac (Fagoo, Morel 2022).

Dans un bâtiment à logettes, ils seront souvent placés dans les couloirs de circulation mais ne doivent pas gêner la circulation ou le croisement des animaux lorsque certains s'abreuvent. Un passage de 2.4 mètres suffit si il n'y a pas d'abreuvoirs, il faut 3.5 mètres minimum si un abreuvoir est présent (Gervais et al. 2017 ; Flaba et al. 2014). Pour quatre vaches laitières à l'abreuvement, cela représente 12 m<sup>2</sup> occupés au sol (Fulbert 2017).

Pour un bâtiment en aire paillée, en général une zone avec litière et une zone sans sont présentes. Les abreuvoirs ne doivent pas être accessibles depuis l'aire avec la litière pour éviter les souillures de celle-ci via le lapement et les projections. De plus, les placer au niveau de l'aire bétonnée ou au-dessus des caillebotis permet une vidange aisée des abreuvoirs sans souiller la litière (Gervais et al. 2017 ; Flaba et al. 2014).

Désormais, des études ont été menées avec des abreuvoirs connectés qui détectent la quantité d'eau bue individuellement mais qui permettent aussi de prendre en compte la hiérarchie sociale à l'abreuvoir. L'échelle hiérarchique a été établie via le temps de remplacement entre deux buvées successives. L'observation faite est que lors d'un laps de temps de 25 secondes ou moins entre deux buvées, cela signait un remplacement consécutif à une relation de dominance. Ceci a été corroboré par les observations de temps de remplacement obtenus avec des vidéos (Nizzi et al. 2022).

Les mêmes observations sont relevées par McDonald, von Keyserlingk, et Weary (2019) avec un temps de remplacement inférieur ou égal à 29 secondes. Ici, ce sont des boucles auriculaires individuelles qui étaient utilisées.

Pour les étables à l'entravée, il faut un abreuvoir pour deux bovins au minimum, idéalement il en faut un par animal. Il faut faire attention aux relations de dominance pour le placement (Flaba et al. 2014). Une dominante placée à côté d'une dominée à l'entravée consomme significativement plus d'eau et produit plus de lait que la dominée. L'observation de comportements délétères envers la dominée est également démontrée par Andersson, Schaar, et Wiktorsson (1984).

Chaque box individuel (isolement, infirmerie, vèlage, quarantaine...) doit être muni d'un dispositif d'abreuvement. Le quai d'embarquement peut être muni d'un abreuvoir si les animaux sont susceptibles d'y attendre longtemps (Gervais et al. 2017 ; Capdeville et al. 2014).

### c. Hauteur

La hauteur de l'abreuvoir est importante pour respecter la position de prise de boisson physiologique des bovins. C'est également un élément important pour réduire le phénomène de lapement par les bovins. La hauteur conseillée varie de 70 à 85 cm de haut pour les bovins adultes. On peut retenir que la surface de l'eau doit se situer entre 65 et 85 cm à partir du sol et il est conseillé que l'abreuvoir soit doté d'un rebord de 10 cm pour limiter les souillures et éviter le lapement. Ces intervalles peuvent s'expliquer notamment par les différences de gabarit des vaches en fonction de la race et de leur âge (55 à 70 cm de haut pour les jeunes bovins) (Gervais et al. 2017 ; Flaba et al. 2014 ; Murgue et al. 2022 ; Institut de l'élevage 2009 ; Delisle et Bourgeois 2020).

### d. Débit

Le débit est également un élément majeur à maîtriser pour que l'abreuvement des bovins soit adéquat. Physiologiquement, une vache boit entre 15 et 20 litres par minute, l'idéal est que le débit dans les abreuvoirs soit semblable. Plus le temps passé à l'abreuvoir est court et plus cela est bénéfique à l'animal car il n'empiète pas sur son temps de rumination et limite la fréquence de comportements délétères subis pour une dominée (Institut de l'élevage 2009 ; Gervais et al. 2017).

Une étude comparant différents débits (deux, sept et douze litres par minute) montre une adaptation du comportement hydrique des bovins en fonction du débit. Un débit important entraîne une consommation plus importante.

Un débit de deux litres par minutes entraîne un temps de 37 minutes par jour passé à l'abreuvoir, il est seulement de sept minutes par jour si le débit est de 12 litres par minute (Andersson, Schaar, Wiktorsson 1984).

Un abreuvoir avec un réservoir permet de palier à un déficit de débit si celui-ci n'est pas trop important (quatre à dix litres). Attention cependant à la qualité qui peut être impactée suivant le temps que l'eau passe à stagner et l'entretien réalisé par l'éleveur (Chambres d'Agriculture de Picardie et du Nord Pas-de-Calais et Institut d'élevage 2015 ; Institut de l'élevage 2009).

### e. Taille

La taille des abreuvoirs est importante à prendre en compte en fonction du nombre d'animaux à abreuver, du nombre d'abreuvoirs présents et de leur débit respectif.

Les bovins préfèrent boire dans de grands abreuvoirs (en taille, en surface et en hauteur). Pinheiro Machado Filho et al. (2004) ont comparé deux abreuvoirs : l'un d'une dimension de 126 x 68 x 30 cm et l'autre de 139 x 95 x 60 cm. Les vaches ont consommé de plus grandes quantités d'eau et ont passé plus de temps à l'abreuvement avec l'abreuvoir le plus grand. Coimbra (2007) fait le même constat concernant un lot de génisses qui préfère un bac de 500 litres à un de 300 litres.

Fulbert (2017) conseille une surface minimale pour un abreuvoir de 900 cm<sup>2</sup>. Les abreuvoirs doivent pouvoir abreuver simultanément entre 10 et 15 % du troupeau. Il faut environ cinq à six centimètres d'abreuvoir collectif par vache (cette surface est à doubler en cas de fortes chaleurs), cela revient à un abreuvoir pour sept à quinze vaches, l'idéal se situant plutôt à un abreuvoir pour sept à dix vaches (Flaba et al. 2014 ; Gervais et al. 2017 ; Fagoo et Morel 2022 ; Welfare Quality 2009).



## f. Matériaux

Les matériaux des abreuvoirs peuvent modifier la prise de boisson s'ils donnent un goût particulier à l'eau ou s'ils sont propices à l'altération de l'eau présente par le développement de microorganismes. La fonte émaillée, l'inox agréé, ou le polyéthylène résistant aux ultraviolets (UV) sont à privilégier pour leur qualité et leur résistance (Delisle, Bourgeois 2020).

D'après LeJeune et al. (2001), les concentrations de coliformes notamment d'*Escherichia.coli* sont plus fortes dans des abreuvoirs en béton ou en plastique par rapport à des abreuvoirs métalliques.

De plus, entre un bac rectangulaire en béton et un bac rond en PVC les génisses préfèrent celui en PVC. Elles boivent plus régulièrement, plus longtemps, et des quantités plus importantes. Cela ne permet pas de conclure de manière certaine sur la préférence attribuée au matériau car la taille et le format différaient également.

La combinaison forme, taille et matériaux de l'abreuvoir en PVC convenait mieux aux bovins (Coimbra et al. 2010).

## g. Couleur

La couleur de l'abreuvoir ne semble pas avoir d'impact réel sur le comportement d'abreuvement des bovins. Teixeira et al. (2017) compare des abreuvoirs rouges, verts ou gris et les bovins s'abreuvent sans différence significative entre les différentes couleurs. En revanche, lorsqu'ils choisissent une couleur ils retournent ensuite dans 95 % des cas s'abreuver vers la même couleur. Seule une aversion partielle est relevée pour les abreuvoirs rouges car les bovins choisissant cette couleur passent moins de temps à boire et le nombre de gorgées enregistrées est plus faible.

## h. Pour les veaux

Des abreuvoirs doivent être présents dans les cases à veaux pour subvenir à leur besoin hydrique en complément de l'alimentation lactée. Une hauteur de 50 à 55 cm pour les veaux est recommandée (Capdeville et al. 2014 ; Murgue et al. 2022)

Il faut compter un abreuvoir pour huit à dix veaux en deux points d'abreuvement distincts par case afin qu'ils puissent boire même en cas de souillures ou de concurrence. Cela est valable pour les logements collectifs et individuels (Capdeville et al. 2014).

Certains éleveurs ne possèdent pas d'abreuvoirs au niveau des cases à veaux mais peuvent mettre à disposition l'eau dans des seaux ou des bidons munis d'une tétine. Les veaux ont plus de mal à utiliser les tétines pour l'eau par rapport aux seaux. Ils boivent de plus petites quantités avec les tétines mais de manière plus fréquente (Hepola et al. 2008).

## 2. Les abreuvoirs dans les bergeries et chèvreries

De même que pour les bovins, deux principaux systèmes d'abreuvoirs existent dans les bergeries :

- Les abreuvoirs à poussoir (via une pression de l'animal) qui sont simples à adapter en termes de localisation et suivant la hauteur de la litière (30 à 40 euros sans raccordement).
- Les abreuvoirs à niveau constant, des modèles chauffants existent (de 50 à 200€ pour les modèles chauffants). Ils mesurent environ 15 cm de largeur et un à deux mètres de longueur. Ils sont plus adaptés aux exigences des caprins.

Ils doivent être localisés à l'opposé des auges et si possible en deux points différents pour réduire l'impact des relations de dominance.

La hauteur des abreuvoirs doit être de 70 à 80 cm pour les brebis, de 40cm pour les agneaux et de 100 à 110 cm pour les chèvres avec l'ajout d'un marchepied de 60 cm de hauteur à sa base.

Le nombre d'abreuvoirs conseillé est d'un à deux pour un lot de 40 à 50 brebis. Il faut compter un abreuvoir pour 10 agneaux au démarrage et un abreuvoir pour 40 à 50 agneaux en croissance.

Pour les caprins, un abreuvoir est à prévoir pour 25 chèvres ou pour 25 à 30 chevrettes (Murgue et al. 2022 ; Fagoo et Morel 2022 ; La Buvette 2013 ; Sagot et al. 2015 ; De Cremoux et al. 2021).

### 3. Circuit de distribution de l'eau en bâtiment

#### a. La conception du circuit

Il est essentiel que la conception du réseau de distribution de l'eau d'une exploitation soit simple, indépendante, non altérable, identifiée, la plus courte possible et avec un diamètre de tuyauterie adapté. Elle doit être conçue afin de faciliter l'entretien, il convient d'éviter les tés, les coudes, les culs de sac et toutes dérivations inutiles (Figure 19).

Le départ est centralisé puis un montage en parallèle avec une vanne par abreuvoir est préconisé.



Figure 19 : Départ centralisé et individualisé d'un circuit d'eau  
Source : Boubet 2020

La séparation avec le réseau public via des disconnecteurs ou des clapets anti-retours est une obligation réglementaire. Un compteur est également obligatoire pour l'intégralité de l'eau utilisée dans un élevage (Figure 19).

Le choix des sections de canalisation doit être réfléchi afin d'avoir un débit adapté à la sortie des abreuvoirs. Le débit est proportionnel à la vitesse dans une section donnée (surface circulaire interne d'une canalisation). L'eau doit être mise sous pression dans le circuit de distribution et cette pression va influencer sur la vitesse et donc le débit dans les tuyaux (une pression multipliée par quatre ne multiplie que par deux le débit).

Des cuves de mise en pression sont installées et peuvent être de deux types :

- Les cuves à vessie (membrane polyuréthane) de 4 à 15 bars : il n'y a pas de contact entre l'air et l'eau, elles ont une bonne réserve de pression, sont simples à mettre en œuvre et sont peu encombrantes.

Elles sont plus onéreuses et ne peuvent pas être utilisées pour un traitement par temps de contact. Les coques en acier peint se dégradent plus rapidement que celles en fibre de verre.

- Les cuves en acier galvanisé de 4 à 10 bars : elles sont moins chères, leur durée de vie est supérieure. Elles peuvent également servir de cuve de décantation, de cuve de temps de contact (chloration) ou de cuve d'oxydation du fer.

Elles ont une réserve de pression limitée et sont plus encombrantes.

Il faut limiter les pertes de charge (perte de pression) qui diminuent le débit. Elles varient suivant la rugosité et la réduction interne des canalisations : les coudes, tés, robinets, clapets anti-retours créent des pertes de charge, de même que le colmatage de la tuyauterie avec des dépôts (fer, manganèse, biofilm...).

Les matériaux utilisés pour le circuit de distribution sont importants. Il faut proscrire le plomb et l'étain et éviter l'acier, le galvanisé, l'aluminium et le cuivre sur des eaux agressives. Il faut favoriser l'inox, le PEHD, le polyéthylène simple (PE) ou réticulé (PER), le laiton ou le PVC qui sont peu sensibles à l'agressivité de l'eau et qui limitent les dépôts. L'idéal est le tuyau PEHD de qualité alimentaire protégé par une gaine.

Certains facteurs sont propices à la corrosion :

- Le couple galvanique (exemple : acier sur laiton)
- L'hétérogénéité dans les matériaux (soudures)
- Le dépôt de biofilms
- Une absence de dépôt protecteur avec des vitesses de circulation élevées ou des coups de bélier
- Les courants telluriques ou vagabonds
- Certains paramètres de l'eau elle-même (pH, température, conductivité, gaz dissous...)

En effet, plus le diamètre d'un tuyau est petit et plus il crée de frottements au passage de l'eau, la vitesse sera moindre donc le débit également. L'annexe 2 présente un exemple de débit en fonction du diamètre, de la longueur et du matériau des canalisations, cela donne une idée des réductions de débit qui est fonction des forces de frottements.

Si le circuit passe sous les caillebotis, les canalisations se situent dans la fosse donc sont exposées au froid (des gaines isolantes sont à prévoir). Il faut proscrire les raccordements dans une fosse, s'il passe sous l'aire paillée, la protection et l'isolation des canalisations sont bonnes. Dans ce cas, il faut seulement protéger du froid et des chocs la liaison avec l'abreuvoir (Chambres d'Agriculture de Picardie et du Nord Pas-de-Calais et Institut d'élevage 2015 ; Fulbert 2017).

#### b. La protection contre le gel

Il est primordial de protéger le circuit de distribution de l'eau du gel. Cela permet de protéger les équipements, de ne pas avoir de moment sans abreuvement pour les animaux et de leur distribuer une eau à température stable. En fonction des conditions climatiques, enfouir la tuyauterie entre 50 et 120 cm dans le sol permet de les protéger.

Certains abreuvoirs (isothermes à boule) sont résistants à des températures négatives allant jusqu'à -30°C.

Pour les autres types d'abreuvoirs, des systèmes passifs utilisant l'énergie du sol existent. Des systèmes chauffants actifs au fuel, à l'électricité ou au gaz existent également.

Les installations possibles sont :

- Des résistances électriques basse tension pour réchauffer l'eau en dessous des abreuvoirs.
- Des câbles électriques basse tension enveloppant les canalisations, les raccordements et les abreuvoirs.
- La circulation en continu d'eau chauffée.

Pour limiter les coûts énergétiques, il est possible de récupérer l'énergie créée par le refroidissement du lait dans le tank pour préchauffer l'eau d'abreuvement (Flaba et al. 2014 ; Murgue et al. 2022).

#### *4. Les infrastructures / Conduites de l'eau au pâturage*

En moyenne, les bovins s'abreuvent deux à cinq fois par jour au pâturage mais cela peut aller jusqu'à dix fois. L'abreuvement au pâturage est dépendant de la composition de la ration, de la distance à l'abreuvoir et des conditions environnementales. Au pâturage, une vache boit plus en été qu'au printemps (Gervais et al. 2017 ; La Buvette 2013).

##### *a. L'emplacement*

La proximité du point d'eau devient un élément d'autant plus important au pâturage. Si la distance à parcourir est grande (plus de 200 mètres), moins de temps sera alloué à l'ingestion et à l'abreuvement. Si la distance dépasse 400 mètres, une baisse d'abreuvement et de la production laitière est constatée.

De même, si l'herbe est abondante et que la distance à l'abreuvement est supérieure à 200 mètres, le pâturage des zones éloignées diminue. D'après Goulart et al. (2008) une réduction du pâturage de 7 à 9 % s'observe par tranche de 100 mètres.

En période de fortes chaleurs, les animaux se déplacent moins et restent dans des zones ombragées. Si le point d'abreuvement est trop éloigné les animaux n'iront pas boire. Il ne faut pas positionner l'abreuvement sur le site ombragé non plus car les dominants accaparent la zone et empêchent l'accès à l'eau pour les dominées.

Schütz et al. (2010) montrent que la diminution de l'ombre augmente la consommation d'eau et le temps passé à l'abreuvoir. Une augmentation de rivalité et de comportements de dominance est notée pour l'accès aux zones ombragées.

Comme en bâtiment, il faut éviter les zones sans échappatoires (couloirs, culs -de-sac, ras de clôtures...) pour les dominées. D'après Coimbra (2007), la consommation des dominées peut baisser de 25 % lorsque l'abreuvoir est dans un endroit sans échappatoire. Dans cette étude, des abreuvoirs placés au pâturage dans un couloir (entre deux parcelles) ou dans un enclos montre que les vaches boivent des quantités moindres et moins fréquemment dans les abreuvoirs situés dans le couloir (17 contre 24 litres par jour dans un enclos).

Toujours au pâturage, le nombre de comportements agonistiques est également plus important autour des abreuvoirs situés dans un couloir (entre deux parcelles). L'effet de dominance dans une situation de compétition est exacerbé. Les dominantes boivent plus fréquemment et plus longtemps dans le couloir. Dans l'enclos ce n'est pas le cas, le comportement grégaire et la synchronisation d'activité prennent le dessus. Si les abreuvoirs sont bien positionnés, la fréquence de comportement délétères pour certains animaux baisse (Coimbra, Machado Filho, et Hötzel 2012 ; Broom et Fraser 2007).

Lorsque les vaches pâturent et retournent au robot pour la traite, trois options sont possibles : l'abreuvement au pâturage, l'abreuvement au bâtiment ou les deux.

La fréquentation au robot et la production laitière ne semblent pas impactées par la présence d'eau au pâturage. Lorsque l'eau se trouve uniquement au bâtiment, les animaux mangent moins, se déplacent plus et ont donc des pertes énergétiques supérieures et une production lactée plus faible (La Buvette 2013). La distance robot/pâturage est plus déterminante pour la fréquentation du robot (Spörndly, Wredle 2005).

#### b. Le dimensionnement de l'abreuvement au pâturage

Au pâturage, le dimensionnement de l'abreuvement est essentiel. Il faut tenir compte des besoins en eau en fonction du nombre d'animaux, des conditions environnementales, du débit, de la distance des points d'eau... Cela permet de mettre des points d'abreuvement en conséquence et en nombre suffisant.

Comme évoqué précédemment, les animaux préfèrent boire dans des grands abreuvoirs (Coimbra 2007 ; Pinheiro Machado Filho et al. 2004).

Si les distances avec le point d'abreuvement sont longues (plus de 200 mètres), les animaux se déplaceront moins et en groupes importants. Pour des distances inférieures à 200 mètres, le déplacement des animaux pour boire est plus fréquent et se fait en petits groupes ce qui est bénéfique et limite l'impact de la compétition.

Un point d'eau à moins de 200 mètres doit pouvoir satisfaire un quart de la consommation quotidienne du troupeau en 10 minutes. S'il est situé à plus de 200 mètres, il doit satisfaire la moitié de la consommation quotidienne du troupeau en 10 minutes.

Il vaut mieux augmenter le nombre de points d'abreuvement plutôt que d'augmenter le volume d'un seul. La séparation de ces différents points doit être distant d'une dizaine de mètres afin de limiter l'attente pour boire, les comportements agonistiques et satisfaire un maximum d'animaux simultanément (La Buvette 2013).

#### c. La température de l'eau au pâturage

De la même façon que les animaux évoluant en bâtiment, l'abreuvement de ceux évoluant au pâturage est influencé par la température extérieure. Plus la température ambiante s'élève et plus les besoins en eau seront importants (Partie 1.III.3).

La température de l'eau distribuée au pâturage suit les mêmes règles que celle distribuée en bâtiment. La température idéale de l'eau d'abreuvement pour les ruminants d'élevage toutes espèces confondues se situe entre 8 et 15°C. Les données relatives à ce paramètre physico-chimique sont détaillées dans la partie VIII.3.

Il faut également faire attention lors de périodes de fortes chaleurs à l'eutrophisation et au développement de cyanobactéries dans les eaux d'abreuvement stagnantes (Partie 3.XI.5).

Au pâturage, il est beaucoup plus complexe de maîtriser la température de l'eau bue surtout si les animaux s'abreuvent directement dans un cours d'eau ou dans un bac de pâturage. Pour maîtriser cela, l'abreuvoir recommandé est l'abreuvoir isotherme car il conserve l'eau à température constante ce qui est essentiel en période de fortes chaleurs. L'eau est protégée des souillures et des débris car fermée et il résiste jusqu'à -30°C. Il n'est pas toujours possible d'installer ce type d'équipement ainsi, nous allons présenter tous les équipements possibles au pâturage avec leurs avantages et leurs inconvénients dans les paragraphes suivants (Murgue et al. 2022 ; Gervais et al. 2017 ; De Cremoux et al. 2021 ; La Buvette 2013).

## d. Solutions pour l'abreuvement

### i. Descente aménagée au cours d'eau

Ce n'est pas la solution idéale car cela donne un accès direct aux cours d'eau. Avec ce type d'aménagement, la capacité est évaluée entre 10 et 20 Unités Gros Bétail (UGB) pour une descente de six à sept mètres de large.

Il faut choisir un lieu accessible même en période où les eaux sont basses. Il faut donc positionner des barrières bien ancrées qui empêchent les animaux de rentrer dans le lit de la rivière, tout en permettant l'abreuvement. Deux traverses en hauteur et des barrières de chaque côté pour guider la descente sont à implanter également. Une descente réaménagée avec un terrassement et empierrée ou avec des dalles de stabilisation (Partie 2.VII.4.e) (Figure 26) permet de limiter l'érosion des berges et ainsi la mise en suspension de matières organiques. Il faut nettoyer les déchets pouvant s'accumuler au niveau des barrières pour que l'eau reste courante et la plus propre possible (Figure 20).

Il est également possible de faire un épi réflecteur à l'aide de rochers ou de bois, afin de réorienter le courant vers le point d'abreuvement. Ces travaux sont soumis à déclaration aux services de la police des eaux. Le coût de ce type d'aménagement varie en fonction de la taille et de la localisation mais l'intervalle s'étend entre 800 et 1200 euros généralement (Contrat de rivière Celé 2006 ; Aujay 2009).



Figure 20 : Descente aménagée

Source : Dervenn

### ii. Béliet hydraulique

Ce système utilise la force d'une chute d'eau comme source énergétique. L'eau provenant d'une réserve (retenue, puit...) descend via une canalisation jusqu'au béliet, en comprimant l'air, elle pousse une partie de l'eau vers le lieu d'abreuvement.

Il faut un nombre d'abreuvoirs important pour que l'installation soit envisageable. Le lieu d'implantation diffère selon le rendement. Il nécessite d'avoir défini la capacité à fournir en fonction du débit de la source, de la hauteur de chute de l'eau et de celle d'élévation envisagée.

Le béliet doit être fixé au sol sur un socle bétonné. Les canalisations situées en amont sont en tuyaux de « batterie » (fonte ou acier car une forte pression est exercée), les canalisations en aval sont en tuyaux de « refoulement » (PE de 25 mm de diamètre).

L'eau non utilisée peut-être renvoyée vers le réseau hydrographique superficiel (fossés). Il nécessite une protection contre le gel, sinon il faut le vidanger et le désamorcer l'hiver. La vérification de la crépine s'effectue régulièrement pour éviter un phénomène de colmatage. Le coût du béliet hydraulique varie de 800 à 3300 euros (Figure 21) (Contrat de rivière Celé 2006 ; Aujay 2009).

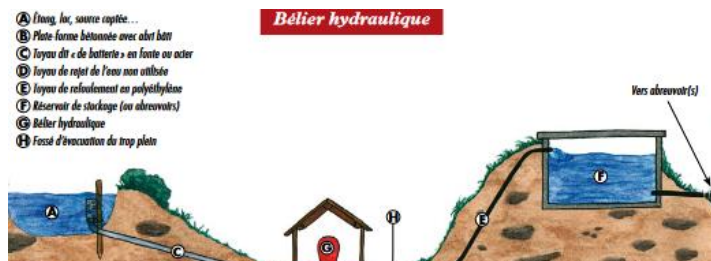


Figure 21 : Fonctionnement béliet hydraulique Source : Contrat de Rivière Celé 2006

### iii. Pompes de prairie

Le principe est un poussoir actionné par l'animal pour aspirer l'eau qui remonte et se retrouve dans un petit bol en dessous lors du relâchement de pression. Un clapet anti-retour permet d'éviter le désamorçage. Ce système peut aspirer jusqu'à sept mètres de profondeur et 70 mètres en longueur. Le mécanisme est assez souple il est donc utilisable par des veaux à partir de six mois (mais pas par les petits ruminants).

Il existe un modèle pour les vaches allaitantes suitées avec un petit bol sur le côté destiné aux veaux. Ce système nécessite tout de même un apprentissage, il faut le disposer au préalable ou montrer aux animaux en l'actionnant soit même. Le volume est de 0.5 litre par aspiration, le débit étant faible cela se destine à des animaux avec de faibles besoins en eau et une faible compétition pour l'eau. Il faut mettre un nombre en adéquation avec la taille du troupeau. Les recommandations sont d'une pompe pour 15 animaux en croissance et d'une pour 10 adultes. Si plusieurs pompes sont présentes, les espacer d'environ 10 mètres.

C'est un système de pompage, la crépine doit être suffisamment immergée. Une surveillance de son colmatage est requise, il est possible de la placer dans une buse pour la protéger. La pompe peut-être fixe ou mobile, son raccordement doit être non accessible au bétail et il est conseillé de la surélever de 30 cm. En période hivernale, elles sont à désamorcer et à vidanger. Le coût d'une pompe est d'environ 350 euros sans les aménagements (Figure 22) (La Buvette 2013 ; Contrat de rivière Celé 2006 ; Aujay 2009).



Figure 22 : Pompe de prairie Source : La Buvette

#### iv. Système éolien

Pour ce système, c'est une petite éolienne que le vent entraîne. L'énergie produite est transmise à une pompe mécanique pour alimenter l'abreuvoir ou la citerne de stockage dépendant de ce mécanisme. Il est implantable pour puiser l'eau d'un forage, d'une rivière, d'un étang... Sa fixation sur un socle bétonné est primordiale.

La pompe de ce mécanisme doit avoir une capacité élevée (600 L/h pour des génisses ou des vaches allaitantes et 1000 L/h pour des vaches laitières) car son activité journalière est réduite suivant la météorologie. De plus, les périodes de fortes chaleurs sont souvent synonymes de peu de vent. La parcelle devra être suffisamment et régulièrement exposée durant la période de pâture. Avec ce genre d'équipement, il y a des règles d'urbanismes à respecter selon la mairie concernée. Une révision des pièces de l'éolienne et de la pompe est à prévoir annuellement. L'achat d'une éolienne coûte entre 1500 et 7200 euros (Figure 23) (La Buvette 2013 ; Contrat de rivière Celé 2006 ; Aujay 2009).



Figure 23 : Système éolien  
Source : La Buvette

#### v. Abreuvoirs solaires

Des panneaux solaires positionnés sur un mat au-dessus de l'abreuvoir peuvent le recharger en eau lorsque le capteur de niveau situé à l'intérieur se déclenche. Une pompe immergée dans une réserve (forage, puit, lac...) sert d'approvisionnement lorsque le capteur la déclenche, le reste du temps l'électricité produite est stockée dans des batteries même lorsque le temps est couvert.

La pompe permet d'aspirer l'eau jusqu'à 20 ou 50 mètres de profondeur selon le modèle. Le débit de pompage varie de 160 à 360 litres par heure mais diminue proportionnellement à la profondeur d'aspiration.

Le bac d'abreuvement peut être de 900 litres (2200 litres pompés par jour) ou de 1500 litres (3500 litres pompés par jour), avec de telles consommations quotidiennes le système possède 10 jours d'autonomie.

Il faut estimer le besoin hydrique et le nombre d'abreuvoirs en conséquence car le maximum de rendement se tient au moment où les animaux ont le plus soif.



Il est important que l'ancrage soit solide, avec une exposition solaire forte tout au long de la journée (se méfier de l'ombre qui varie). Le matériel doit être retiré et stocké en hiver, surtout les batteries qui craignent le gel. Le coût s'élève entre 3000 et 4000 euros en fonction de la capacité de contenance des bacs (Figure 24) (La Buvette 2013 ; Contrat de rivière Celé 2006 ; Aujay 2009).



Figure 24 : Abreuvoir solaire Source : La Buvette

#### vi. Pompages solaires

Reposant sur le même principe que les abreuvoirs solaires, il est possible d'utiliser seulement le kit de pompage solaire (panneaux photovoltaïques, pompe ...) (Figure 24). Il existe avec ou sans les batteries de stockage. Avec les batteries, c'est la même installation que pour les abreuvoirs solaires. Sans les batteries, la pompe reliée aux panneaux solaires démarre dès que la luminosité le permet. La citerne de stockage devra être conséquente pour assurer un remplissage des abreuvoirs pendant plusieurs jours consécutifs en cas de mauvais temps. Cependant, la puissance de l'équipement dépourvu de batteries est limitée à 360 litres par heure.

Ce kit peut s'adapter sur une citerne de stockage, un bac, une tonne à eau ou autre. A partir de cet équipement, il est possible de créer un réseau desservant différents abreuvoirs dans diverses pâtures à partir d'une seule citerne de stockage centrale (La Buvette 2013 ; Contrat de rivière Celé 2006).

#### vii. Bacs de pâtures

Les bacs de pâture peuvent être alimentés par l'eau du réseau, par gravité, ou par une tonne à eau. En fonction des besoins (nombre d'animaux, emplacement...), il existe différentes tailles comprises entre 70 et 1500 litres et différentes formes (ronds, rectangulaires, ovales) afin de s'adapter à toutes les situations. Ils sont généralement réalisés en PE Poly choc traité anti-UV.

Les bacs connectés à l'eau du réseau ont un approvisionnement sécurisé en quantité et l'eau est de bonne qualité. Cette pratique se réserve surtout aux pâtures proches de l'exploitation car au-delà de 1000 à 1500 mètres, le coût de mise en place (canalisations, enfouissement...) devient très élevé. Ces bacs sont équipés d'une robinetterie à flotteur (36 L/min) pour maintenir un niveau constant, il faut les protéger du bétail par un capotage intégré au bac.

Les canalisations sont enterrées entre 60 et 80 cm de profondeur en fonction du climat et de la typologie du sol, pour être protégées du gel en hiver et éviter le risque d'écrasement par le poids des engins agricoles.

Pour créer un réseau complet d'adduction d'eau au niveau de ses parcelles, il est important de choisir le bon diamètre de tuyaux (Partie 2.VII.1.d).

Ces bacs de pâture peuvent être alimentés par l'eau d'une retenue située en contre-haut, grâce à la gravité et une pente de 2 % minimum. Deux possibilités existent :

- Equiper le bac d'une robinetterie à flotteur fonctionnant en basse pression (< 1 bar)
- Créer un trop plein qui renverra l'excédent d'eau vers le ruisseau.

L'approvisionnement peut se faire à l'aide d'une tonne à eau :

- La tonne à eau est laissée en permanence dans la pâture et les bacs sont équipés de robinetteries à flotteurs basse pression, donc alimentés en continu.
- Les bacs de pâture sont remplis régulièrement par l'éleveur (ou parfois aussi à l'aide d'une pompe motorisée en aspirant l'eau dans une réserve).

Dans ces deux cas, sauf négligence de la part de l'éleveur, l'approvisionnement quantitatif est sécurisé. La contrepartie est que la corvée d'eau est très chronophage, consommatrice de carburant pour les tracteurs et le coût est donc relativement fort sur une saison de pâture.

Comme pour les autres dispositifs, un ancrage solide est requis et un espacement entre les bacs est conseillé. Il existe un système anti-noyade pour la faune sauvage (rongeurs, oiseaux, amphibiens) afin de limiter la transmission d'éventuelles maladies.

Des bacs de taille réduite existent que l'on peut fixer directement à la citerne pour les petits lots d'animaux et éviter d'avoir un gros dispositif à mettre en place. Un bac de pâture de 1000 litres vaut entre 200 et 300 euros (Figure 25) (La Buvette 2013 ; Contrat de rivière Celé 2006 ; Aujay 2009).



Figure 25 : Bac de pâture Source : La Buvette

### viii. Abreuvoirs isothermes

Les animaux buvant dans ce type d'abreuvoir renouvellent l'eau qui est maintenue dans une petite réserve à température constante dans le bac grâce aux doubles parois isolées avec de la mousse polyuréthane. La boule s'actionne comme un poussoir pour accéder à l'eau, ce qui limite les échanges thermiques avec l'extérieur.

Ils sont équipés d'une robinetterie haut débit compatible avec une alimentation par l'eau du réseau. Une robinetterie basse pression est adaptable, permettant une alimentation gravitaire.

En période chaude, ils conservent l'eau fraîche, l'avantage est de limiter le développement des micro-organismes. L'obscurité est maintenue dans le bac via la boule, les algues ne peuvent donc pas se développer. Elle contribue également à la propreté de l'eau en empêchant des débris de végétaux de tomber dedans ou la faune sauvage de le contaminer en venant s'abreuver. En période froide, ils résistent au gel jusqu'à -30°C.

Les abreuvoirs isothermes doivent être ancrés sur un socle en béton permettant de garantir une isolation efficace et propre au niveau de l'arrivée d'eau située en-dessous. La hauteur du socle en béton préconisée est d'environ 20 cm pour assurer une position de buvée physiologique aux animaux. Le nettoyage doit se faire régulièrement, l'hiver il faut couper l'alimentation d'eau et les vidanger s'ils ne servent pas. Le coût varie entre 500 et 1000 euros suivant s'il est mono ou biplace (Figure 17) (La Buvette 2013 ; Contrat de rivière Celé 2006).

#### e. Aménagement aux abords

Pour ce qui est des abreuvoirs et autres équipements pour l'abreuvement, il est possible de stabiliser le périmètre autour pour limiter les dégradations dues aux piétinements et à l'accumulation d'eau en cas de projections ou de fortes pluies.

Bétonner est une solution mais cela comporte de nombreux inconvénients du fait de l'étanchéité totale de ce type de matériau. L'eau s'accumule en périphérie créant de la boue et souvent une marche. Un béton mouillé est à risque de chutes. L'empierrement est possible aussi et plus drainant mais au fur et à mesure les cailloux vont s'éparpiller ce qui peut entraîner des problèmes de boiteries.

Des dalles de stabilisation assemblées en grille existent. Elles sont en matière synthétique, de 55 mm de haut et à enterrer juste sous la surface du sol. Une fois remplie de cailloux (2/8), les dalles stabilisent, drainent et renforcent les sols adjacents au point d'eau. Le poids des animaux se répartit sur l'ensemble des dalles situées sous leurs onglons (soit 1 m<sup>2</sup> (4 dalles) au lieu de 180 cm<sup>2</sup> (4 onglons x 45 cm<sup>2</sup>)). Comme le sol n'est plus tassé par les onglons, il garde son pouvoir filtrant pour l'eau des précipitations, les urines et les fèces.

