

## Chapitre III : Résultats et discussions

### III-1- Caractéristiques physiques

#### III-1-1- Etude granulométrique

La granulométrie est exprimée par une courbe granulométrique qui donne la répartition de la dimension moyenne des grains, exprimée sous forme de pourcentage du poids total du matériau.

Elle est tracée en diagramme semi-logarithmique avec :

- en abscisse, le logarithme de la dimension des ouvertures des tamis en valeurs croissantes.
- en ordonnée, le pourcentage, en poids du matériau total, de la fraction du sol dont les grains ont un diamètre moyen inférieur à celui de l'abscisse correspondant.

Le bilan massique des différentes fractions obtenues pour les deux sols B et M donné respectivement dans les tableaux 11 - 12 permet de définir leur courbe granulométrique (fig. 6 et 7).

**Tableau 11** : Le bilan massique des différentes fractions obtenues pour le sol B :

Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus partiels $m_i$ (Kg)	Masse des refus cumulés $M_c$ (Kg)	Pourcentage des refus cumulés $Pr = (M_c/M)*100$ (%)	Pourcentage des tamis cumulés $Pt = 100 - Pr$ (%)
6.3	0.1736	0.1736	7.75	92.25
5	0.0956	0.2692	12.01	87.99
4	0.1646	0.4338	19.36	80.64
3.15	0.1010	0.5348	23.87	76.13
2.5	0.1668	0.7016	31.32	68.68
2	0.1400	0.8416	37.57	62.43
1.6	0.1936	1.0352	46.21	53.79
1.25	0.1014	1.1368	50.75	49.25

<b>1</b>	0.2272	1.3638	60.88	39.12
<b>0.8</b>	0.0008	1.3646	60.92	39.08
<b>0.63</b>	0.1060	1.4706	65.65	34.35
<b>0.5</b>	0.0764	1.5470	69.06	30.94
<b>0.315</b>	0.2494	1.7964	80.20	19.80
<b>0.250</b>	0.0006	1.7970	80.23	19.77
<b>0.2</b>	0.0692	1.8662	83.31	16.19
<b>0.16</b>	0.0608	1.9270	86.03	13.97
<b>0.125</b>	0.1490	2.0760	92.68	7.32
<b>0.1</b>	0.0210	2.0970	93.62	6.38
<b>0.080</b>	0.0500	2.1470	95.85	4.15
<b>0.063</b>	0.0350	2.1820	97.41	2.59
<b>Fond</b>	0.0574	2.2394	99.98	0.02

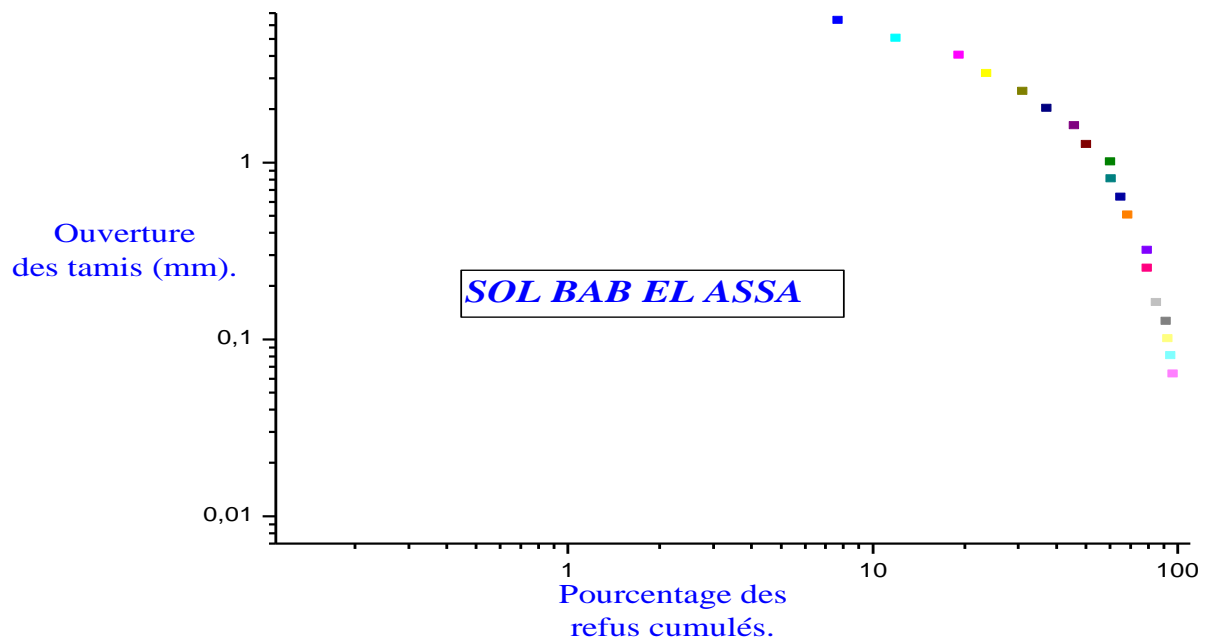
*Tableau 12 : Le bilan massique des différentes fractions obtenues pour le sol M.*

<b>Ouverture des tamis (mm)</b>	<b>Masse des refus partiels <math>m_i</math> (Kg)</b>	<b>Masse des refus cumulés <math>M_c</math> (Kg)</b>	<b>Pourcentage des refus cumulés <math>Pr = (M_c/M)*100</math> (%)</b>	<b>Pourcentage des tamis cumulés <math>Pt = 100 - Pr</math> (%)</b>
<b>6.3</b>	0.1098	0.1098	4.08	95.92
<b>5</b>	0.0818	0.1916	7.12	92.88
<b>4</b>	0.1438	0.3354	12.46	87.54
<b>3.15</b>	0.0614	0.3968	14.75	85.25
<b>2.5</b>	0.0930	0.4898	18.20	81.80
<b>2</b>	0.1114	0.6012	22.34	77.66
<b>1.6</b>	0.1160	0.7672	28.52	71.47
<b>1.25</b>	0.0970	0.8642	32.12	67.87

<b>1</b>	0.1976	1.0618	39.47	60.52
<b>0.8</b>	0.0010	1.0628	39.50	60.49
<b>0.63</b>	0.1148	1.1776	43.77	56.22
<b>0.5</b>	0.1032	1.2808	47.61	52.38
<b>0.315</b>	0.4496	1.7304	64.32	35.67
<b>0.250</b>	0.0014	1.7318	64.37	35.62
<b>0.2</b>	0.1712	1.9030	70.74	29.25
<b>0.16</b>	0.0852	1.9882	73.91	26.08
<b>0.125</b>	0.3814	2.3696	88.08	11.91
<b>0.1</b>	0.0556	2.4252	90.15	9.84
<b>0.080</b>	0.1016	2.5268	93.93	6.06
<b>0.063</b>	0.0762	2.6030	96.76	3.23
<b>Fond</b>	0.0718	2.6748	99.43	0.56

*Tableau 13 : Répartition granulométrique des particules en % pour le sol B.*

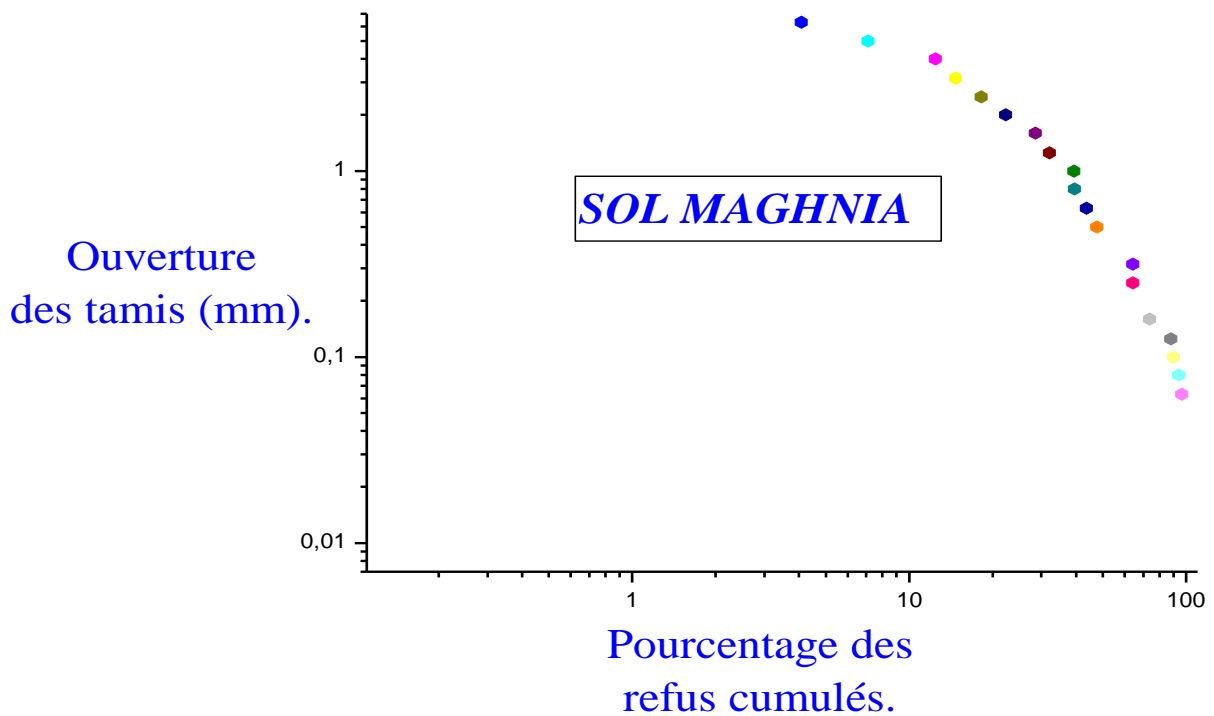
<b>Texture</b>		<b>Diamètre des particules</b>	<b>Masse total (Kg)</b>	<b>Sol BAB EL ASSA (%)</b>
<b>Cailloux</b>		<b>200 mm - 20mm</b>	-	-
<b>Graviers</b>		<b>20 mm - 2 mm</b>	<b>0.8416</b>	<b>37.57</b>
<b>Sables</b>	<b>grossiers</b>	<b>2 mm - 500 µm</b>	<b>0.7054</b>	<b>31.49</b>
	<b>moyens</b>	<b>500 µm - 200 µm</b>	<b>0.3192</b>	<b>14.25</b>
	<b>fins</b>	<b>200 µm - 50 µm</b>	<b>0.3158</b>	<b>14.09</b>
<b>Limons</b>		<b>50 µm - 2 µm</b>	<b>0.0574</b>	<b>2.56</b>
<b>Argile</b>		<b>&lt; 2 µm</b>	-	-



*Figure 6 : Courbe granulométrique pour le sol Bab El Assa (B).*

*Tableau 14 : Répartition granulométrique des particules en % pour le sol M.*

Texture		Diamètre des particules	Masse total (Kg)	Sol MAGHНИЯ (%)
Cailloux		200 mm - 20mm	-	-
Graviers		20 mm - 2 mm	0.6012	22.34
Sables	grossiers	2 mm - 500 µm	0.6796	25.26
	moyens	500 µm - 200 µm	0.6222	23.13
	fins	200 µm - 50 µm	0.7000	26.02
Limons		50 µm - 2 µm	0.0718	2.66
Argile		< 2 µm	-	-



**Figure 7 :** courbe granulométrique pour le sol M.

La répartition granulométrique en fonction des classes texturales présentée dans les tableaux 13 et 14, souligne le caractère plus sableux du sol M par rapport au sol B. En reportant les pourcentages de sables, limons dans le triangle de texture (fig. 11) proposé par le Ministère de l’Agriculture des Etats-Unis (USA), les sols ont une texture d’un sable [119].

