

# Impacts négatifs d'une zone industrielle sur les eaux souterraines et sur le cheptel (Cas du Jorf Lasfar, Maroc) : approches pluridisciplinaires.

ElHasnaoui B.<sup>1</sup>, Younsi A.<sup>2</sup>, Mountadar M.<sup>1</sup>, Garmes H.<sup>1</sup> et Mouhab A.<sup>3</sup>

1 : Laboratoire de l'Eau et de l'Environnement,  
[elhasnaouibahija@yahoo.fr](mailto:elhasnaouibahija@yahoo.fr)

2 : Laboratoire des Géosciences et Techniques de l'Environnement, Dpt Géologie, Faculté des Sciences d'El Jadida-Maroc.

3 : Cabinet Vétérinaire Privé, El Jadida - Maroc

## Résumé

Dans la région étudiée, second pôle industriel du Maroc, les eaux souterraines représentent les seules ressources en eau pour l'alimentation quotidienne de la population rurale et pour l'abreuvement du cheptel. Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux montrent que la majorité des puits suivis dépassent les normes de l'OMS relatives à la qualité de l'eau. En effet, la concentration des fluorures dans l'eau de ces villages varie de 0,24 à 4,3 mg/l, ce qui semble être à l'origine de la fluorose dentaire observée chez le bétail de cette région. Les résultats de l'enquête épidémiologique réalisée sur le cheptel montrent une forte contamination par les fluorures générés, en grande partie, par les industries des phosphates. Plusieurs facteurs sont déterminants dans cette contamination, à savoir : approvisionnement en eau, durée d'exposition, approvisionnement en aliments, proximité des industries,...

Mots clés : Impact, Contamination, fluorures, épidémiologie, fluorose, eau, sol, Industrie phosphatée, Jorf Lasfar, Maroc.

## 1- Introduction

L'intoxication fluorée chronique est une affection qui peut être responsable de lésions osseuses et dentaires en raison du tropisme de l'ion fluor sur les tissus osseux et dentaire. La fluorose est caractérisée par les signes cliniques suivants : décoloration des dents, dépôt des taches brunes et noires sur les incisives et les molaires, exostose au niveau des membres, difficulté de mastication (Singh et al., 1994; Dwivedi et al., 1997), raideur, boiteries (Patra et al., 2000). Les origines potentielles de l'intoxication fluorée sont nombreuses et sont dominées par l'étiologie hydrotellurique : fluorose d'origine industrielle ou alimentaire. En effet, dans le monde entier, l'industrie des phosphates, de l'acide phosphorique, des engrais phosphatés et de combustion des charbons constituent la principale source de la pollution atmosphérique par les dérivés fluorés (Patra et al., 2000 ; Ulvi et al., 2001 ; Yonghua et al., 2003). Il a été aussi démontré que la consommation de l'eau et de l'herbe par la fumée et la poussière émises par les industries produisant les fertilisants phosphatés, conduit au développement de la fluorose chronique chez les bovins (Kessabi et al., 1984 ; Haikel et al., 1986 ; Patra et al., 2000; Garmes, 2002; El Hasnaoui et al., 2006). L'ingestion de sol contenant des concentrations élevées en fluor par des animaux pendant une longue période, peut entraîner l'intoxication chronique par le fluor qui s'accumule principalement dans leur os (Loganathan et al., 2003).

La région étudiée fait partie de ces zones sensibles à la contamination fluorurée. C'est une région qui connaît actuellement un essor démographique important et une intensification des activités socio-économiques. Elle est considérée comme le second pôle industriel du Maroc. Ce développement entraîne des rejets liquides et gazeux dans le milieu récepteur, sans traitement préalable. Ce qui engendre des effets négatifs pour l'environnement, le bétail et l'Homme. Plusieurs aspects de dégradation peuvent être dénombrés tel que la détérioration de la qualité de l'air, du sol, des eaux souterraines, du végétal, apparition de fluorose dentaire et osseuse chez le bétail, ... Les sources potentielles de cette dégradation pourraient être liées à des émissions gazeuses et poussiéreuses à forte charge en fluorures, générées principalement par les industries phosphatées de la région du Jorf Lasfar.

L'objectif principal de ce travail est d'évaluer le degré de cette contamination fluorurée au niveau de l'eau souterraine et de faire une étude sur l'origine de la fluorose en zone industrielle et son impact sur le bétail dans la région du Jorf Lasfar. Pour réaliser notre travail, plusieurs campagnes périodiques de relevés piézométriques, de prélèvements des eaux souterraines et du sol, d'analyses physico-chimiques et d'enquêtes épidémiologiques sur un échantillon global de bovins, ont été réalisées.