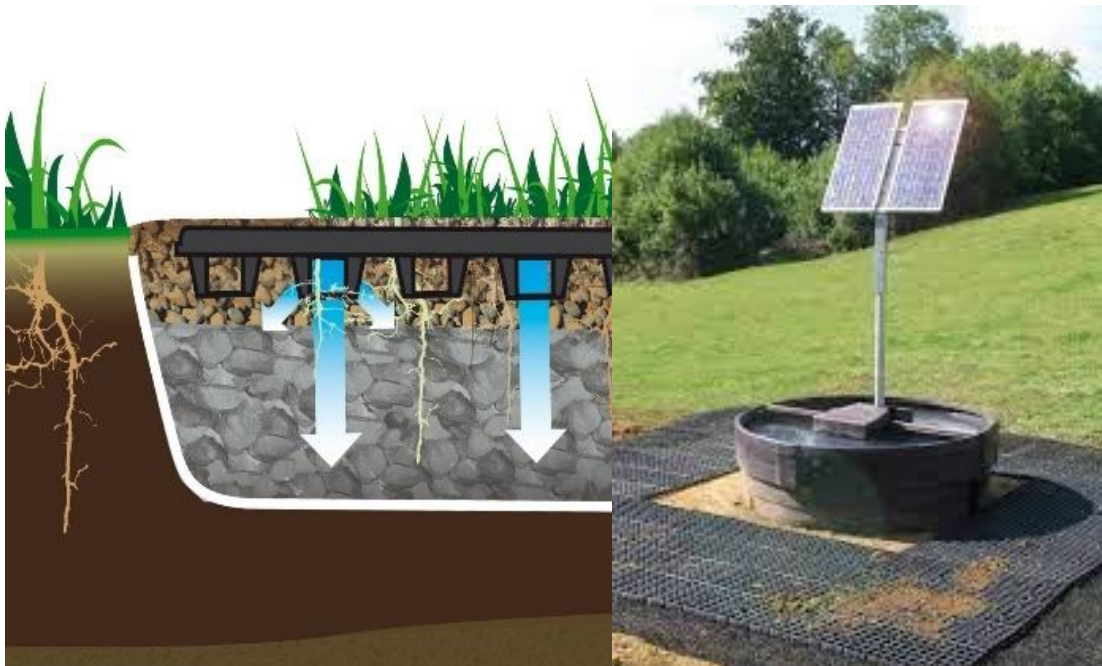


Figure 26 : Dalles de stabilisation

Source : La Buvette

Il est important de bien dimensionner la zone à renforcer à partir du nombre et de la taille des animaux, de la taille et de la localisation du point d'abreuvement.

En considérant une vache adulte mesurant 2,6 mètres du mufle à la queue, la règle à retenir est qu'il faut minimum 3 mètres autour de chaque accès. Ainsi 30 m<sup>2</sup> seront nécessaires autour d'une pompe de pâture positionnée contre une clôture et 60 m<sup>2</sup> pour un abreuvoir solaire avec des accès sur tout son périmètre. Pour les moutons (1,2 mètre du mufle à la queue), il faut compter minimum 2 mètres autour de chaque accès. Le coût est d'environ 40 euros par dalles (Figure 26) (La Buvette 2013).

#### f. Réglementation

Comme énoncé précédemment (Partie 2.VI.2.c), la majorité des équipements et des aménagements touchant à la ressource hydrique sont soumis soit à Déclaration soit à Autorisation au titre de la Loi sur l'eau (Décrets 93-742 et 2006-880 codifiés).

Concernant les descentes aménagées, les travaux sont soumis aux démarches suivantes (Légifrance 2006) :

- Pour un détournement, une dérivation ou un reprofilage, si la longueur ne dépasse pas 10 mètres une Déclaration avec procédure simplifiée suffit. Entre 10 et 100 mètres une Déclaration est nécessaire. Au-delà de 100 mètres une Autorisation est requise.
- Pour une consolidation de berge, en deçà de 20 mètres de longueur une Déclaration avec procédure simplifiée suffit. Entre 20 et 200 mètres une Déclaration est requise et au-delà de 200 mètres une Autorisation est nécessaire.

### ***5. L'entretien du réseau d'eau dans une exploitation***

Il est essentiel d'entretenir ce réseau car les vaches démontrent une large préférence pour l'eau potable et non souillée (Partie 3.XI.1). Cela permet d'assurer la pérennité des infrastructures et donc un coût diminué dans le temps.

#### a. L'entretien du circuit de distribution

Différents traitements sont envisageables concernant le nettoyage des canalisations du circuit de distribution de l'eau. Ils seront adaptés suivant la visée recherchée (élimination des matières en suspension, du fer, des contaminants bactériologiques...)

- Le nettoyage mécanique consiste à envoyer de l'air comprimé avec de l'eau au sein des canalisations pour créer des turbulences ou à faire passer un furet.
- Le nettoyage chimique des dépôts utilise des produits en concordance avec la cible visée. Les acides chlorhydrique, phosphorique éliminent les dépôts de tartre et de fer, la soude est utilisée pour la matière organique, et le peroxyde hydrogène contre le biofilm. L'action du chlore est limitée sur les dépôts (Partie 5.XVII).
- Le nettoyage chimique pour la désinfection s'effectue à base de chlore ou de peroxyde d'hydrogène. La méthode d'utilisation de manière circulante est plus efficace que la méthode consistant à laisser le produit stagner dans le circuit. La désinfection peut se faire de manière séquentielle via une pompe doseuse (Ex : 60 à 150 mg/l de peroxyde sur une semaine). Le surdosage est dangereux pour la santé des animaux et l'intégrité des matériaux du circuit (Partie 5.XVII).

Cet entretien peut se réaliser durant le vide sanitaire, un nettoyage avec une base forte ou un acide fort sera suivi d'un rinçage. De l'iode ou du chlore peut être laissé un laps de temps dans les canalisations pour décoller les dépôts restants.

Il peut se faire hors période de vide sanitaire (après un traitement de l'eau de boisson au peroxyde par exemple) (Fulbert 2017).

#### b. L'entretien des abreuvoirs

Ce sont les abreuvoirs qui sont le plus sujet aux souillures et aux contaminations notamment fécales, une attention particulière doit leur être portée. L'apport de bactéries fécales et de résidus alimentaires par le bétail est favorable à la prolifération de germes pathogènes (coliformes, streptocoques, staphylocoques) (Fulbert 2017).

De faibles teneurs de fèces dans l'eau d'abreuvement affectent la consommation des ruminants. Dès 0.05 mg de fumier par gramme d'eau, ils réduisent leur consommation par rapport à l'eau propre (Willms et al. 2002). Une concentration de 2,5 grammes de fèces par litre d'eau affecte la consommation en eau et à partir de 5 grammes de fèces par litre d'eau l'ingestion de matière sèche est également réduite (La Buvette 2013). « Cette information est essentielle lorsque l'on sait que plus de 25 % des animaux venant s'abreuver dans un point d'eau y défèquent. Dans un cours d'eau, lorsque les animaux marchent dans le point d'eau, ils remettent en suspension la vase ce qui contribue à en dégrader la qualité » (La Buvette 2013).

Les bovins sont sensibles au goût et à l'odeur de leurs aliments mais aussi de l'eau. D'après Burkhardt et al. (2022), les abreuvoirs propres et nettoyées quotidiennement sont préférés par les bovins. Dans ces abreuvoirs, les pauses lors de la prise de boisson sont moins nombreuses et plus courtes. Une recommandation de nettoyage et de vidange hebdomadaire est conseillée mais la surveillance reste quotidienne et doit être un réflexe pour garder une eau de qualité (Gervais et al. 2017).

La distribution de l'eau en bâtiment se fait via les abreuvoirs.

Les abreuvoirs individuels sont recommandés pour les lieux avec peu d'animaux, les box d'isolement ou dans les étables à l'entravée.

Les abreuvoirs collectifs sont préconisés pour les troupeaux notamment laitiers conséquents, et ceux dont les animaux restent longtemps bloqués aux cornadis.

Des règles d'installation sont à retenir : un emplacement en différents points qui limite la compétition où les animaux n'ont pas plus de 20 mètres à parcourir, un nombre et une taille adaptés au nombre d'animaux à abreuver, un débit correct (15 L/min), une hauteur adaptée (80 cm) et des matériaux adéquates. Ces installations doivent être chauffées si besoin et protégées du gel.

Au pâturage, l'emplacement est primordial et les animaux doit pouvoir s'abreuver dans un rayon de 200 mètres. Il est également important de dimensionner son abreuvement en fonction de son troupeau. La température de l'eau est plus compliquée à maîtriser qu'en stabulation, mais elle doit être autour de 10-15°C de façon constante pour limiter les problèmes sanitaires.

Beaucoup d'équipements existent pour l'abreuvement des ruminants au pâturage (système éolien, solaire, bacs de pâture...). Le choix revient à l'éleveur et est à considérer en fonction des possibilités et du coût des aménagements, du nombre de bêtes, du coût de la « corvée d'eau », de la localisation, du climat ...



## **PARTIE 3 : L'ASPECT QUALITATIF DE L'EAU D'ABREUUREMENT**

### **VIII. Qualité Physico-chimique de l'eau d'abreuvement**

Outre l'aspect quantitatif et le mode de distribution développés précédemment, il est essentiel que l'eau distribuée aux animaux soit qualitative en ce qui concerne ses paramètres physico-chimiques. Pour cela, des normes ont été étudiées et sont recommandées pour chacun de ces paramètres.

#### **1. Le pH**

Le pH est une mesure décrivant la concentration en ions d'hydrogène, donc le caractère acide ou basique d'une solution (ici l'eau). Son échelle varie entre 1 et 14 unités. En situation de thermoneutralité, 7 est le point de neutralité. Ainsi, entre 1 et 7 une eau sera qualifiée d'acide et entre 7 et 14 de basique. D'après l'Organisation Mondiale de la Santé (2007), le pH de l'eau acceptable pour les ruminants est compris entre 6.5 et 9.5.

Les problèmes liés à une eau acide chez les ruminants surviennent plutôt avec un pH inférieur à 5.5. L'impact majeur sur leur santé est un risque d'acidose métabolique avec une baisse d'ingestion de la ration associée (Olkowski 2009). D'après le rapport de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), jusqu'à un pH de 5, il n'y a pas de conséquences relevées sur les animaux. Schmidely et al. (2010) définissent une eau d'agressive si son pH est inférieur à 6, de corrosive si son pH est inférieur à 7 avec une conductivité inférieure à 200 ou supérieure à 1100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Pour ces eaux, ils déconseillent d'utiliser des matériaux métalliques pour la conduite et le stockage, le problème majeur avec un pH acide étant la corrosion de la tuyauterie.

Cottee et al. (2004) montrent que lors d'une acidose ruminale subaiguë (SARA) provoquée, le moment où le pH ruminal des vaches est le plus bas concorde avec une augmentation de la consommation d'eau. Si l'eau distribuée est acide, ce phénomène pourrait s'accroître et entraîner un cercle vicieux.

L'alcalinité d'une eau résulte de la somme des métaux alcalins (sodium, potassium, rubidium, lithium...) s'y trouvant. Ils provoquent des réactions chimiques et forment des hydroxydes alcalins faisant augmenter le pH. Une eau avec un pH supérieur à 8.5 est qualifiée d'alcaline et un risque d'alcalose métabolique est envisageable pour les bovins (Olkowski 2009).

Si le pH de l'eau est supérieur à 9, le chlore s'avère inefficace pour le traitement de l'eau (Organisation Mondiale de la Santé 2007).

Pour les vaches laitières, un lien est établi entre l'état d'acidose ou d'alcalose métabolique et des répercussions sur leur fécondité, leur GMQ, leur production de lait et le taux butyreux (TB) de leur lait (Olkowski 2009).

#### **2. Dureté**

La dureté représente la somme des concentrations de calcium et de magnésium exprimée en quantités équivalentes de carbonate de calcium (Chayer 2021).

Le fer, le strontium, le zinc et le manganèse jouent également un rôle moindre dans la dureté d'une eau. La concentration des eaux en calcium est liée à la constitution des sols, une eau en contact avec un sol calcaire aura des concentrations en calcium plus élevées (Olkowski 2009).



Elle est mesurée par le titre hydrométrique (TH) et s'exprime en France par le degré français (°F). Un degré français équivaut à 4 mg de calcium ou 2.4 mg de magnésium par litre d'eau.

Il est conseillé d'avoir une eau qualifiée de douce, d'une dureté comprise entre 10 et 20°F. L'idéal est une dureté inférieure à 15°F.

D'après Olkowski (2009), une eau avec 500 mg de carbonate de calcium par litre est propice à l'entartrage des circuits d'eau, de même avec une concentration de 200 mg de carbonate de calcium par litre si celle-ci est chauffée.

Une importante concentration de minéraux a pour conséquence un dysfonctionnement au niveau de l'approvisionnement de l'eau, avec une accumulation de dépôts insolubles de calcium et de carbonates de magnésium. Cet entartrage des canalisations accentué par contact avec une surface chauffée entraîne une réduction de la disponibilité en eau dans les abreuvoirs.

En élevage de « veaux de boucherie », les vétérinaires rapportent qu'une eau d'abreuvement trop dure est délétère pour les veaux, c'est également le cas de l'eau utilisée pour préparer l'aliment lacté. Le calcium présent en quantité dans une eau dure rend indisponible le fer alimentaire en le chélatant. Il a la capacité de fixer des éléments sous forme cationique tel que le fer, formant ainsi un complexe soluble éliminé par la suite par le rein. Le taux d'hémoglobine de ces veaux est également plus bas, leur croissance est ainsi impactée, leur GMQ diminué et la couleur de la viande est plus claire. Des veaux élevés avec une eau plus douce (inférieure à 20°F) présentent une couleur de viande plus rosée que des veaux élevés avec une eau dure. La viande issue de l'élevage de « veau de boucherie » recherche une viande blanche pour le consommateur. Une anémie ferriprive est volontairement recherchée avec un aliment pauvre en fer or, la dureté de l'eau peut également impacter ce paramètre (Beckers et al. 2002 ; Gervais 2002).

### 3. *Température*

La température à laquelle l'eau doit être distribuée pour l'abreuvement des bovins est le paramètre physico-chimique le plus étudié. Quelle que soit l'espèce ou la classe d'animaux étudiée, une eau chauffée ou à minima à température ambiante semble être plus propice à un abreuvement suffisant et à la santé des animaux en comparaison avec une eau froide. Cela est à tempérer en fonction des conditions environnementales dans lesquelles sont effectuées les études.

La température d'eau d'abreuvement idéale pour les bovins se situe entre 8 et 15°C (Murgue et al. 2022 ; Gervais et al. 2017).

Andersson (1985) a montré que la consommation des vaches laitières est plus basse pour une eau à 24°C par rapport à de l'eau à 3, 10 ou 17°C. La consommation de la ration, celle du sel, la composition du lait, le poids vif et la rumination n'étaient pas affectés.

Une étude sur des bovins allaitants a comparé différents paramètres de production en fonction d'une eau distribuée à température ambiante contre une eau chauffée à 25°C. Les poids moyens étaient égaux à la fin de l'étude, en revanche, le GMQ ainsi que la prise alimentaire étaient supérieurs pour le groupe recevant l'eau chauffée (Grossi et al. 2021). Le GMQ augmente considérablement (de 30 %) entre une eau distribuée chauffée (>17°C) et une eau froide (<5°C), il en est de même pour la consommation d'eau (Chen et al. 2015).

Le poids de la carcasse à froid et les scores E.U.R.O.P étaient plus élevés pour le groupe avec un abreuvement chauffé (Grossi et al. 2021).



L'eau chauffée est donc bénéfique pour la production globale en atelier bovin, il est également positif concernant la stabilité ruminale et donc l'efficacité de transformation de la ration par le microbiote. Cela a été mis en évidence par la pose de bolus de mesures dans le réticulum. L'eau chauffée permet de réduire le temps durant lequel le pH ruminal est inférieur à 5.8 et celui où la température ruminale descend sous le seuil des 37-39°C (Grossi et al. 2021).

Une eau froide (5°C) diminue considérablement la température ruminale (environ 9°C) et entraîne une durée pour revenir à la température ruminale basale beaucoup plus longue, à l'inverse d'une eau chauffée (Bewley et al. 2008 ; Petersen et al. 2016 ; Cantor, Costa, et Bewley 2018).

Les veaux préfèrent une eau tiède (16-18°C) à une eau froide (6-8°C). Pendant la période de présevrage, leur consommation est plus haute de 47 % avec l'eau tiède ce qui n'est pas le cas durant le post-sevrage. Une température d'eau tiède n'augmente pas les paramètres de performances : ration consommée, GMQ, statut immunitaire et santé globale des veaux selon Huuskonen, Tuomisto, et Kauppinen (2011).

Pour les caprins, la température de l'eau d'abreuvement idéale est environ de 10°C (De Cremoux et al. 2021). Une étude comparant la distribution d'une eau « froide » (15°C) et d'une eau « chaude » (35°C) dans deux environnements thermiques différents (18.5 et 39.5°C) a montré que pour les deux environnements thermiques, les chèvres ont bu davantage d'eau qualifiée de « chaude » (Olsson, Hydbring 1996).

La température de l'eau d'abreuvement idéale se situe entre 8 et 14 °C pour les ovins (Murgue et al. 2022 ; Sagot et al. 2015). Les moutons consommant une eau chaude (26.8°C) en hiver augmentent leur consommation d'eau par rapport à ceux buvant une eau froide (5.4°C) (Shiga 1986).

#### *4. Nitrates / Nitrites*

Ce sont les formes oxydées de l'azote présentes naturellement dans l'eau via le lessivage des sols ou celles produites dans les sols, avec une prédominance des nitrates. Des variations brusques sont possibles en fonction de la localisation et des activités anthropiques proches des cours d'eau ou des lieux de captages.

Les eaux souterraines sont sujettes à contenir des niveaux élevés de nitrates naturellement mais en général, des concentrations élevées de nitrates et de nitrites dans les sources d'eau souterraine et dans l'eau de surface signent une contamination via l'utilisation excessive d'engrais azotés, un épandage de fumier trop important, des écoulements provenant des aires d'attente du bétail ou des fuites de fosses septiques et d'effluents urbains.

Si les nitrates sont présents dans l'eau d'abreuvement, leur transformation lors de la digestion et leur réduction par les bactéries du rumen va donner des nitrites plus toxiques. Les ruminants sont donc sensibles et ce paramètre est important

Il est important d'avoir conscience que c'est le cumul des nitrates dans l'eau et l'alimentation qu'il faut prendre en compte même si leurs quantités respectives semblent correctes.

Les normes sont variables suivant si l'on considère la teneur propre en azote (N) contenue dans les nitrates (N-NO<sub>3</sub>) avec une norme inférieure à 10 mg/L, ou si l'on s'intéresse à l'ion nitrate (NO<sub>3</sub>) avec une norme inférieure à 44 mg/L (Olkowski 2009).

En général, les recommandations se basent sur l'ion nitrate (NO<sub>3</sub>). Une eau est dite potable si la concentration en nitrates est inférieure à 50 mg/L et celle en nitrites inférieure à 0.1 mg/L. L'eau est acceptable entre 50 et 100 mg/L de NO<sub>3</sub>, si les autres paramètres physico-chimiques et microbiologiques se situent dans les normes.

Si ces derniers ne le sont pas, l'eau sera de médiocre qualité voire dangereuse. Ces deux paramètres sont toujours analysés en routine dans les analyses d'eau. L'EDCH fixe une limite de concentration en nitrites de 0.5 mg/L, en sortie des installations de traitement elle doit être inférieure à 0.1 mg/L (Schmidely et al. 2010).

« On considère généralement que des concentrations de nitrates inférieures à 400 mg/L dans l'eau d'abreuvement ne devraient pas présenter de risque pour la santé des animaux. Le bétail devrait pouvoir tolérer des concentrations de nitrates plus élevées dans l'eau d'abreuvement dans la mesure où la nourriture a une faible teneur en nitrates. Selon les quantités de nitrates contenues dans la nourriture, le type de bétail et d'autres facteurs, tels que l'âge et l'état physique de l'animal, des concentrations de nitrates allant jusqu'à 1 500 mg/L peuvent être tolérées, au moins lorsqu'il s'agit d'une exposition à court terme. En revanche, des concentrations de nitrites dépassant 30 mg/L présentent un risque pour la santé des animaux », ainsi d'après Olkowski (2009), les normes peuvent être largement dépassées sans que des répercussions soient observées, mais cela reste déconseillé.

Les symptômes causés par une intoxication aux nitrates et aux nitrites peuvent être très variables mais la méthémoglobinémie causée par les nitrites est toujours présente et est la plus significative. Elle entraîne une réduction du transport d'oxygène. A cela peut s'ajouter une détresse respiratoire, de l'écume oculaire, des convulsions et même la mort (Olkowski 2009).

Les nitrates altèrent la fonction thyroïdienne et par conséquent la croissance. Une baisse du sérum, une augmentation du poids de la glande et des modifications histologiques de la glande sont décrites avec des doses en nitrates entre 150 et 450 mg/L durant cinq mois chez le rat (Zaki et al. 2004).

Finalement, il n'y aurait pas de lien direct entre les nitrates et les effets tératogènes ou néfastes sur la reproduction chez l'homme si l'on consomme de la viande bovine exposée de manière chronique aux nitrates comme cela avait pu être affirmé auparavant (Ward et al. 2005).

Des intoxications aux nitrates sont rapportées en Inde avec six bovins morts et d'autres en détresse respiratoire accompagnée de sialorrhée. Des concentrations en nitrates de 1500 mg/L ont été mis en évidence dans l'eau mais de telles concentrations ne sont pas rapportées en France (Sarathchandra et al. 1997).

Un cas de veaux et de bovins adultes morts avec une eau à 2 200 mg/L de nitrates a également été décrit par Winks (1963). De telles teneurs restent rares et dépassent largement les normes recommandées.

## 5. Sulfates

Le soufre est présent dans l'eau sous différentes formes mais essentiellement sous la forme sulfate. Certaines eaux subissent une réduction importante, la forme sulfure sera alors présente caractérisée par l'odeur d'œufs avariés et une détérioration de leur goût. Comme pour les nitrates, le cumul des sulfates présents à la fois dans l'alimentation notamment dans certaines plantes et l'eau d'abreuvement peut se révéler toxique pour les ruminants.

Ils font partie des espèces les plus sensibles car une réduction des sulfates en sulfures s'effectue dans le rumen via la flore ruminale. Le sulfure est ensuite absorbé et oxydé en sulfite puis à nouveau en sulfate dans les tissus. Le sulfate est par la suite recyclé dans le rumen via la salive. Un excès de soufre entraîne donc une augmentation des bactéries réductrices de soufre au sein du rumen (Olkowski 2009).

Weeth et Hunter (1971) ainsi que Grout et al. (2006) rapportent que de fortes concentrations en sulfates entraînent une baisse de consommation d'eau par les bovins.

Le soufre représente 33 % de l'ion sulfate. Régulièrement, la norme de 1000 mg/L est évoquée comme étant sans danger pour la plupart des espèces. Or, comme les ruminants sont plus sensibles, la concentration de sulfates retenue dans l'eau d'abreuvement des ruminants est de 250 mg/L (Olkowski 2009 ; Schmidely et al. 2010).

De nombreux cas terrain ont été rapportés concernant des intoxications et des pertes de production où les sulfates présents dans l'eau étaient incriminés : des pertes de GMQ de 1 à 1.39 livre par jour sont observées quand la concentration de sulfates de l'eau d'abreuvement passait de 400 à 3100 mg/L selon Patterson et al. (2002).

Une intoxication de vaches laitières présentant de l'anorexie, une chute de production, ainsi que de la diarrhée et de la mortalité sur les veaux ont révélé une teneur de 2200 mg/L de sulfates dans l'eau du forage de l'exploitation (Schmidely et al. 2010).

Un excès de consommation de soufre par les ruminants via l'eau d'abreuvement a été retenu plusieurs fois comme agent responsable de nécrose du cortex et de polioencéphalomalacie (PEM). Les bovins en croissance sont à risque de PEM trois à six semaines après une exposition supérieure à 2500 mg/L de sulfates dans l'eau (Olkowski, Christensen, et Rousseaux 1991 ; Patterson et al. 2002).

Les symptômes peuvent être aiguës : décubitus, cécité, crises d'épilepsie mais aussi subaiguës : marche en cercle, ataxie, signes neurologiques. Un traitement à base de thiamine est envisageable si l'affection est diagnostiquée précocement (Olkowski 2009).

Le soufre présente des interactions avec de nombreux nutriments. Une altération de la synthèse de vitamine B ruminale est possible si le soufre est présent en quantité importante dans le tractus digestif (Olkowski et al. 1993) ou dans le sang (Olkowski, Christensen, et Rousseaux 1991).

Une rétention du calcium et du phosphore peut se produire à cause des sulfates d'après Tucker et al. (1991).

L'alliance du soufre et du molybdène peut affecter le métabolisme du fer, du manganèse, du magnésium, du phosphore et surtout du cuivre (Boila, Golfman 1991).

Une carence en cuivre le rendant indisponible pour l'animal se crée s'il est exposé à long terme au soufre. Il y a formation de sulfure de cuivre insoluble qui est accrue avec la présence de molybdène avec lequel le soufre agit en synergie. C'est sans doute le problème majeur dans les élevages de ruminants avec une teneur en soufre de l'eau forte. Les signes cliniques marquants sont des retards de croissance et une qualité du pelage altérée (Gooneratne, Buckley, Christensen 1989).

## *6. Carbone Organique Total (COT)*

C'est une mesure de la quantité totale des composés organiques qui est contenue dans l'eau (en mg/L). Ces composés organiques qui contiennent du carbone peuvent être présents sous différentes formes : liquide, en suspension, dissoute ou non. La matière organique peut provenir de manière naturelle du métabolisme des organismes vivant et du lessivage des sols. La majorité est d'origine anthropique avec les rejets industriels, urbains et agricoles (engrais, lisier...).

La teneur en matières organiques de l'eau varie en fonction de son origine. Les eaux de surface ont des teneurs très variables en fonction de la localisation et des conditions météorologiques, elles varient entre 5 et 12 mg/L.

Les eaux souterraines ont normalement de très faibles teneurs (inférieures à 5 mg/L). Si ce n'est pas le cas, c'est un marqueur de pollution bactériologique ou chimique via des infiltrations par exemple.

Une valeur supérieure à 10 mg/L en présence de phosphore et/ou d'azote peut être favorable au phénomène d'eutrophisation.

La présence de matières organiques n'expose pas les ruminants à un risque sanitaire à proprement parlé mais elle peut altérer le goût et l'odeur de l'eau, former des dépôts et du biofilm dans les canalisations, rendre l'eau instable d'un point de vue bactériologique.

L'inconvénient majeur est la production de sous-produits indésirables, parfois toxiques lors du traitement de l'eau avec des composés halogénés notamment le chlore ou avec l'ozone. La chloration est donc déconseillée dans des eaux avec une COT supérieure à 5 mg/L (Schmidely et al. 2010 ; Fulbert 2017).

## *7. Salinité / Matières Dissoutes Totales (MDT) / Sels dissous totaux (SST) / Conductivité*

Ces quatre dénominations représentent la mesure des constituants hydrosolubles présents naturellement dans l'eau. La salinité comprend : le bicarbonate, le sulfate, le calcium, le magnésium, la silice, le fer, le nickel, le strontium, le potassium, le carbonate, le phosphore, le bore et le fluorure (Olkowski 2009). Ainsi les MDT, les SST et la conductivité permettent d'établir la mesure de salinité (Schmidely et al. 2010).

Les MDT représentent les quantités de sels inorganiques dissous dans l'eau et sont utilisées comme critère de qualité. On les mesure via la conductivité en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , on utilise pour cela un facteur de conversion de 0.67 multiplié par la conductivité en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour obtenir les MDT. La conductivité de l'eau doit être comprise entre 200 et 1100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 25°C (Schmidely et al. 2010). Les recommandations concernant la salinité des eaux figurent dans le tableau ci-dessous (Tableau IV). Les bovins tolèrent des teneurs de salinité moindres que les ovins d'après Looper et Waldner (2002).

Hormis en cas de sécheresse, les eaux de surfaces sont toujours moins riches en MDT que les eaux souterraines car elles ne traversent pas les différentes strates géologiques des sols et les éléments qui les composent.

La salinité à forte concentration peut altérer le goût de l'eau d'abreuvement (Schmidely et al. 2010). Des teneurs élevées peuvent réduire l'ingestion de la ration et de l'eau, le taux de croissance, les diarrhées et les calculs urinaires sont plus fréquents (Embry et al. 1959).

Les vaches laitières buvant de l'eau saline (2500 mg/L de MDT) par rapport à une eau moins riche en MDT (196 mg/L) boivent plus, produisent moins de lait et ingèrent une quantité de matière sèche plus faible (Challis, Zeinstra, et Anderson 1987 ; Jaster, Schuh, et Wegner 1978).

Tableau IV : Recommandations concernant la salinité de l'eau d'abreuvement chez les bovins  
Sources : D'après Olkowski 2009 ; Looper et Waldner 2002

Niveau de MDT (mg/L)	Recommandations
<1000	Sans danger.
1000-3000	Sans danger, parfois des épisodes de diarrhées chez des animaux naïfs vis-à-vis de ce type d'eau.
3000-5000	Possibilité de rejets face à la première confrontation avec cette eau, diarrhées temporaires, effets néfastes possibles sur le rendement des ruminants.
5000-7000	Ne doit pas être consommée par des animaux gestants ou en lactation, pas de risques majeurs pour des animaux sans objectifs de rendement.
7000-10000	Très saline, elle va causer des problèmes chez la plupart des ruminants.
>10000	Saumâtre, dangereuse et impropre à la consommation.

Les paramètres physico-chimiques de l'eau doivent être connus et maîtrisés car s'ils sont hors normes ils peuvent entraîner des répercussions sur la production et la santé des ruminants.

On peut retenir les normes suivantes :

$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$

Dureté  $\approx 15^\circ\text{F}$

Température : Entre 8 et 15°C

Nitrates  $\leq 50 \text{ mg/L}$  et Nitrites  $\leq 0.1 \text{ mg/L}$

Sulfates  $\leq 250 \text{ mg/L}$

COT  $\leq 5 \text{ mg/L}$

MDT  $\leq 1000 \text{ mg/L}$

A noter que pour les nitrates, les nitrites et les sulfates, il est important de cumuler les teneurs présentes à la fois dans la ration et dans l'eau d'abreuvement.

## **IX. Les risques et contaminations physico-chimiques**

Beaucoup d'éléments chimiques, notamment des métaux, peuvent être présent dans l'eau du fait de la géologie des sols et des activités humaines se trouvant à proximité. Nous allons ici détailler les plus importants : ceux pouvant concerner n'importe quel élevage. Ils peuvent être responsables d'intoxications ou de carences par compétition avec d'autres éléments qui seront illustrés pour chacun d'entre eux. Les normes établies par l'EDCH pour les autres éléments sont synthétisées dans l'annexe 3.

## 1. Le Fer

Il est le quatrième élément le plus présent dans la croûte terrestre et se retrouve partout au sein de la biosphère. Les eaux souterraines en contiennent toutes dans des proportions variables en fonction de la constitution des sols où elles résident. Les eaux provenant de captages profonds (forages) contiennent plus de fer que les puits de surface. Sa disponibilité varie en fonction de la forme chimique dans laquelle il se trouve. Dans les eaux de surface, il précipite et sédimente car il se trouve en conditions oxydantes. Au contraire, les conditions réductrices régnant en profondeur le dissolvent et elles le maintiennent sous cette forme.

Les problèmes liés au fer dans l'eau sont davantage des détériorations du circuit d'eau que des problèmes toxicologiques pour les animaux. Le risque de toxicité lié au fer sur les animaux de rente est considéré comme très faible, en revanche, sa présence peut altérer le goût de l'eau (Olkowski 2009).

Une baisse de GMQ et de la consommation de nourriture est rapportée chez des bovins adultes avec des concentrations de 1600 mg/L (Standish et al. 1969) et de 500 mg/L chez les veaux (Koong, Wise, Barrick 1970).

Le réel problème lié à la présence de fer dans l'eau réside dans ses interactions métaboliques avec d'autres éléments. S'il est ionisé, il peut interférer avec la biodisponibilité du cuivre, du zinc, du calcium, du manganèse, du magnésium, du cobalt ou du sélénium.

L'antagonisme le plus marqué est celui formé avec le cuivre qui entraîne une carence de celui-ci en diminuant les réserves de cuivre présentes dans le foie et en limitant son absorption (Olkowski 2009). Cela compromet la barrière des défenses immunitaires et en particulier l'activité des neutrophiles (Boyne, Arthur 1986). Cette inhibition de l'absorption du cuivre par la présence combinée de fer et de soufre se retrouve chez les bovins (Bremner et al. 1987), chez les ovins (Suttle, Abrahams, et Thornton 1984 ; Suttle et Peter 1985) et chez les veaux (Humphries et al. 1983).

Une concentration de fer élevée dans l'eau peut prédisposer au développement intestinal de *Clostridium botulinum*. L'acide ascorbique (vitamine C) augmenterait l'absorption du fer.

Pour obtenir la concentration en fer qu'un animal ingère, il est essentiel de tenir compte de la concentration présente dans l'alimentation et la teneur des sols en plus de la concentration de l'eau.

C'est ce cumul qui peut entraîner un dépassement des seuils toxiques pour les animaux même si la teneur en fer de chaque partie est correcte. Cela est valable pour tous les éléments qui seront détaillés par la suite (Olkowski 2009).

La norme fixée par l'Anses est de 12.5 mg/L or, la plupart des Groupements de Défense Sanitaire (GDS) utilisent la valeur de 0.2 mg/L comme seuil maximum (Schmidely et al. 2010).

## 2. Le Cuivre

Cet élément est présent naturellement dans la croûte terrestre sous forme minérale. Sa présence dans l'eau peut également provenir des activités anthropiques. Il est très utilisé dans l'industrie (câbles électriques, plomberie...) et les pratiques agricoles (algicides et fongicides), il est également rejeté via le raffinage du pétrole.

Le cuivre est essentiel à prendre en compte car les moutons et les veaux y sont très sensibles. La norme énoncée pour l'EDCH est de 1 mg/L, cette valeur est suffisante pour la plupart des espèces, excepté pour les ovins.

L'Anses fixe un seuil à 0.3 mg/L, les pays nord-américains le fixe à 0.5 mg/L pour l'eau destinée aux ovins (Schmidely et al. 2010).

Le cuivre présent dans l'eau a été mis en cause comme toxique sur des agneaux par Dubreuil et Sauvageau (1993). La cuprémie de ces agneaux s'élevait à 237.5 µg/dL, les valeurs normales se situant entre 20 et 100 µg/dL. La concentration en cuivre relevée dans leurs abreuvoirs était 10 à 40 fois supérieure à d'autres sorties de réseau sur l'exploitation. Ces abreuvoirs étaient desservis par des canalisations en cuivre ce qui a permis de les incriminer. Les symptômes décrits sur ces agneaux sont concordants avec ceux de l'intoxication au cuivre : apathie, ictère, hyperthermie et insuffisance hépatorénale, de plus trois agneaux sont morts.

L'intoxication est possible via le surdosage d'un traitement de l'eau contre les cyanobactéries car ces traitements peuvent contenir du cuivre (Partie 3.XI.5)

Une carence en cuivre entraîne les symptômes suivants : retard de croissance, diarrhée, anorexie, altération du pelage, troubles nerveux, faiblesse des postérieurs et possiblement la mort (Olkowski 2009).

La carence sera provoquée par de faibles teneurs dans l'eau ou l'aliment d'autres éléments, limitant son absorption, son métabolisme ou sa biodisponibilité. Une grande quantité de sulfates dans l'eau ou de molybdène dans l'alimentation provoquent une baisse de la biodisponibilité du cuivre alimentaire (Smart, Cymbaluk, et Christensen 1992).

Le fer, le manganèse, le fluor, le calcium, le fluor, le magnésium et le plomb interfèrent avec le métabolisme du cuivre et limitent son absorption. De plus, le cuivre est naturellement antagoniste avec l'arsenic (Gailer et al. 2002 ; Olkowski 2009).

### *3. Le Manganèse*

Il est surtout présent dans les eaux de surface, sous forme de matières dissoutes ou en suspension. Le manganèse présent dans l'eau représente une part négligeable du manganèse total ingéré.