La fraction grossière (> 2 mm) des échantillons est en moyenne faible pour le sol M (22 %) que le sol B, elle est plus élevée (environ 37 %). Cette fraction grossière compte tenu de sa faible surface externe d’adsorption fixe peu les polluants.

### III-1-2- Acidité des sols (pH)

La sorption des ETM sur les oxydes et hydroxydes métalliques, les minéraux argileux et les acides humiques dépend fortement du pH.

En outre, un changement de pH change également les interactions entre les composants du sol et affecte ensuite la distribution de métal au niveau des phases de sol.

WU et al., a remarqué qu'un pH élevé favorise la dissolution des acides humiques et augmente la concentration dissoute de métal en raison de formation de complexes métal-organique en solution [120].

Les résultats des différents pH mesurés sont donnés dans le tableau 15 :

*Tableau 15 : Acidité des sols (pH).*

	$pH_{H_2O}$	$pH_{CaCl_2 (0.01M)}$	$pH_{KCl (1M)}$	$\Delta (pH_{eau} - pH_{KCl})$
<b>Sol BAB EL ASSA (B)</b>	7.76	7.45	7.45	0.31
<b>Sol MAGHNIA (M)</b>	7.98	7.49	7.75	0.23
<b>Température (°C)</b>	19	21	21	-

Ces résultats indiquent que les sols sont légèrement basiques.

Le  $\Delta (pH_{eau} - pH_{KCl})$  révèle l'acidité potentielle ou l'acidité d'échange des sols [121]. Il résulte du déplacement du sol vers la solution des ions  $H^+$  adsorbés sur les sites d'échange du complexe absorbant (colloïdes, complexe argilo-humique, ...) : il est positif pour les deux sites et la valeur d'écart de sol B est plus élevé que celui de sol M. Cela signifie qu'à  $pH_{eau}$  pour les sites B et M on se situe au dessus du point de charge nulle et que la charge nette des surfaces particulières des sols est négative.

À  $pH_{eau}$ , l'adsorption de cations métalliques sur les surfaces particulières des sols B et M sera donc facilitée par des attractions électrostatiques de type Coulomb.

### III-1-3- Humidité résiduelle (H)

Le Tableau 16 reporte l'humidité résiduelle pour les deux sites de prélèvement.

*Tableau 16 : Humidité résiduelle des sols (H).*

Sols	Masse de sol ( $m_0$ ) avant séchage (Kg)	Masse de sol ( $m_1$ ) après séchage (Kg)	Humidité résiduelle H (%)
<b>BAB EL ASSA (B)</b>	0.0076	0.3414	2.222
<b>MAGHNIA (M)</b>	0.0030	0.3006	0.998

Après séchage à température de 40 °C puis à 105 °C pendant 24 heures, les deux sols présentent une humidité résiduelle faible environ 1 à 2.5 %. Cela coïncide avec la faible teneur en argile. En effet, l'humidité résiduelle est directement proportionnelle au taux d'argile et au taux de matière organique [122].

### III-1-4- La surface spécifique totale (SST)

La valeur du bleu du sol (VBS) est une grandeur qui exprime globalement et linéairement la quantité et l'activité de l'argile contenue dans l'échantillon de sol.

Le tableau 17, donne la nature du sol en fonction de la valeur du bleu du sol (VBS).

*Tableau 17 : la nature du sol en fonction de VBS.*

valeurs du bleu du sol (VBS)	Nature du sol.
< 0.2	Sols sableux.
0.2 – 2.5	Sols limoneux.
2.5 – 6	Sols limoneux-argileux.
6 – 8	Sols argileux.
> 8	Sols très argileux.

Les valeurs de bleu du sol (VBS) et la surface spécifique totale (SST) obtenues pour les deux sols cités sont données dans le tableau 18.

*Tableau 18 : Les valeurs du bleu du sol (VBS) et la surface spécifique totale (SST) dans les sols B et M.*

Sols	VBS	SST (m <sup>2</sup> /g)
Sol BAB EL ASSA (B)	1.25	26.158
Sol MAGHNIA (M)	0.75	15.697

La surface spécifique dépend également de la forme des particules. Les particules plates et allongées ont une surface spécifique massique plus importante que les particules sphériques ou cubiques [123].

D'après les résultats obtenus, les deux sols ont un aspect également limoneux avec le VBS du sol B (1.25) plus grand que celui de sol M (0.75). D'autre part, la surface spécifique totale de sol B (26 m<sup>2</sup>/g) est plus grande que celui du sol M (15 m<sup>2</sup>/g), donc on peut déduire que le sol B contient plus d'argile que le sol M.

### III-1-5- Détermination de la densité des grains solides (argilosité) (d<sub>G</sub>)

Les résultats de la densité des grains solides obtenus sont mentionnés dans le tableau 19.

*Tableau 19 : les valeurs de la densité des grains solides.*

Sols	d <sub>G</sub>
Sol BAB EL ASSA (B)	2.15
Sol MAGHNIA (M)	2.23

La densité d'un sol varie peu et la densité moyenne rencontrée est de 2,6 g/cm<sup>3</sup>.

Les densités des grains ont été déterminées avec un pycnomètre. Elles sont inférieures d'une part à la densité moyenne retrouvée (2.6 g/cm<sup>3</sup>), et d'autre part aux normes, car la plupart des minéraux constitutifs des sols ont une densité comprise entre 2,4 et 2,9 [119].

Ces surfaces spécifiques faibles peuvent se justifier par la faible présence d'argiles, ces dernières étant à l'origine de très grande surface spécifique, variant de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètre carré par gramme [123].

### III-1-6- Masse volumique des granulats

Les résultats des masses volumiques apparentes et absolues sont donnés dans le tableau 20.

*Tableau 20 : les masses volumiques absolues et apparentes.*

Sols	La masse volumique absolue (g/ml)	La masse volumique apparente (Kg/l)
Sol BAB EL ASSA (B)	2.50	1.21
Sol MAGHNIA (M)	2.50	1.55



L'ordre de grandeur des masses volumiques pour les différents types de sol est le suivant : valeur comprise entre 1,4 et 1,7 g.cm<sup>-3</sup>, pour les sols sableux, entre 1 et 1,5 g.cm<sup>-3</sup>, pour les sols argileux entre 0,3 et 1 g.cm<sup>-3</sup>, pour les sols tourbeux.

D'après les résultats obtenus, les sols étudiés B et M sont bien de nature sable argileux.

### III-1-7- Teneur en carbonate

La détermination des pourcentages de carbonate de calcium contenue dans les deux échantillons de sols B et M est donnée dans le tableau 21.

**Tableau 21 : la teneur en carbonate de calcium (Ca CO<sub>3</sub>).**

Sols	T C (%)
Sol BAB EL ASSA (B)	44.03
Sol MAGHNIA (M)	53.90

Les résultats obtenus montrent que le taux de carbonate présent dans le sol M (53 %) est plus fort que dans le sol B (44 %).

Les teneurs en carbonate de calcium pour les deux sites sont légèrement élevées, ceci est dû essentiellement à la présence de carbonates et de dioxyde de carbone dans les sols dont leurs équilibres de dissolution contrôlent partiellement le pH. De plus, une teneur élevée en carbonate rend le sol alcalin, favorisant ainsi l'ensemble des modes de fixation des métaux.

### III-1-8- La conductivité et la salinité

Les valeurs présentées dans le Tableau 22 révèlent un taux peu important des sels solubles dans le sol M que dans celui du sol B. Cette différence est probablement due à la différence de rapport solide/liquide, à la quantité, à la concentration et à la nature des substances dissoutes (les sels minéraux).

**Tableau 22 : La Conductivité et la salinité des sols M et B.**

Sols	La conductivité (µs)	La salinité (ppm)
Sol BAB EL ASSA (B)	0.34	0.18
Sol MAGHNIA (M)	0.44	0.23

Donc, selon la caractérisation des sols réalisée, il ressort que compte tenu de leurs particularités, ils auront tendance à :

- retenir les polluants (teneurs faibles en argiles, et en matières organiques et pH neutres ou légèrement basique...).

### III-2- Caractérisation de la pollution métallique des sols (B et M)

#### III-2-1- Spéciation fonctionnelle

Tous les dosages des éléments traces métalliques (ETM) sont effectués par un appareil de spectrométrie d'absorption atomique (SAA) à flamme « AURORA, Instrument Analyst 1200, Atomic Adsorption spectrometer, Lamp : cathode creuse ». Avec une résolution de 0.001 ppm pour chaque élément à doser.

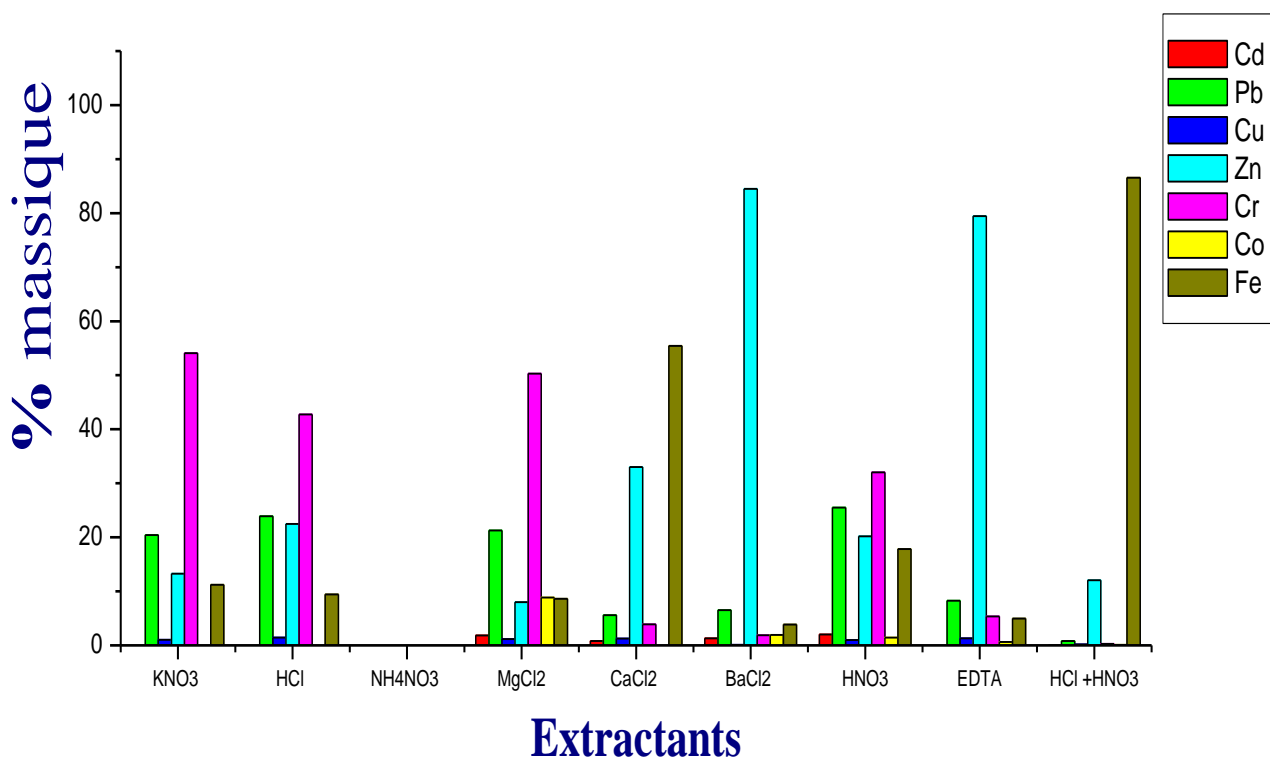
Etant donné les nombreux critiques mentionnées dans la littérature à l'égard des extractions des éléments traces métalliques (ETM), l'évaluation des teneurs totales et la biodisponibilité en ETM a été obtenue après minéralisation par les différents réactifs.