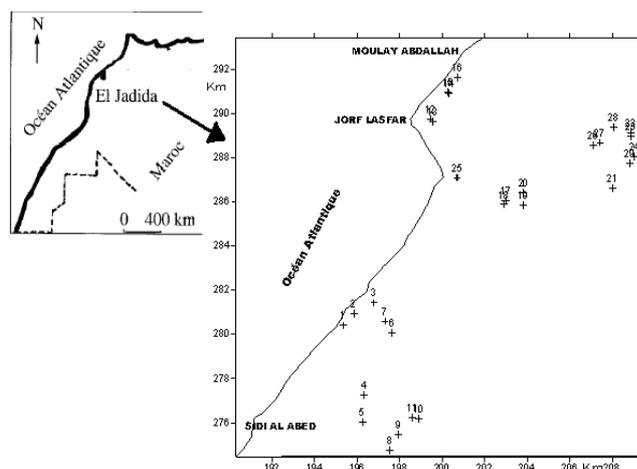
## 2- Présentation de la région étudiée

### 2-1- Présentation géographique

La région étudiée fait partie d'une série de plaines subatlantiques de la Méséta côtière marocaine. Elle est limitée au Nord Est par la ville d'El Jadida, au Nord et à l'Ouest par l'Océan atlantique, au Sud Ouest par la localité de Sidi Al Abed, sur une longueur de 22 km et une largeur de 15 km (Figure 1). Elle est caractérisée par une démographie importante (850 000 habitants, recensement de 2004) et une multiplication des activités touristiques pendant l'été et le festival de Moulay Abdallah. Les activités économiques sont principalement industrielles (phosphates, centrale thermique, métallurgie,...) et secondairement agricoles (maraîchage, céréales,...).

Le climat est du type semi-aride, avec une température moyenne de 17,4 °C, une pluviométrie annuelle moyenne de l'ordre de 388 mm et

une recharge efficace de 58 mm environ (Station météorologique d'El Jadida). Les vents dominants sont principalement dirigés des industries phosphatées vers Sidi Al Abed, vers le Sud et le Sud Ouest. Ce qui fait de cette localité, la zone la plus sensible à la contamination fluorurée, liée aux émissions industrielles (gazes, poussières,...).



**Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude et des points de prélèvement des eaux souterraines. (Novembre, 2005)**

## 2-2- Description géologique et hydrogéologique

Une nappe d'eau souterraine libre circule dans les calcaires du Cénomanien (Chtaini.,1987 ; El Achheb., 1993 ; D.R.H.T., 1994), caractérisés par une perméabilité de fissures (de l'ordre de  $10^{-4}$  m/s). Les terrains grésocalcaires du Quaternaire, caractérisés par des fissures verticales, jouent plutôt le rôle de drains naturels, se laissant traverser par les eaux météoriques, permettant l'alimentation de l'aquifère cénomanien. Les relevés piézométriques de la zone d'étude montre que l'écoulement de la nappe cénomanienne se fait du Sud Est vers le nord Ouest, de la zone industrielle vers la mer, exutoire naturel de l'aquifère et que la profondeur moyenne de cette nappe est de l'ordre de 15 à 20m (Figure 2).

Dans la zone d'étude, les sols sont de nature sablo-argileuse et perméables (de l'ordre de  $10^{-3}$  m/s), la zone non saturée est caractérisée par une bonne perméabilité de fissure (bonne fissuration verticale, perméabilité de l'ordre de  $10^{-3}$  m/s) : ceci favorise l'infiltration et la percolation des eaux météoriques et d'irrigation chargées en matière polluante, vers la nappe superficielle.

## 3- Etude chimique

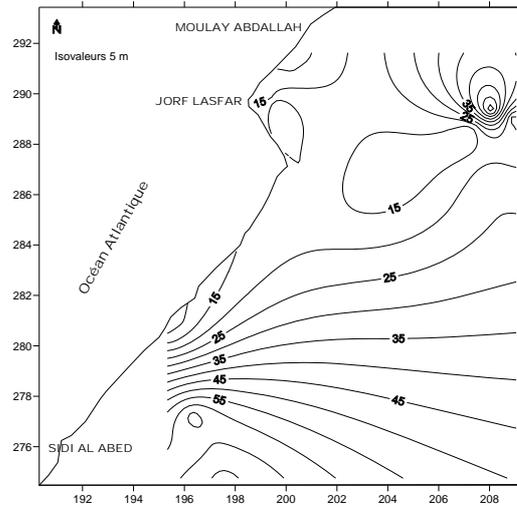
### 3-1- Eau souterraine

#### 3-1-1- Matériel et méthodes

Des suivis périodiques de prélèvements d'eau souterraine et d'analyses physico-chimiques ont été effectués sur une trentaine de puits bien répartis sur toute la zone d'étude (figure 1). Ces suivis se rapportent respectivement aux périodes des hautes et des basses eaux des années 2004, 2005 et 2006.

A chaque prélèvement, la température, la conductivité électrique et le pH ont été mesurés in situ à l'aide d'un conductimètre multiparamètre HACH, modèle 44 600 et un pH-mètre WTW 330i.

Les paramètres chimiques, sodium et potassium sont déterminés à l'aide d'un spectrophotomètre à flamme. Le calcium et le magnésium par dosage volumétrique selon la norme AFNOR T90-003, les chlorures par volumétrie selon la norme AFNOR T90-014 en présence de nitrate d'argent ( $AgNO_3$ ). Le titre alcalinométrique complet (TAC) est donné par les teneurs en  $HCO_3^-$ , selon la norme NFT 90-036. Les nitrates sont déterminés par colorimétrie au salicylate de sodium, selon la norme AFNOR NTF 906-012. Les fluorures sont dosés par l'électrode pH-ionomètre JENCO-Model 6209, en utilisant la solution tampon TISAB.



