

Corrélation entre l'activité du ^{137}Cs et l'argile des sols du sous bassin versant de Bélekoni en zone soudanienne du Mali.

Aboubakar BENGALY¹ ; Bocar AHAMADOU^{1*} ; Drissa DIALLO¹ Philippe BONTE²

¹ Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) de Katibougou-Mali

² Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) Gif sur Yvette CEDEX - France

* Corresponding author's email address: bocar.toure@ipr-ifra.edu.ml

RESUME: L'érosion a pour conséquence une diminution des surfaces cultivables, une décroissance de la fertilité du sol et une augmentation des dégâts occasionnés par les fortes crues, ce qui entraîne une insuffisance alimentaire et des problèmes économiques et sociaux très graves dans le monde. Il est urgent de trouver des méthodes de diagnostic simples, fiables et peu coûteuses. Dans un bassin versant, l'activité du ^{137}Cs permet de situer les points de mobilisation, de relais temporaires ou de dépôt des particules de sol. Aujourd'hui, la méthode du ^{137}Cs est une démarche intéressante pour établir le bilan érosion-sédimentation. Cette méthode est basée sur l'hypothèse que la redistribution du ^{137}Cs reflète celle des particules des sols. Par dépôt atmosphérique, le ^{137}Cs dans le sol, est fixé aux particules fines et sa quantification par le model proportionnel a permis de tracer le bilan érosion-sédimentation. Il se distribue de façon homogène dans le sol après absorption. Quant à sa dispersion dans l'environnement et à sa vitesse d'absorption et de distribution, il est important d'évaluer le comportement de l'activité du ^{137}Cs avec les constituants du sol. C'est dans ce contexte que l'étude de l'activité du ^{137}Cs et l'argile des sols du sous bassin versant de Bélekoni en zone soudanienne du Mali a été réalisée afin de dresser une corrélation. Cette corrélation a été établie en fonction des variations des taux d'argile et de ^{137}Cs . Les résultats obtenus montrent que les teneurs en argile qui est de type kaolinite et en ^{137}Cs ne sont pas corrélées ($r^2 = 0,02$), ce qui explique que la texture du sol a un pouvoir de fixation de cet élément radio-isotope négligeable. Cela confirme les résultats de nombreux auteurs comme ceux de Cremers, Squire et Baeza.

Mots-clés: Mali, zone soudanienne, ^{137}Cs , kaolinite, corrélation

ABSTRACT: Erosion results in a decrease of cultivable areas, a decline in soil fertility and an increase in damages caused by high floods, leading to food shortages and very severe economic and social problems in the world. It is urgent to find simple, reliable and affordable diagnostic methods. In a sub-catchment, the activity of ^{137}Cs helps makes to locate the points of mobilization, temporary relays or deposit of soil particles. Nowadays, the ^{137}Cs method is an interesting approach to establish erosion-sedimentation report. This method is based on the assumption that redistribution of ^{137}Cs reflects that of soil particles. Per atmospheric deposit, ^{137}Cs in soil is fixed to fine particles and its quantification through proportional model allowed to determine erosion-sedimentation report. It is distributed homogeneously in soil after absorption. As for its dispersion in the environment and its rate of absorption and distribution, it is critical to evaluate the behavior of ^{137}Cs activity with soil constituents. It is in this context that the study of ^{137}Cs activity and soil clay of Bélekoni sub-catchment in the Sudanese zone of Mali was conducted to establish a correlation. This correlation was based on changes in clay and ^{137}Cs rates. The results showed that the clay content, kaolinite and the ^{137}Cs are not correlated ($r^2 = 0.02$), this explains why the texture of the soil has a negligible radioisotope element fixing power. This confirms the findings of many other authors, including Cremers, Squire and Baeza