Les résultats sont représentés dans les tableaux N° 23 et 24 et représentés sous forme d'histogramme dans les figures N° 8 et 9.

**Tableau 23 : Bilans massiques pour les différentes extractants réalisées, en % du total extraits séquentiellement pour le sol B.**

Extractant		Cd	Pb	Cu	Zn	Cr	Co	Fe	Masse totale mg/Kg.
<b>KNO<sub>3</sub></b> <b>0.1M</b>	<b>mg/Kg</b>	-	5.000	0.250	3.250	13.250	-	2.750	24.500
	<b>%</b>	-	20.40	1.02	13.26	54.08	-	11.22	-
<b>HCl</b> <b>(0.1M)</b>	<b>mg/Kg</b>	-	8.250	0.500	7.750	14.750	-	3.250	34.500
	<b>%</b>	-	23.91	1.44	22.46	42.75	-	9.42	-
<b>NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub></b> <b>(1M)</b>	<b>mg/Kg</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<b>%</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>MgCl<sub>2</sub></b> <b>(1M)</b>	<b>mg/Kg</b>	2.200	25.250	1.375	9.500	59.750	10.500	10.250	118.825
	<b>%</b>	1.85	21.24	1.15	7.99	50.28	8.83	8.62	-
<b>CaCl<sub>2</sub></b> <b>(0.01M)</b>	<b>mg/Kg</b>	0.350	2.375	0.525	14.000	1.650	-	23.500	42.400
	<b>%</b>	0.82	5.60	1.23	33.01	3.89	-	55.42	-

<b>BaCl<sub>2</sub></b> <b>(1M)</b>	<b>mg/Kg</b>	12.00	60.250	0.775	782.75	17.250	17.75	35.500	926.275
	<b>%</b>	1.29	6.50	0.08	84.50	1.86	1.91	3.83	-
<b>HNO<sub>3</sub></b> <b>(0.1M)</b>	<b>mg/Kg</b>	0.850	10.750	0.425	8.500	13.500	0.600	7.500	42.125
	<b>%</b>	2.01	25.51	1.00	20.17	32.04	1.42	17.80	-
<b>EDTA</b> <b>(0.1 M)</b>	<b>mg/Kg</b>	-	15.000	2.375	144.250	9.750	1.150	9.000	181.525
	<b>%</b>	-	8.26	1.30	79.46	5.37	0.63	4.95	-
<b>HCl +</b> <b>HNO<sub>3</sub></b>	<b>mg/Kg</b>	2.100	83.000	19.250	1207.500	25.500	9.500	8675.000	10021.85
	<b>%</b>	0.02	0.82	0.19	12.04	0.25	0.09	86.56	-



*Figure 8 : pourcentages massiques des ETM pour différentes extractants de sol B.*

*Tableau 24 : Bilans massiques pour les différentes extractants réalisées, en % du total extraits séquentiellement pour le sol M.*

<b>Extractant</b>		<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Cr</b>	<b>Co</b>	<b>Fe</b>	<b>Masse totale mg/Kg.</b>
<b>KNO<sub>3</sub></b>	<b>mg/Kg</b>	0.850	11.250	1.000	8.750	2.240	6.000	3.250	33.340
	<b>%</b>	2.54	33.74	2.99	26.24	6.71	17.99	9.74	-

<b>HCl</b> <b>(0.1M)</b>	<b>mg/Kg</b>	-	10.500	0.600	0.250	4.250	0.625	15.750	31.975
	<b>%</b>	-	32.83	1.87	0.78	13.29	1.95	49.25	-
<b>NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub></b> <b>(1M)</b>	<b>mg/Kg</b>	0.700	6.000	0.600	9.250	7.750	0.950	4.000	29.250
	<b>%</b>	2.39	20.51	2.05	31.62	26.49	3.24	13.67	-
<b>MgCl<sub>2</sub></b> <b>(1M)</b>	<b>mg/Kg</b>	2.225	24.000	1.450	33.000	52.000	10.250	13.750	136.675
	<b>%</b>	1.62	17.55	1.06	24.14	38.04	7.49	10.06	-
<b>CaCl<sub>2</sub></b> <b>(0.01M)</b>	<b>mg/Kg</b>	-	2.350	0.250	0.250	0.250	0.875	9.250	13.225
	<b>%</b>	-	17.76	1.89	1.89	1.89	6.61	69.94	-
<b>BaCl<sub>2</sub></b> <b>(1M)</b>	<b>mg/Kg</b>	4.250	53.750	0.675	5.250	21.500	16.250	34.500	136.175
	<b>%</b>	3.12	39.47	0.49	3.85	15.78	11.93	25.33	-
<b>HNO<sub>3</sub></b> <b>(0.1M)</b>	<b>mg/Kg</b>	0.325	18.500	0.450	24.250	11.000	0.875	13.500	68.900
	<b>%</b>	0.47	26.85	0.65	35.19	15.96	1.26	19.59	-
<b>EDTA</b> <b>(0.1 M)</b>	<b>mg/Kg</b>	0.250	55.500	4.000	47.000	1.875	1.225	6.750	116.6
	<b>%</b>	0.21	47.59	3.43	40.30	1.60	1.05	5.78	-
<b>HCl +</b> <b>HNO<sub>3</sub></b>	<b>mg/Kg</b>	2.225	143.750	10.250	1887.500	27.500	8.000	7125.000	9204.225
	<b>%</b>	0.02	1.56	0.11	20.50	0.29	0.08	77.41	-

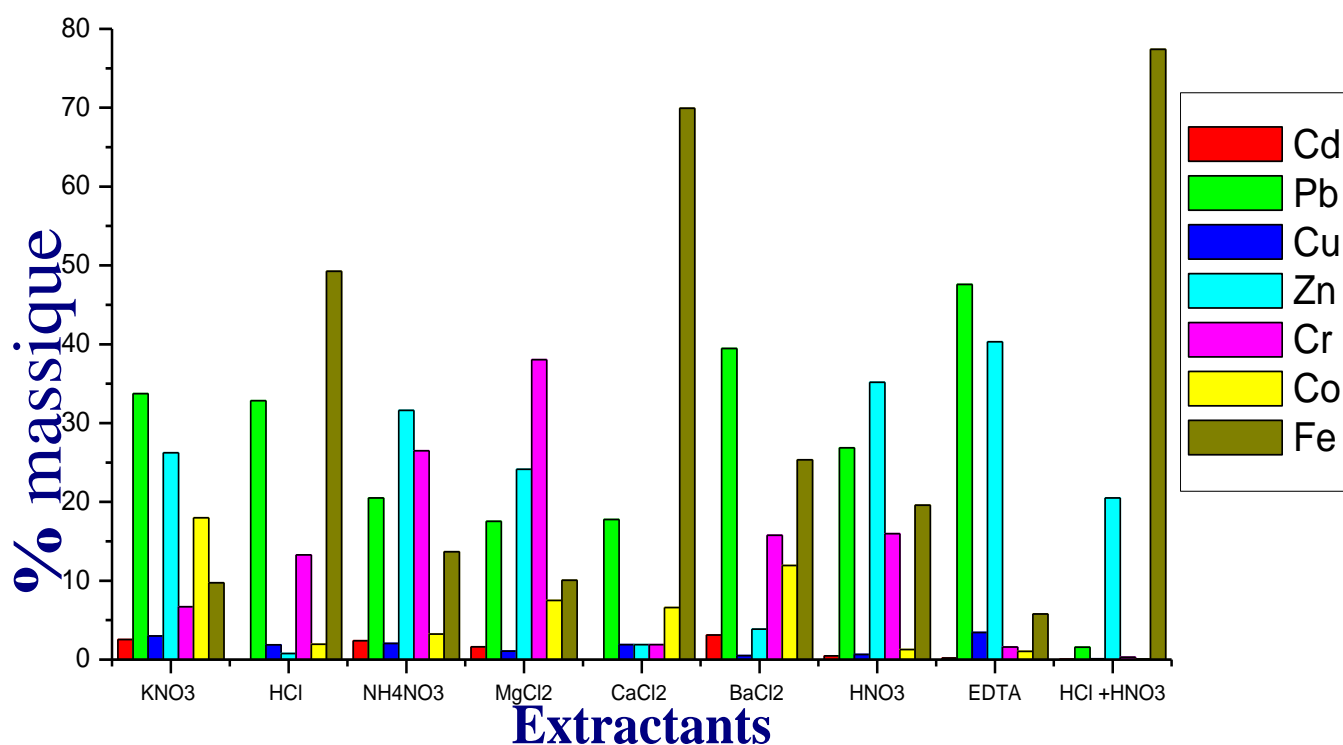


Figure 9 : pourcentages massiques des ETM pour différentes extractants de sol M.

D'après ces résultats, on remarque :

- Cd est mieux extrait par  $\text{HNO}_3$ .
- Pb est mieux extrait par  $\text{HNO}_3$  puis  $\text{HCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ , ensuite  $\text{KNO}_3$ .
- Cu est mieux extrait par EDTA et  $\text{MgCl}_2$ .
- Zn est mieux extrait par  $\text{BaCl}_2$  puis EDTA,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{HCl}$ , ensuite  $\text{HNO}_3$ .
- Cr est mieux extrait par  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{HCl}$ , ensuite  $\text{HNO}_3$ .
- Co est mieux extrait par  $\text{BaCl}_2$  et  $\text{MgCl}_2$ .
- Fe est mieux extrait par  $\text{CaCl}_2$ , puis  $\text{HNO}_3$ , ensuite  $\text{KNO}_3$ .

Ainsi,  $\text{HNO}_3$  extrait principalement Cd et Pb,  $\text{BaCl}_2$  extrait préférentiellement Zn et Co.

### **III-2-2- Spéciation opérationnelle (extraction séquentielle)**

La connaissance des teneurs totales en métaux est nécessaire mais elle n'est cependant pas suffisante pour évaluer leur mobilité potentielle et les risques environnementaux qui en découlent. La prévision de ces risques est étroitement liée aux formes physico-chimiques sous lesquelles les métaux sont présents, c'est-à-dire à leur spéciation. L'étude de la spéciation des polluants métalliques apporte des informations sur leurs interactions avec la phase solide, et sur leurs forces de liaison avec cette dernière, donc sur leur mobilité. Le danger potentiel pour l'environnement étant directement lié à la mobilité des éléments polluants, il est conditionné par la nature des phases solides auxquelles ils sont associés.

La spéciation opérationnelle ou extraction séquentielle consiste à quantifier des éléments métalliques (plomb, cuivre, cadmium, zinc, cobalt, fer, cadmium, chrome) dans des phases spécifiques du sol ou du sédiment plutôt qu'à déterminer leurs teneurs totales présentes dans les échantillons. Elle a été appréhendée selon deux méthodes, en premier lieu selon le protocole proposé par Tessier et al. [1979], et en second lieu selon le schéma de Tessier et al., modifier (extraction séquentiel + complexe).

Les résultats obtenus sur les échantillons des sols B et M sont reportés dans les tableaux (tableau 25 - 28) et représentées sous forme d'histogrammes dans les figures (fig. 10 - 23).

