

Valeur statistique des comptages de cailloux de différentes lithologies

Application aux alluvions actuelles de l'Ourthe

par Fr. DUCHESNE et A. PISSART (*)

MOTS CLES. - *Méthodes sédimentologiques, nature des cailloux, alluvions, Ourthe.*

RESUME. - *L'étude de la nature des éléments d'un cailloutis fait partie des recherches sédimentologiques courantes. Nous soulignons ici l'intérêt de définir la signification statistique des comptages par une méthode simple, utilisée dans les déterminations minéralogiques mais qui ne semble pas avoir été mise en oeuvre dans les comptages des cailloux.*

En guise d'application, les variations de composition des cailloutis actuels de l'Ourthe sont étudiées. Dans cet affluent de la Meuse, entre Chanxhe et Esneux, les calcaires disparaissent, principalement par dissolution, en moins de 5 km de transport.

KEY WORDS. - *Sedimentological methods, nature of the pebbles, alluvium, Ourthe.*

ABSTRACT. - *This paper demonstrates the utility of a simple frequency counting procedure, devised by van den Plas and Tobi (1965), in analysing lithological variations in gravel deposits. In a practical application the technique is used to examine the lithology of present-day gravels in a section of the Ourthe river (a tributary of the Meuse). Limestone pebbles in this river dissolve after being transported over a distance of less than 5 km.*

I. - INTRODUCTION

L'étude de la nature des éléments d'un cailloutis fournit souvent des indications précieuses sur l'évolution de la rivière qui l'a déposé. Parfois, un seul caillou fournit une indication très intéressante. Ainsi, la découverte de cailloux de granite dans une terrasse de la Meuse atteste de la capture de la Moselle. Mais, le plus souvent, c'est à la suite de comptages des éléments de nature différente que des informations intéressantes peuvent être obtenues. Des comptages semblables permettent par exemple de reconnaître et donc de distinguer les apports du Rhin et de la Meuse aux Pays-Bas. Comme le précisent bien Cailleux et Tricart (1959), il est fondamental

(*) Adresse des auteurs : Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire, Université de Liège, Place du Vingt-Août, 7, B-4000 Liège.

lorsque l'on effectue ces comptages de respecter des limites dimensionnelles bien précises et de considérer, par exemple, séparément les éléments de 2 à 3 cm, ceux de 4 à 6 cm et ceux de 8 à 10 cm pour prendre des fractions granulométriques souvent retenues.

Tous les travaux que nous connaissons produisant des comptages du type de ceux que nous considérons ici, se limitent à donner les résultats des dénombrements effectués sans fournir d'information concernant la signification statistique des valeurs obtenues. Quelquefois même, l'auteur ne précise pas le nombre de cailloux qui a été considéré, ce qui ne permet pas de se faire une idée de la signification des résultats obtenus. Il est cependant très facile, comme nous l'expliquons ci-dessous, de préciser l'intervalle de confiance des données recueillies.

II. - DETERMINATION DE L'INTERVALLE DE CONFIANCE DES COMPTAGES

Le problème que nous considérons appartient au domaine du calcul des probabilités. Pour donner une comparaison simple, il s'agit de déterminer la probabilité de définir le pourcentage de boules noires et blanches contenues dans un sac après en avoir retiré n boules et compté parmi celles-ci le nombre de boules de différentes couleurs. La question abordée ici ne concerne donc ni les erreurs de détermination, ni les erreurs qui résultent de prélèvements inadéquats, ni les problèmes qui se posent si les cailloutis étudiés ne sont pas homogènes.

Le diagramme que nous reproduisons à la figure 1, et qui a été proposé en 1965 par L. Van der Plas et A.C. Tobi, permet très facilement, en fonction du nombre d'éléments considérés, de définir avec 95 % de chance l'intervalle dans lequel se trouve le résultat. Ce diagramme, qui peut être employé pour toute distribution binomiale, est utilisable dans le problème de comptage que nous considérons, car l'on peut admettre que pour chaque nature de cailloux nous distinguons seulement deux choses : les cailloux de la nature considérée et les autres.

Ce graphique est basé sur la formule ci-dessous qui, dans un échantillon homogène, permet de déterminer la valeur de l'écart type σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{p(100-P)}{n}}$$

Dans cette formule, p est le pourcentage réel d'éléments existant dans le cailloutis étudié, P le pourcentage obtenu dans un comptage et n le nombre de cailloux considérés.

