

ÉVOLUTION DE LA FRÉQUENCE DES INONDATIONS DE L'OURTHE INFÉRIEURE

A. PAUQUET et F. PETIT*

RÉSUMÉ

Le débit à plein bords a tout d'abord été identifié grâce à des observations systématiques de terrain effectuées lors de treize crues récentes et à une analyse critique des sources écrites. Sa récurrence, déterminée par ajustement de la série partielle des débits dans la distribution de Gumbel, représente 1,10 ans. Cette valeur est conforme à ce qui a été mis en évidence dans d'autres rivières ardennaises. Le dépouillement de la presse régionale effectué depuis le début de ce siècle a permis de constituer un catalogue des inondations et, en fonction de certains critères tels que les dégâts relatés, de leur accorder une cote d'intensité. Quatre-vingts événements ont ainsi été recensés depuis le début de ce siècle, ce qui donne une fréquence moyenne des débordements très proche de celle déduite de l'analyse des débits à pleins bords. Ainsi les crues de l'Ourthe n'apparaissent pas plus fréquentes à l'heure actuelle que par le passé et il s'individualise même des périodes, comme les années soixante, où elles ont été plus fréquentes. Les modifications qui ont affecté le bassin versant depuis le début de ce siècle (changement d'affectation du sol, imperméabilisation suite à l'urbanisation croissante...) ne semblent donc avoir eu qu'un impact limité sur la fréquence des inondations. Par ailleurs, les tests de tendance appliqués simultanément à la série des inondations et aux précipitations tombées sur le bassin versant, montrent que le nombre total d'inondations depuis le début des années quatre-vingt n'atteint plus l'importance des années cinquante et soixante, alors que l'importance des précipitations est pratiquement identique. Il semble à cet égard que certains travaux d'aménagement effectués dans le lit mineur ont permis d'améliorer les conditions d'écoulement.

* Département de Géographie physique et Quaternaire, Université de Liège.

INTRODUCTION

Avec un bassin versant de près de 3.500 km², l'Ourthe se présente comme le principal affluent de la Meuse. Ses inondations, particulièrement dans le tronçon inférieur situé entre sa confluence avec l'Amblève d'une part et sa confluence avec la Vesdre d'autre part, posent de sérieux problèmes, notamment du fait de la présence d'un habitat relativement dense installé en fond de vallée (localités telles qu'Esneux et Tilff). L'étude de l'évolution de la fréquence et de l'intensité des inondations dans ce tronçon, généralement appelé Ourthe inférieure, nécessitait tout d'abord d'avoir une estimation correcte de la valeur du débit à pleins bords, c'est-à-dire du débit à partir duquel se produisent des débordements. Comme les débits ne sont mesurés que

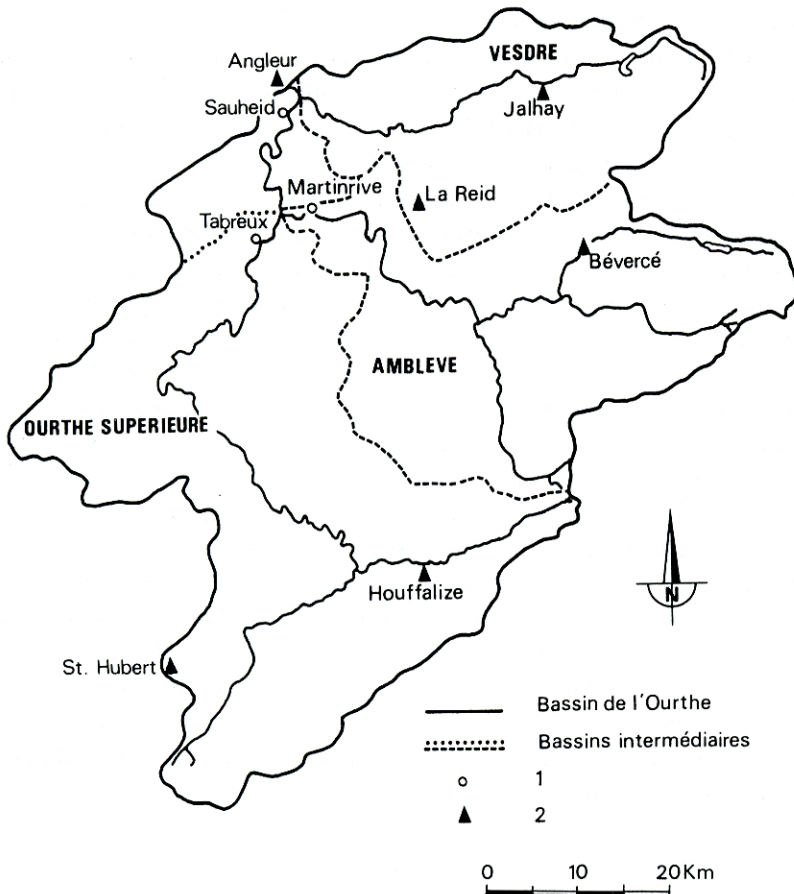


Fig. 1. Bassin de l'Ourthe; localisation des stations limnigraphiques (1) et pluviométriques (2).

Catchment for the Ourthe river and location of the stations cited in the text. (1) water level record; (2) raingauge.

depuis peu de temps dans ce tronçon de l'Ourthe - la station de Sauheid n' a été installée qu' au début des années quatre-vingt - les débits en aval de la confluence ont été déterminés en effectuant la somme des débits mesurés sur l'Ourthe à la station de Tabreux d'une part, sur l'Amblève à la station de Martinrive d'autre part (Fig. 1).