**Figure 2 : Carte des isobathes de la profondeur de la nappe (Novembre, 2005).**

### 3-1-2- Aspect qualitatif des eaux souterraines

Les résultats des analyses physico-chimiques réalisés pendant les trois années de suivi, sont reportés dans le tableau 1. Pour tous les échantillons, le pH est légèrement alcalin avec une moyenne de 7,5. Les valeurs de la conductivité électrique des eaux de la nappe oscillent entre 1 et 5,89 mS/cm. Notons que lorsque les valeurs de la conductivité électrique dépassent 2 mS/cm, les eaux présentent des effets laxatifs chez les consommateurs (OMS, 1986). Cette conductivité est principalement déterminée par les chlorures et le sodium. La norme des chlorures édictée par l'OMS pour la consommation humaine est de 250 mg/l. Dans la zone étudiée, 86,2 % de l'ensemble des puits inventoriés dépassent cette norme. Pour le sodium, la norme de potabilité d'une eau est fixée à 150 mg/l. Pour les eaux analysées, 48,3 % des échantillons présentent des concentrations dépassant le seuil toléré. Les eaux riches en sodium peuvent entraîner une augmentation de la tension artérielle, en particulier chez les personnes atteintes des maladies cardiaques, hépatiques, rénales et d'autres maladies pour lesquelles la prise de sel doit être limitée (Calabrese, 1985). Concernant le calcium, la limite admise est fixée par l'OMS est de 75 mg/l, pour le magnésium, la norme admise est de 30 mg/l. Les eaux analysées présentent des concentrations dépassant les normes. En effet, 86,2 % et 89,7 %, des puits analysés, présentent des concentrations dépassant les normes de potabilité en calcium et en magnésium. Les nitrates, dont la concentration seuil fixée par l'OMS, est de 50 mg/l, 79,4 % des puits analysés ont des concentrations supérieures à 50 mg/l. Les teneurs en bicarbonates varient entre 209 et 488 mg/l. En ce qui concerne les fluorures, la norme édictée par l'OMS pour une eau ayant une température moyenne de 20 à 21°C, est fixée à 0.61 mg/l (OMS, 1972). L'examen des résultats obtenus montre qu'environ 24,1 % des puits analysés dépassent cette norme. La consommation de cette eau chargée en fluor, engendre des effets négatifs en matière de santé connus sous le nom de fluorose dentaire et osseuse.

Numéro du puits	pH	CE (mS/cm)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	F <sup>-</sup> (mg/l)
1	7,28	5,5	104	36	170	2,2	268	1800	44	0,53
2	7,45	5,7	128	56	194	5,4	292	1700	46	0,55
3	7,63	5,2	108	73	174	5,5	305	1800	51	0,5
4	7,06	1,79	128	42	145	4,4	329	500	46	0,55
5	7,25	1,54	116	44	111	2,8	268	500	50	0,6
6	7,41	2,3	108	46	150	3,22	280	1200	49	2,8
7	7,35	3,4	168	45	169	3,05	292	1300	52	1,4
8	7,5	1	124	32	95	2,4	268	200	38	4,3
9	7,46	1,1	80	34	90	4,4	293	200	32	2,44
10	7,58	1,1	148	35	106	15,58	280	450	156	2,55
11	7,88	1,3	100	35	105	8,24	268	450	143	0,93
12	7,44	4,19	144	92	472	8,67	329	1700	112	0,44
13	7,32	3,4	128	92	430	4,15	366	1500	124	0,31
14	7,56	4	156	100	420	26,93	439	1700	98	0,26
15	7,36	4,25	156	107	420	11	427	1500	102	0,24
16	7,41	5,89	176	119	405	14,25	329	1751	89	0,63
17	7,71	2,01	72	80	259	3,05	403	750	96	0,39
18	7,97	1,9	64	54	240	2,2	427	700	92	0,37
19	7,87	1,8	88	61	220	2,63	366	700	88	0,31
20	7,61	1,7	76	52	215	2,46	366	500	91	0,3
21	7	1,5	128	39	122	3,31	274	303	54	0,34
22	7,2	1,8	116	32	100	6,73	209	300	102	0,32
23	7	1,9	156	30	105	4,98	329	300	125	0,42
24	7,6	1,89	208	25	96	2,28	362	250	114	0,48
25	7,72	2,6	100	177	808	1,42	488	1201	95	0,37
26	7,66	1,55	48	51	132	7,31	354	450	120	0,35
27	7,57	1,56	64	49	132	6,31	329	400	112	0,26
28	7,38	1,7	132	66	120	10,6	354	350	103	0,39
29	7,1	1,7	108	26	100	4,73	329	200	130	0,42

Tableau 1 : Résultats moyens des analyses physico-chimiques des eaux des puits suivis (2004-2006).

### 3-1-3- Cartes chimiques

#### 3-1-3-1- Carte de la conductivité électrique

La carte de distribution spatiale des conductivités électriques (CE) de la nappe cénomaniennne présente d'importantes variations de la minéralisation totale des eaux souterraines étudiées (figure 3). Les fortes conductivités électriques, se localisent en zone aval (secteurs côtiers de la zone d'étude) pouvant atteindre 4.19 mS/cm dans la zone du Jorf Lasfar, 5.7 mS/cm dans la zone de Sidi Al Abed et 5.89 mS/cm à Moulay Abdallah. Cette carte montre aussi que les conductivités électriques augmentent globalement de l'amont vers l'aval, en direction de la mer. Ceci semble dénoter une probable salinisation des eaux de la nappe par les eaux marines, suite à une éventuelle intrusion marine provoquée par les pompages intensifs dans l'aquifère côtier. Cette forte minéralisation des eaux souterraines peut être aussi due à un surplus des eaux d'irrigation de retour chargées vers la nappe, (Fakir et al., 2001 ; Younsi, 2001 et Trabelsi et al., 2005), d'autant plus que dans les secteurs agricoles nous assistons à une utilisation excessive des fertilisants et de sels agricoles.