Cette formule signifie que notre estimation tombera entre $p + \sigma$ et $p - \sigma$ dans environ 68 % des cas, entre $p + 2\sigma$ et $p - 2\sigma$ dans environ 95 % des cas, entre $p + 3\sigma$ et $p - 3\sigma$ dans environ 99,7 % des cas. Le graphique reproduit dans la figure 1 donne les valeurs de 2σ pour différentes valeurs de n et P .

Sur ce graphique de L. Van der Plas et A.C. Tobi (1965) (fig.1), les zones où $n.p$ et $n(100 - p)$ sont plus petites que 500 ne sont pas figurées, car il convient dans ces zones de tenir compte de la forme asymétrique de la loi binomiale et déterminer une limite inférieure P_1 de p et une limite supérieure P_2 de p , c'est-à-dire un

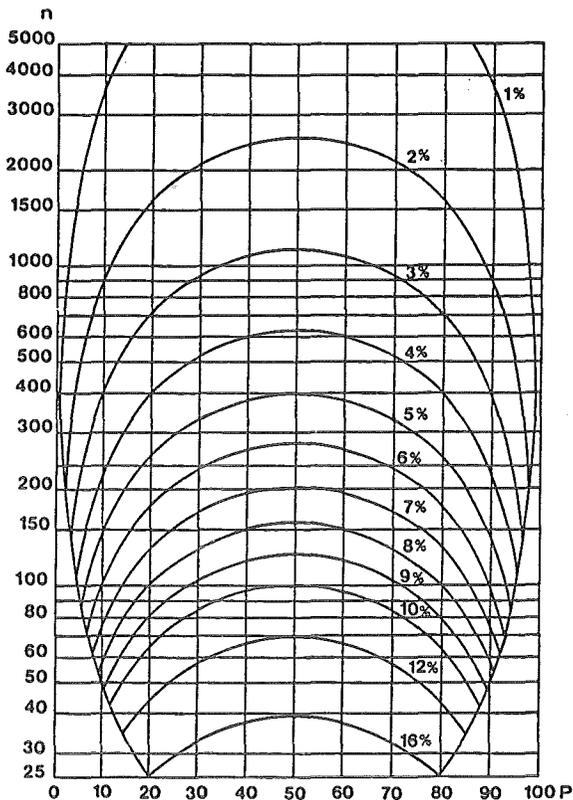


FIG. 1. - Graphique proposé par L. van der Plas et A.C. Tobi (1965) pour déterminer, en fonction du nombre de cailloux considérés, l'intervalle dans lequel se trouve avec une probabilité de 95 % la valeur réelle.

Exemple d'utilisation : après un comptage n de 200 cailloux, si nous trouvons 24 % d'une nature déterminée, le graphique montre que le pourcentage réel se trouve dans un intervalle de ± 6 %, c'est-à-dire entre 18 et 30 %.

intervalle de confiance asymétrique de p à un seuil de signification à convenir (communication écrite de F. Monfort, professeur de mathématique appliquée à l'Université de Liège). Ces valeurs peuvent être trouvées dans des tables qui fournissent les limites demandées, par exemple les tables de documents Geigy (Exemple de l'asymétrie : pour $N = 100$, et 3 cailloux d'une nature déterminée, le pourcentage réel de cette nature est à 95 % de chance compris entre 0,63 et 8,60 %).

