

BULLETIN No 14 / 1987

SOMMAIRE:

1. Georges R. Demathieu & Erwin M. Muller

**L'ichnofaune de petits reptiles du Buntsandstein Moyen de
Britten (Sarre)**

2. J.J.H.M. Duijsings

**Runoff and sediment output from a Luxembourg Keuper
catchment**

BULLETIN No 14 / 1987

SOMMAIRE:

1. Georges R. Demathieu & Erwin M. Muller

L'ichnofaune de petits reptiles du Buntsandstein Moyen de Britten (Sarre)

2. J.J.H.M. Duijsings

Runoff and sediment output from a Luxembourg Keuper catchment

L'ICHOFAUNE DE PETITS REPTILES DU BUNTSANDSTEIN MOYEN DE BRITTEN (Sarre)

par **Georges R. DEMATHIEU***, Dijon
et **Erwin M. MÜLLER****, Sarrebrück

avec 11 figures et 4 tableaux

ZUSAMMENFASSUNG

Aus dem Mittleren Buntsandstein des Saarlandes wurden von Demathieu und Müller (1978) erstmals Fährten von Kleinreptilien beschrieben. Über neue Funde aus einem höheren Fossilniveau wird nachfolgend berichtet.

RÉSUMÉ

Des traces de petits reptiles provenant du Buntsandstein moyen de la Sarre ont été décrites par Demathieu et Müller (1978). Un niveau situé plus haut que le précédent a livré de nouvelles empreintes de pas étudiées ici.

1. INTRODUCTION

Au prolongement sud-ouest du Hunsrück, les quartzites du Taunus sont recouverts par les sédiments postsaaliqes, sur lesquels s'est déposé le Buntsandstein moyen ainsi que, partiellement, sur les quartzites.

La situation géologique générale, de même que la situation des découvertes dans la région, ont déjà été exposées dans un premier article (Demathieu et Müller, 1978).

* Dr Georges R. Demathieu, Institut des Sciences de la Terre, L.A. C.N.R.S. n° 157, 21100 Dijon, France.

** Dr Erwin M. Müller, Ltd. Geologiedirektor, Geologisches Landesamt des Saarlandes, 6600 Saarbrücken.

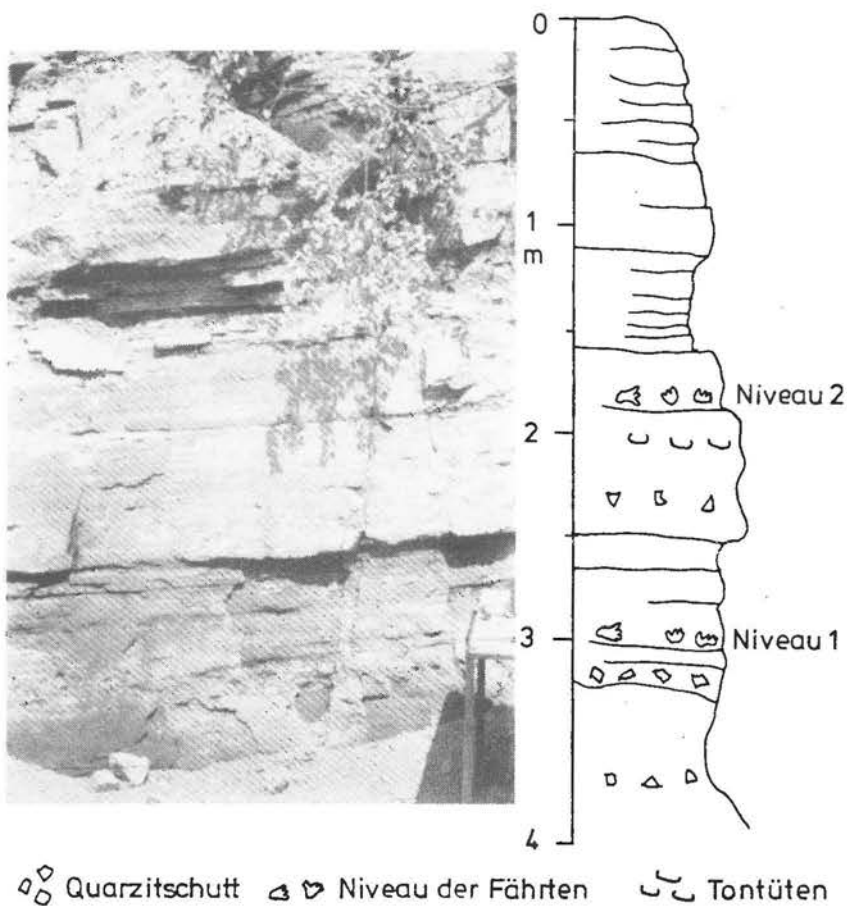


Fig. 1 – Coupe du Buntsandstein moyen dans la région de l'origine des empreintes.

Abb. 1 – Profil des Mittleren Buntsandsteins im Bereich der Fährten-Vorkommen.

Les nouvelles traces ont été trouvées dans un niveau plus élevé, situé à environ 120 cm au-dessus du premier (Fig. 1). Les caractères lithologiques des grès dans ce domaine ne montrent pas de changement de faciès ou de particularité distinctive, de sorte que l'on peut considérer qu'il s'agit du même environnement sédimentaire.

2. LES EMPREINTES DE PAS DE REPTILES

Les nouvelles découvertes apportent 2 types de pistes nouvelles. Deux petites espèces animales dont l'une devait être très agile comme le mon-

trera l'étude de sa piste, l'autre de taille un peu plus grande. A cela s'ajoute une série d'empreintes en spirale malheureusement incomplètes.

Groupe Lacertoïde NOPCSA 1923

Genre *Rhynchosauroides* (MAIDWELL 1911)

Rhynchosauroides brittensis n. sp.

Type: Le couple pied-main 14 de la piste I.

Hypodigme: L'ensemble des traces F 1 à F 22 de la piste I et des voies régulières de la piste II.

Derivatio nominis: de Britten, localité de la Sarre sur le territoire de laquelle sont les gisements.

Diagnose: Très petites empreintes tetra ou pentadactyles.

Le pied s'inscrit dans un losange dont le grand axe forme avec la direction de la marche un angle de 10 à 20°. L'orteil V, très long, rectiligne ou légèrement courbé vers l'extérieur, se distingue nettement de l'ensemble compact des 4 premiers, subparallèles, et forme avec l'axe de la piste un angle peu important, 28° en moyenne. L'axe du pied est parallèle à l'axe de la marche ou dirigé vers celui-ci.

La main pentadactyle, beaucoup plus petite que le pied, est souvent en arrière de ce dernier mais proche et peut lui être superposée partiellement.

La piste est assez large: le rapport de la longueur de l'enjambée à la largeur de la voie est 1,3. (Abb. 2)

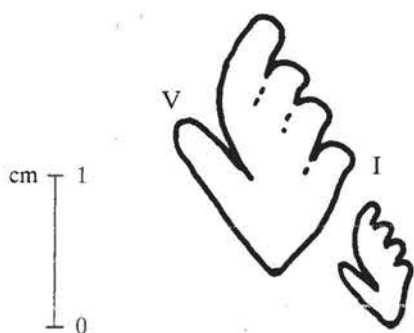


Fig. 2 — *Rhynchosauroides brittensis* n. sp.

Dessin de synthèse d'un couple pied-main d'après le pied n° 14 et la main n° 2 de la piste 1.

Abb. 2 — *Rhynchosauroides brittensis*

Synthetische Skizze des Hand-Fuß-Abstandes nach dem Fuß Nr. 14 und der Hand Nr. 2 der Fährte 1.



Fig. 3 – *Rhynchosauroides brittensis*
Vue partielle de la piste 1, du pied 5 au pied 9.

Abb. 3 – *Rhynchosauroides brittensis*
Fährte 1 teilweise, vom F 5 bis zu F 9.

Etude descriptive

La morphologie de ces traces n'a pas été aisée à établir: les impressions de détails et les rayons ne sont pas individualisés mais les contours cependant sont nets et réguliers. Les caractères décrits dans la diagnose résultent d'une synthèse d'observations faites sur les autopodes.

Le pied: Seul l'orteil V est toujours visible, séparé de la masse des 4 premiers. Ceux-ci sont réunis dans un même ensemble, d'où généralement on ne peut pas les séparer les uns des autres. L'empreinte F 14 permet de les individualiser quelque peu. La figure 2 faite à partir de cette trace est en réalité composite et résulte de l'observation d'un certain nombre d'autres où les caractères les plus marquants et les plus fréquents ont été retenus. Les griffes, quand elles sont visibles, sont courtes, plus ou moins coniques. Les coussinets ne sont pas visibles. Les longueurs des orteils n'ont pu être mesurées, cependant il y a croissance faible des longueurs du I au IV avec des différences très peu marquées pour les orteils II et IV, ce dernier apparaissant parfois plus court que le III (Abb. 3). La ligne des coussinets digitométatarsiens semble oblique par rapport à l'axe de la piste et l'angle formé est égal, ou à peu près, à celui que forme avec cet axe l'orteil V. L'animal montre une tendance à marcher les pieds «en dedans». (varus)

Le tableau 1 réunit les mesures qu'il était possible de prendre sans risque d'erreurs trop grandes et le tableau 2 une analyse statistique élémentaire sur la validité de ces mesures. La variabilité et le test de Cramer nous montrent que toutes ces mesures sont homogènes et donnent une bonne précision pour des comparaisons ultérieures, sauf l'angle du 5e orteil avec la direction de la marche; bien que le test de Cramer soit excellent pour cette mesure, la grande variabilité (20%) ne permet pas d'en faire un critère valable.