2. IDENTIFICATION ET RÉCURRENCE DU DÉBIT A PLEINS BORDS

Le débit à pleins bords de l'Ourthe en aval de sa confluence avec l'Amblève a été déterminé sur base d'une analyse systématique des sources écrites (presse régionale, rapports d'intervention de la Protection Civile et des pompiers) mais aussi grâce à des observations minutieuses des hauteurs d'eau atteintes en différents sites, lors de treize crues différentes (entre 1979 et 1991) qui ont ou non provoqué des débordements (avec dans ce dernier cas une estimation par défaut de la valeur du débit à pleins bords). Ces différentes observations ont alors été confrontées à la somme des débits journaliers mesurés aux stations de Tabreux et de Martinrive, de telle sorte que nous avons pu estimer que la valeur du débit à pleins bords était comprise entre 280 et 300 m³.s⁻¹. Cette fourchette correspond bien à la somme des débits à pleins bords identifiés pour l'Ourthe et l'Amblève en amont de leur confluence, avec respectivement 160 m³.s⁻¹ à Tabreux et 140 m³.s⁻¹ à Martinrive. Par ailleurs, la valeur ainsi identifiée s'ajuste particulièrement bien à la relation qui lie la valeur du débit à pleins bords à la taille des bassins versants, relation établie par PETIT & DAXHELET (1989) sur base d'observations effectuées sur une trentaine de rivières de Moyenne et Haute Belgique.

Afin de connaître la récurrence de débits caractéristiques, nous avons tout d'abord effectué l'ajustement de la série des crues annuelles maximales disponibles (période 1966-1990) dans la distribution de Gumbel. Cette loi a la forme d'une double exponentielle dont les paramètres de forme et d'échelle sont estimés par transformation de la moyenne et de l'écart type de l'échantillon que constitue la série des crues maximales annuelles. Il ressort de cette analyse que la récurrence du débit à pleins bords est de 2,05 ans. Ce type d'événements n'apparaît donc pas comme anormalement fréquents puisque LEOPOLD *et al.* (1964), notant une remarquable similitude quant à la fréquence des débits à pleins bords pour des rivières se situant dans des contextes climatiques et physiographiques très différenciés, ont proposé une période de retour du débit à pleins bords oscillant entre 1 et 2 ans. Par la suite, cette dernière a été définie plus précisément avec une récurrence de 1,58 ans (DURY, 1977), cette valeur représentant en fait la crue annuelle la plus

probable dans la distribution de Gumbel lorsque la seule série des crues maximales annuelles est traitée (ROBERTS, 1989). Par ailleurs, à partir d'une analyse effectuée dans trente-six stations différentes, WILLIAMS (1978) a bien confirmé que la récurrence du débit à pleins bords était en moyenne de 1,5 ans, mais il observait une dispersion considérable des points, avec des valeurs extrêmes allant de 1,01 ans à 32 ans.

Toutefois, en présence de périodes d'observation relativement courtes, il est recommandé d'effectuer ce type d'analyse en utilisant la série partielle des débits car elle permet d'avoir une estimation beaucoup plus correcte des événements qui ont une période de retour inférieure à dix ans (RICHARDS, 1982; DUNNE & LEOPOLD, 1978). La série partielle des débits consiste à prendre en considération tous les débits maximums supérieurs à un seuil fixé, pourvu qu'ils soient indépendants les uns des autres. Ceci contribue à accroître la population de l'échantillon mais pose un double problème: celui de la définition du débit-seuil d'une part, de l'intervalle de temps séparant deux événements successifs d'autre part. Il n'existe pas de règles bien définies quant au choix de ces deux critères car l'indépendance des événements dépend non seulement de la taille de la rivière ou de son bassin hydrographique mais également d'autres facteurs qui régissent son régime, tels que l'imperméabilité ou la pente de son bassin, si bien qu'il est nécessaire d'effectuer un certain nombre de tests afin de garantir cette indépendance. La variation de la récurrence a donc été analysée en sélectionnant différentes valeurs des critères (PAUQUET, 1992). Au terme de cette analyse, nous avons retenu les valeurs pour lesquelles les critères étaient les plus sévères, à savoir, un débit seuil égal à 0,6 fois le débit à pleins bords et un délai entre deux débits maximums successifs égal au moins à quatre jours, séparés par un minimum dont la valeur est inférieure ou égale à 50 % de la valeur du plus faible de ces deux maximums. Sur cette base, 66 événements ont ainsi pu être retenus au cours de la période 1966-1990; la récurrence du débit à pleins bords de l'Ourthe inférieure a été estimée à 1,10 ans. Une première remarque doit être formulée en ce qui concerne la comparaison de cette valeur et de celle obtenue par la série annuelle. Il est normal qu'il existe un écart entre les périodes de retour obtenues par la série annuelle et par la série partielle. RICHARDS propose d'ailleurs la relation $T_a = T_p + 0,5$ (où T_a représente la récurrence calculée par la série annuelle et T_p la récurrence calculée sur les séries partielles) bien que dans le détail de la relation proposée par cet auteur, on note des écarts plus importants pour les événements de faible récurrence (par exemple 0,58 ans pour la crue annuelle la plus probable). WARD (1978) signale par ailleurs que la différence entre les périodes de retour calculées par les séries partielles et annuelles est plus grande pour les plus faibles valeurs de période de retour. Par ailleurs, des écarts au moins aussi importants que ceux observés sur l'Ourthe ont été mis en évidence non seulement dans plu-

sieurs autres rivières de Haute Belgique (PETIT & DAXHELET, 1989; ELABDELLAOUI, 1993), mais également en Angleterre (PETTS & FOSTER, 1985). En conclusion de l'analyse des débits à pleins bords, on voit que pour l'Ourthe inférieure cet événement se présente avec une récurrence de 1,10 ans. Comparativement à d'autres rivières de cette dimension, on peut considérer que ce n'est pas un événement anormalement fréquent puisqu'il est généralement reconnu que cette récurrence est de l'ordre de 1 à 1,5 ans, bien que des nuances doivent être apportées, notamment en fonction de la lithologie du bassin (ROBERTS, 1989; PETIT *et al.* 1994).

