

Les teneurs en fluorure des plantes influencent-elles leur qualité fourragère pour ruminant ?

Sibaoueih Mounia ⁽¹⁾, Rahim Abdellatif ⁽²⁾ et El Amiri Bouchra ⁽²⁾

Mounia.sibaoueih@inra.ma

1 : Laboratoire d’Alimentation Animale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Settat, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), BP 589, 26000Settat, Maroc

2 : Laboratoire de Reproduction Animale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Settat, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), BP 589, 26000Settat, Maroc

Résumé

L'intoxication par le fluorure est un problème majeur de santé qui handicape la production des ruminants. L'hypothèse avancée par la présente étude est que la teneur en fluorure affecte la qualité fourragère de différentes espèces de plantes (cultivées ou spontanées) consommées par les ruminants et collectées dans trois communes (El Fokra, Ouled Azzouz et M'fassis) connues par la fluorose hydrotellurique au sud de Khouribga et dans une commune indemne (Ouled Saaid au nord de Settat). Pour vérifier cette hypothèse, des échantillons des parties aériennes des plantes ont été collectés, séchés, broyés et tamisés. Ensuite, les teneurs en fluorure ont été déterminées à l'aide d'une électrode spécifique. Les teneurs en matières azotées totales (MAT), en fibre au détergent neutre (NDF), en fibre au détergent acide (ADF) et en lignine sulfurique (ADL) ont été également déterminées. Les résultats montrent que la teneur la plus élevée en fluorure a été enregistré dans la commune El Fokra ($4,96 \pm 1,72$ ppm) suivi par la commune M'fassis ($3,79 \pm 1,04$ ppm), alors que les teneurs les plus faibles ont été observées à Ouled Azzouz ($2,24 \pm 1,77$ ppm) et Ouled Saaid ($1,92 \pm 0,89$ ppm). De plus, *Fumaria parviflora*, *Chrysanthemum coronarium* et *Hordeum vulgare* ont accumulé les taux les plus élevés en fluorure par rapport aux autres espèces. Aucune différence significative n'a été observée au niveau de la teneur en fluorure pour les plantes des communes Ouled Azzouz et Ouled Saaid. Aucune différence significative entre les plantes pour les MAT des quatre communes étudiées n'a été observée. De plus, les espèces qui présentent un taux élevé en fluorure ont montré de faibles teneurs en NDF ($24,25 \pm 5,87$ %MS), ADF ($10,17 \pm 6,4$ %MS) et ADL ($2,32 \pm 0,79$ %MS). En conclusion, dans les régions à fluorose, le taux de fluorure au niveau des plantes varie selon l'espèce et selon le degré de contamination de la région. En outre, les plantes des communes Ouled Azzouz et Ouled Saaid qui ont un faible taux de fluorure présentent des niveaux élevés de fibres.

Mots-clés : Plantes, teneur fluorure, qualité fourragère, Khouribga

Do fluoride plant levels influence their nutritive value for ruminant?

Abstract

Fluoride poisoning is a major health problem that handicaps the ruminant production. The hypothesis put forward by the present study is that the fluoride content of different plant species (cultivated or spontaneous) collected in three south communes of Khouribga known by hydrotelluric fluorosis and in one unscathed commune (Ouled Saaid) affects their forage quality. To verify this hypothesis, samples of aerial plants parts were collected, dried, crushed and sieved. Then the average fluoride contents were determined using a specific electrode. The contents of protein (MAT), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and acid detergent lignin (ADL) were also determined. The results showed that the highest fluoride content was recorded in El Fokra (4.96 ± 1.72 ppm) followed by M'fassis (3.79 ± 1.04 ppm), while the lowest levels were found in Ouled Azzouz (2.24 ± 1.77 ppm) and Ouled Saaid (1.92 ± 0.89 ppm). In addition, *Fumaria parviflora*, *Chrysanthemum coronarium*, and *Hordeum vulgare* accumulated the highest levels of fluoride compared to other species. No significant difference between the plants for MAT of the four communes studied was observed. In addition, the species with high fluoride levels showed low levels of NDF (24.25 ± 5.87 %DM), ADF (10.17 ± 6.4 %DM) and ADL (2.32 ± 0.79 %DM). In conclusion, in the non-free areas, fluoride levels at the plant varied by species and by region. In addition, the plants of the communes Ouled Azzouz and Ouled Saaid which have a low level of fluoride present high levels of fibres.

Keywords: Plants, fluoride content, fodder quality, Khouribga

هل تؤثر مستويات الفلورايد في النباتات على قيمتهم العلفية عند المجترات؟ منية سيوييه، عبد اللطيف رحيم و بوشرى العميري