Key Words: Mali, Sudanese zone, ^{137}Cs , kaolinite, correlation

I. INTRODUCTION

Actuellement, les programmes de développement agricole et de gestion environnementale en Afrique, insistent sur le phénomène de l'érosion des sols comme une contrainte majeure à l'amélioration durable de la production agricole. En effet, l'érosion a pour conséquence une diminution des surfaces cultivables, une décroissance de la fertilité du sol et une augmentation des dégâts occasionnés par les fortes

crues, ce qui entraîne une insuffisance alimentaire et des problèmes économiques et sociaux très graves dans le monde. Il est en outre, urgent de trouver des méthodes de diagnostic simples, fiables et peu coûteuses. Il convient par ailleurs de faire la distinction entre l'érosion géologique ou érosion naturelle et l'érosion accélérée. L'érosion géologique s'oppose pas au développement soutenu des écosystèmes naturels et seuls facteurs les naturels (climat, sol, topographie) interviennent dans les

processus. Quand les processus d'érosion sont influencés par les activités humaines (déboisement, gestion déséquilibrée de la fertilité des sols, surpâturage, etc.), on parle d'érosion accélérée ou érosion anthropique.

De nombreuses études de laboratoire ou à l'échelle de la parcelle et sous pluies simulées ont mis en évidence l'influence déterminante des organisations superficielles des sols sur le comportement vis-à-vis de l'eau ([1]; [2]). L'érodibilité des sols va dépendre de leur mode de formation (pédogenèse), mais surtout de leur texture, des matières organiques et de la stabilité de leur structure [3], ces deux dernières caractéristiques évoluant avec le mode d'exploitation [4]. De ce fait, l'érodibilité d'un sol est fonction des interactions complexes d'un nombre important de ses propriétés physiques et chimiques. Le croisement de différentes couches d'informations peut permettre d'établir une carte d'érodibilité d'un espace donné, bassin versant ou région agricole par exemple. Ainsi, Il existe une relation entre les mouvements des particules physiques du sol surtout l'argile ([5] ; ([6] ; ([7]) et ceux du ^{137}Cs retombé au sol. C'est cette relation qui est utilisée pour l'estimation des redistributions des particules, une accumulation de particules de sol étant marquée par un gain de ^{137}Cs et une ablation étant marquée par une perte de ^{137}Cs . De nombreuses études ont déjà été menées, utilisant la distribution spatiale de ^{137}Cs à l'échelle de bassins versants [8].

A l'issue de calculs de régressions multiples par [3] aux USA, cités par [9], il s'avère que l'érodibilité d'un sol dépend essentiellement du taux de matière organique, de la texture, en particulier les taux des fractions granulométriques de 2 à 100 microns, et enfin de la structure et de la perméabilité.

Par la suite, un autre chercheur américain (Singer (1978) cité par ([10] a montré qu'il faut tenir compte d'autres facteurs dans le cas des sols californiens, en particulier le fer et l'alumine libre, le type d'argile et la salure des matériaux.

C'est dans ce contexte de mobilisation des particules du sol dans le système d'érosion des sols que s'inscrivent les travaux développés sur la tendance de variation de l'activité du ^{137}Cs et du taux d'argile en zone soudanienne du Mali dans le sous bassin versant de Bélékoni.

II. PRESENTATION DU SITE D'ETUDE

La zone soudanienne qui est retenue pour la présente étude est comprise entre les isohyètes 700 et 1 300 mm. L'année est répartie entre une période pluvieuse (fin mai à octobre) et une période sèche (novembre à mai). Le régime pluviométrique est de type monomodal.

Cette zone est caractérisée par une agriculture extensive due à une forte anthropisation avec comme conséquence une baisse considérable de la fertilité des sols suite à leur érosion.

Pour la présente étude, le sous bassin versant de Bélékoni (figure 1) a été retenu dans la zone soudanienne du Mali. Le bassin versant de Bélékoni (exutoire : $11^{\circ}21.454\text{N}$; $7^{\circ}11.091\text{W}$; 334m d'altitude) : situé dans la région de Bougouni avec une superficie de 120 km^2 , il a une faible pression sur l'espace avec un substrat granitique sous 1100mm de pluie annuelle et une mécanisation moyenne. Le sous bassin extrait a une superficie de $11,63\text{ km}^2$ avec la position géographique de l'exutoire : $11^{\circ}16.802\text{ N}$; $7^{\circ}05.131\text{ W}$ 330 m.