La main: Sa position par rapport au pied est très variable et le plus souvent elle joute ce dernier à l'arrière, vers l'intérieur de la piste, et elle n'en est jamais éloignée. Il arrive même que le pied ait écrasé sa trace F 12, F 17, F 20). Pentadactyle comme le pied, ici aussi les 4 premiers doigts ne sont pas séparables et le 5e n'est pas toujours visible. Sa facture est typiquement rhynchosauroïde.

La piste: En locomotion normale, la périodicité de la démarche est remarquable (Tab. 2). La variabilité du pas, 4,1% est inférieure à celle de l'enjambée (6,3) ce qui est assez rare; c'est le contraire qui ordinairement s'observe. L'angle du pas est assez faible (88°). Le rapport Enjambée/Largeur de la voie est assez petit (1,33) mais celui de l'enjambée à la longueur du pied est relativement grand (4,2). Ceci dénote un animal aux membres transversaux (le fémur se meut dans un plan à peu près horizontal par rapport au plan sagittal) et à la démarche digitigrade et assez lente. Le rapport Enjambée/Longueur du pied montre qu'il n'y a pas prégression de la main par rapport au pied. (Abb. 4 et 5)

Les deux pistes étudiées font apparaître que la belle régularité de la démarche de l'animal est interrompue parfois: il y a d'abord 4 petits pas très serrés, où les mains ont des situations très variables par rapport aux pieds,

Tableau I: Rhynchosauroides brittensis
Piste 1: Données

Pieds	Autopodes				Piste			
	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Angle axe-orteil V (°)	Longueur/ Largeur	Pas (mm)	Enjambée (mm)	Angle du pas (°)	Largeur de la voie (mm)
P 1	18	13	24	1,38	51			
P 5	19	13	23	1,46	50	70	95	54
P 6	18	11	30	1,64	46	70	86	
P 8	17	15	35	1,13	50	70	80	
P 10	16	12	23	1,33	52	72	90	
P 11	17	13	20	1,31	46	68	90	55
P 13	16	12	32	1,33	52	71	85	
P 14	16	11	35	1,45	49	77	95	
P 15	17	12	31	1,42	53	71	97	54
P 18	18	13	25	1,38	53	75	85	
P 22	17	12	37	1,42	55	79	95	53

Tableau II: Rhynchosauroides brittensis
Paramètres des distributions de fréquence des mesures des caractères des autopodes

Caractères	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Variabilité (%)	Intervalle de confiance pour la moyenne 95%		Test de Cramer		
							Asymétrie	Variable -test	Probabilité de dépasser la variable (%)
Longueur	11	17,2 (mm)	0,9816	5,7	16,5	17,9	0,346	0,52	60
Largeur	11	12,5 (mm)	1,128	9,1	11,6	13,3	0,903	1,37	17
Angle: V - axe	11	28,6 (°)	5,853	20,4	24,7	32,6	- 0,0026	0,004	99,8
Longeur/Largeur	11	1,39	0,1227	8,8	1,30	1,47	- 0,072	0,11	99
Enjambée/Largeur voie	4	1,33	0,1093	8,2	1,16	1,51	/	/	/
Pas	16	51,1 (mm)	2,094	4,1	50,0	52,3	- 0,637	1,13	26
Enjambée	12	72,2 (mm)	4,529	6,3	69,2	75,1	- 0,145	0,23	82
Angle du pas	16	88,3 (°)	5,288	6,0	85,4	91,2	- 0,268	0,48	63
Largeur de la voie	4	54 (mm)	0,8165	1,5	52,7	55,3	/	/	/
Enjambée/Longeur du pied	10	4,24	0,3518	8,3	3,99	4,50	0,124	0,18	86

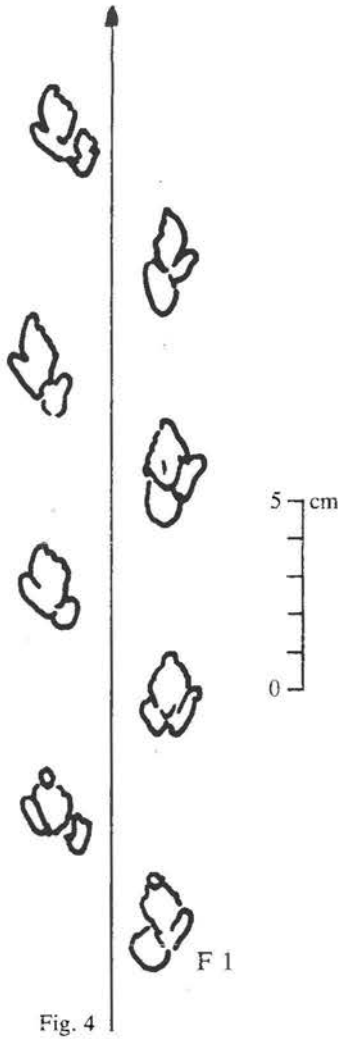


Fig. 4

Fig. 4 – *Rhynchosauroides brittensis*
Schéma de la piste 1,
du pied 1 au pied 8.

Abb. 4 – *Rhynchosauroides brittensis*
Fährte 1, vom F 1 bis zu F 8 (Skizze).



Fig. 5

Fig. 5 – *Rhynchosauroides brittensis*
Piste 1: au début de la piste, noter une grande irrégularité dans les pas.

Abb. 5 – *Rhynchosauroides brittensis*
Fährte 1: Am Anfang der Fährte kann man die Unregelmäßigkeit der Eindrücke bemerken.

puis les pas s'allongent pour reprendre leur périodicité normale. Au début de la reprise de la démarche normale, à droite sur la piste 1, à gauche sur la piste 2 (Abb. 6), on observe une petite trace triangulaire à rayons peu divergents. Ces traces ont-elles un rapport avec celles de pas? Il n'est pas possible de le dire, mais on peut penser que la cause de la perturbation dans la démarche de l'animal est peut-être due à la capture, ou à la tentative de capture, d'un insecte en vie, en effet, ce ne semble pas une trace d'arrêt ou de ralentissement puisque les empreintes des pieds sont plus petites, marquant par là un appui du pied surélevé témoignant plus probablement une extension des membres postérieurs et une élévation du tronc dans un petit saut.

On peut rapporter à cette espèce la piste partielle (Abb. 7) où l'animal a tourné puis très vraisemblablement effectué quelques bonds.

Essai d'attribution paléontologique

Ces empreintes sont mal imprimées et très peu de détails ont été conservés. L'interprétation que nous donnons reste très approchée et comporte bien des hypothèses. Dans ce qui suit et qui se rapporte surtout à la piste dont les caractères sont clairs, il sera tenu compte de ces observations.

L'hétéropodie très nette (la main est environ les 2/5 du pied), la position du 5e orteil montre que l'auteur de ces traces était un Reptile. La largeur des voies, importante par rapport à l'enjambée, indique que sa locomotion manquait d'aisance. Cependant l'aspect de la piste la rapproche plus de celle d'un Amphibien actuel que de celle d'un lézard. La brièveté de la longueur du pied traduit des membres relativement courts. Le tronc devait mesurer (longueur gléno-acétabulaire) environ 4 à 5 cm, en admettant le pas alterné sur 3 supports (Demathieu 1970, p. 22 et 28). Les membres transversaux peuvent être estimés à ca. 6 cm pour les postérieurs et ca. 5 cm pour les antérieurs (op. cit. p. 30). C'était donc un tout petit reptile, assez massif pour sa taille, à rapprocher des Rhynchocéphales par la brièveté de ses doigts plus que des Protorosauriens qui possédaient des rayons plus fins et plus longs. La queue devait être courte, elle n'a pas marqué bien que le corps de ce petit animal ne devait pas être éloigné du sol.

Saarichnium aenigmaticum

Genus *Saarichnium* n.g.

Espèce type: Saarichnium aenigmaticum.

Diagnose: Empreintes tetra ou pentadactyles présentant une séparation nette entre les deux premiers et les derniers orteils. Ceux-ci sont courbes avec concavité tournée vers l'extérieur. L'angle formé avec la direction de la piste est supérieur à 40°. La main est située derrière le pied, très près de celui-ci. La piste est large.

Saarichnium aenigmaticum n. sp.

Type: Le 3e couple de la piste 3.

Hypodigme: Deux pistes de plus de 10 couples chacune.

Diagnose: Petites empreintes au pied tétradactyle. La séparation, profonde, est située entre les deux premiers et les autres orteils. La concavité



Fig. 6

Fig. 6 – *Rhynchosauroides brittensis*
 Piste 2: Au milieu de la piste la régularité des pas est brisée.

Abb. 6 – *Rhynchosauroides brittensis*
 Fährte 2: In der Mitte dieser Fährte ist die Regelmäßigkeit der Ein-
 drücke gestört.



Fig. 7

Fig. 7 – *Rhynchosauroides brittensis?*
 La piste prend l'aspect d'une spirale.

