

**ÉTUDE D'UNE POLLUTION NATURELLE DU SOL  
ET DE LA VÉGÉTATION PAR L'ARSENIC**

par M. Pinta (\*), J.P. Sagon (\*\*), et A.M. de Kersabiec (\*\*\*)

*(Note présentée par M. Pinta)*

## RÉSUMÉ

La zone broyée sud-armoricaine<sup>(1)</sup>, longue de plus de 300 km, est jalonnée de granites à deux micas cataclastiques, de mylonites et de filons de quartz. Dans ce contexte, il a été signalé l'existence de sols présentant des anomalies en arsenic (2). C'est le cas des sites de Kerambars, à l'ouest d'Elliant, et Queledern, au nord-ouest de Rosporden. En raison des nuisances susceptibles d'être apportées par cet élément, nous avons réalisé une étude chimique et minéralogique de sols et roches sous-jacentes, ainsi que de la végétation.

## 1. - CADRE GÉOLOGIQUE

A Kerambars, au S.W. d'Elliant, d'anciens travaux d'exploitation minière, s'étendant sur 200 m environ de l'E.S.E. à l'W.N.W., permettent d'observer un filon de quartz orienté N 110°E qui recoupe un granite cataclaté et des métapélites noires, microplissées, altérées, envahies par des filonnets de quartz d'épaisseur centimétrique. Le granite cataclaté est intrusif dans les métapélites noires. Il a provoqué, en effet, dans cette formation, un métamorphisme de contact qui se marque par le développement de cristaux d'andalousites. Les métapélites et le granite cataclaté, situés de part et d'autre du filon de quartz, ont subi une altération hydrothermale.

Le filon de quartz présente une structure en cocarde, avec quelques points ferrugineux rougeâtres provenant vraisemblablement

(\*) O.R.S.T.O.M., Laboratoire de Spectrographie, 93140 Bondy, France.

(\*\*) Université Cadi Ayyad, Laboratoire de Géologie Appliquée, Marrakech, Maroc.

(\*\*\*) Université Pierre et Marie Curie, Laboratoire de Géologie Appliquée, Paris.

= 2 NOV. 1983

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° : 35 8 3 ex 1

Cote : B

B3583 ex 1

blement de l'altération de sulfures parmi lesquels l'arséno-pyrite a été montré (2).

Des sols du voisinage présentent de fortes anomalies en arsenic. Ils sont peu épais : 0,30 à 0,50 m. En surface, leur teinte est presque noire en raison de la présence de fortes teneurs d'humus ; mais, entre 0,10 et 0,20 m de profondeur, cette couleur vire au brun ocre. On retrouve dans ces sols les mêmes minéraux que dans les métapélites sous-jacentes, avec toutefois un développement plus important des minéraux phylliteux confirmant que ces sols proviennent essentiellement d'une évolution sur place de la roche sous-jacente.

La végétation comprend des taillis, des buissons, des arbres (chênes, hêtres...), des petits bois, quelques herbages et des cultures de maïs et de blé.

A Queledern, les conditions d'affleurement sont moins bonnes qu'à Kerambars. La roche est constituée de mylonites développées aux dépens de granites et situées dans le prolongement du filon de quartz et des granites cataclasés de Kerambars.

Les sols étudiés, plus épais qu'à Kerambars (0,50 à 0,70 m environ) ont été prélevés sur l'emplacement des mylonites ; ils proviennent essentiellement d'une évolution sur place de la roche-mère.

La végétation se compose de vergers, de quelques champs de luzerne, de cultures de blé et de maïs, de prés où des avortements de vaches ont été signalés.

## 2.- ÉTUDE CHIMIQUE

L'échantillonnage des milieux analysés comprenait des roches, des sols supposés contaminés en arsenic, des sols prélevés à quelques centaines de mètres du filon à titre de témoin, des végétaux représentatifs des sites étudiés, enfin des échantillons d'eaux.

Les éléments majeurs sont déterminés de façon classique (3).