III. MATERIEL ET METHODES

3.1. Matériel

3.1.1. Cesium 137: ^{137}Cs

Le césium 137 est un isotope radioactif artificiel de 30.17 ans de période, c'est l'un des isotopes radioactifs introduit par l'homme en grande quantité dans l'atmosphère, et détectable dans l'environnement en raison de sa période suffisamment longue et de l'émission d'un photon gamma d'assez forte énergie Il est utilisé très souvent pour étudier le déplacement et l'exportation des particules de sol à moyen terme. Selon ([11], l'utilisation du césium-137 dans l'étude de l'érosion des sols repose sur un certain nombre de principes dont:

- une redistribution uniforme et à un moment précis des retombées de césium-137 à l'échelle d'un bassin versant ;
- une fixation rapide et solide du radioélément avec particules du sol ;
- une relation entre la perte de césium-137 et celle des particules de sol.

Il existe une relation entre les mouvements du sol et ceux du ^{137}Cs retombé au sol. C'est cette relation qui est utilisée pour l'estimation des redistributions des particules, une accumulation de particules de sol étant marquée par un gain de ^{137}Cs et une ablation étant marquée par une perte de ^{137}Cs . De nombreuses études ont déjà été menées, utilisant la distribution spatiale de ^{137}Cs à l'échelle de bassins versants ([12] ; ([13]).

La technique a été utilisée sur le site du bassin versant de Bélékoni dans la région de Bougouni où le site a une faible pression anthropique sur l'espace avec un substrat granitique sous 1100 mm de pluie annuelle et une mécanisation moyenne.

3.1.2. Argile : la kaolinite

La kaolinite est un minéral argileux de type 1/1. Cela signifie qu'un feuillet de kaolinite est formé de deux couches : une couche octaédrique et une couche tétraédrique. De formule $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, la kaolinite a une densité de 2.5 à 2.6. A l'échelle du bassin versant de Bélékoni, elle constitue des altérites du granite qui est la roche mère des sols du bassin([14]. Le granite est une roche plutonique magmatique à texture grenue, riche en quartz. Il est le résultat du refroidissement lent, en profondeur, de

grandes masses de magma intrusif relativement riche en silice qui affleure finalement par le jeu d'érosion.

3.2. Méthode

3.2.1. Critères de choix de l'isotope radioactif utilisé : Cs-137

Parmi une gamme d'isotopes radioactifs présents dans l'environnement, un petit nombre peut servir de marqueurs des déplacements des particules de sol. Les critères de choix sont : la période radioactive, le type de rayonnement, l'affinité de l'élément vis à vis des particules de sol et son devenir dans le sol.

La grande affinité des isotopes radioactifs est illustrée par leur forte adsorption par les particules du sol et leur faible désorption. Ainsi, on peut suivre les particules dans leur mouvement et obtenir des informations sur leur provenance et les processus en jeu lors des épisodes radioactifs [15]. Les caractéristiques propres à chaque isotope radioactif, dans le sol, sont son profil de pénétration (souvent en relation avec sa période et son affinité vis à vis des particules), son mode d'entrée (intrinsèque ou atmosphérique). La période radioactive permet d'intégrer une dimension temporelle aux études de dynamique des particules. Les marqueurs doivent avoir une période radioactive suffisamment longue pour être détectés entre la phase d'échantillonnage et celle de mesure. Cette période doit également être longue par rapport à l'échelle de temps de l'étude. Enfin, en ce qui concerne le type de rayonnement, les émetteurs gamma (rayonnement le plus pénétrant) sont préférés aux émetteurs alpha et bêta pour leur facilité de détection et d'analyse [16].

Les isotopes radioactifs retenus pour l'étude des transferts de particules de sol sont : principalement le ^{137}Cs et le ^7Be et ponctuellement le $^{210}\text{Pb}(\text{exc})$, le ^{134}Cs et le ^{40}K . Ils sont tous émetteurs de gamma.