Abb. 7 – *Rhynchosauroides brittensis (?)*
 Die Fährte scheint spiralförmig.

de leur courbure est à l'extérieur et à l'arrière. L'extrémité du dernier orteil est dirigée vers l'arrière et est pointue. Les autres griffes sont petites, de forme arrondie. Le pied forme avec la direction de la piste un angle de 50 à 60°.

La main est plus petite que le pied; son axe a une direction variable mais le plus souvent dirigée vers l'intérieur de la piste. Sa position, par rapport au pied est différente selon les côtés, droit ou gauche.

La piste est large, l'angle du pas de l'ordre de 60° et le rapport Enjambée/Largeur de la voie est sensiblement égal à 1. (Abb. 8)

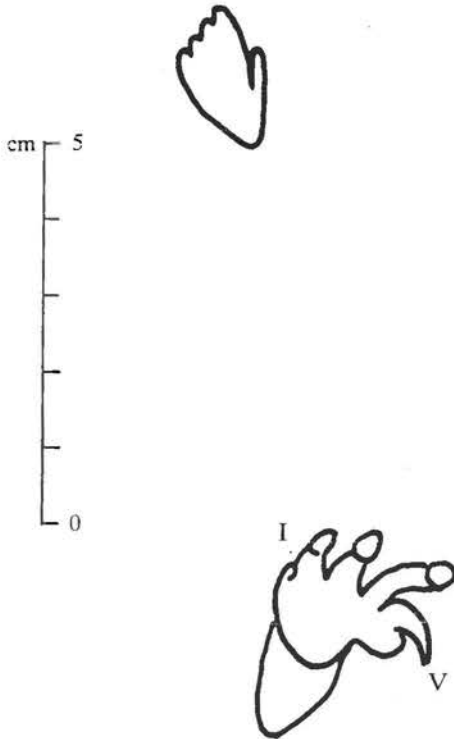


Fig. 8 – *Saarichnium aenigmaticum* n. sp.
Dessin de synthèse d'un couple pied-main d'après le pied n° 2 de la piste 3 et la main n° 4 de la piste 4.

Abb. 8 – *Saarichnium aenigmaticum*
Synthetische Zeichnung des Hand-Fuß-Abstandes nach dem Fuß Nr. 2 der Fährte 3 und der Hand Nr. 9 der Fährte 4.



Fig. 9 – *Saarichnium aenigmaticum*
Piste 3 partielle, du couple 2 au couple 5.

Abb. 9 – *Saarichnium aenigmaticum*
Fährte 3, vom F 2 bis zu F 5.

Tableau III: Saarichnium aenigmaticum
Piste 3: Données

Pieds- Mains	Pieds		Mains		Piste					
	Longeur (mm)	Largeur (mm)	Longeur (mm)	Largeur (mm)	Pas (mm)		Enjambée (mm)	Angle du pas (pied) (°)	Angle du pas (main) (°)	Largeur de la voie (mm)
					Pied	Main				
1	29	24	/	/					102	
2	31	25	26	18	88	65	105	64	103	102
3	29	30	23	18	91	64	109	68	96	/
4	31	28	24	18	91	66	105	68	90	/
5	26	30	20	17	93	66	108	70	98	/
6	26	28	26	17	90	67	102	63	93	102
7	22	29	21	16	88	68	103	67	110	/
8	28	28	24	14	86	65	102	64	108	/
9	25	30	18	14	87	69	102	62	106	/
10	27	26	24	15	88	66	107	64	98	/
11	25	27	21	15	89	69	105	65	109	107
12	29	26	25	15	86	67				
13			26	16		64				

Tableau IV: Saarichnium aenigmaticum
Paramètres des distributions de fréquence des mesures des caractères des autopodes

Caractères	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Variabilité (%)	Intervalle de confiance pour la moyenne 95%		Test de Cramer		
							Asymétrie	Variable -test	Probabilité de dépasser la variable (%)
Longeur du pied	12	27,3 (mm)	2,674	9,8	25,6	29,1	- 0,394	0,62	54
Largeur du pied	12	27,6 (mm)	2,021	7,3	26,3	28,9	- 0,344	0,54	59
Longeur de la main	12	23,2 (mm)	2,623	11,3	21,5	24,9	- 0,689	1,08	28
Largeur de la main	12	16,1 (mm)	1,505	9,4	15,1	17,1	0,024	0,04	97
Pas du pied	11	88,8 (mm)	2,228	2,5	87,3	90,4	0,477	0,72	47
Pas de la main	12	66,3 (mm)	1,723	2,6	65,1	67,5	0,275	0,43	67
Enjambée	10	104,8 (mm)	2,573	2,5	102	107	0,374	0,54	59
Angle du pas (pied)	10	65,5 (°)	2,593	4,0	63,6	67,4	0,454	0,66	51
Angle de pas (main)	11	101,2 (°)	6,720	6,6	96	106	- 0,222	0,34	73
Largeur de la voie	3	104 (mm)							
Enjambée/Largeur de la voie	3	1,0							

Etude descriptive

La diagnose qui vient d'être formulée tient compte essentiellement des empreintes les mieux formées mais il faut reconnaître, ces traces étant de facture inhabituelle, que l'expression «les mieux conservées» contient une part de subjectivité. La plupart de ces traces, surtout celles du côté gauche, sont de contour rectangulaire avec une échancrure vers le milieu et où, à première vue, il semble difficile de distinguer l'avant de l'arrière. Ce sont surtout les pieds F2, F4, F6, F8 de la piste 3 qui ont contribué à établir la diagnose.

Le pied: La forme de l'autopode postérieur est très particulière. Nous avons supposé que les orteils II, III, IV et V étaient seuls présents, mais cela n'est point acquis. L'orteil IV a une morphologie très variable et semble assez épais. Sa griffe, quand elle est présente, est retournée vers l'arrière, l'orteil IV est le plus long, le II plus court et le I à peine visible. A l'arrière des orteils I et II un «talon», plus ou moins long et mince, apparaît surtout dans les traces du côté droit (gauche sur photos) (Abb. 9).

La main: Les mieux conservées sont celles associées à F 12, piste 3 et F 9, piste 4. Elles semblent être pentadactyles et avoir une facture lacertoïde. Leur axe est tourné légèrement (de 10 à 20°) vers l'intérieur de la piste pour celles du côté droit et subparallèles à la piste pour celles du côté gauche. De même, leur position par rapport au pied varie avec le côté.

Le tableau 3 réunit les mesures prises sur la piste 3. La longueur du pied est prise parallèlement à l'axe de la piste et la largeur perpendiculairement.

Le tableau 4 est une statistique des mesures prises. Comme on peut le constater, les variabilités restent au-dessous de 10%, sauf une, et les probabilités de dépasser la variable test sont au-dessus de 20%. Ceci témoigne d'une grande homogénéité de ces traces malgré le peu de détails qu'elles montrent, et en ce qui concerne la locomotion une très grande régularité. Les variabilités pour les caractères de la piste sont inférieures à 4% et les probabilités au-dessus de 40%, paramètres qui sont rarement aussi bons.

La piste: Elle est très large, le rapport Enjambée/Largeur étant pratiquement égal à 1, mais cette largeur est due en grande partie au fait que le pied forme avec la direction de la piste un angle très grand. La main est située en arrière du pied mais proche de celui-ci. Etant donné la largeur de la piste, on pourrait penser qu'en fait le pied correspondant à la main dans la même phase de marche est celui situé en arrière, assez loin de l'autopode antérieur mais des traces de frottement des doigts sur le sable des mains F 1 et F 2, et qui évitent le pied correspondant, montrent bien que ce sont les autopodes les plus proches qui sont dans la même phase de locomotion, ce qui justifie la diagnose (Abb. 10 et 11).

Dans les deux pistes on remarque que la position des mains, côté gauche où elles jouxtent le pied à l'arrière, est différente de celle du côté droit où ces autopodes sont aussi en arrière mais vers l'intérieur de la piste par rapport au pied.

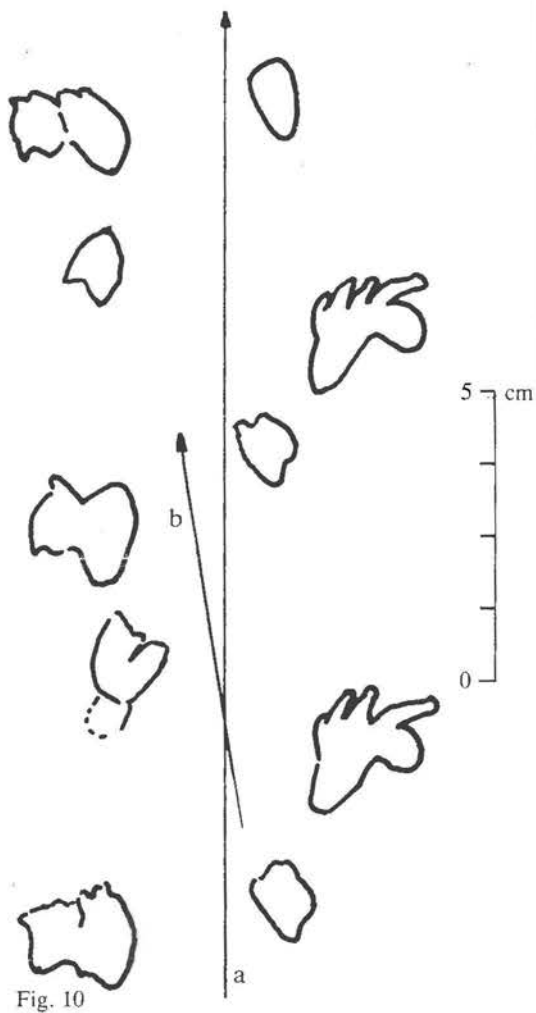


Fig. 10

Fig. 10 – *Saarichnium aenigmaticum*
Schéma d'une partie de la piste 3:
a – l'axe de la piste;
b – la direction de l'axe du corps
de l'animal.