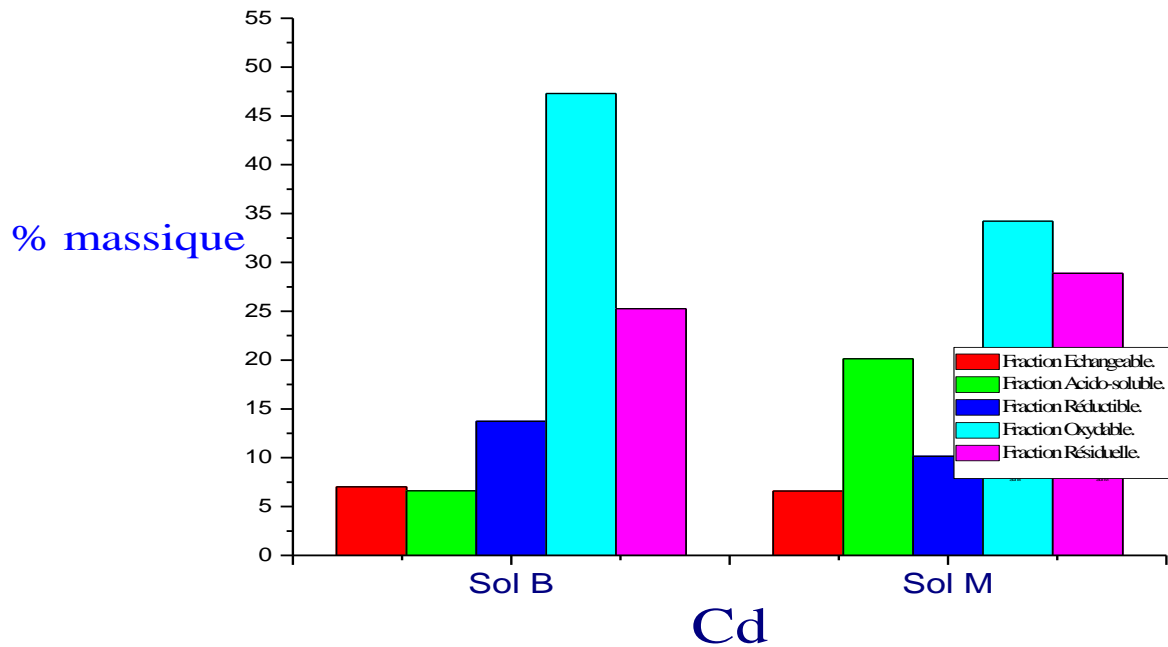
**Tableau 25 : les résultats des valeurs des ETM à partir de l'extraction selon  
Tessier et al. 1979 du sol B.**

<b>Fraction</b>		<b>F<sub>1</sub></b>	<b>F<sub>2</sub></b>	<b>F<sub>3</sub></b>	<b>F<sub>4</sub></b>	<b>F<sub>5</sub></b>	<b>Masse totale</b>
<b>ETM</b>		Échangeable	Acido-soluble	Réductible	Oxydable	Résiduelle	<b>mg/Kg.</b>
<b>Cd</b>	<b>mg/Kg</b>	0.325	0.305	0.633	2.178	1.163	04.604
	<b>%</b>	07.05	06.62	13.74	47.30	25.26	-
<b>Pb</b>	<b>mg/Kg</b>	22.500	8.944	42.984	36.151	11.368	121.947
	<b>%</b>	18.45	07.33	35.24	29.64	09.32	-
<b>Cu</b>	<b>mg/Kg</b>	1.350	0.828	1.763	7.415	12.401	23.75
	<b>%</b>	05.68	03.48	07.42	31.21	52.19	-
<b>Zn</b>	<b>mg/Kg</b>	6.500	60.427	26.727	33.833	1963.600	2091.087
	<b>%</b>	00.31	02.88	01.27	01.61	93.90	-
<b>Cr</b>	<b>mg/Kg</b>	28.750	6.108	13.226	24.564	35.138	107.786
	<b>%</b>	26.67	05.66	12.27	22.78	32.59	-
<b>Co</b>	<b>mg/Kg</b>	3.750	3.054	5.786	2.68	-	15.27
	<b>%</b>	24.55	20.00	37.89	17.55	-	-
<b>Fe</b>	<b>mg/Kg</b>	3.250	4.363	226.771	7809.611	4150.000	12193.995
	<b>%</b>	00.02	00.03	01.85	64.04	34.03	-

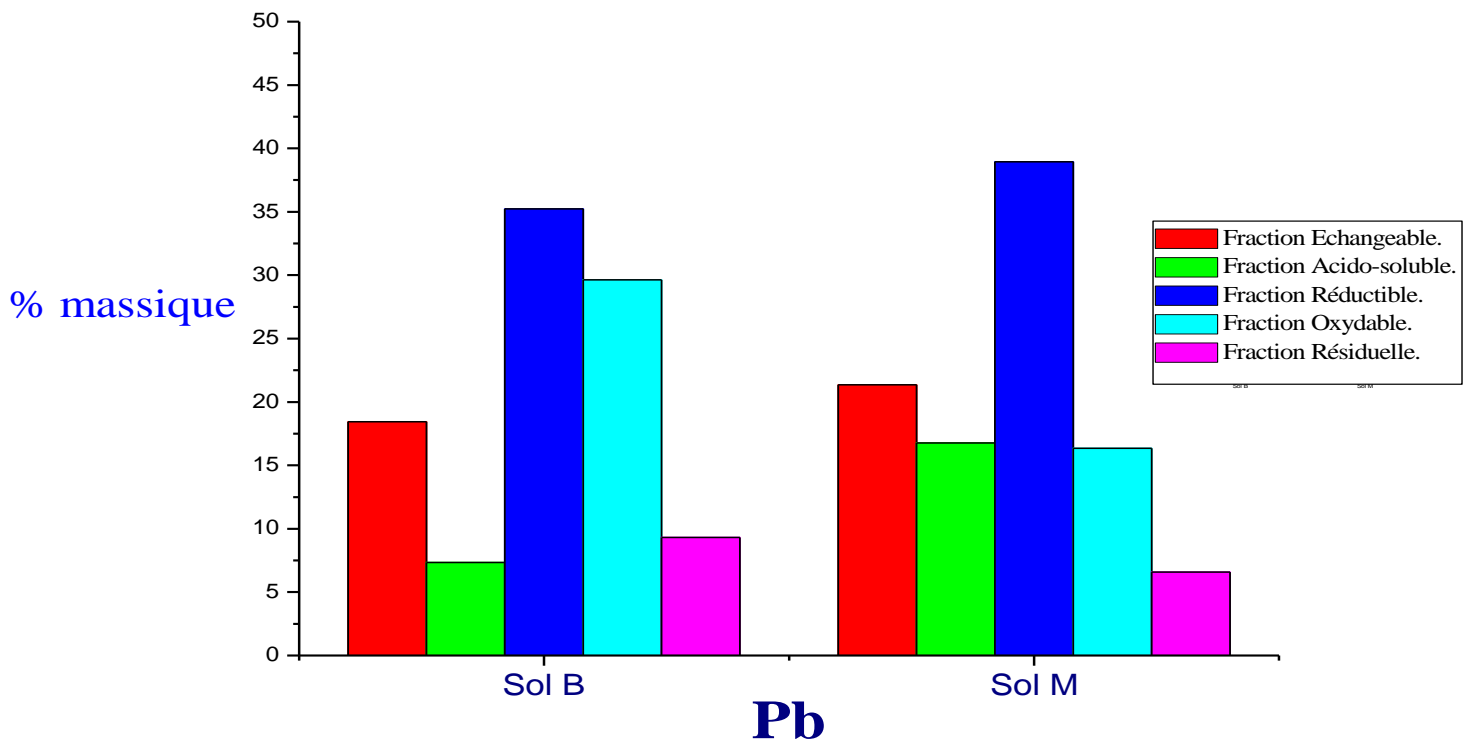
**Tableau 26 : les résultats des valeurs des ETM à partir de l'extraction selon  
Tessier et al. 1979 du sol M.**

<b>Fraction</b>		<b>F<sub>1</sub></b>	<b>F<sub>2</sub></b>	<b>F<sub>3</sub></b>	<b>F<sub>4</sub></b>	<b>F<sub>5</sub></b>	<b>Masse totale</b>
<b>ETM</b>		Échangeable	Acido-soluble	Réductible	Oxydable	Résiduelle	<b>mg/Kg.</b>
<b>Cd</b>	<b>mg/Kg</b>	0.850	2.594	1.308	4.411	3.721	12.884
	<b>%</b>	06.59	20.13	10.15	34.23	28.88	-
<b>Pb</b>	<b>mg/Kg</b>	27.000	21.188	49.239	20.661	8.331	126.419
	<b>%</b>	21.35	16.76	38.94	16.34	06.58	-
<b>Cu</b>	<b>mg/Kg</b>	1.375	1.470	2.586	6.142	5.554	17.127
	<b>%</b>	08.02	08.58	15.09	35.86	32.42	-

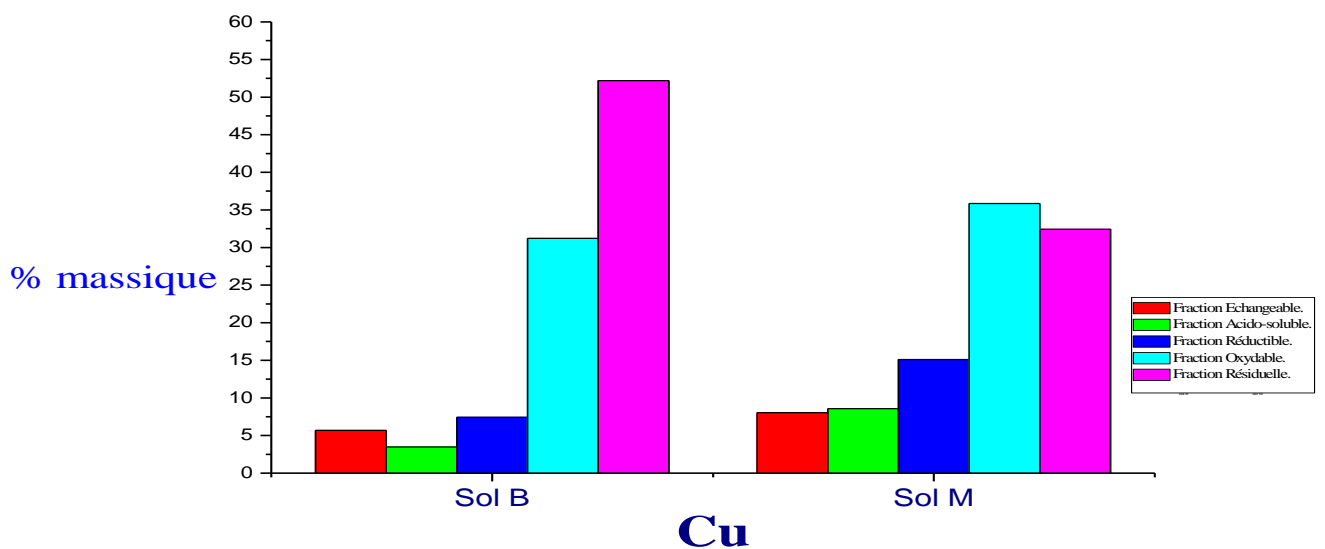
<b>Zn</b>	<b>mg/Kg</b>	38.000	29.187	1224.133	25.128	5504.330	6820.778
	<b>%</b>	00.55	00.42	17.94	00.36	80.69	-
<b>Cr</b>	<b>mg/Kg</b>	14.750	14.053	27.736	129.551	12.774	198.864
	<b>%</b>	07.41	07.06	13.94	65.14	06.42	-
<b>Co</b>	<b>mg/Kg</b>	5.250	5.180	8.102	2.903	5.554	26.989
	<b>%</b>	19.45	19.19	30.01	10.75	20.57	-
<b>Fe</b>	<b>mg/Kg</b>	5.750	13.837	638.860	446.620	5554.320	6659.387
	<b>%</b>	00.08	00.20	09.59	06.70	83.40	-