L'hypothèse d'intrusion marine s'explique également par l'accroissement en direction de la mer des teneurs en chlorures et sodium (figures 4 et 5), dont la source potentielle serait marine et par la présence de l'isopièze zéro mètre à l'intérieur des terres (El Achheb, 2002). En effet, la corrélation entre ces deux éléments et la conductivité électrique est importante et positive et elle est de 0,841 entre chlorures et conductivité électrique, et de 0,714 entre sodium et conductivité électrique. Les concentrations maximales sont de 1800 mg/l pour les chlorures et 808 mg/l pour le sodium.

Cette haute salinité affecte sévèrement la plupart des récoltes agricoles, réduit sérieusement les rendements, donne un goût salé et peut avoir des effets laxatifs.

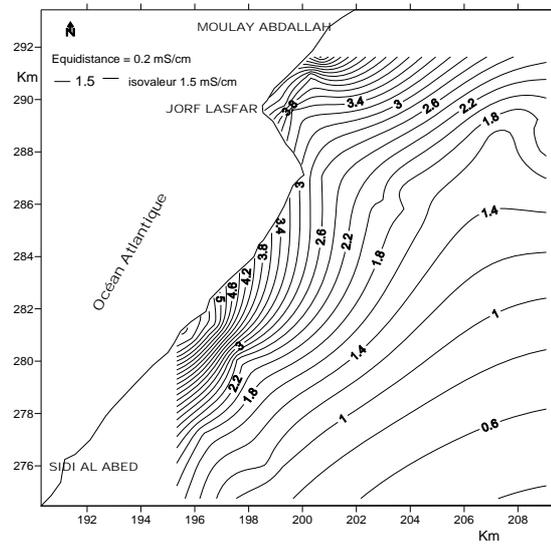


Figure 3 : Carte de distribution spatiale des conductivités électriques ( Novembre, 2005)

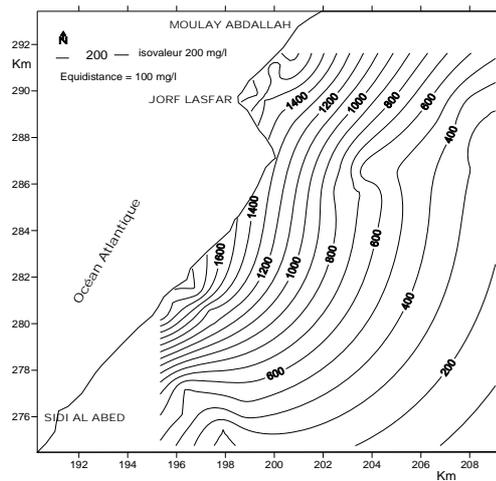


Figure 4 : Carte de distribution spatiale des teneurs en chlorures (Novembre, 2005)

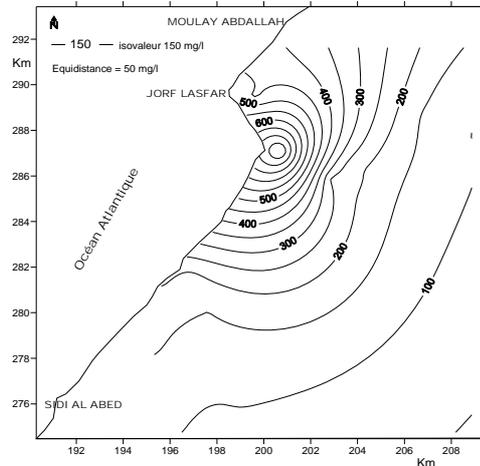


Figure 5 : Carte de distribution spatiale des teneurs en sodium (Novembre, 2005)

### 3-1-3-2- Carte de distribution spatiale des fluorures

Les secteurs les plus touchés correspondent à ceux situés au Sud Ouest du complexe de l'industrie phosphatée (figure 6). En effet, c'est au niveau de la zone de Sidi Al Abed, que les concentrations en fluorures atteignent des valeurs importantes, de l'ordre de 4.3 mg/l. Les sources potentielles de la contamination fluorurée pourraient être : l'intrusion marine, la nature lithologique de la roche aquifère, les émissions poussiéreuses et gazeuses des industries phosphatées, la consommation excessive du thé,... D'après les études géologique et hydrogéologique, la nappe principale de la zone d'étude, circule dans les calcaires fissurés du Cénomanien, en l'absence de toute formation à faciès phosphaté. D'après les études antérieures, l'intrusion marine ne dépasserait jamais les deux premiers kilomètres du rivage, ce qui écarte cette origine. D'après l'étude climatologique, la rosée des vents a montré que ces derniers soufflent principalement des industries phosphatées vers Sidi Al Abed, ce qui explique bien l'origine principale de ces fortes teneurs en fluorures. Celles-ci sont liées aux émissions poussiéreuses et gazeuses émises par les industries localisées dans la zone du Jorf Lasfar, à forte charge fluorurée. En effet, leur dépôt sur les sols avoisinants et leur lessivage par les eaux de pluies et d'irrigation, vont les entraîner à travers la zone non saturée, jusqu'à la nappe phréatique. Cette infiltration des eaux chargées en fluorures, est aussi favorisée par la bonne perméabilité des sols (sablo-argileux) et de la zone non saturée (très fissurée).