Abb. 10 – *Saarichnium aenigmaticum*
Fährte 3 (teilweise)
a – die Mittellinie der Fährte
b – die Richtung der Körperachse des Tieres.



Fig. 11

Fig. 11 – *Saarichnium aenigmaticum*
Piste 3: cette piste n'est pas symétrique.

Abb. 11 – *Saarichnium aenigmaticum*
Fährte 3: Hier gibt es keine Axialsymmetrie.

Essai d'attribution paléontologique

Les incertitudes qui demeurent sur les détails des empreintes rendent difficile un tel projet. Toutefois on peut remarquer que l'auteur de ces traces possédait.

– Un pied nettement plus grand que la main, plus tourné largement vers l'extérieur;

– Une main dirigée vers l'intérieur de la piste ou parallèlement à elle, située derrière, mais irrégulièrement par rapport au pied.

Ces caractères, joints à ceux de la piste, témoignent d'un animal possédant de longs membres postérieurs et des membres antérieurs beaucoup plus courts. Ceux-ci étaient plus ou moins gênés dans leur déplacement par les premiers ce qui expliquerait leur position différente à gauche et à droite. Il en résulte que l'axe longitudinal du tronc n'était pas parallèle à l'axe de la piste, fait observable à l'heure actuelle dans la locomotion de certains chiens. L'auteur de ces traces était un Reptile sauropsidé probablement, en raison de l'hétéropodie très marquée. La forme assez floue du pied serait due, pensons-nous, à la présence de palmure entre les orteils I et II d'une part, II et IV d'autre part.

Sa taille est petite: la distance gléno-acétabulaire étant de l'ordre de 7 à 8 cm, les membres postérieurs de 8 à 9 cm et les antérieurs de 6 à 7 cm.

Il s'agit donc d'un animal aux pieds longs et larges. La courbure des rayons, à la concavité tournée vers l'arrière, est assez inhabituelle dans les traces de reptiles. Les mains sont petites et de facture lacertoïde.

Des caractères de détails manquent pour essayer d'inclure l'auteur de ces traces avec quelque précision dans la classification. La facture originale et rare de ses autopodes postérieurs ne rend pas cette tâche plus facile mais montre une certaine spécialisation qui a pu se produire dans différents groupes Sauropterygiens (Nothosauria) ou même Lépidosauriens. La petitesse de sa taille plaide en faveur de cette attribution mais c'est seulement un argument.

Conclusion

Le faunule qui vient d'être décrite comprend de petits Reptiles. Le nombre d'animaux représentés est faible: 1 au moins, 2 au plus pour chaque espèce. La qualité des empreintes et l'épaisseur des reliefs montrent que les traces ont été faites pratiquement en même temps, le sédiment étant alors dans le même état physique. Dans l'étude précédente (Demathieu et Müller, 1978) l'espèce *Procolophonichnium jageri*, Cotylosaurien ou petit Thérapside comportait un très grand nombre d'individus, peut-être en migration ou vivant dans une niche écologique en bordure d'un bassin, niche qui présentait pour ceux qui la peuplaient un caractère attractif puisqu'ils étaient nombreux. Ici, le peuplement paraît assez faible: la présence d'un animal très probablement aquatique montre que les lieux où gîtait ce Reptile était proche d'étendues d'eau où il devait passer la plus grande partie de sa vie.

En résumé, les carrières de Britten ont livré 3 espèces représentant 3 genres ichnologiques distincts. Le genre *Procolophonichnium* est connu ailleurs en Allemagne dans le Buntsandstein, en France dans le Trias moyen mais il n'y est que faiblement représenté par des espèces non nommées ou mal définies et en Hollande dans le Wellenkalk (en cours d'étude).

Le genre *Rhynchosauroides*, lui, est connu du Buntsandstein au Keuper par de nombreuses espèces, mais celle présentée dans cette note est originale par la facture de la forme du pied, la disposition des empreintes et leur caractère archaïque.

Le nouveau genre apporte une novation en Ichnologie: la présence d'un animal adapté à la natation avec un autopode postérieur spécialisé qui annonce peut-être, déjà les futures palettes natatoires des Sauroptérygiens du Trias moyen et supérieur.

Si les deux premières espèces témoignent encore de Reptiles plus communs au Permien qu'au Trias, la troisième montre – si l'interprétation qui est faite de ces empreintes est correcte – des caractères plus adaptatifs aux milieux aquatiques.

Les deux niveaux à empreintes témoignent de milieux de sédimentation semblables, à faible énergie. La continuité de la présence de petits reptiles dans le même locus semble montrer une stabilité de la structure des biotopes dans le temps: petites niches écologiques en bordures d'étendues d'eaux calmes à l'abri des passages des reptiles plus grands.

Ces témoignages sont rares au Trias mais ils permettent, grâce aux ichnofaunes variées de microvertébrés (Demathieu 1977, Demathieu et Saiz de Omenaca 1978, 1980) d'enrichir nos connaissances sur le monde des vertébrés inférieurs pendant cette période.

SCHRIFTUM

- DEMATHIEU, G.: Méthodes d'études des empreintes de pas de Vertébrés in «Les empreintes de pas de Vertébrés de la bordure N.E. du Massif Central». Cahiers de Paléontologie, éd. C.N.R.S. Paris, 211 S., 76 Abb., 83 Tab., 8 Taf., Paris 1980.
- Des microvertébrés dans le Trias moyen du Lyonnais et du Mâconnais révélés par leurs empreintes; signification paléoécologique. – Géobios, 10 (3), S. 351-367, 4 Abb., 7 Tab., 2 Taf., Lyon 1977.
- DEMATHIEU, G. & MÜLLER, E.: Fahrten von Kleinreptilien im Mittleren Buntsandstein bei Britten (Saarland). – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F. 60, S. 155-166, 5 Abb., Stuttgart 1978.
- DEMATHIEU, G. & SAIZ de OMENACA, J.: La faune ichnologique du Trias de Puentenans dans son environnement paléogéographique (Santander, Espagne). – Bull. S.G.F., XVIII (7), n° 5, S. 1251-1256, Paris 1986.
- – : Características y significado del *Rhynchosauroides extraneus* n. sp., *Rh. simulans* n. sp. y otras nuevas huellas del Triasico de Cantabria. – Boll. R. Soc. Espanola Hist. Nat. (Geol), 77, S. 91-99, 3 Abb., 2 Tab., Madrid 1979.
- HAUBOLD, H.: Ichnia Amphibiorum et Reptiliorum fossilium. – Handb. Paläoherp., 18, 124 S., Stuttgart (Fischer) 1970.
- MAIDWELL, F.T.: Notes on footprints from the Keuper of Runcorn Hill. – Proc. Liverpool geol. Soc., 11 (2), S. 140-152, Liverpool 1911.
- MÜLLER, E.M. & KLINKHAMMER, B.F.: Über die Verbreitung der Kreuznacher Schichten und die Ausbildung der Grenze Oberrotliegendes/Buntsandstein zwischen westlichem Hunsrück und Saarkarbonsattel. – Notizbl. Hess. L.-Amt Bodenforsch., 91, S. 177-196, Wiesbaden 1963.
- NOPCSA, F. v.: Die Familien der Reptilien. – Fort. Geol. Paläont., 2, 210 S., 6 Tab., Berlin 1923.
- ROMER, A.S.: Osteology of the reptiles. – 772 S., 248 Abb., Chicago-London (Univ. of Chicago Press) 1956.
- WILD, R.: *Tanystropheus longobardicus* (Neue Ergebnisse). – Schweiz Pal Abh., die Triasfauna der Tessiner Kalkalpen, XXIII, S. 162, 101 Abb., 20 Taf., Basel 1978.

Fig. 2 – *Rhynchosauroides brittensis* n. sp.
Dessin de synthèse d'un couple pied-main d'après le pied n° 14 et la main n° 2 de la piste 1.

Abb. 2 – *Rhynchosauroides brittensis*
Synthetische Skizze des Hand-Fuß-Abstandes nach dem Fuß Nr. 14 und der Hand Nr. 2 der Fahrte 1.

RUNOFF AND SEDIMENT OUTPUT FROM A LUXEMBOURG KEUPER CATCHMENT

J.J.H.M. DUIJSINGS

Laboratory of Physical Geography and Soil Science University of Amsterdam, Dapperstraat 115, 1093 BS Amsterdam, The Netherlands

ABSTRACT

The output of suspended, dissolved and bed load of a forested catchment in the Keuper region of central Luxembourg is considered as part of a larger program initiated to establish the catchment's sediment budget. Prime attention is being paid to the magnitude of these sediment and solute fluxes in order to obtain information on the absolute and relative magnitude of physical and chemical denudation of the catchment. Considering total output of material, dissolved load accounts for 68%, suspended load for 30% while bedload only contributes 2%. Denudation rates were obtained by converting output rates to original soil volume, however, only after correcting dissolved output for rate of solute input in precipitation and taking into account the major mineral transformations. It then was shown that despite the dominance of material output in solution the chemical denudation rate (0.051 mm surface lowering per year) was "only" about 0.7 times the physical denudation rate of the catchment (0.071 mm.yr⁻¹).