*Figure 10 : Répartition géochimique du Cd sur les différents fractions constituant les sols B et M.*



*Figure 11 : Répartition géochimique du Pb sur les différents fractions constituant les sols B et M.*



*Figure 12 : Répartition géochimique du Cu sur les différents fractions constituant les sols B et M.*



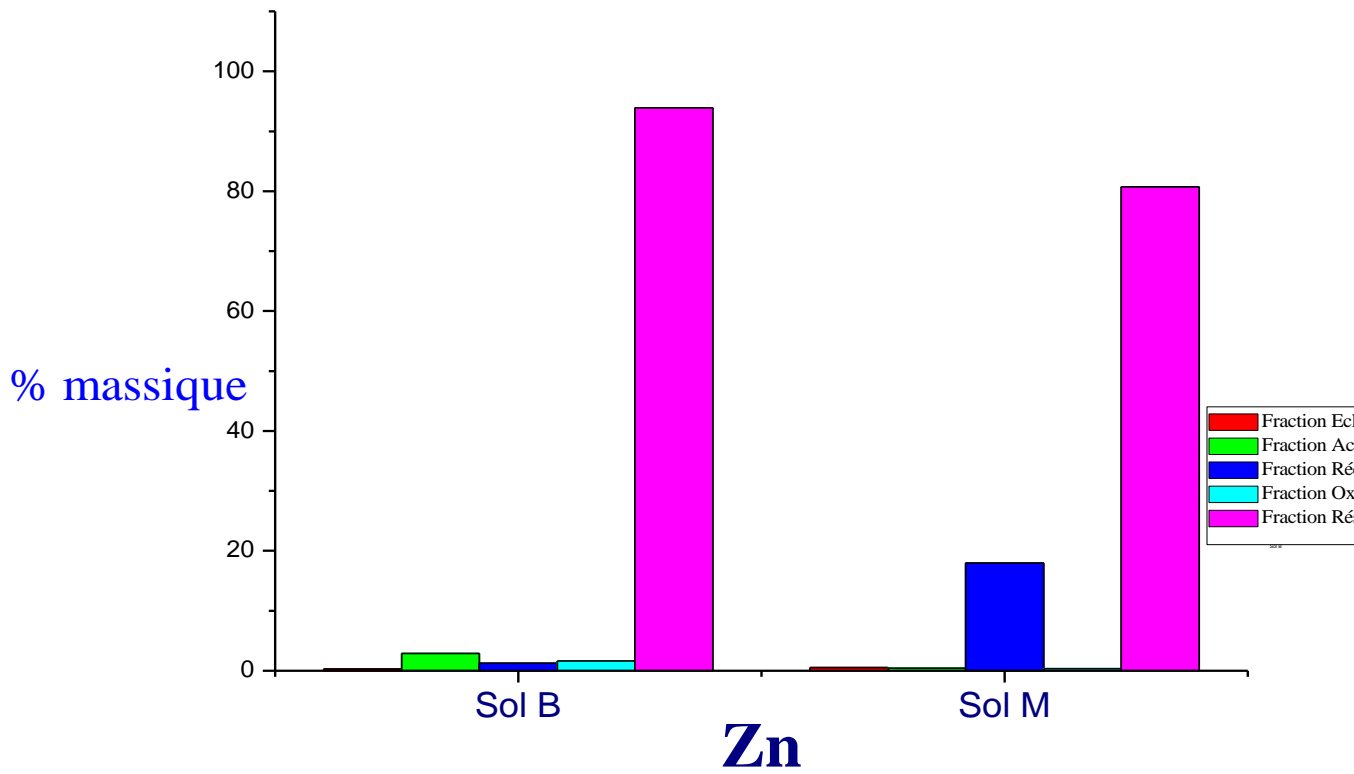


Figure 13 : Répartition géochimique du Zn sur les différents fractions constituant les sols B et M.

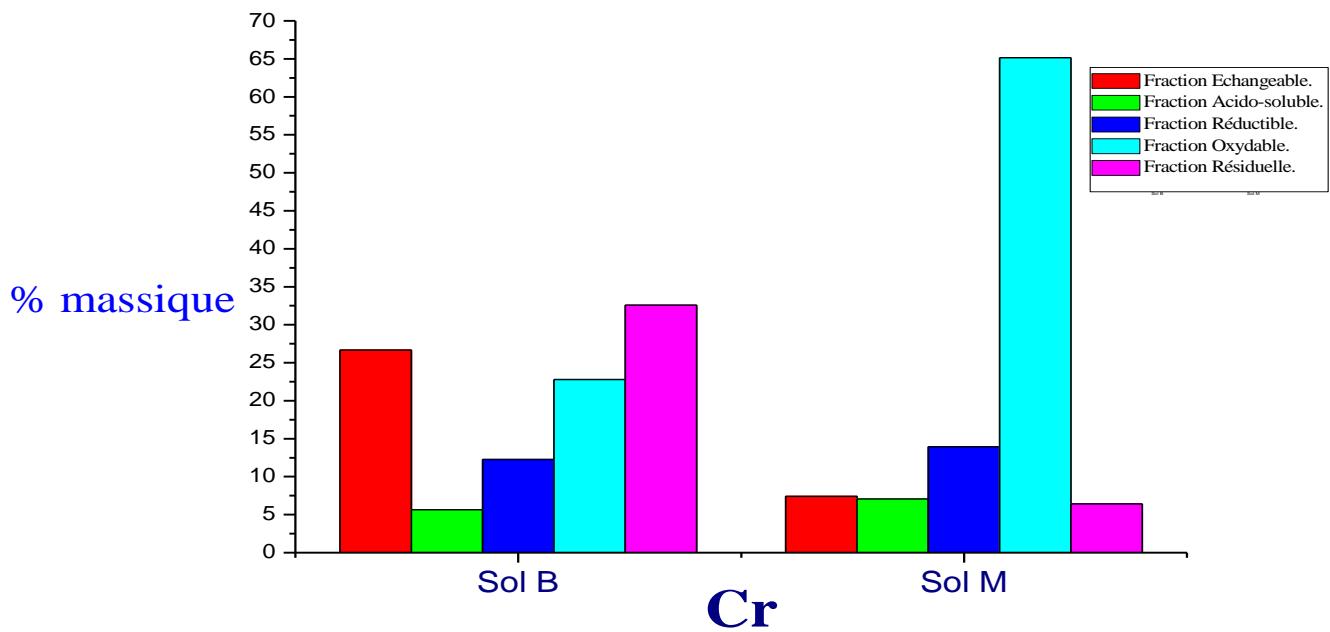
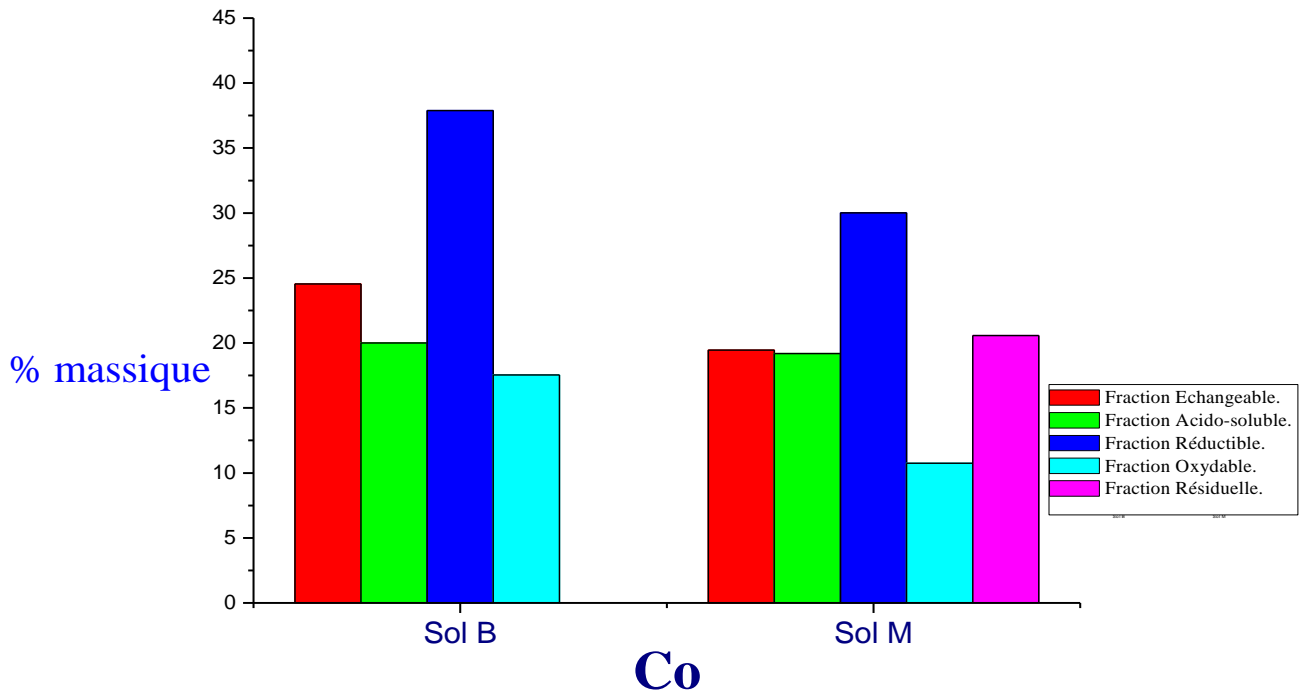
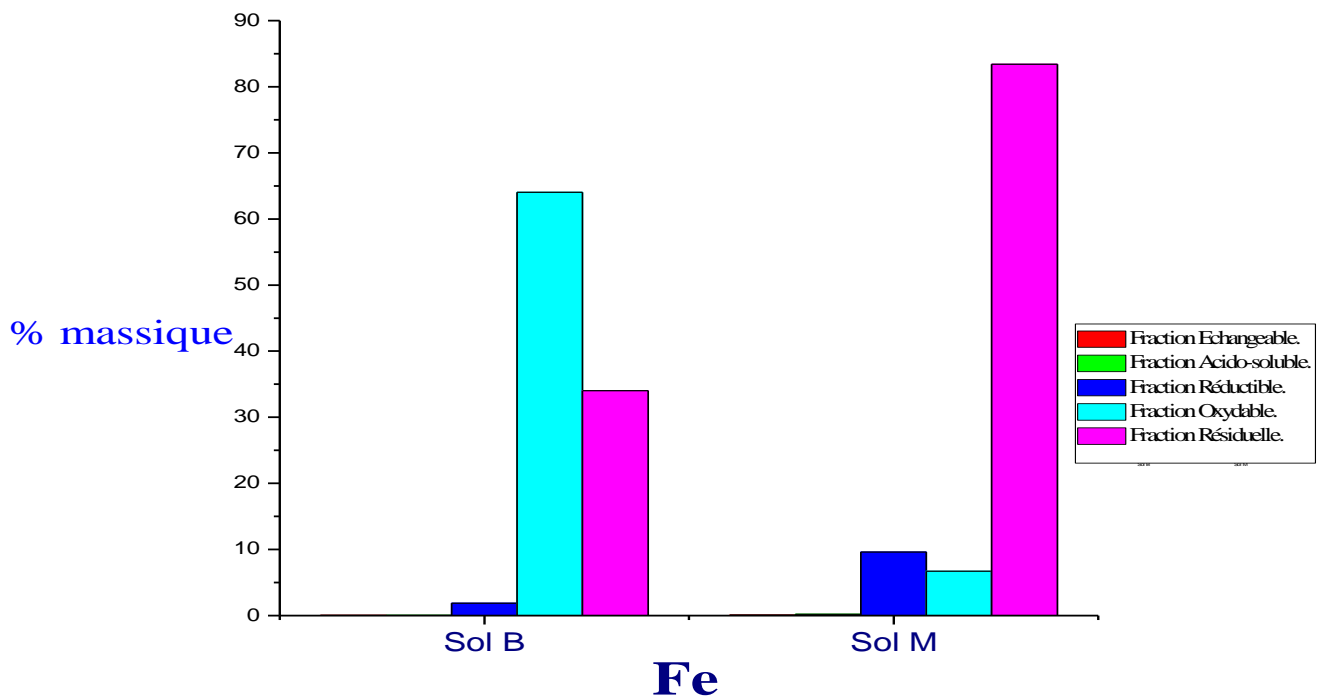


Figure 14 : Répartition géochimique du Cr sur les différents fractions constituant les sols B et M.