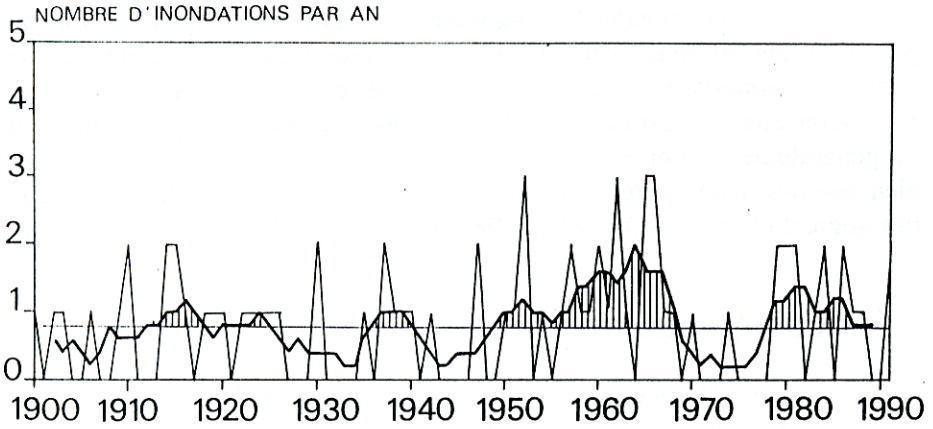
3. ÉVOLUTION DES INONDATIONS

Une analyse de l'évolution de la fréquence des inondations sur la seule base du débit est rendue délicate, du fait que la série des débits mesurés est relativement courte. C'est pourquoi nous avons tenté de retracer l'évolution éventuelle de la fréquence des inondations sur une beaucoup plus longue série en se basant sur un dépouillement systématique des principaux quotidiens régionaux, ceci à partir du milieu du dix-neuvième siècle. Afin de s'assurer de la fiabilité de ces sources, une analyse préliminaire a été effectuée pour la période où les débits étaient connus. Ainsi, en fonction de l'occurrence effectivement observée des débits supérieurs au débit à pleins bords, il a été vérifié s'il était fait mention, ne fût que partiellement, de ces inondations, dans la presse. Ce test a montré que la presse ne signalait pas systématiquement les inondations; ainsi pour la période envisagée, seuls 70 % des cas ont été mentionnés. En d'autres termes, en utilisant les seules sources écrites, on risque d'effectuer une estimation de la fréquence des inondations par défaut, ce qui aura toute son importance quant à la portée des résultats. Il n'est pas exclu qu'il y ait eu une évolution de la fiabilité de ces sources au cours du temps, mais il est impossible de s'en assurer. Il est cependant clair que ce sont les inondations les plus faibles, occasionnant des dégâts minimes, qui risquent de ne pas être signalées. Il semble tout aussi évident que c'est au cours des périodes les plus anciennes que la qualité de l'information a été la moins bonne et donc que la liste des inondations recensées risque de présenter le plus de lacunes. Ces différents éléments nous ont amené à n'effectuer les traitements statistiques qu'à partir du début de ce siècle.

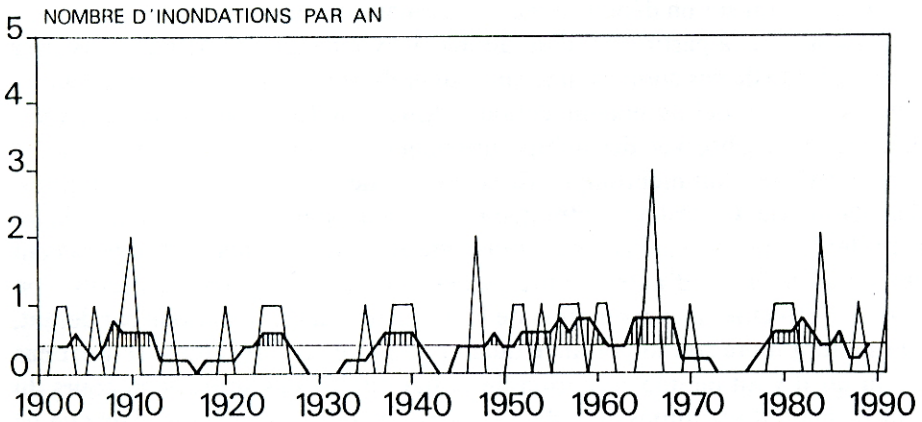
Les inondations ont été classées en fonction de leur importance, celle-ci ayant été évaluée d'après les informations tirées de la presse. Quatre catégories d'intensité différente ont été définies d'après les critères suivants:

- intensité faible: prairies et chemins de halage sous eau;
- intensité moyenne: routes barrées, quelques caves sous eau;
- intensité forte: caves inondées, quelques rez-de-chaussée inondés;
- très forte intensité: grand nombre de rez-de-chaussée inondés.

A.



B.



—— MOYENNE GLISSANTE ——— DONNEE BRUTE

Fig. 2. Nombre d'inondations par an d'après les sources écrites depuis le début de ce siècle (moyenne glissante à pas de cinq ans). A: Nombre total d'inondations (quatre catégories) B: Inondations importantes (forte et très forte intensité).