INTRODUCTION

During the last two decades an increased interest has been directed to the use of small instrumented watersheds in hydrological and geomorphological research. Several of such instrumented watersheds have been set up by investigators from the University of Amsterdam in the Luxembourg Keuper area. The investigations have especially concentrated upon the amount and characteristics of colluvial deposits and on the degree to which these may be related to the activity of contemporary erosion processes (Imeson and van Zon, 1980; Hazelhoff et al, 1981; van Hooff and Jungerius, 1984; Poeteray et al., 1984). During recent years special attention has been paid to the study of interrelationships between sediment supply from source areas and sediment yield from the watersheds (Imeson et al., 1984; Imeson and Vis, 1984). In 1985 Duijsings published a closed sediment budget (rate of sediment supply equals rate of sediment output) for one of these watersheds, the Schrondeweilerbaach catchment.

In the present paper attention is focussed on the output of water and sediment (suspended, dissolved and bed load) from this catchment. The results are then used to draw some conclusions on the rates of physical and chemical denudation of the catchment.

THE RESEARCH CATCHMENT

The Schrondweilerbaach catchment is located in central Luxembourg approximately halfway between Ettelbrück and Larochette (figure 1). The

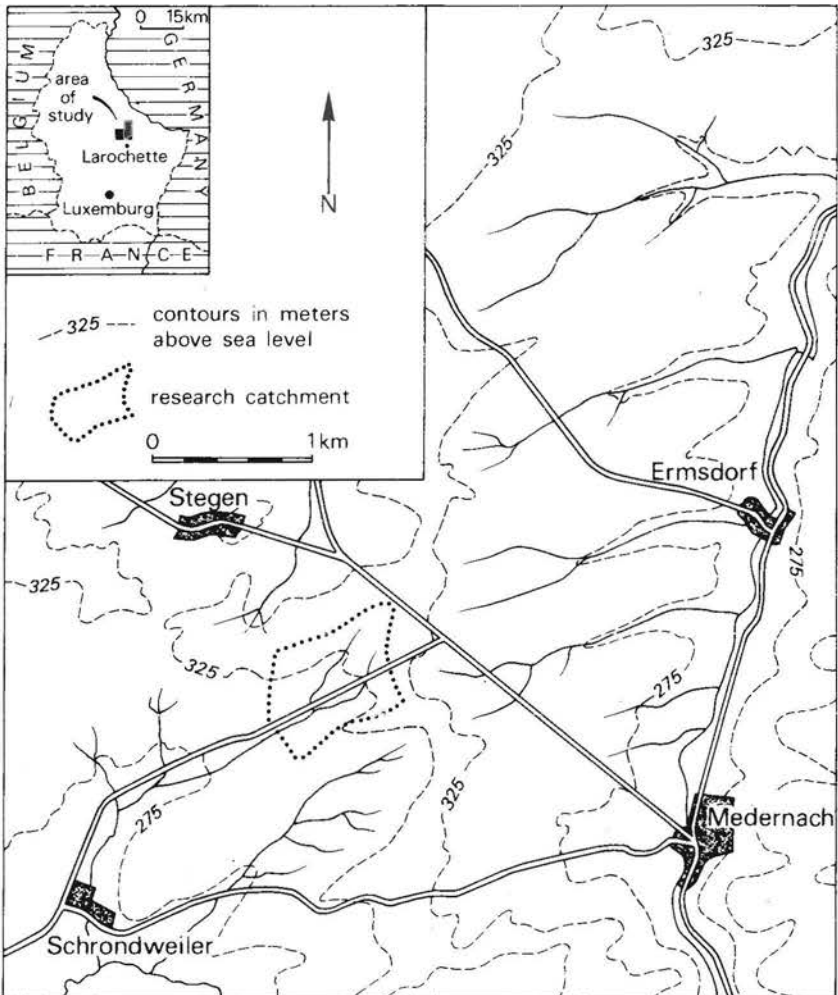


Figure 1. Location of the study area and the research catchment.

total area of the catchment is about 3 km² but in this study the term Schrondweilerbaach catchment is used in a restricted sense; it comprises only the upper, wooded part of the catchment with an area of 60.8 ha.

The lithology of the catchment is dominated by the marls of the Steinmergelkeuper series which are exposed in about 90% of the catchment area. The remaining 10% is occupied by marls, sandstones and conglomerates of the Schilfsandstein and Pseudomorphenkeuper.

The weathering product of the marls has a clay (loam) texture and a strongly aggregated structure. Soils are poorly drained and shallow leading to the development of a perched watertable above the subsoil and to extensive conditions of overland flow during periods with prolonged rainfall or snowmelt. Soil characteristics of the catchment and their implications for runoff generation, however, have been described in detail elsewhere (Imeson and Jungerius, 1977; Bonell et al., 1984; Duijsings, 1985). The forest in the research catchment predominantly consists of oak (*Quercus robur* L), beech (*Fagus sylvatica* L) and hornbeam (*Carpinus betulus* L).

The forest landscape is characterized by deeply incised valleys with meandering streams. The depth and width of the channel incision show a general increase in a downstream direction from respectively 0.5-5 and 1.5-20 m. The gently to moderate sloping valley side slopes bordering the channel incision have a microtopography of indistinct shallow depressions and ridges. During wet weather runoff is generated from the depressions which are connected by poorly defined rills. Many of these rills drain into the network of badly maintained shallow drainage ditches (dug in 1930) superimposed upon the original drainage network (figure 2).

Annual precipitation during the two years of investigations (November 1979 - November 1981) averaged 1050 mm, measured at Ermsdorf. Mean annual temperature is 9.1°C with about 80 days with frost.

FIELD AND LABORATORY MEASUREMENTS

Discharge at the catchment outlet was measured by continuous registration of water level, using a Munro recorder installed behind a 90° V-notch weir. The streamflow data were transformed into runoff volumes by digitizing the water level data using a computer program (Hazelhoff, 1983). For each time interval between two digitized points mean discharge was determined by linear interpolation and the runoff volume was calculated. Daily and four-weekly runoff volumes were subsequently determined by adding the volumes of the relevant time intervals.

Streamwater samples for the determination of suspended sediment and total dissolved solids concentration were collected mainly by regular manual sampling. Thereupon suspended sediment concentrations were obtained by filtering 500 ml watersample through weighed 0.45 µm Millipore filters followed by drying the filters at 70°C and reweighing them. Total dissolved solids concentration (TDS) was determined by transferring a 100 ml watersample into a weighed, nickel tray which was evaporated to

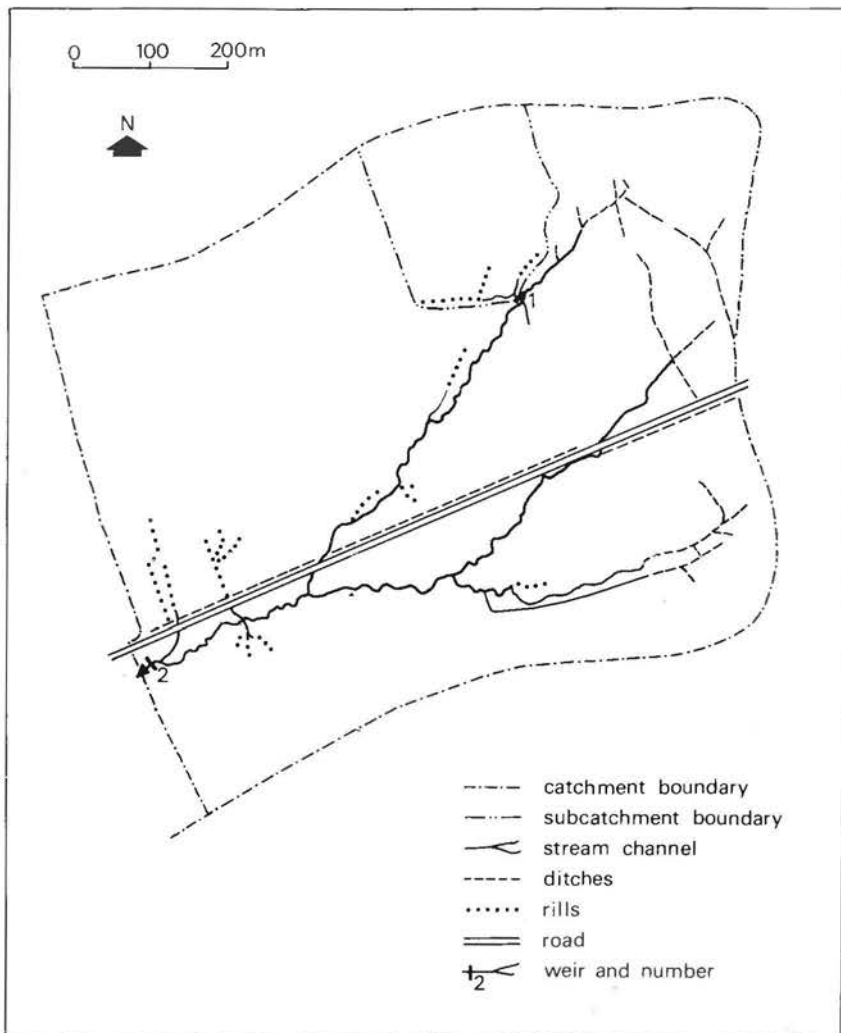


Figure 2. Drainage pattern of the Schrondweilerbach catchment.

dryness and dried at 105°C (Hem, 1970). After cooling in a desiccator the nickel tray was reweighed. The net gain in weight was corrected for the concentration of bicarbonate ions in the watersample.