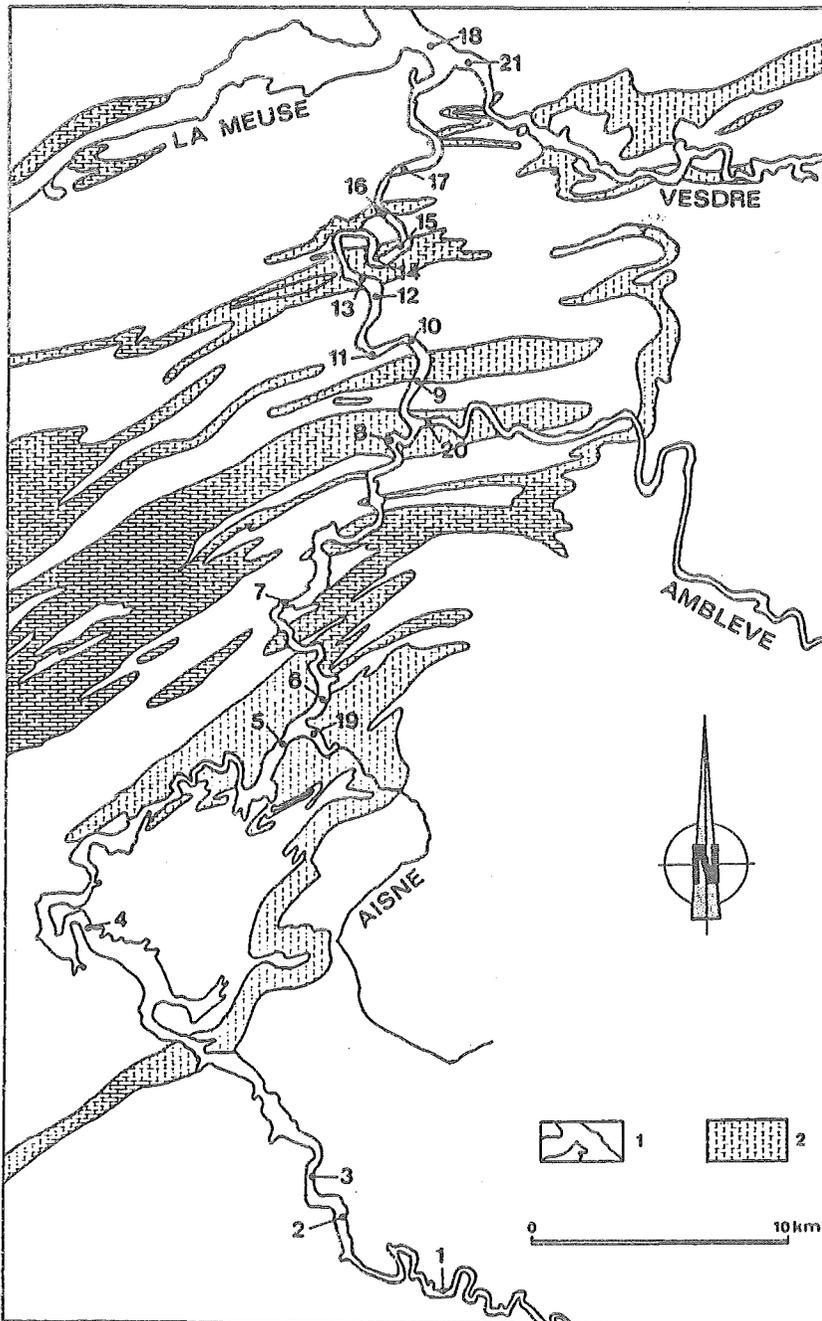


FIG. 2. - Carte de la localisation des lieux de prélèvements des échantillons de cailloux de 4 à 6 cm dans le lit de l'Ourthe et de ses affluents ainsi que la répartition des principales roches calcaires. 1. plaine alluviales; 2. affleurements de roches calcaires.

III. - L'ETUDE DES ALLUVIONS ACTUELLES DE L'OURTHE

A.- LA METHODE UTILISEE

La nature des cailloux de 4 à 6 cm de longueur a été étudiée dans les alluvions actuelles de l'Ourthe entre Laroche et son confluent avec la Meuse à Liège. Le tronçon de la rivière considéré a 90 km de long et reçoit successivement les affluents Aisne, Amblève et Vesdre. Les échantillons étudiés ont été prélevés dans le lit de la rivière lors d'étiages sur des bancs de cailloux émergés. La localisation des prélèvements est donnée dans la figure 2. Afin qu'aucun choix n'intervienne au moment de la récolte des échantillons, des surfaces ont été délimitées arbitrairement aux endroits où les échantillons ont été prélevés, et tous les cailloux de 4 à 6 cm ont été recueillis dans cet espace. Cette technique de prélèvement explique pourquoi le nombre de cailloux recueillis varie d'un point de prélèvement à l'autre.