Amount of floods per year (five-year moving average) from the inventory of news papers. A: All the floods; B: Only the important floods.

Afin de mettre en évidence une éventuelle tendance dans l'évolution de la fréquence des inondations, la méthode des moyennes glissantes a été appliquée à la série comprenant toutes les inondations, ce qui représente 80 événements, mais aussi à la série des fortes et très fortes inondations (Fig.2). Dans un cas comme dans l'autre, on retrouve à quelques nuances près, les

grandes variations de régime liées à des causes hydroclimatiques, variations mises en évidence à partir de l'analyse des débits annuels de différents grands fleuves européens et que PROBST (1989) schématise comme suit:

- période sèche de 1860 à 1910 avec un petit épisode humide aux alentours des années 1880,
- période humide de 1910 à 1940,
- période sèche de 1940 à 1957 avec une occurrence plus humide en 1951 et 1952,
- période modérément humide de 1957 à 1970, suivie de la sécheresse des années septante (1971 - 1978),
- enfin, retour à une période plus humide à partir de 1979.

Par ailleurs, il apparaît que les modifications qui ont affecté le bassin versant depuis le début du XX^e siècle - changements d'affectation du sol, imperméabilisation du bassin suite à une urbanisation croissante - ne semblent avoir eu que très peu d'impact sur l'évolution de la fréquence des inondations, puisque l'on n'observe pas une aggravation récente de leur fréquence. Ceci est d'autant plus vrai que, comme nous l'avons souligné, la fréquence des inondations dans le passé était estimée par défaut et qu'il est donc probable qu'elle soit sous-estimée.

Toutefois, si l'on examine dans le détail l'évolution de la fréquence des inondations à partir des années 1950, on constate que, indépendamment de la sécheresse des années septante, la fréquence des inondations récentes tend à diminuer par rapport aux années soixante. Précisons que le fait d'ajouter les deux crues qui sont survenues en janvier et décembre 1993 ne modifie pas sensiblement l'allure des moyennes glissantes.

Nous avons soumis nos séries de données au test sur le t de Kendall tel que défini par SNEYERS (1966) et appliqué par LAURENT & ALEXANDRE (1977). Le test ut permet de vérifier s'il existe une tendance significative à l'augmentation ou à la diminution de l'occurrence du phénomène analysé; dans de tels cas la valeur de u_t dépasse +/- 1,96 (au niveau 0,05), la tendance étant croissante ou décroissante suivant le signe de u_t . Il ressort de ces tests qu'il y a une diminution significative de la fréquence des inondations dans les années septante et qu'il s'ensuit une réaugmentation à partir des années quatre-vingt sans toutefois que cette dernière n'atteigne le niveau des années soixante (remontée moins marquée de la courbe des u_t à la Fig. 3a).

Cette diminution globale de la fréquence des inondations peut résulter de causes hydroclimatiques et c'est pourquoi nous avons analysé l'évolution des lames d'eau annuelles précipitées sur le bassin de l'Ourthe au cours de la période 1950-1990. Ces dernières ont été évaluées par la méthode des polygones de Thiessen. Toutefois, en raison de la disponibilité des données pluviométriques sur cette période relativement longue, le nombre de stations prises en considération a dû être limité à six (localisation à la Fig. 1). Nous

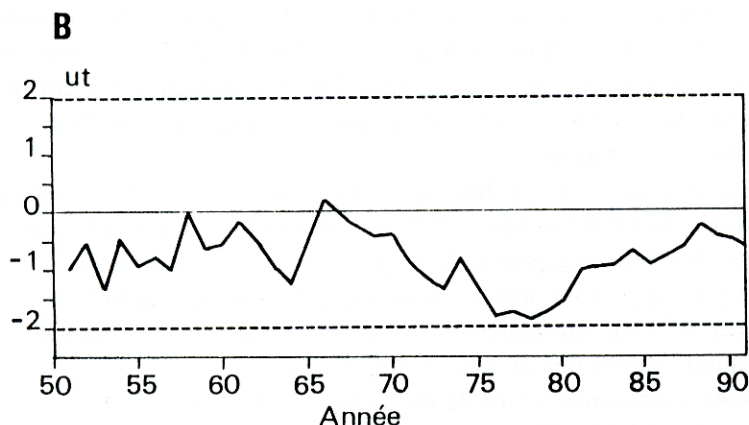
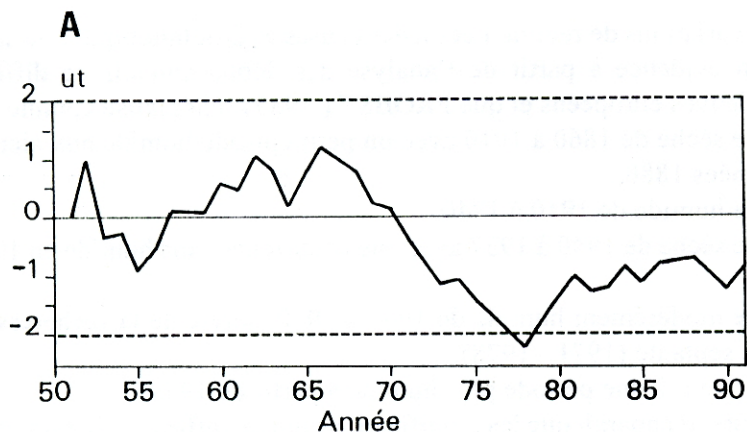


Fig. 3. Test de Kendall effectué (A) sur le nombre total d'inondations par an (B) sur les précipitations totales annuelles dans le bassin de l'Ourthe. *Kendall test applied (A) on the floods series, (B) on the annual precipitations on the watershed series.*

nous sommes cependant assurés de la représentativité de ces six stations, en comparant ces résultats à ceux de VEREERSTRAETEN (1970) et de BULTOT & DUPRIEZ (1972, 1973) qui ont travaillé sur des périodes plus courtes mais en prenant en compte un nombre de stations nettement plus important et en retouchant les coefficients de pondération des stations en fonction des influences de l'altitude et de l'exposition aux vents dominants en présence de pluies.