Malgré les profondeurs relativement élevées rencontrées dans la zone de Sidi Al Abed (figure 2), les teneurs en fluorures sont très élevées (5.4 mg/l de F-) dans les eaux souterraines, cela ne peut être expliqué que par la forte charge fluorurée des émanations industrielles entraînées par les vents. Par contre dans la région de Moulay Abdallah, nous avons enregistré des valeurs très faibles. En effet, la concentration maximale est de l'ordre de 0.63 mg/l. Cette région est située à l'abri des vents issus du Jorf Lasfar, pendant la majorité de l'année, ce qui explique bien cette faible teneur en fluorures.

De manière générale, en allant de Moulay Abdallah vers Sidi Al Abed et en passant par Jorf Lasfar où les industries phosphatées sont concentrées, les gradients de concentrations en fluorures augmentent au fur et à mesure. Cette pollution importante engendre des impacts négatifs sur les différents écosystèmes (végétal, sol et eau souterraine) et sur l'homme et le bétail, principalement dans la région de Sidi Al Abed.

Une étude effectuée par Benhaddine et al., 2005 et qui a porté principalement sur les fluorures, a montré que l'air analysé dans la zone du Jorf Lasfar présente des teneurs comprises entre  $0,26 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à l'amont et  $2,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à l'aval, dans la direction des vents. La teneur moyenne obtenue est de l'ordre de  $1,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , elle dépasse la moyenne annuelle déclarée par l'OMS qui est de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ce sont les points de mesure situés à l'aval des industries phosphatées, qui accusent les fortes teneurs en fluorures, ce qui plaide en faveur d'une pollution atmosphérique intense générée par les industries phosphatées.

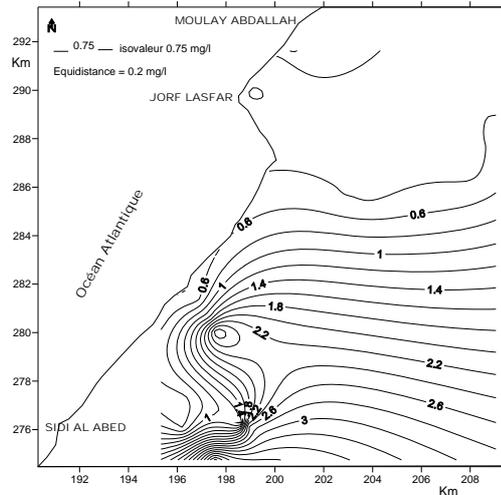


Figure 6 : Carte de distribution spatiale des teneurs en fluorures (Novembre, 2005)

#### 4- Etude épidémiologique

##### 4-1- Méthodologie de travail

En collaboration avec un médecin vétérinaire et son équipe, nous avons effectué une enquête épidémiologique à l'aide d'un " Laboratoire mobile ", au mois d'octobre 2006. Ces sorties sur le terrain ont porté sur un échantillon représentatif de bétail dans la région du Jorf Lasfar. Au total, 51 foyers ont été choisis et une tête de bovin par foyer a été examinée par le médecin vétérinaire. 51 vaches, taureaux et veaux ont été diagnostiqués pour la fluorose dentaire et osseuse. Pour l'évaluation des différents degrés de fluorose dentaire, nous avons adapté la classification de DEAN. Les propriétaires de ces bovins ont été questionnés, ce qui nous a permis de remplir une fiche préalablement établie. Les bovins ont été choisis pour les raisons suivantes : ils présentent l'espèce la plus dominante de la région étudiée et ils sont facilement diagnostiqués si on les compare avec les chevaux, les dromadaires et les chiens. Le traitement des données épidémiologiques a été fait par le logiciel SPSS.

##### 4-2- Résultats et discussions

###### 4-2-1- Etat de la fluorose

Les lésions fluorotiques se développent chez les bovins de la même façon que chez les chevaux, les moutons et les autres espèces animales. Les dents et les os sont les sites majeurs des lésions importantes (Patra et al., 2000). Ces lésions fluorotiques n'ont pas seulement des effets négatifs en matière de santé mais leur apparition peut aussi causer des pertes économiques considérables.

Dans notre étude, nous avons montré que 66.66 % des bovins examinés, sont atteints de fluorose dentaire. Ainsi, 13.7 % ont une fluorose douteuse, 9.8 % ont une fluorose très légère, 11.8 % ont une fluorose légère, 3.9 % ont une fluorose modérée et 27.4 % ont une fluorose prononcée (figure 7). Les 33.3 % qui restent, ont des dents saines. Ces résultats plaident en faveur d'un problème de santé bovine, ce qui peut entraîner une difficulté de mastication et engendrer par conséquent une malnutrition et un retard de croissance. Par ailleurs, 49 % des bovins examinés présentent des lésions osseuses. Sur l'ensemble de l'échantillon global, la fluorose osseuse et la fluorose dentaire présentent des pourcentages élevés, ce qui traduit un signe adéquat de l'intoxication par le fluor de ces bovins diagnostiqués.