Seules des distinctions lithologiques évidentes ont été réalisées. Douze catégories de cailloux ont été reconnues : 1. les cailloux de quartz; 2. les cailloux contenant un filon de quartz supérieur à 5 mm. Appartiennent à cette catégorie, les cailloux de quartz au sein desquels subsistent des parties de la roche encaissante; 3. les cailloux contenant des veines de quartz de 2 à 5 mm; 4. les cailloux avec des veines de quartz plus étroites que 2 mm; 5. les calcaires; 6. les cailloux contenant des cubes de pyrite; 7. les cherts; 8. les silex; 9. les cailloux de poudingue; 10. les cailloux d'arkose; 11. les éléments anthropiques (morceaux de briques, de verre, de béton, etc); 12. les indéterminés groupant tous les éléments n'appartenant pas aux catégories ci-dessus.

Dans ces catégories, des risques d'erreurs existent seulement en ce qui concerne les classes 1 et 2. Comme les comptages aux points 14 à 17 de Hony à Tilff ont été réalisés par l'un des auteurs (A. Pissart) alors que tous les autres ont été effectués par l'autre (F. Duchesne), il est possible que les résultats ne soient pas entièrement comparables pour cette catégorie.

Les résultats des comptages exprimés en pourcentage sont donnés dans le tableau I. Les valeurs des éléments divers représentent la différence entre 100 % et la somme de tous les autres éléments. Une légère erreur ne dépassant guère 1 % résulte de cette façon de procéder. La deuxième décimale est seulement donnée lorsque les comptages ont dépassé 2 000 cailloux. Ces décimales sont sans signification, vu l'incertitude qui résulte des hasards du prélèvement et dont nous avons parlé précédemment. Elles sont seulement données pour permettre de retrouver le nombre de cailloux de chaque nature.

B.- LES QUARTZ

Les chiffres bruts que fournit le tableau ne peuvent être interprétés qu'en tenant compte de l'intervalle de confiance à accorder à chaque comptage. Si nous considérons la figure 3, dans laquelle sont reportés ces intervalles de confiance pour les cailloux de quartz, on peut remarquer que très peu de différences sont significatives entre

TABLEAU I. - Les résultats exprimés en pourcentage des comptages lithologiques dans les alluvions actuelles de l'Ourthe et de ses affleurements. - Localisation donnée dans la figure 2. - Les tirets placés dans le tableau indiquent qu'aucun élément de cette catégorie n'a été observé dans les prélèvements.

N° du prélèvement	OURTHE D'amont en aval	Quartz	V Q > 5	V Q 2-5	V Q < 2	Calcaire	C. pyr.	Chert	Silex	Fondingue	Arkose	Anthr.	Divers	Nombre de cailloux comptés
1	Laroche	4,2	1,4	-	1,9	-	3,7	-	-	-	-	-	88,8	215
2	Jupille	6,9	0,9	1,9	4,6	-	2,3	-	-	-	-	-	83,4	216
3	Marcourt	6	1	1	3	0,4	19	-	-	-	-	-	69,6	219
4	Deulin	5	3	3	2	0,6	9	-	-	-	-	0,3	77,1	326
5	Bomal 1	6	2	2	9	0,4	9	-	-	0,3	-	-	71,3	462
<i>Confluent avec l'Aisne - Prélèvement 19</i>														
6	Bomal 2	6	2	4	8	1	5	-	-	-	-	-	74,0	371
7	Hamoir	2,4	-	4,4	4,4	12,7	1,5	-	-	-	-	0,5	74,1	205
8	Comblain	5,5	1,5	5,7	4,2	6,5	3,4	0,6	-	-	0,2	0,4	72,0	524
<i>Confluent avec l'Amblève - Prélèvement 20</i>														
9	Chanxhe	7,72	5,24	10,15	8,91	8,2	6,58	0,92	0,05	0,2	-	1,11	50,92	2098
10	Poulseur	7,9	5,1	9,5	8,9	7	5,1	0,9	-	-	-	1,3	54,3	316
11	Souverain-Pré	7,5	2,8	7,5	5,6	2,3	2,5	0,9	-	-	-	0,9	70	214
12	Ile de la Venne	6,8	3,7	11	6,3	-	4,7	-	-	1,6	-	-	65,9	191
13	Esneux	5,79	5,5	7,43	8,15	1,83	3,81	0,72	0,05	0,29	0,43	0,9	65,1	2074
14	Hony	7,1	12,2	3,8	6,6	3,5	2,5	-	-	-	0,2	0,5	63,6	393
15	Méry	3,9	12,6	4,9	4,4	0,5	1,5	-	-	1	0,5	1,0	69,7	203
16	Ste-Anne	3,4	12,3	4,2	6,4	1,7	2,5	-	1,3	-	0,9	2,5	64,8	236
17	Tilff	5	3	8	9,5	0,5	2	-	1	0,5	-	2,5	68,0	195
<i>Confluent avec la Vesdre - Prélèvement 21</i>														
18	Angleur	11	9	7	12	0	4	-	1	-	1	0	55,0	204
<i>AFFLUENTS avant leur confluence avec l'Ourthe</i>														
19	Aisne	4,1	3,6	4,1	2,1	19,5	-	-	-	2,6	-	2,1	61,9	195
20	Amblève	7,3	4,5	8,5	12,8	3,9	6,8	0,4	-	-	0,6	0,8	54,3	533
21	Vesdre	1,0	6,4	6,9	14,4	1,5	1,5	-	10,4	0	-	4,5	53,4	202