Son potentiel toxique est très faible voir nul. A partir de 0.05 mg/L, le goût de l'eau peut être altéré et des problèmes de réduction du débit sont rapportés. Les canalisations peuvent être obstruées par des dépôts de manganèse car celui-ci s'oxyde et précipite lorsqu'il est exposé au chlore ou à l'air. L'utilisation d'agents séquestrant, le lessivage et le ramonage limitent ce phénomène (Olkowski 2009).

D'après Puls (1994), les limites de tolérance du manganèse sont de 1000 à 2000 mg/L pour les bovins et 500 mg/L chez les veaux. La quasi-totalité provient de l'alimentation et non de l'eau. Pour l'eau, la recommandation est de 50 µg/L pour les ruminants (Schmidely et al. 2010).

Des interactions avec d'autres éléments peuvent entraîner des modifications sur l'absorption du cuivre chez des agneaux (Ivan, Grieve 1976) ou un déséquilibre calcique chez des vaches en post-partum (Reid, Pfau 1947) malgré une teneur en manganèse très basse. Il influe négativement sur le métabolisme du calcium, du cadmium, du cobalt, du fer, du phosphore et du zinc. Son absorption est favorisée par une carence en fer (Thomson, Olatunbosun, et Valberg 1971 ; Flanagan, Haist, et Valberg 1980).

#### *4. Le Molybdène*

Les quantités en molybdène de l'eau sont très fluctuantes mais l'abreuvement est une source mineure dans l'ingestion de cet élément. De fortes variations du maximum de molybdène tolérable entre espèces sont rapportées. Les ovins semblent légèrement plus résistants que les bovins à la molybdénose.

L'Anses énonce une valeur seuil à 0.1 mg/L pour les ruminants (Schmidely et al. 2010).

Une interaction tridimensionnelle entre le soufre, le molybdène et le cuivre est évidente et est la clé de voûte concernant la gestion du risque de toxicité du molybdène (molybdénose) en adaptant la teneur de la ration entre ces trois éléments (Gooneratne, Buckley, Christensen 1989).

Une supplémentation des vaches en cuivre, si elles sont sur un pâturage riche en molybdène, limiterait le risque de molybdénose (Raisbeck, Siemion, Smith 2006).

#### *5. Le Chlore*

Il se trouve souvent sous sa forme d'ion chlorure. Il peut être présent sous différentes formes chimiques naturellement ou à la suite des traitements de l'eau.

En général, l'ion chlorure est associé à la présence du sodium, il faut prendre en compte les teneurs des deux pour évaluer correctement la qualité de l'eau. Le chlore est l'un des traitements les plus courants pour assainir l'eau mais des sous-produits résultants de réactions entre le chlore et la matière organique peuvent s'avérer nocifs.

Une concentration supérieure à 250 mg/L altère le goût donc entraîne une baisse de l'ingestion d'eau. Il intervient également dans l'équilibre acido-basique, une ingestion importante et chronique perturbe cet équilibre et diminue le rendement des animaux.

La valeur seuil pour les chlorites est de 0.2 mg/L (Olkowski 2009 ; Schmidely et al. 2010).

La toxicité est généralement faible car l'organisme possède des mécanismes de régulation pour le chlorure relativement efficaces.

La combinaison des ions tels que le sodium, le chlorure et le sulfate participe à la salinité de l'eau. Ils doivent être considérés et traités ensemble pour objectiver les effets métaboliques néfastes qu'ils peuvent engendrer.

Une eau saline avec le chlorure comme composant principal augmente la consommation en eau, baisse la production laitière et la qualité du lait des bovins (Jaster, Schuh, Wegner 1978).

#### *6. Le Sodium*

Il est présent dans l'eau dans la quasi-totalité des cas. Sa proportion varie suivant la géologie régionale, la saisonnalité et les activités anthropiques. Généralement, il est présent dans les sources avec les ions sulfates et chlorures, ils participent à la valeur de la salinité de l'eau.

En théorie, il n'est pas considéré comme un élément toxique car l'organisme possède des mécanismes de régulation du sodium très efficaces. De plus, l'eau ne doit pas contenir des teneurs en sels suffisamment élevées pour atteindre le seuil toxique sauf en cas de pollution (Ex : salage du réseau routier) ou d'empoisonnement.

Une ingestion élevée de sel durant une longue période peut perturber l'homéostasie de l'organisme et provoquer de l'hypertension, une insuffisance cardiaque congestive, une cirrhose ou encore une maladie rénale.



Des cas d'intoxications au sel sont répertoriés chez les bovins, cela se traduit par des signes digestifs (vomissements, diarrhées, fèces mucoïdes, coliques, anorexie...) et neurologiques (cécité, spasmes, parésie, convulsions...) sévères.

Associé au sulfate, il est mis en cause dans la polioencéphalomalacie, le soufre du sulfate restant l'élément majeur responsable de cette affection.

L'ion sodium participe à l'équilibre acido-basique du corps ainsi, sur des animaux avec des productivités élevées, une perturbation de cet équilibre peut engendrer des troubles métaboliques affectant le rendement de ceux-ci.

L'Anses fixe comme référence de qualité un seuil à 200 mg/L.

Au-delà de 200 mg/L, qui est la norme appliquée également par l'EDCH, le sodium peut altérer la saveur de l'eau ce qui peut faire baisser l'abreuvement. Les bovins laitiers buvant de l'eau avec une forte teneur en sel voient leur consommation d'eau augmenter et leur production laitière diminuer (Jaster, Schuh, et Wegner 1978 ; Olkowski 2009 ; Schmidely et al. 2010).

## *7. Le Calcium*

C'est un élément essentiel qui peut être néfaste à l'organisme s'il est ingéré en trop grande quantité. L'eau peut contribuer à l'apport de calcium d'une manière non négligeable mais il faut toujours le cumuler avec les valeurs de la ration. La teneur en calcium de l'eau n'est jamais prise en compte dans le calcul des besoins alimentaires, alors qu'il peut avoir un rôle à jouer.

La recommandation du Conseil des ministres de l'environnement canadien (CCME) pour le bétail est de 1000 mg/L d'eau à condition que la ration soit équilibrée en phosphore. La norme peut être abaissée en fonction de la teneur de la ration ainsi que des concentrations de sodium et de magnésium.

L'ingestion d'une forte dose de calcium peut impacter négativement la consommation de nourriture, la digestibilité des graisses, l'absorption de certains nutriments tels que le fer, le zinc, le phosphore, le magnésium, le manganèse, le cuivre ainsi que l'iode. Ce risque sera augmenté pour les animaux hauts producteurs car ils boivent plus et sont plus sujets aux troubles métaboliques.

Chez les vaches laitières, il est un facteur favorisant la parésie post-partum. L'équilibre calcique au sein de l'organisme peut être compromis par un déséquilibre du phosphore ou un apport excessif de vitamine D dans la ration.

Les symptômes consécutifs à une ingestion prolongée de fortes quantités de calcium sont des affections musculosquelettiques : ostéopétrose, ankylose, arthrose, dépôts calciques dans le myocarde... (Olkowski 2009 ; Schmidely et al. 2010).

## *8. Le Fluor*

La forme stable du fluor associée à un autre élément est le fluorure. Il est présent à la fois dans la croûte terrestre et dans la biosphère, il peut représenter un danger de contamination pour l'eau d'abreuvement provenant des eaux souterraines. Les principales sources de contamination des sols sont les productions d'engrais phosphatés, certains produits chimiques ainsi que les sites d'extraction de l'aluminium. La teneur des sols en fluorure est donc dépendante de la zone et de l'activité industrielle présente à proximité.

Les normes recommandées pour les fluorures sont de 1.5 mg/L pour les animaux de rente. La disponibilité du fluor varie suivant son origine et la forme sous laquelle il se trouve. Certains composants influent sur son absorption, les glucides l'augmentent alors que les sels de calcium, le chlorure de sodium et le magnésium la diminuent.

C'est une toxicité cumulative, les animaux avec une longue carrière de production sont plus sujets à cette intoxication (Olkowski 2009 ; Schmidely et al. 2010).

Les marqueurs d'une ingestion importante de fluor se retrouve au niveau dentaire (retard d'éruption des incisives définitives et modification de couleur, de taille et d'orientation des dents) qui peuvent se répercuter sur la capacité d'ingestion des animaux. Une fluorose se traduit par des os poreux et crayeux, des boiteries, une peau raide, des modifications de pousse des onglons, un poil sec et terne.

Les répercussions cliniques d'une fluorose chronique mettent plusieurs mois, voire des années à apparaître (Stoddard et al. 1963 ; Olkowski 2009).

L'intoxication est rarement aiguë, sauf en cas d'accident. Dans ce cas, les symptômes seront beaucoup plus sévères : troubles nerveux, sudation, anorexie, dyspnée, sialorrhée, nausées, gastroentérites, convulsions cloniques, congestion pulmonaire, insuffisance cardiaque et respiratoire.

Il peut interférer sur le métabolisme de nombreux éléments (magnésium, manganèse, fer, molybdène, cuivre, zinc et vitamine B12) et diminuer l'activité des protéines. L'aluminium peut réduire sa toxicité et son accumulation osseuse (Olkowski 2009).

## 9. *Le Magnésium*

L'eau provenant des sources naturelles contient du magnésium en proportions variables selon le climat et la localisation, sa disponibilité varie en fonction de son origine. Cet élément intervient dans de nombreux mécanismes endocriniens et physiologiques.

La norme établie pour le magnésium par l'Anses est de 150 mg/L pour les ruminants. Le risque de toxicité via l'eau d'abreuvement est extrêmement faible. Il semble que jusqu'à une proportion de 0.5 % de magnésium ingérée par un ruminant cela n'entraînerait aucune répercussion.

Une intoxication aiguë est source de pelade et entraîne des troubles locomoteurs, un coma, une léthargie parfois suivie de la mort (Olkowski 2009 ; Schmidely et al. 2010).

Une teneur élevée peut affecter la biodisponibilité du cuivre, du fer, du zinc, du manganèse et du calcium. De fortes concentrations de potassium ou de calcium et de phosphore réduisent l'absorption du magnésium chez les ovins d'après Chicco et al. (1973) et Newton et al. (1972).

## 10. *Le Sélénium*

La plupart des études concernant cet élément se concentrent plutôt sur les teneurs en sélénium de la ration, en particulier certaines plantes accumulatrices. L'eau est moins mise en cause sur des problèmes liés à des concentrations excessives de sélénium. Elle n'est jamais responsable à elle seule d'une teneur toxique mais elle doit être ajoutée à la teneur de la ration.

La norme retenue par l'Anses est de 0.125 mg/L pour l'eau d'abreuvement des animaux de rente. D'après Davis et al. (2006), les ovins peuvent supporter 10 mg/L de sélénium durant de longues périodes, ce qui contraste avec la norme de 2 mg/L énoncée en 1980 par le Conseil national de recherche du Canada (CNRC) ou celle de l'Anses. Les jeunes animaux semblent plus sensibles que les adultes.

Un taux élevé de sélénium dans l'eau peut altérer son goût, on décrit une odeur d'ail et un goût astringent.

Des intoxications chroniques au sélénium (sélénose) sont rapportées chez les ovins et les bovins qui entraînent de l'émaciation, des malformations des onglons, des pertes de poils.

Ces observations sont faites avec des concentrations élevées de sélénium (0.3 à 0.8 mg/kg) (O'Toole, Raisbeck 1995). Des taux élevés entraînent une baisse de fertilité et des anomalies congénitales d'après Olkowski (2009).

Certains éléments peuvent réduire sa toxicité ou entraîner une carence en sélénium (arsenic, cadmium, calcium, cuivre, mercure, plomb, zinc et soufre). Un antagonisme naturel existe entre l'arsenic et le sélénium, une carence en vitamine E peut augmenter la sensibilité d'une toxicité au sélénium (Olkowski 2009 ; Schmidely et al. 2010).

## 11. *Le Mercure*

C'est l'un des métaux les plus toxiques que l'on rencontre sur terre. Celui se retrouvant dans les exploitations agricoles provient majoritairement des activités humaines (combustion des carburants fossiles, pratiques agricoles...). Il est très faiblement présent dans les eaux souterraines (moins de 0.001 mg/L) mais il possède un fort potentiel de bioaccumulation au niveau de la chaîne alimentaire ainsi, on le retrouve dans la viande, les abats et le lait.

Il existe sous forme organique ou inorganique, ce dernier se transforme en composés organiques très stables dans l'environnement. Dans la plupart des cas, on le retrouve sous forme de méthyl mercure (organique) dans l'eau qui est sa forme la plus toxique.

Les concentrations maximales recommandées dans l'eau d'abreuvement sont de 0.003 mg/L (Schmidely et al. 2010), il faut aussi prendre le taux présent éventuellement dans la ration (notamment les farines à base de poissons), les sols et même l'air.

Toutes formes de mercure présentent des toxicités, elles sont variables d'une forme à l'autre mais étant un élément volatil, les quantités absorbées les plus importantes le sont par les poumons suivi du tractus gastro-intestinal lors de l'ingestion.

Le risque d'empoisonnement des ruminants est possible et grave mais reste relativement anecdotique. Les symptômes en cas d'exposition aiguë seront des nausées, des vomissements, des coliques, des chocs, des arythmies, une urémie voire la mort.

Le risque d'intoxication chronique existe pour des animaux vivant dans un environnement riche en mercure mais il reste minime (Olkowski 2009 ; Schmidely et al. 2010). Le mercure peut également entraîner des artéfacts dans la spermatogénèse, des avortements et des anomalies congénitales selon Nielsen et Andersen (1995).

Des empoisonnements au mercure avec 8 mg/kg chez les bovins et 10 mg/kg chez les ovins sont rapportés. La consommation de 0.48 mg/kg/j de méthyl mercure a entraîné une concentration rénale de mercure de 100 mg/kg en 27 jours chez les bovins et de 120 à 210 mg/kg chez les ovins (Palmer, Wright, Haufler 1973).

Un excès de sélénium ou de zinc limite la toxicité du Mercure (Potter, Matrone 1974).

## 12. *L'Arsenic*

Cet élément est répandu à la fois dans la biosphère et dans la croûte terrestre. L'arsenic est produit de manière anthropique par la combustion des carburants, l'incinération des déchets et la fusion. La contamination en élevage est possible via la nourriture, l'eau d'abreuvement provenant des eaux souterraines, le sol et même l'air.

Il existe sous forme d'arséniate et d'arsénite qui est entre cinq et dix fois plus toxique que l'arsenic lui-même. Il est classé cancérigène chez l'humain, ce qui est moins important pour les ruminants vivant moins longtemps. Le problème réside dans sa bioaccumulation au sein de denrées alimentaires d'origines animales et en particulier dans les abats.

Les symptômes d'une intoxication aiguë sont des signes digestifs (coliques, sialorrhée, diarrhées...) et neurologiques. De manière chronique, des cancers de la peau, des cardiopathies, des kératoses, et des pigmentations cutanées sont décrites.

La première norme était fixée à 100 µg/L mais elle se basait sur une étude obsolète menée sur des chiens en 1967. Désormais, la norme de 25 µg/L est retenue pour le bétail, un facteur de sécurité et un facteur de répartition prenant en compte l'arsenic contenu dans la nourriture ont été ajoutés d'après Olkowski (2009).

L'Anses fixe la norme à 0.06 mg/L pour les ruminants (Schmidely et al. 2010).

Des exemples d'intoxications avec de l'eau de puits contenant respectivement 1.2 et 21 mg/L d'arsenic sont recensés par Feinglass (1973) et Wagner et al. (1979).

Il a des effets antagonistes avec le cuivre, le mercure et le plomb mais surtout avec le sélénium, des complexes glutathion-arsenic-sélénium se forment avant d'être excrétés dans la bile (Gailer et al. 2002).

### 13. *Le Plomb*

Cet élément, présent dans la croûte terrestre en quantité très variable suivant la région, peut-être très présent à proximité des gisements de plomb. La concentration des eaux de surface varie suivant leurs caractéristiques (pH, salinité, matières organiques) et les éventuelles pollutions auxquelles elles sont soumises.

Les recommandations émises pour l'eau d'abreuvement sont des concentrations inférieures à 0.1 mg/L (Schmidely et al. 2010).

Les risques toxiques provenant de l'eau d'abreuvement est assez faible mais reste non négligeable car il est plus facilement absorbé via l'eau que via la nourriture (Goyer 1997). La nourriture sert de tampon si elle ingérée proche de la buvée.

Le plomb s'accumule surtout dans les os mais au-delà d'un certain seuil, il est aussi stocké dans les reins et le foie. A ce moment-là, le plomb circulant va atteindre le système nerveux, rénal, hématopoïétique et endocrinien. Des signes d'intoxications non spécifiques apparaissent (anémie, anorexie, colique, diarrhées, néphropathie, cécité, convulsions...).

Chez les animaux exposés chroniquement, le taux de plomb dans le sang augmente en fin de gestation, il traverse facilement le placenta entraînant des avortements. Si le plomb est supérieur à 0.3 mg/L dans le sang, on le retrouve également dans le lait provoquant des défauts d'allaitement et de déglutitions chez les veaux. A l'autopsie des concentrations importantes de plomb se retrouvent dans les reins, les fèces et le contenu digestif (Olkowski 2009).

Les veaux sont plus sensibles au plomb car ils l'absorbent mieux en comparaison aux adultes, ce qui est accentué par le lactose d'après Zmudzki et al. (1985).

Lors d'un accident, si les animaux ingèrent une quantité importante de plomb sur un court laps de temps, l'ingestion sera probablement mortelle. Cela a été le cas pour des veaux à la suite d'une ingestion de 5 à 8 mg/kg/j de plomb durant 30 jours consécutifs (Osweiler, Ruhr 1978).

Le plomb augmente la teneur du zinc dans le foie mais baisse celle du cuivre et celle du manganèse dans les reins. La toxicité du plomb est réduite par l'augmentation du calcium, du sélénium, du cuivre, du fer et du zinc, de même pour la vitamine C, la thiamine et la niacine (Olkowski 2009).

## 14. Les « Polluants anthropiques »

Ajouté aux éléments chimiques et aux métaux lourds cités précédemment, d'autres toxiques chimiques peuvent se retrouver dans l'eau via les activités anthropiques.

On peut citer les constituants d'engrais, les pesticides, les herbicides, les fongicides, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les polluants organiques persistants (POP) et tous autres polluants industriels.

Les POPs qui regroupent les polychlorobiphényles (PCB), les dichlorodiphényltrichloroéthanés (DDT), les polybromodiphényléthers (PBDE) et les HAP, sont tous lipophiles, toxiques et semi-volatils. Ils ont été mis en évidence dans les sédiments de lacs d'altitude en Italie ce qui laisse donc présager que ces polluants « anthropiques » peuvent se trouver dans la quasi-totalité des eaux destinées à l'abreuvement des ruminants, indépendamment de leur origine (Poma et al. 2017).

Il n'y a pas de consensus établissant des normes pour ces polluants dans l'eau d'abreuvement du bétail ainsi, leur concentration individuelle et totale doivent être en accord avec les normes fixées par l'EDCH (Annexe 3) et ils devront être recherchés en cas de suspicion et de manière réfléchie (Olkowski 2009 ; Schmidely et al. 2010).

Tous ces éléments chimiques, dont une grande partie appartient aux métaux peuvent se retrouver de manière fluctuante dans l'eau d'abreuvement distribuée aux ruminants.

Ces concentrations sont dépendantes en majeure partie de la composition géologique des sols d'où provient l'eau, du climat et des activités anthropiques à proximité.

Il faut toujours cumuler les teneurs de ces éléments comprises à la fois dans la ration et dans l'eau d'abreuvement. L'eau est rarement responsable à elle seule de problème, hormis accidentellement.

Lors d'excès ils peuvent provoquer des intoxications et lors de manques des carences. Tout ceci avec des traductions cliniques variées.

De fortes interactions entre ces éléments existent et sont à l'origine de la plupart des effets de carences en réduisant la disponibilité d'autres éléments.

Certains éléments notamment le fer et le manganèse, en cas d'excès entraînent plutôt des problèmes de dégradations et d'obstructions au niveau du circuit d'eau.

## X. Les courants électriques parasites

### 1. Les différents types de courants parasites

On les nomme également « courants vagabonds », ce sont des courants électriques dont la circulation n'est ni maîtrisée, ni souhaitée dans un bâtiment d'élevage. Ces courants peuvent parcourir tous les éléments conducteurs d'une exploitation, les structures métalliques (abreuvoirs, cornadis ...) ainsi que le sol s'il contient des éléments conducteurs. Les ruminants sont plus sensibles que les humains à ces courants, leur résistance électrique corporelle se situe entre 500 et 1000 Ohms (contre 1000 à 5000 Ohms pour les humains). Ce sont en général des courants à faibles niveaux de tension (inférieurs à 10 Volts).

Ils sont de deux types :

- La tension de pas : elle apparaît lorsqu'un courant s'établit entre les membres antérieurs et postérieurs de l'animal.
- La tension de contact : elle apparaît lors d'un contact avec un élément conducteur. L'animal est traversé par un courant qui revient au sol via ses membres. Cela concerne les abreuvoirs qui sont de très bons conducteurs lorsqu'ils sont métalliques (Figure 27).

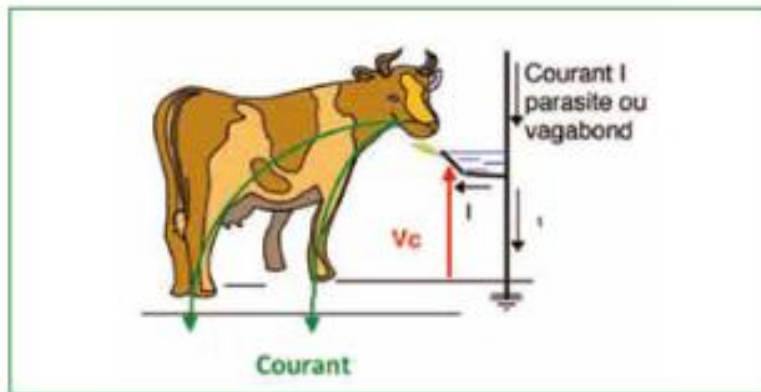


Figure 27 : Illustration de la tension de contact avec un abreuvoir  
Source : Deschamps, RTE, 2010

Des dysfonctionnements des équipements ou des installations électriques sont régulièrement à l'origine de ces courants parasites. La poussière, la corrosion, l'humidité et les chocs sont des facteurs aggravants la dégradation des installations. Ils se manifestent au niveau des abreuvoirs essentiellement de quatre façons :

- Les courants de fuite, si les installations (machine à traire, clôtures...) sont mal isolées ou mal installées avec un défaut de prise de terre. Ils se propagent dans les surfaces conductrices, ils provoquent des différences de potentiels entre différents matériaux métalliques qui ne sont pas connectés entre eux.
- Les décharges électrostatiques sont des sorties instantanées de l'accumulation de charges électriques dans des matériaux à la suite de frottements, en direction de la terre.
- L'induction magnétique est un champ magnétique créé par le passage d'un courant parasite dans un matériau conducteur. Cela provoque des courants électriques dans les structures métalliques adjacentes et forme une boucle, si l'animal ferme la boucle, le courant passe par l'animal entre deux points de contact.
- L'induction électrostatique est une apparition de champs électriques dans les câbles sous tension entraînant des tensions parasites dans les structures métalliques qui ne sont pas reliées à la terre.

On peut ajouter à ceux-là l'effet pile qui peut être présent et qui accélère la dégradation des métaux, ainsi que le rayonnement de certains appareils électrique (moteurs, électroniques, pompes...).

Au pâturage, ils sont plus rares mais des courants parasites peuvent également apparaître si un abreuvoir se trouve trop près d'une clôture électrique (moins de 25 cm). Le phénomène d'induction électrique peut également se produire au pâturage si un abreuvoir métallique isolé du sol se trouve près de ligne à haute tension. Pour les petits ruminants, la tension doit être inférieure à 150 mV, l'idéal se situant entre 50 et 100 mV (Gervais et al. 2017 ; Capdeville et Modric 2019 ; GPSE 2019 ; Mormede et al, 2015 ; Murgue et al. 2022).

## 2. Les moyens de lutte à mettre en place

Pour limiter les courants parasites, il est essentiel que l'installation électrique soit conforme à la norme française NF C 15-100 qui réglemente la conception et l'entretien des installations électriques en basse tension.

Pour protéger contre ces courants vagabonds, différents équipements sont à mettre en place :

- Les dispositifs différentiels résiduels (disjoncteurs, interrupteurs) peuvent couper une installation électrique en partie ou dans sa globalité lors de la détection de courants de fuite ou d'un isolement défectueux (au-delà de 30 mV).
- La prise de terre limite les tensions de contact en la reliant à un dispositif différentiel. Elle doit être unique au bâtiment, éloignée de l'arrivée d'eau et séparée de l'installation électrique, sa résistance doit être inférieure à 18 Ohms. C'est une électrode faite d'un matériau bon conducteur, non sensible à la corrosion, en contact avec le sol (non bétonné). Ce peut être un ou des piquets verticaux à une profondeur minimale de deux mètres Ils sont soit en tubes galvanisés de 2,5 cm<sup>2</sup> de diamètre, soit des barres de cuivre de 1.5 cm de diamètre. Un câble de cuivre nu enterré (2,5 cm<sup>2</sup>) ou en acier galvanisé (9.5 mm<sup>2</sup>) relie les piquets entre eux.
- La barrette de coupure sépare le fil de cuivre du piquet de terre et le conducteur principal. Elle est obligatoire car permet de mesurer la résistance de la prise de terre en la déconnectant.
- La liaison équipotentielle est constituée d'un fil de cuivre de 0.6 cm<sup>2</sup> qui relie toutes les structures métalliques du bâtiment entre elles. Elle est reliée de manière unique à la terre, sa résistance doit être inférieure à 0.2 Ohm.
- La boucle en fond de fouille enterrée de 60 cm ceinture le bâtiment, elle est constituée avec un câble de cuivre nu de 2.5 cm<sup>2</sup> de section. La tranchée dans laquelle elle se situe doit être recouverte avec de la terre.

(Gervais et al. 2017 ; Capdeville et Modric 2019 ; GPSE 2019 ; Mormede et al, 2015 ; Murgue et al. 2022).

## 3. Impact(s) sur les performances des animaux

Un rapport de l'Anses répertorie une importante base de données à ce sujet et se base également sur une campagne de mesures dans 30 exploitations. Ce rapport ne permet pas d'établir de lien direct entre les courants parasites présents en élevage et leurs répercussions au niveau des performances zootechniques, sanitaires ou sur le comportement des animaux. Malgré cela, on peut supposer que la présence de courants parasites de manière chronique dans un élevage aura des répercussions sur les animaux (inconfort, baisse d'abreuvement...) même s'il est difficile de le mettre en évidence pour l'instant (Gervais et al. 2017 ; Capdeville et Modric 2019 ; GPSE 2019 ; Mormede et al, 2015 ; Murgue et al. 2022).

Les courants parasite en élevage sont à ne pas négliger pour le confort et le bien-être des animaux même si pour l'instant il n'y a pas de consensus sur leur impact négatif.

La tension de contact est le courant parasite majeur en exploitation. Au niveau des abreuvoirs elle se traduit par quatre phénomènes principalement :

- Les courants de fuite
- Les décharges électrostatiques
- L'induction magnétique
- L'induction électrostatique

Des moyens de prévention simple sont à mettre en place au sein des exploitations :

- Les dispositifs différentiels
- La prise de terre
- La liaison équipotentielle
- La barrette de coupure
- La boucle en fond de fouille

## ***XI. Les risques et contaminations microbiologiques***

### ***1. Généralités des contaminations microbiologiques***

De nombreuses transmissions de micro-organismes pathogènes sont possibles via l'eau bien que ce soit rarement l'unique source de contamination. Il faut prendre en compte l'environnement (sol, air, litière...) et l'alimentation en plus de l'eau. Ce risque est plus important pour les eaux de surface notamment à proximité d'élevages intensifs ou d'activités industrielles. Les eaux souterraines sont de plus en plus impactées, surtout les nappes phréatiques peu profondes contenues dans des sols sableux (Schmidely et al. 2010).

La cause majeure d'une contamination biologique de points d'eau reste la production animale elle-même via les déjections et la gestion des effluents d'élevages (Hänninen, Niskanen, et Korhonen 1998 ; Schmidely et al. 2010).

Les agents pathogènes incriminés peuvent appartenir à différents taxons, provoquer des pathogénies variées, souvent plus graves pour les jeunes animaux et être zoonotiques ou non. Leur probabilité d'apparition peut être faible mais leur morbidité voire leur mortalité forte et inversement. Cela est valable pour leurs pathogénies envers les animaux et/ou l'humain via les contaminations fécales, les contacts directs ou les denrées alimentaires d'origine animale.

Ces micro-organismes peuvent survivre dans l'eau plusieurs jours voire plusieurs années en fonction du pathogène, de l'exposition aux UV, de la nature et de la compétition entre micro-organismes ainsi que de la température de l'eau (Annexe 5).

Il est très difficile d'incriminer de manière certaine que l'origine d'une pathogénie microbiologique dans un élevage provient de l'eau d'abreuvement.

Malgré cela, de nombreux témoignages d'éleveurs rapportent qu'en modifiant des paramètres qualitatifs, quantitatifs ou de distribution hors normes de leur eau d'abreuvement, cela réglait le problème sanitaire au sein de leur élevage. C'est souvent le cas dans des épisodes de diarrhées néonatales, d'omphalites ou de mammites avec des eaux riches en contaminants fécaux comme les coliformes (Delisle, Bourgeois 2020).



L'annexe 5 regroupe les micro-organismes pathogènes pour les ruminants pouvant se retrouver dans l'eau. Ce sont les plus fréquemment retrouvés, en nombre de cas rapportés dans la littérature d'après Schmidely et al. (2010).

## 2. Les bactéries

Les bactéries les plus fréquemment retrouvées sont les colibacilles entéritiques (essentiellement *Escherichia coli* O157 : H7), les salmonelles ainsi que les bactéries appartenant aux genres *Campylobacter* et *Yersinia*.

Les coliformes sont les plus présents et ce sont eux qui sont recherchés prioritairement dans les analyses d'eau classiques pour démontrer une contamination biologique d'origine fécale, c'est également le cas de *Campylobacter jejuni* (Hänninen, Niskanen, Korhonen 1998). Il n'y pas de certitude démontrée concernant la croissance d'*Escherichia coli* dans les circuits d'eau au stade planctonique ou dans les biofilms en revanche, ceux-ci sont décrits comme des habitats transitoires ou à long terme de choix pour les micro-organismes (Hayer et al. 2022 ; Wingender, Flemming 2011). Les coliformes sont donc un précieux indicateur de contamination fécale de la source ou du point d'abreuvement en fonction du lieu où est réalisé l'échantillon (Chayer 2021 ; Wingender, Flemming 2011).

Dans son étude Hayer et al. (2022) ont échantillonné 105 abreuvoirs dans 24 fermes en Allemagne. Dans 98 % des échantillons, des coliformes étaient détectés dont 48 % étaient des *E.coli*. Des staphylocoques dorés résistants à la méticilline (SARM) ont été détectés dans une ferme et des bactéries résistantes aux céphalosporines (BRC) de troisième génération ont été détectées dans trois fermes. Il a établi dans cette étude une liste de facteurs de risque propices à la contamination bactériologique de l'eau :

- Les abreuvoirs avec de grands volumes.
- Une faible distance entre la position des abreuvoirs et la salle de traite.
- Les abreuvoirs avec des matériaux différents de l'acier inoxydable.
- La présence visible d'importantes souillures dans les abreuvoirs.
- La formation de biofilm.
- Une température ambiante et de l'eau élevée.

Les recommandations divergent en fonction de l'âge des animaux. On recommande un coliforme dans 100 mL pour des veaux (Beede 2005) et entre 10 et 100 coliformes dans 100 mL pour des bovins adultes (Beede 2005 ; Olkowski 2009).

Pour l'EDCH dans ses critères de potabilité, l'eau doit être indemne de tout coliformes et de spores de bactéries anaérobies sulfite-réducteurs, soit 0 UFC pour 100 mL d'eau (Annexe 4).

Les *Escherichia coli* entérotoxigènes (ETEC) et ceux producteurs de shigatoxines (STEC) sont à l'origine de diarrhées sévères et sont transmissibles à l'humain. Ces deux classes de coliformes impactent fortement les veaux au début de leur vie. Les animaux servent de réservoirs avant d'excréter ces bactéries par les fèces, qui peuvent par la suite être une source contaminante pour l'humain. La souche O157 : H7 évoquée précédemment fait partie des STEC. La transmission entre bovins peut se faire directement par l'eau souillée des abreuvoirs (Fairbrother et Nadeau 2006).

Les *Escherichia coli* ont une vitesse de développement et une persistance influencées par de nombreux éléments liés aux conditions environnementales (précipitations, rayonnement UV, température, variabilité des souches, compétition...) (Avery, Moore, Hutchison 2004).

Plus rarement, des bactéries mortelles pour les ruminants peuvent être mis en cause dans l'eau servant à l'abreuvement comme :

- Un cas de botulisme (*Clostridium perfringens*) au Brésil qui a touché sept foyers, plus de 9000 bovins ont été touchés dont 2850 sont morts. L'eau contaminée via des carcasses d'animaux en décomposition et des végétaux a été incriminée (Dutra et al. 2001).
- Le charbon bactérien dû à *Bacillus anthracis* peut resurgir étant donné qu'il résiste des décennies dans le sol, et l'eau peut être incriminée ou fortement suspectée comme cela était le cas en 2009 dans le Puy de Dôme où huit vaches sont mortes (Schmidely et al. 2010).

Toutes les bactéries potentiellement présentes dans l'eau d'abreuvement et les pathogénies qu'elles engendrent ne seront pas détaillées ici mais les plus fréquentes sont reprises dans l'annexe 5.

### 3. Les parasites

De la même façon que les bactéries, certains parasites des ruminants peuvent être décelés dans l'eau d'abreuvement, parfois en quantité importante. Les deux espèces principales sont *Giardia intestinalis* et *Cryptosporidium parvum*. Ces deux espèces sont retrouvées respectivement dans 66 et 47 % des échantillons de rivières selon Ligda et al. (2020) et ils sont également retrouvés dans les fèces des bovins et ovins ayant accès aux points d'eau de ces mêmes pâtures. Les concentrations en parasites sont plus importantes au printemps et en hiver. L'infestation des rivières est donc en majeure partie due à la présence des ruminants sur les pâtures adjacentes, ce qui corrobore l'affirmation émise par Schmidely et al. (2010) qui incriminent les productions animales elles-mêmes comme source principale de contamination microbiologique des eaux destinées à l'abreuvement.

Certains parasites tels que *Dicrocoelium lanceolatum* et *Fasciola hepatica* ont un cycle de vie qui passe par des hôtes intermédiaires vivant dans des environnements humides. De plus, leur stade métacercaire est une forme résistante qui peut survivre dans l'eau plusieurs mois (Annexe 5).

De nombreux autres parasites pathogènes pour les ruminants peuvent survivre à certains stades dans l'eau. C'est le cas des parasites responsables de la coccidiose ou encore de la toxoplasmose par exemple. Les parasites relevés dans l'eau et majoritairement recensés dans la littérature sont repris dans le tableau de l'annexe 5.

### 4. Les virus

Certains virus affectant les ruminants peuvent être retrouvés dans l'eau et transmis par celle-ci. Cela concerne essentiellement les virus entériques tels que les rotavirus et les coronavirus. De manière plus anecdotique, on retrouve également les adénovirus et les norovirus. Ils sont repris dans l'annexe 5.

Ces micro-organismes peuvent aussi se servir des biofilms présents dans les circuits d'eau comme d'habitat périodique ou sur le long terme (Schmidely et al. 2010 ; Wingender, Flemming 2011).

### 5. Les cyanobactéries

Les cyanobactéries sont également connues sous le nom d'algues bleues ou cyanophycées. Ce sont des bactéries réalisant la photosynthèse afin de synthétiser les molécules organiques essentielles à leur fonctionnement.