Les éléments traces (3) sont déterminés sur les roches, sols, plantes et eaux, par absorption atomique en flamme (Cu, Zn, Mn) ou par absorption atomique électrothermique (Pb, As, Cd...) avec correction de fond par utilisation de l'effet Zeeman (4,5).

### 3.- RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1. Le site de Kerambars

L'analyse chimique a été effectuée sur les deux types de roches observées (pélites R1 à R4 et granites R5 et R6), sur quelques sols à diverses distances du filon (S1 à S4), enfin sur des végétaux (P1 à P3) provenant de ces sols.

La détermination des éléments traces des roches, en particulier cuivre, zinc, plomb, arsenic et cadmium, est rapportée tableau 1. Les pélites (R1 à R4) sont, en général, plus riches en cuivre, plomb et arsenic que les granites mais sensiblement plus pauvres en zinc. Les teneurs en arsenic sont très élevées (100 fois supérieures aux valeurs normales). L'enrichissement en plomb est moins caractéristique ; les pélites noires avec filon de quartz approchent 200 ppm (la teneur moyenne étant de 10 à 20 ppm). En revanche, le cadmium apparaît à des teneurs classiques.

TABLEAU 1  
KERAMBAR-ELLIANT  
LES ÉLÉMENTS TRACES DE ROCHES ET SOLS  
ANALYSE TOTALE (ppm)

	ROCHES					SOLS		
	R1	R2	R4	R5	R6	S1	S3	S4
Cu ..	60	30	30	30	< 5	29	24	-
Zn ..	42	68	32	136	168	90	-	-
Pb ...	22	98	194	12	35	910	1 050	41
As ...	85	600	620	280	67	2 200	1 650	218
Cd ..	0,3	0,2	1	0,25	0,4	0,5	0,5	-

Les sols (S1 et S3, tableau 1), proche du filon, présentent des taux d'arsenic de 1 600 à 2 200 ppm et de plomb de 900 à 1 000 ppm tout à fait anormaux. Relativement aux roches sous-jacentes, le facteur d'enrichissement de l'arsenic dans les sols est de 3 à 4 ; il apparaît encore plus élevé pour le plomb ; les sols normaux contiennent entre 1 et 50 ppm d'arsenic et entre 2 et 200 ppm de plomb (6). Ces anomalies doivent néanmoins être considérées comme localisées puisque l'échantillon S4 (As=218 ppm et Pb=41 ppm) est prélevé à environ 200 m du filon de quartz. Le cadmium ne semble pas caractéristique dans le site de Kerambars.

TABLEAU 2  
KERAMBARS-ELLIANT  
LES ÉLÉMENTS TRACES D'INTÉRÊT AGRONOMIQUE (ppm)

	ÉLÉMENTS EXTRACTIBLES DU SOL		FOUR- RAGES	HÊTRE	NOISE- TIER	EAUX (mg/l)	
	S1	S4	P1	P2	P3	E1	E2
Mn ...	120	n.d.	390	400	555	< 0,005	< 0,005
Cu ....	1	n.d.	11	8	10	< 0,005	< 0,005
Zn ....	18	n.d.	44	25	27	n.d.	n.d.
Pb ....	140	3,7	3,8	2,1	2,2	< 0,005	< 0,005
As ....	130	2,8	3,7	1	1	0,16	0,01
Cd ....	0,2	n.d.	0,1	0,1	0,1	< 0,0005	< 0,0005

L'aspect agronomique de cette contamination a été abordé en déterminant la fraction extractible des éléments par la plante. Le réactif d'extraction retenu est l'acide chlorhydrique 0,1 N (3) préconisé pour Fe, Mn, Cu, Zn, Co, Ni..., utilisé également pour Pb, As et Cd pour simplifier le mode opératoire.

Les éléments traces ont également été dosés sur quelques échantillons de végétaux prélevés sur le sol S1, sur une eau de source après drainage du filon (E1) et une eau d'un ruisseau au sud du filon (E2).