*Figure 15 : Répartition géochimique du Co sur les différents fractions constituant les sols B et M.*



*Figure 16 : Répartition géochimique du Fe sur les différents fractions constituant les sols B et M.*

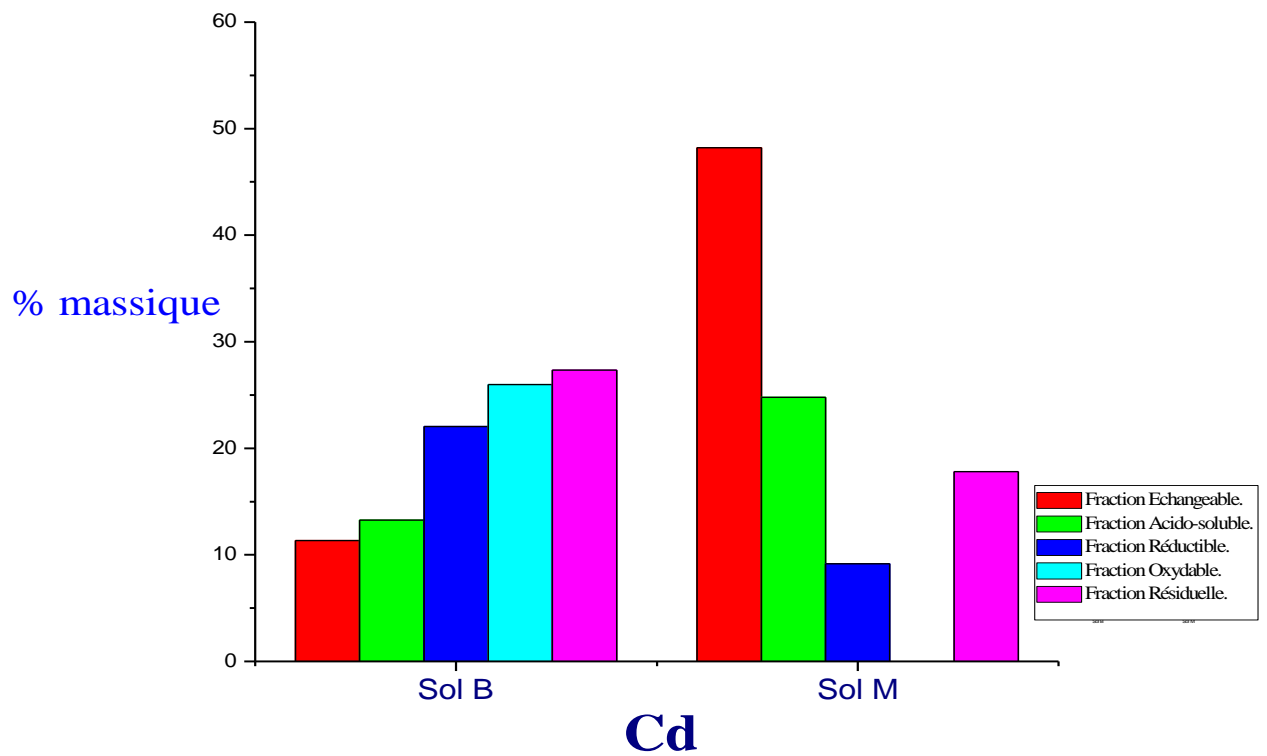
**Tableau 27 : les résultats des valeurs des ETM à partir de l'extraction selon Tessier et al., 1979 modifier du sol B. (EX SEQ SIMPLE + complexe).**

<b>Fraction</b>		<b>F<sub>1</sub></b>	<b>F<sub>2</sub></b>	<b>F<sub>3</sub></b>	<b>F<sub>4</sub></b>	<b>F<sub>5</sub></b>	<b>Masse totale</b>
<b>ETM</b>		Échangeable	Acido-soluble	Réductible	Oxydable	Résiduelle	<b>mg/Kg.</b>
<b>Cd</b>	<b>mg/Kg</b>	1.225	1.431	2.379	2.805	2.951	10.791
	<b>%</b>	11.35	13.26	22.04	25.99	27.34	-
<b>Pb</b>	<b>mg/Kg</b>	18.25	13.404	36.721	5.705	23.412	97.492
	<b>%</b>	18.71	13.74	37.66	05.85	24.01	-
<b>Cu</b>	<b>mg/Kg</b>	2.175	0.954	2.232	4.754	6.107	16.222
	<b>%</b>	13.40	05.88	13.75	29.30	37.64	-
<b>Zn</b>	<b>mg/Kg</b>	71.250	23.173	1967.800	183.050	7283.180	9528.453
	<b>%</b>	00.74	00.24	20.65	01.92	76.43	-
<b>Cr</b>	<b>mg/Kg</b>	29.25	12.268	11.750	21.395	37.153	118.816
	<b>%</b>	26.15	10.97	10.50	19.13	33.22	-
<b>Co</b>	<b>mg/Kg</b>	4.250	4.543	7.344	11.886	4.427	32.44
	<b>%</b>	13.10	14.00	22.63	36.63	13.64	-
<b>Fe</b>	<b>mg/Kg</b>	8.500	1.294	5584.46	339.007	6209.280	12142.541
	<b>%</b>	00.07	00.01	45.99	02.79	51.13	-

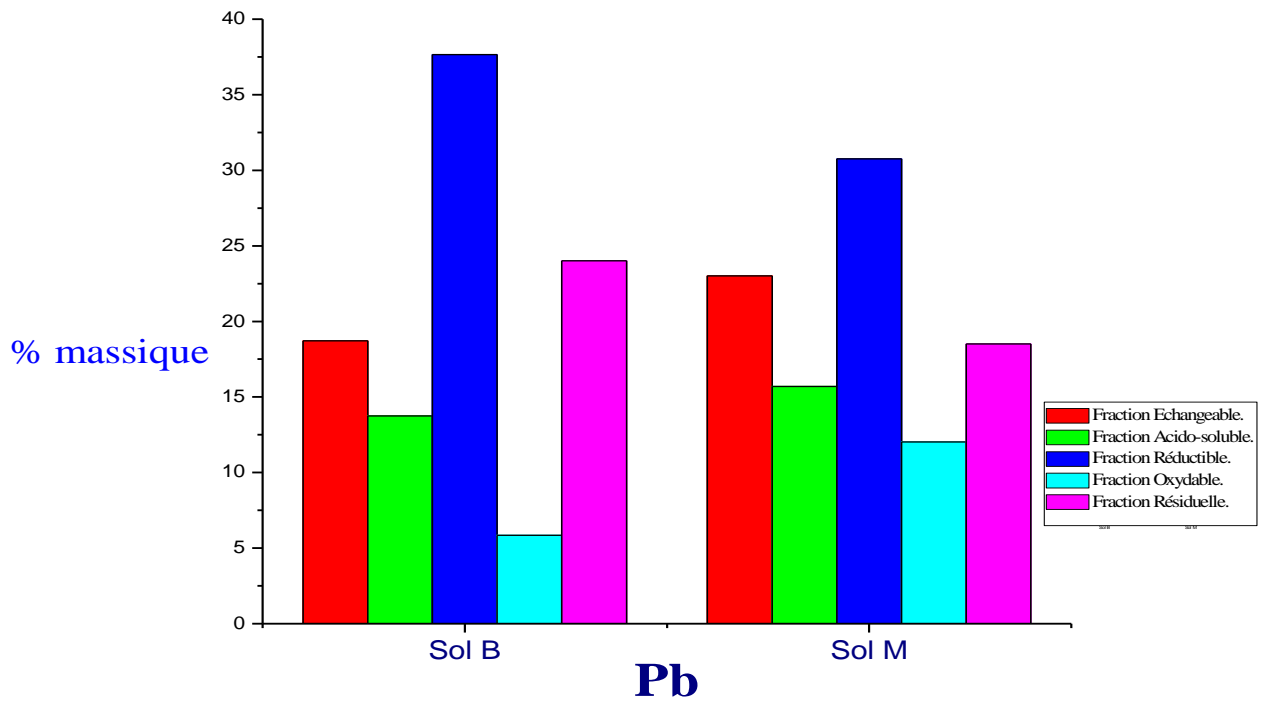
**Tableau 28 : les résultats des valeurs des ETM à partir de l'extraction selon Tessier et al., 1979 modifier du sol M. (EX SEQ SIMPLE + complexe).**

<b>Fraction</b>		<b>F<sub>1</sub></b>	<b>F<sub>2</sub></b>	<b>F<sub>3</sub></b>	<b>F<sub>4</sub></b>	<b>F<sub>5</sub></b>	<b>Masse totale</b>
<b>ETM</b>		Échangeable	Acido-soluble	Réductible	Oxydable	Résiduelle	<b>mg/Kg.</b>
<b>Cd</b>	<b>mg/Kg</b>	2.500	1.285	0.475	-	0.924	<b>5.184</b>
	<b>%</b>	48.22	24.78	09.16	-	17.82	-
<b>Pb</b>	<b>mg/Kg</b>	23.000	15.686	30.750	12.016	18.490	<b>99.942</b>
	<b>%</b>	23.01	15.69	30.76	12.02	18.50	-
<b>Cu</b>	<b>mg/Kg</b>	1.325	0.849	9.225	5.747	7.069	<b>24.215</b>
	<b>%</b>	05.47	03.50	38.09	23.73	29.19	-
<b>Zn</b>	<b>mg/Kg</b>	10.750	50.544	54.511	1660.919	3872.090	<b>5648.814</b>
	<b>%</b>	00.19	00.89	00.96	29.40	68.54	-