Le ^{137}Cs est le marqueur le plus utilisé. C'est un émetteur gamma qui le rend facile d'utilisation et permet des mesures précises sur l'échantillon brut de sol.

Le ^{137}Cs retombé au sol avec les précipitations est rapidement et très fortement adsorbé sur les particules de sol. Sa mobilité est donc très limitée et son exportation par les cultures est négligeable. Sauf dans le cas de bioturbations importantes dans le sol, le ^{137}Cs est très peu mobile ou n'est pas mobile. Par ailleurs le césium absorbé par les végétaux est libéré dans les sols lorsque la végétation meurt et s'y décompose. Mais ce prélèvement de césium par la plante est très faible. Ainsi l'exportation par les récoltes hors des agrosystèmes est très réduite [17].

De par ses propriétés, la distribution spatiale du ^{137}Cs dans l'environnement reflète les mouvements du sol (érosion et sédimentation), et apparaît donc particulièrement adaptée à cette étude portant sur les redistributions contemporaines de particules de sol.

3.2.2. Caractérisation et quantification de l'activité du ^{137}Cs dans les sols du sous bassin versant de Bélékoni

Pour notre étude, la redistribution du ^{137}Cs dans le sous bassin versant a été obtenue en prélevant des carottes de section connue suivant quelques transects ou un maillage systématique, suivant la morphologie de la parcelle. Chaque carotte est sectionnée en tronçons, le tronçon supérieur comprenant toute la couche de labour. Les analyses sont poursuivies sur les tronçons plus profonds jusqu'à la disparition du ^{137}Cs ($< 0.3 \text{ Bq/kg}$ environ).

A l'échelle d'un bassin versant, l'établissement du bilan d'érosion-sédimentation à partir du bilan de ^{137}Cs suppose que le ^{137}Cs a été quantifié dans différents échantillons de sol représentatifs de l'hydrosystème. Dans ce cas, on s'appuie sur un découpage du bassin versant en unités relativement homogènes d'après des critères choisis (topographie, types de sol, couvert végétal, etc...).

Le pourcentage de perte de ^{137}Cs , A, est calculé par comparaison du bilan de ^{137}Cs par unité de surface à une valeur de référence, correspondant au bilan de ^{137}Cs qu'on devrait avoir en l'absence de tout mouvement de sol (ni gain, ni perte). Le bilan de ^{137}Cs est obtenu à partir de l'activité spécifique et du poids de chaque sous-échantillon (figure2).

3.2.3. Détermination du taux d'argile au laboratoire : la granulométrie

La granulométrie a été faite suivant la méthode internationale en retenant 5 fractions de diamètre (Θ) : argile ($0 < \Theta < 2 \mu\text{m}$), limon fin ($2 \mu\text{m} < \Theta < 20 \mu\text{m}$), limon grossier ($20 \mu\text{m} < \Theta < 50 \mu\text{m}$), sable fin ($50 \mu\text{m} < \Theta < 0,2 \text{ mm}$), sable grossier ($0,2 \text{ mm} < \Theta < 2 \text{ mm}$).

3.2.4. Tendance du ^{137}Cs et taux d'argile

L'activité spécifique du ^{137}Cs obtenue est comparée avec le taux d'argile. A l'aide du logiciel Excel, la corrélation est ainsi définie.

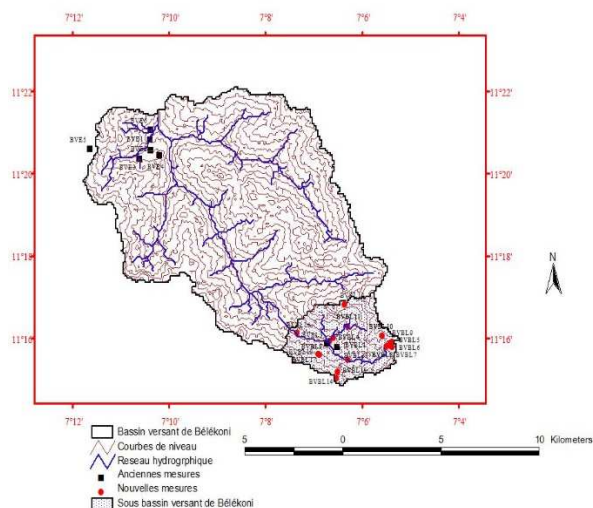


Figure 1. Bassin versant de Bélékoni (120 km²) et son sous bassin (11,63 km2)