Les pigments dont les phycocyanines et la chlorophylle sont prépondérants dans ces organismes. Elles transforment l'azote en ammonium et en nitrates, elles peuvent également libérer des toxines appelées cyanotoxines (Schmidely et al. 2010 ; Olkowski 2009 ; Bischoff 2001 ; Frangeul et al. 2022).

Elles forment des efflorescences algales dans les milieux aquatiques stagnants, essentiellement sur les bordures (étangs, mares, abreuvoirs...) (Jaeg 2007). Ce phénomène s'accroît avec le réchauffement climatique et l'eutrophisation des milieux aquatiques. Elles sont maximales en septembre/octobre avec une température optimale de croissance de 20°C et une charge en éléments nutritifs élevée (Schmidely et al. 2010).

Les cyanobactéries sont difficiles à identifier mais il est aisé de voir si elles sont filamenteuses ou planctoniques. Dans le premier cas, elles sont saisissables à la main, dans le second non. Les cyanobactéries filamenteuses ne produisent jamais de toxines.

Il existe plus de 18 genres et 80 espèces de cyanobactéries toxigènes (hépatotoxines, neurotoxines et des toxines à cibles digestives). Celles impliquées avec les animaux de rente sont les suivantes :

- Les microcystines notamment la microcystine LR : il s'agit d'hépatotoxines produites par les espèces *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Microcystis*, *Planktothrix*, *Nostoc* et *Oscillatoria*.
- Les anatoxines : il s'agit de neurotoxines produites notamment par *Anabaena* et *Planktothrix*.
- D'autres sont répertoriées de manière plus anecdotiques : nodularines, saxitoxines, cylindrospermines, ... (Bischoff 2001 ; Frangeul et al. 2022 ; Dreher et al. 2019 ; Olkowski 2009).

Les intoxications via la microcystine LR sont les plus dangereuses et les plus répandues. Les hépatotoxines qu'elles contiennent sont très rapidement transportées vers le foie après avoir été libérées de leur hôte par le pH acide de la caillette. Elles vont provoquer des hémorragies, une hépatite nécrosante, une hémorragie aiguë et souvent la mort.

Les signes cliniques ne sont pas spécifiques de même pour les lésions nécropsiques et histologiques et peuvent être très variés : décubitus, tachypnée, tachycardie, diarrhées, troubles neurologiques, ictère, photosensibilisation, congestions multiples, pétéchies...

Le diagnostic repose sur la combinaison des signes cliniques, des examens complémentaires notamment le dosage du Gamma glutamyl-transférase (GGT) dans la biochimie. Ce marqueur est beaucoup plus spécifique des dysfonctionnements hépatiques par rapport aux phosphatases alcalines (PAL), à l'aspartate aminotransférase (ASAT) ou aux lactases déshydrogénases (LDH). On peut ajouter l'autopsie des animaux morts avec des lésions nécropsiques hémorragiques au niveau du foie, l'histologie et l'identification de la cyanobactérie dans un échantillon d'eau quand cela est possible (Frangeul et al. 2022).

Pour le traitement, les chances de survie sont minces, il faut évidemment éloigner les animaux de la source de contamination. Pour limiter leur prolifération, il faut limiter l'apport d'éléments nutritifs et aérer l'eau.

Des produits chimiques contenant du cuivre (Ex : Sulfate de cuivre) existent pour traiter les blooms d'algues bleues. Cette méthode est controversée car les calculs doivent être précis pour ne pas créer d'intoxication pour les animaux d'élevages s'ils sont utilisés dans les abreuvoirs (Partie 3.IX.2). Ce traitement utilisé sur des eaux « sauvages » peut se révéler toxique pour l'environnement s'il n'est pas maîtrisé. De plus, les cyanobactéries libèrent leurs toxines en masse lorsqu'elles meurent (Olkowski 2009).

Le conseil est de faire un lavage ruminal, d'administrer du charbon per os et de perfuser l'animal avec un soluté isotonique, du calcium et du glucose pour soutenir l'animal (Galey et al. 1987).

Les intoxications rapportées sont encore rares en France mais elles sont sans doute sous-estimées. Un cas avec mise en évidence du genre *Oscillatoria* est rapporté en Loire-Atlantique où le tableau clinique et nécropsique ainsi que les examens réalisés concordent avec une intoxication par une microcystine (Frangeul et al. 2022).

Galey et al. (1987) font état de neuf bovins morts sur 20 animaux touchés. L'eau d'abreuvement provenait d'un étang où une prolifération de cyanobactéries s'est produite lors d'un épisode chaud. Trois foyers d'intoxication aux cyanobactéries sont rapportés aux États-Unis. Dans l'un d'eux, 32 taurillons sont morts en quatre jours et la toxine microcystine LR a été mise en cause. Dans les deux autres foyers, un concernait des bovins l'autre des ovins. C'est la cyanobactérie *Nodularia spumigena* et sa toxine (nodularine) qui était en cause. Dans les trois foyers, il y a eu de la mortalité et une hépatotoxicité décrites, dans deux des foyers il y avait des lésions de sensibilisation sur les animaux survivants (Van Halderen et al. 1995).

La question récurrente est de savoir si la viande des bovins ayant bu une eau contaminée par ces toxines peut s'avérer dangereuse pour la consommation humaine.

Une expérience a été réalisée avec une eau d'abreuvement contenant  $1.10^5$  cellules/mL de *Microcystis aeruginosa* distribuée durant un mois à des bovins de boucherie. On ne retrouve pas de concentration critique pour l'humain de microcystine LR dans le foie et le plasma des bovins (Orr et al. 2003). La même expérience avec la même concentration dans l'eau d'abreuvement de vaches laitières durant 21 jours n'a pas mis en évidence de résidus dans le lait (Orr et al. 2001).

Il n'y a pas de limite maximale de résidus (LMR) établie pour les denrées alimentaires d'origine animale, seulement une dose journalière admissible (DJA) pour la microcystine LR qui est de  $0.04 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$ . Cette étude étant réalisée sur des souris un facteur 1000 a été ajouté pour la transposer à l'humain (Jaeg 2007).

Différents types d'agents pathogènes microbiologiques peuvent contaminer l'eau d'abreuvement dont voici les principaux :

- Les bactéries (les coliformes (*E.coli spp*), les salmonelles, les anaérobies sulfite-réducteurs...)
- Les parasites (*Giardia intestinalis* et *Cryptosporidium parvum*...)
- Les virus (rotavirus et coronavirus...)
- Les cyanobactéries (*Microcystis aeruginosa*, *Oscillatoria spp*, *Nodularia spumigena*...)

Les capacités à survivre voir à se développer son propre à chaque espèce et sont dépendantes des conditions environnementale (température, rayonnement UV...)

La source principale des contaminations microbiologiques reste l'élevage lui-même.

Ces agents pathogènes présents dans l'eau peuvent être responsables de nombreuses pathogénies et épizooties chez les ruminants mais il reste très difficile de les incriminer de manière certaine et peu d'études s'intéressent à ce phénomène concernant l'eau.

## **XII. Le cadre réglementaire**

Les réglementations traitants de l'eau d'abreuvement ont pour but la protection humaine ainsi que le bien-être animal. Elles sont rares et restent vagues avec des termes généralistes mentionnant qu'il faut une eau de qualité « appropriée » ou « adéquate » sans davantage de précisions. Cette liste ne peut prétendre être exhaustive sur l'ensemble des textes traitant ce sujet mais les principaux ont été consultés pour établir cette partie.

### **1. La réglementation française**

Il n'existe aucune obligation réglementaire (ni de moyens, ni de résultats) concernant la qualité sanitaire de l'eau d'abreuvement des ruminants d'élevage.

Le règlement sanitaire départemental précise (Titre VIII Article 154-2) les recommandations suivantes : *« les bâtiments sont approvisionnés en quantité suffisante d'eau de bonne qualité pour l'abreuvement des animaux et d'eau de lavage pour l'entretien des établissements et des installations. Les installations et appareils de distribution destinés à l'abreuvement des animaux ne doivent pas être susceptibles, du fait de leur conception ou de leur réalisation, d'entraîner, à l'occasion des phénomènes de retour d'eau, la pollution du réseau d'eau potable. »* (Légifrance 1984).

Les décrets qui ont pour sujet les appellations d'origines contrôlées n'établissent pas d'exigences particulières concernant l'eau d'abreuvement et sa qualité, hormis sa potabilité comme pour tout élevage.

### **2. La réglementation européenne**

Il est important de noter qu'au niveau européen, l'eau n'est pas considérée comme un aliment pour les animaux de rente contrairement à la définition donnée pour l'eau destinée à la consommation humaine. Le règlement (CE) n°178/2002 du Parlement européen et du Conseil du 28 janvier 2002 comporte deux articles vis-à-vis de l'eau d'abreuvement :

L'article 2 relatif à l'eau destinée à la consommation humaine énonce que *« Aux fins du présent règlement, on entend par «denrée alimentaire» (ou «aliment»), toute substance ou produit, transformé, partiellement transformés ou non transformé, destiné à être ingéré ou raisonnablement susceptible d'être ingéré par l'être humain. Ce terme recouvre les boissons, les gommes à mâcher et toute substance, y compris l'eau, intégrée intentionnellement dans des denrées alimentaires au cours de leur fabrication, de leur préparation ou de leur traitement. Il inclut l'eau au point de conformité défini à l'article 6 de la directive 98/83/CE, sans préjudice des exigences des directives 80/778/CEE et 98/83/CE. »*.

En revanche, l'article 3 relatif à l'eau d'abreuvement pour les animaux dit que *« Aux fins du présent règlement, on entend par « aliment pour animaux », toute substance ou produit, y compris les additifs, transformé, partiellement transformé ou non transformé, destiné à l'alimentation des animaux par voie orale. »* (Parlement européen 2002).

L'article 5 (point 5) du règlement (CE) numéro 183/2005 du Parlement européen et du Conseil du 12/01/2005 énonce des obligations concernant l'eau d'abreuvement : « *les agriculteurs se conforment aux dispositions de l'annexe III lors de l'alimentation des animaux producteurs de denrées alimentaires.* ».

L'annexe 3 de ce même article dit que : « *L'eau destinée à l'abreuvement ou à l'aquaculture doit être d'un niveau de qualité adéquate pour les animaux en cours de production. Lorsqu'il y a lieu de craindre une contamination des animaux ou des produits animaux par l'eau, des mesures doivent être prises pour évaluer les risques et les réduire au minimum. Les installations d'alimentation et d'abreuvement doivent être conçues, construites et installées de manière à réduire au minimum les risques de contamination des aliments pour animaux et de l'eau. Les systèmes d'abreuvement doivent être nettoyés et entretenus régulièrement, dans la mesure du possible.* » (Parlement européen 2005).

L'article 3 de la directive 96/23/CE du Conseil du 29/04/1996 comporte des dispositions relatives à l'eau d'abreuvement des animaux : « *la surveillance de la filière de production des animaux et des produits primaires d'origine animale en vue de la recherche des résidus et des substances visés à l'annexe I dans les animaux vivants, leurs excréments et liquides biologiques, ainsi que dans les tissus et produits animaux, les aliments pour animaux et eaux de boisson doit être effectuée conformément aux dispositions du présent chapitre.* ».

L'annexe I est une liste composée de deux groupes (A et B). Le premier regroupe les substances anabolisantes et celles non autorisées, le second concerne les médicaments et certains contaminants (les organophosphorés, les organochlorés dont les PCB, les mycotoxines, les éléments chimiques, les colorants etc...).

L'annexe II ne précise rien en termes d'eau d'abreuvement (Conseil de l'Union Européenne 1996).

Le règlement hygiène CE (n°183/2005) recommande de suivre les guides de bonnes pratiques d'hygiènes (GBPH). Ces guides ne donnent en revanche pas de recommandations détaillées sur la qualité de l'eau d'abreuvement à apporter en élevage (Parlement européen 2005).

### 3. *Codex Alimentarius*

Ce code adopté en 2004 est un code d'usages concernant la bonne alimentation animale. Il a été amendé en 2008 et énonce au point 6.3.4 « Eau » : « *L'eau de boisson ou l'eau utilisée pour l'aquaculture devrait être de qualité adaptée aux animaux produits. Lorsqu'il y a lieu de s'inquiéter d'une éventuelle contamination des animaux par l'eau, il convient de prendre les mesures nécessaires pour évaluer et réduire le plus possible les dangers. Les systèmes d'alimentation en eau doivent si possible être nettoyés et vérifiés régulièrement.* » (Food and Agriculture Organization of the United Nations 2008).

#### 4. Recommandations

##### a. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) énonce ses recommandations pour les concentrations en substances inorganiques toxiques tolérables et l'utilisation d'eau saline pour l'abreuvement elles ont été émises par le National Research Council (U.S.) (1974).

##### b. Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) n'a pas émis de recommandation concernant les critères de qualité de l'eau d'abreuvement. Elle a émis des recommandations sur le contrôle des zoonoses d'origine hydrique (World Health Organization 2004).

##### c. En France

En France, des valeurs limites de contaminants ont été proposées par le système d'évaluation de la qualité de l'eau (SEQ-Eau) abreuvement. Elles se basent sur les recommandations du Conseil Canadien des ministres des ressources et de l'environnement. Elle n'a pas de valeur réglementaire.

Ce système classe les animaux en trois catégories de sensibilité et d'âge, ainsi que trois niveaux de qualité de l'eau :

*« Bleu : Eau permettant l'abreuvement de tous les animaux, y compris les plus sensibles (animaux "adolescents", en gestation ou allaitant).*

*Jaune : Eau permettant l'abreuvement des animaux matures, moins vulnérables (bovins, ovins), mais demandant une surveillance accrue.*

*Rouge : Eau inapte à l'abreuvement des animaux. »* (Annexe 6).

La qualité de l'eau d'abreuvement est déterminée par la prise en compte de quatre altérations sur les 17 existantes. Les altérations utilisées sont les nitrates, les nitrites, la « minéralisation » et les micropolluants minéraux (Oudin et al. 2003).

##### d. La Charte de bonnes pratiques

Les recommandations concernant l'eau d'abreuvement sont à adapter en fonction du mode d'élevage visé et l'eau dont s'abreuve les animaux. La qualité peut être maîtrisée si elle alimente un bâtiment d'élevage, ce ne sera pas le cas si le bétail s'abreuve dans des eaux de surface (lacs, rivières, mares). Ces recommandations doivent également tenir compte de la sensibilité de l'espèce ciblée, du statut physiologique et de l'âge de l'animal.

Des paramètres de contaminations microbiologiques et/ou chimiques d'intérêt sont à rechercher pour l'eau d'abreuvement.

- Ces paramètres au rôle d'indicateurs, peuvent servir d'alerte sans avoir de répercussions graves sur la salubrité des denrées alimentaires ou sur la santé du bétail (paramètres d'alerte).

- D'autres paramètres s'ils dépassent un certain seuil, peuvent présenter un risque pour la santé des animaux ou la salubrité des denrées animales (paramètres à risque).

Concernant les paramètres microbiologiques, il n'y a pas d'indicateur universel pour refléter l'ensemble des micro-organismes pathogènes potentiellement présent dans l'eau. Le choix du paramètre d'alerte repose sur des indicateurs de contamination fécale : *Escherichia.coli* et les entérocoques intestinaux.

« Les seuils d'alertes pour ces paramètres dépendent de l'origine de l'eau d'abreuvement :

- Eau EDCH = 0 UFC/100 ml
- Eaux souterraines : Plus de 10 UFC/100 ml.

Pour les eaux de surface :

- Eau de bonne qualité (faible risque de présence d'agents pathogènes) : Moins de 100 UFC/100 ml.
- Eau de qualité moyenne : Entre 100 et 500 UFC/100 ml (à éviter pour les jeunes animaux).
- Eau de qualité médiocre : Entre 500 et 1000 UFC/100 ml (acceptable pour les ruminants sevrés).
- Eau de mauvaise qualité (fort risque de présence d'agents pathogènes) : Plus de 1000 UFC/100 ml (usage à éviter). ».

Les paramètres à risque concernent tous les autres micro-organismes pathogènes étant susceptibles de se retrouver dans l'eau. Or des critères ne sont pas fixés pour chacun d'entre eux. Leur présence ou la suspicion de leur présence doit entraîner des mesures de corrections ou de préventions. Cela est valable pour les cyanobactéries également.

Pour les paramètres chimiques ; les paramètres d'alerte se limitent au pH, à la conductivité et au carbone organique total (Tableau V).

Les paramètres chimiques concernent tous les autres éléments et produits chimiques pouvant être présent dans l'eau d'abreuvement. Pour chacun d'eux, des concentrations seuils à ne pas dépasser ont été établies en fonction de leur dangerosité, de l'espèce exposée, du risque de les retrouver ensuite dans les denrées alimentaires d'origine animale (Annexe 3).



Paramètres chimiques	Critères de qualité	Commentaires
pH	6 < pH < 9	Pour des eaux agressives (pH < à 6) ou des eaux corrosives (pH <7 et conductivité < 200 ou > 1100 µS/cm), l'utilisation de canalisations et réservoirs de stockage métalliques est déconseillée. Si pH > 9, inefficacité de la chloration.
Conductivité	200 < Conductivité < 1100 µS/cm	Pour des eaux corrosives (pH <7 et conductivité < 200 ou > 1100 µS/cm), l'utilisation de canalisation et réservoirs de stockage métalliques est déconseillée. En cas de variation brutale de la conductivité sur une eau souterraine (ESO), il convient de rechercher les sources d'intrusion d'eau de surface (ESU).
COT	< 5 mg/L	Cette limite ne doit pas être dépassée lorsqu'une chloration de l'eau est prévue (inefficacité de la désinfection et formation de sous-produits de chloration). Pour l'ESO, entre 2 et 10 mg/L, l'origine du COT devra être recherchée. Pour l'ESU, une valeur supérieure à 10 mg/L peut être associée à un risque d'eutrophisation si présence de phosphore (> 0,2 mg/L de PO43-) et d'azote (> 25 mg/L de NO3-)

En résumé, l'eau d'abreuvement provenant d'une gestion privée n'est pas considérée comme un aliment dans les textes de lois qui abordent cette problématique. A l'inverse, l'eau du réseau étant destinée à la consommation humaine est considérée comme un aliment.

Les termes des différents textes de lois restent généraux et peu contraignant.

Des paramètres à risque et des paramètres d'alerte sont établis pour les contaminations microbiologiques et physico-chimiques.

Il n'y a pas consensus au niveau mondial à ce sujet. Les méthodologies pour établir les concentrations seuils des différents contaminants différents entre pays, ainsi les critères de qualité peuvent fortement varier.

# **PARTIE 4 : ETUDE A DESTINATION DES VETERINAIRES PRATICIENS**

## **XIII. Matériels et méthodes**

### **1. Objectifs**

L'objectif principal de cette étude était d'établir un questionnaire pour avoir un retour terrain des connaissances des vétérinaires sur la gestion et la réglementation de l'eau d'abreuvement dans les élevages de ruminants ainsi que sur leurs pratiques dans ce domaine. Le public visé était des praticiens ayant été confrontés ou non à des problèmes liés à l'eau dans leur clientèle ou tout simplement ceux intéressés par cette problématique.

### **2. Élaboration du questionnaire**

Le questionnaire a été réalisé à destination des vétérinaires praticiens ruraux et/ou mixtes. Il devait être court et généraliste pour regrouper les grandes problématiques liées à l'eau d'abreuvement pour un praticien : impact et importance globale de l'eau sur la santé du bétail, spécificité de l'eau destinée aux veaux, critères d'observation concernant la distribution de l'eau dans les élevages, réalisation et interprétation des analyses d'eau.

Ce questionnaire a été conçu via Google Forms® qui permet la création de formulaires dont on peut facilement paramétrer les questions ainsi que les réponses.

Il était constitué de 10 questions organisées de la façon suivante :

- Les deux premières questions servaient de mise en contexte et permettaient de récolter les départements d'exercice et les typologies d'élevages présents dans les clientèles. Les réponses pour ces questions étaient ouvertes.
- Les deux questions suivantes s'intéressaient à l'impact que l'eau peut avoir sur la santé des troupeaux et leur production. Mais aussi à l'importance accordée par les praticiens à l'eau pour les animaux de manière globale et plus particulièrement au sein de leur clientèle. Les réponses étaient ici à choix multiples avec une seule réponse possible.
- Une question sur la spécificité de l'eau pour les jeunes ruminants. La réponse était à choix multiples avec une seule réponse possible.
- Une question sur les critères observés lorsqu'ils entraient au sein d'un élevage concernant la distribution d'eau, en particulier les abreuvoirs. La réponse était à choix multiples avec une ou plusieurs réponses possibles et il était possible pour les vétérinaires d'ajouter d'autres critères non cités.
- Les quatre dernières questions s'intéressaient aux analyses d'eau. Le but était de savoir s'ils en pratiquaient, si oui sur quelle(s) eau(x), à quelle fréquence et s'ils savaient les interpréter. Les réponses étaient ici aussi à choix multiples avec une seule réponse possible.

### **3. Diffusion du questionnaire**

Parmi les autres objectifs, il y avait celui de récolter un maximum de réponses de la part de praticiens avec des activités rurales diversifiées afin que cela reflète tous les types de production concernant les ruminants présents sur le territoire français.

Concernant la diffusion de ce questionnaire il a été publié via les réseaux sociaux :

- Sur Facebook®, sur des groupes de praticiens et d'étudiants vétérinaires : « We need you », « étudiants véto France »
- Sur LinkedIn®, sur mon profil personnel, où il a été ensuite repartagé par mon maître de thèse.

Il a également été relayé sur la plateforme Vétofocus® qui l'a partagé sur son site et l'ensemble de ses réseaux (mail, LinkedIn®, différents groupes Facebook®).

Sa diffusion s'est étendue entre février 2022 et mai 2023.

## ***XIV. Résultats***

Soixante-douze réponses de vétérinaires praticiens ont été collectées via ce questionnaire dont les résultats sont présentés et illustrés pour chacune des dix questions dans les parties suivantes.

### *1. Question 1 : Le(s) type(s) d'élevage(s) au sein de votre clientèle ?*

Parmi les 72 réponses, 71 vétérinaires ont rapporté posséder des bovins et 12 des petits ruminants (ovins et caprins confondus) dans leur clientèle.

Parmi eux, 56 répondants ont mentionné avoir des bovins allaitants dans leur clientèle et 47 d'entre eux, des bovins laitiers.

Pour les petits ruminants, trois des sondés ont répondu avoir des ovins allaitants, quatre des ovins laitiers et quatre également ont répondu posséder des caprins (laitiers) dans les exploitations de leur clientèle (Figure 28).

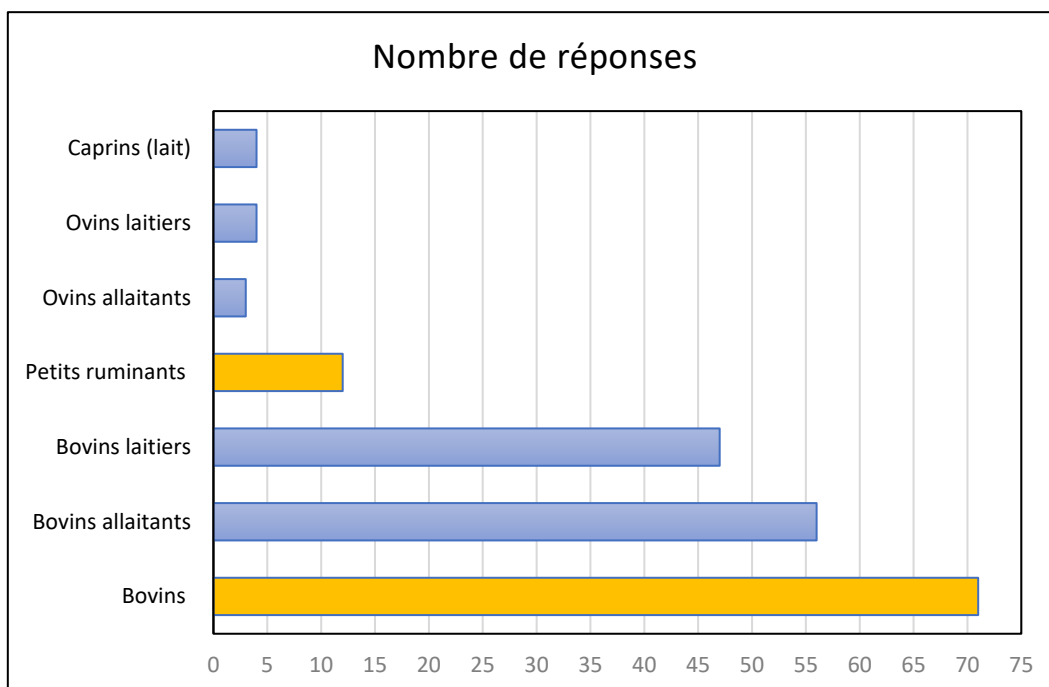


Figure 28 : Histogramme des catégories de ruminants dans les clientèles des sondés.

## 2. Question 2 : Votre département d'exercice ?

Parmi les 72 répondants, 34 départements différents étaient représentés. Il y avait également une réponse d'un praticien suisse, ainsi que deux réponses de vétérinaires belges. Il y avait entre une et cinq réponses pour un même département (Figure 29).

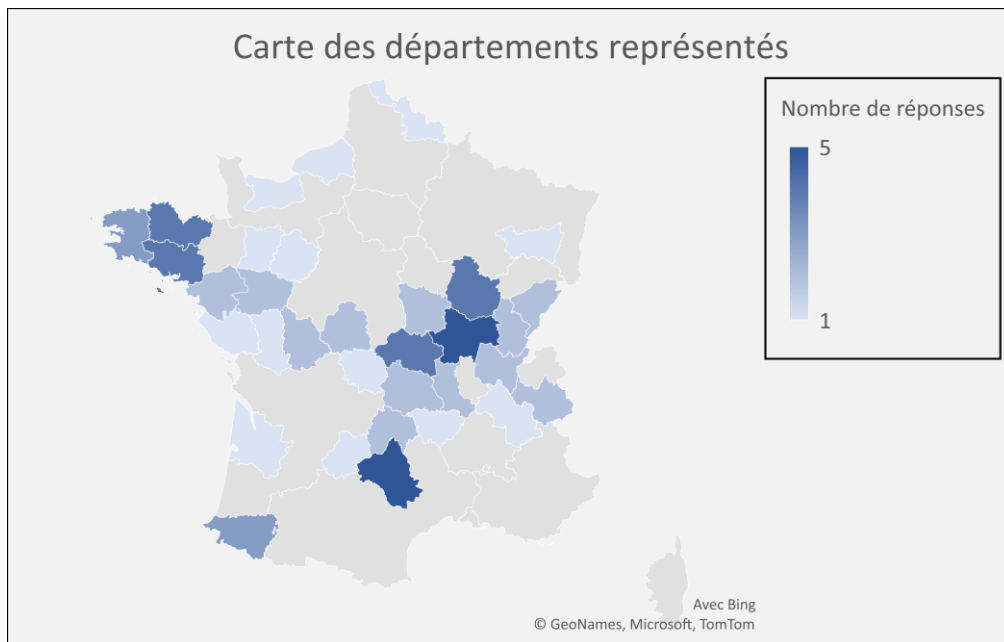


Figure 29 : Carte française des départements représentés (excepté la Suisse et de la Belgique).

## 3. Question 3 : Quel est pour vous l'impact de la qualité et/ou de la quantité d'eau d'abreuvement sur le fonctionnement et la santé globale d'un élevage (bovins/ovins) ?

A cette question, 51 % des répondants estimaient que l'eau d'abreuvement en élevage est impactante concernant la santé globale des ruminants d'élevage mais trop peu prise en considération. Les 49 % restant la considéraient comme essentielle (Figure 30).

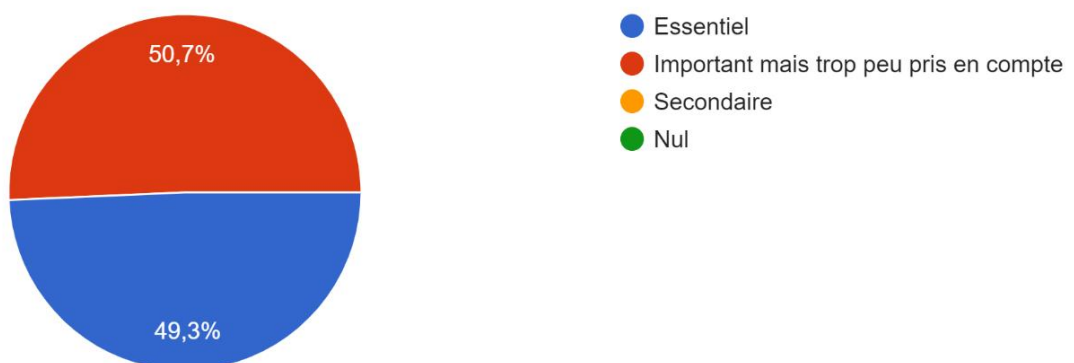


Figure 30 : Graphique circulaire de l'impact de l'eau d'abreuvement sur la santé d'un troupeau.

#### 4. Question 4 : Accordez-vous de l'importance à la gestion de l'eau d'abreuvement dans les élevages de votre clientèle ?

Dans 63 % des cas, de l'importance était accordée à l'eau ponctuellement si un problème était décelé à ce niveau-là. 31.5 % accordaient systématiquement de l'importance à l'eau, 3 % des sondés le faisaient à la demande de l'éleveur ou du GDS et 3 % des répondants n'accordaient aucune importance à ce domaine (Figure 31).

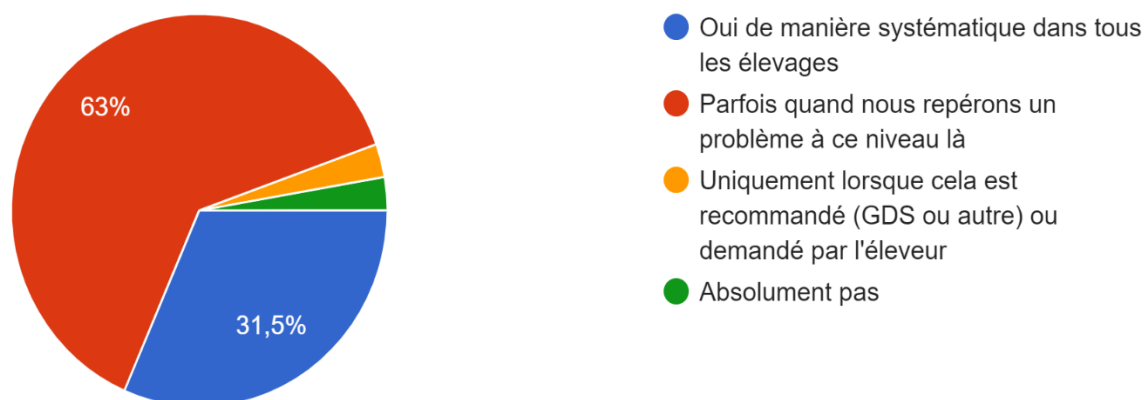


Figure 31 : Graphique circulaire des réponses concernant l'importance dédiée à l'eau pour les vétérinaires sondés.

#### 5. Question 5 : Pensez-vous que l'eau distribuée aux veaux doive être spécifique ?

Seulement 60 % des vétérinaires interrogés pensaient que l'eau consacrée aux veaux devrait être spécifique, 36 % pensaient qu'elle ne devait pas l'être et 4 % estimaient que cela était sans importance (Figure 32).

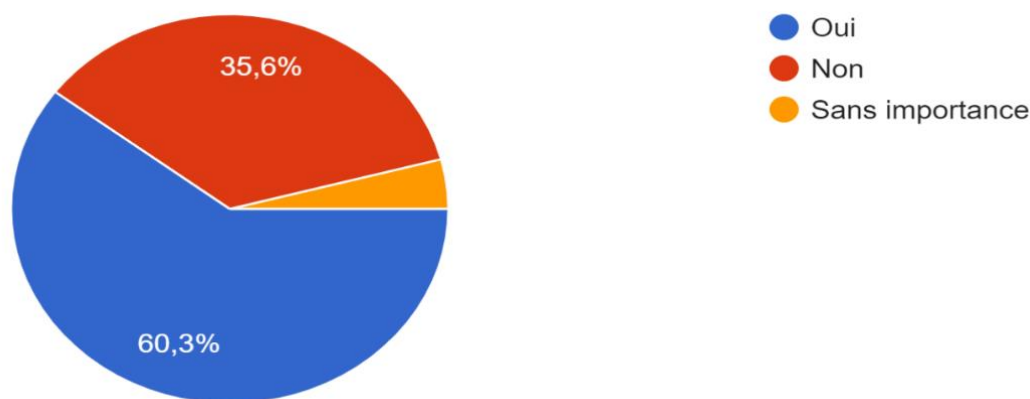


Figure 32 : Graphique circulaire relatant la pensée des vétérinaires sondés quant au besoin d'avoir une eau spécifique aux veaux.

## 6. Question 6 : Quelle(s) mesure(s) de gestion de l'eau utilisez-vous ?

La figure 33 ci-dessous relate les critères de jugement et les mesures de gestion pouvant être utilisés par les praticiens dans leurs exploitations. Cette liste n'était pas exhaustive. Aucun vétérinaire répondant ne s'intéressait à l'ensemble des mesures proposées d'après ce sondage. Les trois premières réponses (en partant du haut du diagramme) ont été ajoutées par les vétérinaires :

- « Pose de filtres »
- « Pas eu l'occasion d'utiliser l'analyse d'eau »
- « Cela reste théorique sur le terrain »

Les critères et mesures de gestion qui ressortaient le plus étaient : l'accès, la localisation, la taille, le dénombrement, le débit des abreuvoirs et l'origine de l'eau d'abreuvement au pâturage. Ces critères étaient choisis dans 46 à 68 réponses des 72 sondés.

Les autres critères et mesures de gestion étaient moins choisis par les praticiens : profondeur d'eau, hauteur des abreuvoirs, analyse visuelle de l'eau du pâturage, analyse d'eau à la suite d'une inspection visuelle, analyse d'eau sans inspection visuelle et l'inspection du circuit de distribution. Ces réponses récoltaient entre 9 et 37 réponses des 72 répondants.

Un seul vétérinaire avait répondu qu'il n'utilisait aucun de ces critères de jugement ou de ces mesures de gestion (Figure 33).

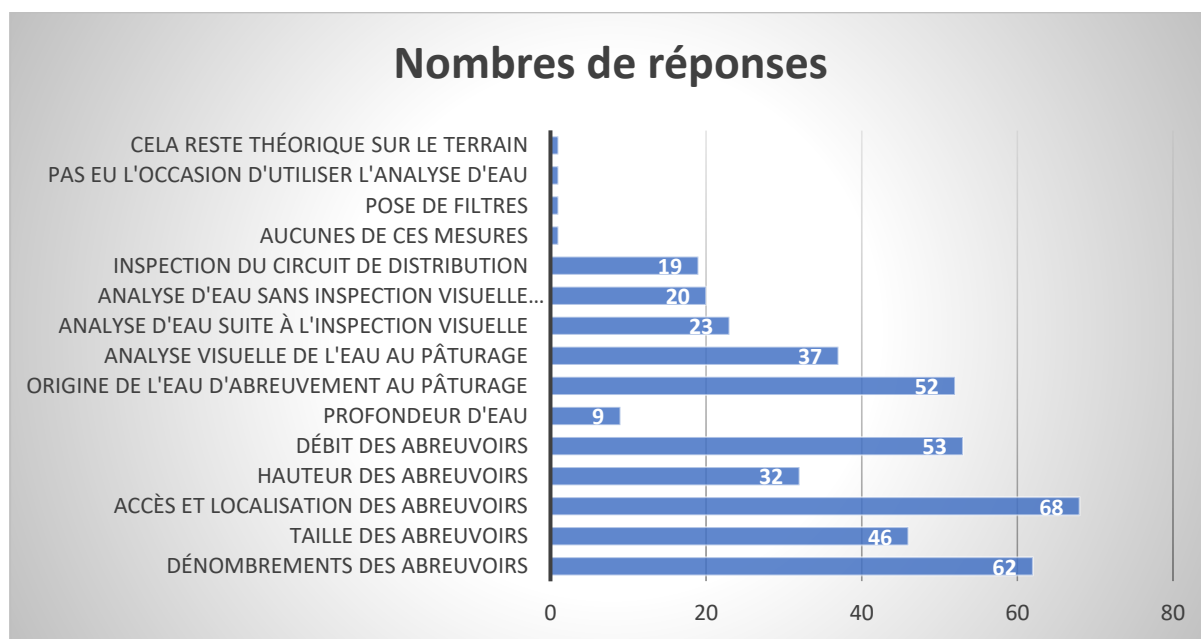


Figure 33 : Graphique en barres des différentes mesures de gestion de l'eau choisies parmi un panel de propositions.