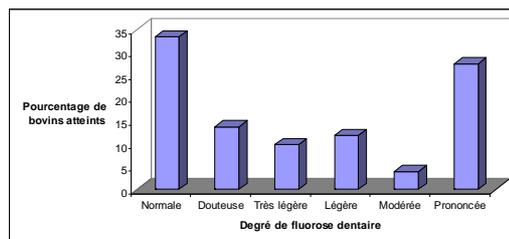
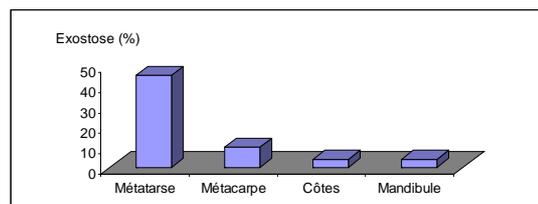


Figure 7 : Degré de fluorose dentaire et leur fréquence (Octobre 2006)

Parmi les conséquences des lésions osseuses, nous pouvons citer les raideurs et/ou les boiteries. Ainsi, 27,5 % des bovins présentent des raideurs et 29,4 % des bovins montrent des boiteries, alors que 27 % présentent les deux à la fois.

Les études statistiques ont montré que les raideurs et les boiteries sont fortement associées aux lésions osseuses avec un  $p = 0.0001$  entre les boiteries et la fluorose osseuse et un  $p = 0.0001$  entre les raideurs et la fluorose. James et al. (1971) ont montré eux aussi que ces raideurs et boiteries observées chez les bovins, sont associées aux lésions ostéofluorotiques et à la minéralisation des structures périarticulaires et des insertions des tendons.

Notre étude a montré que ces lésions osseuses sont observées principalement au niveau de la métatarse avec un pourcentage de 45 % (figure 8), de la métacarpe avec un pourcentage de 9.8 %, du mandibule avec un pourcentage de 3.92 % et finalement au niveau des côtes avec un pourcentage de 3.92 %. James et al. (1971) ont trouvé des résultats similaires, indiquant que les premiers signes cliniques osseux évidents sont apparus au niveau du métatarse, puis au niveau du métacarpe, ensuite la mandibule et enfin les côtes.



**Figure 8 : Pourcentage des exostoses du squelette des bovins examinés (Octobre 2006)**

D'autres lésions primaires de la fluorose chronique peuvent être citées, à savoir : l'inappétence. Ainsi, 52.9 % des bovins examinés montrent des signes d'inappétence. Cela dénote que le taux d'ingestion du fluor dans notre cas est critique et que les fourrages sont fortement contaminés par les fluorures. En effet, il a été montré que des taux en fluorures inférieurs à 150 mg/kg n'ont aucun effet sur l'appétit du cheptel (Tremblay, 1997).

L'étude statistique nous a permis de faire une corrélation positive entre l'inappétence et la fluorose dentaire avec un  $p = 0.0001$  d'une part, et d'autre part entre l'inappétence et la fluorose osseuse avec un  $p = 0.0001$ . De plus, cette étude a montré que la fluorose osseuse et la fluorose dentaire sont fortement corrélées avec la diminution de la production laitière, avec un  $p = 0.0001$  dans les deux cas. Cette production est aussi liée positivement avec l'inappétence.

Il en ressort de ces résultats que la diminution de la production laitière peut être expliquée par la diminution de l'appétit due à la douleur au niveau dentaire et aux mauvaises conditions générales (amaigrissement, douleurs lors des déplacements, activité,...).

Cependant, nous n'avons pas trouvé de relation entre la fluorose et la diminution de la capacité de reproduction, avec un  $p = 0.35$  entre la reproduction et la fluorose osseuse et un  $p = 0.17$  entre la reproduction et la fluorose dentaire, Collins et al. (2001) ont montré que des taux élevés en fluorures de sodium dans l'eau de boisson (supérieurs à 250 ppm), n'ont aucun effet sur la reproduction des rats.

La durée de vie dans la commune, ou la durée d'exposition, a une influence sur le degré de fluorose. Ainsi, nous avons trouvé une corrélation entre la durée de vie dans la commune et la fluorose osseuse ( $p = 0.0001$ ) et entre cette durée et la fluorose dentaire ( $p = 0.0001$ ). Cette forte corrélation peut être expliquée par les faits suivants : longue consommation des fourrages et des eaux contaminés par les émissions gazeuses industrielles chargées en fluorures, inhalation de l'air pollué,... Araya et al. (1990) ont trouvé que des taux de 2 mg/l de fluor dans l'eau d'abreuvement et de 240 à 315 mg de fluor /kg de fourrage, peuvent causer des fluoroses chroniques chez le bétail.

#### **4-2-2- Fluorose et âge de l'animal**

Les bovins dont l'âge est inférieur à deux ans, ne montrent pas de lésions fluorotiques. En effet, ces animaux ne possèdent que les dents de lait, et même s'ils ont subi l'action du fluor, ils ne vont plus montrer ces lésions fluorotiques. Cependant, Zouagui (1973) a montré que l'effet toxique des fluorures sur la dentition permanente engendre une certaine sensibilité durant une période précédant l'éruption des dents où l'activité des améloblastes et des odontoblastes est maximale. La fluorose dentaire apparaît de manière franche après l'éruption des dents permanentes.