THE OUTPUT OF WATER

The results of the discharge measurements at the catchment outlet are shown in figure 3, while four-weekly runoff totals are presented in table 1

Table 1. Precipitation, throughfall and the output of material from the drainage basin at the catchment outlet (four-weekly totals)

	precip. mm	through- fall, mm	runoff mm	susp. load, kg	diss. load, kg
25/10-16/11/79	97.9	64.3	14.1	1550	5210
16/11-15/12	113.1	100.0	25.7	3880	7780
15/12-11/ 1/80	94.3	66.0	65.2	2700	17700
11/ 1- 9/ 2	102.8	76.4	20.0	2380	6000
9/ 2- 9/ 3	35.1	19.5	7.5	160	3960
9/ 3-11/ 4	71.7	52.0	29.2	890	10670
11/ 4- 9/ 5	70.5	32.6	22.9	1875	7580
9/ 5-30/ 5	20.3	19.4	3.4	75	2550
30/ 5- 3/ 7	132.9	87.0	24.3	8440	8250
3/ 7- 3/ 8	139.3	73.4	20.0	3450	4500
3/ 8-31/ 8	105.1	78.3	3.8	4750	3000
31/ 8-29/ 9	41.5	20.8	0.8	100	2430
29/ 9-25/10	75.6	61.5	2.4	760	2850
25/10-22/11	40.2	29.1	13.5	1040	5180
22/11-18/12	79.1	50.5	30.8	1975	9410
18/12-16/ 1/81	92.0	57.4	40.0	2020	11000
16/ 1-13/ 2	44.2	36.1	37.0	1370	11400
13/ 2-12/ 3	56.0	49.8	29.6	1865	8620
12/ 3-10/ 4	70.0	61.5	46.0	2370	13400
10/ 4- 8/ 5	83.6	58.9	45.6	4640	12020
8/ 5- 3/ 6	55.3	42.2	4.6	320	3940
3/ 6- 7/ 7	120.0	81.0	19.3	9705	7650
7/ 7-12/ 8	159.8	112.5	25.0	21470	9200
12/ 8-11/ 9	15.8	11.3	2.3	150	4160
11/ 9- 4/10	97.1	74.5	3.3	425	3500
4/10- 6/11/81	124.2	90.8	55.2	7940	15980
total	2137	1526	591	86300	197900

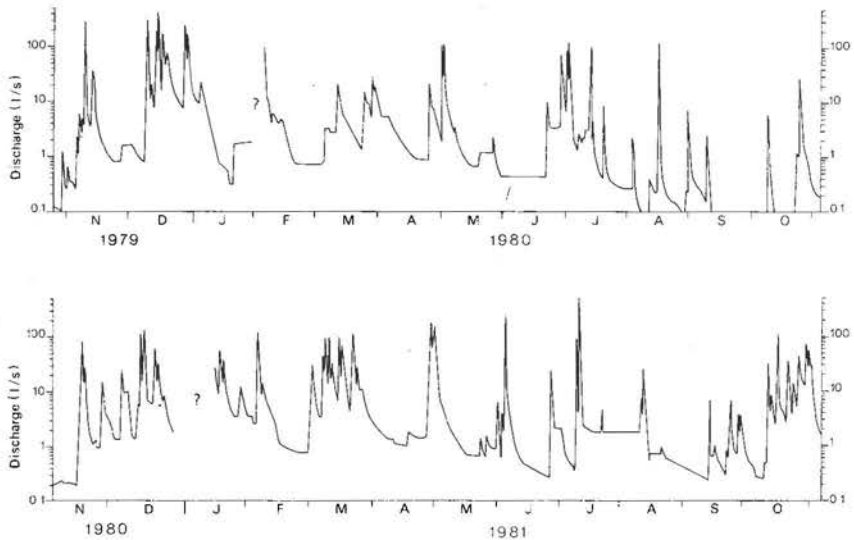


Figure 3. Discharge at the catchment outlet, 25 October 1979 - 6 November 1981.

for the sample periods concerned. The discharge curves exhibit a typical flashy character reflecting the fast response of runoff to rainfall, characteristic for small forested catchments with fine textured soils. Median discharge during the study period amounted 1.4 l.s^{-1} . Maximum discharge of about 500 l.s^{-1} was reached during a summer thunderstorm.

During the two successive years of investigation (November - October) 239 and 352 mm water left the catchment comprising respectively 21.8 and 34.0 percent of gross precipitation. The higher runoff rate of the second year is somewhat remarkable as the amount of precipitation is even lower than for the preceding year. Considering the four-weekly response ratio's (defined as the ratio between runoff volume and precipitation) it appears that the difference observed mainly results from a higher runoff rate during winter and spring of the second year. The lower storage of precipitation in the soil during this period is probably caused by the combination of more prolonged frost conditions and more precipitation occurring as snow resulting in a smaller amount of water infiltrating into the soil (Dunne and Black, 1971) and a consequent higher runoff rate.

The seasonal variation in catchment response is further illustrated by the results of some hydrograph analyses (table 2). Low response ratio's emerge for the June and September floods, in contrast to the hydrographs of December, February and March, reflecting seasonal variations in storage capacity of the soil, as influenced by interception and evapotranspiration processes. Despite these temporal variations the baseflow and direct runoff contribution to storm runoff are rather similar, respectively 26 and 74% (runoff weighted means of the six floods of table 2). An identical picture

Table 2. Results of hydrograph analyses of six floods

period	precipitation, mm	total runoff, mm	response ratio	direct runoff, %	baseflow %
24-25/10/80	11.0	2.0	0.137	77.2	22.8
15-17/12/80	23.5	12.0	0.341	67.1	32.9
3- 6/ 2/81	19.6	13.7	0.577	82.6	17.4
11-12/ 3/81	8.4	4.4	0.345	66.4	33.6
1- 2/ 6/81	11.0	0.6	0.035	67.7	32.3
12-13/ 9/81	14.7	0.2	0.008	73.5	26.5

the response ratio is defined as the ratio of the volume of direct runoff to precipitation;
 direct runoff and baseflow are given as percentages of total runoff

was obtained when baseflow and direct runoff are estimated on a two-year basis from the discharge curves of figure 3, respectively 24 and 76%. The above data clearly demonstrate the fast response of the catchment to rainfall, implying the predominance of surficial or shallow drainage of the contributing valley slopes (Bonell et al., 1984; Duijsings, 1985). Summarizing it may be stated that on a yearly basis only 28% of precipitation leaves the catchment as runoff. About 75% of this runoff volume or 21% of the precipitation is derived from rapidly responding sources on the contributing valley slopes: overland flow and subsurface flow within the topsoil. The remaining 25% is predominantly generated in the deeper soil and rock layers and emerges at various sites in the channel incision.

SUSPENDED LOAD

The output of suspended sediment from the catchment was calculated by the rating curve method. For this purpose about 200 streamwater samples were taken and sediment concentrations were determined according to the procedures described above.

Suspended sediment concentration ranged from 1 to 2350 mg.l⁻¹, covering a sampled discharge range of 0.3 to 220 l.s.⁻¹. The sediment concentration of the watersamples when plotted against instantaneous discharge (figure 4) reveals considerable scatter. This scatter may result from the influence of several factors like seasonal changes in the catchment, varying contribution of sediment sources and from an exhaustion effect whereby the availability of sediment from these sources decreases through a series of storm events (Loughran, 1976; Walling 1974, 1977). Part of the scatter is caused by the complex character of the sediment graphs, as in general not one but two or three sediment peaks could be distinguished during flood

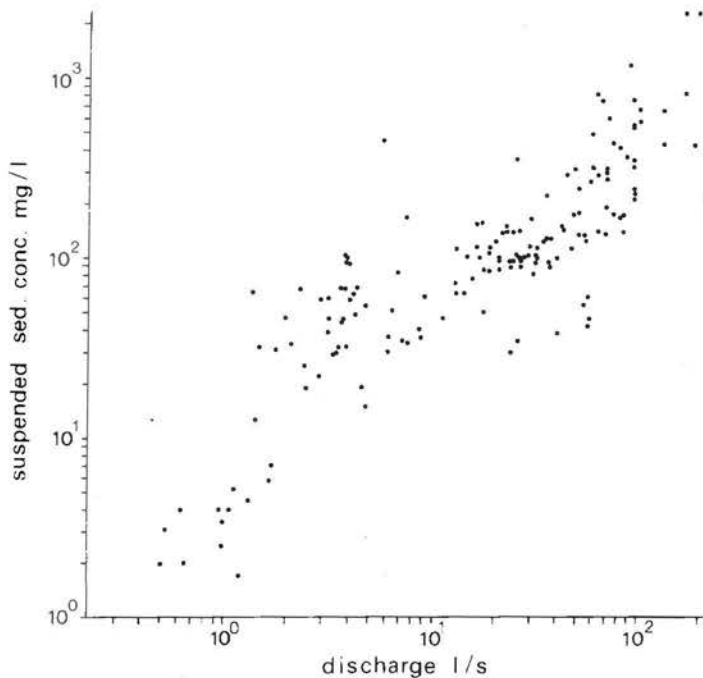


Figure 4. Measured suspended sediment concentration plotted against instantaneous discharge.

events (figure 5). These peaks can be related to the contribution of various sediment sources within the catchment (Imeson et al., 1984). In the first peak sediment supplied by splash action on the stream banks is transported. It is dominantly derived from the banks in the Schilfsandstein and Pseudomorphosen series as is apparent from its reddish colour. The second and major peak generally coincides with maximal discharge; the transported sediment exhibits a greyish colour reflecting contribution of soil material from the Steinmergel series. Based upon the timing of the peak the sediment is derived from surface and subsurface sources on the valley slopes (Imeson et al., 1984). In the third, often very small peak which may not always be distinguished, only fine sediment of Steinmergel origin is transported. The distinct fine and grey nature of the material, the relatively limited extent of the peak and its position on the recession limb of the hydrograph may imply that it results from a slower response of part of the catchment head rather than from the contribution of another distinct sediment source.