### 7. Question 7 : Pratiquez-vous des analyses de l'eau d'abreuvement dans les élevages de votre clientèle ?

Concernant la fréquence des analyses d'eau, 49,3 % des interrogés réalisaient une analyse de l'eau seulement en cas de doute et 21,9 % en faisaient une seulement sur demande de l'éleveur ou du GDS. Dans 13,7 % et 11 % des réponses, les vétérinaires réalisaient une analyse d'eau respectivement annuellement, ou semestriellement et 11 % des sondés répondaient ne jamais en réaliser (Figure 34).

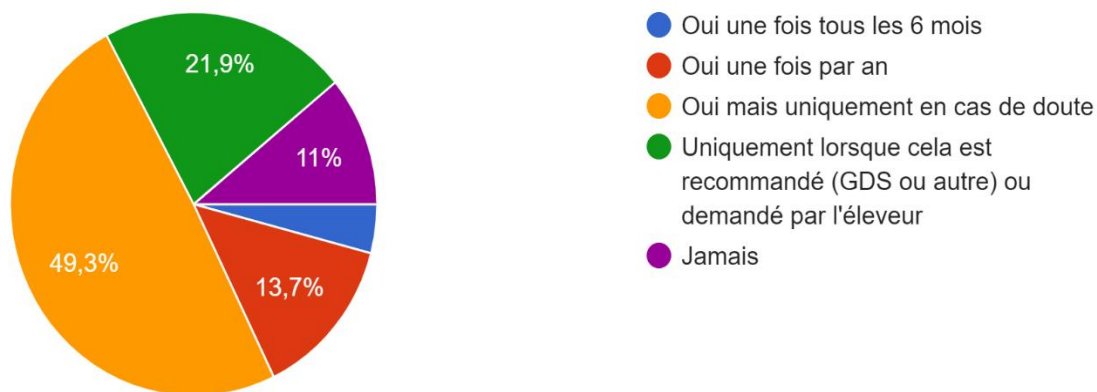


Figure 34 : Graphique circulaire de la fréquence des analyses d'eau réalisées.

### 8. Question 8 : Vous pratiquez des analyses d'eau :

D'après ce questionnaire, 60 % des analyses d'eau étaient réalisées à la fois sur l'eau du réseau et sur l'eau d'origine privée, 36 % de celles-ci étaient faites uniquement sur les eaux d'origines privées et 4 % uniquement sur l'eau du réseau (Figure 35).

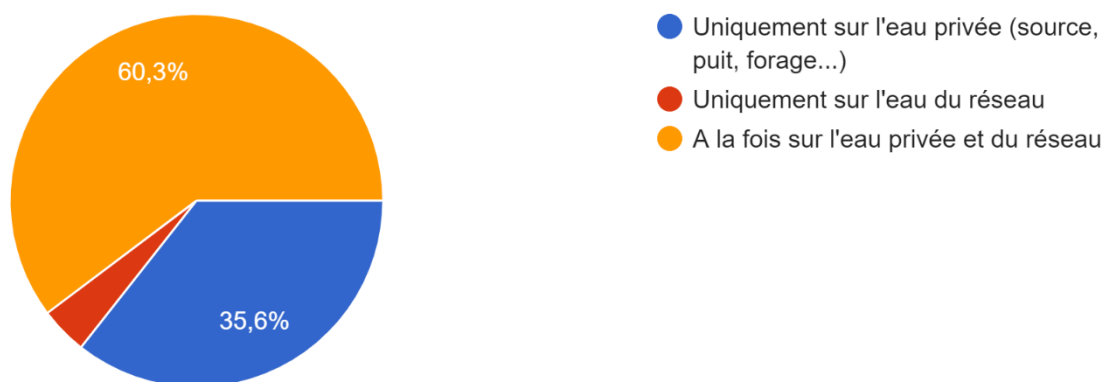


Figure 35 : Graphique circulaire de l'origine des eaux analysées.

9. Question 9 : Lors d'emploi d'eau privée (source, puit, forage...), réglementairement une analyse annuelle est obligatoire, selon vous cela est-il réalisé sur le terrain ?

Pour près de 84 % des vétérinaires répondants, l'analyse d'eau annuelle recommandée n'était pas réalisée sur le terrain (Figure 36).

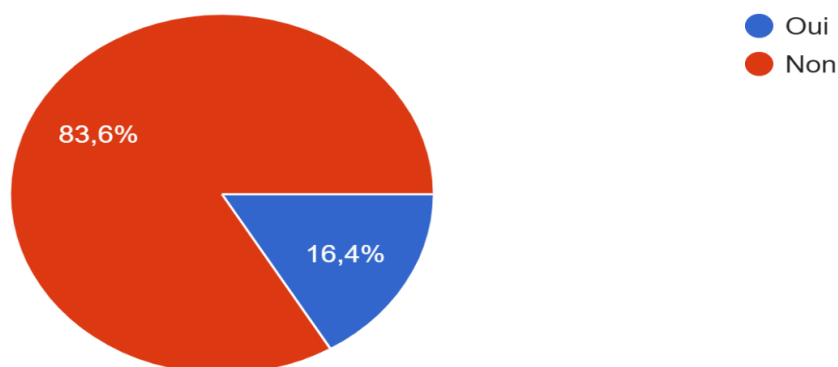


Figure 36 : Graphique circulaire de la réalisation sur le terrain d'une analyse d'eau annuelle.

10. Question 10 : Pensez-vous savoir interpréter correctement une analyse d'eau ?

Ici, 16.4 % des vétérinaires interrogés estimaient savoir interpréter une analyse d'eau seul, 45.2 % pensaient en être capable avec de l'aide (laboratoire, GDS...) et 38.4 % n'étaient pas familier avec l'interprétation de ces analyses (Figure 37).

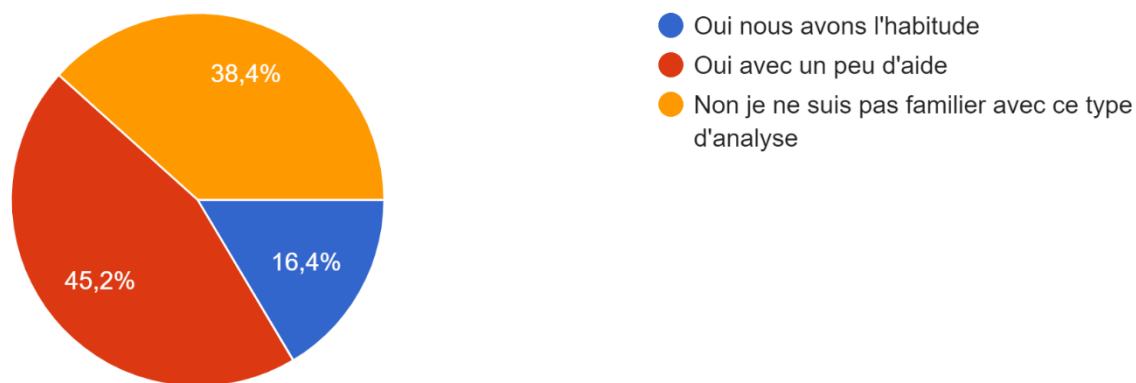


Figure 37 : Graphique circulaire de la capacité des vétérinaires à interpréter une analyse d'eau.

## XV. Discussion

Malgré un taux de réponses qui peut paraître faible (72 répondants), 34 départements sont représentés et une majorité des régions est représentée. De plus, cela concorde avec les bassins majeurs d'élevages de ruminants que l'on retrouve en France. A cela, on peut ajouter les réponses de trois vétérinaires étrangers (un suisse et deux belges).



Tous les types de production de ruminants sont représentés à travers ces différents bassins. Cela reflète les proportions que l'on retrouve sur le territoire avec la quasi-totalité des praticiens qui possèdent au sein de leur clientèle des élevages de bovins (laitiers et/ou allaitants). Une plus faible part d'entre eux possèdent dans leur clientèle des élevages de petits ruminants. Les ovins laitiers et allaitants sont cependant représentés ainsi que les caprins (laitiers) (Figure 28).

L'intégralité des vétérinaires sondés sont unanimes sur le fait que l'eau d'abreuvement a un impact majeur sur la gestion et la santé des élevages de ruminants mais pour la moitié d'entre eux, ce paramètre est trop peu pris en compte. Cela montre que les praticiens ont conscience de l'importance de ce paramètre mais qu'il n'est pas encore assez intégré dans la gestion globale des élevages (Figure 30).

Pourtant, seulement un tiers des répondants accordent de manière systématique une importance à l'eau. Les deux tiers restants accordent de l'importance de manière ponctuelle seulement si cela est recommandé par un autre interlocuteur de l'élevage (GDS par exemple) ou lorsqu'un problème est détecté à ce niveau-là. Cela peut mettre en évidence un manque de connaissances ou de maîtrise à ce sujet (Figure 31).

La nécessité de donner de l'eau spécifique aux veaux et le plus précocement possible pour les bienfaits que cela engendre a été développée dans la première partie (Partie 1.II.6). Seulement 60 % des vétérinaires praticiens interrogés semblaient en être conscients, pour les 40 % restant, une eau spécifique pour les veaux n'est pas obligatoire ou sans importance (Figure 32). Cette question reflète peut-être un manque d'information des praticiens à ce sujet.

Un point essentiel dans la gestion de l'eau d'abreuvement en élevages des ruminants est le caractère plurifactoriel de cette problématique. Il faut s'intéresser à la fois à la partie quantitative et à la partie qualitative. La partie quantitative nécessite de savoir évaluer les besoins d'un troupeau donné pour apporter une quantité d'eau adaptée aux animaux présents sur l'exploitation. La partie qualitative nécessite une connaissance de l'origine de l'eau utilisée pour l'abreuvement donc du territoire (pédologie, climatologie...) où se trouve l'élevage mais aussi de la conception du circuit d'eau au sein de l'exploitation et de son entretien.

Les critères de jugement et les mesures de gestion les plus intuitives et les plus connues par les praticiens ont été cochées par la majorité d'entre eux (taille, localisation, débit et nombre d'abreuvoirs, connaître l'origine de l'eau, faire une analyse visuelle de l'eau ...). D'autres semblent moins intuitifs et donc moins évalués par les praticiens (hauteur d'eau, inspection du circuit...). Enfin très peu (trois répondants) ont ajouté des réponses ouvertes bien que cette liste était loin d'être exhaustive. Une réponse est particulièrement intéressante et représentative : « cela reste très théorique sur le terrain ». En effet, pour maîtriser la problématique de l'eau en élevage, il est essentiel d'avoir un certain nombre de bases que ce travail tente de synthétiser mais la plus grande difficulté réside dans le fait de les adapter et de les interpréter de manière individuelle et propre à chaque élevage, car deux élevages ne seront pas similaires concernant un même point (Figure 33).

Les quatre dernières questions ciblaient les analyses d'eau qui sont un outil majeur pour le vétérinaire sur le terrain. Moins de 20 % des vétérinaires praticiens utilisent régulièrement l'outil majeur qui est à leur disposition : l'analyse d'eau (Figure 34).

Cette observation est en accord avec le fait que près de 84 % des vétérinaires ayant répondu à ce questionnaire estiment que l'analyse d'eau annuelle qui est fortement préconisée sur l'eau d'abreuvement d'origine privée n'est pas réalisée sur le terrain (Figure 36).

D'après les réponses à ce questionnaire, 60 % des sondés font des analyses d'eau à la fois sur l'eau du réseau et l'eau d'origine privée. Une analyse sur l'eau du réseau si elle se révèle mauvaise reflète un problème au sein de l'exploitation car sa qualité avant l'arrivée au compteur est maîtrisée. Cela est important à garder en tête pour l'interprétation des résultats d'analyse. En effet, une analyse d'eau perd de son intérêt si elle n'est pas interprétée correctement en fonction du contexte et du lieu dans lesquels elle a été réalisée. Cela n'est pas forcément simple, ce que confirme les réponses à la question 10, près de 84 % des répondants rapportent ne pas être familier ou avoir besoin d'aide pour l'interprétation de ce type d'analyse.

Pour conclure, les vétérinaires ont conscience de l'importance de cette problématique et de la nécessité de la prendre en compte dans la gestion globale d'un élevage mais des manques de connaissances sur les critères plurifactoriels à combiner ressortent. On peut ressentir également un besoin d'aide dans l'interprétation des analyses d'eau, de part un faible nombre d'analyses réalisées mais également un manque de formation et de savoir-faire dans ce domaine.

Au cours des stages et lors de discussions avec des vétérinaires, nombreux sont ceux qui rapportent des limites notamment à cause de la disponibilité des laboratoires réalisant des analyses (tous ne le font pas et donc certaines zones sont peu desservies), le coût de l'analyse (celui propre à l'analyse auquel il faut parfois ajouter le prix du déplacement d'un technicien pour réaliser le prélèvement) tout ceci peut freiner l'utilisation d'un outil avec lequel les vétérinaires ne sont pas forcément familier et dont le résultat n'est pas évident à interpréter.

Cela conforte le fait que ce travail avait un intérêt pour les vétérinaires de terrain. Il a pour but de rassembler un ensemble de données, qui se veut le plus exhaustif possible, concernant la gestion et l'importance de l'eau d'abreuvement pour les élevages de ruminants.

La dernière partie est dédiée aux leviers d'action disponibles pour les praticiens. Elle est axée pour que les vétérinaires praticiens aient connaissance de comment réaliser et interpréter une analyse d'eau, comment conseiller leurs éleveurs sur les adaptations ou les changements à réfléchir lors de problèmes vis-à-vis de cette ressource et les traitements disponibles pour assainir l'eau d'une exploitation suivant la problématique propre à chaque élevage.

Le but de l'élaboration de ce questionnaire était d'avoir un état des lieux des connaissances, de l'utilisation des critères de jugement et des mesures de gestion telle que l'analyse d'eau par les vétérinaires praticiens.

L'objectif est atteint car la majorité des bassins d'élevages et des typologies d'élevages sont représentés à travers les clientèles des répondants.

Les résultats mettent en lumière que les vétérinaires praticiens ont conscience de l'importance de l'eau d'abreuvement sur la gestion et la santé globale des troupeaux.

Ils révèlent aussi la complexité d'aborder et de se focaliser sur ce sujet en élevage sans avoir toutes les cartes en main. En effet, de ce questionnaire ressort que tous les critères de jugement et les mesures de gestion ne sont pas intuitives ou utilisées dans la pratique courante.

De plus, l'outil principal qu'est l'analyse d'eau reste peu utilisée spontanément par les praticiens d'après ce questionnaire. L'interprétation des résultats de ces analyses n'est pas familière à une majorité d'entre eux.

# **PARTIE 5 : LEVIERS D'ACTION DU VETERINAIRE RURAL SUR LE CONSEIL VIS-A-VIS DE L'EAU D'ABREUUREMENT EN ELEVAGE**

## **XVI. Les analyses d'eau**

Elles doivent être représentatives et fonction du type d'ouvrage, de la saison (précipitations) et de l'endroit où est effectué le prélèvement.

### **1. Lieux d'analyses**

Avant de choisir le lieu d'échantillonnage, il faut savoir quelles origines d'eau sont les plus intéressantes à analyser. L'analyse de l'eau du réseau est d'une utilité relative car elle est contrôlée et ses résultats sont affichés en mairie. En revanche son analyse se révélera intéressante pour déceler un problème au sein du circuit de distribution de l'élevage. Les eaux de surface sont inutiles à analyser car elles seront toujours contaminées au niveau bactériologique. Ainsi, il sera difficile de relier un problème sanitaire à une analyse médiocre de ces eaux (qui sera mauvaise quel que soit le moment et le lieu de l'échantillonnage). Cela peut s'avérer utile si l'eau de surface, au pâturage par exemple, est la seule source possible d'abreuvement. Un système de pompage de cette eau avec mise en place de moyen pour l'assainir (exemple : filtration) pourront être étudié.

Les analyses les plus fréquentes concernent donc l'eau « d'origine privée » (puits, forages, captage d'une source...).

Pour le point de prélèvement, il faut le choisir le plus à proximité possible du point d'utilisation et/ou en bout de ligne du circuit. En analyse de routine, il faut privilégier les robinets à usages fréquents, proches des points de consommation. Pour une analyse diagnostic, on le choisira en fonction du problème ciblé (captage, abreuvoir au champ, bout de ligne, en sortie de cuve de traitement...) (Fulbert 2017).

### **2. Méthode de prélèvement**

#### **a. Kit de prélèvement et méthode d'échantillonnage**

Il faut utiliser un flacon stérile qui peut être envoyé par le laboratoire chargé des analyses ou le GDS.

Le matériel doit être adapté. C'est un kit constitué d'un flacon stérile, d'une lampe à souder ainsi que d'une glacière avec de la glace en quantité équivalente à la quantité d'eau prélevée.

Si des recherches particulières sont envisagées, il faut se renseigner auprès du laboratoire ou du GDS pour connaître les recommandations d'usages. Le tableau VI ci-dessous présente des exemples de choix de flacons et/ou de type d'eau en fonction de l'analyse souhaitée.

Pour une bactériologie, on la réalise sur une eau brute dans un flacon stérile. Si elle sert à vérifier l'efficacité de la chloration, le flacon devra contenir du thiosulfate de sodium et l'eau prélevée devra être celle traitée au chlore. Pour une analyse complète (bactériologique et chimique), il en sera de même. Pour une analyse chimique, une eau brute ou traitée peut être prélevée. L'échantillon sera envoyé dans un flacon classique (non stérile) pour les paramètres chimiques de base. Pour une analyse ciblée sur les minéraux, le fer et le magnésium, l'eau pourra être brute ou traitée mais un flacon contenant de l'acide est requis pour le transport de l'échantillon.

	Flacon stérile 500 ou 1000 ml	Flacon stérile 500 ou 1000 ml + thiosulfate de sodium	Flacon 500 ou 1000 ml	Flacon acide (Minéraux, Fe, Mg)
Bactériologie	Eau brute	Eau traitée au Cl		
Complète	Eau brute	Eau traitée	Eau traitée	
Chimique			Eau brute ou traitée	Eau brute ou traitée

Il faut laisser couler l'eau durant deux à trois minutes avec un débit moyen avant de débiter le protocole de prélèvement. Le manipulateur doit se laver les mains et nettoyer le robinet sur lequel il effectue le prélèvement. Avant de prélever l'eau, l'orifice du robinet doit être soigneusement stérilisé sans chauffer l'eau à l'aide de la lampe à souder (flamme au butane) ou avec de l'alcool à 70° si le matériau est fragile et sensible à la chaleur.

Le flacon doit être ouvert seulement au moment du remplissage et le bouchon doit être tenu avec la face d'ouverture vers le bas, en aucun cas il ne doit être posé à un quelconque endroit. Le remplissage est effectué en gardant la flamme allumée à côté du robinet. Il faut ensuite passer le rebord du flacon sous la flamme avant sa fermeture.

Pour un prélèvement effectué directement dans un puit, le prélèvement s'effectue avec un plongeur en inox qui est désinfecté à la flamme vive dans lequel est ensuite placé le flacon stérile de prélèvement. L'ensemble est plongé via une corde sous le niveau d'eau. Dès que l'on remonte l'équipement, on referme le flacon (Fulbert 2017).

#### b. Envoi des échantillons

Il est essentiel de maintenir une température des échantillons inférieure à 10°C. Pour une analyse bactériologique, elle doit être faite maximum 24 heures après le prélèvement et dans l'idéal dans les huit premières heures. Pour une analyse physico-chimique, le temps entre le prélèvement et l'analyse est moins réglementé mais il sera toujours préférable de l'effectuer le plus rapidement possible.

Il est important d'identifier le flacon de prélèvement et de remplir une fiche de prélèvement à envoyer conjointement. Elle sert de lien entre le préleveur, le demandeur et le laboratoire. L'identification du demandeur doit être complète et les critères d'intérêts clairement notifiés.

Des informations concernant l'eau de l'élevage seront primordiales à connaître pour l'interprétation : facteurs de risque de pollution, usage de l'eau, traitement de l'eau, zone d'implantation du captage, niveau de protection du captage, entretien, pluviométrie, sous-sols, attente de l'éleveur... (Annexe 7) (Fulbert 2017).

Pour information, au GDS de Creuse, le prix d'une analyse d'eau seule avec les paramètres de base est de 95 euros environ et de 120 euros si le prélèvement est effectué par un technicien (Boubet 2020).

### 3. Fréquence

La fréquence recommandée est d'une analyse par an en routine. Il est intéressant de varier le moment choisi pour le prélèvement d'une année sur l'autre en fonction de la saison, des conditions météorologiques (précipitations) précédant le jour du prélèvement, afin d'avoir une vision de l'impact que ces paramètres peuvent avoir ou non sur la qualité de l'eau utilisée.

Des analyses ponctuelles peuvent aussi être réalisées à des fins diagnostic pour élucider un problème sanitaire à un instant précis. Elles peuvent être physico-chimiques, bactériologiques ou les deux. Le nombre de critères analysés et de points de prélèvement sont à adapter en fonction des cas.

Pour le cas particulier des « veaux de boucherie élevés » en bandes, il est recommandé d'analyser l'eau entre chaque bande (en général deux fois par an) (Fulbert 2017).

### 4. Choix des paramètres analysés et leur interprétation

Il faut que les critères analysés soient choisis de façon à caractériser l'origine du problème, notamment dans le cas d'une analyse diagnostique. Le choix des paramètres à analyser sont à raisonner en fonction de l'origine de l'eau. Les critères d'analyses retenus diffèrent en fonction des GDS. La plupart de temps des forfaits avec cinq, huit voir 19 paramètres sont proposés (Olkowski 2009).

#### a. Paramètres microbiologiques

Concernant les paramètres microbiologiques, les germes doivent être des flores témoins de pollution. Ils doivent être connus, avec une détection et une identification simples. Le coût de leur recherche (mise en culture...) doit être abordable pour l'éleveur.

En gardant à l'esprit que les eaux les plus analysées sont les eaux souterraines d'origine privée et qu'elles contiennent normalement peu de bactéries. L'apport nutritif et la température régnant en profondeur sont faibles pour le développement des entérobactéries notamment. De plus, la charge polluante de ces sols est amoindrie par l'épuration subie au fil de la traversée des différentes couches géologiques.

La présence de bactéries au sein de ces eaux est donc un marqueur d'infiltration d'eaux de surface contaminées. Les germes de base à rechercher sont :

- Les coliformes totaux qui sont des marqueurs de contamination fécale.
- *Escherichia coli* est un marqueur de contamination fécale, plutôt d'origine humaine (exemple : station d'épuration).
- Les entérocoques sont des marqueurs de contamination fécale essentiellement d'origine animale (exemple : lisier).
- Les germes anaérobies sulfite-réducteurs ou clostridium sulfite-réducteurs ou ASR s'ils sont détectés seuls peuvent signer la présence de biofilm.

Le tableau VII présente les paramètres microbiologiques les plus couramment analysés en routine et leurs critères de qualité acceptables associés.

Tableau VII : Critères acceptables pour les principaux paramètres microbiologiques analysés de l'eau d'abreuvement.  
Source : D'après Boubet 2020

Paramètres Microbiologiques	Critères de qualité acceptables pour une eau d'abreuvement
Coliformes totaux	< 5 UFC/100 mL
Escherichia coli	< 5 UFC/100 mL
Entérocoques intestinaux	< 5 UFC/100 mL
Anaérobies sulfito-réducteurs	< 10 UFC/100 mL
Germes totaux à 22°C	< 5 UFC/mL
Germes totaux à 36°C	< 5 UFC/mL

De manière complémentaire, les germes suivants peuvent être recherchés :

- Les germes totaux à 36°C proviennent plutôt des animaux alors que ceux à 22°C sont des marqueurs de dégradation végétale. Ils peuvent signifier des contaminations hydrotelluriques ou la présence de biofilms dans le circuit (Tableau VII).
- D'autres agents pathogènes comme les pseudomonas, les salmonelles, les levures (*Candida albicans*), les staphylocoques, *Clostridium perfringens* peuvent être recherchés de manière plus anecdotique.

Parmi ces germes, certaines souches sont pathogènes (diarrhées, mammites, métrites...) mais leur présence dans l'eau n'établit pas automatiquement un diagnostic de certitude dans leur lien avec la survenue d'un désordre sanitaire dans l'élevage (Fulbert 2017 ; Boubet 2020).

#### b. Paramètres physico-chimiques

Ces paramètres seront également choisis en fonction du risque réel qu'ils représentent, avec des différences suivant l'espèce en question (le cuivre est plus important en élevage ovins). Il faut qu'ils reflètent l'environnement. Ils peuvent permettre de caractériser l'origine de l'eau (pH, Th, fer et manganèse sont des marqueurs d'eaux profondes).

Par exemple, la matière organique est un marqueur de biofilm alors que les nitrates signent une pollution agricole. Tout comme les paramètres microbiologiques, il faut qu'ils soient relativement faciles à rechercher, certains pesticides seront très chers à analyser et sont fugaces.

Les paramètres de base recherchés sont (Tableau VIII) :

- Le pH (à 20°C)
- La dureté (Th)
- La matière organique (KMnO<sub>4</sub> ou COT) : sa teneur en eaux profondes étant faible, elle peut refléter une infiltration ou un développement de biofilm lors d'élévation.
- Les nitrates et les nitrites tous deux marqueurs de pollution agricole notamment.

D'autres paramètres sont analysés au besoin de manière complémentaire (Tableau VIII) :

- Le fer
- Le manganèse
- Le cuivre
- Les sulfates
- Les chlorures
- Les pesticides ...

Ces paramètres entraînent essentiellement des dépôts au niveau du circuit, des matériaux (manganèse, fer, TH, COT), la solubilisation de certains médicaments (TH) et la baisse d'efficacité des traitements de l'eau (pH, fer...).

Tableau VIII : Critères acceptables pour les principaux paramètres chimiques analysés de l'eau d'abreuvement.  
Source : D'après Boubet 2020

Paramètres Chimiques	Critères de qualité acceptables pour une eau d'abreuvement
pH	6 < pH < 8
Dureté (TH)	15°F
Carbone organique total (COT)	< 5 mg/L
Nitrates	< 50 mg/L
Nitrites	< 0.1 mg/L
Fer	< 0.2 mg/L
Manganèse	< 0.05 mg/L
Cuivre	< 1 mg/L

### 1) Eaux analysées : Interprétation et informations déduites

Eaux de surface	Eau du réseau	Eaux privées
<p>*Peu informatives car toujours contaminées</p> <p>*A faire au pâturage avant distribution aux animaux, pour étudier des mesures de corrections à mettre en place</p>	<p>*Qualité du circuit d'eau interne à l'exploitation</p>	<p>*En routine pour contrôler sa qualité</p> <p>A des fins diagnostics lors de contamination(s) du captage ou du circuit</p>

### 2) Fréquence d'analyse

<p>Une fois par an en routine ou plus lors d'objectif diagnostic.</p> <p>Varié les moments de prélèvements (et/ou les lieux) pour limiter l'impact saisonnier</p>
---

### 3) Matériel pour l'analyse

<p>Un kit de prélèvement (laboratoire ou GDS) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Des flacons pour les échantillons</li> <li>- Du matériel de stérilisation (flamme ou alcool)</li> <li>- Un contenant pour l'envoi et le transport</li> </ul>
---

<p><b>Paramètres de base d'une analyse et origines :</b></p> <p><b>*Microbiologiques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coliformes totaux : &lt; 5 UFC/100mL (général)</li> <li>- <i>E. coli</i> : &lt; 5 UFC/100mL (humaine)</li> <li>- Entérocoques : &lt; 5 UFC/100mL (animale)</li> <li>- ASR : &lt; 10 UFC/100mL (seul, signe de biofilm)</li> </ul> <p><b>*Physico-chimiques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pH : 6-8      - TH : ≈ 15°F</li> <li>- COT : &lt; 5mg/L      Nitrates : &lt; 50 mg/L</li> </ul>	<p><b>Paramètres complémentaires d'une analyse :</b></p> <p><b>*Microbiologiques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Germes totaux à 22°C : &lt; 5 UFC/mL (animale)</li> <li>- Germes totaux à 36 °C : &lt; 5 UFC/mL (végétale)</li> </ul> <p><b>*Physico-chimiques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fer : &lt; 0.2 mg/L</li> <li>- Manganèse : &lt; 0.05 mg/L</li> <li>- Cuivre : &lt; 1 mg/L</li> <li>- Sulfates : &lt; 250 mg/L</li> </ul> <p><b>*Anecdotiques :</b> Chlorures, pesticides, métaux</p>
---	--

## ***XVII. Traitements disponibles de l'eau d'abreuvement***

Pour le traitement, deux objectifs sont envisageables :

- Améliorer la qualité de la ressource. Pour cela, il faut un site propre et une identification des sources de contaminations (lisier, pesticides, engrais, fumière...)
- Traiter l'eau d'origine privée. Plus la quantité sera importante et plus le coût sera élevé. Des installations spécifiques sont à mettre en place et souvent nécessaires.

Les traitements sont de deux types comme les paramètres pouvant poser problèmes, des traitements physico-chimiques, bactériologiques ou une association des deux est possible.

### ***1. Les traitements physico-chimiques***

Leur objectif majeur est la protection des équipements et du circuit en contact avec l'eau. Ils sont un prérequis pour la mise en place et l'efficacité des traitements bactériologiques.

#### **a. La filtration**

Son objectif est de retenir les particules pour protéger les équipements.

Le matériel utilisé sont des filtres avec des mailles variant d'un à 150 microns en fonction de l'installation et des particules visées (argiles, limon, sables...).

Les filtres peuvent être sur sable, à tamis, à disques, à cartouches, à médiateur filtrant...

Il faut faire attention au sous-dimensionnement au niveau des sections, du débit, de la vitesse de passage, du gradient de filtration, de la capacité de rétention, et de la fréquence des nettoyages. Ces défauts de conception conduisant à une baisse d'efficacité de la filtration sont régulièrement présents dans les élevages.

La filtration peut éliminer la matière organique et le carbone organique total via une phase de floculation et de stabilisation de ce floc, suivi par un lavage à contre-courant. Cette technique semble très aléatoire et compliquée à maîtriser dans les élevages.



Ces traitements de clarification de l'eau permettent une baisse du développement des micro-organismes, mais un ouvrage de captage bien réalisé est le premier filtre.

Le prix des filtres varie en fonction de leur nature mais pour moins d'une centaine d'euros on trouve la majorité des filtres. Ils sont à renouveler régulièrement (Fulbert 2017).

#### b. Neutraliser

L'objectif est de neutraliser le caractère agressif d'une eau (dû à un excès de gaz carbonique libre) pour la ramener autour d'un pH neutre (pH=7). L'eau trop acide peut entraîner des répercussions sur la santé des ruminants (acidose) et l'état du circuit (corrosion), le but est de limiter ces effets néfastes (Partie 3.VIII.1).

La neutralisation repose sur un filtre constitué de carbonates de calcium, il neutralise le gaz carbonique (acidifiant) dissout dans l'eau. A la sortie de ce filtre, l'équilibre calco-carbonique doit être rétabli (Fulbert 2017).

#### c. Déferriser et démanganiser

L'objectif est d'éliminer le fer excédentaire de l'eau afin d'éviter le colmatage des canalisations (coudes, té... ) et limiter l'encrassement propice au développement du biofilm surtout dans un circuit où l'eau est réchauffée. De plus, les possibilités d'utilisation de l'eau sont augmentées.

Cela consiste en l'oxydation du fer par l'air, un oxydant chimique ou des Ferro bactéries (*Leptothrix*, *Gallionella*). Ce dernier est retenu via un système de filtration et les résidus d'oxydes sont ensuite éliminés. On l'effectue pour des teneurs dépassant 0.5 mg/L de fer car en deçà, il y a peu d'impacts (norme 0.2mg/L).

Pour traiter le fer et le manganèse, il faut connaître les taux des formes de fer ( $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ ) présents dans l'eau ainsi que leurs variations. Il faut avoir des propriétés de distribution (consommation journalière, débit de pointe) et physico-chimiques (pH et TH) compatibles. Cela va orienter le choix concernant la méthode à instaurer.

Différentes méthodes existent :

- Par oxydation, de l'air envoyé va oxyder le fer dissout dans l'eau et le faire précipiter. Cela est suivi d'une phase de décantation et d'un repompage afin d'éliminer les oxydes de fer créés.
- Par clarification avec un filtre en pression lavable (manuellement ou automatiquement).
- Avec un produit filtrant, le BIRM qui accélère la réaction oxygène/fer. Le fer ainsi précipité peut ensuite être filtré.
- Avec des cristaux de silice (Crystal Right ©) suivi d'une régénération avec de la saumure. Ce principe est à utiliser sur des eaux dont les paramètres physico-chimiques sont douteux.
- La méthode « Green Sand » (MTN désormais) repose sur un produit oxydant faisant précipiter le fer et le manganèse avant d'être filtrés. Une fois le MTN épuisé, il se régénère seul via le permanganate ( $KMnO_4$ ).

Les trois dernières méthodes permettent l'élimination à la fois du fer et du manganèse. Les installations pour permettre de déferriser et/ou démanganiser représentent un investissement entre 4500 et 7000 euros selon Fulbert (2017).

#### d. Adoucisseur

Son objectif est de diminuer la dureté de l'eau en éliminant le calcium et le magnésium responsables du calcaire et par conséquent de l'entartrage du circuit. Il est essentiel pour des eaux avec une dureté au-dessus de 20°F.

Son principe repose sur une résine anionique qui permute les ions calcium et magnésium contre des ions sodium présents sur cette résine. Lorsque les ions sodium sont tous utilisés elle est régénérée par une solution de NaCl, saturée ou non, stockée dans le bac régénérant. Le coût d'investissement pour l'installation d'un adoucisseur varie de 1500 à 3000 euros (Fulbert 2017).

#### e. Dénitrater

Son objectif est de potabiliser l'eau en réduisant sa teneur en nitrates si celle-ci est supérieure à 50 mg/L.

Son principe repose également sur une résine échangeuse d'ions. Cette résine permet la permutation entre les sels de nitrates présents dans l'eau et des sels de chlorures. De la même façon, cette résine est régénérée lorsqu'elle est saturée via une solution de saumure saturée. Le coût d'investissement d'un dénitrater varie entre 1500 et 3000 euros (Fulbert 2017).

## 2. Les traitements microbiologiques

Ce sont des traitements de finition qui permettent un maintien constant d'une bonne qualité d'eau. Pour assurer leur efficacité, il faut un diagnostic complet préalable au traitement et des stations de traitement simples, bien montées avec des matériaux fiables. Les produits utilisés doivent être agréés de façon identique à ceux destinés à la consommation humaine.

#### a. La chloration

##### i. Chlore

D'après Fulbert (2017), plus de 60% des eaux d'origines privées sont traitées, 70 à 80 % d'entre elles le sont au chlore. Ce traitement de désinfection est le plus répandu, le plus simple à mettre en place et le moins coûteux mais c'est également celui qui peut être d'une efficacité médiocre s'il est mal réalisé.