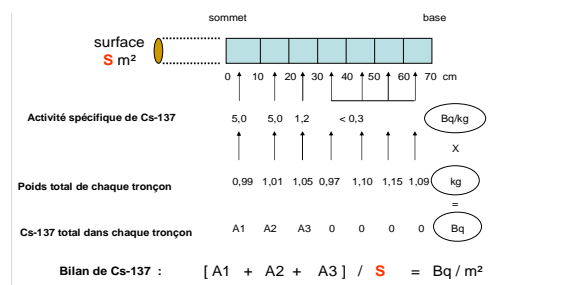


Figure 2. Bilan surfacique de 137Cs.

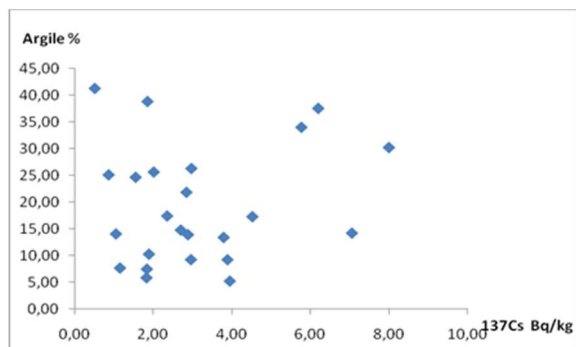


Figure 3. Relations argile et 137Cs dans la couche superficielle (0-20 cm)

Table 1. Activités du 137Cs et taux d'argile des sols peu épais sur Cuirasse

Sites	Horizons	137Cs Bq/kg	Argile %
BVBL1		1,83	5,92
BVBL14		1,89	10,32
BVBL5		36,37	10,32
BVE3		3,95	5,29
BVE4		3,89	9,28

Table 2 Activités du 137Cs et taux d'argile des sols épais sur glacié d'épandage

Sites	Horizons	137Cs Bq/kg	Argile %
BVBL18	0-10	2,36	11,82
	10-20	1,50	23,04
	20-30	0,95	33,38
BVBL15		1,63	25,09

Sites	Horizons	137Cs Bq/kg	Argile %
BVBL17	0-20	1,84	7,52
	20-30	0,94	11,05
	30-40	0,7	16,59

Sites	Horizons	137Cs Bq/kg	Argile %
BVE2	0-10	2,96	7,28
	10-20	1,42	11,31
	20-30	1,29	17,40
	30base	0,61	22,21

Sites	Horizons	137Cs Bq/kg	Argile %
BVBL6	0-5	5,77	23,87
	5-10	2,92	28,26
	10-15	1,08	43,09
	15-20	0,00	40,60
	20-25	0,43	42,01
	25-30	0,00	54,59
	30-40	0,00	47,76
	40-50	0,00	53,48
	50-60	0,00	21,31
	60-70	0,00	65,01

Sites	Horizons	137Cs Bq/kg	Argile %
BVBL8	0-10	3,79	23,32
	10-20	1,33	3,55
	20-30	0,38	41,19
	30-40	0,00	55,51

Sites	Horizons	137Cs Bq/kg	Argile %
BVE5	0-5	2,89	8,39
	5-10	1,90	11,11
	10-15	0,78	16,34
	15-25	0,00	19,93

Table 3 Activités du 137Cs et taux d'argile des sols épais de dépression

Sites	Horizons	137Cs Bq/kg	Argile %
BVBL2	0-20	7,06	14,23
	20-30	2,35	18,96
	30-40	1,20	27,44
	40-50	1,19	29,81
	50-60	0,52	25,14
	60-70	0,00	27,01