L'ensemble des résultats est regroupé dans le tableau 2. Les teneurs en Fe, Mn, Cu et Zn peuvent être considérées comme normales, aussi bien pour le sol que pour les végétaux ; par contre, les concentrations de plomb et d'arsenic « extractibles » sont très élevées en S1 (140 et 130 ppm) et représentent 15,4 et 5,9 % des éléments totaux. Ces teneurs baissent rapidement avec la distance du filon : 3,7 ppm Pb et 2,8 ppm As en S4, à 200 m du filon, soit par rapport aux concentrations des éléments totaux : Pb 9 % et As 1,3 %. L'arsenic apparaît comme nettement moins mobile que le plomb dans le sol.

Pour ce qui est du rapport plante-sol (éléments totaux), l'assimilabilité se traduit pour Fe, Mn, Cu, Zn, par un rapport de concentrations plante/sol relativement élevé, soit sur les fourrages analysés, 0,4 pour le cuivre et 0,5 pour le zinc, alors que ces rapports sont, pour le plomb et l'arsenic (éléments indésirables pour la plante), nettement inférieurs soit 0,004 pour le plomb et 0,002 pour l'arsenic. Si l'on considère le rapport plante-sol à partir de la fraction soluble à l'acide

chlorhydrique 0,1 N (éléments extractibles), ces rapports sont les suivants: Cu 11 - Zn 2,5 - Pb 0,03 et As 0,03. Néanmoins, les teneurs trouvées dans le milieu végétal: 3,8 ppm de plomb et 3,7 ppm d'arsenic dans les fourrages, 2 ppm de plomb et 1 ppm d'arsenic dans les arbres, sont certainement des valeurs trop fortes et préoccupantes.

### 3.2. Le site de Queledern

Les prélèvements ont porté sur des roches: mylonites de granite (R9 et R10), sur des sols issus de ces roches (S6 et S7 à proximité du filon et S8 à environ 500 m), enfin sur des plantes: des feuilles de maïs (P6) prélevées sur S6, des fourrages (P7) prélevés sur S7, des fourrages (P8) et de maïs (P9) prélevés sur S8, à 500 m du filon.

TABLEAU 3  
QUELEDERN-ROSPORDEN  
ÉLÉMENTS TRACES DANS LES ROCHES ET SOLS  
ANALYSE TOTALE (ppm)

	MYLONITES DE GRANITE		SOLS		
	R9	R10	S6	S7	S8
Cu .....	< 5	10	23	-	-
Zn .....	68	66	72	-	-
Pb .....	8,5	46	95	51	37
As .....	56	432	240	240	150
Cd .....	0,2	0,15	0,25	-	-

TABLEAU 4  
QUELEDERN-ROSPORDEN  
LES ÉLÉMENTS TRACES D'INTÉRÊT AGRONOMIQUE (ppm)

	ÉLÉMENTS EXTRACTIBLES DU SOL			MAÏS	FOURRAGES		MAÏS
	S6	S7	S8	P6	P7	P8	P9
Cu .....	6	n.d.	n.d.	11,5	n.d.	n.d.	n.d.
Zn .....	6,2	n.d.	n.d.	19	n.d.	n.d.	n.d.
Pb .....	3	5,5	4,7	2,3	0,9	0,7	1,45
As .....	7	2,8	3,3	10	0,95	1,15	0,85
Cd .....	0,1	n.d.	n.d.	0,1	n.d.	n.d.	n.d.

Les résultats figurent dans les tableaux 3 et 4. L'analyse totale du sol S6 confirme que ce sol est issu des mylonites de granite sous-jacentes. La présence des éléments traces (tableau 3) est comme au site de Kerambars, caractéristique mais les teneurs en plomb et en arsenic y sont plus faibles.

Les éléments extractibles (tableau 4), en particulier Pb et As, sont trouvés à des teneurs non négligeables bien que très nettement inférieures aux valeurs de Kerambars.

Les plantes récoltées sur le site contiennent des traces de plomb et d'arsenic : 2,5 ppm de Pb et 10 ppm de As dans les feuilles de maïs, à proximité du filon, valeur tombant à 1,45 et 0,85 sur un maïs à 500 m du filon. L'absorption d'arsenic par les fourrages apparaît plus faible : 0,95 ppm pour P7 sur sol S7 et 1,15 ppm pour P8 sur sol S8.