Après un traitement au chlore, près de 60 % des analyses reviennent conformes selon les normes évoquées précédemment mais 40% sont non-conformes en se basant sur des bactériologies à quatre ou six critères.

Les causes d'échecs de ces traitements sont nombreuses car des interférences peuvent se produire suivant la qualité physico-chimique de l'eau :

- La présence de matière organique peut provoquer la synthèse de sous-produits néfastes : les chloramines (mauvais désinfectant), les chlorophénols (altération du goût), les trihalométhanes (toxiques).
- La présence de fer et de manganèse forme des oxydes donc des dépôts.
- Le pH (< 7) entraîne une diminution du chlore actif.
- Une dureté supérieure à 15°F nécessite l'ajout d'agents séquestrant (polyphosphates).
- Une température inférieure à 20 °C.
- Le contact n'est pas le même en fonction des cibles (40 minutes pour les virus contre cinq à 30 minutes contre les bactéries).

- Inefficacité du chlore face à certains pathogènes : *Pseudomonas.spp*, cryptosporidies, *Giardia.spp*, et les bactéries sporulées.

La teneur optimale du chlore sous sa forme libre doit être comprise entre 0.6 et 1.5 mg/L, cela sera fonction de la qualité initiale de l'eau, du temps de contact, de la longueur du circuit...

Il faut plutôt parler de coût au mètre cube d'eau pour les traitements microbiologiques. Ainsi le coût pour la chloration est d'environ cinq à huit centimes d'euros par mètre cube d'eau.

## ii. Dioxyde de Chlore

Le dioxyde de chlore s'obtient grâce à une réaction chimique mêlant deux composants : le chlorite de sodium et un activateur (acide chlorhydrique). Ces composants se trouvent prêts à l'emploi sous forme de pastilles. La durée d'action est d'environ un mois. Il est très efficace pour la destruction du biofilm et la désinfection. Il faut une dose d'attaque pour le biofilm à 0.5 mg/L durant une à deux semaines, suivie d'une dose d'entretien entre 0.1 et 0.3 mg/L.

Son action n'est pas altérée par le pH de l'eau, il ne forme pas de composés halogénés et ne modifie pas le goût ni l'odeur de celle-ci.

Les inconvénients sont sa dangerosité et sa toxicité lors de sa manipulation car la conversion des deux composants peut entraîner un dégazage. Il est déflagrant à une concentration de 10 % dans l'air car il n'est pas stockable. Un suivi concernant son utilisation est donc recommandé.

Le coût d'investissement à l'installation est compris entre 4600 et 6000 euros, le coût au mètre cube après investissement revient entre deux et huit centimes (Fulbert 2017).

## b. Les Ultraviolets (UV)

L'objectif est une désinfection et une stérilisation de circuit de distribution de l'eau. Ce principe repose sur une émission d'ultraviolets dont la longueur est comprise entre 200 et 315 nanomètres. Ils ont un effet bactériostatique mais aussi bactéricide.

Il faut connaître les paramètres suivants de son réseau d'eau : débit instantané maximum et la longueur des canalisations après le traitement UV afin de maximiser l'action de ce traitement. Un débit de 2.8 à 4 m<sup>3</sup>/h est recommandé pour une bonne efficacité. La turbidité est le facteur limitant car si l'eau n'est pas limpide, l'action des UV sera fortement diminuée.

Certaines règles concernant sa mise en place sont à prendre en compte. Il faut les réserver pour les circuits courts car il n'y a pas de rémanence. Une très bonne qualité de certains paramètres physico-chimiques est essentielle (matières en suspension, fer, manganèse, matière organique) car ce sont eux qui feront augmenter la turbidité de l'eau.

Ce type de traitement est simple à mettre en place, permet une bonne désinfection si les conseils ci-dessus sont respectés.

Un changement de lampe s'effectue annuellement car leur durée de vie est de 7000 heures. Le coût est d'environ cinq centimes du mètre cube d'eau traité (Fulbert 2017).

## c. Peroxyde d'Hydrogène

Il est en général associé à des acides dans ses formes commerciales.

Associé aux acides acétique et peracétique, il a un large spectre d'action. Il est bactéricide (Gram + et - ; *Pseudomonas.spp*), fongicide, sporicide et algicide. Cette désinfection est extrêmement efficace si elle est effectuée par temps de contact.

Le peroxyde a également une activité sur les bactéries anaérobies telles que *Clostridium perfringens*.

Cette association est utilisée soit en cure trois à quatre fois par an durant 10 jours avec une pompe doseuse, soit lors d'un besoin de désinfection ponctuelle.

Avec l'acide orthophosphorique, il a une action désinfectante via une libération progressive d'oxygène actif. Il a également une action sur le tartre ce qui limite l'accroche du biofilm et une action sur le pH.

Cette association s'utilise soit de manière permanente avec une concentration basse de 100 ml/m<sup>2</sup>, soit de façon séquentielle en cure quelques jours par mois avec une concentration plus élevée d'environ 250 ml/m<sup>2</sup>, la cible est le tartre dans ce cas.

L'inconvénient de ce composant est le coût relativement élevé et une stabilité concernant la désinfection compliquée à établir. Le coût au mètre cube traité revient à entre 20 centimes et 1 euro suivant l'association et le dosage (Fulbert 2017).

#### d. Electrolyse au sel

L'objectif de ce traitement est d'obtenir un effet biocide sur les germes présents.

Le principe repose sur l'électrolyse du sel (NaCl) qui permet la production d'un biocide composé de plusieurs molécules (hypochlorite de sodium puis acide hypochloreux), une fois le chlore sous forme libre il libère du chlore actif. Le sel et l'eau passent dans un électrolyseur constitué d'une anode et d'une cathode traversées par un courant électrique, les réactions électrochimiques en découlant produisent les composés précédemment cités.

Une alternative est l'électrolyse en ligne des sels minéraux (avec un ajout éventuel de sel) qui est moins onéreuse avec le même résultat final. C'est le traitement avec le coût au mètre cube le plus faible, un à cinq centimes environ (Fulbert 2017).

#### e. L'Ozone

L'ozonation de l'eau est un traitement qui consiste à mettre de l'ozone dans l'eau car c'est un agent oxydant très puissant. Il n'y a pas d'apport de matière première car il est instable et non transportable.

Il est créé sur place à partir de l'oxygène présent dans l'air ambiant et d'un procédé utilisant un courant à haute tension. Il est utilisé en pré-oxydation car il doit toujours être suivi d'une filtration mécanique.

Ce traitement détruit beaucoup de sous-produits de désinfection (chlore), de microorganismes et de micropolluants (pesticides), élimine le fer, le manganèse, le goût, la couleur et les odeurs indésirables de l'eau.

Le coût d'installation peut varier de 1000 à 3000 euros, et le coût du traitement ramené au mètre cube est plus élevé que pour les UV par exemple. Il est donc assez peu développé pour les élevages (Olkowski 2009).

### ***3. Les mesures de contrôle de l'activité désinfectante***

Concernant les traitements au chlore, un test en bout de ligne est impératif et sa teneur doit être comprise entre 0.6 et 1 mg/L. Des tests de terrain fonctionnant avec un réactif coloré permettent de mesurer cette teneur par colorimétrie via une échelle de couleurs.

Pour le dioxyde de chlore, le testage en bout de circuit est également important. De la même façon, un test de terrain via une bandelette ou une échelle colorimétrique pour vérifier sa teneur dans l'eau traitée existe, la teneur ciblée est de 0.1 mg/L.

Le peroxyde est également testable rapidement sur le terrain. La teneur cible à atteindre est comprise entre 10 et 20 mg/L en bout de ligne. Des tests instantanés sous forme de bandelettes mesurant sa teneur sont commercialisés.

Ces trois tests sont propres à un désinfectant en particulier mais une autre méthode permet de tester le pouvoir désinfectant de tous les traitements quel qu'il soit.

La méthode consiste à mesurer l'oxydo-réduction potentielle de l'eau (O.R.P). Elle caractérise un milieu d'oxydant ou de réducteur, sa valeur varie en fonction des paramètres physico-chimiques de l'eau. Une température élevée fait baisser l'O.R.P, alors qu'elle augmente pour des valeurs de pH basses.

Un oxydant tel que le chlore ou le peroxyde l'a fait augmenter, les éléments réducteurs comme la matière organique ou l'ammoniaque la font baisser.

La mesure se fait entre deux électrodes dont une au platine qui doivent être préalablement nettoyées et étalonnées pour une valeur proche de celle souhaitée sur une eau traitée. La valeur cible recherchée pour une désinfection efficace est de 650 meq. Cette valeur doit être stable sur l'ensemble du circuit, si ce n'est pas le cas, elle peut être synonyme de la présence d'un élément réducteur tel que du biofilm.

Des testeurs électroniques permettent de réaliser des mesures d'O.R.P et de pH rapidement sur le terrain (Fulbert 2017).

Deux grands types de traitements de l'eau existent qui reflètent les deux origines majeures de contaminations : physico-chimique et microbiologique.

Le traitement physico-chimique a pour rôle la protection du circuit de distribution et est un prérequis à l'efficacité d'un traitement microbiologique. Il comprend la filtration, l'adoucissement, la neutralisation, la déferrisation, la démanganisations et la dénitrification.

Les traitements microbiologiques ont pour but d'assainir l'eau de tous les agents pathogènes potentiellement présent dans l'eau. De nombreuses méthodes existent : la chloration, les UV, l'électrolyse au sel, le peroxydes d'hydrogène ...

Tous ces traitements nécessitent des investissements et un entretien coûteux pour une exploitation. Il est inutile d'avoir l'ensemble des méthodes de traitement dans un élevage. Le choix est à faire en fonction de l'origine de l'eau utilisée, des problèmes circulants dans l'élevages et de l'interprétation des analyses d'eau préalables.



## **CONCLUSION**

L'eau d'abreuvement est l'élément nutritif primaire pour tout être vivant. Chez les ruminants d'élevage leurs besoins en eau varient en fonction de paramètres intrinsèques aux individus (stade physiologique, production...) et de paramètres extrinsèques (composition de la ration, température ambiante...).

L'origine de l'eau distribuée aux ruminants d'élevage est importante à connaître, c'est elle qui détermine sa composition avec ses paramètres physico-chimiques et les éventuelles contaminations biologiques ou chimiques qu'elle peut contenir. Les eaux de surfaces seront régulièrement contaminées en grande partie à cause des infiltrations et du ruissèlement liés aux activités anthropiques à proximité. Au contraire les eaux souterraines (forages, puits) sont plus sûres, mais elles peuvent aussi être soumises aux pollutions chimiques et/ou microbiologique surtout si le captage est mal réalisé. L'eau du réseau (EDCH) est la plus sûre car sa qualité est maîtrisée, en revanche, les installations et leur entretien au sein de l'exploitation devront être contrôlées afin de ne pas détériorer cette qualité.

Il est important que des critères de qualité de l'eau soient établis. En effet, une eau contaminée peut entraîner des baisses de production, des cas d'intoxications voire des pertes d'animaux. De plus, ces contaminants peuvent parfois se retrouver dans les denrées alimentaires d'origine animale destinées à la consommation humaine.

Le vétérinaire rural est en première ligne lors de problèmes sanitaires au sein des élevages. Il peut être confronté à des contaminations ou des problèmes liés à l'eau d'abreuvement. Il doit être en mesure de les détecter et de conseiller ses éleveurs sur les analyses à entreprendre et les mesures de correction ou de prévention à mettre en place.

Le questionnaire élaboré pour ce travail reflète la réalité du terrain chez les vétérinaires praticiens au sujet de l'eau et de sa qualité : Les praticiens restent peu familiers avec les mesures autour de l'eau d'abreuvement, les analyses d'eau sont un outil encore peu utilisé sur le traitement et elles sont parfois mal interprétées.

La dernière partie avait pour but de donner des connaissances clés et pratiques aux vétérinaires ruraux après avoir rappelé dans les trois premières parties l'ensemble des données relatives à l'eau l'abreuvement pour les ruminants. Elle se focalise sur l'utilisation des analyses d'eau et leurs interprétations. Une fois que les connaissances et les outils d'analyse et de traitement de ce domaine sont maîtrisés, cela permet aux vétérinaires ruraux de divulguer des conseils sur les mesures de prévention et de correction existantes (traitements, entretien, aménagements...) à leur clientèle.

L'eau est un sujet replacé au centre des discussions avec la problématique du changement climatique. L'élevage représentant une grande consommation d'eau, il est directement concerné par cette problématique. Distribuer une eau en quantité suffisante et de qualité à son bétail n'est pas toujours simple, pourtant elle peut être considérée comme le premier des aliments même si ce n'est pas le cas dans les textes juridiques.





# BIBLIOGRAPHIE

- ALAMER, M., 2005. Physiological responses of Saudi Arabia indigenous goats to water deprivation. *Small Ruminant Research*. 2005. Vol. 63, pp. 100-109. DOI 10.1016/j.smallrumres.2005.02.004.
- ALAMER, M., 2009. Effect of water restriction on lactation performance of Aardi goats under heat stress conditions. 2009. N° 84, pp. 76-81. DOI 10.1016/j.smallrumres.2009.06.009.
- ALAMER, M. et AL-HOZAB, A., 2004. Effect of water deprivation and season on feed intake, body weight and thermoregulation in Awassi and Najdi sheep breeds in Saudi Arabia. *Journal of Arid Environments*. 2004. Vol. 59, n° 1, pp. 71-84. DOI 10.1016/j.jaridenv.2004.01.003.
- AL-RAMAMNEH, D., RIEK, A. et GERKEN, M., 2010. Deuterium oxide dilution accurately predicts water intake in sheep and goats. *Animal*. 2010. Vol. 4, n° 9, pp. 1606-1612. DOI 10.1017/S1751731110000716.
- AL-RAMAMNEH, D., RIEK, A. et GERKEN, M., 2012. Effect of water restriction on drinking behaviour and water intake in German black-head mutton sheep and Boer goats. 2012. Vol. 6, n° 1, pp. 173-178. DOI 10.1017/S1751731111001431.
- ANDERSSON, M., 1985. Effects of drinking water temperatures on water intake and milk yield of tied-up dairy cows. *Livestock Production Science*. 1985. Vol. 12, n° 4, pp. 329-338. DOI 10.1016/0301-6226(85)90132-0.
- ANDERSSON, M., SCHAAR, J. et WIKTORSSON, H., 1984. Effects of drinking water flow rates and social rank on performance and drinking behaviour of tied-up dairy cows. *Livestock Production Science*. 1984. Vol. 11, n° 6, pp. 599-610. DOI 10.1016/0301-6226(84)90074-5.
- ANDREW, S. M., ERDMAN, R. A. et WALDO, D. R., 1995. Prediction of body composition of dairy cows at three physiological stages from deuterium oxide and urea dilution. *Journal of Dairy Science*. 1995. Vol. 78, n° 5, pp. 1083-1095. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(95)76725-X.
- ARTAUD, A., WATIOTIENNE, E., GRILLON, F., WHITE, S., NOIRET, B., CARDOT, V. et JURJANZ, S., 2011. Préférences des vaches laitières pour différents types d'abreuvoirs. [en ligne]. 2011. N° 18, pp. 121. [Consulté le 8 mai 2023]. Disponible à l'adresse : <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=27916900>
- AUJAY, A., BRUERE, M.N., FEUGERE, H., RICHARD, L., LACORRE, V., BOYARD, C., MARTIGNAC, S., PETIT, M. et LAROCHE, V., 2009. *Guide abreuvement au champ Limousin* [en ligne]. 2009. Chambre d'agriculture de la Haute-Vienne. [Consulté le 2 mars 2023]. Disponible à l'adresse : [https://haute-vienne.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/Nouvelle-Aquitaine/105\\_Inst-Haute-Vienne/\\_FILIERES\\_INNOVATIONS/\\_Agronomie\\_et\\_Productions\\_Vegetales/Documents/2009\\_guide\\_abreuvement\\_BR.pdf](https://haute-vienne.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Nouvelle-Aquitaine/105_Inst-Haute-Vienne/_FILIERES_INNOVATIONS/_Agronomie_et_Productions_Vegetales/Documents/2009_guide_abreuvement_BR.pdf)
- AVERY, S. M., MOORE, A. et HUTCHISON, M. L., 2004. Fate of Escherichia coli originating from livestock faeces deposited directly onto pasture. *Letters in Applied Microbiology*. 2004. Vol. 38, n° 5, pp. 355-359. DOI 10.1111/j.1472-765X.2004.01501.x.
- BECKERS, Y., THÉWIS, A., DELBOUILLE, L. et GIVRON, L., 2002. *Production de veaux de boucherie en concordance avec la nouvelle législation : recherche d'un aliment solide adéquat* [en ligne]. Région Wallone. [Consulté le 5 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/13665/1/Rapport%20final%20projet%20veau%202002.pdf>
- BEEDE, D.K., 2005. The Most Essential Essential Nutrient: Water. In : *Proceedings of the 7th Western Dairy Management Conference* [en ligne]. Nevada. 2005. pp. 13-31. [Consulté le 29 avril 2021]. Disponible à l'adresse : [https://ag.arizona.edu/extension/dairy/az\\_nm\\_newsletter/2005/june.pdf](https://ag.arizona.edu/extension/dairy/az_nm_newsletter/2005/june.pdf)
- BEWLEY, J. M., GROTT, M. W., EINSTEIN, M. E. et SCHUTZ, M. M., 2008. Impact of Intake Water Temperatures on Reticular Temperatures of Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*. 2008. Vol. 91, n° 10, pp. 3880-3887. DOI 10.3168/jds.2008-1159.

- BISCHOFF, K., 2001. The toxicology of microcystin-LR: occurrence, toxicokinetics, toxicodynamics, diagnosis and treatment. *Veterinary and Human Toxicology* [en ligne]. 2001. Vol. 43, n° 5, pp. 294-297. [Consulté le 28 avril 2021]. Disponible à l'adresse : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11577938/>
- BLOKHUIS, H.J., 2009. *Welfare Quality® Assessment protocol for cattle* [en ligne]. Protocole de Consortium. Lelystad. [Consulté le 17 mai 2023]. Welfare Quality. Disponible à l'adresse : <https://edepot.wur.nl/233467>
- BOILA, R. J. et GOLFMAN, L. S., 1991. Effects of molybdenum and sulfur on digestion by steers. *Journal of Animal Science*. 1991. Vol. 69, n° 4, pp. 1626-1635. DOI 10.2527/1991.6941626x.
- BOUBET, B., 2020. Qualité de l'eau et abreuvement. [en ligne]. Creuse. 2020. [Consulté le 28 mars 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.gdscreuse.fr/wp-content/uploads/2012/11/6-2019-Qualite-de-leau-et-abreuvement.pdf>
- BOUDON, A., KHELIL, H., THOMAS-MOREL, M., BANVILLE, M., PHAM, T.H.V., MÉNARD, J.L., BRUNSCHWIG, P., HUNEAU, T., COUTANT, S., LAMY, J.M. et FAVERDIN, P., 2012. Construction et validation d'un modèle de prédiction des besoins en eau des vaches laitières incluant l'effet de la température ambiante. [en ligne]. 2012. N° 19, pp. 177-180. [Consulté le 25 mai 2021]. Disponible à l'adresse : <https://hal.science/hal-01210337>
- BOUDON, A., KHELIL-ARFA, H., MÉNARD, J.L., BRUNSCHWIG, P. et FAVERDIN, P., 2013. Les besoins en eau d'abreuvement des bovins laitiers : déterminismes physiologiques et quantification. *INRAE Productions Animales*. 2013. Vol. 26, n° 3, pp. 249-262. DOI 10.20870/productions-animales.2013.26.3.3153.
- BOYNE, R. et ARTHUR, J. R., 1986. Effects of molybdenum or iron induced copper deficiency on the viability and function of neutrophils from cattle. *Research in Veterinary Science*. 1986. Vol. 41, n° 3, pp. 417-419.
- BREMNER, I., HUMPHRIES, W. R., PHILLIPPO, M., WALKER, M. J. et MORRICE, P. C., 1987. Iron-induced copper deficiency in calves: dose-response relationships and interactions with molybdenum and sulphur. *Animal Science*. 1987. Vol. 45, n° 3, pp. 403-414. DOI 10.1017/S0003356100002890.
- BROOM, D. M. et FRASER, A. F., 2007. *Domestic animal behaviour and welfare*. 4. Wallingford : CABI. ISBN 978-1-84593-287-9.
- BURGOS, M.S., SENN, M., SUTTER, F., KREUZER, M. et LANGHANS, W., 2001. Effect of water restriction on feeding and metabolism in dairy cows. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 2001. Vol. 280, n° 2, pp. 418-427. DOI 10.1152/ajpregu.2001.280.2.R418.
- BURGOS, S. A., FADEL, J. G. et DEPETERS, E. J., 2007. Prediction of Ammonia Emission from Dairy Cattle Manure Based on Milk Urea Nitrogen: Relation of Milk Urea Nitrogen to Urine Urea Nitrogen Excretion. *Journal of Dairy Science*. 2007. Vol. 90, n° 12, pp. 5499-5508. DOI 10.3168/jds.2007-0299.
- BURKHARDT, F.K., HAYER, J.J., HEINEMANN, C. et STEINHOFF-WAGNER, J., 2022. Drinking behavior of dairy cows under commercial farm conditions differs depending on water trough design and cleanliness. *Applied Animal Behaviour Science*. 2022. Vol. 256, pp. 1-9. DOI 10.1016/j.applanim.2022.105752.
- CABRERA-ESTRADA, J.I., 2003. *Le rôle de la teneur en matière sèche de l'herbe verte sur la régulation de l'ingestion volontaire chez la vache laitière*. Docteur de l'E.N.S.A.R. Mention Biologie et Agronomie. Rennes : Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes.
- CANTOR, M.C., COSTA, J.H.C. et BEWLEY, J.M., 2018. Impact of Observed and Controlled Water Intake on Reticulorumen Temperature in Lactating Dairy Cattle. *Animals: an open access journal from MDPI*. 2018. Vol. 8, n° 11, pp. 194. DOI 10.3390/ani8110194.
- CAPDEVILLE, J. et MODRIC, E., 2019. *Comment éviter les courants électriques parasites en élevage laitier ? Conseils pour les constructions du bâtiment* [en ligne]. 2019. Cniel. [Consulté le 7 juin 2023]. Disponible à l'adresse : [https://idele.fr/fileadmin/medias/TEMP/Eviter\\_courant\\_elec\\_parasites\\_Construction\\_batiment\\_CNIEL\\_07\\_2019\\_pap.pdf](https://idele.fr/fileadmin/medias/TEMP/Eviter_courant_elec_parasites_Construction_batiment_CNIEL_07_2019_pap.pdf)

- CAPDEVILLE, J., ROULAND, J.F., FERRÉ-FAYACHE, D., GUÉRIN, S., LE CLAINCHE, D., MICHENOT, B. et WALLET, P., 2014. *Des veaux laitiers en bonne santé - Moins d'antibiotiques avec de bonnes pratiques d'élevage et des nurseries performantes* [en ligne]. 2014. [Consulté le 6 mars 2023]. Disponible à l'adresse : <https://idele.fr/detail-ouvrage/des-veaux-laitiers-en-bonne-sante>
- CARDOT, V., LE ROUX, Y. et JURJANZ, S., 2007. Les facteurs de variation du comportement d'abreuvement des vaches laitières. [en ligne]. 2007. N° 14, pp. 316. [Consulté le 21 avril 2023]. Disponible à l'adresse : [http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2007\\_07\\_comportement\\_11\\_Cardot.pdf](http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2007_07_comportement_11_Cardot.pdf)
- CARDOT, V., LE ROUX, Y. et JURJANZ, S., 2008. Drinking behavior of lactating dairy cows and prediction of their water intake. *Journal of Dairy Science*. 2008. Vol. 91, n° 6, pp. 2257-2264. DOI 10.3168/jds.2007-0204.
- CASTLE, M.E. et THOMAS, T.P., 1975. The water intake of British Friesian cows on rations containing various forages. *Animal Science*. 1975. Vol. 20, n° 2, pp. 181-189. DOI 10.1017/S0003356100035170.
- CERPAM et ARDEPI, 2003. *Eau et abreuvement des troupeaux*. 2003. Techniques pastorales.
- CHALLIS, D. J., ZEINSTRA, J. S. et ANDERSON, M. J., 1987. Some effects of water quality on the performance of high yielding cows in an arid climate. *The Veterinary Record*. 1987. Vol. 120, n° 1, pp. 12-15. DOI 10.1136/vr.120.1.12.
- CHAMBRES D'AGRICULTURE DE PICARDIE ET DU NORD PAS-DE-CALAIS et INSTITUT D'ÉLEVAGE, 2015. *Bâtiment d'élevage : Détails de réalisation* [en ligne]. 2015. Institut de l'élevage. [Consulté le 5 mars 2023]. Disponible à l'adresse : [https://nord-pas-de-calais.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/Hauts-de-France/029\\_Inst-Hauts-de-France/Techniques-et-productions/Elevage/Conception\\_b%C3%A2timent/fiche\\_02\\_abreuvement\\_vaches\\_laitieres\\_batiment\\_2008.pdf](https://nord-pas-de-calais.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Hauts-de-France/029_Inst-Hauts-de-France/Techniques-et-productions/Elevage/Conception_b%C3%A2timent/fiche_02_abreuvement_vaches_laitieres_batiment_2008.pdf)
- CHAYER, M., 2021. *Étude de la qualité de l'eau de source et d'abreuvement dans les élevages vache-veau en fonction des propriétés physicochimiques et bactériologiques* [en ligne]. Maitrise en sciences animales. Québec : Université LAVAL. [Consulté le 22 mai 2023]. Disponible à l'adresse : <https://docplayer.fr/220537085-Etude-de-la-qualite-de-l-eau-de-source-et-d-abreuvement-dans-les-elevages-vache-veau-en-fonction-des-proprietes-physicochimiques-et-bacteriologiques.html>
- CHEN, Z., PANG, C., JIN, W., LIU, J. et ZHU, Y., 2015. Optimization of water supply system with constant temperature in winter based on effect of water temperature on growth performance of beef cattle. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2015. Vol. 31, n° 24, pp. 212-218. DOI 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.24.032.
- CHICCO, C. F., AMMERMAN, C. B., FEASTER, J. P. et DUNAVANT, B. G., 1973. Nutritional interrelationships of dietary calcium, phosphorus and magnesium in sheep. *Journal of Animal Science*. 1973. Vol. 36, n° 5, pp. 986-993. DOI 10.2527/jas1973.365986x.
- COIMBRA, P. A. D., MACHADO FILHO, L. C. P., NUNES, P. A., HÖTZEL, M. J., DE OLIVEIRA, A. G. L. et CECATO, U., 2010. Effect of water trough type on the drinking behaviour of pasture-based beef heifers. *Animal*. 2010. Vol. 4, n° 1, pp. 116-121. DOI 10.1017/S1751731109990930.
- COIMBRA, P.A.D., 2007. *Aspectos extrínsecos do comportamento de bebida de bovinos em pastoreio* [en ligne]. Maitre en Agronomie des écosystèmes. Florianopolis : Université Fédérale de Santa Catarina. [Consulté le 28 avril 2023]. Disponible à l'adresse : <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/89821/241460.pdf?sequence=1>
- COIMBRA, P.A.D., MACHADO FILHO, L.C.P. et HÖTZEL, M.J., 2012. Effects of social dominance, water trough location and shade availability on drinking behaviour of cows on pasture. *Applied Animal Behaviour Science*. 2012. Vol. 139, n° 3, pp. 175-182. DOI 10.1016/j.applanim.2012.04.009.
- COLLIN, Jean-Jacques, 2004. *Les eaux souterraines: Connaissance et gestion*. brgm. Paris : Orléans : Hermann. ISBN 978-2-7056-6474-9.

CONSEIL DE L'UNION EUROPÉENNE, 1996. *DIRECTIVE 96/23/CE DU CONSEIL du 29 avril 1996 relative aux mesures de contrôle à mettre en œuvre à l'égard de certaines substances et de leurs résidus dans les animaux vivants et leurs produits et abrogeant les directives 85/358/CEE et 86/469/CEE et les décisions 89/187/CEE et 91/664/CEE* [en ligne]. 29 avril 1996. L 125/10. [Consulté le 17 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:31996L0023&from=EN>

CONTRAT DE RIVIÈRE CELÉ, 2006. *Les systèmes d'abreuvement au pâturage* [en ligne]. 2006. [Consulté le 12 avril 2023]. Disponible à l'adresse : [https://reseau-eau.educagri.fr/files/fichierRessource1\\_Plqt-Abreuvement.pdf](https://reseau-eau.educagri.fr/files/fichierRessource1_Plqt-Abreuvement.pdf)

COTTEE, G., KYRIAZAKIS, I., WIDOWSKI, T. M., LINDINGER, M. I., CANT, J. P., DUFFIELD, T. F., OSBORNE, V. R. et MCBRIDE, B. W., 2004. The effects of subacute ruminal acidosis on sodium bicarbonate-supplemented water intake for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2004. Vol. 87, n° 7, pp. 2248-2253. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(04)70045-4.

DAROS, R.R., BRAN, J.A., HÖTZEL, M.J. et VON KEYSERLINGK, M.A.G., 2019. Readily Available Water Access is Associated with Greater Milk Production in Grazing Dairy Herds. *Animals : an Open Access Journal from MDPI*. 2019. Vol. 9, n° 2, pp. 48. DOI 10.3390/ani9020048.

DAVIS, P. A., MCDOWELL, L. R., WILKINSON, N. S., BUERGELT, C. D., VAN ALSTYNE, R., WELDON, R. N. et MARSHALL, T. T., 2006. Tolerance of inorganic selenium by range-type ewes during gestation and lactation. *Journal of Animal Science*. 2006. Vol. 84, n° 3, pp. 660-668. DOI 10.2527/2006.843660x.

DE CREMOUX, R., BLANCHIN, J.Y., BÉALU, C., BLAIN, S., COMMANDRÉ, J.C., DELTOUR, B., EHRHARDT, N., FAGOO, B., SOURD, F., ROCHETEAU, Philippe et TRILLAT, P., 2021. *Conception et utilisation des bâtiments d'élevage pour des chèvres et chevrettes en bonne santé* [en ligne]. 2021. Institut de l'élevage. [Consulté le 17 avril 2023]. Disponible à l'adresse : [https://idele.fr/?eID=cmis\\_download&olD=workspace%3A%2F%2FspacesStore%2Fe73b698c-7773-4651-9b15-0104452395ac&cHash=84a24b78ffa930e7803c07484331797d](https://idele.fr/?eID=cmis_download&olD=workspace%3A%2F%2FspacesStore%2Fe73b698c-7773-4651-9b15-0104452395ac&cHash=84a24b78ffa930e7803c07484331797d)

DELISLE, C. et BOURGEOIS, S., 2020. Réussir Bovins viande. . 2020. N° 282, pp. 14-25.

DREHER, T.W., COLLART, L.P., MUELLER, R.S., HALSEY, K.H., BILDFELL, R.J., SCHREDER, P., SOBHAKUMARI, A. et FERRY, R., 2019. Anabaena/Dolichospermum as the source of lethal microcystin levels responsible for a large cattle toxicosis event. *Toxicon: X*. 2019. Vol. 1, pp. 100003. DOI 10.1016/j.toxcx.2018.100003.

DUBREUIL, P. et SAUVAGEAU, R., 1993. Intoxication chronique au cuivre chez des agneaux lourds par l'eau d'abreuvement. *The Canadian Veterinary Journal = La Revue Veterinaire Canadienne* [en ligne]. 1993. Vol. 34, n° 7, pp. 428-430. [Consulté le 26 mai 2023]. Disponible à l'adresse : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17424254/>

DUTEILH, L. et JAMOT, A., 2021. *Guide technique : Récupération des eaux de pluie pour l'abreuvement des animaux en Creuse*. [en ligne]. 2021. Chambre d'agriculture de la Creuse. [Consulté le 21 avril 2023]. Disponible à l'adresse : <https://creuse.chambre-agriculture.fr/actualites/detail-de-lactualite/actualites/recuperation-des-eaux-de-pluie-pour-labreuvement-des-animaux-en-creuse/>

DUTRA, I.S., DÖBEREINER, J., ROSA, I.V., SOUZA, L.A.A. et NONATO, M., 2001. Surtos de botulismo em bovinos no Brasil associados à ingestão de água contaminada. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. 2001. Vol. 21, n° 2, pp. 43-48. DOI 10.1590/S0100-736X2001000200002.

EMBRY, L., HOELSCHER, M., WAHLSTROM, R. et CARLSON, C., 1959. Salinity and Livestock Water Quality. *Research Bulletins of the South Dakota Agricultural Experiment Station (1887-2011)* [en ligne]. 1959. N° 481, pp. 36. [Consulté le 28 mai 2023]. Disponible à l'adresse : [https://openprairie.sdstate.edu/agexperimentsta\\_bulletins/481](https://openprairie.sdstate.edu/agexperimentsta_bulletins/481)

FAGOO, B. et MOREL, T., 2022. *Le logement des ruminants, les équipements et les annexes* [en ligne]. 2022. Institut de l'élevage. [Consulté le 20 mai 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.grands-troupeaux-mag.fr/wp-content/uploads/2022/03/Le-logement-des-ruminants.pdf>

FAIRBROTHER, J.M. et NADEAU, E., 2006. Contamination de animaux par *Escherichia coli* en la finca. *Revue Scientifique et Technique de l'OIE*. 2006. Vol. 25, n° 2, pp. 555-569. DOI 10.20506/rst.25.2.1682.

FEINGLASS, E. J. et EDWARD, J., 1973. Arsenic intoxication from well water in the United States. *The New England Journal of Medicine*. 1973. Vol. 288, n° 16, pp. 828-830. DOI 10.1056/NEJM197304192881608.

FITZSIMONS, J. T., 1998. Angiotensin, thirst, and sodium appetite. *Physiological Reviews*. 1998. Vol. 78, n° 3, pp. 583-686. DOI 10.1152/physrev.1998.78.3.583.

FLABA, J., GEORG, H., GRAVES, R.E., LENSINK, J., LOYNES, J., OFNER-SCHROCK, E., RYAN, T., VAN CAENEGEM, L., VENTORP, M. et ZAPPAVIGNA, P., 2014. 14 : *Recommandations internationales pour le logement de la vache laitière et de la génisse de remplacement. La conception du logement de la vache laitière et de la génisse de remplacement*. [en ligne]. Synthèse des connaissances de la Commission Internationale du Génie Rural. Wallonie : Commission Internationale du Génie Rural. [Consulté le 13 avril 2023]. Cattle Housing. Disponible à l'adresse : [http://www.agripress.be/\\_STUDIOEMMA\\_UPLOADS/downloads/logement-vache-laitiere\\_1\\_\\_Copy.pdf](http://www.agripress.be/_STUDIOEMMA_UPLOADS/downloads/logement-vache-laitiere_1__Copy.pdf)

FLANAGAN, P. R., HAIST, J. et VALBERG, L. S., 1980. Comparative effects of iron deficiency induced by bleeding and a low-iron diet on the intestinal absorptive interactions of iron, cobalt, manganese, zinc, lead and cadmium. *The Journal of Nutrition*. 1980. Vol. 110, n° 9, pp. 1754-1763. DOI 10.1093/jn/110.9.1754.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2008. *Codex alimentarius: production animale*. 1. Organisation Mondiale de la Santé. Codex alimentarius. ISBN 978-92-5-205838-0.

FRALEY, S. E., HALL, M. B. et NENNICH, T. D., 2015. Effect of variable water intake as mediated by dietary potassium carbonate supplementation on rumen dynamics in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2015. Vol. 98, n° 5, pp. 3247-3256. DOI 10.3168/jds.2014-8557.

FRANGEUL, M., JOLIVEL, A., MARHUENDA, C., NEAU, M. et ROBLLOT, C., 2022. Des algues bleues et des bovins jaunes : cas d'intoxication aux cyanobactéries d'un lot de vaches tarées au pâturage. . 2022. N° 107, pp. 15-22.