ملخص

يعتبر التسمم بالفلورايد مشكلة صحية كبيرة تعيق إنتاج المجترات. الفرضية التي طرحتها الدراسة الحالية هي هل تركيز الفلورايد في مختلف أنواع النباتات (المزروعة والعفوية) التي تم جمعها من ثلاث جماعات قروية معروفة بالتسمم بالفلورايد المائي وفي جماعة غير ملوثة بهذه المادة (أولاد سعيد) يؤثر على جودتهم العلفية. ولتحقيق هذه الأهداف تم جمع عينات من الأجزاء الجوية للنباتات وتجفيفها وسحقها ثم غربلتها. بعد ذلك، تم تحديد محتويات الفلورايد باستخدام مسبار قياس خاص بالفلور. كما تم تحديد نسبة البروتينات (MAT) و ألياف المنظف المتعادل (NDF) و ألياف المنظف الحمضي (ADF) واللينين المنظف الحمضي (ADL). أظهرت النتائج تسجيل أعلى نسبة من الفلورايد في جماعتي الفقرة $4,96 \pm 1,72$ (ppm) والمفاسيس $(3,79 \pm 1,04 \text{ ppm})$. بينما سجلت أدنى النسب في جماعتي أولاد عزوز $(2,24 \pm 1,77 \text{ ppm})$ و أولاد سعيد $(1,92 \pm 0,89 \text{ ppm})$. بالإضافة إلى ذلك، راکمت *Fumaria parviflora* و *Chrysanthemum coronarium* و *Hordeum vulgare* أعلى مستويات الفلورايد مقارنة مع الأنواع الأخرى من النباتات التي تم تحليلها. أظهرت النتائج أيضاً أنه لا يوجد فرق من حيث نسب البروتين بين نباتات الجماعات الأربعة المدروسة. بالإضافة إلى ذلك، تبين من التحاليل أن النباتات التي تحتوي على مستويات عالية من الفلورايد تتميز بتركيز منخفض من $\pm 24,25$ NDF ($5,87 \% \text{DM}$) و ADF ($10,17 \pm 6,4 \% \text{DM}$) و ADL ($2,32 \pm 0,79 \% \text{DM}$). في الختام، على مستوى المناطق المعروفة بالتسمم بالفلورايد، يختلف معدل الفلورايد على مستوى النباتات باختلاف الأنواع وحسب المنطقة. بالإضافة إلى ذلك، فإن نباتات جماعتي أولاد عزوز وأولاد سعيد التي تحتوي على مستويات منخفضة من الفلورايد تحتوي على مستويات عالية من الألياف.

الكلمات المفتاحية: نباتات كلثية، محتوى الفلورايد، القيمة الغذائية، خريبكة.

Introduction

Le fluorure est un halogène non métallique très électronégatif (Garcia and Borgino, 2015). Il est distribué dans différents environnements naturels selon ses deux formes organique et inorganique (Zuo *et al.*, 2018). Aux doses recommandées, le fluorure est nécessaire à la santé humaine et animale car il joue un rôle important dans le maintien de la structure et de la fonction physiologique des os et des dents (Rahim *et al.*, 2022). Cependant, une exposition chronique à des concentrations élevées de fluorure s'avère délétère pour l'homme, l'animal et les plantes (El Amiri *et al.*, 2021). Le fluorure est naturellement présent dans un large éventail de roches, d'eau, de sol, d'air, de plantes et d'aliments (Singh *et al.*, 2018). Il peut également être introduit dans l'environnement par les activités industrielles. De plus, une grande quantité de fluorure peut être trouvée dans les roches volcaniques (Anazawa, 2006), ignées alcalines, ultramafiques, calcaires et phosphatées (Moufti, 2019). En effet, les activités volcaniques et l'altération d'autres roches libèrent une grande quantité de fluorure dans l'environnement, ce qui contamine les eaux souterraines, le sol et l'air (Vithanage et Bhattacharya, 2015). De plus, la présence de fluorure dans les sols peut contaminer de nombreuses cultures et espèces végétales aboutissant à des effets phytotoxiques graves et variables selon les espèces (Tylanda, 2011). D'autre part, la consommation de ces plantes contaminées peut présenter des risques sanitaires aux humains et aux animaux qui se manifestent sous forme de fluorose dentaire, squelettique, et non squelettique (Rahim *et al.*, 2022). La fluorose est endémique dans plusieurs régions du monde telle que le Maroc où l'élevage des ruminants en extensif occupe une place primordiale (Abdennebi, 1982, Zouarhi, 2009). La province de Khouribga est l'une des régions riches en fluorure et se caractérise par une fluorose hydrotellurique due à l'ingestion chronique du fluorure qui se trouve dans l'eau et les plantes (Haikel *et al.*, 1986). Il est bien documenté que les plantes sont considérées comme une source importante du fluorure (Bharti *et al.*, 2017). Pour cette raison, plusieurs études ont investigué les effets toxiques du fluorure sur les plantes poussant dans des régions endémiques. Dans ce sens, il a été reporté que la bioaccumulation de fluorure dans les plantes est influencée par l'espèce (Tylanda *et al.*, 2011), la composition minérale, le type de sol, la partie de la plante (Khandare et Rao, 2006 ; Baunthiyale et Ranghar, 2014), la température, la concentration et la durée d'exposition (Choudhary *et al.*, 2019; Jarosz et Pitura, 2021). Le fluorure influence négativement la photosynthèse, la respiration (Kumar *et al.*, 2017), la germination des graines (Mondal, 2017) et les paramètres biochimiques des plantes. Parmi ces derniers, on cite les taux en proline, en bêtaïne, en sucres solubles (Rizzu *et al.*, 2021; Makete *et al.*, 2022), en flavanols, en phénols et en acide ascorbique (Landis *et al.*, 2011; Pal *et al.*, 2012; Gao *et al.*, 2018). La province de Khouribga est l'une des régions riches en fluorure qui engendre une fluorose hydrotellurique due à l'ingestion chronique de cet halogène qui se trouve dans l'eau et les plantes (Haikel *et al.*, 1986). Le fluorure est connu également depuis longtemps comme un puissant inhibiteur métabolique (Strunecka et Strunecky, 2020) aboutissant à une nécrose phytocellulaire (Baunthiyal et Ranghar, 2014). Pourtant, jusqu'à aujourd'hui aucune étude ne s'est intéressée à l'effet du fluorure sur la teneur en protéines et en fibres des plantes consommées par les ruminants. En outre, au Maroc, où la fluorose est considérée comme le premier problème toxicologique en raison de son importante étendue géographique (El Amiri *et al.*, 2021), peu de travaux ont investigué les effets toxiques de cet halogène sur les plantes (Kessabi *et al.*, 1984; Haikel *et al.*, 1986; Ouchatbi, 2010). Ces études se sont focalisées sur la détermination