les différents prélèvements. Jusqu'à 8.Comblain⁽¹⁾, bien que les valeurs varient entre 6,9 % (2.Jupille) et 2,4 % (7.Hamoir), aucune variation significative n'est décelée. Entre la confluence de l'Amblève et celle de la Vesdre, d'une manière très comparable, seule la valeur obtenue à 16.Ste-Anne est à 95 % de chance différente de celle obtenue à 9.Chanxhe, alors que toutes les autres valeurs ne montrent pas de différence significative.

C.- LES CAILLOUX A CUBES DE PYRITE

De la même manière, la figure 4 montre les variations des pourcentages des cailloux à cubes de pyrite. Ce graphique indique incontestablement l'existence d'une source locale de cailloux à pyrite

⁽¹⁾ Dans le texte, chaque lieu de prélèvement est précédé du numéro du prélèvement, ce qui permet au lecteur de retrouver aisément l'endroit mentionné dans le tableau I et dans les différentes figures.

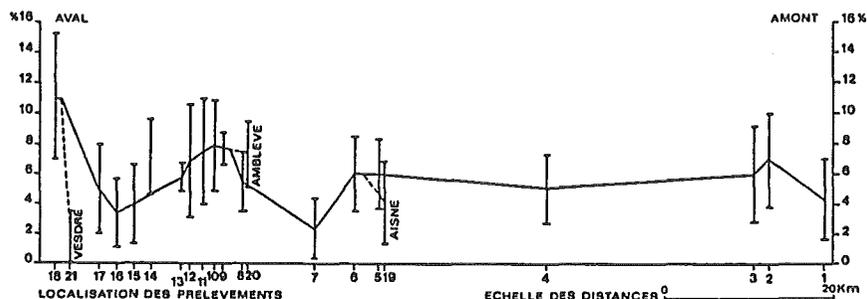


FIG. 3. - Variation du pourcentage des cailloux de quartz dans les alluvions actuelles de l'Ourthe.

Les droites verticales données en chaque point de prélèvement correspondent à la zone où se trouve avec une probabilité de 95 % la vraie valeur. Les numéros des prélèvements renvoient au tableau I et à la carte (fig. 2).

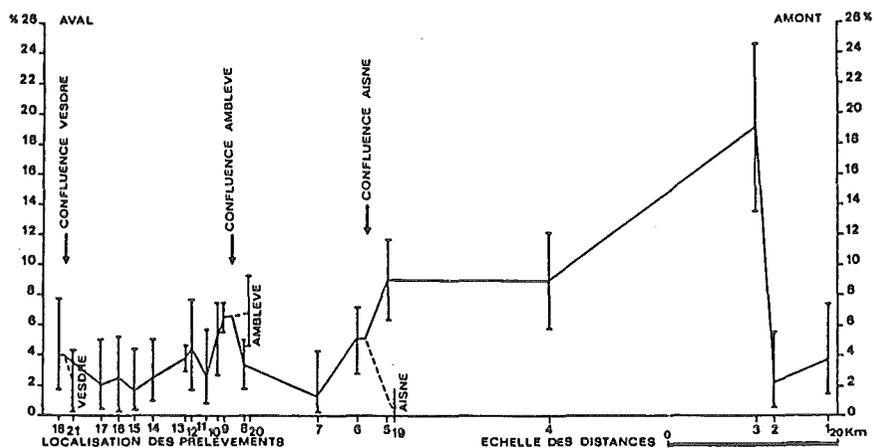


FIG. 4. - Variation du pourcentage des cailloux à cubes de pyrite dans les alluvions actuelles de l'Ourthe.