FULBERT, L., 2017. Maitrise de la qualité/quantité de l'eau en élevage : analyse, diagnostic captage et approche de la distribution et des systèmes de traitement. *Maitrise de la qualité/quantité de l'eau en élevage: analyse, diagnostic captage et approche de la distribution et des systèmes de traitement*. Mâcon. 2017.

GAC, A. et BECHUT, T., 2014. L'empreinte eau consommative du lait et de la viande bovine et ovine : premiers repères sur des systèmes français. [en ligne]. 2014. N° 21, pp. 4. [Consulté le 12 juillet 2023]. Disponible à l'adresse : [https://idele.fr/fileadmin/medias/Documents/GacBechu2014\\_3R.pdf](https://idele.fr/fileadmin/medias/Documents/GacBechu2014_3R.pdf)

GAILER, J., GEORGE, G.N., PICKERING, I.J., PRINCE, R.C., YOUNIS, H.S. et WINZERLING, J.J., 2002. Biliary excretion of [(GS)(2)AsSe](-) after intravenous injection of rabbits with arsenite and selenate. *Chemical Research in Toxicology*. 2002. Vol. 15, n° 11, pp. 1466-1471. DOI 10.1021/tx025538s.

GALEY, F. D., BEASLEY, V. R., CARMICHAEL, W. W., KLEPPE, G., HOOSER, S. B. et HASCHEK, W. M., 1987. Blue-green algae (*Microcystis aeruginosa*) hepatotoxicosis in dairy cows. *American Journal of Veterinary Research*. 1987. Vol. 48, n° 9, pp. 1415-1420.

GERVAIS, F., 2002. *Le veau de boucherie : situation actuelle et perspectives dans le cadre de la nouvelle réglementation bien-être*. [en ligne]. Docteur vétérinaire. Toulouse : Université Paul-Sabatier de Toulouse. [Consulté le 5 juin 2023]. Disponible à l'adresse : [https://oatao.univ-toulouse.fr/831/1/picco\\_831.pdf](https://oatao.univ-toulouse.fr/831/1/picco_831.pdf)

GERVAIS, F., CAPDEVILLE, J., DAVID, V., DUVAUCHELLE-WACHÉ, A., GAUTIER, J.M, LE CLAINCHE, D., LE GUENIC, M., LE PAGE, P., LERUSTE, H., MÉNARD, J.L., MOUNAIX, Béatrice et ROUSSEL, P., 2017. *Des vaches laitières en bonne santé : moins d'antibiotiques avec de bonnes pratiques d'élevage et des bâtiments adaptés. Plan EcoAntibio 2017*. Institut de l'Élevage [en ligne]. Institut de l'élevage. [Consulté le 6 mai 2023]. Synthèse. Disponible à l'adresse : [https://idele.fr/rmt-batice/?eID=cmis\\_download&oID=workspace%3A%2F%2FspacesStore%2Fcf493566-1f93-4a8c-a4c4-86af65437359&cHash=32dbba5af61ba62f2b40787ef4bb49ad](https://idele.fr/rmt-batice/?eID=cmis_download&oID=workspace%3A%2F%2FspacesStore%2Fcf493566-1f93-4a8c-a4c4-86af65437359&cHash=32dbba5af61ba62f2b40787ef4bb49ad)

GOONERATNE, S. R., BUCKLEY, W. T. et CHRISTENSEN, D. A., 1989. Review of copper deficiency and metabolism in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*. 1989. Vol. 69, n° 4, pp. 819-845. DOI 10.4141/cjas89-096.

GOULART, Ricardo Cazerta, CORSI, Moacyr, BAILEY, Derek et ZOCCHI, Silvio, 2008. Cattle Grazing Distribution and Efficacy of Strategic Mineral Mix Placement in Tropical Brazilian Pastures. *Rangeland Ecology & Management - RANGEL ECOL MANAG*. 1 novembre 2008. Vol. 61, pp. 656-660. DOI 10.2111/08-137.1.

GOYER, R. A., 1997. Toxic and essential metal interactions. *Annual Review of Nutrition*. 1997. Vol. 17, pp. 37-50. DOI 10.1146/annurev.nutr.17.1.37.

GPSE, 2019. *Courants électriques parasites en élevage Connaître et maîtriser* [en ligne]. 2019. GPSE. [Consulté le 7 juin 2023]. Disponible à l'adresse : [https://www.gpse.fr/IMG/pdf/gpse\\_2019\\_courants\\_electriques\\_parasites\\_en\\_elevage-2.pdf](https://www.gpse.fr/IMG/pdf/gpse_2019_courants_electriques_parasites_en_elevage-2.pdf)

GROSSI, S., ROSSI, L., DELL'ANNO, M., BIFFANI, Stefano et ROSSI, C.A.S., 2021. Effects of Heated Drinking Water on the Growth Performance and Rumen Functionality of Fattening Charolaise Beef Cattle in Winter. *Animals : an Open Access Journal from MDPI*. 2021. Vol. 11, n° 2218, pp. 1-13. DOI 10.3390/ani11082218.

GROUT, A. S., VEIRA, D. M., WEARY, D. M., VON KEYSERLINGK, M. a. G. et FRASER, D., 2006. Differential effects of sodium and magnesium sulfate on water consumption by beef cattle. *Journal of Animal Science*. 2006. Vol. 84, n° 5, pp. 1252-1258. DOI 10.2527/2006.8451252x.

HÄNNINEN, M.L., NISKANEN, M. et KORHONEN, L., 1998. Water as a Reservoir for *Campylobacter jejuni* Infection in Cows Studied by Serotyping and Pulsed-field Gel Electrophoresis (PFGE). *Journal of Veterinary Medicine, Series B*. 1998. Vol. 45, n° 1-10, pp. 37-42. DOI 10.1111/j.1439-0450.1998.tb00764.x.

HAYER, Jason J., HEINEMANN, Céline, SCHULZE-DIECKHOFF, Benedikt G. et STEINHOFF-WAGNER, Julia, 2022. A risk-oriented evaluation of biofilm and other influencing factors on biological quality of drinking water for dairy cows. *Journal of Animal Science*. 1 mai 2022. Vol. 100, n° 5, pp. skac112. DOI 10.1093/jas/skac112.

HEPOLA, H.P., HÄNNINEN, L.T., RAUSSI, S.M., PURSIAINEN, P.A., AARNIKOIVU, A.M. et SALONIEMI, H.S., 2008. Effects of providing water from a bucket or a nipple on the performance and behavior of calves fed ad libitum volumes of acidified milk replacer. *Journal of Dairy Science*. 2008. Vol. 91, n° 4, pp. 1486-1496. DOI 10.3168/jds.2007-0500.

HIGGINS, S.F., MOSER, L. et LAURENT, K., 2016. Providing Water for Beef Cattle in Rotational Grazing Systems. [en ligne]. 2016. pp. 1-7. [Consulté le 10 mai 2023]. Disponible à l'adresse : [https://uknowledge.uky.edu/anr\\_reports/114/](https://uknowledge.uky.edu/anr_reports/114/)

HUMPHRIES, W. R., PHILLIPPO, M., YOUNG, B. W. et BREMNER, I., 1983. The influence of dietary iron and molybdenum on copper metabolism in calves. *The British Journal of Nutrition*. 1983. Vol. 49, n° 1, pp. 77-86. DOI 10.1079/bjn19830013.

HUUSKONEN, A., TUOMISTO, L. et KAUPPINEN, R., 2011. Effect of drinking water temperature on water intake and performance of dairy calves. . 2011. Vol. 94, n° 5, pp. 2475-2480. DOI 10.3168/jds.2010-3723.

INSTITUT DE L'ÉLEVAGE, 2009. *Abreuvement des bovins allaitants en bâtiment* [en ligne]. 2009. Institut de l'élevage. [Consulté le 4 avril 2023]. Disponible à l'adresse : <https://idele.fr/outils>

IVAN, M. et GRIEVE, C. M., 1976. Effects of zinc, copper, and manganese supplementation of high-concentrate ration on gastrointestinal absorption of copper and manganese in Holstein calves. *Journal of Dairy Science*. 1976. Vol. 59, n° 10, pp. 1764-1768. DOI 10.3168/jds.s0022-0302(76)84435-9.

JAEG, J.P., 2007. Microcystines : intoxication des animaux domestiques et sécurité des aliments d'origine animale. *Revue Méd. Vét.* 2007. Vol. 1, n° 2, pp. 46-58.

JAMOT, A., 2019. *Les étangs et l'abreuvement*. [en ligne]. 2019. Chambre d'agriculture de la Creuse. [Consulté le 18 avril 2023]. Disponible à l'adresse : [https://creuse.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/Nouvelle-Aquitaine/098\\_Inst-Creuse/PDF/publications/Plaqueette\\_abreuvement\\_etangs.pdf](https://creuse.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Nouvelle-Aquitaine/098_Inst-Creuse/PDF/publications/Plaqueette_abreuvement_etangs.pdf)

JASTER, E.H, SCHUH, J.D et WEGNER, T.N, 1978. Physiological effects of saline drinking water on high producing dairy cows. *Journal of Dairy Science* [en ligne]. 1978. [Consulté le 10 mai 2023]. Disponible à l'adresse : [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Physiological+effects+of+saline+drinking+water+on+high+producing+dairy+cows.&author=Jaster+E.H.&publication\\_year=1978](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Physiological+effects+of+saline+drinking+water+on+high+producing+dairy+cows.&author=Jaster+E.H.&publication_year=1978)

KERTZ, A. F., REUTZEL, L. F. et MAHONEY, J. H., 1984. Ad Libitum Water Intake by Neonatal Calves and Its Relationship to Calf Starter Intake, Weight Gain, Feces Score, and Season. *Journal of Dairy Science*. 1984. Vol. 67, n° 12, pp. 2964-2969. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(84)81660-4.

KHELIL-ARFA, H., BOUDON, A., MAXIN, G. et FAVERDIN, P., 2012. Prediction of water intake and excretion flows in Holstein dairy cows under thermoneutral conditions. *animal*. 2012. Vol. 6, n° 10, pp. 1662-1676. DOI 10.1017/S175173111200047X.

KHELIL-ARFA, H.K., 2012. *Étude des déterminants du bilan eau d'une vache laitière et modélisation des flux journaliers* [en ligne]. phd. Rennes : Agrocampus Ouest. [Consulté le 18 avril 2023]. Disponible à l'adresse : <https://hal.inrae.fr/tel-02807911>

KHELIL-ARFA, H.K., BOUDON, A., MAXIN, G. et FAVERDIN, P., 2011. Prédiction des flux d'eau consommée et excrétée par les vaches laitières en conditions de thermoneutralité. [en ligne]. 2011. N° 18, pp. 117-120. [Consulté le 17 mars 2023]. Disponible à l'adresse : <https://hal.inrae.fr/hal-02749947/document>

KHELIL-ARFA, H.K., FAVERDIN, P. et BOUDON, A., 2011. Effect of a constant high ambient temperature on the intake and excretion of water in dry and lactating Holstein cows. In : *International Symposium on the Nutrition of Herbivores (ISNH8)* [en ligne]. Aberystwyth : International Symposium on the Nutrition of Herbivores (ISNH8). 2011. pp. 454. [Consulté le 11 avril 2023]. Disponible à l'adresse : [https://www.researchgate.net/publication/283307247\\_Effect\\_of\\_a\\_constant\\_high\\_ambient\\_temperature\\_on\\_the\\_intake\\_and\\_excretionof\\_water\\_in\\_dry\\_and\\_lactating\\_Holstein\\_cows](https://www.researchgate.net/publication/283307247_Effect_of_a_constant_high_ambient_temperature_on_the_intake_and_excretionof_water_in_dry_and_lactating_Holstein_cows)

KLEIN, B.G., 2019. *Cunningham's Textbook of Veterinary Physiology - E-Book*. 6e édition. Saunders. ISBN 978-0-323-55227-1.

KOONG, L. J., WISE, M. B. et BARRICK, E. R., 1970. Effect of elevated dietary levels of iron on the performance and blood constituents of calves. *Journal of animal science*. 1970. Vol. 31, n° 2, pp. 422-427. DOI <https://doi.org/10.2527/jas1970.312422x>.

KUME, S., NONAKA, K., OSHITA, T. et KOZAKAI, T., 2010. Evaluation of drinking water intake, feed water intake and total water intake in dry and lactating cows fed silages. *Livestock Science*. 2010. Vol. 128, n° 1, pp. 46-51. DOI 10.1016/j.livsci.2009.10.012.

LA BUVETTE, 2013. *Guide de l'Abreuvement au Pâturage* [en ligne]. 2013. La Buvette. [Consulté le 6 avril 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.labuvette.fr/downloads/dl/file/id/354/GUIDE-ABREUVEMENT-AU-PATURAGE.pdf>

LAINÉZ, M.M. et HSIA, L.C., 2004. Effects of Season, Housing and Physiological Stage on Drinking and Other Related Behavior of Dairy Cows (*Bos taurus*). *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2004. Vol. 17, n° 10, pp. 1417-1429. DOI 10.5713/ajas.2004.1417.

LARDNER, H., KIRYCHUK, B., BRAUL, L., WILLMS, W. et YAROTSKI, J., 2005. The effect of water quality on cattle performance on pasture. *Australian Journal of Agricultural Research*. 2005. Vol. 56, n° 1, pp. 97-104. DOI 10.1071/AR04086.

LÉGIFRANCE, 1984. *Journal officiel de la république Française - Lois et Décrets* [en ligne]. 2 septembre 1984. 0205. [Consulté le 17 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/download/securePrint?token=gxCJSWSTWexm8Spsf@Je>

LÉGIFRANCE, 2006. *Décret n° 2006-880 du 17 juillet 2006 relatif aux procédures d'autorisation et de déclaration prévues par les articles L. 214-1 à L. 214-3 du code de l'environnement pour la protection de l'eau et des milieux aquatiques*. 18 juillet 2006. 164.

LÉGIFRANCE, 2008. *Arrêté du 21 août 2008 relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments*. 29 août 2008. 201.

LÉGIFRANCE, 2023a. *Code minier-Article 131*. 23 juin 2023.

LÉGIFRANCE, 2023b. *Code de l'environnement-Article L214-8*. 10 juillet 2023.

LÉGIFRANCE, 2023c. *Code civil-Article 641*. 10 juillet 2023.

LEJEUNE, J. T., BESSER, T. E., MERRILL, N. L., RICE, D. H. et HANCOCK, D. D., 2001. Livestock Drinking Water Microbiology and the Factors Influencing the Quality of Drinking Water Offered to Cattle. *Journal of Dairy Science* [en ligne]. 1 août 2001. Vol. 84, n° 8, pp. 1856-1862. [Consulté le 15 mai 2023]. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(01)74626-7. Disponible à l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030201746267>

LEPESME, M., MARTINEAU, C., QUILIEN, J.P., BRIAND, P. et MÉNARD, J.L., 2011. Consommations d'eau en production de « veau de boucherie ». [en ligne]. 2011. N° 18, pp. 122. [Consulté le 20 avril 2023]. Disponible à l'adresse : [http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte4\\_alim\\_Lepesme\\_Martineau.pdf](http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte4_alim_Lepesme_Martineau.pdf)

LIGDA, P., CLAEREBOUT, E., KOSTOPOULOU, D., ZDRAGAS, A., CASAERT, S., ROBERTSON, L.J. et SOTIRAKI, S., 2020. Cryptosporidium and Giardia in surface water and drinking water: Animal sources and towards the use of a machine-learning approach as a tool for predicting contamination. . 2020. Vol. 264, pp. 14. DOI 10.1016/j.envpol.2020.114766.

LOOPER, M.L. et WALDNER, D.N., 2002. Water for dairy cattle. [en ligne]. 2002. Vol. 4275, pp. 1-4. [Consulté le 10 mai 2023]. Disponible à l'adresse : [https://pubs.nmsu.edu/\\_d/D107/index.html](https://pubs.nmsu.edu/_d/D107/index.html)

LOWE, G. L., SUTHERLAND, M. A., STEWART, M., WAAS, J. R., COX, N. R. et SCHÜTZ, K. E., 2022. Effects of provision of drinking water on the behavior and growth rate of group-housed calves with different milk allowances. *Journal of Dairy Science*. 2022. Vol. 105, n° 5, pp. 4449-4460. DOI 10.3168/jds.2021-21304.

MAIA, A. S. C., DASILVA, R. G. et BATTISTON LOUREIRO, C. M., 2005 (a). Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. *International Journal of Biometeorology*. a 2005. Vol. 50, n° 1, pp. 17-22. DOI 10.1007/s00484-005-0267-1.

MAIA, A. S. C., DASILVA, R. G. et BATTISTON LOUREIRO, C.M., 2005 (b). Respiratory heat loss of Holstein cows in a tropical environment. *International Journal of Biometeorology*. b 2005. Vol. 49, n° 5, pp. 332-336. DOI 10.1007/s00484-004-0244-0.

MASSABIE, P., AUBERT, C., MÉNARD, J.L., ROY, H., BOULESTREAU-BOULAY, A.L., DUBOIS, A., DEZAT, E., DENNERY, G., ROUSSEL, P., MARTINEAU, C., BRUNSCHWIG, P., THOMAS, J, QUILIEN, J.P, BRIAND, P, COUTANT, S, FULBERT, L, HUNEAU, T, LOWAGIE, S, MAGNIERE, J P, NICOUD, M, PIROUX, D et BOUDON, A., 2013. Maîtrise des consommations d'eau en élevage : élaboration d'un référentiel, Identification des moyens de réduction, Construction d'une démarche de diagnostic. [en ligne]. 2013. N° 30, pp. 87-101. [Consulté le 19 avril 2023]. Disponible à l'adresse : <https://ifip.asso.fr/documentations/33912-maitrise-des-consommations-deau-en-elevage-elaboration-dun-referentiel-identification-des-moyens-de-reduction-construction-dune-demarche-de-diagnostic/>

MCDONALD, P.V., VON KEYSERLINGK, M.A.G. et WEARY, D.M., 2019. Technical note: Using an electronic drinker to monitor competition in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 102, n° 4, pp. 3495-3500. DOI 10.3168/jds.2018-15585.

MÉNARD, J.L., LEPESME, M., BRUNSCHWIG, P., COUTANT, S., FULBERT, L., HUNEAU, T., LIBEAU, J., LOWAGIE, S., MAGNIERE, J.P., NICOUD, M., PIROUX, D. et BOUDON, A., 2012. Evaluation de la consommation en eau en élevage bovins laitiers et mise au point d'un référentiel simplifié de l'abreuvement des vaches, génisses et veaux après sevrage. [en ligne]. 2012. Vol. 19, pp. 173-176. [Consulté le 26 avril 2023]. Disponible à l'adresse : <https://hal.science/hal-01210339>

MESCHY, F., 2010. *Nutrition minérale des ruminants*. Versailles : QUAE. ISBN 978-2-7592-0508-0.



MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE, 2022. *Cycle de l'eau* [en ligne]. 2022. Ministère de la transition écologique. [Consulté le 9 mai 2023]. Disponible à l'adresse : [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/18189\\_infog\\_cycle-eau\\_web.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/18189_infog_cycle-eau_web.pdf)

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2012. *Hydrologie souterraine-Synthèse* [en ligne]. Synthèse. Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. [Consulté le 27 avril 2023]. Explore 70. Disponible à l'adresse : [https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/RE\\_Explore2070\\_Eaux\\_Sout\\_Synthese.pdf](https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/RE_Explore2070_Eaux_Sout_Synthese.pdf)

MORMEDE, P., 2015. 2014-SA-0252 : *Conséquences des champs électromagnétiques d'extrêmement basses fréquences sur la santé animale et les performances zootechniques* [en ligne]. Rapport d'expertise collective. Anses. [Consulté le 7 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.anses.fr/fr/system/files/SANT2013sa0037Ra.pdf>

MOUNIER, L., BOISSY, A., DE BOYER DES ROCHES, A., DUVAUX-PONTER, C., GUATTEO, R., MEUNIER-SALAÜN, M.C. et MORMÈDE, P., 2021. *Le bien-être des animaux d'élevage : Evaluer le bien-être animal*. Quae. Les Mémos de Quae. ISBN 978-2-7592-3326-7.

MSD ANIMAL HEALTH, 2016. *Eau et bovins : Besoins et consommation* [en ligne]. 2016. MSD Animal Health. [Consulté le 12 avril 2023]. Disponible à l'adresse : <https://my.msd-animal-health.be/media/3608/tt-eau-et-bovins-besoins-et-consommation.pdf>

MURGUE, P., HERMANT, A., LAMONICA, J., LAPOINTE, S., FOUCHER, E., FORGUE, I., MAIROT, S. et BLIGNY, C., 2022. *Guide l'Abreuvement : Pour une meilleure utilisation des ressources naturelles et un abreuvement responsable* [en ligne]. 2022. ASSECC. [Consulté le 14 mars 2023]. Disponible à l'adresse : [https://bourgognefranchecomte.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/Bourgogne-Franche-Comte/061\\_Inst-Bourgogne-Franche-Comte/CRABFC/Eau-CCL/GUIDE\\_ABREUVEMENT\\_Final\\_light.pdf](https://bourgognefranchecomte.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Bourgogne-Franche-Comte/061_Inst-Bourgogne-Franche-Comte/CRABFC/Eau-CCL/GUIDE_ABREUVEMENT_Final_light.pdf)

MURPHY, M.R., 1992. Water Metabolism of Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*. 1992. Vol. 75, n° 1, pp. 326-333. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(92)77768-6.

MURPHY, M.R., DAVIS, C.L. et MCCOY, G.C., 1983. Factors affecting water consumption by Holstein cows in early lactation. *Journal of Dairy Science*. 1983. Vol. 66, n° 1, pp. 35-38. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(83)81750-0.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2001. *Nutrient requirements of dairy cattle*. Septième édition révisée. Washington, D.C : National Academy Press. ISBN 978-0-309-06997-7. SF203 .N883 2001

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (U.S.) SUBCOMMITTEE ON NUTRIENT AND TOXIC ELEMENTS IN WATER. (éd.), 1974. *Nutrients and toxic substances in water for livestock and poultry*. Washington : Académie Nationale des Sciences. Washington, D.C., National Academy of Sciences. ISBN 978-0-309-02312-2.

NEWTON, G.L., FONTENOT, J.P., TUCKER, R. E. et POLAN, C.E., 1972. Effects of high dietary potassium intake on the metabolism of magnesium by sheep. *Journal of Animal Science*. 1972. Vol. 35, n° 2, pp. 440-445. DOI 10.2527/jas1972.352440x.

NIELSEN, J.B. et ANDERSEN, O., 1995. A comparison of the lactational and transplacental deposition of mercury in offspring from methylmercury-exposed mice. Effect of seleno-L-methionine. *Toxicology Letters*. 1995. Vol. 76, n° 2, pp. 165-171. DOI 10.1016/0378-4274(94)03209-p.

NIZZI, E, FORIS, B, GERARD, C, LASSALAS, J, HURTAUD, C et BOUDON, A, 2022. Suivi du comportement individuel d'abreuvement et de la hiérarchie sociale chez les vaches laitières à l'aide d'abreuvoirs connectés. [en ligne]. 2022. N° 26, pp. 557-561. [Consulté le 3 avril 2023]. DOI 10.15454/YK9Q-PF68. Disponible à l'adresse : [https://www6.rennes.inrae.fr/pegase\\_eng/RESEARCH/Experimental-Facility](https://www6.rennes.inrae.fr/pegase_eng/RESEARCH/Experimental-Facility)

OLKOWSKI, A.A., 2009. *La qualité de l'eau d'abreuvement du bétail* [en ligne]. Ph.D. Saskatchewan : Université de la Saskatchewan. [Consulté le 10 février 2023]. Disponible à l'adresse : [https://www.agrireseau.net/bovinsboucherie/documents/Field%20guide%20animal%20wq\\_fr%20-%20Qualit%C3%A9%20eau.pdf](https://www.agrireseau.net/bovinsboucherie/documents/Field%20guide%20animal%20wq_fr%20-%20Qualit%C3%A9%20eau.pdf)

OLKOWSKI, A.A., CHRISTENSEN, D.A. et ROUSSEAU, C.G., 1991. Association of sulfate-water and blood thiamine concentration in beef cattle: Field studies. *Canadian Journal of Animal Science*. 1991. Vol. 71, n° 3, pp. 825-832. DOI 10.4141/cjas91-097.

OLKOWSKI, A.A., LAARVELD, B., PATIENCE, J.F., FRANCIS, S.I. et CHRISTENSEN, D.A., 1993. The effect of sulphate on thiamine-destroying activity in rumen content cultures in-vitro. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research. Internationale Zeitschrift Fur Vitamin- Und Ernährungsforschung. Journal International De Vitaminologie Et De Nutrition*. 1993. Vol. 63, n° 1, pp. 38-44.

OLSSON, K. et HYDBRING, E., 1996. The preference for warm drinking water induces hyperhydration in heat-stressed lactating goats. *Acta Physiologica Scandinavica*. 1996. Vol. 157, n° 1, pp. 109-114. DOI 10.1046/j.1365-201X.1996.d01-727.x.

ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ, 2007. WHO/SDE/WSH/07.01/1 : *pH in Drinking-water* [en ligne]. Guide. Organisation Mondiale de la Santé. [Consulté le 26 avril 2023]. Disponible à l'adresse : [https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/ph.pdf?sfvrsn=16b10656\\_4](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/ph.pdf?sfvrsn=16b10656_4)

ORR, P.T., JONES, G.J., HUNTER, R.A. et BERGER, K., 2003. Exposure of beef cattle to sub-clinical doses of *Microcystis aeruginosa*: toxin bioaccumulation, physiological effects and human health risk assessment. *Toxicon: Official Journal of the International Society on Toxinology*. 2003. Vol. 41, n° 5, pp. 613-620. DOI 10.1016/s0041-0101(03)00006-0.

ORR, P.T., JONES, G.J., HUNTER, R.A., BERGER, K., DE PAOLI, D.A. et ORR, C.L., 2001. Ingestion of toxic *Microcystis aeruginosa* by dairy cattle and the implications for microcystin contamination of milk. *Toxicon: Official Journal of the International Society on Toxinology*. 2001. Vol. 39, n° 12, pp. 1847-1854. DOI 10.1016/s0041-0101(01)00166-0.

OSWEILER, G.D. et RUHR, L.P., 1978. Lead poisoning in feeder calves. *Journal of the American Veterinary Medical Association* [en ligne]. 1978. Vol. 172, n° 4, pp. 498-500. [Consulté le 15 mai 2023]. Disponible à l'adresse : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/624673/>

O'TOOLE, D. et RAISBECK, M.F., 1995. Pathology of experimentally induced chronic selenosis (alkali disease) in yearling cattle. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation: Official Publication of the American Association of Veterinary Laboratory Diagnosticians, Inc.* 1995. Vol. 7, n° 3, pp. 364-373. DOI 10.1177/104063879500700312.

LOUDIN, L.C., MAUPAS, D., LOUVET, E., GOLASZEWSKI, G., BAZERQUE, M.F., MARTINET, F. et SIMONET, F., 2003. 2 : *Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau* [en ligne]. Présentation. MEDD et Agence de l'eau. [Consulté le 17 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <http://oaidoc.eau-loire-bretagne.fr/exl-doc/IIB1346.pdf>

PALMER, J.S., WRIGHT, F.C. et HAUFLER, M., 1973. Toxicologic and residual aspects of an alkyl mercury fungicide to cattle, sheep, and turkeys. *Clinical Toxicology*. 1973. Vol. 6, n° 3, pp. 425-437. DOI 10.3109/15563657308990542.

PARLEMENT EUROPÉEN, 2002. *Règlement (CE) n° 178/2002 du Parlement européen et du Conseil du 28 janvier 2002 établissant les principes généraux et les prescriptions générales de la législation alimentaire, instituant l'Autorité européenne de sécurité des aliments et fixant des procédures relatives à la sécurité des denrées alimentaires* [en ligne]. 28 janvier 2002. [Consulté le 8 juillet 2023]. Disponible à l'adresse : <http://data.europa.eu/eli/reg/2002/178/oj/fra>

PARLEMENT EUROPÉEN, 2005. *RÈGLEMENT (CE) N° 183/2005 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 12 janvier 2005 établissant des exigences en matière d'hygiène des aliments pour animaux* [en ligne]. 12 janvier 2005. [Consulté le 17 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:02005R0183-20120916&from=PL>

PATTERSON, H., JOHNSON, P., YOUNG, D. et HAIGH, R., 2003. Effects of Water Quality on Performance and Health of Growing Steers. *South Dakota Beef Report* [en ligne]. 2003. N° 16, pp. 101-104. [Consulté le 29 mai 2023]. Disponible à l'adresse : [https://openprairie.sdstate.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=1015&context=sd\\_beefreport\\_2003](https://openprairie.sdstate.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=1015&context=sd_beefreport_2003)

- PETERSEN, M.K., MUSCHA, J.M., MULLINIKS, J.T. et ROBERTS, A.J., 2016. Water temperature impacts water consumption by range cattle in winter. *Journal of Animal Science*. 2016. Vol. 94, n° 10, pp. 4297-4306. DOI 10.2527/jas.2015-0155.
- PINHEIRO MACHADO FILHO, L., TEIXEIRA, D., WEARY, D., KEYSERLINGK, M. et HÖTZEL, M.J., 2004. Designing better water troughs: Dairy cows prefer and drink more from larger troughs. *Applied Animal Behaviour Science*. 2004. Vol. 89, n° 3-4, pp. 185-193. DOI 10.1016/j.applanim.2004.07.002.
- POMA, G., SALERNO, F., ROSCIOLI, C., NOVATI, S. et GUZZELLA, L., 2017. Persistent organic pollutants in sediments of high-altitude Alpine ponds within Stelvio National Park, Italian Alps. *Inland Waters*. 2017. Vol. 7, n° 1, pp. 34-44. DOI 10.1080/20442041.2017.1294345.
- POTTER, S. et MATRONE, G., 1974. Effect of Selenite on the Toxicity of Dietary Methyl Mercury and Mercuric Chloride in the Rat. *The Journal of Nutrition*. 1974. Vol. 104, n° 5, pp. 638-647. DOI 10.1093/jn/104.5.638.
- PULS, R., 1994. *Mineral levels in animal health: diagnostic data*. 2. Clearbrook, B.C. : Sherpa International. ISBN 978-0-9693429-2-2.
- RAISBECK, M.F., SIEMION, R.S. et SMITH, M.A., 2006. Modest copper supplementation blocks molybdenosis in cattle. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation: Official Publication of the American Association of Veterinary Laboratory Diagnosticians, Inc.* 2006. Vol. 18, n° 6, pp. 566-572. DOI 10.1177/104063870601800607.
- REID, J.T. et PFAU, K.O., 1947. Mineral metabolism studies in dairy cattle; the effect of manganese and other trace elements on the metabolism of calcium and phosphorus during early lactation. *The Journal of Nutrition*. 1947. Vol. 34, n° 6, pp. 661-676. DOI 10.1093/jn/34.6.661.
- ROUSSEL, P., WUCHER, A., THOMAS, J., LAGRIFFOUL, G., MÉNARD, J.L. et HASSOUN, P., 2012. La consommation d'eau des élevages ovins laitiers en Aveyron. [en ligne]. 2012. N° 19, pp. 215. [Consulté le 20 avril 2023]. Disponible à l'adresse : [http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte\\_35\\_alimentation\\_P-Roussel.pdf](http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/Texte_35_alimentation_P-Roussel.pdf)
- SAGOT, L., BLANCHIN, J.Y., GAUTIER, Jean-Marc, CAPDEVILLE, J., SCHELCHER, F., GONTIER, M., DANIEL, D., LEPETITCOLIN, E., SOURD, F. et COMMANDRÉ, J.C., 2015. *Des agneaux en bonne santé : bonnes pratiques d'élevage et bergerie adaptée* [en ligne]. 2015. Institut de l'élevage. [Consulté le 7 avril 2023]. Disponible à l'adresse : <https://idele.fr/detail-article/des-agneaux-en-bonne-sante>
- SARATHCHANDRA, G., ALBERT, A., MURALIMANO HAR, B. et VENUGOPALAN, A.T., 1997. Borewell water nitrate toxicosis in cattle. *Indian Veterinary Journal*. 1997. Vol. 74, pp. 750-751.
- SCHMIDELY, P., BAYOURTHE, C., ENJALBERT, F., GAUDRÉ, D., GROSJEAN, F., JURJANZ, S., PARIS, A., POULIQUEN, H., SOYEUX, Y., DUCHEMIN, J., MANIA, J., MONTIEL, A., VIALETTE, M., GANIÈRE, J.P., VIALARD, J. et KAMMERER, M., 2010. 2008-SA-0162 : *État des lieux des pratiques et recommandations relatives à la qualité sanitaire de l'eau d'abreuvement des animaux d'élevage* [en ligne]. Etat des lieux. Anses. [Consulté le 10 février 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.anses.fr/fr/system/files/ALAN2008sa0162Ra.pdf>
- SCHÜTZ, K.E., ROGERS, A. R., POULOUIN, Y.A., COX, N.R. et TUCKER, C.B., 2010. The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2010. Vol. 93, n° 1, pp. 125-133. DOI 10.3168/jds.2009-2416.
- SHIGA A., 1986. The effect of drinking water temperature in winter on water, magnesium and calcium metabolisms in Ewes. *The Japanese Journal of Veterinary Science*. 1986. Vol. 48, n° 5, pp. 893-899. DOI 10.1292/jvms1939.48.893.
- SILANIKOVE, N., 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science*. 2000. Vol. 67, n° 1, pp. 1-18. DOI 10.1016/S0301-6226(00)00162-7.
- SPÖRNDLY, E. et WREDLE, E., 2005. Automatic milking and grazing--effects of location of drinking water on water intake, milk yield, and cow behavior. *Journal of Dairy Science*. 2005. Vol. 88, n° 5, pp. 1711-1722. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(05)72844-7.

STANDISH, J.F., AMMERMAN, C.B., SIMPSON, C.F., NEAL, F.C. et PALMER, A.Z., 1969. Influence of graded levels of dietary iron, as ferrous sulfate, on performance and tissue mineral composition of steers. *Journal of Animal Science*. 1969. Vol. 29, n° 3, pp. 496-503. DOI 10.2527/jas1969.293496x.

STODDARD, G.E., BATEMAN, G.Q., HARRIS, L. E., SHUPE, J.L. et GREENWOOD, D.A., 1963. Effects of Fluorine<sup>1</sup> on Dairy Cattle. IV. Milk Production<sup>2</sup>. *Journal of Dairy Science*. 1963. Vol. 46, n° 7, pp. 720-726. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(63)89129-8.

SUTTLE, N.F., ABRAHAMS, P. et THORNTON, I., 1984. The role of a soil × dietary sulphur interaction in the impairment of copper absorption by ingested soil in sheep. *The Journal of Agricultural Science*. 1984. Vol. 103, n° 1, pp. 81-86. DOI 10.1017/S0021859600043343.

SUTTLE, N.F. et PETER, D.W., 1985. Rumen sulphide metabolism as a major determinant of copper availability in the diets of sheep. In : *Trace Elements in Man and Animals* [en ligne]. Commonwealth Agricultural Bureaux. Chester J.K. pp. 367-370. proceedings 5th International Symposium. [Consulté le 6 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://publications.csiro.au/rpr/pub?list=BRO&pid=procite:01151eed-63ae-4348-abb5-a6953bb34fb9>

TEIXEIRA, D., HÖTZEL, M.J., PINHEIRO MACHADO FILHO, L., CAZALE, J. et ENRIQUEZ-HIDALGO, D., 2017. Designing Better Water Troughs: Does Trough Color Influence Dairy Cows' Preference? *Journal of Applied Animal Welfare Science*. 2017. Vol. 20, n° 2, pp. 192-195. DOI 10.1080/10888705.2017.1283621.