Les tests de tendance de Kendall effectués sur les différentes séries de précipitations - annuelles mais également saisonnières - bien que n'étant pas significatifs, montrent cependant de légères tendances dans l'évolution des précipitations (Fig.3b). En effet, on observe une diminution depuis la fin des

années soixante qui se concrétise par un minimum marqué au cours des années septante, et une réaugmentation depuis 1979 environ, atteignant à peu de choses près le même niveau que pendant la décennie 1950-1960. Toutefois, l'intérêt majeur de ces résultats réside dans leur comparaison avec les mêmes tests de Kendall effectués sur les inondations. En effet, pour des valeurs de précipitation pratiquement identiques pendant les deux périodes humides de 1950 à 1970 d'une part, de 1979 à 1991 d'autre part, la fréquence des inondations apparaît moins élevée depuis 1979.

La cause du changement de la fréquence des inondations ne doit donc pas être recherchée dans les événements hydroclimatiques, puisque l'analyse des précipitations n'a pas montré qu'elles étaient moins importantes. A cet égard, il semble que certains travaux d'aménagement récents aient, au moins localement, contribué à améliorer les conditions d'écoulement dans le lit mineur et à accroître ainsi la contenance du lit avant débordement.

Ces travaux d'aménagement peuvent être schématiquement regroupés en quatre catégories:

- (1) La suppression quasi systématique des ponts à arches multiples, ouvrages qui lors de fortes crues freinaient l'écoulement des eaux.
- (2) La suppression, encore très partielle il est vrai, ou l'étêtement de barrages fixes édifiés au XIX^e siècle afin d'assurer la navigation sur l'Ourthe. Certains de ces barrages fixes ont été remplacés par des barrages mobiles qui peuvent être couchés à partir d'un certain débit de façon à moins perturber l'écoulement pour des crues de moyenne importance.
- (3) L'édification récente de murets anti-crues représente une mesure relativement efficace, puisque certaines zones jadis inondées presque chaque année ne le sont plus que pour des crues quinquennales, voire décennales (comme par exemple à Martinrive sur l'Amblève).
- (4) Enfin, une quantité appréciable de sédiments a été retirée du lit mineur à la suite de suppression d'îles, de curages de dépôts et d'étêtement de seuils. Sur sept îles jadis présentes dans l'Ourthe inférieure, deux d'entre elles ont été supprimées et une troisième largement aménagée. Par ailleurs, près de 250 000 m³ de matériel ont été enlevés par dragage entre 1958 et 1990, sur une longueur de 25 km (YALI, 1990). Un tel volume représente schématiquement, étant donné la largeur moyenne de la rivière, un approfondissement moyen du lit de l'ordre de 15 cm. Toutefois, les quantités retirées varient de façon considérable d'un tronçon à l'autre (entre 8000 m³.km⁻¹ et 30 000 m³.km⁻¹) et sont en très bonne concordance avec les variations locales de la puissance spécifique de la rivière; les quantités draguées (et donc les accumulations) sont en effet plus importantes là où la puissance spécifique de la rivière - et donc sa capacité de charriage - est la plus faible. Cette concordance a d'ailleurs été confirmée par YALI (1990) qui a évalué le transport solide dans chacun des

tronçons en utilisant différentes approches, telles que notamment l'équation de Meyer-Peter et celle de Kalinske.

Toutefois, parallèlement aux améliorations apportées dans le lit mineur, il faut tenir compte, comme le souligne BERNIMOLIN (1993), du fait que l'occupation du sol dans le lit majeur s'est modifiée, ce qui contribue à freiner le flux, donc à accroître au moins localement le niveau de l'eau dans la plaine alluviale et à aggraver ainsi l'importance des inondations. Par ailleurs, le remblaiement du canal de l'Ourthe a probablement eu lui aussi un impact sur la portée des inondations puisque jadis il jouait, en période de crue, un rôle analogue à celui d'un canal de dérivation et permettait de ce fait une meilleure évacuation des débits.

4. ANALYSES DES INONDATIONS RÉCENTES SUR BASE DES DÉBITS HORAIRES

Les débits horaires des crues récentes (entre 1980 et 1991) ont été reconstitués en aval de la confluence de l'Ourthe et de l'Amblève par addition des débits horaires enregistrés aux stations de Tabreux et de Martinrive. Il était cependant indispensable de tenir compte du fait que ces stations ne se situent pas à la même distance de la confluence (respectivement 9 km et 5 km plus en amont) et que la transmission du flux dans ces deux rivières n'est pas la même puisque elles présentent des caractéristiques différentes. Les vitesses de propagation retenues - 2 m.s⁻¹ à Tabreux et 2,5 m.s⁻¹ - à Martinrive résultent d'une optimisation basée sur l'analyse du décalage entre les débits de pointe reconstitués à la confluence à partir des valeurs de vitesse de propagation prises en considération et ceux enregistrés à la station de Sauheid située 24 km plus en aval. Ainsi, lors de la crue de juillet 1980, le décalage entre les deux maximums était de 4 heures, tout comme lors de la crue de mars 1988, ce qui nous donne une vitesse de propagation des crues de 1,7 m.s⁻¹ pour l'Ourthe inférieure. Cette valeur correspond bien à celles mises en évidence par VEREERSTRAETEN (1970) lors des crues de 1925, avec des valeurs de 2,08 m.s⁻¹ pour la Sambre entre Solre sur Sambre et Charleroi et de 1,84 m.s⁻¹ entre Charleroi et Namur. Toujours en 1925, il notait une valeur de 1,22 m.s⁻¹ pour la Meuse entre Liège et Maaseik. Par ailleurs, FRECAUT (1964) propose les valeurs de référence suivantes pour des grands fleuves européens: 1,4 m.s⁻¹ pour le Danube et 2,1 m.s⁻¹ pour le Rhin.