Les droites verticales données en chaque point de prélèvement correspondent à la zone où se trouve avec une probabilité de 95 % la vraie valeur. Les numéros des prélèvements correspondent à ceux du tableau I et de la carte (fig. 2).

entre 2.Jupille et 3.Marcourt, puis leur diminution progressive vers l'aval. Le pourcentage d'éléments à cubes de pyrite paraît diminuer sensiblement après la confluence avec l'Aisne (19) qui n'en transporte pas, et s'accroît après la confluence avec l'Amblève (20). Ces variations ne sont cependant pas assurées si l'on considère l'intervalle de confiance à 95 % que donne la figure 4.

La question se pose de savoir si ces cailloux à empreintes de pyrite diminuent vers l'aval à la suite de leur destruction mécanique au sein du cailloutis ou à cause de l'arrivée d'un grand nombre d'éléments d'autres natures. En considérant le rapport

$$\frac{\% \text{ de quartz} + \% \text{ de veines de quartz} > 5 \text{ mm}}{\% \text{ de quartz} + \% \text{ de veines de quartz} > 5 \text{ mm} + \% \text{ de cubes de pyrite}}$$

qui correspond au "quartz ratio" de Plumley (1948), c'est-à-dire en comparant l'évolution des cailloux à cubes de pyrite à celle des cailloux les plus résistants que constituent les quartz - et étant donné que la source de ces cailloux est essentiellement ardennaise, c'est-à-dire en amont du point 4. Deulin - il est possible de voir comme le montre la figure 5 que le pourcentage de cailloux à cubes de pyrite diminue vers l'aval à la suite de l'usure mécanique. Le "quartz ratio" de Plumley augmente, en effet, assez régulièrement de l'amont vers l'aval. Par contre, dans la figure 4, la différence de pourcentage significatif à 95 % de probabilités entre 9. Chanxhe et 13. Esneux résulte sans doute d'un accroissement des cailloux divers à la suite de l'exploitation des grandes carrières de grès qui bordent l'Ourthe dans cette région.

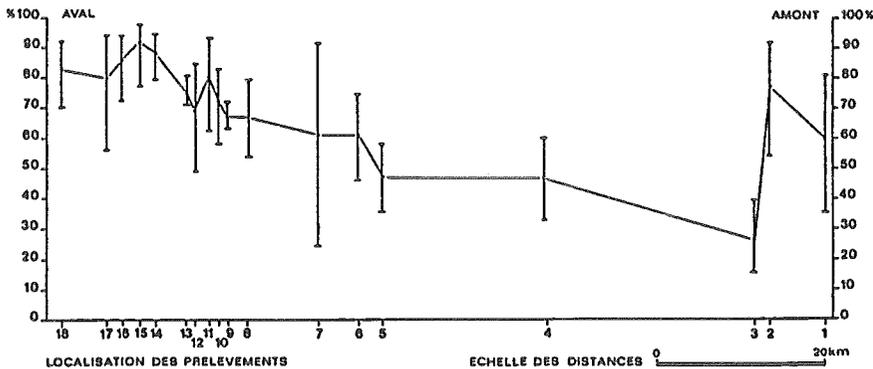


FIG. 5. - Variation du "quartz ratio" obtenu pour les cailloux à cubes de pyrite selon le principe de la formule de Plumley (1948), soit $\frac{\text{Quartz} + \text{veine de quartz} > 5}{\text{Quartz} + \text{veine de quartz} + 5 \text{ mm cubes de pyrite}}$ Les intervalles de confiance ont été pris dans les tables Geigy de la distribution binomiale pour $n =$ la somme des 3 catégories considérées. Vu le petit nombre de cailloux, les intervalles de confiance à 95 % sont parfois très grands (Exemple : point 7).