THOMSON, A.B., OLATUNBOSUN, D. et VALVERG, L.S., 1971. Interrelation of intestinal transport system for manganese and iron. *The Journal of Laboratory and Clinical Medicine* [en ligne]. 1971. Vol. 78, n° 4, pp. 642-655. [Consulté le 23 mai 2023]. Disponible à l'adresse : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5114057/>

THOUVENOT, T., 2010. *Newsletter Empreinte Ecologique n°7* [en ligne]. 2010. WWF-France. [Consulté le 9 mai 2023]. Disponible à l'adresse : <https://ise.unige.ch/isdd/IMG/pdf/Newsletter-Empreinte-Ecologique-7.pdf>

TSAI, Y.C., HSU, J.T., DING, S.T., RUSTIA, D.J.A. et LIN, T.T., 2020. Assessment of dairy cow heat stress by monitoring drinking behaviour using an embedded imaging system. *Biosystems Engineering*. 2020. Vol. 199, pp. 97-108. DOI 10.1016/j.biosystemseng.2020.03.013.

TUCKER, W.B., HOGUE, J.F., WATERMAN, D.F., SWENSON, T. S., XIN, Z., HEMKEN, R.W., JACKSON, J.A., ADAMS, G. D. et SPICER, L.J., 1991. Role of sulfur and chloride in the dietary cation-anion balance equation for lactating dairy cattle. *Journal of Animal Science*. 1991. Vol. 69, n° 3, pp. 1205-1213. DOI 10.2527/1991.6931205x.

VAN HALDEREN, A., HARDING, W.R., WESSELS, J.C., SCHNEIDER, D.J., HEINE, E.W., VAN DER MERWE, J. et FOURIE, J.M., 1995. Cyanobacterial (blue-green algae) poisoning of livestock in the western Cape Province of South Africa. *Journal of the South African Veterinary Association* [en ligne]. 1995. Vol. 66, n° 4, pp. 260-264. [Consulté le 5 mai 2023]. Disponible à l'adresse : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8691420/>

WAGNER, S.L., MALINER, J.S., MORTON, W.E. et BRAMAN, R.S., 1979. Skin cancer and arsenical intoxication from well water. *Archives of Dermatology* [en ligne]. 1979. Vol. 115, n° 10, pp. 1205-1207. [Consulté le 8 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/507863/>

WARD, M.H., DEKOK, T.M., LEVALLOIS, P., BRENDER, J., GULIS, G., NOLAN, B.T. et VANDERSLICE, J., 2005. Workgroup Report: Drinking-Water Nitrate and Health—Recent Findings and Research Needs. *Environmental Health Perspectives*. 2005. Vol. 113, n° 11, pp. 1607-1614. DOI 10.1289/ehp.8043.

WEETH, H.J. et HUNTER, J.E., 1971. Drinking of sulfate-water by cattle. *Journal of Animal Science*. 1971. Vol. 32, n° 2, pp. 277-281. DOI 10.2527/jas1971.322277x.

WICKRAMASINGHE, H.K.J.P., KRAMER, A.J. et APPUHAMY, J.A.D.R.N., 2019. Drinking water intake of newborn dairy calves and its effects on feed intake, growth performance, health status, and nutrient digestibility. . 2019. Vol. 102, n° 1, pp. 377-387. DOI 10.3168/jds.2018-15579.

WILLMS, W., KENZIE, O., MCALLISTER, T., COLWELL, D., VIERA, D., WILMSHURST, J., ENTZ, T. et OLSON, M., 2002. Effects of Water Quality on Cattle Performance. *Journal of Range Management*. 2002. Vol. 55, n° 5, pp. 452-460. DOI 10.2307/4003222.

WINGENDER, J. et FLEMMING, H.C., 2011. Biofilms in drinking water and their role as reservoir for pathogens. . 2011. Vol. 214, pp. 417-423. DOI 10.1016/j.ijheh.2011.05.009.

WINKS, W.R., 1963. Safe Waters for Stock. *Queensland Agricultural Journal*. 1963. Vol. 89, n° 12, pp. 723-728.

WOODFORD, S.T., MURPHY, M.R. et DAVIS, C.L., 1984. Water dynamics of dairy cattle as affected by initiation of lactation and feed intake. *Journal of Dairy Science*. 1984. Vol. 67, n° 10, pp. 2336-2343. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(84)81582-9.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2004. *Waterborne Zoonoses: Identification, Causes, and Control*. World Health Organization. World Health Organization. ISBN 978-92-4-156273-7.

ZAKI, A., CHAOUI, A.A., TALIBI, A., DEROUICHE, A.F., ABOUSSAOUIRA, T., ZARROUCK, K., CHAIT, A. et HIMMI, T., 2004. Impact of nitrate intake in drinking water on the thyroid gland activity in male rat. *Toxicology Letters*. 2004. Vol. 147, n° 1, pp. 27. DOI 10.1016/j.toxlet.2003.10.010.

ZMUDZKI, J., BRATTON, G.R., WOMAC, C. et ROWE, L.D., 1985. Low dose lead effects in calves fed a whole milk diet. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* [en ligne]. 1985. Vol. 35, n° 5, pp. 612-619. [Consulté le 19 avril 2023]. DOI 10.1007/BF01636563. Disponible à l'adresse : <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01636563>



# ANNEXES

Annexe 1: Typologies des aquifères Source : Ministère de l'Écologie du Développement durable et de l'Énergie 2012

Aquifères continus	
a)	<b>Aquifère continu, à nappe libre, monocouche :</b> Lithologie : roches détritiques, poreuses et/ou fissurées (sables, grès, alluvions graveleuses, conglomérats) ; roches carbonatées poreuses et/ou fissurées (craie, dolomie, calcaires divers) ; roches volcaniques poreuses (lapillis, tufs). Caractéristiques : perméabilité $K = 1.10^{-4}$ à $1.10^{-3}$ m/s. transmissivités moyennes élevées (ordre de $1.10^{-1}$ à $1.10$ m <sup>2</sup> /s).
b)	<b>Aquifère continu, à nappe libre, multicouche :</b> Lithologie : mêmes types lithologiques que ceux de la classe précédente, mais à substratum semi-perméable et en liaison hydraulique avec des aquifères sous-jacents à nappe captive. Caractéristiques : du même ordre de grandeur qu'en classe a).
c)	<b>Aquifère continu à nappe captive, monocouche ou multicouche, non affleurant, sous couverture imperméable ou semi-perméable, en continuité avec des aquifères de classe à périphérique ou en liaison hydraulique avec des aquifères supérieurs de classe b.</b>
Aquifères discontinus	
d)	<b>Aquifère discontinu à surface libre, karstique ou volcanique :</b> Lithologie : formations sédimentaires carbonatées (calcaires dolomies) ou volcaniques cohérentes, fracturées ou fissurées. Caractéristiques : transmissivité due à fractures et chenaux : $1.10^{-2}$ m <sup>2</sup> /s.
e)	<b>Aquifère discontinu, à surface libre, de roches cristallines fracturées :</b> Lithologie : roches cristallines fracturées : granites, migmatites principales, ou métamorphiques (gneiss). Caractéristiques : transmissivités très variées en fonction de la densité et de la connexion des fractures : ordres de $1.10^{-4}$ à $1.10^{-2}$ m <sup>2</sup> /s.
Aquifères semi-perméables	
f)	<b>Couverture semi-perméable surmontant un aquifère de classe a) :</b> Lithologie : sables argileux, argiles à silex, sidérolithique, calcaires argileux, conglomérats. Caractéristiques : $K = 1.10^{-8}$ à $1.10^{-9}$ m/s.
g)	<b>Formations semi-perméables capacitives encaissant des aquifères locaux ou couverture de système multicouche :</b> Lithologie : formations sédimentaires peu perméables (molasses, calcaires argileux), analogues à celles de la classe g), mais à fonctions séparées ou simultanées. Caractéristiques : transmissivités : $1.10^{-9}$ à $1.10^{-3}$ m <sup>2</sup> /s.

Annexe 2 : Tableau présentant les débits d'eau dans une canalisation en fonction de son diamètre, de sa longueur et du matériaux Source : Flaba et al 2014

Dimension		Débit maximum (litre/min)*											
Tuyaux en acier D(pouces)**	Tuyaux en polyéthylène D (mm)***	Longueur de la canalisation (m)											
		10		20		30		40		50		60	
		Type de produit											
		GS	P	GS	P	GS	P	GS	P	GS	P	GS	P
0.5 "	20	21	33	16	23	14	18	11	15	10	14	9	12
0.75 "	25	43	60	36	40	28	33	24	27	23	24	21	23
1 "	32	96	114	66	78	57	66	45	51	42	48	39	45
1.25 "	40	195	204	144	144	120	114	96	96	90	84	84	84
1.5 "	50	300	375	210	258	180	210	150	174	132	156	129	150
2 "	63	510	660	420	480	330	390	285	330	270	300	240	270

D = diamètre extérieur

GS = acier galvanisé

P = tuyau en plastique

\*Pression initiale de l'eau 300 kPa,

Perte de pression dans le tuyau 50 - 70 kPa

\*\* diamètre intérieur

\*\*\* diamètre extérieur

PARAMÈTRES	LIMITES DE QUALITÉ	UNITÉS	NOTES
Acides haloacétiques	60	µg/ L	On entend la somme des 5 paramètres suivants : acides chloroacétique, dichloroacétique, trichloroacétique, bromoacétique et dibromoacétique.
Acrylamide	0,10	µg/ L	
Antimoine	10	µg/ L	
Arsenic	10	µg/ L	
Benzène	1,0	µg/ L	
Benzo [a] pyrène	0,010	µg/ L	
Bisphénol A	2,5	µg/ L	
Bore	1,5	mg/ L	La limite de qualité est fixée à 2,4 mg/ L lorsque l'eau dessalée est la principale ressource en eau utilisée ou dans les zones géographiques où les conditions géologiques pourraient occasionner des niveaux élevés de bore dans les eaux souterraines
Bromates	10	µg/ L	La valeur la plus faible possible inférieure à cette limite doit être visée sans pour autant compromettre la désinfection.
Cadmium	5,0	µg/ L	
Chlorates	0,25	mg/ L	La limite de qualité est fixée à 0,70 mg/ L lorsqu'une méthode de désinfection des eaux destinées à la consommation humaine qui



			<p>génère des chlorates est utilisée.</p> <p>La valeur la plus faible possible inférieure à cette limite doit être visée sans pour autant compromettre la désinfection.</p>
Chlorites	0,25	mg/ L	<p>La limite de qualité est fixée à 0,70 mg/ L lorsqu'une méthode de désinfection des eaux destinées à la consommation humaine qui génère des chlorites est utilisée.</p> <p>La valeur la plus faible possible inférieure à cette limite doit être visée sans pour autant compromettre la désinfection.</p>
Chlorure de vinyle	0,50	µg/ L	
Chrome	25	µg/ L	<p>La limite de qualité est fixée à 50 µg/ L jusqu'au 31 décembre 2035.</p> <p>En cas de valeur supérieure à 6 µg/ L, il est procédé à l'analyse du chrome VI.</p>
Chrome VI	6	µg/ L	
Cuivre	2,0	mg/ L	
Cyanures totaux	50	µg/ L	
1,2-dichloroéthane	3,0	µg/ L	
Epichlorhydrine	0,10	µg/ L	
Fluorures	1,5	mg/ L	
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	0,10	µg/ L	<p>Pour la somme des composés suivants : benzo [b] fluoranthène, benzo [k] fluoranthène, benzo [ghi] pérylène, indéno [1,2,3-cd] pyrène</p>

<b>Mercur</b>	<b>1,0</b>	<b>µg/ L</b>	
<b>Total microcystines</b>	<b>1,0</b>	<b>µg/ L</b>	<b>Par total microcystines, on entend la somme de toutes les microcystines quantifiées, en considérant l'ensemble des variants, intra et extracellulaires. La limite de qualité s'applique uniquement pour les eaux d'origine superficielle.</b>
<b>Nickel</b>	<b>20</b>	<b>µg/ L</b>	
<b>Nitrates</b>	<b>50</b>	<b>mg/ L</b>	<b>La somme de la concentration en nitrates divisée par 50 et de celle en nitrites divisée par 3 doit rester inférieure ou égale à 1.</b>
<b>Nitrites</b>	<b>0,50</b>	<b>mg/ L</b>	<b>La somme de la concentration en nitrates divisée par 50 et de celle en nitrites divisée par 3 doit rester inférieure ou égale à 1.  En sortie des installations de traitement, la limite de qualité en nitrites doit être inférieure ou égale à 0,10 mg/ L.</b>
<b>Somme des substances alkylées per et polyfluorées</b>	<b>0,10</b>	<b>µg/ L</b>	<b>On entend par la somme des substances alky perfluorées, les substances qui sont considérées comme préoccupantes pour les EDCH et dont la liste figure ci-dessous :</b>  -Acide perfluorobutanoïque (PFBA)  -Acide perfluoropentanoïque (PFPeA)  -Acide perfluorohexanoïque (PFHxA)  -Acide perfluoroheptanoïque (PFHpA)  -Acide perfluorooctanoïque (PFOA)  -Acide perfluorononanoïque (PFNA)  -Acide perfluorodécanoïque (PFDA)

			<p>-Acide perfluoroundécanoïque (PFUnDA)</p> <p>-Acide perfluorododécanoïque (PFDoDA)</p> <p>Acide perfluorotridécanoïque (PFTrDA)</p> <p>-Acide perfluorobutanesulfonique (PFBS)</p> <p>-Acide perfluoropentanesulfonique (PFPeS)</p> <p>-Acide perfluorohexane sulfonique (PFHxS)</p> <p>-Acide perfluoroheptane sulfonique (PFHpS)</p> <p>-Acide perfluorooctane sulfonique (PFOS)</p> <p>-Acide perfluorononane sulfonique (PFNS)</p> <p>-Acide perfluorodécane sulfonique (PFDS)</p> <p>-Acide perfluoroundécane sulfonique (PFUnDS)</p> <p>-Acide perfluorododécane sulfonique (PFDoDS)</p> <p>-Acide perfluorotridécane sulfonique (PFTrDS)</p> <p>Il s'agit d'un sous-ensemble des substances alkylés per et polyfluorés, qui contiennent un groupement de substances perfluoroalkylées comportant trois atomes de carbone ou plus (à savoir, <math>-C_nF_{2n}-</math>, <math>n \geq 3</math>) ou un groupement de perfluoroalkyléthers comportant deux atomes de carbone ou plus (à savoir, <math>-C_nF_{2n}OC_mF_{2m}-</math>, <math>n</math> et <math>m \geq 1</math>).</p>
Pesticides (par substance individuelle).	0,10	$\mu\text{g/ L}$	<p>Par pesticides, on entend :</p> <p>-les insecticides organiques ;</p>

			<p>-les herbicides organiques ;</p> <p>-les fongicides organiques ;</p> <p>-les nématocides organiques ;</p> <p>-les acaricides organiques ;</p> <p>-les algicides organiques ;</p> <p>-les rodenticides organiques ;</p> <p>-les produits antimoisissures organiques ;</p> <p>-les produits apparentés (notamment les régulateurs de croissance)</p> <p>et leurs métabolites, tels que définis à l'article 3, point 32), du règlement (CE) n° 1107/2009 du Parlement européen et du Conseil, qui sont considérés comme pertinents pour les eaux destinées à la consommation humaine.</p> <p>Un métabolite de pesticide est jugé pertinent pour les eaux destinées à la consommation humaine s'il y a lieu de considérer qu'il possède des propriétés intrinsèques comparables à celles de la substance mère en ce qui concerne son activité cible pesticide ou qu'il fait peser (par lui-même ou par ses produits de transformation) un risque sanitaire pour les consommateurs.</p>
<b>Aldrine, dieldrine, heptachlore, heptachlorépoxyde (par substance individuelle)</b>	<b>0,03</b>	<b>µg/ L</b>	
<b>Total pesticides</b>	<b>0,50</b>	<b>µg/ L</b>	<b>Par total pesticides, on entend la somme de tous les pesticides individuels quantifiés</b>
<b>Plomb</b>	<b>5</b>	<b>µg/ L</b>	<b>La limite de qualité est fixée à 10 µg/ L jusqu'au 31 décembre 2035. Cette limite de qualité s'applique en amont des installations</b>

			<p>privées.</p> <p><b>La limite de qualité au robinet du consommateur reste fixée à 10 µg/ L bien qu'une valeur inférieure à 5 µg/ L doit être visée d'ici au 1er janvier 2036.</b></p> <p><b>Les mesures appropriées pour réduire progressivement la concentration en plomb dans les eaux destinées à la consommation humaine au cours de la période nécessaire pour se conformer à la limite de qualité de 5 µg/ L sont précisées aux articles R. 1321-55 et R. 1321-49 (arrêté d'application)</b></p> <p><b>Lors de la mise en œuvre des mesures destinées à atteindre cette valeur, la priorité est donnée aux cas où les concentrations en plomb dans les eaux destinées à la consommation humaine sont les plus élevées</b></p>
Sélénium	20	µg/ L	<p><b>La limite de qualité est fixée à 30 µg/ L dans les zones géographiques où les conditions géologiques pourraient occasionner des niveaux élevés de sélénium dans les eaux souterraines.</b></p>
Tétrachloroéthylène et trichloroéthylène	10	µg/ L	<p><b>Somme des concentrations des paramètres spécifiés.</b></p>
Total trihalométhanes (THM).	100	µg/ L	<p><b>La valeur la plus faible possible inférieure à cette valeur doit être visée sans pour autant compromettre la désinfection. Par total trihalométhanes, on entend la somme de : chloroforme, bromoforme, dibromochlorométhane et bromodichlorométhane.</b></p>
Turbidité	1,0	NFU	<p><b>La limite de qualité est applicable au point de mise en distribution, pour les eaux visées à l'article R. 1321-37 et pour les eaux d'origine souterraine provenant de milieux fissurés présentant une turbidité périodique supérieure à 2,0 NFU. En cas de mise en œuvre d'un traitement de neutralisation ou de reminéralisation, la limite de qualité s'applique hors augmentation éventuelle de turbidité due au traitement.</b></p>

Uranium	30	µg/ L	
---------	----	-------	--

PARAMÈTRES	RÉFÉRENCES DE QUALITÉ	UNITÉS	NOTES
Aluminium	200	µg/ L	
Ammonium	0,10	mg/ L	S'il est démontré que l'ammonium a une origine naturelle, la référence de qualité est de 0,50 mg/ L pour les eaux souterraines.
Baryum	0,70	mg/ L	
Carbone organique total (COT).	2 et aucun changement anormal	mg/ L	
Indice permanganate	5,0	mg/ L O <sub>2</sub>	
Chlore libre et total			Absence d'odeur ou de saveur désagréable et pas de changement anormal.
Chlorites	0,20	mg/ L	La référence de qualité s'applique jusqu'au 31 décembre 2025. Sans compromettre la désinfection, la valeur la plus faible possible doit être visée.
Chlorures	250	mg/ L	Les eaux ne doivent pas être corrosives.

<b>Conductivité</b>	<b>≥ 180 et ≤ 1 000</b>	<b>μS/ cm</b>	<b>Les eaux ne doivent pas être corrosives.</b>
		<b>à 20° C</b>	
	<b>ou</b>		
	<b>≥ 200 et ≤ 1 100</b>	<b>μS/ cm</b>	
		<b>à 25° C</b>	
<b>Couleur</b>	<b>Acceptable pour les consommateurs et aucun changement anormal.</b>  <b>Inférieure ou égale à 15</b>	<b>mg/ L (Pt)</b>	
<b>Cuivre</b>	<b>1,0</b>	<b>mg/ L</b>	
<b>Equilibre calcocarbonique</b>	<b>Les eaux doivent être à l'équilibre calcocarbonique ou légèrement incrustantes</b>		
<b>Fer</b>	<b>200</b>	<b>μg/ L</b>	
<b>Manganèse</b>	<b>50</b>	<b>μg/ L</b>	
<b>Odeur</b>	<b>Acceptable pour les</b>		

	<p>consommateurs et aucun changement anormal.</p> <p>Pas d'odeur détectée pour un taux de dilution de 3 à 25° C</p>		
pH	≥ 6,5 et ≤ 9	Unité pH	Les eaux ne doivent pas être agressives.
Saveur	<p>Acceptable pour les consommateurs et aucun changement anormal.</p> <p>Pas de saveur détectée pour un taux de dilution de 3 à 25° C</p>		
Sodium	200	mg/ L	
Sulfates	250	mg/ L	Les eaux ne doivent pas être corrosives
Température	25	° C	A l'exception des eaux ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude.
			Cette valeur ne s'applique pas dans les départements d'outre-mer.
Turbidité	0,50	NFU	La référence de qualité est applicable au point de mise en distribution, pour les eaux visées à l'article R. 1321-37 et pour les eaux d'origine souterraine provenant de milieux fissurés présentant une turbidité périodique supérieure à 2,0 NFU. En cas de mise en œuvre d'un traitement de neutralisation ou de reminéralisation, la référence de qualité s'applique hors augmentation éventuelle de turbidité due au traitement.



	2	NFU	<b>La référence de qualité s'applique aux robinets normalement utilisés pour la consommation humaine.</b>
--	---	-----	---

Annexe 4 : Limites et références de qualité, valeurs indicatives et valeurs de vigilance des eaux destinées à la consommation humaine : Paramètres microbiologiques. Source : Légifrance

PARAMÈTRES	LIMITES DE QUALITÉ (unités)
<b>Escherichia coli (E. coli)</b>	<b>0/100 mL</b>
<b>Entérocoques intestinaux</b>	<b>0/100 mL</b>

PARAMÈTRES	RÉFÉRENCES DE QUALITÉ (unités)	NOTES
<b>Bactéries coliformes</b>	<b>0/100 mL</b>	
<b>Spoires de micro-organismes anaérobies sulfito-réducteurs</b>	<b>0/100 mL</b>	<b>Ce paramètre doit être mesuré lorsque l'eau est d'origine superficielle ou influencée par une eau d'origine superficielle. En cas de non-respect de cette valeur, une enquête doit être menée sur le réseau de distribution d'eau pour s'assurer qu'il n'y a aucun risque pour la santé humaine résultant de la présence de micro-organismes pathogènes, par exemple Cryptosporidium.</b>
<b>Numération de germes aérobies revivifiables à 22° C et à 36° C.</b>		<b>Le résultat ne doit pas varier au-delà d'un facteur 10 par rapport à la valeur habituelle</b>

Annexe 5 : Tableau récapitulatifs répertoriant les principaux micro-organismes pathogènes (bactériens, viraux et parasitaires) des ruminants dont l'origine peut être l'eau d'abreuvement. Source : D'après Schmidely 2010

Micro-organismes bactériens (bleu), viraux (orange), parasitaires (vert)	Survie dans l'eau	Caractère zoonotique	Fré- que- nce
Bacillus anthracis	Bactérie hydro-tellurique, spores résistants plusieurs dizaines d'années dans le milieu extérieur	Oui	+
Brucella abortus	10 à 70 jours selon la température	Oui	+
Brucella multensis	10 à 70 jours selon la température	Oui	+
Campylobacter jejuni	Plusieurs semaines à plusieurs mois dans les eaux non traitées et de surface	Oui	+++
Clostridium botulinum	Plusieurs mois dans l'eau	Oui	+
Clostridium perfringens	Spores très résistants	Oui	+
Coxiella burnetii	Résistant dans l'environnement extérieur	Oui	+
Escherichia coli (sérotype O157: H7)	Plusieurs semaines (plus de 300 jours à 22°C)	Oui	+++
Escherichia coli (souches autres)	Plusieurs semaines	Non	+++
Leptospira spp	Quelques semaines à pH alcalin, si non exposée aux UV, dans les eaux stagnantes, dans des eaux entre 12 et 30 °C	Oui	+
Listéria monocytogenes	Survie ubiquitaire (de 0°C à 42°C)	Oui	+++
Mycobacterium avium subsp paratuberculosis	6 à 18 mois dans les eaux de surface	Non	+++
Mycobacterium tuberculosis, ovis, caprae	Plusieurs semaines à plusieurs mois dans les eaux non traitées et de surface	Oui	+
Pseudomonans aeruginosa	Sa forme libre à un tropisme naturel pour les milieux hydriques, survie en milieux oligotrophe et développement au sein des biofilms	Non	+
Salmonella sp	Quelques semaines	Oui	+++
Yersinia pseudotuberculosis	20 jours à 4°C dans l'eau douce	Oui	+++
Aphtovirus (Fièvre aphteuse)	3 semaines	Possible pour les immuno- déprimés	+
Astrovirus	Pas de données chiffrées, mais assez résistant dans le milieu extérieur	Non	+
Bornavirus (Maladie de Borna)	Faible résistance dans l'eau	Incertain	+
Coronavirus bovin	Pas de données	Non	+++
Hepevirus (Hépatite E)	Persitant dans l'eau	Oui	+
Norovirus bovins	Très stable dans l'environnement	Non	+
Pestivirus (Maladie des muqueuses, virus de la diarrhée virale bovine)	6 à 24 jours dans l'eau à 20°C	Non	+
Rotavirus	Dans l'eau du réseau les rotavirus pathogènes des humains survivent 64 jours	Oui	+++
Cryptosporidium parvum	Kystes survivent 6 mois dans l'eau, et jusqu'à 4°C	Oui	+++

Echinococcus granulosus	3 semaines à 30°C, 225 jours à 6°C, 32 jours entre 10 et 21 °C	Oui	+
Eimeria spp	Ookystes survivent plusieurs mois	Non	+++
Fasciola hepatica	Métacercaires : 2 à 3 mois l'été et 6 mois l'hiver	Oui	+
Giardia intestinalis	Survie dans l'eau entre 2 et 5°C jusqu'à 6 mois	Oui	+++
Sarcocystis bovi hominis	Pas de données	Oui	+
Taenia saginata	Plusieurs mois dans l'eau	Oui	+++
Toxoplasma gondii	Jusqu'à 54 mois dans l'eau à 4°C	Oui	+

Annexe 6 : Tableau de l'altération de l'usage de l'eau d'abreuvement, paramètres pris en compte et seuils de classement pour les altérations Source : SEQ-Eau

Altération	Paramètre de l'altération	Unités	Classe d'altération		
			Bleu	Jaune	Rouge
Nitrates	Nitrates	mg/L NO <sub>3</sub>	50	450	> 450
Nitrites	Nitrites	mg/L NO <sub>2</sub>	0,1	30	> 30
Minéralisation	Résidu sec	mg/L à 180°C	1000	5000	> 5000
	Sulfates	mg/L	250	1000	> 1000
	Sodium	mg/L	150	2000	> 2000
	Calcium	mg/L	1000	1000	>1000
Micropolluants minéraux	Arsenic	µg/L	50	500	> 500
	Cadmium	µg/L	5	20	> 20
	Chrome	µg/L	50	1000	> 1000
	Cuivre	µg/L	500	5000	> 5000
	Mercurure	µg/L	1	3	> 3
	Nickel	µg/L	50	1000	> 1000
	Plomb	µg/L	50	100	> 100
	Sélénium	µg/L	10	50	> 50
Zinc	µg/L	5000	50000	> 50000	

<b>LDA23</b> DE2501 RensAni 01	<b>FICHE DE RENSEIGNEMENTS POUR          ANALYSES DES EAUX          ALIMENTATION ANIMALE</b>	<b>Réf DE2501 RensAni</b> Date d'application : 29/12/17 <i>Les parties grisées sont remplies par le LDA</i>
<b>Identification du prélèvement</b> .....	<b>Laboratoire Départemental d'Analyses</b> <b>42-44 Route de Guéret 23380 AJAIN</b> <b>Tél. : 05-55-81-87-30 Fax : 05-55-81-87-40</b>	<b>N° CHEPTEL</b> -----
<b>DEMANDEUR de l'analyse</b> NOM – Prénom : _____ adresse complète : _____  code postal :           _____  <b>DESTINATAIRE des résultats (en plus du demandeur)</b> nom / adresse : GDS Creuse Autre : .....  <b>DESTINATAIRE des factures (si autre que le demandeur)</b> nom / adresse : _____		
<b>ANIMAUX CONCERNES</b> <input type="checkbox"/> Bovin <input type="checkbox"/> Ovin <input type="checkbox"/> Porcin <input type="checkbox"/> Caprin <input type="checkbox"/> Volaille <input type="checkbox"/> Equin <input type="checkbox"/> Autre : ..... Composition du cheptel - nombre d'animaux : .....		
<b>MOTIF DE LA DEMANDE</b> <input type="checkbox"/> Contrôle <input type="checkbox"/> Chèque installation du Conseil Général de la Creuse <input type="checkbox"/> Problème sanitaire <input type="checkbox"/> Mortalité, si oui, nombre d'animaux concernés : ..... <input type="checkbox"/> Maladie, si oui, Symptômes : ..... Nombre d'animaux concernés : .....		
<b>POINT D'ABREUVEMENT</b> <u>Origine de l'eau distribuée :</u> <input type="checkbox"/> Captage <input type="checkbox"/> forage <input type="checkbox"/> puits avec rehausse <input type="checkbox"/> puits sans rehausse <input type="checkbox"/> source <input type="checkbox"/> eau de surface <input type="checkbox"/> eau pluie <input type="checkbox"/> étang <input type="checkbox"/> mare <input type="checkbox"/> ruisseau <input type="checkbox"/> autre : ..... Distribution <input type="checkbox"/> Privée <input type="checkbox"/> Publique Point précis de prélèvement : ..... Commune / département : ..... Eau déjà analysée <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Oui - Date et conclusion de l'analyse : ..... Traitement pratiqués : <input type="checkbox"/> Néant <input type="checkbox"/> Traitement    à préciser : ..... <u>Remarques :</u> .....  <u>Environnement proche du point d'abreuvement</u> (dans un rayon de 50 m) <input type="checkbox"/> stabulation <input type="checkbox"/> poulailler <input type="checkbox"/> fosse septique <input type="checkbox"/> accès animaux <input type="checkbox"/> fumière <input type="checkbox"/> épandage <input type="checkbox"/> cultures et/ou industries : lesquelles ..... Observations en amont du point d'abreuvement : .....		
<b>Revue de demande effectuée par :</b>	N° Travail : ..... Date d'arrivée : .....	N° Dossier : ..... Date de Départ : .....

Paramètres mesurés sur site (effectués par .....											
pH		Température		Chlore			Oxygène dissous			Conductivité	
LDA23 .....		LDA23 .....		LDA23 .....			LDA23 .....			LDA23 .....	
Mesure	T° de la mesure	T° air (°C)	T° eau(°C)	Libre Cl <sub>2</sub>	Total Cl <sub>2</sub>	Bioxyde Cl <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> (mg/l)	T°C	%sat.	Mesure (µS/cm)	T° de la mesure

### PRELEVEMENT

#### 1) Prélèvement au robinet

Enlever le tuyau ou brise jet fixé au robinet.

Se laver les mains au savon, les désinfecter avec de l'eau de Javel diluée ou une solution hydro alcoolique.

Nettoyer le robinet avec une éponge propre ou un chiffon imbibé d'eau de Javel diluée.

Rincer pour éliminer toute trace de désinfectant.

Laisser couler 3 à 5 minutes pour purger les canalisations.

Remplir le flacon **stérile** de 500 ml pour analyses microbiologiques jusqu'à « épaulement » (trait sur le flacon, remplissage à 90%). *Attention* ce flacon est stérile : il est à manipuler avec soin, le sachet doit être ouvert juste avant l'acte de prélèvement en prenant soin de ne pas introduire de contamination. Il ne doit en aucun cas déborder, ce qui pourrait fausser l'analyse.

Remplir le flacon de 1 litre pour analyses physico-chimiques à ras bord.

#### 2) Prélèvement dans un puits, étang, ruisseau ...

Se laver les mains au savon, les désinfecter avec de l'eau de Javel diluée ou solution hydro alcoolique.

Utiliser un seau en plastique nettoyé et désinfecté à l'eau de Javel diluée. Ce seau doit être ensuite rincé plusieurs fois afin de ne pas laisser de traces d'eau de Javel qui fausseraient l'analyse bactériologique.

Remplir le flacon **stérile** de 500 ml pour analyses microbiologiques jusqu'à « épaulement » (trait sur le flacon, remplissage à 90%). *Attention* ce flacon est stérile : il est à manipuler avec soin, le sachet doit être ouvert juste avant l'acte de prélèvement en prenant soin de ne pas introduire de contamination. Il ne doit en aucun cas déborder, ce qui pourrait fausser l'analyse.

Remplir le flacon de 1 litre pour analyses physico-chimiques à ras bord.

**L'échantillon doit être transporté sous couvert du froid (5 ± 3°C) au laboratoire le jour même du prélèvement**  
(ex : glacière avec plaque de froid).

### NATURE DES ANALYSES A REALISER

ANIPAR

- Bactériologie : Coliformes totaux - Escherichia Coli - Entérocoques - Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices.  
- Paramètres physico-chimiques : pH - Nitrites - Nitrates - TH - COT.

Mn

Fe

As

Autres :

Paramètres sous-traités / Laboratoire sous traitant : .....

Note : pour la recherche de salmonelles, l'analyse se fait sur un prélèvement de 5l d'eau. Se renseigner auprès du laboratoire pour obtenir un flaconnage spécifique.

**Méthodes d'analyse :** Les méthodes d'analyses mises en œuvre sont : soit des méthodes officielles pour les analyses réglementaires, soit des méthodes normalisées, soit des méthodes internes. Leurs références et leurs performances ainsi que les tarifs appliqués sont fournis sur demande

**PRELEVEMENT** Effectué le \_\_\_\_\_ à \_\_\_\_\_ (heure) Par \_\_\_\_\_

Sous accréditation :  Oui  Non

Mode de désinfection :  flamme  alcool  javel  autre .....

Remarques du préleveur ou du client : .....

Aspect/Couleur/Odeur :  OK  Anormal : .....

Signature du client ou de son représentant

T de l'enceinte de transport à l'arrivée au laboratoire : ..... °C	Flacons pour physico-chimie	Flacons pour microbiologie
	Nombre de flacons : .....	Nombre de flacons : .....
	Volume total approximatif en litre : .....	Volume total approximatif en litre : .....
<input type="checkbox"/> transporté à température ambiante	<input type="checkbox"/> 0,5 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 1,5 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 2,5 <input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 0,5 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 1,5 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 2,5 <input type="checkbox"/> 3
Heure d'arrivée : .....	Autre : .....	Autre : .....





# GESTION DE L'EAU D'ABREUUREMENT EN ELEVAGES DES RUMINANTS

---

## Auteur

---

BELAY Morgan

## Résumé

---

L'eau est un sujet replacé au centre des attentions avec le changement climatique, l'élevage étant un grand consommateur d'eau il est directement concerné par cette problématique. Distribuer une eau en quantité suffisante et de qualité à son bétail n'est pas toujours simple, pourtant elle peut être considérée comme le premier des aliments (même si ce n'est pas le cas dans les textes juridiques).

Cette étude bibliographique cherche à rassembler l'ensemble des données relatives à l'eau d'abreuvement des ruminants d'élevage.

On reprend la physiologie des ruminants vis-à-vis de l'eau et leurs particularités. Les deux parties suivantes s'intéressent aux origines et aux modalités de distribution de l'eau d'abreuvement dans les élevages, ainsi qu'aux normes qu'elle doit respecter et aux contaminations chimiques et biologiques auxquelles elle peut être soumise.

Le questionnaire permet de recueillir des retours terrains des vétérinaires ruraux concernant les connaissances et la maîtrise de cette problématique : les praticiens restent peu familiers avec les mesures autour de l'eau d'abreuvement, les analyses d'eau sont un outil encore peu utilisé sur le traitement et parfois mal interprétées.

Enfin, la dernière partie tente de donner des outils concernant la gestion et la prévention au sujet de la qualité de l'eau distribuée dans les élevages de ruminants.

## Mots-clés

---

Eau, abreuvement, ruminants, qualité, contaminations, vétérinaires, analyses

## Jury

---

Président du jury : Pr **PIALAT Jean-Baptiste**  
Directeur de thèse : Pr **MOUNIER Luc**  
2ème assesseur : Pr **BECKER Claire**