de la teneur en fluorure au niveau des plantes dans les régions endémiques. Ainsi, cette étude a pour objectif d'évaluer si les teneurs en fluorure affectent les teneurs en protéines et en trois composants de fibres (ADF, NDF et ADL) des plantes prélevées sur des champs cultivés ou sur des parcours de trois communes rurales, au sud de Khouribga, connues par la fluorose hydrotellurique (El Fokra, M'fassis et Ouled Azzouz) et d'une commune indemne (Ouled Saaid au nord de Settat) où aucun signe de fluorose n'a été observé aussi bien chez l'Homme que chez l'animal.

Matériel et méthodes

Sites de l'étude

La présente étude a été réalisée dans trois communes rurales (El Fokra, M'fassis et Ouled Azzouz) situées au Sud de la province de Khouribga (32°52'51.89" N - 6°54'22.68" W), connues par une fluorose hydrotellurique (Abdennebi, 1982). Les caractéristiques climatiques ont été bien décrites dans une étude récemment réalisée par El Amiri *et al.* (2021). La région de Ouled Saaid (31°34'59.88" N -8°05'60.00" W) a été choisie comme témoin (zones indemnes à la fluorose) vue l'absence de signes de fluorose chez l'homme et chez l'animal.

Collecte et échantillonnage

Quinze espèces de plantes ont été collectées sur des parcelles cultivées et sur des parcours (Tableau 1), à savoir: *Calendula algeriensis*, *Chrysanthemum coronarium*, *Eruca vesicaria*, *Fumaria parviflora*, *Hordeum vulgare*, *Lathyrus cluenum*, *Lotus arenarius*, *Malvasylvestris*, *Mathiola parviflora*, *Papaver rhoeas*, *Reseda alba*, *Silene vulgaris*, *Sinapis alba*, *Sinapis arvensis* et *Triticum aestivum*. La période de prélèvement était entre Janvier et Avril 2019. Cette année a connu l'absence de pluie depuis fin janvier. Les échantillons des parties aériennes des plantes prélevés ont été séchés à l'étuve à une température de 60°C jusqu'à poids constant, broyés et tamisés à 1 mm puis stockés dans des flacons en plastique. De chaque région, on a prélevé 5 échantillons par espèce en différents endroits.

Détermination de la teneur en fluorure

La méthode utilisée est celle décrite par Ouchatbi (2010). Dans des creusets en Nickel, 10 grammes de chaque échantillon ont été incinérés dans un four à moufle à 450°C pendant 8 heures. Aux cendres végétales obtenues on ajoute 5 ml de NaOH à 8 mol/l. Puis, l'ensemble a été introduit à nouveau au four pendant 30 minutes à 550°C. Au bout de ce temps, les creusets ont été retirés et 150 ml d'eau distillée ont été ajoutés. La solution obtenue a été filtrée et 10 ml d'acide chlorhydrique (HCl) concentré ont été ajoutés pour neutraliser l'excès de soude. Finalement, le mélange a été jaugé à 200 ml par l'eau distillée.

Pour la détermination des taux de fluorure, un volume de chaque échantillon a été tamponné avec le même volume de TISAB II commerciale (solution tampon d'ajustement de la force ionique totale II). Ensuite, le mélange a été dosé à l'aide d'une électrode à fluorure (Thermo Scientific Orion 96-09, Orion Research, Cambridge, MA, USA), couplée à un analyseur d'ions (Star A214, Thermo Scientific Orion). Différentes concentrations (de 1 à 10 ppm) de fluorure de sodium ont été utilisées comme étalons.

Tableau 1: Récapitulation des plantes analysées.

Nom Commun	Nom Scientifique	Famille botanique	Cultivée/ Spontanée
Souci d'Algérie	<i>Calendula algeriensis</i>	Astéracées	Spontanée
Chrysanthème comestible	<i>Chrysanthemum coronarium</i>	Astéracées	Spontanée
La Roquette cultivée	<i>Eruca vesicaria</i>	Brassicacées	Spontanée
Fumeterre à petites fleurs	<i>Fumaria parviflora</i>	Papavéracées	Spontanée
L'orge	<i>Hordeum vulgare</i>	Poacées	Cultivée
Gesse Climène	<i>Lathyrus clumenum</i>	Fabacées	Spontanée
Aucun nom vernaculaire	<i>Lotus arenarius</i>	Fabacées	Spontanée
Mauve sylvestre	<i>Malva sylvestris</i>	Malvacées	Spontanée
Aucun nom vernaculaire	<i>Mathiola parviflora</i>	Brassicacées	Spontanée
Chaudière du diable	<i>Papaver rhoeas</i>	Papavéracées	Spontanée
Réséda blanc	<i>Reseda alba</i>	Résédacées	Spontanée
Silène enflé	<i>Silene vulgaris</i>	Caryophyllacées	Spontanée
Moutarde blanche	<i>Sinapis alba</i>	Brassicacées	Spontanée
Moutarde des champs	<i>Sinapis arvensis</i>	Brassicacées	Spontanée
Blé tendre	<i>Triticum aestivum</i>	Poacées	Cultivée

Détermination des matières azotées totales et des composants de fibres

Le taux des matières azotées totales (MAT) a été déterminé par la méthode de Kjeldahl (AOAC, 1990). Les trois composants de fibres: fibres au détergent neutre (NDF), fibres au détergent acide (ADF) et la lignine (ADL) ont été dosés selon la méthode de Van Soest (1967).

Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel JMP11.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). La comparaison des valeurs moyennes a été réalisée par analyse de la variance à un critère de classification (ANOVA1) (région). Lorsque l'ANOVA a révélé un effet significatif, les valeurs ont été comparées par le test de Tukey et le test de Dunnet. Les résultats ont été exprimés en moyenne \pm l'erreur standard. Les différences ont été considérées comme statistiquement significatives lorsque $p < 0,05$.

Résultats

Analyse des végétaux collectés à partir des régions d'étude

La teneur moyenne en fluorure au niveau de toutes les espèces collectées des quatre communes étudiées est présentée dans la Figure 1. Les résultats montrent que la teneur la plus élevée est celle de la commune d'El Fokra ($4,96 \pm 1,72$ ppm) suivie par la commune M'fassis ($3,79 \pm 1,04$ ppm). Tandis que les communes Ouled Azzouz ($2,24 \pm 1,77$ ppm) et Ouled Saaid ($1,92 \pm 0,89$ ppm) ont présenté les taux les plus faibles. Les résultats ont montré également qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux dernières communes.

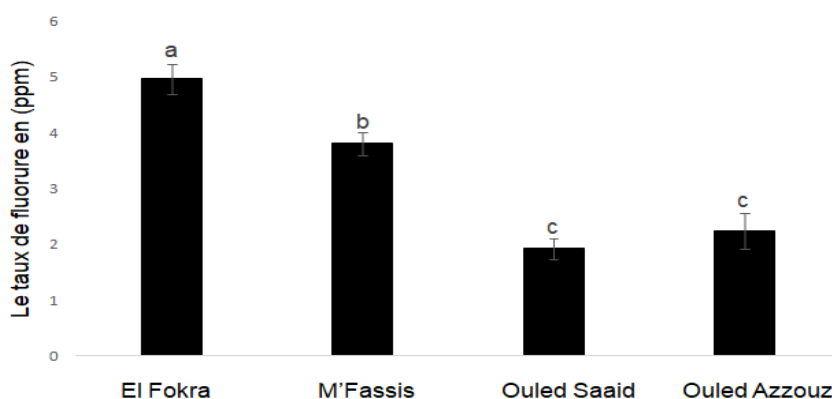


Figure 1 : Comparaison des teneurs moyennes en fluorure des végétaux des zones d'étude.

El Fokra, M'Fassiss et Ouled Azzouz: Communes à fluorose hydrotellurique.

Ouled Saaid : Commune indemne (Contrôle).

a, b et c indiquent la différence significative du taux de fluorure entre les quatre communes d'étude.

Concernant les teneurs en MAT, les résultats ont montré qu'il n'y a pas de différence significative entre les quatre communes (Figure 2). En outre, la commune Ouled Saaid (Contrôle) a présenté les teneurs les plus élevées en NDF, ADF et ADL par rapport aux communes à forte teneur en fluor (Fokra, M'Fassiss). En comparant les communes, les résultats ont révélé que les plantes de la commune Ouled Azzouz avaient le taux le plus élevé en NDF ($54,44 \pm 1,72$ %MS), ADF ($31,62 \pm 0,28$ %MS) et ADL ($11,76 \pm 0,65$ %MS). Tandis que les communes El Fokra et M'Fassiss ont présenté les taux les plus faibles sans différence significative entre elles.

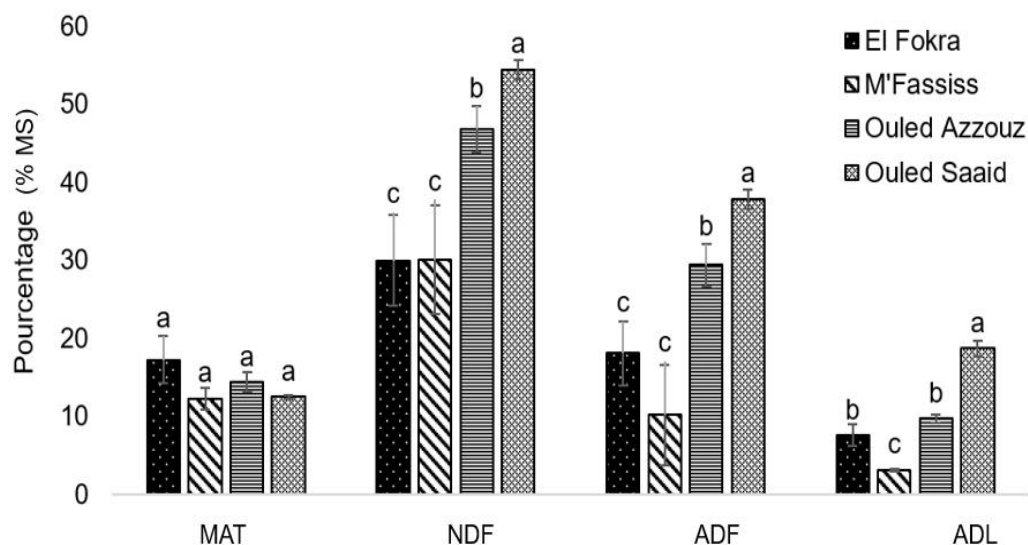


Figure 2 : Comparaison des teneurs moyennes en MAT, NDF, ADF et ADL des végétaux des zones d'étude.

El Fokra, M'Fassiss et Ouled Azzouz: Communes à fluorose hydrotellurique.

Ouled Saaid : Commune indemne (Contrôle).