D.- LES CAILLOUX CALCAIRES

La variation de nature la plus importante qui a été observée est celle des cailloux calcaires dont la figure 6 donne une vue d'ensemble. Cette variation est aisément expliquée par la dissolution rapide des calcaires apportés par l'Aisne dans les eaux de l'Ourthe. La démonstration la plus claire de cette action a été apportée en étudiant

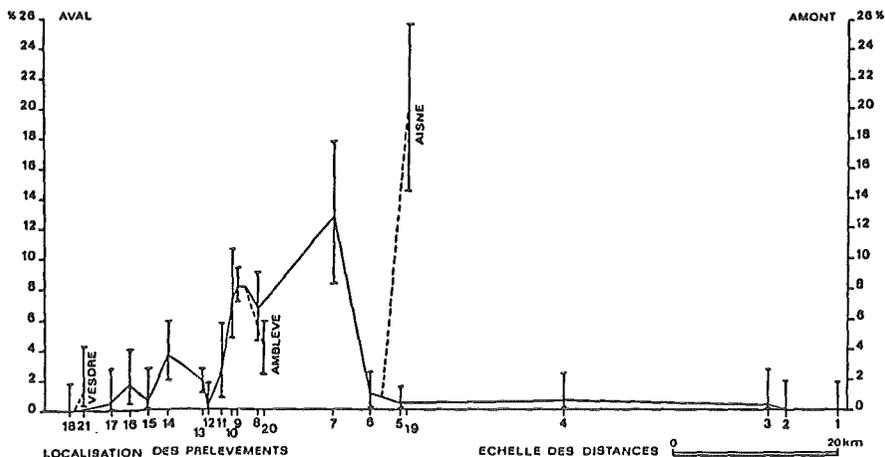


FIG. 6. - Variation du pourcentage des cailloux de calcaire dans les alluvions actuelles de l'Ourthe. Les droites verticales données en chaque point de prélèvement correspondent à la zone où se trouve avec une probabilité de 95 % la vraie valeur. Les numéros des prélèvements sont ceux indiqués dans le tableau I et dans la carte (fig. 2).

la variation de ces éléments entre 9.Chanxhe et 13.Esneux. Les différences existant entre ces deux points sont bien assurées, puisque plus de 2 000 cailloux ont été comptés en ces deux endroits. La décroissance progressive du pourcentage des éléments calcaires a, par ailleurs, été vérifiée en réalisant des prélèvements intermédiaires à 10.Pulseux, 11.Souverain-Pré, 12.Ile de la Venne qui ont confirmé la diminution des éléments calcaires jusqu'à leur disparition. Cette observation démontre que dans ce tronçon de l'Ourthe, les cailloux disparaissent après un transport de 5 km. Ceci est confirmé par l'étude de la dissolution des pierres calcaires constituant les barrages de l'Ourthe et soumises depuis 120 ans à la dissolution des eaux de la rivière, dont le pH varie entre 7.0 et 7.4 (Kupper et Pissart, 1977). Ces barrages ont subi une dissolution moyenne de 28 mm par siècle pour les pierres situées au sommet et de 47 mm par siècle pour les pierres se trouvant à la base des barrages. Les variations de vitesse sont contrôlées par la vitesse d'écoulement des eaux au contact du caillou. La comparaison des vitesses de dissolution entre les pierres du barrage soumises toute l'année à l'écoulement rapide des eaux et des cailloux qui sont, au moins pendant une partie de leur transport, enfouis sous d'autres éléments et donc soustraits au flux de l'eau courante, est délicate. Elle nous permet cependant d'affirmer - puisque les cailloux les plus volumineux à Chanxhe atteignent 25 cm - que ces cailloux parcourent moins de 5 km en une période de temps qui correspond à une dissolution d'une épaisseur de calcaire de 25 cm, soit en environ 9 siècles. Cette estimation est obtenue en considérant que la dissolution affecte seulement une face du caillou, celle exposée au flux de l'eau, et que la vitesse de dissolution est de 28 mm par siècle qui est celle se produisant au

sommet des barrages. Il convient de souligner la précarité de cette estimation de vitesse de transport de fond qui se rapporte à des cailloux dont la taille diminue progressivement avec le temps.