Même si ces quatre dernières crues sont toutes considérées comme très importantes, elles présentent cependant un certain nombre de différences quant au débit maximum atteint, quant à leur rapidité d'ascension mais aussi quant à leur durée et à leur récurrence (Tableau 1). La plus importante de ces crues, du moins lorsque l'on se réfère au débit horaire maximum atteint, est

Tableau 1. Caractéristiques des quatre dernières grandes crues

Année	$Q_{\max}^{(1)}$ (m^3/s)	Pente ($m^3/s/h$)	Durée ⁽²⁾ (heures)	Récurr ⁽³⁾ (années)
1980 juillet	576	10.7	73	11
1984 février	658	14.8	89	20
1988 mars	548	14.3 (4.1)	151	16
1991 décembre	646	16.2	68	18

(1) Débit maximum en aval de la confluence Ourthe Amblève (Source M.E.T. SETHY).

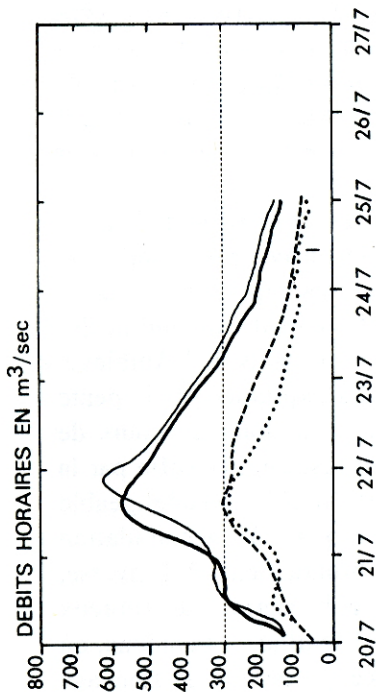
(2) Durée = nombre d'heures pendant lesquelles le débit à pleins bords est dépassé.

(3) Récurrence calculée par ajustement des crues maximum annuelles dans la distribution de Gumbel.

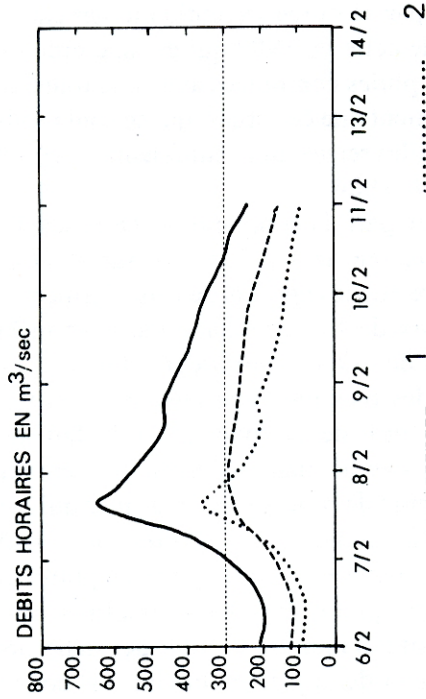
celle de 1984, suivie de celle de 1991 et de 1980 et enfin de celle de 1988. Mais la crue de 1991 se distingue par la rapidité de son ascension et celle de 1988 par sa durée exceptionnellement longue. Toutes ces crues, à l'exception de celle de 1980 qui est une crue estivale, sont la conséquence de très fortes pluies combinées avec une fonte des neiges assez rapide. Remarquons également que ces crues, qui se sont produites en l'espace de 11 ans, auraient toutes des récurrences supérieures à 10 ans, avec un maximum de 20 ans pour celle de 1984.

D'autre part, la comparaison entre les débits horaires de l'Ourthe inférieure et ceux mesurés à Tabreux sur l'Ourthe et à Martinrive sur l'Amblève, montre que les apports de cette dernière rivière sont très importants vis-à-vis de ceux de l'Ourthe supérieure, et influencent clairement l'évolution des débits de l'Ourthe inférieure (Fig.4). Les apports importants de l'Amblève, avec des pics bien marqués, peuvent tout d'abord s'expliquer par la pente assez forte de la rivière, par le fait aussi que tout au long du cours de l'Amblève le champ d'inondation est relativement restreint, et enfin par la proximité de reliefs assez marqués qui peuvent jouer un rôle non négligeable quant à l'importance des précipitations mais aussi quant à l'accumulation d'une couverture de neige susceptible de fondre brutalement. A l'inverse, l'allure aplatie des débits horaires de l'Ourthe à la station de Tabreux pourrait notamment résulter des débordements de l'Ourthe en Famenne, où la largeur de la plaine alluviale est considérable, ce qui permet un stockage