MAT: matières azotées totales; NDF: fibres au détergent neutre; ADF: fibres au détergent acide et ADL: la lignine.

a, b et c indiquent la différence significative de chaque paramètre étudié (MAT, NDF, ADF et ADL) entre les quatre communes d'études.

Analyse de différentes espèces végétales

Une comparaison des teneurs moyennes en fluorure, MAT, NDF, ADF et ADL de quelques espèces végétales des quatre communes a été effectuée et les résultats sont présentés dans le Tableau 2. Ils montrent que les espèces qui présentent un taux élevé en fluorure ont de faibles taux en NDF, ADF et ADL.

Tableau 2 : Comparaison des teneurs moyennes en MAT, NDF, ADF et ADL de quelques espèces de végétaux collectées à partir des communes étudiées.

Commune	Type de plante	F (ppm)	MAT (%MS)	NDF (%MS)	ADF (%MS)	ADL (%MS)
Fokra	<i>C coronarium</i>	5,25±1,55 ^a	16,35±1,27 ^a	24,25±5,87 ^b	15,23±2,42 ^c	6,34±1,26 ^a
	<i>H vulgare</i>	5,17±0,02 ^a	15,17±2,58 ^a	46,93±1,4 ^b	20,48±0,79 ^b	6,70±1,32 ^a
	<i>P rhoeas</i>	3,50±0,04 ^a	14,27±0,71 ^a	24,15±0,99 ^c	14,05±0,84 ^{bc}	7,10±2,28 ^{bc}
	<i>R alba</i>	4,43±0,04 ^a	18,54±1,78 ^a	32,42±2,12 ^b	21,18±1,73 ^a	8,53±1,30 ^a
	<i>S vulgaris</i>	3,48±0,01 ^a	16,35±2,20 ^a	33,31±2,95 ^b	18,30±1,94 ^b	4,96±0,82 ^a
	<i>S alba</i>	nd	14,51±1,17 ^a	49,82±1,88 ^a	32,55±1,06 ^a	15,22±0,93 ^a
	<i>F parviflora</i>	5,57±0,01 ^a	17,44±0,01 ^a	21,72±0,01 ^b	13,88±0,01 ^b	8,39±0,01 ^a
	<i>C coronarium</i>	3,66±0,12 ^{ab}	13,80±1,61 ^a	37,60±1,01 ^a	18,49±2,07 ^{bc}	6,40±0,89 ^a
M'Fassiss	<i>H vulgare</i>	4,14±0,03 ^b	11,98±1,64 ^a	49,04±1,88 ^{ab}	15,01±1,88 ^b	2,32±0,79 ^b
	<i>P rhoeas</i>	4,62±0,02 ^{ab}	12,24±1,47 ^a	30,10±6,97 ^{bc}	10,17±6,40 ^c	3,09±0,17 ^c
	<i>C algeriensis</i>	4,62±0,02 ^a	11,15±2,36 ^b	36,69±1,61 ^b	17,57±0,79 ^b	5,14±1,50 ^b
	<i>R alba</i>	2,73±1,63 ^b	9,84±0,94 ^b	38,56±2,10 ^a	21,63±1,61 ^a	3,86±0,80 ^b
Ouled Azzouz	<i>C coronarium</i>	1,27±0,59 ^{bc}	12,82±0,89 ^a	40,86±0,62 ^a	26,58±0,43 ^a	9,34±0,30 ^a
	<i>H vulgare</i>	2,57±0,03 ^c	8,93±0,27 ^a	54,44±1,72 ^a	27,90±2,71 ^a	6,89±1,09 ^a
	<i>P rhoeas</i>	2,72±0,53 ^{bc}	14,38±1,21 ^a	46,78±2,99 ^{ab}	29,39±2,65 ^{ab}	9,70±0,59 ^{ab}
	<i>C algeriensis</i>	nd	13,12±0,93 ^{ab}	39,72±1,19 ^{ab}	26,25±0,12 ^a	8,05±0,21 ^a
	<i>S vulgaris</i>	2,57±0,03 ^b	11,39±0,39 ^b	50,55±0,91 ^a	31,62±0,28 ^a	10,34±0,20 ^b
	<i>S alba</i>	0,36±0,01	13,01±0,99 ^a	42,87±2,01 ^b	30,14±1,26 ^a	11,76±0,65 ^b
Ouled Saaid	<i>C coronarium</i>	0,57±2,21 ^c	13,89±0,37 ^a	39,50±0,47 ^a	23,80±0,39 ^{ab}	8,19±0,49 ^a
	<i>H vulgare</i>	2,61±0,01 ^c	8,60±0,62 ^a	54,62±0,78 ^a	28,18±0,35 ^a	6,59±0,17 ^a
	<i>P rhoeas</i>	4,22±0,22 ^c	12,49±0,23 ^a	54,39±1,23 ^a	37,81±1,19 ^a	18,69±1,03 ^a
	<i>C algeriensis</i>	1,57±0,81 ^b	17,30±0,31 ^a	41,70±0,72 ^a	26,96±0,19 ^a	7,82±0,12 ^a
	<i>F parviflora</i>	1,06±0,84 ^b	16,97±0,27 ^a	36,49±1,30 ^a	22,60±0,53 ^a	7,73±0,22 ^a

Fokra, M'Fassiss et Ouled Azzouz: Communes à fluorose hydrotellurique.

Ouled Saaid : commune appartenant à la zone indemne (Contrôle).