En ce qui concerne la fluorose osseuse, elle s'accroît généralement avec l'âge des bovins examinés. En effet, nous avons trouvé une corrélation entre la fluorose osseuse et l'âge de ces bovins, avec un  $p = 0,001$ . Nous pouvons en déduire que ces bovins consomment et inhalent une grande quantité de fluor provenant des émanations gazeuses et

surtout poussiéreuses des industries de phosphates. Kessabi et al. (1984) et Ulvi et al. (2001) ont montré, eux aussi, que la contamination par le fluor se fait à partir de l'air. Ainsi, l'augmentation de la teneur du fluor dans l'air conduit à la contamination du sol, de la plante et par conséquent la contamination du bétail (Cao, 1991 ; Chen., 1991 et Yan et al., 1991)

## 5- Conclusion :

La majorité des puits des villages de la zone étudiée dépassent les normes de la qualité de l'eau pour la concentration des fluorures et ainsi que pour d'autres paramètres de la qualité. Les fortes CE sont mesurées dans les secteurs côtiers de la zone d'étude où les valeurs peuvent atteindre 4.19 mS/cm dans la zone du Jorf Lasfar, 5.7 mS/cm dans la zone de Sidi Al Abed et 5.89 mS/cm à Moulay Abdallah. Cette conductivité est principalement déterminée par les ions chlorures et sodium.

En ce qui concerne les fluorures, les secteurs les plus touchés correspondent à ceux situés au Sud Ouest de l'industrie phosphatée. En effet, c'est au niveau de la zone de Sidi Al Abed où les concentrations en fluorures atteignent les valeurs les plus importantes, de l'ordre de 4.3 mg/l. La source potentielle de cette forte charge fluorurée ne peut être liée qu'aux émanations gazeuses et poussiéreuses des usines de phosphates du Jorf Lasfar. Plusieurs facteurs sont déterminants dans l'évolution spatiale des concentrations fluorurées dans les eaux souterraines, à savoir : la force et la direction des vents (ils soufflent de l'industrie vers Sidi Al Abed), la bonne perméabilité des sols (sablo-argileux) et de la zone non saturée (très fissurée), ...

Les résultats de l'enquête épidémiologique réalisée dans la zone étudiée, montrent que la population locale souffre indirectement des problèmes liés à la fluorose via les pertes économiques générées par cette pathologie qui connaît actuellement une augmentation très forte. Ces résultats ont montré que 67 % et 49 % des bovins examinés, sont atteints respectivement de fluorose dentaire (dont 27.4 % correspondent à une fluorose prononcée) et osseuse. Cette fluorose se manifeste principalement par l'apparition de raideurs, boiteries, inappétence et diminution de la production laitière.

Cette contamination par le fluor se fait à partir de l'air, ainsi l'augmentation du niveau du fluor dans l'air conduit à la contamination du sol, de la nappe, des plantes et par conséquent la contamination du bétail.

## Références :

- A.F.N.O.R 1989. "Eau, Méthodes d'essais", Edition 1989.
- Araya O., Wittwer F., Villa A., 1990. Bovine fluorosis following volcanic activity in southern Andes. *Vet Rec.*; 126 : pp. 641-642
- Armand T., 1996. Fluorose chronique chez le bovin laitier. *The bovine practitioner.*; 30 : pp. 67-69
- RAPPORT
- Benhaddine H, 2005. Recherche sur les causes possibles de dégradation de la santé des grands animaux et des humains de la région du Jorf Lasfar. Mémoire DESA, faculté des sciences El Jadida Calabrese, E.J. et Tuthill, R.W, 1985. The Massachusetts blood pressure study. Part 3.
- Experimental reduction of sodium in drinking water: effects on blood pressure. *Advances in modern environmental toxicology.* Vol.9. Inorganics in drinking water and cardiovascular disease. Ch. III. Princeton Scientific Publ. Co., Princeton, NJ. pp. 19 .
- Cao S. R., 1991. Study on environmental characteristics of coal smoke fluorosis areas. *Chinese Journal of Preventive Medicine.*; 25: pp.167-170.
- Chen M J., 1991. An investigation of endemic fluorine poisoning caused by food contaminated by smoke containing fluorine. *Chinese Journal of Preventive Medicine* ; 25: pp. 171-173.
- Chtaini A., 1987. Etude hydrogéologique du Sahel des Doukkala (Maroc). Thèse université sciences technique et médicale de Grenoble.
- Collins T.F.X., Sprando RL., Black TN., Shackelford ME., Olejnik N., Ames MJ., Rorie JL., Ruggles DI., 2001. Control versus NaF treated groups. Developmental toxicity of sodium fluoride measured during multiple generations. *Food Chem Toxicol* ; 39 : pp. 867-876
- D.R.H.T, 1994. Elaboration d'un schéma d'exploitation des eaux souterraines du sahel ( Maroc) . Rapp. Projet : DRPE-FAO.TCP/MOR/2251.
- Dwivedi SK ., Dey S., Swarup D., 1997. Hydrofluorosis in water buffalo (*Bubalus bubalis*) in India. *Sci Total Environ*; 207 : pp. 105-109.
- El Achheb A., 1993. Etude hydrogéologique et hydrochimique de la plaine des Doukkala. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, faculté des sciences Semlalia-Marrakech.
- El Achheb A., 2002. Contribution à l'étude de la minéralisation et identification des sources de contamination des eaux souterraines, application au système aquifère du bassin Sahel Doukkala (Maroc). Thèse d'Etat, faculté des sciences El

Jadida.