The varying contribution of sediment sources is also reflected in higher sediment concentrations on the rising limb of the hydrograph relative to the falling limb. This phenomenon, the hysteresis effect, is well documented

(Walling, 1974; Loughran, 1976); it has generally been attributed to both a decrease in the availability of sediment as the storm event continues (decreasing splash erosion through a storm event) and the increased proportion of baseflow, associated with discharges on the recession limb.

Next to these storm period fluctuations in sediment concentration also distinct seasonal variations occur. Summer samples (May to October) tend to exhibit higher concentrations compared to those from winter (November to April), probably reflecting a higher sediment availability and the increased occurrence of intensive convectional rainfall possessing a high erosivity (Walling, 1974).

Based upon these storm period and seasonal variations in suspended sediment concentration, water samples were separated into four groups according to season and rising or falling/stationary river stage in order to improve the concentration/discharge relationship and achieve a greater accuracy in the calculation of sediment load (Walling, 1974). The results of the subsequent regression analyses are presented in table 3. The calculated

Table 3. Regression equations relating suspended sediment concentration, SSC (mg.l⁻¹) to water discharge, Q (l.s⁻¹)

r = correlation coefficient;

N = number of samples;

= level of significance

season stage		r	N	
summer rising	SSC = 6.87 Q ^{1.057}	0.910	33	0.999
summer falling	SSC = 5.04 Q ^{1.112}	0.920	45	0.999
winter rising	SSC = 7.87 Q ^{0.831}	0.732	57	0.999
winter falling	SSC = 7.16 Q ^{0.776}	0.877	57	0.999

correlation coefficients are high except for the winter rising stage conditions reflecting the variability in processes of sediment supply or transport during the first phase of a winter flood. While rainsplash erosion on the banks is the major sediment supplying process during rising stage conditions in summer, the winter situation is more complex, due to snowmelt runoff and the loosening of soil material by frost action. The deviating trend in sediment contribution during snowmelt conditions is further reflected in the smaller number of peaks in the suspended sediment graph (figure 5).

Sediment loads were calculated using the discharge records and the four rating relationships from table 3. The results of these calculations revealed a suspended sediment output of 86300 kg during the two years of measurement.

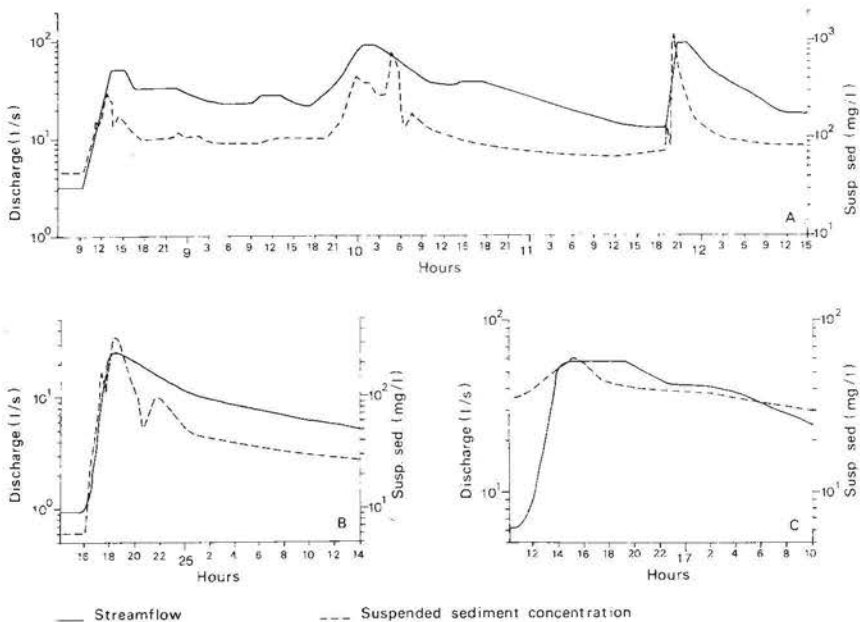


Figure 5. Graphs of streamflow and suspended sediment concentration for three typical storm periods.
 A. medium to high spring runoff, 8-12 March 1981;
 B. low autumn runoff, 24-25 October 1980;
 C. snowmelt runoff, 17-18 January 1981.

In addition to the calculation of the total amount of sediment leaving the catchment the grainsize distribution of the suspended sediment was determined. It appeared that about 45-60 percent of the sediment was clay-sized and that only 1-10 percent consisted of (fine) sand. Although the material in transit is rather uniform in texture, a small increase in the fine sand fraction with increasing discharge was observed. The maximum suspended sediment size, however, was always smaller than 0.25 mm. This implies that the fraction of soil material (supplied from valley slopes and streambanks) that is coarser than 0.25 mm can only be transported as bedload and does not contribute to the suspended sediment output.

DISSOLVED LOAD

The concentration of dissolved material in the streamwater varied from 100 to 850 mg.l⁻¹ of which the lower boundary reflects the dissolved content of winter throughfall. Investigations of Verstraten and Dopheide (1984) into the water and soil chemistry of the Schrondweilerbaach catchment revealed Ca²⁺, Mg²⁺ and HCO₃⁻ to be the major ions in the streamwater;

these ion species contributed respectively 15, 17 and 50% (on molar basis) to the dissolved output.

Dissolved load is calculated by the rating curve method according to the procedures described above resulting in a set of four rating relationships between concentration of dissolved material and discharge. The relationships and their statistics are shown in table 4. According to the high correlation coefficients, discharge is the major variable influencing the variation in dissolved content. This is also confirmed by the graphs of figure 6 from

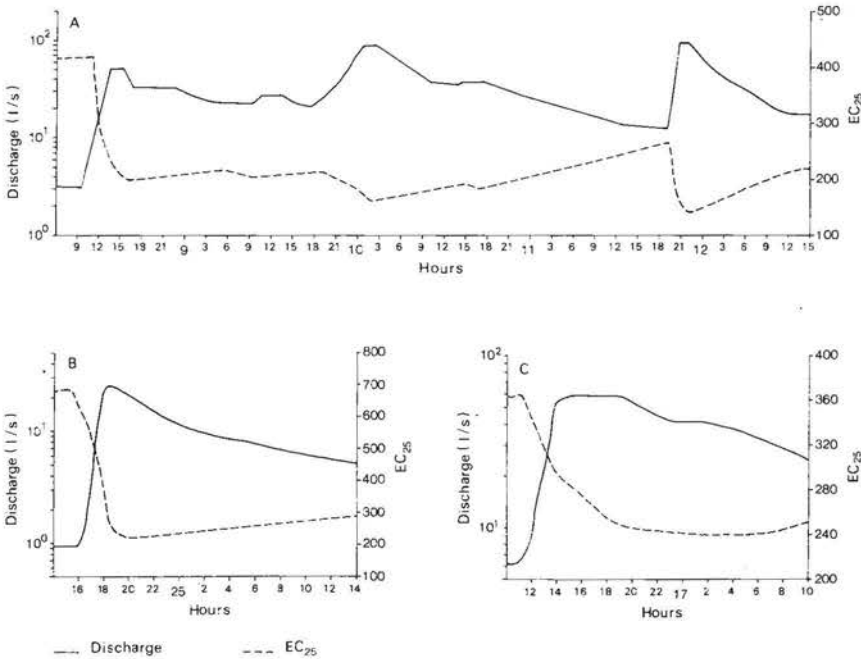


Figure 6. Graphs of streamflow and electrical conductivity for three typical storm periods.

A. medium to high spring runoff, 8-12 March 1981;

B. low autumn runoff, 24-25 October 1980;

C. snowmelt runoff, 17-18 January 1981.

which it appears that discharge maxima and dissolved solids (represented by electrical conductivity of the streamwater, EC25) minima are nearly always synchronous. A somewhat deviating trend may again be observed for winter rising stage conditions (table 4) reflecting the different behaviour of runoff generation and streamflow chemistry during snowmelt periods (figure 6; Duijsings et al., 1983).

The total amount of dissolved material that left the catchment during the two years of measurement was calculated as 197900 kg.