MAT: matières azotées totales; NDF: fibres au détergent neutre; ADF: fibres au détergent acide;

ADL : la lignine et F : fluorure.

nd : non déterminé

a, b, c et d indiquent la différence significative de chaque paramètre étudié (MAT, NDF, ADF et ADL) au niveau de chaque espèce entre les quatre communes.

Discussion

L'intoxication chronique par le fluorure est un problème de santé publique touchant plusieurs pays du monde (Rahim *et al.*, 2022b). Cet élément est naturellement présent dans un large éventail de roches (phosphatières et volcaniques) qui contaminent l'eau et le sol (Perumal *et al.*, 2013; Singh *et al.*, 2018). Les plantes sont également exposées au fluorure à travers l'eau, le sol et l'air. Cette accumulation excessive provoque des effets toxiques chez les plantes (Pal *et al.*, 2012; Kumar *et al.*, 2017; Mondal, 2017; Gao *et al.*, 2018; Rizzu *et al.*, 2021; Makete *et al.*, 2022). Ainsi, leur consommation par l'homme et les animaux pourrait aboutir aux différentes formes de fluorose (Rahim *et al.*, 2022a). Il a été signalé que les végétaux de ces régions assimilent des taux élevés de fluorure avec des niveaux variés selon les régions (Kessabi *et al.*, 1984; Haikel *et al.*, 1986; Ouchatbi, 2010).

La comparaison des teneurs moyennes en fluorure entre les quatre communes étudiées a montré une différence significative entre les communes à niveau élevé de fluor (El Fokra et M'Fassiss) et la commune contrôle (Ouled Saaid). Ce résultat corrobore avec plusieurs études qui ont montré que les plantes poussant dans des zones endémiques assimilent des concentrations élevées en fluorure (Franzaring *et al.*, 2006). De plus, il a été mis en évidence que l'assimilation de cet élément par les plantes dépend de plusieurs facteurs tels que l'espèce, la nature du sol ainsi que la concentration et la forme du fluorure (Tylenda, 2011; Gevera *et al.*, 2022). Par conséquent, un sol à pH acide donnera généralement des plantes avec des niveaux de fluorure légèrement plus élevés. Benassila (2014) a rapporté que les sols riches en carbonate de calcium ou en hydroxyde d'aluminium peuvent fixer le fluorure inorganique en formant des complexes insolubles qui limitent leur absorption par les plantes. Le même auteur indique que d'autres cations, comme le fer, contribuent également à la fixation du fluorure, tandis que le phosphate contribue à l'absorption du fluorure inorganique. Une étude a montré que la bioaccumulation du fluorure dans la plante varie en fonction de son transfert du sol aux racines et de sa translocation des racines aux autres parties (Agarwal et Chauhan, 2014). Saini *et al.* (2013) ont démontré que la teneur en fluorure de *A. indica* était significativement plus élevée par rapport à d'autres espèces végétales qui poussent dans des environnements riches en fluorure telles que *P. juliflora* et *A. tortilis*, indiquant que *A. indica* a une forte affinité pour le fluorure. Cette différence significative entre les espèces a également été observée dans la présente étude puisque *F. parviflora*, *C. coronarium*, *H. vulgare* ont accumulés des taux élevés en fluorure par rapport aux autres espèces étudiées. De même, ce résultat est en accord avec plusieurs études (Haikel *et al.*, 1986; Kessabi *et al.*, 1984; Ouchatbi, 2010; Šucman et Bednář, 2012; Saini *et al.*, 2013) qui ont rapporté que la teneur en fluorure varie d'une manière significative entre les espèces des plantes fourragères. D'autre part, les teneurs en fluorure observées dans la présente étude sont très faibles par rapport à celles trouvées par Assimi (1980) dans la région de Safi où la fluorose est de type industriel (fluorure dans l'herbe (704 ppm), la paille (75 ppm), les grains d'orge (25 ppm) et dans le foin (25 ppm)). Cette variation peut être expliquée par la voie d'exposition au fluorure par les plantes poussées dans la région de Safi qui est l'air contenant des particules de fluorure qui se précipitent directement sur toutes les parties de la plante (Kumar *et al.*, 2017). La différence significative au niveau de la teneur en fluorure des plantes entre les différentes communes d'études peut être expliquée également par le type de sol (Hong *et al.*, 2016).

Concernant la teneur en protéines, aucune différence significative n'a été observée dans la présente étude. Tandis que Szostek et Ciećko (2017) ont trouvé que la contamination du sol par le fluorure a contribué à une augmentation de la teneur en MAT des grains et des racines de triticale de printemps, de la masse aérienne et des racines de radis noir ainsi que de la masse aérienne de la luzerne. Une différence significative au niveau des teneurs en NDF, ADF et ADL entre les différentes espèces et les différentes communes étudiées a été notée. Ceci peut être expliqué par d'autres facteurs tels que le climat et le type de sol. Kotlarz *et al.* (2011) rapportent que les teneurs en NDF et ADF des fourrages dépendent d'autres facteurs tels que le stade de récolte, les conditions thermiques, les amendements du sol ainsi que les engrais minéraux.

Conclusions

D'après la présente étude, on peut conclure que dans la province de Khouribga connue par une fluorose de type hydrotellurique, le taux de fluorure au niveau des plantes varie selon le degré de contamination de la commune et selon l'espèce de plante. Dans la commune El Fokra qui présente le taux de fluorure élevé, *F. parviflora*, *C. coronarium*, et *H. vulgare* accumulent des quantités plus importantes en fluorure par rapport aux autres espèces. D'autre part, les régions qui ont un taux faible en fluorure présentent des niveaux élevés des fibres (NDF, ADF et ADL). Des recherches sur l'effet de fluorure sur les autres paramètres de la qualité fourragères ainsi que des essais sur l'utilisation rationnelle des plantes à teneurs élevées en cet halogène dans l'alimentation des ruminants sont à entreprendre. D'autres recherches aussi sur l'eau et le sol et leurs effets sur l'assimilation de fluorure par les plantes sont nécessaires pour essayer de déterminer les sources de contamination de l'homme et de l'animal dans ces régions.