- El Hasnaoui B., Garmes H., Younsi A., Mountadar M., et Mouhab I., 2006. "Problèmes de contamination fluorurée en zone industrielle (Cas du Jorf Lasfar, Maroc). Approche pluridisciplinaire dans le Colloque Internationale, "Mines : Exploration, Exploitation et Impact environnementale (M3E)", Bouznika, 20-21 Avril, pp.53.
- Fakir Y., Zerouali A., Aboufirassi M., Bouabdelli M., 2001. Exploitation et salinité des aquifères de la Chaouia côtière, littoral atlantique, Maroc. *Journal of African Earth Sciences.*, 32 : pp. 791-801.
- El Hasnaoui B., Garmes H., Younsi A., Mountadar M., et Mouhab I., 2005. Impacts des rejets d'une zone industrielle «région de jorf-lasfar » hydrochimie et épidémiologie. Dans le Colloque Internationale, 3<sup>ème</sup> journées de Géosciences de l'environnement, El Jadida, 8-10 Juin, pp.45.
- Ferigoni L., Krimissa M., Zouari K., Maliki A., Zuppi G.M., 2001. Origine de la minéralisation et comportement hydrochimique d'une nappe phréatique soumise à des contraintes naturelles et anthropiques sévères : exemple de la nappe de Djebeniana (Tunisie). *Earth and Planetary Sciences.*; 332 : pp. 665-671.
- Ferre M., Ruhard J.P., 1975. Ressource en eau t2 (Plaines et bassins du Maroc atlantique), les bassins des Abda-Doukkala et du sahel d'azemmour à safi. Notes mém. Serv. Géol. Maroc, n° 231.
- Garmes H., 2002. Analyses des interférences naturelles et anthropiques sur le développement de la fluorose (Provinces Khouribga). Défluoruration des eaux par des procédés conventionnels et des procédés à membranes. Thèse Doctorat, d'état faculté des sciences El Jadida
- Haikel Y., Voegel J.C., Frank R.M., 1986. Fluoride content of water, dust, soils and cereals in the endemic dental fluorosis area of khouribge (Morocco). *Archs oral Biol.*; 31: pp. 279-286
- Heikens A., Sumarti S., Bergen M.V., Widianarko B., Fokkert L., Kees van Leeuwen K.V., Willem Seinen W., 2005. The impact of the hyperacid Ijen Crater Lake: risks of excess fluoride to human health. *Science of the Total Environment.*; 346 : pp. 56– 69
- James L., Shupe, D.V.M., Arland E. Olson, M.S., 1971. Clinical Aspects of Fluorosis in Horses. *Veterinary Medical Association*; 15 : pp. 167-174.
- Kessabi M, Assimi B., 1984. The effects of fluoride on animals and plants in the south Safizone. *Sci Total Environ* 38: pp.63-68.
- Loganathan P., Hedley M.J. Grace N. D, Lee, J, Cronin. S.J., Bolan N.S., Zanders.J.M., 2003. Fertiliser contaminants in New Zealand grazed pasture with special reference to cadmium and fluorine. *Aust, J Soil Research*, 41: pp. 501-532
- O.M.S, 1972. Fluor et santé. Série de monographie, Genève, 59p.
- Patra R.C., Dwivedi S.K., Bhardwaj B., Swarup D. 2000. Industrial fluorosis in cattle and buffalo around Udaipur, India. *Sci total Enviro*, 235 :pp. 145-150
- Singh J.L, Swarup D., 1994. Fluorosis in buffalo. *Vet Rec.*; 135 :pp. 260-261
- Souhel B., El Achheb A., 2000. Cadre géologique des principaux aquifère de la plaine des Doukkala. Actes de la 2<sup>ème</sup> session de l'université de printemps des Doukkala-Abda, Pub. Université Chouaib Doukkali-El Jadida, n°3, pp. 71-73
- Trabelsi R., Zaïri M., Smida H., Ben Dhia H., 2005. Salinisation des nappes côtières : cas de la nappe nord du Sahel de Sfax, Tunisie. *C. R. Geoscience.*; 337 : pp. 515–524
- Ulvi R., Tevhide S., 2001. The industrial fluorosis caused by a coal-burning power station and its effects on sheep. *Turk J Vet Anim Sci.*; 25 : pp. 735-741
- Yan L.S., 1991. Study of prevention technique of fluorosis caused by burning coal containing fluoride-reducing fluoride content of indoor air with the help of sesled range. *Chinese Journal of Epidemiology.*; 12 : pp. 40-43.
- Yonghua L, Wuyi W, Linsheng Y, Hairong L., 2003. Environmental epidemic characteristics of coal-burning endemic fluorosis and the safety threshold of coal fluoride in china *Fluoride.* ; 36 : pp. 106-112
- Zouagui H., 1973. Contribution à l'étude de la fluorose chez les grands et les petits ruminants au Maroc. Thèse Doct. Vét. Toulouse.; p. 53