La fraction extractible représente, par rapport à l'élément total, 3,1 % pour le plomb et 2,9 % pour l'arsenic.

Si nous considérons les rapports plante-sol, les rapports relatifs aux éléments totaux sont les suivants, pour le maïs (P6-S6) : Cu 0,5 - Zn 0,26 - Pb 0,02 et As 0,04, et pour les autres graminées (P7-S7) : Pb 0,017 et As 0,004 ; enfin, les rapports relatifs aux éléments extractibles (à HCl 0,1 N) sont, pour le maïs : Pb 0,77 et As 1,4, et pour les autres graminées : Pb 0,16 et As 0,3. Ces résultats recourent ceux de Kerambars et montrent, en outre, que le maïs semble assimiler des quantités plus importantes de plomb et surtout d'arsenic que les fourrages. Les grains de maïs révèlent la présence de 0,7 ppm d'arsenic et 0,35 ppm de plomb.

#### 4.- CONCLUSION

Ces résultats montrent que la proximité d'un filon riche en arsenic, en particulier en arsénopyrite, a pour effet de contaminer les sols environnants et la végétation ; néanmoins, dans l'état actuel, ils ne permettent pas de mettre en évidence l'étendue de la contamination ni même l'importance sur la végétation et ses conséquences sur l'alimentation animale.

Or, des nuisances ont été signalées, en particulier à Queledern, se traduisant par des avortements très fréquents chez les bovins ; ces nuisances peuvent-elles s'expliquer par les teneurs anormalement fortes en arsenic des produits (maïs, foin) servant à l'alimentation du bétail ?

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) COGNÉ (J.), 1960. – Schistes cristallins et granites en Bretagne Méridionale. Mém. Carte Géol. France.
- (2) NICOLET (B.) et BANDRY (M.). – Cie Comminco France. Communication personnelle.
- (3) PINTA (M.), 1980. – Spectrométrie d'absorption atomique, tome 2, chap. 5, Masson Ed. Paris.
- (4) PINTA (M.), de KERSABIEC (A.M.) et RICHARD (M.L.), 1982. – Possibilités d'exploitation de l'effet Zeeman pour la correction d'absorption non spécifique en absorption atomique. *Analysis*, **10**, 207.
- (5) de KERSABIEC (A.M.), 1982. – Contribution à l'étude des éléments volatils par absorption atomique. Thèse d'Université Paris VI.
- (6) AUBERT (H.) et PINTA (M.), 1971. – Les éléments traces dans les sols. Éd. O.R.S.T.O.M.

**M. Aubert.** – Je tiens seulement à souligner le grand intérêt de cette note quoiqu'elle se rapporte à un phénomène très localisé. Elle fait bien ressortir d'une part l'accumulation des oligo-éléments, plomb et arsenic, dans le sol par rapport à leur teneur dans la roche, et de façon assez différentielle dans les fourrages et dans le maïs. Or, il s'agit là d'éléments très toxiques pour les animaux et pour l'homme. Leur dynamique nous importe donc très fortement.

**M. Keilling.** – A propos de la présence de As dans les sols nous fûmes amenés à rechercher sur quelle fraction, organique ou minérale, se retrouvait le métalloïde en question. Vous constaterez sans doute, comme nous l'avons fait, sa localisation dans la fraction humique, ce qui conduit à penser au recyclage biologique par l'intermédiaire de la végétation.

**M. Pinta.** – Dans un premier temps nous nous sommes attachés à étudier un phénomène naturel constitué par une contamination du sol et de la végétation par la présence dans le voisinage d'un filon riche en arsenic.

Ainsi, nous montrons la mobilité d'éléments tels que l'arsenic et le plomb et leur influence sur la végétation, mais, en un deuxième temps, nous visons l'étude et les conséquences d'une contamination artificielle par l'arsenic; ce travail est en cours dans le but de comprendre les mécanismes de fixation de l'arsenic dans le sol, puis son assimilation éventuelle par la plante et ses conséquences sur la végétation.