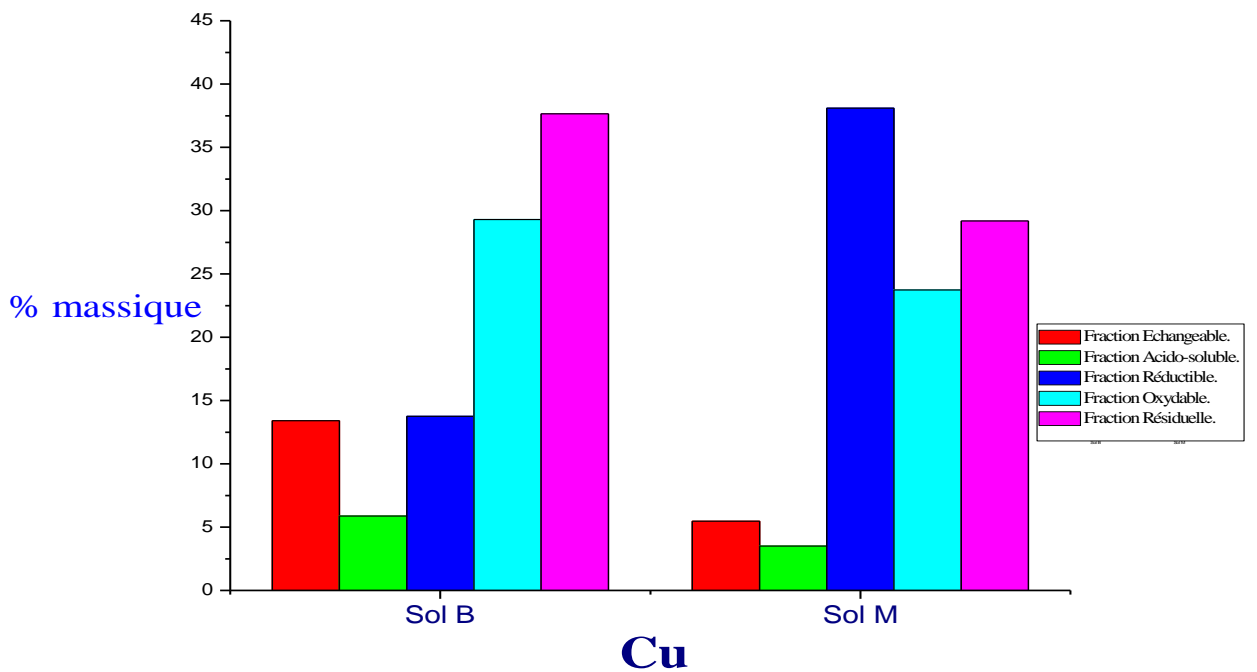
<b>Cr</b>	<b>mg/Kg</b>	29.750	24.836	18.729	12.539	11.420	<b>97.274</b>
	<b>%</b>	30.58	25.53	19.25	12.89	11.74	-
<b>Co</b>	<b>mg/Kg</b>	45.000	5.664	4.752	5.067	-	<b>60.483</b>
	<b>%</b>	74.40	09.36	07.85	08.35	-	--
<b>Fe</b>	<b>mg/Kg</b>	5.250	9.586	704.460	184.430	5492.710	<b>6396.436</b>
	<b>%</b>	00.08	00.15	11.01	02.88	85.87	-



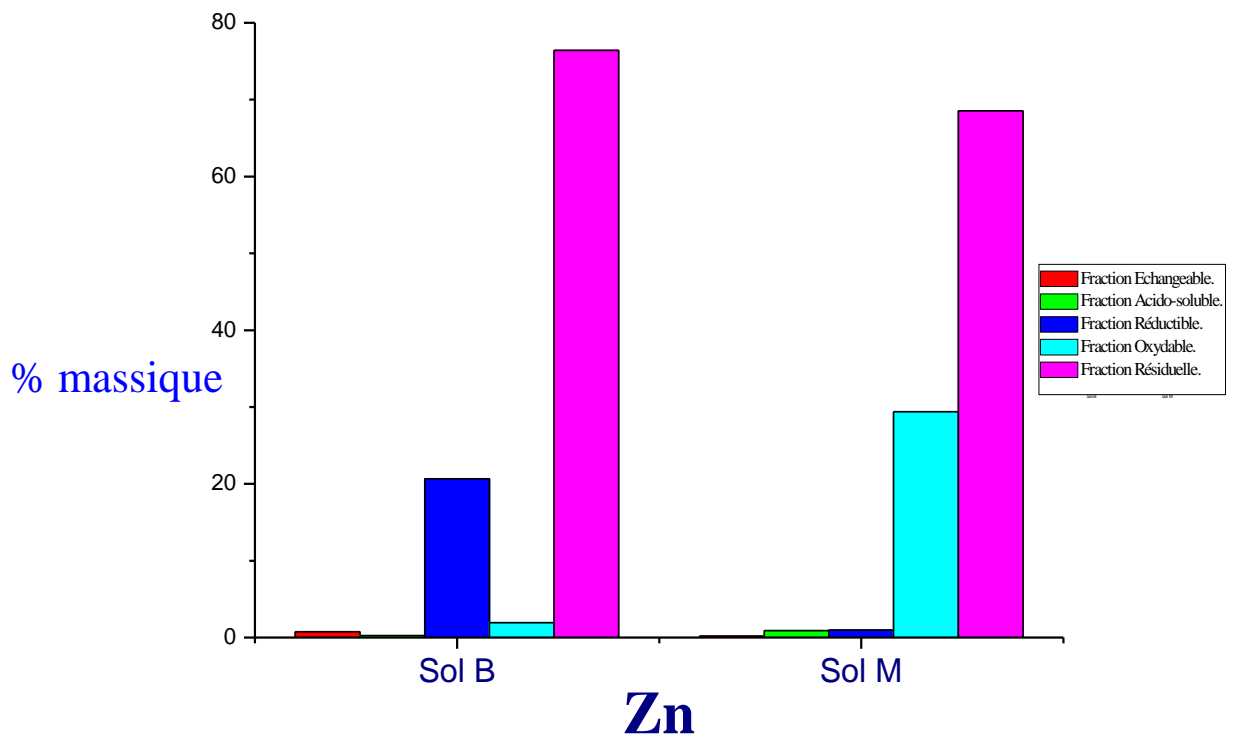
**Figure 17 :** Répartition géochimique du Cd sur les différents fractions constituant les sols B et M.



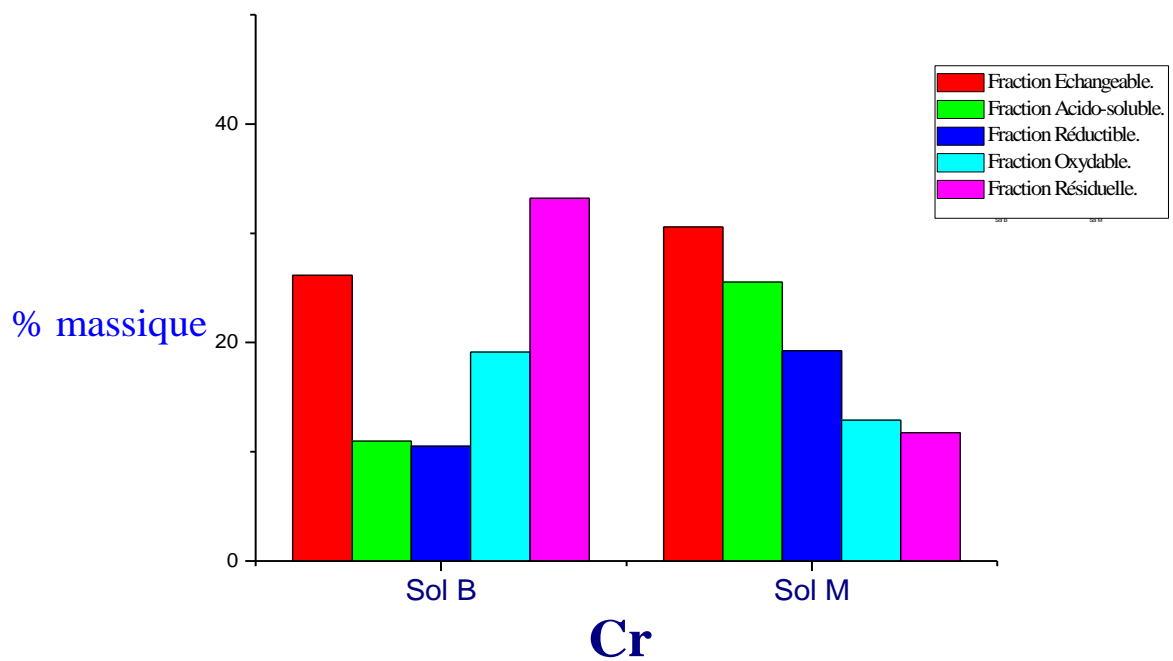
*Figure 18 : Répartition géochimique du Pb sur les différents fractions constituant les sols B et M.*



*Figure 19 : Répartition géochimique du Cu sur les différents fractions constituant les sols B et M.*



*Figure 20 : Répartition géochimique du Zn sur les différents fractions constituant les sols B et M.*



*Figure 21 : Répartition géochimique du Cr sur les différents fractions constituant les sols B et M.*

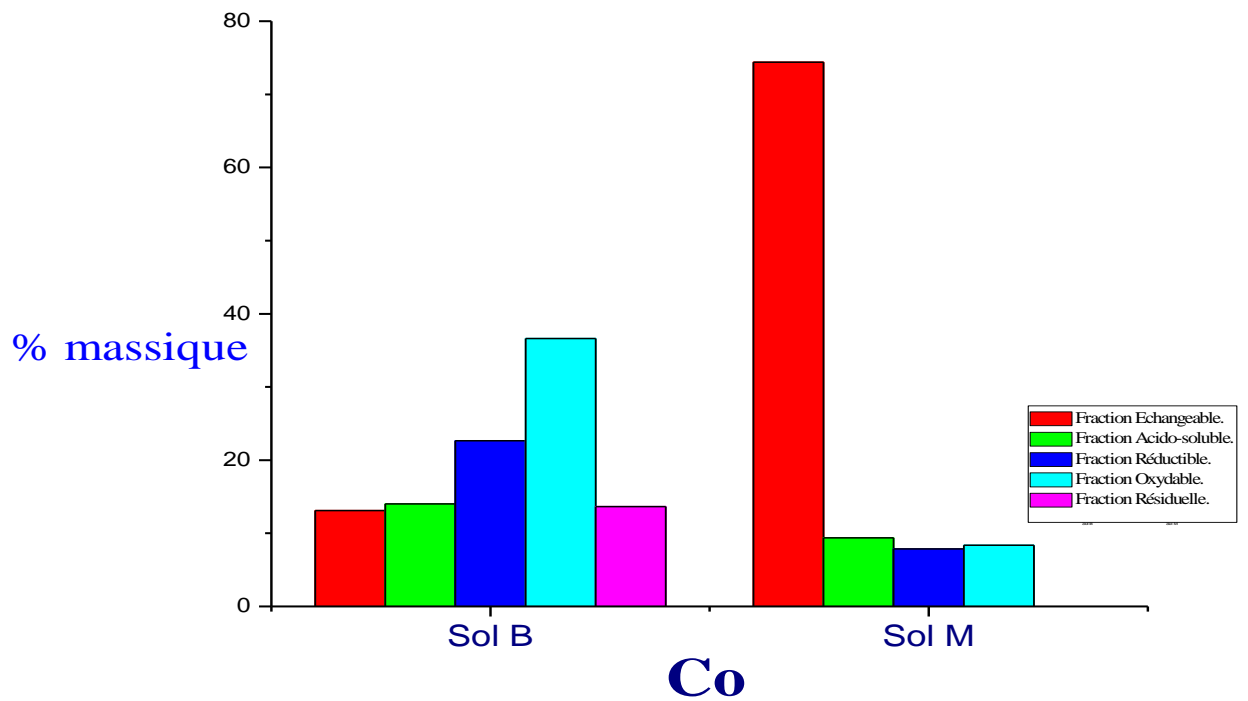


Figure 22 : Répartition géochimique du Co sur les différents fractions constituant les sols B et M.