Les autres variations des teneurs en cailloux calcaires s'expliquent aisément de la même manière, c.-à-d. par dissolution, en tenant compte de la proximité des affleurements calcaires et de la distance de transport depuis ces affleurements. Ainsi, la brusque diminution de la teneur en calcaire lorsque l'on compare le prélèvement 19 réalisé dans l'Aisne et celui effectué dans l'Ourthe (6. Bomal) à l'aval du confluent de l'Aisne, de même que la disparition totale des cailloux calcaires à 18. Angleur, n'ont pas une origine différente.

Une remarque supplémentaire s'impose toutefois : l'existence d'un caillou calcaire dans le prélèvement de 3. Marcourt ne peut être expliqué que par un transport par l'homme, car aucune roche calcaire n'affleure en amont de ce point de prélèvement.

E.- LES APPORTS DES DIFFERENTES RIVIERES AFFLUENTES

Les apports de la Vesdre peuvent être distingués avec certitude de ceux de l'Ourthe par le nombre de silex, ceux de l'Aisne par le nombre de cailloux à cubes de pyrite et ceux de l'Amblève par la somme de tous les éléments à veines de quartz.

Les pourcentages des éléments de différentes natures permettent d'affirmer qu'à la taille de 4 à 6 cm, la majorité des cailloux sont amenés par l'Amblève. En considérant les fourchettes de distribution à 95 %, il est seulement permis de dire qu'à cette taille l'Amblève apporte au moins deux fois plus de cailloux que l'Ourthe. Ceci s'explique aisément lorsque l'on sait que, à l'amont de la confluence, la pente moyenne de l'Amblève est deux fois plus forte que celle de l'Ourthe. En ce qui concerne l'Aisne, les chiffres sont trop incertains pour fournir beaucoup de précisions. Le pourcentage des cailloux à cubes de pyrite montre qu'à 95 % de chance, l'Ourthe apporte au moins 40 % des éléments caillouteux de la dimension considérée, mais il est bien probable que la valeur réelle est bien supérieure.

IV. - CONCLUSION

Cette étude montre la grande variabilité des pourcentages de différentes natures dans les alluvions graveleuses d'une rivière qui traverse des roches de diverses lithologies. Les diverses influences sont souvent difficiles à débrouiller comme l'ont parfaitement montré Cailleux et Tricart (1959). Encore faut-il, avant de rechercher l'explication des variations, s'assurer que les différences observées ont une signification statistique. Cette précaution étant prise, les pourcentages des cailloux de différentes natures sont susceptibles d'apporter des indications précieuses sur les transports de fond des rivières, qui restent malheureusement si mal connus.

REMERCIEMENTS

M. F. Monfort, professeur de Mathématique appliquée à l'Université de Liège, a bien voulu nous aider à résoudre le problème sta-

tistique abordé dans cet article. M. le professeur A. Cailleux a eu la grande amabilité de relire notre manuscrit et de nous proposer plusieurs modifications.

Nous les en remercions très vivement.

BIBLIOGRAPHIE

- CAILLEUX A. et TRICART J., 1959. - *Etudes des sables et des galets*, 3 tomes, Centre de Docum. univers., Paris, 576 p.
- DUCHESNE F., 1982. - *Analyse des méthodes sédimentologiques et application aux alluvions de l'Ourthe*. Travail de fin d'études en Sciences géographiques, inédit, conservé à l'Université de Liège, 190 p.
- GEIGY J.R., (éd.), 1963. - *Tables scientifiques*, sixième édition, Geigy S.A., Bâle, Suisse, 783 p.
- KUPPER M. et PISSART A., 1977. - Vitesse d'érosion en Belgique de calcaires d'âge primaire exposé à l'air libre ou soumis à l'action de l'eau courante, dans *Geomorphologische Prozesse und Prozesskombinationen in der Gegenwart unter verschiedenen Klimabedingungen*, *Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen*, pp. 39-40.
- PLUMLEY W.J., 1948. - Black hills terrace gravels: a study in sediment transport, *Journal of Geology*, vol. 56, pp. 526-577.
- VAN DER PLAS L. et TOBI A.C., 1965. - A chart for judging the reliability of point counting results, *American Journal of Science*, vol. 263, pp. 87-90.
-