Table 4. Regression equations relating total dissolved solids concentration, TDS (mg.l⁻¹) to water discharge, Q (l.s⁻¹)

r = correlation coefficient;
 N = number of samples;
 = level of significance

season stage		r	N	
summer rising	TDS = 717 Q ^{-0.261}	-0.96	31	0.999
summer falling	TDS = 573 Q ^{-0.290}	-0.94	66	0.999
winter rising	TDS = 473 Q ^{-0.174}	-0.50	56	0.968
winter falling	TDS = 590 Q ^{-0.268}	-0.95	75	0.999

BED LOAD

Bedload is the material that moves by sliding, rolling or saltating on or very near the river bed; the material includes the sizes of material found in the bed.

No apparatus for direct measurements of bedload transport were available and consequently a figure for the total amount of transported bedload could only be obtained by estimating the volume of bed material trapped in a small pool directly behind the weir. At irregular intervals bed material was removed from this reservoir to ensure reliable registration of discharge, and was subsequently deposited on both sides of the channel. The total volume of trapped material was estimated at 4.4 m³. Bulk density of the deposited material varied from 1.46 to 1.55 kg.m⁻³. As a consequence bedload output amounted to about 6700 kg in two years.

Grainsize analysis of bedload samples showed that 90% of the transported material was smaller than 15 mm. Considerable errors in estimations of bedload transport may occur due to the possible inclusion of suspended load during sampling or to the catching of suspended material in a reservoir or trap. The grainsize frequency curves of both suspended and bedload material, however, show that this potential error is minimal: maximum particle size of suspended material is about 0.25 mm, while the proportion of particles smaller than 0.25 mm in bedload is only about 5%.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The above mentioned discharge coefficient of 28% of gross precipitation agrees very well with those reported by Imeson and Vis (1984) for two neighbouring catchments during three successive years (1978-1980): Kei-welsbach (93 ha): 26.0-28.2% and Mosergriecht (237 ha): 29.3-31.2%.

Duijsings (1978) reported a discharge coefficient of 28.3% for measurements also made in the Schrondweilerbaach but some 1500 m further downstream thereby comprising a drainage area of 226 ha.

The results on sediment and dissolved solids output clearly reveal that output rates are controlled by a combination of factors which are mainly related to:

- the competence of the river to transport material (represented by discharge volume) and
- the supply of sediment and dissolved solids which exhibit a pronounced seasonal distribution.

Supply of sediment is at its maximum during summer thunderstorms due to the combination of a high erosivity of rainfall (causing intensive splash erosion), the widespread generation of overland flow (and related soil erosion) on the valley slopes and the resulting high stream levels (inducing considerable streambank erosion). As a consequence output of suspended sediment is highest during such short lasting summer floods (table 1).

In contrast, dissolved solids concentrations are low during summer storms related to the predominant surficial or shallow drainage of the valley slopes inducing only very short contact times between rainfall and the soil profile. This close relationship between slope hydrology and solute concentrations accordingly implies highest dissolved load output rates during winter and spring (table 1) when also water from the deeper soil layers is generated.

The data on material output from the catchment may be used to calculate the actual and relative rates of physical and chemical denudation of the catchment. The results from the sediment budget study (Duijsings, 1985) revealed that 47% of the total suspended sediment output ($710 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$) could be attributed to hillslope erosion while the remaining 53% could be attributed to a range of processes active in the valley incision. In contrast dissolved output was assumed to be totally derived from the hillslopes.

These data imply a physical denudation rate of the hillslopes of $335 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ or about 0.034 mm surface lowering per year (dry bulk density topsoil = $1.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). This value fits very well in the range of rates of surface lowering for the Keuper area ($0.020\text{-}0.053 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$) calculated from palynological analyses of mardel-trapped material as given by Poeteray et al. (1984) for the period between 1800 and 1980.

Rates of chemical denudation, however, can not so easily be obtained as some corrections have to be made. First dissolved output from the catchment has to be corrected for the dissolved input by precipitation and secondly output must be converted to original soil volumes. Investigations into the ion input-output budgets of the Schrondweilerbaach catchment (Verstraten and Dopheide, 1984) revealed a precipitation input of $144 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ in the period 1980-1981. A similar value of $130 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ is reported by Imeson and Vis (1984) for a neighbouring catchment in preceding years. Consequently the total amount of dissolved material that was actually released by the drainage basin during the two years of measure-

ment is approximately 180400 kg resulting in a net output of 1480 kg.ha⁻¹.yr⁻¹.

The investigations of Verstraten and Dopheide (1984) further revealed that net output was dominated by HCO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺ and H₄SiO₄⁰. On weight basis these solutes account for respectively 70.5, 11.4, 9.1 and 4.6% of net output. The results of the ion budget study and additional mineralogical and X-ray analyses suggested that congruent dissolution of calcite and incongruent dissolution of clay minerals were the major weathering processes. Consequently the net output of 1480 kg.ha⁻¹.yr⁻¹ was converted to an original soil volume by assuming that all Ca was derived from calcite and that Mg and Si from their oxides. As bicarbonate was generated by the dissolution of calcite (already accounted for by Ca) and predominantly the protonization of CO₂ it should not be included in this calculation. This results in a total dissolved mass of 715 kg.ha⁻¹.yr⁻¹ or a surface lowering due to chemical weathering of 0.051 mm per year (dry bulk density subsoil = 1.4 kg.m⁻³). This value is 50% higher than the physical denudation rate from the hillslopes calculated above (0.034 mm.yr⁻¹). However, as the latter value comprises "only" 47% of the total sediment output a physical denudation rate of 0.071 mm surface lowering per year will hold for the entire drainage basin.

These results imply that though dissolved input is more than twice as large as sediment output (table 1), chemical denudation rate is about 0.7 times the physical denudation rate of the catchment. More generally, the results imply that the relative importance of chemical denudation in catchment development cannot be derived from dissolved output only, but that additional information is needed upon the rate of solute input in precipitation and the major mineral transformations.

REFERENCES

- BONELL, M., M.R. HENDRIKS, A.C. IMESON and L. HAZELHOFF, 1984. The generation of storm runoff in a forested clayey drainage basin in Luxembourg. *Journal of Hydrology*, 71, 53-77.
- DUNNE, T. and R.D. BLACK, 1971. Runoff processes during snowmelt. *Water Resources Research*, 7, 1160-1172.
- DUIJSINGS, J.J.H.M., 1978. Contribution of bank erosion to sediment transport in a Luxembourg catchment. Unpubl. Msc. thesis, Lab. Phys. Geogr. and Soil Sci., Univ. of Amsterdam, 50 pp.
- DUIJSINGS, J.J.H.M., 1985. Streambank contribution to the sediment budget of a forest stream. PhD thesis, Univ. of Amsterdam, 190 pp.
- DUIJSINGS, J.J.H.M., J.M. Verstraten and L. Bruynzeel, 1983. The identification of runoff sources of a forested lowland catchment: a chemical and statistical approach. *Journal of Hydrology*, 64, 357-375.
- HAZELHOFF, L., 1983. Analysis of runoff and water quality data. Unpubl., lab. Phys. Geogr. and Soil Sci., Univ. of Amsterdam.
- HAZELHOFF, L., P. VAN HOOFF, A.C. IMESON and F.J.P.M. KWAAD, 1981. The exposure of forest soil to erosion by earthworms. *Earth Surface Processes and Landforms*, 6, 235-250.
- HEM, J.D., 1970. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. Geological Survey Water Supply Paper 1473, 363 pp.
- HOOFF, P.P.M.V. and P.D. JUNGERIUS, 1984. Sediment source and storage in small watersheds on the Keuper marl in Luxembourg, as indicated by soil profile truncation and the deposition of colluvium, *Catena*, 11, 133-144.
- IMESON, A.C. and P.D. JUNGERIUS, 1977. The widening of valley incisions by soil fall in a forested Keuper area, Luxembourg. *Earth Surface Processes*, 2, 141-152.
- IMESON, A.C. and H. v. ZON, 1980. Erosion processes in small forested catchments in Luxembourg. In: *Timescales in Geomorphology*, R.A. Cullingford, D.A. Davidson and J. Lewin (Eds), 31-42.
- IMESON, A.C. and M. VIS, 1984. The output of sediments and solutes from forested and cultivated clayey drainage basins in Luxembourg. *Earth Surface Processes and Landforms*, 9, 585-594.
- IMESON, A.C., M. VIS and J.J.H.M. DUIJSINGS, 1984. Surface and subsurface sources of suspended solids in forested drainage basins in the Keuper region of Luxembourg. In: *Catchment Experiments in Fluvial Geomorphology*, T.P. Burt and D.E. Walling (Eds), 219-233.
- LOUGHRAN, R.J., 1976. The calculation of suspended sediment transport from concentration versus discharge curves: Chandler Ricer, N.S.W., *Catena*, 3, 54-61.

- POETERAY, F.A., P.A. RIEZEBOS and R.T. SLOTBOOM, 1984. Rates of Subatlantic surface lowering calculated from mardel trapped material (Gutland, Luxembourg). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 28, 467-481.
- VERSTRATEN, J.M. and J. DOPHEIDE, 1984. On the contribution of atmospheric deposition to weathering in a forested Keuper ecosystem, Luxembourg.
- WALLING, D.E., 1974. Suspended sediment and solute yields from a small catchment prior to urbanisation. *Inst. of British Geographers, Special Publ.*, 6, 169-192.
- WALLING, D.E., 1977. Suspended sediment and solute response characteristics of the river Exe, Devon, England. In: *Research in Fluvial Geomorphology*, R. Davidson-Arnott and W. Nickling (Eds), 169-197.