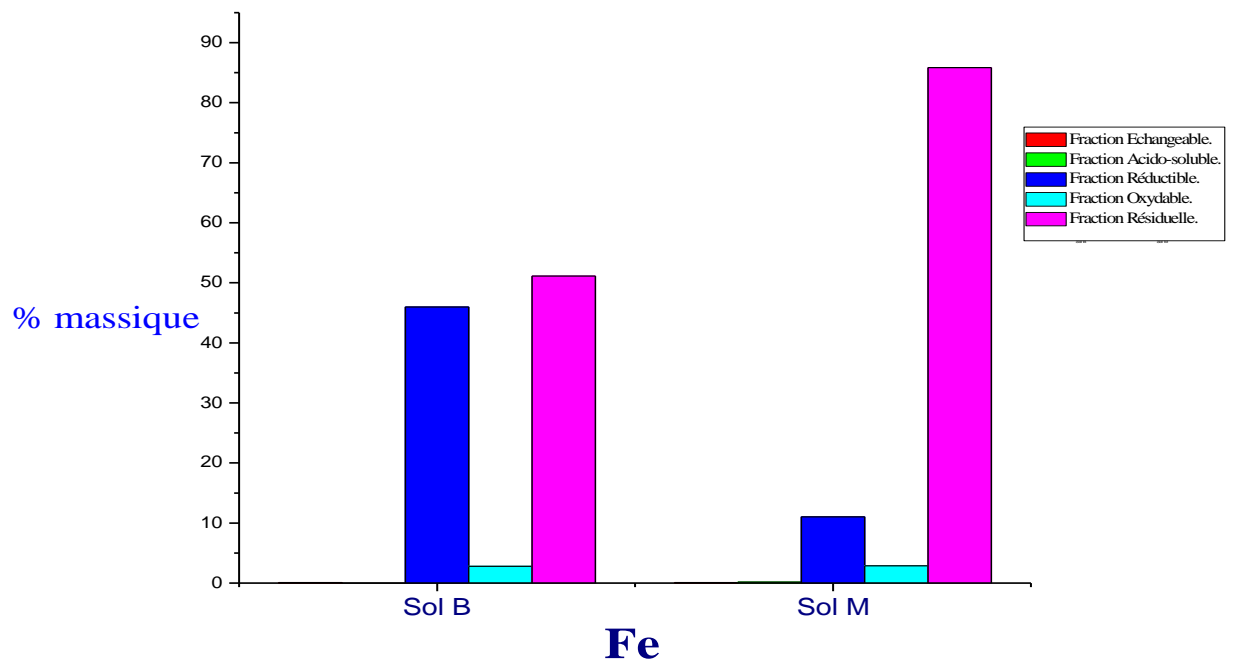


Figure 23 : Répartition géochimique du Fe sur les différentes fractions constituant les sols B et M.

On remarque que :

**- Pour l'extraction selon le protocole de Tessier et al., (simple)**

- Le Cd est réparti préférentiellement dans la phase oxydable (> 47 % et > 34 %) et dans la phase résiduelle (> 25 % et > 28 %) pour les deux sols B et M. Il est également présent dans la phase acido-soluble (> 20 %) pour le sol M et dans la phase réductible (> 13 %) pour le sol B.

- Le Pb est majoritairement présent (> 35% et > 38 %) dans la phase réductible dans les sols B et M et (> 29 %) dans la phase oxydable dans le sol B. Pour le sol M, il est équitablement réparti (> 17 %) dans deux phases acido-soluble et oxydable et sa part relative est respectivement moindre (> 18 % et > 21 %) dans la phase échangeable dans les sols B et M.

Cette répartition est en accord avec les nombreuses études présentes dans la littérature qui associent préférentiellement le plomb à la fraction réductible [124], puis à la fraction acido-soluble [125-127].

- Le Cu est principalement présent (> 52 % et > 32 %) dans la phase résiduelle dans les sols B et M et (> 31 % et > 35 %) dans la phase oxydable dans les sols B et M.

- Le Zn est préférentiellement présent (> 93 % et > 80 %) dans la phase résiduelle et dans la phase réductible (> 17 %) dans le sol M.

- Le Cr est majoritairement présent (> 32 % et > 65 %) dans les phases résiduelle et oxydable dans les sols B et M et (> 13%) dans la phase réductible dans le sol M. Pour le sol B, il est réparti dans les phases échangeable, réductible et oxydable.

- Le Co est principalement présent (> 37 % et > 30 %) dans la phase réductible dans les sols B et M et (> 24 %) dans la phase échangeable dans le sol B. Il est abondant aussi bien dans les phases échangeables, acido-soluble et oxydable dans le sol B que dans les phases échangeable, acido-soluble et résiduelle dans le sol M.

- Le Fe est principalement présent respectivement (> 64 % et > 83 %) dans les phases oxydables et résiduelles des sols B et M. Il est également présent (34 %) dans la phase résiduelle dans le sol B.



**- Pour l'extraction selon le protocole de Tessier et al., modifier (extraction séquentiel + complexant)**

- Le Cd est réparti (>11, > 13, > 22, > 25 % et > 27 %) respectivement dans les phases échangeable, acido-soluble, réductible, oxydable et résiduelle dans le sol B.

Pour le sol M, il est présent préférentiellement (> 48 % et > 24 %) dans les phases échangeable et acido-soluble.

- Le Pb est majoritairement présent (> 37 % et > 30 %) et (> 24 % et 23 %) respectivement dans la phase réductible dans les sols B et M et dans les phases résiduelle et échangeable dans les sols B et M. Il est réparti aussi bien (> 18 % et > 13 %) dans les phases échangeable et acido-soluble dans le sol B que (> 15 %, 12 % et > 18 %) dans les phases acido-soluble, oxydable et résiduelle dans le sol M.

Cette répartition est là encore en accord avec les nombreuses études présentes dans la littérature qui associent préférentiellement le plomb à la fraction réductible [124], puis à la fraction acido-soluble [125-126-127].

- Le Cu est principalement présent (> 37 % et > 38 %) respectivement dans la phase résiduelle dans le sol B et dans la phase réductible dans le sol M. Il est équitablement réparti (> 13 %) dans les phases échangeable et réductible dans le sol B. Il est abondant (> 29 % et > 23 %) respectivement dans la phase oxydable dans le sol B et dans les phases oxydable et résiduelle dans le sol M.

- Le Zn est préférentiellement présent (> 76% et > 68%) dans la phase résiduelle dans les deux sols B et M. Il est également présent (> 20 % et > 29 %) dans la phase réductible dans le sol B et dans la phase oxydable dans le sol M.

- Le Cr est majoritairement présent (> 33 % et > 30 %) dans les phases résiduelle et échangeable dans les sols B et M et (> 26% et > 19 %) dans la phase échangeable et oxydable dans le sol B. Pour le sol M, il est réparti dans les phases acido-soluble, et oxydable (> 25 %, > 19 % et > 12 %).

- Le Co est principalement présent (> 36 % et > 74 %) respectivement dans la phase oxydable réductible dans le sol B et dans la phase échangeable dans le sol M et (> 22% et > 25 %) dans la phase réductible et acido-soluble respectivement dans les sols B et M. Il est abondant

aussi bien dans les phases échangeable, acido-soluble et résiduelle (>13 %, > 14 % et >16 %) dans le sol B que dans les phases réductibles, oxydable et résiduelle (> 19 %, > 12 % et > 11 %) dans le sol M.

- Le Fe est principalement présent (> 51 % et > 85%) dans les phases résiduelles des sols B et M. Il est également présent (45 %) dans la phase réductible dans le sol B.

Selon les tableaux N° 29 et 30 qui présente diverses valeurs qui peuvent servir de référence pour estimer le niveau de contamination des sols on peut comparer nos résultats obtenus.

En effet, les valeurs néerlandaises sont fréquemment utilisées comme valeurs de référence pour interpréter la présence de certains métaux dans le sol.

Les valeurs de base correspondent à des valeurs de référence qui constituent un objectif à ne pas dépasser pour tous les sols. Les valeurs d'intervention correspondent à des seuils maximaux admissibles : quand elles sont dépassées, une intervention est requise pour dépolluer le site.

**Tableau 29 : Valeurs de référence pour déterminer le niveau de contamination d'un sol en  $mg.kg^{-1}$ .**

<b>Eléments</b>	<b>Fond géochimique</b>	<b>Valeurs de base néerlandaise</b>	<b>Valeurs d'intervention</b>	<b>Teneur maximale sols</b>
<b>Cd</b>	0,01 – 0,2	0,8	12	2
<b>Cr</b>	80 - 200	100	380	150
<b>Cu</b>	6 - 60	36	190	100
<b>Ni</b>	1 - 100	35	210	50
<b>Pb</b>	12 - 20	85	530	100
<b>Zn</b>	17 - 125	140	720	300

**Tableau 30 : Valeurs de référence pour déterminer le niveau de contamination d'un sol en  $mg.kg^{-1}$ .**

Eléments	Sol (mg/Kg)				Couche superficielle (moyen) <sup>c</sup>	Sédiment (moyen) <sup>c</sup>
	Moyen <sup>a</sup>	Valeur <sup>a</sup>	Moyen <sup>b</sup>	Valeur <sup>b</sup>		
Co	9.1	<3-70	8	0.05-65	20	14
Fe	26000	100-100000	40000	2000-550000	41000	41000

*a: From U.S. Geological Survey Professional Paper 1270 (1984), with permission. Represents analyses from soils and other surficial materials from throughout the continental United States (regoliths including desert sands, sand dunes, loess deposits, and beach and alluvial deposits containing little or no organic matter).*

*b: From Bowen (1979) (Bowen, H.J.M. (1979). "Environmental Chemistry of the Elements." Academic Press, London.) and references therein, with permission. Represents soil analyses from throughout the world.*

*c: From Bowen (1979) (Bowen, H.J.M. (1979). "Environmental Chemistry of the Elements." Academic Press, London.) and references therein, with permission.*

Ainsi, en comparant nos valeurs trouvées avec celles de référence, on peut dire que :

- Un niveau de contamination en Cd, Pb et Zn pour le sol B : les valeurs trouvées par extraction séquentielle pour Cd selon Tessier et al (4 ppm) ou selon Tessier + complexant (> 10 ppm) sont supérieures aux valeurs de base néerlandaises et aux valeurs de la teneur maximale des sols. Pour Pb la valeur trouvée selon Tessier et al (> 121 ppm) ou selon Tessier + complexant (> 97 ppm) sont supérieures aux valeurs de base néerlandaise et aux valeurs de la teneur maximale des sols. Pour le Zn les valeurs trouvées selon les deux protocoles sont très élevées (2091 ppm et > 9528 ppm), elles sont même supérieures aux valeurs d'intervention ceci montre le degré de pollution en Zn et le danger pour l'environnement.

- Et un niveau de contamination en Cd, Pb, Cr et Zn pour le sol M : les valeurs trouvées par extraction séquentielle pour Cd selon Tessier et al (> 12 ppm) ou selon Tessier + complexant (> 5 ppm) sont supérieures aux valeurs d'intervention ce qui montre un danger de pollution pour l'environnement. Pour Pb les valeurs trouvées selon Tessier et al (> 126 ppm) ou selon Tessier + complexant (> 99 ppm) sont supérieures aux valeurs de base néerlandaise et aux valeurs de la teneur maximale des sols. Pour le Cr les valeurs trouvées selon les deux protocoles sont supérieures aux valeurs de base néerlandaise et aux valeurs de la teneur maximale des sols. Pour le Zn les valeurs trouvées selon les deux protocoles (6820 ppm et > 5648 ppm) sont supérieures aux valeurs d'intervention ce qui montre un danger de pollution pour l'environnement.

- L'absence de pollution des deux sols en Fe, Co et Cu, les teneurs trouvées sont inférieures aux valeurs de référence.