Sites	Horizons	137Cs Bq/kg	Argile %
BVBL11	0-10	2,97	27,16
	10-20	4,27	25,40
	20-30	3,81	24,55
	30-40	0,80	31,41
	40-50	0,32	39,72
	50-60	0,00	37,00

Sites	Horizons	137Cs Bq/kg	Argile %
BVBL13	0-20	4,53	17,29
	20-35	3,12	28,05
	35-48	10,21	31,13

Sites	Horizons	137Cs Bq/kg	Argile %
BVE1	0-20	2,70	14,80
	20-30	0,00	7,34
	30-40		7,19
	40-45	0,00	12,60

Sites	Horizons	137Cs Bq/kg	Argile %
BVBL3	0-10	2,85	17,83
	10-20	3,57	25,84
	20-30	4,96	18,99
	30-40	2,05	26,33

Sites	Horizons	137Cs Bq/kg	Argile %
BVBL4	0-10	6,20	25,09
	10-20	10,18	49,87
	20-30	2,10	35,06
	30-40	0,91	36,53
BVBL16		1,55	24,64
BVBL7		0,52	41,19

IV. RESULTATS

Le sous bassin versant de Bélékoni est couvert par trois séries de sols suivant l'unité taxonomique (la série) et la position géomorphologique : les sols peu épais sur cuirasse, les sols épais de long glacis et les sols épais de dépression. Les échantillons prélevés ont servi d'analyse physico-chimique : l'argile par la méthode internationale et le ^{137}Cs par la spectrométrie gamma. Les résultats obtenus sont portés aux tableaux 1, 2 et 3.

L'activité du ^{137}Cs ne montre pas une tendance directe avec le taux d'argile sur les sols peu épais sur cuirasse (Table1).

En aucun site, l'évolution de la quantité de ^{137}Cs n'est proportionnelle à la quantité d'argile obtenu depuis les horizons supérieurs jusqu'aux horizons de profondeur (Table2).

L'étude comparative des résultats au niveau des dépressions montre que les valeurs de l'activité du ^{137}Cs n'ont aucun rapport logique avec les taux d'argile obtenus (Table3).

V. CONCLUSION : Relations ^{137}Cs et argile

Les teneurs en argile et en ^{137}Cs ne sont pas corrélées ($r^2 = 0,02$) comme l'indique la figure3. Cela confirme les résultats de ([5] ; [6] ;[7]). Selon [5], le ^{137}Cs est retenu dans le sol par un petit nombre de sites très sélectifs. [6] ; [7] et [18] ont montré que la texture du sol a une importance négligeable et lorsque la matière organique est responsable d'une importante fraction de la capacité d'échange du sol, l'absorption du ^{137}Cs sur les argiles peut être réduite. Cependant, la minéralogie des argiles donne une fixation très variable pour le ^{137}Cs . Selon ([19] ; [20] ; [21] ; [22] et [18]), l'Illite fixe plus le ^{137}Cs que les smectites (montmorillonite), ces dernières plus que les vermiculites et la kaolinite fixe peu le ^{137}Cs .

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée en partie dans le programme de mobilité franco-malienne dans son action d'appui à l'enseignement supérieur et dans le programme CORUS.

Nous tenons à remercier tout le personnel du Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) à Gif sur Yvette en France pour les analyses, la Direction Nationale de l'Hydraulique du Mali pour le carottier et les populations de Bélékoni pour leur disponibilité et leur soutien. Nos remerciements vont également à l'endroit du personnel du Laboratoire Physique du Sol à l'IPR/IFRA de Katibougou pour leur inestimable appui dans l'analyse de la granulométrie.