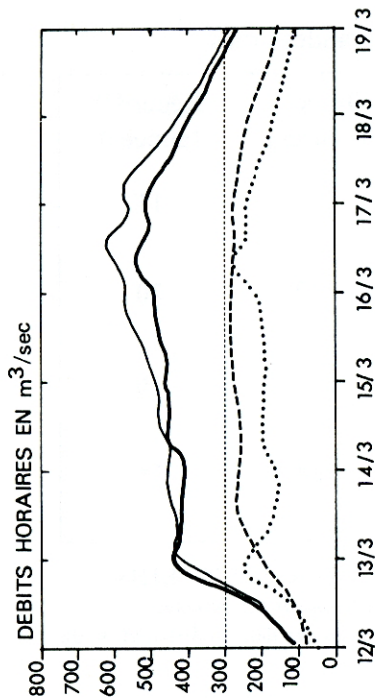
1980



1984



1988



1991

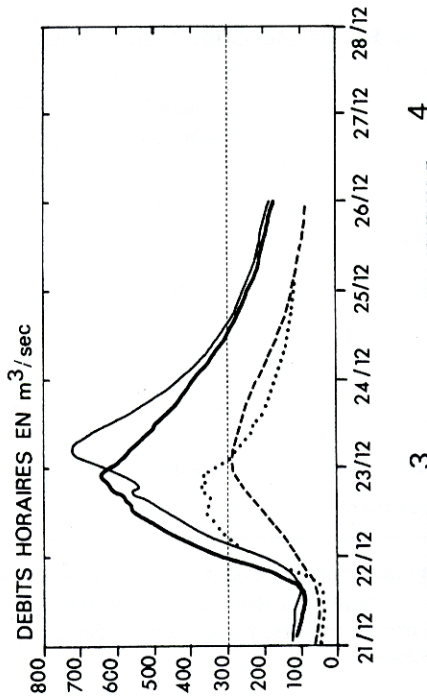


Fig. 4. Hydrographes des quatre dernières grandes crues aux stations (1) de Tabreux (Ourthe avant sa confluence avec l'Ambliève) (2) de Martinrive (Ambliève) (3) reconstitué à la confluence et (4) à la station de Sauheid sur l'Ourthe inférieure. $Q_b=300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ valeur du débit à plein bords de l'Ourthe inférieure.
 Hydrographs of the four last floods (1) at Tabreux (Ourthe river upstream of the confluence); (2) at Martinrive (Ambliève river); (3) reconstructed just downstream of the confluence; (4) at Sauheid 24 km downstream of the confluence. $Q_b=300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ value of bankfull discharge of the Ourthe River.

appréciable des eaux lorsqu'il y a inondation. Étant donné ces éléments, il n'est donc pas exceptionnel de voir le passage du maximum de la crue à Martinrive précéder celui du maximum à Tabreux et, comme cela apparaît à la Fig.4, il peut alors en résulter que le maximum de la crue passe plus tôt dans l'Ourthe inférieure que plus en amont à la station de Tabreux. Ce phénomène de décalage des maximums de crues dû à l'influence d'un affluent avait déjà été mis en évidence sur la Meuse en aval de la confluence de l'Ourthe (VEREERSTRAETEN, 1970).

Par ailleurs, différentes observations effectuées lors de la dernière grande crue (1991), montrent que les vitesses du courant peuvent être très importantes même dans le lit majeur. Ainsi, des cailloux qui constituaient le chemin de halage longeant la rivière juste en aval du barrage de Lhonneux (Esneux), ont été érodés et tractés dans le lit majeur sur plusieurs centaines de mètres. Or, il est établi que l'érosion et le transport de particules de cette dimension ($D_{50} = 42 \text{ mm}$) nécessitent des vitesses du courant supérieures à 2 m.s^{-1} (SUNDBORG, 1956). Ceci a été confirmé par le fait qu'à proximité, un scalping du tapis végétal a été observé dans le lit majeur, sur des étendues non négligeables (plusieurs dizaines de mètres carrés), ce processus nécessitant des vitesses du courant supérieures à 1.5 m.s^{-1} (PETIT, 1988).

CONCLUSIONS

Des observations systématiques effectuées lors de treize crues récentes et l'analyse des sources écrites ont permis de déterminer que le débit à pleins bords de l'Ourthe inférieure était égal à $300 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Par ajustement de la série des débits dans la distribution de Gumbel (en utilisant la série partielle des débits), la récurrence du débit à pleins bords a été estimée à 1,10 ans. Une telle récurrence est conforme à ce qui a été mis en évidence dans d'autres rivières ardennaises de dimension comparable.

L'analyse critique des sources écrites effectuée depuis le début de ce siècle a permis de constituer un catalogue des inondations et de leur attribuer une cote d'intensité. Quarante-vingt événements ont ainsi été recensés depuis le début de ce siècle, ce qui donne une fréquence moyenne comparable à celle déduite de l'analyse effectuée à partir de l'ajustement des séries partielles dans la distribution de Gumbel. Par ailleurs, il s'individualise des époques où les inondations ont été aussi fréquentes qu'à l'heure actuelle, voire plus fréquentes. Il s'agit tout d'abord des années soixante mais également des années quarante et des années vingt. Il semble donc que les modifications qui ont affecté le bassin versant depuis le début de ce siècle (urbanisation, modification de l'affectation du sol) n'ont eu qu'un impact limité sur la fréquence des inondations.

Par ailleurs, la comparaison entre les tests statistiques effectués sur la fréquence des inondations au cours des années soixante et à l'heure actuelle d'une part, et ceux effectués sur les événements hydroclimatiques au cours de ces mêmes périodes d'autre part, montre que la fréquence des inondations apparaît moins importante à l'heure actuelle que par le passé, à conditions climatiques égales. Certains aménagements effectués dans le lit mineur, tels que les dragages ou la suppression d'obstacles qui jadis entravaient l'écoulement, semblent permettre une meilleure évacuation du flux.