Conflits d'intérêts

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts.

Remerciements

Les auteurs remercient les autorités locales des différentes communes territoriales, la Direction Provinciale de l'Agriculture de Khouribga et les éleveurs ayant contribué à la réalisation de cette étude.

Références

- Abdennebi E.H. (1982). Le Dar-Ghmous: étude épidémiologique, clinique et conséquences économiques. Thèse de Doctorat Vétérinaire, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, 96 pages.
- Agarwal R. et Chauhan S.S. (2014). Bioaccumulation of sodium fluoride toxicity in *Triticum aestivum* Var. International Journal of Food, Agriculture and Veterinary Sciences. 4. p. 98-101.
- Anazawa K. (2006). Chapter 6: fluorine and coexisting volatiles in the geosphere: the role in Japanese volcanic Rocks. In: Tressaud, A. (Ed.), Advances in Fluorine Science, Fluorine and the Environment. Elsevier. P. 187–224.
- AOAC 1990. Official Methods of Analysis of AOAC International. 15th Edition Washington D.C: Association of Official Analytical chemists. p. 1018.
- Assimi B. (1980). Contribution à l'étude de la fluorose industrielle dans la région de Safi. Thèse de Doctorat Vétérinaire, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc. 108 pages.
- Baunthiyal M. et Ranghar S. (2014). Physiological and biochemical responses of plants under fluoride stress: an overview. Fluoride. 47(4). p. 287-93.
- Benassila H. (2014). Contribution à l'étude du Darmous et de la myopathie nutritionnelle chez le mouton dans la région d'El Borouj : rétrospective, état actuel et perspectives. Thèse de Doctorat Vétérinaire, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, 74 pages.
- Bharti V.K., Giri A., Kumar K., Leong Y.H., Samin A.S.M. et Majid M.I.A. (2017). Evaluation of physico-chemical parameters and minerals status of different water sources at high altitude. Annals of Environmental Science and Toxicology. 2. p. 10–18.
- Choudhary S., Rani M., Singh R., Prasad S., Patra A. et Ogireddy S.D. (2019). Impact of fluoride on agriculture: A review on it's sources, toxicity in plants and mitigation strategies. Int. J. Chem. Stud. 7. p. 1675–1680.
- Diacono E., Faye B., Bengoumi M. et Kessabi M. (2008). Hydrotelluric and industrial fluorosis survey in the dromedary camel in the South of Morocco. In: Faye B., Sinyavskiy Y. (Edition) Impact of Pollution on Animal Products. NATO Science for Peace and Security Series Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht. p. 85-90.
- El Amiri B., Rahim A. et Sibaoueih M. (2021). Perception et pratiques d'élevage pour atténuer la fluorose chez les ovins dans trois communes de la province de Khouribga-Maroc. African and Mediterranean Agricultural Research Journal-Al-Awamia. 133. p. 1-17.
- Franzaring J., Hrenn H., Schumm C., Klumpp A. et Fangmeier A. (2006). Environmental monitoring of fluoride emissions using precipitation, dust, plant and soil samples. Environmental Pollution. 144(1). p. 158-165.
- Gao J., Liu C., Zhang J., Zhu S., Shen Y. et Zhang R. (2018). Effect of fluoride on photosynthetic pigment content and antioxidant system of *Hydrilla verticillata*. International journal of phytoremediation. 20(12). p. 1257-1263.

- García M.G. et Borgnino L. (2015). Fluoride in the Context of the Environment. In book: Fluorine: Chemistry, Analysis, Functions and Effects Chapter: Fluoride in the Context of the Environment Publisher: Royal Society of Chemistry publishing Editors: Preedy V. p. 3–21.
- Gevera P.K., Cave M. Dowling K., Gikuma-Njuru P. et Mouri H. (2022). Potential fluoride exposure from selected food crops grown in high fluoride soils in the Makueni County, south-eastern Kenya. *Environmental Geochemistry and Health*. p. 1-15.
- Groth E. (1975). Fluoride pollution, along the food chain. *Environ*. 17. p. 29–38.
- Habiyakare T., Schurer J. M., Poole B., Murcott S., Migabo B., Mardochee B., Amuguni J.H. et Morgan J. P. (2021). Dental fluorosis among people and livestock living on Gihaya Island in Lake Kivu, Rwanda. *One health outlook*. 3(1). p. 1-9.
- Haikel Y., Voegel J.C. et Frank R.M. (1986). Fluoride content of water, dust, soils and cereals in the endemic dental fluorosis area of Khouribga (Morocco). *Archives of Oral Biology*. Vol. 31 (5). p. 279–286.
- Hong B. D., Joo R. N., Lee K. S., Lee D. S., Rhie J. H., Min S. W., Song S. G. et Chung D. Y. (2016). Fluoride in soil and plant. *Korean Journal of Agricultural Science*. 43(4). p. 522-536.
- Jarosz Z. et Pitura K. (2021). Fluoride Toxicity Limit—Can the Element Exert a Positive Effect on Plants?. *Sustainability*. 13(21). 12065.
- Kessabi M., Assimi B. et Braun J.P. (1984). The effects of fluoride on animals and plants in the South Safi zone. *Sci. Total Environ*. 38. p. 63–68.
- Khandare A.L. et Rao G.S. (2006). Uptake of Fluoride, aluminum and molybdenum by some vegetables from irrigation water. *J Hum Ecol*. 9(4). p. 283-288.
- Kotlarz A., Sujak A., Strobel W., et Grzesiak W. (2011). Chemical composition and nutritive value of protein of the pea seeds-effect of harvesting year and variety. *Vegetable Crops Research Bulletin*. 75. p. 57.
- Kumar K., Giri A., Vivek P., Kalaiyarasan T. et Kumar B. (2017). Effects of fluoride on respiration and photosynthesis in plants: An overview. *Annals of Environmental Science and Toxicology*. 2(1). p. 43-47.
- Landis WG., Sofield RM. et Yu M. (2011). Introduction to environmental toxicology, Molecular substructures to ecological landscapes. CRC Press. Taylor and Francis Group. 4th edition. p. 255-268.
- Makete N., Rizzu M., Seddaiu G., Gohole L. et Otinga A. (2022). Fluoride toxicity in cropping systems: Mitigation, adaptation strategies and related mechanisms. A review. *Science of The Total Environment*. 155129.
- Mondal N. K. (2017). Effect of fluoride on photosynthesis, growth and accumulation of four widely cultivated rice (*Oryza sativa* L.) varieties in India. *Ecotoxicology and environmental safety*. 144. p. 36-44.
- Moufti A. (2019). Characterization of the Youssoufia-Morocco-Mine fluoride Contaminated water and their detrimental effects on human health. *Environmental Chemistry and Recent Pollution Control Approaches*. IntechOpen. pp. 3.