REFERENCES

[1] Riou G. (1990). L'eau et les sols dans les géosystèmes tropicaux. Systèmes d'érosion hydrique. Ed. Masson. *Collection géographie* 232 P.
 [2] Casenave C., Valentin C. (1989). *Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration*. Editions ORSTOM, Paris, 229 p

[3] Wischmeier W.H. et Smith D.D. (1965) – Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains, *Agricultural Handbook*, U.S.D.A. – S.E.A., Washington DC, 282; 47
 [4] Roose E., De Noni, G. (1998). *Apport de la recherche à la lutte antiérosive*. Bilan mitigé et nouvelle approche. *Etude et gestion des sols*, 5, 3, 181-194.
 [5] Cremers A., Elsen A., De Preter P. et Maes A (1988) – Quantificative analysis of radiocaesium retention in soils, *Nature*, 335, 247-249.
 [6] Squire H. (1966) – Behaviour of ^{137}Cs in soil and pastures : a long term experiment, *Radiation Botany*, 6, 413-423.
 [7] Baeza A., Del Rio M., Jimenez A., Miro C. et Paniagua J. (1995) – Relative sorption of ^{137}Cs and ^{90}Sr in soil: influence of particle size, organic matter content and pH, *Radiochimica Acta*, 68, 135-140.
 [8] Ritchie J.C., Mc Henry J.R., 1990. Application of Radioactive Fallout Caesium-137 for measuring Soil Erosion and Sediment Accumulation Rates and patterns : *Areview. Jour. Environ. Qual.*, 19 : 215-233.
 [9] Roose E. (1994). Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin Pédologique de la FAO*, 70 : 420.
 [10] Diallo D. (2000). *Erosion des sols en zone soudanienne du Mali. Transfert des matériaux érodés dans le bassin versant de Djitiko (Haut Niger)*. Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier de Grenoble : 202 p
 [11] McHenry, J.R. & Ritchie, J.C. (1977) Estimating field erosion losses from fallout caesium-137 measurements. In: *Erosion and Solid Matter Transport in Inland Waters (Proc. Paris Symp. July 1977)* 26-33. IAHS Publ. no. 122.
 [12] Ritchie J.C., Mc Henry J.R., 1990. Application of Radioactive Fallout Caesium-137 for measuring Soil Erosion and Sediment Accumulation Rates and patterns : *Areview. Jour. Environ. Qual.*, 19 : 215-233.
 [13] Zouagui A., M. Benmansour M., N. Amenzou N., A. Nouira A., Sabir M., H. Benjelloun H., Marah H., Benkada A. (2012). Application de la technique de ^{137}Cs à l'estimation de l'érosion hydrique dans le bassin versant de Moulay Bouchta, *Rif occidental, Maroc, Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* p:53-58
 [14] BENGALY Aboubakar , (2009). « Erosion des sols et sédimentation dans le bassin versant de Bélékoni en zone soudanienne du Mali » Thèse doctorat, Institut Supérieur de Formation et de Recherche Appliquée (ISFRA), Université de Bamako 120 p.
 [15] Wallbrink P.J. et Murray A.S. (1993)- Use of fallout radionuclides as indicators of erosion processes, *Hydrological Processes*, 7, 297-304.
 [16] Baskaran M., Coleman C.H. et Santschi P.H. (1993)- Atmospheric depositional fluxes of ^{7}Be and ^{210}Pb at Galveston and College Station, Texas, *Journal of Geophysical Research*, 98, 20555-20571.

- [17] Bonté P. (1996) – Radioactivité et Science de la Terre, *Clefs C.E.A.*, 34, 56-62.
- [18] Maes E., Iserentant A., Herbauts J. et Delvaux B. (1999) – Influence of the nature of clay minerals on the fixation of radiocaesium traces in an acid brown earth-podzol weathering sequence, *European Journal of Soil Science*, 50, 117-125.
- [19] Schulz R.K., Overstreet R. et Barshad I. (1960) – on the soil chemistry of Caesium-137, *Soil Science*, 89, 16-27.
- [20] Tamura T. Et Jacobs D.G. (1960) – Structural implications in Caesium sorption, *Health Physics*, 2, 391-398.
- [21] Evans D.W., Alberts J.J. et Clark III R.A. (1983) – Reversible ion-exchange fixation of Caesium-137 leading to mobilization from reservoir sediments, *Geochimica Cosmochimica Acta*, 47, 1041-1049.
- [22] Kirk G.J.D. et Staunton S. (1989) – on prediction the fate of radioactive Caesium in soil beneath grassland, *Journal of Soil Science*, 40, 71-84.