L'analyse à différentes stations des hydrogrammes des quatre dernières grandes crues montrent clairement que l'Amblève joue un rôle important dans la transmission des ondes de crues et dans l'occurrence temporelle des débits de pointe de l'Ourthe inférieure.

Enfin, certaines observations géomorphologiques montrent que lors de crue importante (plus que décennale), les vitesses du courant peuvent atteindre des valeurs élevées dans le lit majeur (supérieures à $1,5 \text{ m.s}^{-1}$).

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Monsieur BERNIMOLIN (Ingénieur Principal au Service de la Meuse liégeoise, Ministère wallon de l'équipement et des transports) et Monsieur DEWIL (Ingénieur Principal au Service d'Études hydrologiques, Ministère wallon de l'équipement et des transports) pour les données et les renseignements qu'ils leurs ont communiqués; ils remercient également les Professeurs ALEXANDRE et PISSART qui ont bien voulu relire cet article et leur faire part de leurs remarques.

BIBLIOGRAPHIE

- BERNIMOLIN J. 1993: L'Ourthe au fil du temps. Cahiers du Ministère wallon de l'équipement et des transports, Direction générale des voies hydrauliques, 32 p.
- BULTOT F. & DUPRIEZ G. 1972: Étude hydrométéorologique des précipitations sur les bassins hydrographiques belges (III) Bassin de l'Ourthe, Publ. IRM série A, 72, 69 p.
- BULTOT F. & DUPRIEZ G. 1973: Étude hydrométéorologique des précipitations sur les bassins hydrographiques belges (V) Bassin de l'Amblève, Publ. IRM série A, 79, 62 p.
- DUNNE T. & LEOPOLD L.B. 1978: Water in environmental planning, Freeman and Cie, San Francisco, 818 p.
- DURY G.H. 1977: Underfit streams: retrospect, prospect and prospect, *In* River channel changes, GREGORY K.J. (Ed.): 281-293.
- EL ABDELLAOUI J. 1993: Fréquence et prédétermination des crues, essai d'une typologie régionale appliquée à la Moyenne et Haute Belgique, Mémoire Maitr. Géol. Ter. Superfic., Univ. Liège, inédit, 154 p.
- FRECAUT R. 1964: Eléments d'hydrologie continentale, CDU Paris, 231 p.

- LAURENT A. & ALEXANDRE J. 1977: Accroissement récent de l'intensité des fortes averses dans la banlieue bruxelloise, *Bull. Soc. Géogr. Liège*, 13: 127-132.
- LEOPOLD L.B., WOLMAN M.G. & MILLER J.P. 1964: Fluvial processes in geomorphology, *Freeman and Cy*, 522 p.
- PAUQUET A. 1992: Les inondations de l'Ourthe inférieure: évolution de leur fréquence et de leur importance; Mémoire licence Sc. Géogr., Univ. Liège, inédit, 105 p + annexes
- ⓧ - PETIT F. 1988: Phénomènes influençant la mise en mouvement et le transport des particules en rivières naturelles, *Z. Geomorph.*, 32(3): 299-310.
- PETIT F. & DAXHELET C. 1989: Détermination du débit à pleins bords et de sa récurrence dans différentes rivières de Moyenne et de Haute Belgique, *Bull. Soc. Géogr. Liège*, 25: 69-84.
- ⓧ - PETIT F., PAUQUET A. MABILLE G. & FRANCHIMONT C. 1994: Variation de la récurrence du débit à pleins bords des rivières en relation avec la lithologie de leur bassin versant et les caractéristiques de leur lit; Colloque en l'honneur du centenaire de M. Pardé : "Aménagements et Ecoulements" organisé par la Commission d'Hydrologie continentale du Comité National français de Géographie, *Dossiers de la Revue de Géographie Alpine*, 12: 157-161.
- PETTS G.E. & FOSTER I. 1985: *Rivers and landscape*, Arnold, 274 p.
- PROBST J.L. 1989: Hydroclimates fluctuations of some european rivers since 1800, *In Historical change of large alluvial rivers*, PETTS G.E., MÖLLER H. & ROUX A.L. (Eds), Wiley, 41-55.
- RICHARDS K. 1982: *Rivers, form and process in alluvial channels*, Methuen, 358 p.
- ROBERTS C.R. 1989: Flood frequency and urban-induced channel change: some British examples, *In Floods: Hydrological, sedimentological and geomorphological implications*, BEVEN K. & CARLING P.D. (Eds), Wiley, 57-82.
- SNEYERS R. 1975: Sur l'analyse statistique des séries d'observations, *Note technique O.M.M.*, Genève, n° 143, 192p.
- SUNDBORG A. 1956: The river Klarälven, a study of fluvial processes; *Geogr. Annaler*, 38(2): 127-316.
- VEREERSTRAETEN J. 1970: Le bassin de la Meuse, *Etude de géographie hydrologique*, *Revue belge Géogr.*, 339 p.
- WARD R . 1978: *Floods, a geographical perspective*; *Focal problems in Geography*, MacMillan, London, 234 p.
- WILLIAMS G.P. 1978: Bankfull discharge of rivers, *Water Res. Res.*, 14(6): 1141-1154.
- YALI M. 1990: Etude qualitative et quantitative de la charge de fond de l'Ourthe inférieure; Mémoire Maîtrise Géol. Ter. Superf., Univ. Liège, inédit, 116 p + annexes.