- Murray F. (1984). Fluoride retention in highly leached disturbed soils. *Environmental Pollution Series B. Chemical and Physical*. 7(2). p. 83-95.
- Ouchatbi A. (2010). Contribution à l'étude de la fluorose d'origine industrielle dans les régions de jorf Lasfar et de Safi. Doctorat Vétérinaire (Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat). 117 pages.
- Pal K. C., Mondal N. K., Bhaumik R., Banerjee A., et Datta J. K. (2012). Incorporation of fluoride in vegetation and associated biochemical changes due to fluoride contamination in water and soil: a comparative field study. *Annals of Environmental Science*. 6.
- Panda D. (2015). Fluoride toxicity stress: physiological and biochemical consequences on plants. *International Journal of BioResearch and Environmental Agricultural Science*. 1. p. 70-84.
- Perumal E., Paul V., Govindarajan V. et Panneerselvam L. (2013). A brief review on experimental fluorosis. *Toxicology Letters*. 223. 236–251.
- Pitman M.G. (1982). Fluoride: Transport across plant roots. *Quart ResBiophysics*. 15. p. 481-554.
- Rahim A., Aydogmus-Öztürk F, Çakir C, Essamadi A et El Amiri B (2022b) Mitigating Fluoride, Lead, Arsenic and Cadmium Toxicities in Laboratory Animals and Ruminants through Natural Products. *Records of Agricultural and Food Chemistry* 2. p. 1–17.
- Rahim A., Essamadi A. et El Amiri B. (2022a). A comprehensive review on endemic and experimental fluorosis in sheep: Its diverse effects and prevention. *Toxicology*. 465. 153025.
- Rizzu M., Tanda A., Cappai C., Roggero P.P. et Seddaiu G. (2021). Impacts of soil and water fluoride contamination on the safety and productivity of food and feed crops: a systematic review. *Sci. Total Environ*. 787. 147650.
- Saini P., Khan S., Baunthiyal M. et Sharma V. (2013). Mapping of fluoride endemic area and assessment of F⁻ accumulation in soil and vegetation. *Environmental monitoring and assessment*. 185(2). p. 2001-2008.
- Singh G., Kumari B., Sinam G., Kumar N. et Mallick S. (2018). Fluoride distribution and contamination in the water, soil and plants continuum and its remedial technologies, an Indian perspective—a review. *Environmental Pollution*. 239. p. 95-108.
- Strunecka A. et Strunecky O. (2020). Mechanisms of fluoride toxicity: from enzymes to underlying integrative networks. *Applied Sciences*. 10 (20), 7100.
- Šucman E. et Bednář J. (2012). Determination of fluoride in plant material using microwave induced oxygen combustion. *Czech Journal of Food Sciences*, 30(5). p. 438-441.
- Szostek R. et Ciecko Z. (2017). Effect of soil contamination with fluoride on the yield and content of nitrogen forms in the biomass of crops. *Environmental Science and Pollution Research*. 24(9). p. 8588–8601.
- Tylenda C.A. (2011). *Toxicological Profile for Fluorides, Hydrogen Fluoride, and Fluorine (Update)*. DIANE Publishing. p. 383.

Van Soest P.J., Robertson J.B. et Lewis B.A. (1967). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74. p. 3583-3597.

Vithanage M. et Bhattacharya P. (2015). Fluoride in drinking Water: health effects and remediation. In: Lichtfouse, E., Schwarzbauer, J., Robert, D. (Eds.), *CO2 Sequestration, Biofuels and Depollution, Environmental Chemistry for a Sustainable World*. Springer International Publishing, Cham. p. 105–151.

Zouarhi F. (2009). Essai de la prévention du Darmous, fluorose hydrotellurique, utilisant un aliment enrichi en aluminium. Doctorat Vétérinaire (Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat). 115 pages.

Zuo H., Chen L., Kong M., Qiu L. Lü P., Wu P., Yang Y. et Chen K. (2018). Toxic effects of fluoride on organisms. *Life Sciences*. 198. p. 18-24.